

*Intuitive Erkenntnis
und
exakte Wissenschaften*

Renate Huber

Einführung	3
1 Grundzüge einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie	21
1.1 Facetten der Erkenntnisbedingungen	25
Die möglichen Gegenstände der Erkenntnis	26
Das Ziel und das Interesse an Erkenntnis	27
Die „richtigen Fragen“ zum Erkenntniserwerb	28
Die Möglichkeit von Erkenntnis und ihre Grenzen	30
Die Quellen und Arten der Erkenntnis	32
Die sprachliche Formulierung der Erkenntnis	37
Der Fortschritt in der Erkenntnis	38
Die Geltung von Erkenntnis und die Rechtfertigung der Geltungsansprüche.....	40
Plädoyer für eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie	41
Transzendente oder naturalistische oder empirisch gestützte Erkenntnistheorie?	47
1.2 Evolutionäre Erkenntnistheorie	61
Die Postulate der Evolutionären Erkenntnistheorie	62
Der phylogenetische Aspekt der Erkenntnis	64
Der adaptionsistische Aspekt der Erkenntnis	69
Die mesokosmische und die wissenschaftliche Strukturierung	76
Evolutionäre Erkenntnistheorie: Erklärungserfolge und Erklärungsprobleme	81
1.3 Genetische Erkenntnistheorie	85
Die Schlüsselbegriffe und Kerngedanken der Genetischen Erkenntnistheorie	86
Fundierung und Vervollständigung der Genetischen Erkenntnistheorie.....	92
1. Stufe: Der senso-motorische Aufbau der Wirklichkeit	99
2. Stufe: Der symbolisch-sprachliche Aufbau der Wirklichkeit	106
3. Stufe: Der operationale Aufbau der Wirklichkeit	120
Der Aufbau geometrischer Strukturen	129
Der Aufbau des Invarianzbegriffs	130
Der Aufbau des Zahlbegriffs	132
Der Aufbau des Zeitbegriffs	135
Genetische Erkenntnistheorie: Erklärungserfolge und Erklärungsprobleme	140
1.4 Gestaltpsychologie	145
Die intuitive Strukturierung nach Gestaltgesetzen	146
Spezielle Beispiele intuitiver Strukturierung	148
Die charakteristischen Merkmale der intuitiven Strukturierung	159
Die Erklärungsleistung der Gestaltpsychologie	163
1.5 Neuroepistemologie	165
Die Postulate der empirischen Neurowissenschaften.....	166
Der Aufbau des Gehirns und die Funktionen der verschiedenen Gehirngebiete	168
Der Aufbau der Neuronen und die Informationsübertragung	170
Die Kodierung von Informationen	173
Die topographische Struktur des Gehirns	176
Die biologische Entwicklung der Gehirn-Architektur	178
Konstruktivistische versus realistische Interpretation der Wirklichkeit.....	181
Das „Ich“ und das „Bewußtsein“	184
Gehirn versus Computer	188
Parallele versus sequentielle Informationsverarbeitung.....	192
Der Lernprozeß neuronaler Netze	193
Das Doppel-Paradigma: IP & CRI.....	215
Die Erklärungsleistung der Neuroepistemologie	227

2 Begriff, Funktionen, Grenzen und Wandel der intuitiven Erkenntnis in physikalischen Theorien.. 233

2.1 Das Schicksal der intuitiven Erkenntnis in den traditionellen Erkenntnislehren237

Die platonische Ideenlehre und Wesensschau	237
Die aristotelische Induktions- und Abstraktionslehre	251
Die cartesische Intuitions- und Evidenzlehre.....	263
Die leibnizsche Unterscheidung von intuitiver und symbolischer Erkenntnis.....	281
Die Kritik Lockes und Humes am Substanz- und Kausalbegriff	300
Kants Lehre von den Formen der Anschauung und den Kategorien des Denkens	317
Die Kritik der Analytischen Wissenschaftstheorie	342

2.2 Der Wandel der intuitiven Erkenntnis im Mathematik- und Naturverständnis353

Das figurative Mathematikverständnis der Pythagoreer	356
Das operative Mathematikverständnis im Anschluß an Descartes und Leibniz	362
Kants eingeschränktes Mathematikverständnis	371
Helmholtz und Hertz: Die Anschauung in Geometrie und Mechanik	382
Poincarés Begriff der Intuition in der Mathematik	390
Hilberts Begriff der Anschauung in der Mathematik.....	395

2.3 Der Begriff „intuitive Erkenntnis“401

Der Erkenntnisprozeß	401
Intuitive Strukturierung als drei-komponentiges Begriffskontinuum	421
Der Evidenzbegriff	431
Das Verhältnis der ontogenetischen zur wissenschaftstheoretischen Perspektive	436

2.4 Funktionen und Grenzen der intuitiven Erkenntnis439

Metaphysik	442
Leitmetaphern	449
Methodenideale und Kontrollinstanzen	456
Statische und dynamische Anschaulichkeit	463
Wirklichkeitsbezug	475

2.5 Das 7-Stufen-Modell intuitiver Theorien481

Mesokosmische Strukturierung T_{Meso}	482
Direkt-intuitive Theorien T_{Wiss1}	485
Indirekt-intuitive Theorien T_{Wiss2}	487
Indirekt-intuitive, empirisch-erweiterte Theorien T_{Wiss3}	495
Indirekt-intuitive, analytisch-formalisierte Theorien T_{Wiss4}	497
Nicht-intuitive Raum-Zeit-Theorien T_{Wiss5}	500
Nicht-intuitive Materie-Theorien T_{Wiss6}	502

Zusammenfassung 505

Literaturverzeichnis 533

Einführung

Das zentrale philosophische Problem dieser Studie ist die Frage, ob die *intuitive Erkenntnis* im Erkenntnisprozeß eine Rolle spielt oder nicht und – da die Frage bejaht wird – welche Rolle dies sein kann. Das Problem ist vielschichtig und richtet sich an verschiedene Disziplinen: (α) Die Frage nach der Explikation des Intuitionsbegriffs ist zuallererst Aufgabe der Philosophie. (β) Die Frage nach den spezifischen Merkmalen der Intuition ist insbesondere eine Frage an die Wahrnehmungs- und Entwicklungspsychologie, sowie die empirischen Neurowissenschaften und die theoretische Neuroinformatik, die Aussagen zum erkennenden Subjekt **S** machen, aber auch eine Frage an die Mathematik, die eines der wichtigsten Instrumentarien für die Erforschung des zu erkennenden Objekts **O** liefert. (γ) Die Frage nach den Funktionen und Grenzen der Intuition verlangt die Analyse spezieller Theorienkonstruktionen der Physik, an denen sich exemplarisch die Unverzichtbarkeit der intuitiven Erkenntnis nachweisen läßt. Diese Fragen werden in systematischer Absicht behandelt, wobei es zunächst um neuere Einsichten zur intuitiven Erkenntnis auf dem Boden empirischer Wissenschaften geht, dann wird die Diskussion mit der historischen Perspektive verknüpft und die Reflexionen der traditionellen Erkenntnislehren kritisch gewürdigt.

Problemstellung

Philosophen, Wissenschaftstheoretiker, Mathematiker und Physiker haben auf die Frage nach der intuitiven Erkenntnis bislang keine einheitliche Antwort gefunden. Seit Menschen über den Erkenntnisprozeß nachdenken, hat sie daher ein wechselvolles Schicksal erfahren.

- (i) Die traditionellen Erkenntnislehren sprechen der intuitiven Erkenntnis eine konstitutive und damit unverzichtbare Funktion im Erkenntnisprozeß zu. Sie gehen implizit von der Prämisse aus, daß das Gehirn des Menschen primär auf den Erwerb von widerspruchsfreiem und wahren Wissen angelegt ist. Demzufolge werden Fragen nach dem vollkommenen Wissen, den notwendigen Wahrheiten und den letzten Begründungen gestellt und spekulativ beantwortet. Sowohl empiristisch als auch rationalistisch orientierte Erkenntnislehren vertrauen darauf, daß eine absolute Fundierung des Wissens gelingt und durch die intuitive Erkenntnis erfolgreich geleistet werden kann. Dabei bleibt strittig, wie der Begriff zu explizieren und welches Wissen intuitiv erfaßbar ist.

- (ii) Kant setzt sich kritisch mit den Inhalten und Ansprüchen der empiristischen und rationalistischen Erkenntnislehren auseinander, verfaßt seine Lehre von den Formen der Anschauung und den Kategorien des Denkens als Bedingungen der Möglichkeit von Erkenntnis überhaupt und schreibt diesen eine wirklichkeits-konstituierende Funktion zu. Dabei bindet er seine Lehre an die Gültigkeit der aristotelischen Logik, der euklidischen Geometrie und der Newtonschen Physik. Mit Kant verliert zwar der traditionsreiche Begriff „intuitive Erkenntnis“ der neuzeitlichen Erkenntnislehren seine Bedeutung, aber die mit dem Begriff verknüpften Fragen zur absoluten Fundierung des Wissens werden dann unter dem neuen Begriff „Anschauung“ wieder aufgegriffen und beantwortet. In der Folgezeit haben alle epistemologischen Positionen Kant als Bezugspunkt gewählt, an dem sie kritisch, ablehnend oder zustimmend ihr eigenes Denken orientierten.
- (iii) Mit dem Niedergang der Newtonschen Physik und unter dem Eindruck der kontra-intuitiven Ergebnisse der Relativitätstheorie und der Quantentheorie lehnt die, ausschließlich an Empirie und Logik orientierte Analytische Wissenschaftstheorie sowohl die intuitive Erkenntnis der traditionellen Erkenntnislehren als auch die Anschauung Kants ab. Es ist ihr großes Verdienst, klar erkannt zu haben, daß ein absolut gesichertes Wissen über die Natur nicht zu erlangen ist und daß die Intuition bzw. die Anschauung die ihr zugeschriebene Unfehlbarkeitsleistung nicht erbringen kann. Die Wissenschaftstheoretiker sind aber in ihrer Kritik zu einseitig, wenn sie versuchen, der intuitiven Erkenntnis jegliche Funktion abzusprechen. Insbesondere ist kritisch zu fragen, ob es denn gerechtfertigt ist, (α) den Wissensbegriff nur unter dem Blickwinkel des Rechtfertigungszusammenhangs zu analysieren, (β) den Entstehungszusammenhang von Wissen als nicht analysierbar bzw. als irrelevant einzustufen oder als Sache der Psychologen abzutun, (γ) die Frage nach dem Wirklichkeitsbezug als metaphysisch und damit als unwissenschaftlich zu erklären und (γ) daraus die Konsequenz zu ziehen, die intuitive Erkenntnis als Erkenntnisart zu verwerfen.
- (iv) Nicht wenige Mathematiker und Physiker des 20. Jahrhunderts weisen der Intuition bzw. der Anschauung dennoch eine wichtige Rolle für die Theorienkonstruktion und das Theorienverständnis zu. Es sind gerade diejenigen Forscher, die maßgeblich an der Formulierung der als besonders kontra-intuitiv geltenden physikalischen Theorien mitgewirkt haben. Zu diesen gehören Poincaré, Hilbert, Heisenberg und Schrödinger. Dabei bleiben die von ihnen verwendeten Begriffe jedoch häufig unscharf und somit klärungsbedürftig.

Es ist also festzuhalten: Offensichtlich besteht ein *fundamentaler Dissens* zwischen den verschiedenen Positionen. (α) Die traditionelle Philosophie traut der intuitiven Erkenntnis zu

viel zu, (β) die Analytische Wissenschaftstheorie traut ihr zu wenig zu und (γ) die Mathematiker und Physiker, die die modernen physikalischen Theorien entwickelt haben, bleiben in ihren Aussagen häufig zu unbestimmt.

Was sind die *philosophischen Gründe* für diesen Dissens? Wenn Philosophen, Wissenschaftstheoretiker, Mathematiker und Physiker von intuitiver Erkenntnis reden, dann handelt es sich keineswegs immer um denselben Begriff; stattdessen verbergen sich ganz unterschiedliche *Begriffsvarianten* dahinter. Um den Dissens aufzulösen, sind die uneinheitlichen Gebrauchsweisen des Begriffs in den traditionellen Erkenntnislehren aufzuzeigen und zu klären, in welcher Weise Mathematiker und Physiker von intuitiver Erkenntnis oder sinnverwandten Begriffen in ihren Theorien sprechen. Der konstatierte Dissens bezieht sich aber nicht nur auf eine Begriffsverwirrung, sondern verweist auf ein tieferliegendes Problem. Die Begriffsexplikation ist insbesondere abhängig von der vorausliegenden *epistemologischen Grundposition*. Alle traditionellen Erkenntnislehren sind letztlich gescheitert und dies manifestiert sich dann auch in einer unzulänglichen und problematischen Einschätzung der Funktionen und Grenzen der intuitiven Erkenntnis. Dieser Sachverhalt ist also ebenfalls kritisch zu hinterfragen.

- (i) Im Zusammenhang mit dem zu erkennenden Objekt **O** müssen Erkenntnislehren scheitern, wenn sie den Ergebnissen der Relativitätstheorie, der Quantentheorie und der Chaostheorie zuwiderlaufen. In Kants Transzendentalphilosophie wird das operative Mathematikverständnis gerade nicht vollständig erfaßt, das mit der analytisch-algebraischen Formulierung von Descartes und Leibniz auf den Weg gebracht wird und das eine neue und andere Möglichkeit von Erkenntnis eröffnet, die gerade nicht mehr an die Konstruktionen in der Raumanschauung gebunden ist.
- (ii) Im Zusammenhang mit dem erkennenden Subjekt **S** müssen Erkenntnislehren scheitern, wenn sie nur Geltungsfragen berücksichtigen, Fragen zur Genese und Dynamik des Wissens explizit ausklammern und stattdessen auf ein nicht-bewußtes, ungeprüftes und unreflektiertes Alltagsverständnis vom Wissenserwerb zurückgreifen. Die traditionellen Erkenntnislehren und insbesondere auch Kants Transzendentalphilosophie beschränken sich auf menschliche kognitive Systeme, beziehen sich auf den intelligenten, erwachsenen, gebildeten Europäer und nehmen nur die besten wissenschaftlichen Ergebnisse in den Blick. Neurologische, phylogenetische, ontogenetische und kulturell bedingte Aspekte des Erkenntnisprozesses werden vernachlässigt oder als philosophisch irrelevant abgewehrt.

Was ließe sich möglicherweise aus der skizzierten Analyse dieses Dissens lernen und welche *Konsequenzen* wären daraus zu ziehen?

- (i) Eine Erkenntnistheorie sollte zuallererst Entstehungsfragen in den Katalog epistemologisch relevanter Fragen einbeziehen und auf dem Boden empirischer Wissenschaften beantworten. Geltungsfragen müssen als nachgeordnet eingestuft werden. Die Frage des Wissenserwerbs ist also gerade nicht ausschließlich ein Fall für den Psychologen, sondern immer auch ein Fall für den Philosophen, der in seiner Arbeit die Ergebnisse der empirischen Wissenschaften berücksichtigt und sich kritisch damit auseinandersetzt.
- (ii) In die Erkenntnistheorie sollten alle Ergebnisse der empirischen Wissenschaften einfließen, sofern diese Teilantworten zu epistemologisch relevanten Fragen geben, d.h. die empirischen Konsequenzen der Erkenntnistheorie dürfen gut bestätigten Ergebnissen empirischer Wissenschaften nicht widersprechen. Kant hat sicher Recht, wenn er auf diejenigen Anteile im Erkenntnisprozeß verweist, die nicht ausschließlich aus dem zu erkennenden Objekt **O** stammen, aber es ist zu fragen, ob diese Anteile vollständig dem erkennenden Subjekt **S** zuzuschreiben sind und als statisch betrachtet werden dürfen. Die empirischen Neurowissenschaften deuten das Gehirn im Sinne eines Struktur-Detektors, der die Regelmäßigkeit des sensorischen Input kodiert und des weiteren stellen sie fest, daß die entdeckten Strukturen mit dem Lernprozeß des kognitiven Systems einer ständigen Veränderung unterliegen.
- (iii) Auf dem Hintergrund einer Erkenntnistheorie, die auch die Entstehungsfrage hinreichend berücksichtigt, muß die Frage nach der intuitiven Erkenntnis nochmals neu gestellt werden. Dabei ist zu betonen, daß mit der berechtigten Zurückweisung eines überzogenen Unfehlbarkeitsanspruchs, der in den traditionellen Erkenntnislehren der intuitiven Erkenntnis zugesprochen wird, keineswegs bereits eine Ablehnung der Intuition als Erkenntnisart verknüpft ist. Stattdessen ist zu fragen, (α) ob die empirischen Neurowissenschaften und die theoretische Neuroinformatik bereits einen Forschungsstand erreicht haben, der eine begründete, wenngleich vorläufige Antwort zuläßt und (β) ob die Ergebnisse der modernen Physik ohne Rückgriff auf die intuitive Erkenntnis zu verstehen sind.

Die Explikation des Begriffs „intuitive Erkenntnis“ ist abhängig von der vorausliegenden epistemologischen Grundposition; diese ist daher zuallererst zu spezifizieren. In dieser Studie wird für eine *empirisch gestützte Erkenntnistheorie* geworben und es werden ihre Grundzüge entwickelt. Die tiefgreifendsten Revolutionen im Verständnis der Erkenntnisbedingungen bringen die Relativitätstheorie, die Quantentheorie und die Chaostheorie (bezogen auf das zu erkennende Objekt **O**) und die Evolutionstheorie, die Entwicklungspsychologie, die Gestaltpsychologie und die empirischen Neurowissenschaften (bezogen auf das erkennende Subjekt **S**). Diese Studie schlägt daher einen Weg ein, der die geforderten Konsequenzen einzulösen versucht.

Argumentationsstrategien und Schlüsselbegriffe

Die folgende Übersicht skizziert die wichtigsten *Argumentationsstrategien*, expliziert vier *Schlüsselbegriffe* (intuitive Strukturierung, Strukturierungsformen, Wissen, Evidenz) und vertieft die Analyse durch *zwei Spezialthemen* (Doppel-Paradigma **IP & CRI**, operatives Mathematikverständnis). Diese Studie will den Begriff „intuitive Erkenntnis“ auf eine neue Weise explizieren, die Rolle der intuitiven Erkenntnis im allgemeinen Erkenntnisprozeß und speziell in der Theorienkonstruktion und für das Theorienverständnis analysieren und ihre Unverzichtbarkeit für die Entwicklung der Naturerkenntnis von der Antike bis zum 21. Jahrhundert in den wichtigsten Aspekten darstellen. Die Argumentationsstrategien konzentrieren sich insbesondere auf vier Aspekte: Es ist zu klären, (α) auf welcher epistemologischen Grundlage der Erkenntnisprozeß analysiert werden soll, (β) was unter dem Begriff „intuitive Erkenntnis“ zu verstehen ist, (γ) worin die Funktionen dieser Erkenntnisart bestehen und wo eventuelle Grenzen liegen und (δ) inwiefern sich in der Entwicklung der Naturphilosophie die Maßstäbe geändert haben für das, was als eine intuitiv-einsichtige Theorie gelten kann. Der Wandel der Maßstäbe soll verständlich machen, in welcher Weise die axiomatische Methode mit der struktur-orientierten, rationalen Intuition der Rationalisten verknüpft ist und inwiefern die Newtonsche Physik für einen Aristoteliker unanschaulich ist und in welchem völlig anderen Sinne die Relativitätstheorie, die Quantentheorie und die Chaostheorie für einen Newtonianer unanschaulich erscheinen.

Die Studie beginnt mit einer Analyse des Erkenntnisprozesses. Erkenntnis wird als dreigliedrige Relation interpretiert: Das erkennende Subjekt **S** erkennt das zu erkennende Objekt **O** als ein strukturiertes Ganzes **A**. Erkenntnis ist immer – so die Grundthese – das Ergebnis einer intuitiven Strukturierung. Der Mensch ist in besonderer Weise zu *Strukturierungsalternativen* befähigt und kann so mehrfache Bezüge zur Wirklichkeit herstellen. Dies manifestiert sich dann gleichermaßen in seiner Fähigkeit zur Erkenntnis und zum Irrtum; insbesondere schließt dies die Fähigkeit ein, unterschiedliche wissenschaftliche Theorienkonstruktionen zu entwerfen. Prototyp einer sinnlichen, intuitiven Strukturierung ist die strukturierte visuelle Wahrnehmung, die Ausgangspunkt jeder wissenschaftlichen Theorienkonstruktion ist.

Der *Schlüsselbegriff* „*intuitive Strukturierung*“ meint ein kognitives Vermögen, das hauptsächlich darauf angelegt ist, den gesamten Erkenntnisgegenstand schlaglichtartig zu erfassen und in einen als sinnvoll gedeuteten Gesamtkontext zu integrieren. Dabei geht es um die Wesensmerkmale eines Erkenntnisgegenstandes, die nur dann in den Vordergrund rücken, wenn das Ganze erfaßt wird. Stets vorhandene Erkenntnislücken werden spekulativ geschlossen und Weltbilder werden vervollständigt. Hierin liegt dann das *schöpferische Potential* der Intuition einerseits und ihre *Irrtumsanfälligkeit* andererseits. Daraus wird in dieser Studie die Konsequenz gezogen, zunächst nur den bescheideneren Begriff „intuitive

Strukturierung“ zu verwenden, anstatt von dem anspruchsvolleren Begriff „intuitive Erkenntnis“ zu sprechen, der zusätzlich mit einem Wahrheitsanspruch befrachtet ist.

Die Strukturierungsleistung ist nicht beliebig, sondern auf vielfache Weise eingeschränkt durch *constraint-Bedingungen*, d.h. eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie ist im Sinne einer constraint-Theorie zu verstehen, die alle Bedingungen klärt, unter denen der Spielraum für Strukturierungsalternativen eingengt wird. Die relevante philosophische Frage ist also nicht die Frage nach dem absolut wahren Wissen, sondern die Frage nach den einschränkenden Bedingungen für die völlige Beliebigkeit der Strukturierungsleistung.

- (i) Die *phylogenetischen Bedingungen*: Die Mechanismen der Evolution sind nicht im Sinne von Extremalprinzipien zu deuten, die den Bestangepaßten aussuchen, sondern im Sinne von constraint-Bedingungen, die eine untere Grenze setzen für das, was als überlebensadäquat gilt. Der Mensch ist als kognitives System nicht primär darauf angelegt, widerspruchsfreies und wahres Wissen zu erwerben, sondern überlebensadäquat zu handeln. Die intuitive Strukturierung dient diesem Ziel in besonderer Weise, sie erfolgt automatisch und verzichtet auf eine bewußte, zeitintensive Überprüfung. Die Beliebigkeit der Strukturierungsleistung ist soweit eingeschränkt, daß grobe Irrtümer auf den elementaren kognitiven Ebenen, die das Überleben gefährden, durch Selektionsmechanismen eliminiert sind. Darüber hinaus betont die Evolutionstheorie die erfahrungs-konstitutive Funktion der Handlungsfähigkeit und weist damit über die traditionellen Erkenntnislehren hinaus, die sich auf die Fähigkeit der Sinne und des Verstandes beschränken und der Fähigkeit zur Handlung keine angemessene Beachtung schenken.
- (ii) Die *ontogenetischen Bedingungen*: In einem langandauernden Lernprozeß – dem Architektur-Lernen – werden Strukturen der Wirklichkeit immer wieder neu und anders konstruiert. Dieser stufenartige Reifung während der Ontogenese – sensorische Stufe, symbolisch-sprachliche Stufe, operationale Stufe – liegen die komplementären Mechanismen der Assimilation und Akkomodation zugrunde. Assimilation beschreibt den Transfer eines alten Schemas in einen neuen Kontext. Sachverhalte, die nicht in die bereits erarbeiteten Strukturen passen, werden entweder ignoriert oder durch den Mechanismus der Akkomodation bewältigt. Akkomodation bedeutet, daß die Wissensbasis schrittweise erweitert wird, d.h. spezifische Eigenschaften der Wirklichkeit, die sich mit den vorhandenen Strukturen nicht hinreichend verstehen lassen, erzwingen eine Neuorganisation des Denkens. Strukturen der Wirklichkeit werden extrahiert und führen zu einer Veränderung, indem sie strukturbildend wirken.
- (iii) Die *gestaltpsychologischen Bedingungen*: Die visuelle Wahrnehmung ist immer intuitiv strukturiert und kann daher als Prototyp einer sinnlichen, intuitiven

Strukturierung verstanden werden. Die intuitive Strukturierung entfaltet einerseits ein großes kreatives Potential, unterliegt aber andererseits constraint-Bedingungen, wenn sie (α) fehlende Informationen spekulativ, aber auf dem Hintergrund verfügbarer Erfahrungen ergänzt, (β) Informationen auswählt und als essentiell oder nicht-essentiell bewertet, (γ) den sensorischen Input immer in einen Kontext zu bereits vorhandenen Informationen stellt, (δ) den sensorischen Input nach Maßgabe spezifischer Gestaltgesetze „zurechtbiegt“ und (ϵ) neuen sensorischen Input in den Wissensbestand integriert. Diese Strukturierungsgesetze – insbesondere die Gesetze der „guten Gestalt“ – stehen in einem engen Zusammenhang mit den Einfachheits- und Vollkommenheitsidealen der frühen Naturphilosophie, die den Gang der Naturerkenntnis wesentlich bestimmen.

- (iv) Die *neurologischen Bedingungen*: Die intuitive Strukturierung unterliegt der spezifischen Beschaffenheit der Gehirn-Architektur, den Mechanismen der Kodierung und Verarbeitung von Informationen, sowie der Regelmäßigkeit des sensorischen Input. (α) Wissen kann und wird sich aufgrund der Interaktion mit der Wirklichkeit selbstorganisierend aufbauen. (β) Der sensorische Input muß notwendigerweise eine hohe Regelmäßigkeit und Strukturiertheit aufweisen. Das Gehirn arbeitet gewissermaßen als Struktur-Detektor. Wäre die Natur ausschließlich chaotisch, dann könnte das Gehirn nichts lernen, weil der Input gerade nicht im Sinne einer Ansammlung von Einzelmerkmalen gespeichert wird. (γ) Umgekehrt gewendet bedeutet dies aber auch, daß das Gehirn immer Strukturen extrahiert, die im Input vorhanden sind, sofern geeignete Sinnesrezeptoren vorhanden sind. (δ) Wissen ist nicht allein durch den sensorischen Input bestimmt, sondern wird entscheidend mitgeprägt durch die spezielle Gehirn-Architektur. Es finden komplexe Verrechnungsmechanismen statt, d.h. das Gehirn nimmt eine Umkodierung des Input vor, die mit einer Datenreduktion verbunden ist. Die Informationsübertragung bildet einen Flaschenhals. Anschließend werden die Daten durch gehirneigene Vorgaben wieder angereichert.

Die Einsichten in die Arbeitsweise des menschlichen Gehirns sind – zumindest partiell – indirekt zu erschließen (invasive Eingriffe sind ethisch nicht vertretbar) durch die Simulation kognitiver Fähigkeiten an künstlichen informationsverarbeitenden Systemen. Dahinter steht der Kerngedanke, daß elementare kognitive Fähigkeiten mit den Hauptanwendungsgebieten selbstorganisierender neuronaler Netze korrelieren. Die Analyse ihrer Lernfähigkeit und die Erforschung der Prinzipien ihrer Funktionsweise gibt wichtige Hinweise zum Verständnis des allgemeinen Erkenntnisprozesses. Damit lassen sich *Modelle der menschlichen Intelligenz* entwerfen, deren Adäquatheit durch die Untersuchung von spezifischen Gehirnläsionen überprüfbar ist.

Die damit verknüpfte Problematik verlangt einige vertiefende Bemerkungen zum *Spezialthema Doppel-Paradigma IP & CRI*. Die neurologischen constraint-Bedingungen für die intuitive Strukturierung sind eingebettet in ein Modell der menschlichen Intelligenz, das näherungsweise mit dem Doppel-Paradigma „Intuitive Processor“ **IP** und „Conscious Rule Interpreter“ **CRI** von Smolensky, Hofstadter und Dorffner beschrieben wird. (α) Kognitive Fähigkeiten lassen sich an künstlichen informationsverarbeitenden Systemen simulieren. Wichtige Beispiele sind neuronale Netze und Expertensysteme. (β) Elementare epistemische Leistungen – Ähnlichkeit, induktive Schlüsse, Generalisierung, Musterklassifizierung, Mustervervollständigung, Bedeutungszuschreibung, Prototypenbildung von Objekten und kausalen Prozessen – können an neuronalen Netzen simuliert werden. Diese sind fehlertolerant, robust, lernfähig, kodieren Informationen distribuiert und verarbeiten Informationen parallel. (γ) Höhere epistemische Leistungen entstehen aus einem komplexen Zusammenspiel von parallelen und sequentiellen Informationsverarbeitungs-strategien, die ansatzweise mit hybriden Systemen (Kombination von humanoiden Robotern, Expertensystemen und neuronalen Netzen) simuliert werden können, wobei eingeräumt werden muß, daß die bisherigen Erzeugnisse noch sehr verbesserungsbedürftig erscheinen. Trotz allen Vorbehalten läßt sich zumindest vorhersagen, daß die Entwicklung hybrider Systeme durchaus ein vielversprechender Ansatz ist, der einen adäquateren Zugang zur menschlichen Intelligenz eröffnet als die Computerprogrammen der traditionellen **AI**-Forschung. (δ) Als Konsequenz liefert das Doppel-Paradigma **IP & CRI** ein plausibles Modell für die kognitiven Fähigkeiten des Menschen. Hervorzuheben ist dabei, daß dem Doppel-Paradigma eine spezielle Annahme zugrundeliegt, derzufolge prinzipiell alle logik-basierten und regel-basierten epistemischen Leistungen immer auf den Fundamenten der elementaren intuitiven Strukturierungen aufbauen.

Die *epistemischen Konsequenzen* sind bemerkenswert: Wenn das Doppel-Paradigma **IP & CRI** näherungsweise als ein adäquates Paradigma für menschliche Intelligenz gelten kann, dann folgt daraus, daß die traditionelle Sprachphilosophie und die **AI**-Forschung gerade darin zu kritisieren sind, daß sie Intelligenz ausschließlich im Sinne einer Symbolverarbeitung deuten und daß sie Wissen ausschließlich im Sinne von propositionalem Wissen verstehen. Stattdessen müßte die intuitive Strukturierung wieder einen Platz in der Erkenntnistheorie einnehmen und der Wissensbegriff müßte erweitert werden, um erwartungs- und verhaltensrelevantes Wissen zu integrieren. Zugunsten dieser Argumentationskette sprechen zahlreiche voneinander unabhängige Sachverhalte: (α) Mit Blick auf die phylogenetische Entwicklung wird deutlich, daß die elementaren epistemischen Leistungen auch von höher entwickelten Tieren erbracht werden und daß bereits der Frühmensch über diese kognitiven Fähigkeiten verfügt haben muß. Evolutionstheoretisch gesehen sind die höheren epistemischen Leistungen erst spät entstanden. (β) Auch die ontogenetische Reifung zeigt, daß zunächst die senso-motorische Stufe mit den elementaren epistemischen Leistungen entwickelt wird und daß die symbolisch-sprachliche Stufe mit ihren höheren epistemischen

Leistungen in diesem Fundament fest verankert ist. (γ) Abgesehen von der theoretischen Neuroinformatik und völlig unabhängig von ihr, erfährt die Hypothese von den beiden unterschiedlichen Informationsverarbeitungssystemen eine wichtige Unterstützung durch die Kognitionspsychologie. Hier ist es die „dual-process theory“ von Evans und Stanovich, die das System 1 der intuitiven Informationsverarbeitung als Grundlage für das System 2 der rationalen Informationsverarbeitung interpretieren.

Die Genetische Erkenntnistheorie differenziert den Erkenntnisprozeß weiter aus, unterscheidet eine figurative, eine repräsentative und eine operative Strukturierung und weist nach, (α) daß jede Strukturierung nach Maßgabe bestimmter Strukturierungsformen erfolgt, (β) daß diese Strukturierungsformen während der Phase des Architektur-Lernens aufgebaut werden und (γ) daß die Strukturierungsformen im Zusammenhang mit dem Struktur-Lernen der extensionalen, intensionalen und strukturellen Anreicherung unterliegen.

- (i) Die **figurative Strukturierung**: Hier ist die Strukturierung der direkten Wahrnehmung angesprochen, d.h. eine Strukturierung statischer und dynamischer Phänomene im drei-dimensionalen Raum und gemäß der Prototypenbildung von Objekten und kausalen Prozessen. Diese Strukturierungsleistung wird in der ontogenetischen Reifung bereits während der ersten Stufe (senso-motorische Stufe) aufgebaut und auf den höheren Entwicklungsstufen durch spezifische Strukturen angereichert.
- (ii) Die **repräsentative Strukturierung**: Dies meint eine Repräsentation, die eine Ablösung des Denkens von konkreten Wahrnehmungen und Handlungen ermöglicht und es erlaubt, die Aufmerksamkeit auf wenige Aspekte zu fokussieren, die als besonders relevant bewertet werden bzw. von Aspekten zu abstrahieren, die als irrelevant gelten können. Mit der Verwendung von Symbolen ist eine Reduktion von Komplexität und die Einnahme verschiedener Perspektiven möglich. Diese Strukturierungsleistung wird in der ontogenetischen Reifung ab der zweiten Stufe (symbolisch-sprachliche Stufe) aufgebaut und auf den höheren Entwicklungsstufen ständig qualitativ und quantitativ erweitert.
- (iii) Die **operative Strukturierung**: Sie beschreibt Erkenntnisse, sofern diese sich auf die Struktur von Handlungen beziehen. Die Möglichkeit der Wiederholung, der Kombination, der Koordination und der Reversibilität (Inversion, Reziprozität) von Zustandstransformationen zeigt, daß es Zustandsänderungen gibt, die bestimmten Strukturierungsgesetzen im Sinne operativer Strukturgesetze (Gruppenstrukturen etc.) unterliegen. Diese Strukturierungsleistung wird in der ontogenetischen Reifung hauptsächlich während der dritten Stufe (operationale Stufe) und während der kulturellen Standardausbildung aufgebaut und auf den höheren Entwicklungsstufen durch spezifische Strukturen angereichert.

Unter dem *Schlüsselbegriff* „**Strukturierungsformen**“ sind Bedingungen der Möglichkeit von Erkenntnis zu verstehen, die in einer gewissen Analogie zu Kants Formen der Anschauung und Kategorien des Denkens stehen. (α) Im Unterschied zu Kant müssen die Strukturierungsformen aber aus der ontogenetischen Reifung erschlossen und als mit dem Lernprozeß veränderbar gedacht werden. Damit verlieren sie den Status der Allgemeinheit und Notwendigkeit, sowie ihre wirklichkeits-konstituierende Funktion. (β) Die speziellen Strukturierungsformen, die in der ontogenetischen Reifung und der kulturellen Standardausbildung aufgebaut werden und zur mesokosmischen Strukturierung führen, liegen auch den wissenschaftlichen Strukturierungen zugrunde – wengleich auch in strukturell modifizierter und erweiterter Form. (γ) Die Strukturierungsformen der ersten Stufe beziehen sich auf die Konzepte „Raum“, „Bewegung“, „Substanz“ und „Kausalität“. Es handelt sich demnach um Konzepte, die – begrifflich gefaßt – gerade im Zusammenhang mit den modernen physikalischen Theorien in Verruf geraten. (δ) Die Strukturierungsformen der zweiten Stufe beziehen sich auf vier Grundformen der Repräsentation „Figur“, „Zahl“, „Experiment“ und „Sprache“. Hier handelt es sich um Konzepte, die im Zusammenhang mit den physikalischen Theorien einerseits zu immer effektiveren Instrumenten des Wissenserwerbs und andererseits zu Kontrollinstanzen weiterentwickelt werden. (ε) Die Strukturierungsformen der dritten Stufe ermöglichen ein operatives Mathematikverständnis, indem sie auf die Abgeschlossenheit von Rechenoperationen abzielen. Sie liefern den Prototyp einer struktur-orientierten, rationalen Intuition, die von einer phänomen-orientierten, sinnlichen Intuition zu unterscheiden ist.

Die damit verknüpfte Problematik verlangt einige vertiefende Bemerkungen zum *Spezialthema operatives Mathematikverständnis*. (α) Die Fähigkeit zur Handlung ist eine fundamentale Bedingung der Möglichkeit von Erkenntnis. Die Evolutionstheorie spricht hier von einem Schlüsselereignis im Zusammenhang mit der Aufrichtung des Frühmenschen zum Zwei-Füßler. (β) Von besonderem Interesse sind Handlungen als Zustandstransformationen, die bestimmten Strukturgesetzen unterliegen. Damit sind diejenigen Handlungen gemeint, die wiederholbar, generalisierbar, kombinierbar und reversibel sind. (γ) Die Strukturgesetze lassen sich mathematisch beschreiben – beispielsweise durch Gruppenstrukturen. Der Kerngedanke ist dabei die Abgeschlossenheit der Strukturen unter Zustandstransformationen. (δ) Umgekehrt gewendet bedeutet dies, daß die Wurzeln des logischen und mathematischen Denkens nicht allein in der Sprache und in einer statischen Anschauung zu suchen sind, sondern in den Strukturgesetzen, die den Handlungen zugrundeliegen. Möglichkeiten der Veranschaulichung bietet die Erweiterung der statischen Anschauung um eine dynamische Anschauung. (ε) Insbesondere wird in der Wissenschaft der Unendlichkeitsbegriff wichtig (mathematisches Kontinuum, vollständige Induktion), der sich einer Veranschaulichung grundsätzlich entzieht und nur noch durch den Rückgriff auf abstrakte Rechenregeln handhabbar ist. (ς) Als Konsequenz eröffnet dies die Möglichkeit zu einem prinzipiell neuen Mathematikverständnis – und zwar zu einem operativen Mathematikverständnis in einer

analytisch-algebraischen Formulierung im Gegensatz zu einem nur figurativen Mathematikverständnis in einer synthetisch-geometrischen Formulierung.

Die *epistemischen Konsequenzen* sind bemerkenswert: Das im Zuge dieses Wandels neu erarbeitete mathematische Instrumentarium liefert eine der wirkungsvollsten Kontrollinstanzen zur Überprüfung von Geltungsansprüchen wissenschaftlicher Ergebnisse. Des weiteren eröffnet das operative Mathematikverständnis den Zugang zu abstrakten Strukturen der Wirklichkeit, die nicht mehr an die Konstruktion der Gegenstände in der Anschauung gebunden und nur durch eine rationale Intuition erfaßbar sind. Zugunsten dieser Argumentationskette sprechen zahlreiche voneinander unabhängige Sachverhalte: (α) In der Geschichte der Mathematik läßt sich der skizzierte fundamentale Wandel im Mathematikverständnis mit den Schriften von Descartes, Fermat und Leibniz genau datieren. (β) Die Entwicklung der Naturphilosophie verläuft weitgehend parallel: Ausgehend von einer eher kontemplativen Naturbetrachtung in der Antike verändert sich die Naturbeschreibung der Neuzeit mit Galilei und betont Experiment und Mathematik. (γ) Traditionelle Erkenntnislehren verweisen auf die epistemisch relevante Rolle der Sinneswahrnehmungen und eine, auf Sprache bezogene Verstandestätigkeit. Sie würdigen aber gerade nicht die Handlung im Zusammenhang mit der Möglichkeit einer neuen Art von Erkenntnis. (δ) Dieser grundlegende Aspekt wird offensichtlich auch von Kant übersehen. Weder erhält das Experiment einen systematischen Ort in seiner Transzendentalphilosophie, noch reflektiert er die epistemischen Konsequenzen eines operativen Mathematikverständnisses. Kant verkennt die Bedeutung der Werke zur analytischen Darstellung der Mechanik (Euler 1736, Lagrange 1788). Sein eingeschränktes Mathematikverständnis läßt daher auch den Begriff der rationalen Intuition überflüssig erscheinen.

Auf dem Hintergrund der bisherigen Argumentationsstrategien wird der traditionelle Wissensbegriff erweitert und einen neuen *Schlüsselbegriff* „Wissen“ etabliert. Die traditionelle Position besagt, daß nur dies als Wissen gelten kann, was in begrifflicher Formulierung zur Verfügung steht und damit explizit Gegenstand inferentieller Methoden ist. Die nicht-expliziten Anteile des Wissens geraten so aber aus dem Blickfeld. Außerdem wird damit unterstellt, daß es möglich ist, eine strikte Grenze zu ziehen, zwischen dem verbalen Wissen und den non-verbalen, aber erwartungs- und verhaltensrelevanten Meinungen. Die Untersuchungen der theoretischen Neuroinformatik zum Problem der Wissensrepräsentation stellen die Adäquatheit dieser Position nachhaltig in Frage und betonen, daß Wissen immer in ein „Weltbild“ eingebettet ist. Es sind demnach auch Wissensaspekte zu integrieren, die als teilweise nicht-bewußt bleibende metaphysische Annahmen über die Natur in wissenschaftliche Theorienkonstruktionen eingehen. Die Fruchtbarkeit dieses erweiterten Wissensbegriff besteht also gerade darin, daß es in der Retrospektive gelingt, die impliziten Anteile der intuitiven Strukturierung in den empirischen Wissenschaften durch den Verweis auf erwartungs- und verhaltensrelevantes Wissen dingfest zu machen.

Nach der Klärung der wichtigsten constraint-Bedingungen zum Wissenserwerb lassen sich Geltungsfragen stellen. Dazu wird der *Schlüsselbegriff* „Evidenz“ benötigt. Dieser sichert dann den Übergang von dem bescheideneren Begriff „intuitive Strukturierung“ zum anspruchsvolleren Begriff „intuitive Erkenntnis“. Begrifflich ist des weiteren zu unterscheiden zwischen zwei Begriffsbedeutungen: (α) Die *subjektive Evidenz* kann im Lichte der Gestaltpsychologie, der Entwicklungspsychologie und der Simulation kognitiver Leistungen an neuronalen Netzen verstanden werden im Sinne eines persönlichen Evidenzerlebnisses. (β) Die *objektive Evidenz* im Sinne eines gesicherten Wirklichkeitsbezugs kann sich bestenfalls auf Strukturen beziehen. Bereits auf der Grundlage des neurologischen Befundes, der das Extrahieren von Strukturen hervorhebt, ist absehbar, daß es – neben dem Experiment – gerade die Mathematik ist, der in herausragender Weise die Herstellung des Wirklichkeitsbezugs zukommt und zwar im Sinne einer operativ und nicht nur figurativ verstandenen Mathematik. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie lehrt indes, daß die Strukturierungsalternativen durch constraint-Bedingungen eingeschränkt werden, aber niemals in dem Maße, daß nur eine einzige Strukturierungsmöglichkeit übrigbleibt und daher kann folgerichtig, die objektive Evidenz immer nur im relativen Sinne zu verstehen sein.

Aufbau der Studie

Der *erste Teil* der Studie entwickelt die Grundzüge einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie im Sinne einer *constraint-Theorie*, d.h. es werden diejenigen Bedingungen benannt, die den Spielraum für Strukturierungsalternativen immer weiter einschränken. Die speziellen Disziplinen, deren Ergebnisse einbezogen werden, sind: (α) die Evolutionstheorie, (β) die Entwicklungspsychologie, (γ) die Gestaltpsychologie, (δ) die empirischen Neurowissenschaften und (ϵ) die theoretische Neuroinformatik.

Kapitel 1.1 steckt das allgemeine Problemfeld ab, skizziert die verschiedenen Facetten der Erkenntnisbedingungen und plädiert für eine *empirisch gestützte Erkenntnistheorie*. Da die Frage nach einer „Mitsprache“ empirischer Disziplinen in der Erkenntnistheorie heftig umstritten ist, werden im Vorfeld mögliche Einwände entkräftet, bestehende Konkurrenzangebote abgegrenzt und einige wichtige Argumente für die Einbeziehung empirischer Ergebnisse dargestellt. Im wesentlichen sprechen zwei Gründe für eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie, wie sie in dieser Studie vorgeschlagen wird: (α) Das Argument von der spiralförmigen Entwicklung der Erkenntnistheorie begründet, daß und warum empirische Wissenschaften in die Erkenntnistheorie prinzipiell „hineinreden“ dürfen, sollen und müssen. (β) Das Argument von der Einbeziehung mehrerer empirischer Disziplinen beruft sich darauf, daß empirische Aussagen zum Erkenntnisprozeß genau dann als gut begründet und damit als glaubwürdig gelten können, wenn sie von verschiedenen, voneinander unabhängigen empirischen Disziplinen bestätigt werden.

Kapitel 1.2 nimmt die phylogenetische Perspektive des Erkenntnisprozesses in den Blick und betont das adaptionsistische Merkmal. Grundlage ist die Evolutionstheorie und insbesondere die evolutionäre Erkenntnistheorie von Vollmer. Die Fähigkeiten zur Sprache und Handlung ermöglichen es dem Menschen im Gegensatz zu nicht-menschlichen kognitiven Systemen, mehrfache Bezüge zur Wirklichkeit herzustellen und *Strukturierungsalternativen* zu entwickeln. Damit eröffnet sich grundsätzlich ein weites Spektrum von Möglichkeiten zur Erkenntnis, aber auch zum Irrtum. Es wird diskutiert, inwiefern der Zwang zum überlebensadäquaten Handeln den Spielraum für den Irrtum zwar einengt, ihn aber nicht völlig ausschließt. Die von Vollmer eingeführte Einteilung in *mesokosmische Strukturierung* und *wissenschaftliche Strukturierung* liefert wichtige Beispiele für Strukturierungsalternativen. Diese Unterscheidung erweist sich als unverzichtbar für ein differenziertes Verständnis des Wissenserwerbs. Die mesokosmische Strukturierung bildet den Ausgangspunkt der wissenschaftlichen Strukturierung und die Untersuchung ihrer charakteristischen Merkmale ist daher grundlegend für die Erörterung der partiellen Abkehr der modernen Wissenschaften von den mesokosmischen Begriffen und Prinzipien.

Kapitel 1.3 behandelt den Erkenntnisprozeß in seiner ontogenetischen Perspektive und erörtert das konstruktivistische Merkmal. Grundlage ist die Entwicklungspsychologie, die empirische Sprachforschung und insbesondere die Genetische Erkenntnistheorie von Piaget. Kerngedanke ist ein stufenartiger Reifungsprozeß, der zwei miteinander korrelierte Seiten aufweist: (α) der Aufbau der Intelligenz und (β) die Konstruktion spezieller Strukturen der Wirklichkeit. Das Ergebnis jeder Stufe ist eine Wirklichkeit, die gemäß den komplementären Mechanismen der Assimilation und Akkomodation konstruiert ist. Damit wird ein Zustand innerer Kohärenz erreicht, der das erkennende Subjekt mit einem Evidenzerlebnis belohnt, demzufolge alle Widersprüche im Gedankensystem als völlig ausgemerzt erscheinen. Die stufenartige Entwicklung – senso-motorische Stufe, symbolisch-sprachliche Stufe und operationale Stufe – wird in detail beschrieben; dies erlaubt dann die Konkretisierung von *Strukturierungsformen* und ihrer *Dynamik*. Insbesondere zeigt sich dabei, daß Wissen auch in nicht-propositionaler, aber erwartungs- und verhaltensrelevanter Form vorliegen kann. Auf diesem Hintergrund wird dann ein verallgemeinerter *Wissensbegriff* etabliert. Die Genetische Erkenntnistheorie argumentiert nachdrücklich für einen Wissensbegriff, der – neben dem sprachlichen – auch den figurativen und operativen Aspekt berücksichtigt. Insbesondere untersucht diese Studie den operativen Aspekt des Wissens, d.h. sie analysiert den konstruktivistischen Aufbau der Begriffe „Invarianz“, „Zahl“ und „Zeit“ und weist nach, daß es sich dabei um komplexe Konzepte handelt, die nur mit einer bereits *belehrten rationalen Intuition* einsichtig werden.

Kapitel 1.4 diskutiert den Prototyp einer *intuitiven Strukturierung* im Zusammenhang mit der visuellen Wahrnehmung. Grundlage ist die Gestaltpsychologie. Jedes kognitive System strukturiert die Sinnesdaten intuitiv, d.h. es wählt automatisch und nicht-bewußt aus der

Vielzahl möglicher Strukturierungen eine Variante aus. An diesem Prototyp lassen sich die charakteristischen Merkmale einer sinnlichen Intuition en detail studieren. Die intuitive Strukturierung (α) ist schlaglichtartig, ganzheitlich und ungeprüft; (β) ergänzt erfahrungsabhängig fehlenden oder unvollständigen Input; (γ) fokussiert die Aufmerksamkeit und wählt aus der gesamten Datenflut die relevanten Anteile aus; (δ) macht nicht-bewußte und unausgesprochene Annahmen, die dann den Rang epistemologischer Notwendigkeiten aus Mangel an Alternativen im Sinne Putnams aufweisen; (ϵ) wird genau dann automatisch belehrt, wenn der sensorische Input nicht sinnvoll erscheint; (ζ) unterliegt erfahrungsunabhängigen, hierarchisch geordneten Gestaltgesetzen; (η) ist irrtumsanfällig und (ϑ) entfaltet ein großes kreatives Potential.

Kapitel 1.5 befaßt sich mit den neuronalen Bedingungen für den Wissenserwerb. Dabei geht es um die Architektur des Gehirns, die strukturellen und funktionalen Aspekte sowie die Klärung der Mechanismen der *Informationskodierung* und der *Informationsverarbeitung*. Grundlage sind die Ergebnisse der empirischen Neurowissenschaften und der theoretischen Neuroinformatik. Mit Blick auf die intuitive Strukturierung wird die Frage nach bestimmten elementaren kognitiven Fähigkeiten – Ähnlichkeit, induktive Schlüsse, Generalisierung, Musterklassifizierung, Mustervervollständigung, Bedeutungszuschreibung, Prototypenbildung von Objekten und kausalen Prozessen – gestellt und im Rückgriff auf die distribuierte und parallele Informationsverarbeitung neuronaler Netze partiell beantwortet. Bereits an einfachen neuronalen Netzen – Rosenblatt-Netze, Hopfield-Netze, Kohonen-Netze, Ritter-Kohonen-Netze, Rumelhart-Netze und Elman-Netze – lassen sich Grundzüge des Lernprozesses studieren und dabei klären, in welcher Weise elementare kognitive Fähigkeiten mit speziellen Netz-Architekturen zusammenhängen. Auf diesem Hintergrund wird schließlich das *Doppel-Paradigma IP & CRI* motiviert und entwickelt, das ein vielversprechendes Modell der menschlichen Intelligenz darstellt.

Der *zweite Teil* der Studie schlägt einen neuen *Begriff* „*intuitive Erkenntnis*“ vor, der auf dem Boden der zuvor erarbeiteten empirisch gestützten Erkenntnistheorie expliziert wird. Dabei werden wichtige Aspekte dieses Begriffs, die von den rationalistisch orientierten Erkenntnislehren erfaßt werden, aber mit Kants Lehre von den Formen der Anschauung wieder verlorengehen, erneut integriert. Anschließend werden *Funktionen* und *Grenzen* der intuitiven Erkenntnis für die Theorienkonstruktion und das Theorienverständnis diskutiert und ein *7-Stufen-Modell* entworfen, das den Wandel der Maßstäbe für das, was als eine intuitiv-einsichtige Theorie gelten kann, nachzeichnet.

Kapitel 2.1 beginnt mit einem historischen Abriß zum Schicksal der intuitiven Erkenntnis in der Philosophie und schließt mit einer gemäßigten Kritik an der rigorosen Kritik der Analytischen Wissenschaftstheorie. Ausgehend von der zentralen Stellung der intuitiven Erkenntnis im Erkenntnisprozeß, wie sie antike und neuzeitliche Erkenntnislehren annehmen,

wird der Wandel in der Einschätzung der intuitiven Erkenntnis nachgezeichnet bis hin zur vernichtenden Kritik, wie sie die empiristisch orientierte Analytische Wissenschaftstheorie vorbringt. Es ergeben sich drei Konklusionen: (α) Es lassen sich verschiedene *Begriffsvarianten* (phänomen-orientierte, sinnliche Intuition der Empiristen; begriffsorientierte, rationale Intuition der Rationalisten; Anschauung Kants) identifizieren, die sorgsam zu unterscheiden und in unterschiedlicher Weise kritikwürdig sind. (β) Platon und Descartes sprechen im Zusammenhang mit der Frage des Wissenserwerbs den wichtigen Aspekt der *Belehrung der rationalen Intuition* im Lernprozeß bzw. im Prüfverfahren an. Damit erfassen sie – ungeachtet anderer, teilweise höchst problematischer Aspekte – den dynamischen Aspekt der Intuition prinzipiell zutreffend. (γ) Sowohl die *rationale Intuition* als auch ihre *Belehrung* sind sowohl der Lehre von den Formen der Anschauung Kants als auch der vernichtenden Kritik der Analytischen Wissenschaftstheorie völlig zu Unrecht zum Opfer gefallen und müssen im Zuge einer adäquaten Analyse des Erkenntnisprozesses wieder integriert werden.

Kapitel 2.2 skizziert den Wandel der intuitiven Erkenntnis im Mathematik- und Naturverständnis ausgehend von der Antike bis hin zur Neuzeit. Hier wird en detail herausgearbeitet, daß die Antike nur über ein *figuratives Mathematikverständnis* verfügt, das einerseits die Konstruktion von geometrischen Figuren mit Zirkel und Lineal behandelt und andererseits einen sehr eingeschränkten Zahlbegriff verwendet, der einer anschaulichen Darstellung durch „Rechensteinchen“ zugänglich ist. Erst mit dem Wandel des Mathematikverständnisses, der von Descartes und Leibniz durch die analytisch-algebraische Formulierung eröffnet wird, ist die Option für eine rasante Erweiterung des Zahlbegriffs gegeben. Damit verbindet sich ein *operatives Mathematikverständnis*, das die Abgeschlossenheit der Rechenoperationen in den Vordergrund stellt und später exemplarisch im Begriff „Gruppe“ zum Ausdruck kommt. Bereits die Antike favorisiert – insofern sie in platonisch-pythagoreischer Tradition steht – eine mathematisierte Naturbeschreibung. Auf diesem Hintergrund und mit dem neuen Mathematikverständnis kann sich als Konsequenz ein Naturverständnis anschließen, das mit den Möglichkeiten einer analytisch-algebraischen Formulierung den Zugang zu den kontra-intuitiven Strukturen der Wirklichkeit aufzeigt. Als Ergebnis wird gezeigt, (α) daß die verschiedenen Intuitionsbegriffe der traditionellen Erkenntnislehren in wesentlichen Aspekten zu kurz greifen, (β) daß insbesondere im Hinblick auf ein operatives Mathematikverständnis der Intuitionsbegriff neu expliziert werden muß und (γ) daß und warum die Einsichten von Mathematikern und Physikern zur Funktion der Intuition in einer adäquaten Erkenntnislehre berücksichtigt werden müssen.

Kapitel 2.3 greift die Ergebnisse des ersten Teils der Studie auf, verbindet sie mit den Einsichten der traditionellen Erkenntnislehren und entwirft einen neuen Begriff „intuitive Erkenntnis“. Der als berechtigt ausgewiesene Teil der Kritik der Analytischen Wissenschaftstheorie und die gut begründeten Einsichten der Mathematiker und Physiker zur

Rolle der intuitiven Erkenntnis werden in dieser Begriffsbestimmung berücksichtigt. Die traditionelle Einteilung der Erkenntnisarten, die mit den Begriffen „intuitiv“ und „diskursiv“ belegt ist, wird mit den neurologischen Befunden der parallelen und sequentiellen Informationsverarbeitung in Verbindung gebracht. Auf dieser Grundlage lassen sich (α) die intuitiven Strukturierungen im Sinne eines *drei-komponentigen Begriffskontinuums* (phänomen-orientierte, sinnliche Intuition; symbol-orientierte, rationale Intuition; struktur-orientierte, rationale Intuition) explizieren, (β) Zusammenhänge mit den *Strukturierungsformen* herstellen, (γ) zwischen einer unbelehrten und einer *belehrten Intuition* unterscheiden und (δ) mehrere *Belehrungsvorgänge* aufzeigen, die durch ganz unterschiedliche Merkmale charakterisiert sind. Abschließend steht der Begriff „Evidenz“ der traditionellen Philosophie auf dem Prüfstand. Im Zusammenhang mit der Rechtfertigung einer Theorie wird – insbesondere bei Descartes – der intuitiven Erkenntnis die Evidenz als charakteristisches Merkmal zugeschrieben. Dieser Begriff wird aus dem Blickwinkel der Gestaltpsychologie, der Genetischen Erkenntnistheorie und der theoretischen Neuroinformatik kritisch beleuchtet. Dabei unterscheidet die Studie zwischen einer *subjektiven Evidenz*, die in einem persönlichen Evidenzerlebnis wurzelt und einer *objektiven Evidenz*, die sich zwar einstellt, wenn alle zur Verfügung stehenden *Kontrollinstanzen* eingesetzt sind, die aber grundsätzlich nie im absoluten Sinne vorliegt.

Kapitel 2.4 erörtert die *Funktionen* und *Grenzen* der intuitiven Erkenntnis im Hinblick auf die Theorienkonstruktion einerseits und das Theorienverständnis andererseits. Dabei wird in detail herausgearbeitet, wie die intuitive Erkenntnis die Metaphysik, die Leitmetapher, die Methodenideale und die Kontrollinstanzen begründen will, was sie zur Anschaulichkeit beiträgt und in welchem Sinne sie den Wirklichkeitsbezug herstellt. Mit Blick auf die Physik-Didaktik wird dafür geworben, von einer statischen Anschauung ausgehend, systematisch die Möglichkeiten einer *dynamischen Anschauung* zu erschließen. Insbesondere die Fragen der Anschaulichkeit einerseits und des Wirklichkeitsbezugs andererseits können nur angemessen beantwortet werden auf dem Hintergrund einer Intuition, die als ein Begriffskontinuum begriffen wird und zwar deshalb, weil sich die *Anschaulichkeit* wesentlich einer phänomen-orientierten, sinnlichen Intuition bedient, wohingegen der *Wirklichkeitsbezug* hauptsächlich mit einer struktur-orientierten, rationalen Intuition verknüpft ist. In diesem Zusammenhang lassen sich dann auch die Grenzen der intuitiven Erkenntnis ziehen und den eingangs skizzierten Dissens zwischen Philosophen, Wissenschaftstheoretikern, Mathematikern und Physikern auflösen.

Kapitel 2.5 beschäftigt sich mit der *Anwendung* des neu explizierten Begriffs „intuitive Erkenntnis“ auf die Physik und versucht so, die Fruchtbarkeit und Erklärungskraft der Begriffsexplikation zu belegen. Die historische Entwicklung der Physik – von ihren ersten Anfängen in der Antike bis hin zu den modernen Theorien des 21. Jahrhunderts – ist charakterisiert durch einen zunehmenden Verlust an Anschaulichkeit und eine zunehmende

Akzeptanz kontra-intuitiver Erkenntnisse. Im Gegenzug werden Gewinne erzielt im Hinblick auf den Wirklichkeitsbezug, die sich einerseits in einer experimentell-technischen Erweiterung des Phänomenbereiches und andererseits in einer logisch-mathematischen Vereinheitlichung der Naturbeschreibung manifestieren. Dieser Sachverhalt wird exemplarisch an einigen besonders wichtigen Marksteinen der naturwissenschaftlichen Geschichte skizziert und in einem *7-Stufen-Modell intuitiver Theorien* entwickelt. Dabei wird deutlich, daß der Verlust an Anschaulichkeit als ein Wandel der Maßstäbe dafür, was als intuitiv-einsichtige wissenschaftliche Theorie gelten soll, verstanden werden kann. Die Änderung der Maßstäbe meint im Kern den Übergang von den Strukturierungsformen der mesokosmischen Strukturierung zu immer neuen modifizierten Strukturierungsformen, verbunden mit einer Verschiebung der Intuition auf der mesokosmischen Phänomenebene hin zu einer Intuition auf einer abstrakten, mathematisch formalisierten Strukturebene, die sich auf eine technisch veränderte Wirklichkeit bezieht.

Forschungsperspektiven

Die vorliegende Studie läßt zahlreiche *Forschungsfragen* unbeantwortet und eröffnet daher weitere Forschungsperspektiven – und dies insbesondere in vier Richtungen:

- (i) ***Erkenntnistheorie:*** Diese Studie wirbt für die Etablierung eines neuen *Paradigmas*: Die Erkenntnistheorie muß die Ergebnisse der empirischen Wissenschaften ernst nehmen und einbeziehen – sie muß eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie sein. Demzufolge wird die Erkenntnistheorie nicht als logisch vorgeordnet und unveränderbar angesehen, sondern als revidierbar im Lichte der empirischen Wissenschaften. Damit kann und muß unter zwei Perspektiven weitergefragt werden: (α) Welche empirischen Wissenschaften geben wichtige Auskünfte zum Wissenserwerb und müssen demnach ebenfalls ihren Platz finden in einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie? Hier sind beispielsweise die Ergebnisse einer Sozialen Erkenntnistheorie zu berücksichtigen, sowie die Untersuchungen zu kulturvergleichenden Aspekten des Wissens. (β) Die tiefgreifendsten Veränderungen für das Menschenbild sind zweifelsohne von den empirischen Neurowissenschaften und der theoretischen Neuroinformatik zu erwarten. Dabei ist dann zu fragen: Welche philosophische Relevanz haben die jeweils aktuellsten Ergebnisse?
- (ii) ***Wissenschaftstheorie:*** Diese Studie betont die *impliziten Annahmen* des Wissens, d.h. nicht-bewußte Voraussetzungen, die als constraint-Bedingungen wirksam sind. Das Auftreten dieser impliziten Wissensanteile ist die direkte Konsequenz aus einem verallgemeinerten Wissensbegriff: Wissen wird nicht nur als propositional formuliertes Wissen begriffen, sondern schließt auch erwartungs- und verhaltensrelevantes Wissen ein. Der Wissensbegriff kann unter der Metapher einer „Wissenslandschaft“ verstanden werden, wobei die „Berge“ für die bewußten,

expliziten Wissensinhalte stehen und die „Täler“ die nicht-bewußt bleibenden, impliziten Wissensinhalte darstellen. In den empirischen Wissenschaften treten die metaphysischen Annahmen häufig als implizites Wissen auf und werden unter zwei Aspekten wirksam: (α) als nicht-bewußte, versteckte Annahmen und (β) als vermeintlich evidente Annahmen aus einem Mangel an Alternativen. Es ist offensichtlich, daß die Erforschung der impliziten Wissensinhalte immer nur aus der „Sicht des Klügeren“ und damit aus der Retrospektive vorgenommen werden kann. Die entsprechende Forschungsfrage lautet: Welche impliziten Annahmen sind in der Entwicklung der Naturphilosophie wirksam gewesen?

- (iii) **Quantenphysik:** Diese Studie argumentiert für einen Intuitionsbegriff, der im Sinne eines Begriffskontinuums verstanden wird. Ein zentraler Aspekt ist dabei die Möglichkeit der *Belehrung der Intuition*. Die Quantenphysik gilt in besonderer Weise als kontra-intuitiv und damit schließt sich die Frage an: Welche Rolle spielt die Intuition für das Verständnis der Quantenphysik und in welcher Weise wird gerade hier die Belehrung der Intuition besonders wichtig?
- (iv) **Physik-Didaktik:** In dieser Studie werden die traditionellen Erkenntnislehren, die sich nur auf die kognitiven Fähigkeiten zur Sinneswahrnehmung, zur Sprache und zur Reflexion sprachlicher Strukturen konzentrieren um einen wichtigen Aspekt erweitert: die Fähigkeit zur *Handlung* und die damit verknüpften erkenntnistheoretischen Konsequenzen. Psychologische Untersuchungen stellen fest, daß der Übergang von der konkret-operationalen hin zur formal-operationalen Phase nur unzureichend vollzogen wird mit der Folge, daß physikalische Sachverhalte als schwer verständlich bewertet werden. Dies sollte Anlaß genug sein, die Physik-Didaktik zu überprüfen und eventuell neu zu konzipieren. Die Physik-Didaktik ist noch immer vorwiegend an einer *statischen Anschaulichkeit* (gestützt auf die Sinneswahrnehmungen, bezogen auf starre Körper) orientiert und offensichtlich viel zu wenig an einer *dynamischen Anschaulichkeit* (gestützt auf die Handlungsfähigkeit, bezogen auf deformierbare Körper) interessiert. Wenn sie also den Studierenden die abstrakten mathematischen Strukturen verständlicher machen will, müßte sie die Strukturen konkreter Handlungen stärker thematisieren. Damit ist gemeint, daß Anleitungen nötig sind, (α) Handlungen konkret auszuführen, die bestimmten mathematischen Strukturen (Gruppenstrukturen) genügen und (β) die Strukturen dieser Handlungsmöglichkeiten zu reflektieren. Dabei geht es dann um die Forschungsfrage: Wie können die Strukturen der Handlungen „sichtbar“ gemacht werden und wie können, von einer statischen Anschauung ausgehend, systematisch die Möglichkeiten einer dynamischen Anschauung erschlossen werden?

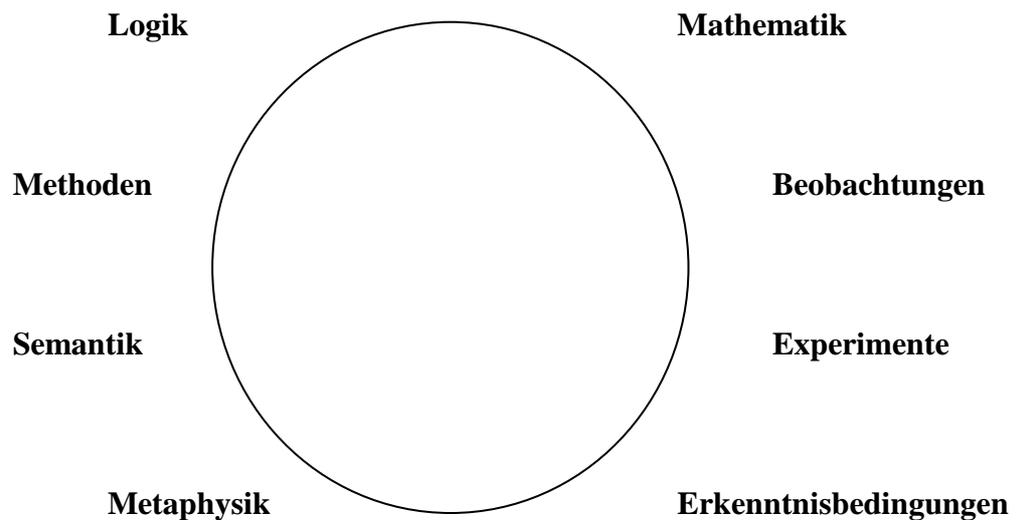
1 Grundzüge einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie

Naturerkenntnis ist ein kompliziertes Geflecht aus Beobachtung, Experiment, Logik, Mathematik, Semantik und Methode. Aussagen über die Natur sind zuallererst das Geschäft der empirischen Wissenschaften: Physik, Chemie, Biologie etc. Sie haben die Aufgabe der Theorienkonstruktion. Diejenige Disziplin aber, die sich auf der *Metaebene* mit dem komplexen Zusammenspiel empirischer, logischer, mathematischer, semantischer und methodischer Elemente beschäftigt, ist die *Theoretische Philosophie*. Sie gibt Auskunft darüber, welche Rolle jedes der genannten Elemente in den Theorien spielt. Eine wichtige Aufgabe der Philosophie ist demnach die Reflexion über Theorien – die Untersuchung der Vorannahmen, Grenzen, Reichweiten, Schlußverfahren und Konsequenzen naturwissenschaftlicher Theorien. Die Philosophie sammelt nicht nur Tatsachen über den faktisch vorfindbaren Wissenschaftsprozess; sie entwickelt keine Normen für eine ideale Forschungspraxis; sie versucht nicht, empirische Wissenslücken durch eigene Erkenntnisquellen zu schließen; sondern sie reflektiert kritisch und systematisch die Prinzipien und Ergebnisse naturwissenschaftlichen Vorgehens. In diesem Verständnis ist die Theoretische Philosophie eine *Reflexionswissenschaft*, die für das Grundsätzliche zuständig ist. Dabei ist zu betonen, daß sie nicht ein Ensemble endgültiger Wahrheiten zutage fördert, sondern eine nie endende Reflexion über immer dieselben Fragen und Probleme zu den Grundlagen der Naturerkenntnis anstellt. Der Gegenstand ihrer Reflexionen sind die empirischen Wissenschaften. Sie reflektiert demnach die Art und Weise, wie die empirischen Wissenschaften über die Natur reden.¹

Naturerkenntnis ist etwas historisch Gewordenes. Ein tieferes Verständnis physikalischer Theorien läßt sich gewinnen, wenn die systematischen Fragen in ihrer historischen Entwicklung verfolgt werden. Wie kommt der wissensdurstige Mensch zu den naturphilosophischen Grundbegriffen, Prinzipien, Strukturen und Theorien? Zur Beantwortung dieser Fragen werden in dieser Studie zwei komplementäre Entwicklungslinien verfolgt und miteinander verknüpft: (α) die *historischen Fragestellungen* zur Naturerkenntnis, die durch die naturphilosophische Tradition vorgegeben sind und (β) die *systematischen Fragestellungen* zur Naturerkenntnis, die auf die Lösung von Sachproblemen zielen.

¹ Heinrich Hertz hat die unterschiedlichen Aufgaben eines Physikers und eines Naturphilosophen einmal pointiert herausgestellt. In einem Dialog läßt er den Physiker zum Naturphilosophen sagen: „Ich untersuche die Tatsachen der Natur, und du untersuchst die Schwierigkeiten, welche der menschliche Verstand findet, sie zu begreifen.“

Naturerkenntnis gleicht einem Spinnennetz. Die empirischen, logischen, mathematischen, semantischen und methodischen Elemente einer Theorie sind wie die Fäden eines Spinnennetzes miteinander verknüpft. Zu fragen ist jedoch, ob die genannten Elemente bereits ausreichen oder ob weitere wichtige Aspekte hinzugefügt werden müssen. Im Hinblick auf diese Frage denkt die Theoretische Philosophie nicht nur über die naturwissenschaftlichen Theorien nach, sondern insbesondere auch über den Erkenntnisprozeß, der allen empirischen Theorien zugrundeliegt. Um ein adäquates Verständnis dafür zu gewinnen, wie der Naturwissenschaftler zu seinen Theorienkonstruktionen kommt, müssen noch zwei weitere Aspekte berücksichtigt werden: (α) die *Erkenntnisbedingungen*, denen das erkennende Subjekt **S** unterliegt und unter denen Erkenntnis überhaupt zustandekommt und (β) die *Metaphysik*, die Annahmen über die Natur als das zu erkennende Objekt **O** macht, ohne die eine Theorienkonstruktion gar nicht erst auf den Weg gebracht werden könnte. Naturerkenntnis setzt sich somit aus mehreren Elementen zusammen. Dies läßt sich in einem Erkenntniskreis darstellen:



Unter dem Begriff „Metaphysik“ ist hier eine hypothetische Strukturierung des empirischen Gegenstandsbereichs zu verstehen, die als evident akzeptiert wird, obwohl sie teilweise ungeprüft und daher immer vorläufig ist. Die Metaphysik beruht auf allgemeinen Annahmen über die Beschaffenheit der Natur und umfaßt allgemeine theorie-übergreifende Elemente zur Naturbeschreibung. Damit sind Begriffe und Prinzipien zu verstehen, die bereits auf einer Vorstufe zur eigentlichen Theorienkonstruktion als grundlegende Vorentscheidungen festgelegt werden. Zu diesen theorie-übergreifenden Elementen gehören zuallererst die Begriffe „Raum“, „Bewegung“, „Substanz“ und „Kausalität“, aber auch Einfachheits- und Vollkommenheitsideale. In diesem Zusammenhang sind zwei wichtige Problemfelder zu benennen, die genuin philosophischer Art sind: (α) Alle Annahmen über die Natur schließen

alternative, aber ebenfalls mögliche Vorentscheidungen aus. (β) Alle Annahmen über die Natur sind nur teilweise explizit formuliert und bleiben teilweise implizit – weil nicht-bewußt. Es gibt keine empirische Wissenschaft, die ohne solche Ansätze Theorien auf den Weg bringen könnte. Die Physik muß versuchsweise allgemeine Annahmen über die Natur als Grundlage der Theorienkonstruktion formulieren um die chaotische Fülle von Einzelphänomenen zu systematisieren. Die Frage kann daher nicht sein, *ob* metaphysische Annahmen gemacht werden müssen; die Frage kann nur sein, *welche* dies sein können, wie sie zu formulieren sind und mit welchen Plausibilitätsargumenten sie begründet werden. Einerseits können die metaphysischen Annahmen keinen Anspruch auf Notwendigkeit und Endgültigkeit erheben, sie sind stets vorläufig, revidierbar und der Veränderung im Theorienwandel unterworfen. Andererseits müssen die metaphysischen Annahmen aber den Anspruch erheben, eine wirklichkeitsgetreue Beschreibung der Natur zu liefern, wobei der *Wirklichkeitsbegriff* selbst auf dem Prüfstand steht und zum Forschungsgegenstand wird. Insbesondere behauptet die hier angesprochene Metaphysik aber nicht, einen Zugang zum Transzendenten zu erschließen; sie reicht nirgends über die Erfahrung hinaus, sondern klärt die Bedingungen der Möglichkeit jeder Erkenntnis ganz im Sinne Kants – wenngleich auch mit anderen Mitteln. Bereits Aristoteles weist die Formulierung der Begriffe und Prinzipien, die jeder Einzelwissenschaft zugrundeliegen, als Aufgabe der „Ersten Philosophie“ aus. Auch Kant spricht von den „Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft“, die das begriffliche und systematische Fundament der Physik legen und so die Physik als Wissenschaft begründen soll. Die Physik selbst muß dies nicht leisten; ihre Aufgabe ist es, diese Begriffe und Prinzipien vorauszusetzen und sich mit ihrer Quantifizierung zu befassen.²

Die traditionellen Erkenntnislehren schreiben der *intuitiven Erkenntnis* eine konstitutive und damit unverzichtbare Rolle im Erkenntnisprozeß zu. Dabei bleibt jedoch strittig, wie der Begriff zu explizieren und wie die Rolle dieser Erkenntnisart zu bestimmen ist. Diese Studie will die Funktionen und Grenzen der intuitiven Erkenntnis analysieren und ihre Bedeutung für die Entwicklung der Naturerkenntnis von der Antike bis zum 21. Jahrhundert in ihren wichtigsten Aspekten darstellen. Die Begriffsexplikation ist dabei abhängig von der

² Obwohl der Begriff „Metaphysik“ historisch vorbelastet und zum vielgeschmähten Unwort insbesondere der Analytischen Wissenschaftstheorie geworden ist, soll er hier verwendet werden – aus Mangel an geeigneten Ersatzbegriffen. Um Mißverständnissen vorzubeugen soll aber nochmals ausdrücklich hervorgehoben werden, daß sich der hier verwendete Begriff nicht – im Sinne einer Onto-Theologie – auf Aussagen über einen transzendenten Gegenstandsbereich bezieht, sondern auf die „Metaphysik in der Physik“ im Sinne Plancks: „Es hat Zeiten gegeben, in denen sich Philosophie und Naturwissenschaft fremd und unfreundlich gegenüberstanden. Diese Zeiten sind längst vorüber. Die Philosophen haben eingesehen, daß es nicht angängig ist, den Naturforschern Vorschriften zu machen, nach welchen Methoden und zu welchen Zielen hin sie arbeiten sollen, und die Naturforscher sind sich klar darüber geworden, daß der Ausgangspunkt ihrer Forschungen nicht in den Sinneswahrnehmungen allein gelegen ist und daß auch die Naturwissenschaft ohne eine gewisse Dosis Metaphysik nicht auskommen kann. Gerade die neuere Physik prägt uns die alte Wahrheit wiederum mit aller Schärfe ein: es gibt Realitäten, die unabhängig sind von unseren Sinnesempfindungen, und es gibt Probleme und Konflikte, in denen diese Realitäten für uns einen höheren Wert besitzen als die reichsten Schätze unserer gesamten Sinnenwelt.“ (Planck 1926, S. 205)

vorausliegenden epistemologischen Grundposition; diese ist daher zuallererst zu spezifizieren. In 1.1 wird für folgende These argumentiert: Das Fundament, auf dem der Begriff „intuitive Erkenntnis“ zu explizieren ist, sollte eine *empirisch gestützte Erkenntnistheorie* sein. Diese entsteht aus einem konstruktiven Zusammenwirken verschiedener empirischer Disziplinen *und* traditioneller epistemologischer Ansätze im Sinne einer spiralförmigen Entwicklung. Eine so gebaute Erkenntnistheorie ist grundsätzlich immer vorläufig und offen für eine Weiterentwicklung und kann nie abgeschlossen sein. Demzufolge ist eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie „dankbar für alle Zulieferer-Erkenntnisse“ aus dem Lager der empirischen Disziplinen, ohne daß sie dabei gut begründete Einsichten der traditionellen Erkenntnislehren ignoriert oder gar auf ihr umfangreiches Instrumentarium der Begriffsanalyse verzichtet. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie ist einerseits gegen Konkurrenten (modifizierte transzendente Erkenntnistheorie, strikt naturalistische Erkenntnistheorie) abzugrenzen und andererseits gegen Kritik (Zirkelvorwürfe, Irrelevanz empirischer Daten) zu verteidigen.

Das Anliegen des ersten Kapitels ist es, grundlegende Elemente einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie zusammenzutragen und so das benötigte Fundament zu schaffen – dabei darf und muß auf bereits vorhandene Ansätze zurückgegriffen werden. (i) Zunächst geht es um die Erörterung einiger allgemeiner *Facetten der Erkenntnisbedingungen*, die mit einem Plädoyer für eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie abschließt und dabei versucht, diese einerseits gegen mögliche Kritik zu schützen und andererseits gegen die Konkurrenz abzugrenzen. (ii) Dann werden die zentralen Begriffe und die Hauptthesen der *Evolutionären Erkenntnistheorie* von Lorenz, Vollmer, Riedl, Wuketits und Engels vorgetragen. Hier wird die phylogenetische Perspektive des Erkenntnisprozesses in den Blick genommen und das adaptionistische Merkmal betont. (iii) Anschließend geht es um die Grundzüge der *Genetischen Erkenntnistheorie*, die von Piaget, Inhelder, Furth, Fetz und Case entwickelt wurden. Zu ergänzen sind diese Untersuchungen um einige grundlegenden Aspekte zum kindlichen Spracherwerb von Rosch, Eckes und Hoffmann. Hier wird der Erkenntnisprozeß in seiner ontogenetischen Perspektive behandelt und das konstruktivistische Merkmal erörtert. (iv) Des weiteren werden einige Ergebnisse der *Gestaltpsychologie* diskutiert, soweit sie die Gesetzmäßigkeiten einer figurativen Strukturierung betreffen und damit für die intuitive Erkenntnis wesentlich sind. (v) Abschließend geht es im Sinne einer *Neuroepistemologie* von Oeser / Seitelberger, Mainzer, Roth und Hedrich um grundlegende Einsichten der *empirischen Neurowissenschaften* über die Architektur, die Strukturen und Funktionen des Gehirns. Insbesondere ist hier auch die Simulation kognitiver Fähigkeiten an neuronalen Netzen und damit die *theoretische Neuroinformatik* von zentraler Bedeutung. Der Kerngedanke dieser Studie ist, eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie zu konzipieren, die im Sinne einer *constraint-Theorie* zu verstehen ist, wobei die Einsichten in die constraint-Bedingungen den Ergebnissen verschiedener empirischer Disziplinen entstammen.

1.1 Facetten der Erkenntnisbedingungen

Eine grundlegende Voraussetzung für die Beantwortung naturphilosophischer Fragen ist die Untersuchung des *Erkenntnisprozesses*, d.h. die Klärung der Erkenntnisbedingungen, unter denen empirische Theorien zustandekommen. Die verschiedenen Erkenntnislehren von der Antike bis zum 21. Jahrhundert geben unterschiedliche Auskünfte über die einzelnen Aspekte der Erkenntnisbedingungen, sowie die intuitive Erkenntnis und ihren Einfluß auf die Theorienkonstruktion. Hier geht es um Probleme über (i) die *möglichen Gegenstände der Erkenntnis*, (ii) das *Ziel und das Interesse an Erkenntnis*, (iii) die „*richtigen Fragen*“ zum *Erkenntniserwerb*, (iv) die *Möglichkeit von Erkenntnis und ihre Grenzen*, (v) die *Quellen und Arten der Erkenntnis*, (vi) die *sprachliche Formulierung der Erkenntnis*, (vii) der *Fortschritt in der Erkenntnis* und (viii) die *Geltung von Erkenntnis und die Rechtfertigung der Geltungsansprüche*. Auf dem Hintergrund dieser Probleme soll für eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie im Sinne einer constraint-Theorie argumentiert werden.

Es ist zunächst naheliegend, anzunehmen, daß allein die Philosophie zuständig ist um die Erkenntnisbedingungen zu klären und das epistemologische Fundament für die Formulierung empirischer Theorien zu legen. Das entscheidende Argument für diese These besagt, daß die Epistemologie jeder empirischen Disziplin *logisch vorgeordnet* ist. Diese Position wird von vielen Philosophen heftig verteidigt; sie führt jedoch zu Problemen, die nicht ignoriert werden sollten und die einen alternativen Zugang nahelegen. Das Gegenargument besagt: Die empirischen Theorien haben faktisch das Verständnis der Erkenntnisbedingungen maßgeblich beeinflußt. Es besteht hier offensichtlich ein wechselseitiges Abhängigkeitsverhältnis zwischen der Philosophie und den empirischen Wissenschaften – es kommt zu *selbstkorrigierenden Rückkopplungsschleifen*, die sowohl in historischer als auch in systematischer Perspektive zu einer spiralförmigen Entwicklung führen. Der Blickwinkel auf die Erkenntnisbedingungen ändert sich von der Antike bis in das 21. Jahrhundert immer wieder. Die Epistemologie durchläuft eine Entwicklung, wie dies auch für die Theorien der empirischen Wissenschaften charakteristisch ist. Es kommt mehrmals zum Perspektivenwechsel, ausgelöst durch neue Einsichten in scheinbar Altbekanntes und eine fortschreitende Erweiterung und Differenzierung von epistemologischen Fragestellungen und Lösungsvorschlägen. Die tiefgreifendsten *Revolutionen* im Verständnis der Erkenntnisbedingungen bringen (α) die Relativitätstheorie, die Quantentheorie und die Chaostheorie (bezogen auf das zu erkennende Objekt **O**) und (β) die Evolutionstheorie, die Entwicklungspsychologie, die Gestaltpsychologie und die empirischen Neurowissenschaften (bezogen auf das erkennende Subjekt **S**). Dieses wechselseitige Abhängigkeitsverhältnis soll in den folgenden Ausführungen schlaglichtartig an einigen grundlegenden Beispielen skizziert werden um damit zu verdeutlichen und zu begründen, daß eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie eine zumindest bedenkenswerte Alternative ist.

Die möglichen Gegenstände der Erkenntnis

Zunächst geht es um die Frage, was überhaupt Gegenstand der Erkenntnis sein kann. Die Antwort fällt nicht nur bei Philosophen, sondern auch bei Naturwissenschaftlern unterschiedlich aus. Strikte Empiristen lassen nur die sinnlich wahrnehmbaren Phänomene der Natur als Erkenntnisgegenstände gelten; kritische Realisten zählen zumindest gewisse Ordnungsstrukturen einer, hinter den Phänomenen liegenden Wirklichkeit mit. Zu den Erkenntnisgegenständen zählen aber auch die Entitäten der Logik und der Mathematik. Rigorose Idealisten stellen die Existenz einer bewußtseinsunabhängigen Außenwelt in Abrede und begnügen sich mit den Vorstellungsinhalten als den einzigen Erkenntnisgegenständen. Mystisch orientierte Denker sind überzeugt, daß sogar Gott und andere immaterielle Wesen gewissermaßen der Erkenntnis zugänglich sind. Hier eröffnet sich offensichtlich eine enorme Bandbreite an möglichen Erkenntnisgegenständen über die sicherlich niemals Konsens zu erzielen sein wird. Besonders bemerkenswert ist dabei, daß im 20. Jahrhundert (α) das Gehirn, (β) die kognitiven Fähigkeiten und (γ) die Erkenntnisstrukturen des erkennenden Subjekts zu besonders wichtigen Erkenntnisgegenständen werden – und zwar nicht mehr nur als Erkenntnisgegenstände einer spekulativen Philosophie, sondern erstmals auch als Erkenntnisgegenstände verschiedener empirischer Disziplinen. Damit läßt sich eine ontologische, epistemologische und methodologische *Naturalismushypothese* verbinden, die in ihrer präzisen Formulierung und Begründung heftig umstritten, aber für die Einbeziehung der empirischen Neurowissenschaften in die Erkenntnistheorie grundlegend ist.

Es ist vielleicht wenig überraschend, daß Mystiker Gott zu den Erkenntnisgegenständen zählen, daß aber auch Naturphilosophen (Descartes, Newton, Leibniz) diesen Standpunkt vertreten und die Naturerkenntnis an die Gotteserkenntnis koppeln, ist sicherlich schon bemerkenswert. Religiöse Überzeugungen scheinen auf den ersten Blick für die Naturerkenntnis keine Relevanz zu haben – schließlich kann auch ein Atheist oder ein Agnostiker ein erfolgreicher Naturwissenschaftler sein. Ein genauer Blick auf die historische Entwicklung der Naturphilosophie zeigt jedoch, daß der Glaube an die *Vollkommenheit Gottes* und die daraus abgeleiteten Vorannahmen über die Natur oft einen grundlegenden Einfluß auf die Theorienkonstruktion hatten. Wenn auch schwer einzusehen ist, wie verlässliche Auskünfte darüber zu gewinnen sein sollen, was göttliche Vollkommenheit in detail heißen mag, so ist doch nicht zu übersehen, daß eine Rekonstruktion der naturphilosophischen Entwicklung diesen offensichtlich wichtigen Sachverhalt nicht ausklammern darf. Besonders bemerkenswert dabei ist der spezielle Aspekt, daß für die Erkenntnis göttlicher Vollkommenheit und die daraus abgeleiteten Vorannahmen über die, in der Natur realisierten Einfachheits- und Vollkommenheitsideale eine besondere Erkenntnisart bemüht wird – und zwar die *intuitive Erkenntnis*. Die Gestaltpsychologie macht hingegen deutlich, daß die behauptete Einsicht in die göttliche Vollkommenheit ihre Wurzeln in speziellen Gestaltgesetzen hat und sie liefert dann folgerichtig auch den einfachsten Prototyp der intuitiven Erkenntnis.

Das Ziel und das Interesse an Erkenntnis

Weiter geht es um die Frage, welche Ziele oder Interessen mit dem Erkenntniserwerb verfolgt werden. Das Erkenntnisziel kann darin bestehen, (α) weitgehend auf eine Naturerkenntnis zu verzichten und hauptsächlich eine Gotteserkenntnis anzustreben, um ein gottgefälliges Leben zu führen (Augustinus, Berkeley); (β) durch die Naturerkenntnis *auch* Gott zu erkennen (Spinoza, Newton); (γ) die Naturgesetze zum Nutzen des Menschen zu erforschen und anzuwenden (Bacon, Galilei, Descartes); (γ) absolut gesichertes Wissen zu erlangen (Descartes, Newton, Leibniz); (δ) auf ökonomische Weise Erfahrungen zu sammeln (Mach); (ϵ) ein physikalisches Weltbild zu schaffen, um die Wirklichkeit *hinter* den Phänomenen zu erkennen (Planck, Einstein) oder (ζ) die Frage zu beantworten, warum die Natur so und nicht anders beschaffen sein *muß* (Einstein). Das Erkenntnisinteresse beeinflusst maßgeblich die Auswahl der Erkenntnisgegenstände, die Erkenntnisfragen und die Erkenntnismethoden.

Eng verknüpft mit dem jeweiligen Erkenntnisinteresse ist die Leitmetapher, unter der die Natur begriffen wird. Die Antike sieht die Natur als *Organismus*, der nur Gegenstand einer zweckfreien Naturbetrachtung sein kann. Diese kontemplative Natursicht lehnt folgerichtig eine zweck-orientierte Nutzbarmachung der Natur ab. Die Produkte des Handwerks gelten als widernatürlich, sie haben nichts zu tun mit der Natur; im Gegenteil – sie überlisten die Natur. Das zentrale Erkenntnisinteresse zielt auf die Frage: Was ist das Wesen von **X**? Völlig anders verhält es sich mit der neuzeitlichen Naturauffassung. Hier gleicht die Natur einer *Maschine*, die zum Zweck der Neugierbefriedigung und der Nutzbarmachung auseinandergenommen, in detail studiert und nach Wunsch verändert, vielleicht sogar verbessert werden kann. Das zentrale Erkenntnisinteresse zielt auf die Frage: Wie kann **X** gemessen bzw. verändert werden? Die bloße Naturbetrachtung wird ergänzt durch eine Naturbeherrschung; dies setzt die menschliche Fähigkeit zur Handlung voraus. Damit kommt erstmals ein *operativer Aspekt* in die Naturerkenntnis, dessen herausragende Bedeutung – insbesondere für ein adäquates Mathematikverständnis – von den traditionellen Erkenntnislehren übersehen, aber von der Genetischen Erkenntnistheorie hervorgehoben wird. Abgesehen von den verheerenden Auswirkungen einer allzu herrschsüchtigen Naturauffassung erhebt sich aber die berechtigte Frage aus der Antike, inwiefern eine so „vergewaltigte Natur“ noch Natur ist.

Die Quantentheorie erzwingt eine Neuorientierung und damit eine Neuformulierung der Leitmetapher. Sie hat die Vorstellung von der Zerlegbarkeit der Natur in unabhängige Einzelobjekte nachhaltig infrage gestellt und zu der Auffassung geführt, daß die Natur eher einem *Spiel* gleicht, das durch den menschlichen Eingriff beeinflusst und oftmals irreversibel gestört wird. Damit geht auch die Einsicht einher, daß der Mensch immer ein „Mitspieler“ ist. Seine Rolle als „Schlüsselloch-Beobachter“ kann er zwar in der Astronomie weiterhin einnehmen, für das mikrophysikalische Geschehen ist dies aber weitgehend ausgeschlossen. Was immer der Mensch wissen will, seine Neugier verändert die Welt. Die Natur ist vernetzt und verletzlich, sie kann in letzter Konsequenz nur um den Preis ihrer Zerstörung in ihre

einzelnen Bestandteile zerlegt werden.³ Dieser Sachverhalt schränkt die Erkenntnisgegenstände drastisch ein: Im mikrophysikalischen Bereich muß das *Prinzip der Separabilität* aufgegeben werden; eine Erkenntnis der Einzelobjekte ist nicht mehr möglich. Eine Erkenntnis ist nur noch von Einzelphänomenen zu gewinnen, diese sind aber bereits komplexe Systeme aus Meßobjekt und Meßapparatur. Das Erkenntnisinteresse richtet sich dann konsequenterweise auf die „Spielregeln“, d.h. auf die unanschaulichen mathematischen Strukturen, die die Verknüpfung experimenteller Ergebnisse beschreiben.

Die Konkretisierung der Maschinen-Metapher hängt wesentlich vom bereits erreichten technischen Stand ab: (α) im 17. Jahrhundert handelt es sich um eine mechanische Maschine (Uhr); (β) im 19. Jahrhundert gilt die thermodynamische Maschine (Dampfmaschine) als Vorbild und (γ) im 20. Jahrhundert übernimmt die informationsverarbeitende Maschine (Computer) diese Funktion. In der Gehirnforschung ist zunächst die Leitmetapher eines sequentiell arbeitenden Computers vorherrschend, bis – motiviert durch die erfolgversprechenden Forschungen an neuronalen Netzen – klar wird, daß das Gehirn zuallererst dem völlig anders gearteten Mechanismus der parallelen Informationsverarbeitung folgt. Auch für die Begründung der verschiedenen Leitmetaphern wird wieder jene *intuitive Erkenntnis* bemüht, die bereits den Zusammenhang zwischen göttlicher Vollkommenheit und den Vorannahmen der Natur gestiftet hat.

Die „richtigen Fragen“ zum Erkenntniserwerb

Am Anfang der Naturerkenntnis steht die Neugier und die „richtige Frage“. Dabei sind verschiedene constraint-Bedingungen im Spiel. (α) Die *interesse-geleitete Einschränkung des Erkenntniserwerbs*: Erkenntnisfragen können nur auf dem Hintergrund eines bereits artikulierten Erkenntnisinteresses gestellt werden. Dadurch wird aber zwangsläufig der Umfang der möglichen Erkenntnisgegenstände und der Umfang der möglichen Erkenntnisinhalte eingeschränkt, d.h. der Blickwinkel des Menschen wird fokussiert auf das, was ihn interessiert. Der Mensch ist gerade nicht mit einem Bergsteiger vergleichbar, der auf dem Gipfel die ganze Landschaft überblickt, sondern eher mit einem Höhlenforscher, der mit einer Grubenlampe ausgerüstet ist und eine dunkle Höhle immer nur ausschnittsweise erforschen kann. Jede Erkenntnis ist daher selektiv und perspektivisch. *Galileis Metapher*, derzufolge die Natur wie ein aufgeschlagenes Buch offen daliegt, trifft gerade nicht zu – auch nicht für denjenigen, der ihre mathematische Sprache versteht. (β) Die *struktur-bedingte Einschränkung des Erkenntniserwerbs*: Die Formulierungen von Begriffen und Strukturen schränken erneut die möglichen Erkenntnisgegenstände und Erkenntnisinhalte ein. *Eddingtons Metapher*, derzufolge der Naturwissenschaftler einem Fischer gleicht, der nur jene Fische fangen kann, die in seinem Fischernetz hängen bleiben, veranschaulicht diesen

³ Die heutige Gentechnik, die das menschliche Genom entschlüsseln, gegebenenfalls reparieren und verbessern will, ist noch immer einer Natursicht verpflichtet, die den Umgang mit der Natur nach Art einer Autowerkstatt begreift.

Sachverhalt sehr treffend. Nur was von diesen Begriffen und Strukturen erfaßt werden kann, ist der Erkenntnis zugänglich. Mit diesen metaphysischen Annahmen über die Natur wird das Gesichtsfeld des Menschen eingeengt; er wird gewissermaßen „blind“ für alle jene Fälle, die sich nicht unter diese metaphysischen Annahmen subsumieren lassen.

Die Entwicklung der Physik – von den ersten naturphilosophischen Ansätzen im antiken Griechenland bis hin zu den Theorien des 21. Jahrhunderts – verdeutlicht, daß nicht nur um die richtige Interpretation der, von der Natur gegebenen Antworten, sondern insbesondere auch um die richtige Fragestellung gerungen werden muß. Welche Fragen können überhaupt an die Natur gestellt werden? Möglich sind nur solche Fragen, die als Antwort „ja“ (Übereinstimmung zwischen dem empirischen Befund und den theoretischen Prognosen) oder „nein“ (Widerspruch zwischen dem empirischen Befund und den theoretischen Prognosen) zulassen, d.h. der Mensch muß bereits mit Begriffen und Strukturen an die Natur herantreten. Unter der „richtigen Frage“, die an die Natur zu richten ist, ist also eine Frage gemeint, deren Begrifflichkeit hinreichend adäquat ist. Diese Begrifflichkeit muß aber erst entwickelt werden und sie erfährt immer wieder tiefgreifende Veränderungen. Bemerkenswert ist dabei, daß der Mensch nicht auf eine einzige Möglichkeit der Strukturierung festgelegt ist, sondern – insbesondere mit den Mitteln der Mathematik – *Strukturierungsalternativen* entwerfen kann, die keineswegs in der Anschauung gegeben sein müssen. Diese Möglichkeit der Strukturierungsalternativen ist die Basis der Wissenschaft. Wäre das menschliche Erkenntnisvermögen vollkommen und die Begriffe und Strukturen absolut adäquat, dann wäre *Einsteins Metapher* zutreffend, die besagt, daß die Natur einem gut gestellten Rätsel gleicht und daß jedes Wort vorgeschlagen werden darf, wobei genau ein Wort paßt. Da die Begriffe und Strukturen aber bestenfalls näherungsweise adäquat sind, wird die Natur gerade nicht mit einem eindeutigen „ja“ oder „nein“ antworten. Sie wird stattdessen eine Antwort geben, die eher dem Orakel von Delphi gleicht, d.h. die Antwort wird einen gewissen Spielraum für Interpretationen lassen; das vorgeschlagene Wort wird mehr oder weniger gut, aber eben nicht genau passen. Damit behalten Hume und Poincaré Recht, wenn sie ihre Überzeugung zum Ausdruck bringen, daß die Natur ihre Geheimnisse teilweise behält.

Die Erkenntnisfragen setzen also die Formulierung von Begriffen und Strukturen voraus, die versuchsweise an die Natur als Erkenntnisgegenstand herangetragen werden müssen und deren Adäquatheit oder Inadäquatheit festzustellen ist. Hieran schließt sich dann die ontogenetische Frage, wie der wissensdurstige Mensch zu den ursprünglichen Begriffen und Strukturen kommt, welche dies sind und wie er in der Abfolge wissenschaftlicher Theorien immer neue Begriffe und Strukturen entwirft. Der erste Strukturierungsversuch der Naturphänomene fällt offensichtlich mit dem intuitiven Alltagsverständnis (folk physics) zusammen. Von hier ausgehend erweisen sich dann alle wissenschaftlichen Theorien als Strukturierungsalternativen, die charakterisiert sind durch eine zunehmende Abkehr von dem, was als anschaulich gilt. Dieser Sachverhalt beinhaltet drei wesentliche Aspekte: (α) Jede

wissenschaftliche Erkenntnis wurzelt immer in einem intuitiven Vorverständnis. Wo aber jegliches intuitives Vorverständnis fehlt, können nicht einmal sinnvolle Fragen gestellt werden. (β) Dieses intuitive Vorverständnis wird in der wissenschaftlichen Tätigkeit schrittweise geprüft und erforderlichenfalls modifiziert. (γ) In jeder wissenschaftlichen Theorie befinden sich noch ungeprüfte „Restbestände“ dieses intuitiven Vorverständnisses. Als Konsequenz dieser Überlegungen ergibt sich die Notwendigkeit, Begriffe und Strukturen dieses intuitiven Vorverständnisses – mesokosmische Strukturierung genannt – genauer zu untersuchen um damit die Wurzeln wissenschaftlicher Theorienkonstruktionen besser verstehen zu können. Dies legt den Rückgriff auf Ergebnisse der Entwicklungspsychologie nahe, die den ontogenetischen Aspekt der Erkenntnis hervorhebt.

Die Möglichkeit von Erkenntnis und ihre Grenzen

Die Antworten auf die Frage nach der Möglichkeit von Erkenntnis liegen in einem großen Spektrum zwischen einem strikten *Erkenntnis-Optimismus* und einem strikten *Erkenntnis-Pessimismus* (bezogen auf den jeweils untersuchten Erkenntnisgegenstand). Die Erkenntnis-Optimisten verweisen gern auf die Erfolge von Naturwissenschaft und Technik; die Erkenntnis-Pessimisten hingegen richten ihr Augenmerk auf Täuschungen der Sinneswahrnehmungen, Fehlspekulationen des Verstandes oder den Niedergang naturwissenschaftlicher und philosophischer Theorien. Die Einsicht, daß eine scheinbar so wohlbegründete Theorie wie die Newtonsche Physik zu Beginn des 20. Jahrhunderts durch die Relativitätstheorie einerseits und die Quantentheorie andererseits abgelöst wird, könnte einer allzu optimistischen Einschätzung der Erkenntnismöglichkeit den Boden entziehen. Einstein – als rigoroser Erkenntnis-Optimist – sieht dennoch die Natur als ein gut gestelltes *Rätsel*, dessen Auflösung im Rahmen der menschlichen Erkenntnisfähigkeiten möglich ist. Einige Naturphilosophen der Neuzeit (Descartes, Newton, Leibniz) nehmen in ihren universellen Erkenntnisansprüchen eine geradezu vermessene Haltung ein, die nur noch mit der babylonischen Hybris des Turmbaus vergleichbar ist. Sie sind überzeugt, aus ihren jeweils zugrundegelegten Begriffen und Prinzipien nicht weniger als einfach alles deduzieren zu können. Es gibt aber auch bescheidenere Einschätzungen der Erkenntnismöglichkeit: Poincaré – eine gemäßigte Position zwischen Erkenntnis-Pessimismus und Erkenntnis-Optimismus einnehmend – glaubt, daß die Natur einen Teil ihrer *Geheimnisse* bewahrt (kompensierende Effekte etc.) und einen anderen Teil dem menschlichen Erkenntnisvermögen zugänglich sein läßt. Hume hingegen läßt – als rigoroser Erkenntnis-Pessimist – in einer tiefgründigen Analyse des Kausalitäts- und Induktionsprinzips diese Prinzipien, wegen ihrer empirischen und logischen Unbeweisbarkeit nur im Sinne naturalistischer Gewohnheiten gelten.

Das Problem der Erkenntnismöglichkeit ist bereits in der Antike ein vieldiskutiertes Thema mit bemerkenswerten Lösungsvorschlägen. Die Einsicht, daß die menschliche Erkenntnisfähigkeit nicht besonders gut gesichert ist, führt Parmenides dazu, seine Grundprinzipien als göttliche Belehrungen und Offenbarungen auszuweisen. Auch Platons

Ideenschau einer präexistenten Seele sucht dieses Erkenntnisproblem in optimistischer Absicht zu bewältigen. In dieser Tradition stehen alle diejenigen Naturphilosophen der Neuzeit, die das natürliche Licht (*lumen naturale*) bemühen und dann auf angeborene Ideen rekurren, die einer *intuitiven Erkenntnis* zugänglich sein sollen. Von ganz anderer Art ist der Umgang der Skeptiker mit der Frage der Erkenntnismöglichkeit. Sie finden sich mit einer pessimistischen Position ab und verzichten auf jeden Erkenntnisanspruch. Soweit sie diesen Standpunkt auch konsequent im Alltagsleben vertreten, kann dies allerdings – neben den erwünschten Folgen einer beglückenden Gemütsruhe – auch fatale Folgen nach sich ziehen.⁴ Hume hat ganz zutreffend hervorgehoben, daß ein rigoroser Erkenntnis-Pessimismus zwangsläufig lebenszerstörend ist. Die Evolution hat daher dafür gesorgt, daß der Mensch gewissermaßen ein Erkenntnis-Optimist sein muß, wenn er überleben will. Dieser Sachverhalt kann jedoch das epistemologische Problem als solches nicht bewältigen. Sie macht aber immerhin plausibel, warum der (nicht-philosophische) Mensch immer ein Erkenntnis-Optimist und meistens sogar ein Erkenntnis-Fundamentalist ist und damit wird dann deutlich, daß Erkenntnis zuallererst eine *überlebensfördernde Funktion* aufweist. Diese Position zur Erkenntnismöglichkeit ist sehr bescheiden; Ansprüche bezüglich Wahrheit und Referenz sind gar nicht bzw. nur eingeschränkt inbegriffen. Derartige Ansprüche können gerade nicht mit der Fähigkeit zur Sinneswahrnehmung, wohl aber mit der Fähigkeit zur Handlung in Verbindung gebracht werden. Hier sind die Einsichten der Evolutionstheorie und Entwicklungspsychologie unverzichtbar.

Im Zusammenhang mit den Erkenntnismöglichkeiten muß insbesondere die Frage nach den *spezifischen Bedingungen* gestellt werden, denen das erkennende Subjekt **S** und das zu erkennende Objekt **O** genügen müssen, damit Erkenntnis möglich ist. In der pythagoreischen Erkenntnislehre spielt die Lebensführung im ethischen Sinne eine grundlegende Rolle für den Erkenntniserwerb. Dies bezieht sich auf alle Erkenntnisgegenstände – also nicht nur auf die Gotteserkenntnis, sondern auch auf das Wissen mathematischer Lehrsätze. Mit dem Beginn der Neuzeit verliert das ethische Verhalten zunehmend seine Rolle als notwendige Vorbedingung für den Wissenserwerb. Dennoch geht der Gedanke nicht verloren – im Gegenteil: Das erkennende Subjekt wird selbst zum Erkenntnisgegenstand der Philosophie. Für Descartes ist eine an das erkennende Subjekt zu stellende Bedingung die „Ausrichtung der Erkenntniskraft“ – dies bedeutet die mathematische Schulung des Menschen. An das zu erkennende Objekt muß die Bedingung gestellt werden, daß es auf der Grundlage gewisser methodischer Regeln systematisch aufbereitet werden kann – dies zielt auf die Quantifizierbarkeit des Problems. Kant entwickelt die Lehre von den Formen der Anschauung und den Kategorien des Denkens als den beiden strukturierenden Vermögen des erkennenden Subjekts, die Erkenntnisse erst ermöglichen. Das zu erkennende Objekt muß als Phänomen in

⁴ Pyrrhon, ein fundamentalistischer Vertreter des Skeptizismus, soll stets von einigen gemäßigten Anhängern umgeben gewesen sein, die ihn vor Abstürzen in Abgründe etc. bewahrt haben. Seine skeptische Haltung gegenüber Sinneswahrnehmungen machte ihn unfähig, Gefahren rechtzeitig auszuweichen.

Raum und Zeit gegeben sein, damit es der Erkenntnis zugänglich ist. Die Simulation kognitiver Fähigkeiten mit den Mitteln selbstorganisierender neuronaler Netze bestätigt den alten Gedanken, daß Erkenntniserwerb nur dann möglich ist, wenn sowohl das erkennende Subjekt **S** als auch das zu erkennende Objekt **O** spezifischen Bedingungen genügen.

Einen völlig neuartigen, problematischen Aspekt der Möglichkeit von Erkenntnis beinhalten die physikalischen Theorien des 20. Jahrhunderts. Hier geht es um den Sachverhalt, daß diese Theorien Begriffe und Strukturen verwerfen, die zu den fundamentalsten des Alltagsverständnisses gehören. (α) Die Relativitätstheorie erzwingt eine Modifikation des *Raum- und Zeitbegriffs* und führt damit auf ein neues Verständnis von Geometrie und Raum-Zeit-Struktur, das sich nicht mehr auf die Anschauung berufen kann. (β) Die Quantentheorie erzwingt eine Modifikation des *Substanz- und Kausalbegriffs*. Sie zeigt einerseits, daß das Prinzip der Separabilität aufgegeben werden muß, da eine Erkenntnis der Einzelobjekte nicht mehr möglich ist und andererseits, daß für ein raum-zeitliches Geschehen die Anfangsbedingungen gemäß den Unbestimmtheitsrelationen gar nicht exakt bekannt sein können, weil sie gar nicht exakt determiniert sind. Im Unterschied zu einem determinierten Naturgeschehen gibt es demnach Erkenntnisgrenzen im ontologischen und nicht nur im epistemologischen Sinne.

Aber auch die empirischen Neurowissenschaften verweisen auf eigenartige Erkenntnisgrenzen, die sich auftun, wenn das Gehirn die Fähigkeiten des Gehirns mit den Mitteln des Gehirns studieren will. (α) Das *Problem der Selbstreferenz* bezieht sich auf den Sachverhalt, daß das Gehirn eigentlich von einem Standpunkt außerhalb des Gehirns untersucht werden müßte. Die Einnahme einer Außen-Perspektive ist aber grundsätzlich nicht möglich. Dieses Problem teilen die empirischen Neurowissenschaften mit der Philosophie – diese versucht das Vermögen der Vernunft mit den Mitteln der Vernunft zu bestimmen und die Sprache mit den Mitteln der Sprache zu verstehen. (β) Das *Problem der Komplexität* bezieht sich auf den Sachverhalt, daß das zu erkennende Objekt mit dem erkennenden Subjekt identisch ist und damit denselben Grad an Komplexität besitzt. Dies schließt die Frage ein, inwiefern die Reduktion der Komplexität, die immer für das Verständnis eines Erkenntnisgegenstandes erforderlich ist, überhaupt zulässig ist oder ob mit diesem methodischen Vorgehen das zu erkennende Objekt gewissermaßen „vernichtet“ wird. Diese Frage wird dann wichtig, wenn darüber zu entscheiden ist, inwiefern die theoretische Neuroinformatik einen fundamentalen Beitrag zur Informationsverarbeitung des Gehirns leisten kann.

Die Quellen und Arten der Erkenntnis

Die Erkenntnislehren haben insbesondere darüber Auskunft zu geben, welche Erkenntnisquellen für den Erkenntnisprozeß eine Rolle spielen und in welchem Ausmaß diese zur Erkenntnis beitragen. Bereits seit der Antike gelten die *Sinneswahrnehmungen* einerseits

und die *Verstandestätigkeit* andererseits als die beiden fundamentalen Erkenntnisquellen.⁵ In den neuzeitlichen Erkenntnislehren wird immer eine der beiden Erkenntnisquellen zugunsten der anderen vorgezogen, je nachdem welche für resistenter gegen Irrtümer eingestuft wird. Daraus entwickelt sich eine empiristisch orientierte Naturphilosophie (Locke, Berkeley, Hume) und eine rationalistisch orientierte Naturphilosophie (Galilei, Descartes, Leibniz). Kant betont zwar zu Recht, daß beide Erkenntnisquellen zusammenwirken müssen, damit Erkenntnis zustandekommt, er greift jedoch zu kurz, wenn er *nur* diese beiden Erkenntnisquellen nennt. Hier führt die Genetische Erkenntnistheorie zu tieferen Einsichten, wenn sie neben der Fähigkeit zu Sinneswahrnehmungen auch die Fähigkeit zu *transformierenden Handlungen* als weitere fundamentale Erkenntnisquelle in den Blick nimmt.

Die neuzeitlichen Erkenntnislehren unterscheiden drei verschiedene Erkenntnisarten: (i) die sensitive Erkenntnis, (ii) die intuitive Erkenntnis und (iii) eine weitere Erkenntnisart, die als Gegenbegriff zur intuitiven Erkenntnis bestimmt wird. Die Intuition und ihr Gegenbegriff werden dabei auf dem Hintergrund der jeweiligen Methodenlehre expliziert und sind dementsprechend uneinheitlich. Wichtige Beispiele sind: (α) die *intuitive versus deduktive Erkenntnis* (Descartes), (β) die *intuitive versus demonstrative Erkenntnis* (Locke), (γ) die *intuitive versus symbolische Erkenntnis* (Leibniz) und (δ) die *intuitive versus diskursive Erkenntnis* (Kant). Allen Beispielen gemeinsam ist der Anspruch, daß die intuitive Erkenntnis in einem jeweils näher zu präzisierenden Sinne die Gewißheit der Erkenntnis sichern soll.

Was ist (vorläufig) unter dem Begriff „Intuition“ zu verstehen und wo lauern die größten Probleme? Eine erste Orientierung gibt die *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie* von Mittelstraß:

Intuition (von lat. *intuitio*, *intuitus*, Schau, Anschauung; [...]) allgemein: unvermittelte (und oft auch: ganzheitliche) Erfassung von Gegenständen, Sachverhalten, Begriffen, Sätzen, Werten usw. Vielfältige philosophische Verwendungen, teilweise in anderer Terminologie (z. B. Anschauung [...], Evidenz [...]), die darin übereinkommen, Geltung in einem Bereich des Erkennens oder die Geltung einzelner Erkenntnisse als *intuitiv* gegenüber der methodisch (z.B. durch Beweise) vermittelten Geltung *diskursiver* Erkenntnisse auszuzeichnen. [...]

In der philosophischen Tradition lassen sich vor allem zwei verschiedene Ansätze unterscheiden: (1) I. als *Organon der Erfassung wissenschaftlich nicht erfaßbarer Bereiche*, z.B. in der Mystik, in irrationalistischen Positionen, Kunst und Religion. [...] (2) I. als *erkenntnistheoretische Basis philosophischer Lehrstücke oder Systeme bzw. von Wissen und Wissenschaft überhaupt*, trotz generellem Diskursivitäts-

⁵ Schließlich gibt es auch Überzeugungen, derzufolge bestimmte Autoritäten (Propheten) oder göttliche Offenbarungen (*lumen supranaturale*) den Erkenntnisquellen zuzurechnen sind. Diese irrationale Intuition gilt dann im Sinne einer Kontemplation als ein Werkzeug zur Erfassung transzendenter Erkenntnisgegenstände (mystisch, religiös). Hier soll ausdrücklich betont werden, daß in dieser Studie eine Intuition in diesem Sinne nicht als Erkenntnis gewertet wird, da ihre Begründung – im Zusammenhang mit den Ergebnissen der empirischen Neurowissenschaften – äußerst fragwürdig erscheint.

anspruch von Wissenschaft, aber faktisch nicht geleisteter (und häufig als unmöglich behaupteter) methodischer Begründung ihres Fundaments. Historisch treten solche Ansätze in unterschiedlicher Form auf: [...]. I. Kant, bei dem der Terminus „I.“ keine systematische Rolle spielt und der nicht-sinnliche I. ablehnt, diskutiert entsprechende Probleme unter dem Begriff der *Anschauung*.⁶

Im Rahmen der traditionellen Erkenntnislehren tritt der Begriff „Intuition“ in vielerlei, teils einander widersprechender Bedeutungen auf: (α) Die erste Gruppe von Begriffsbedeutungen meint eine *sinnliche Intuition*, d.h. ein sinnliches, raum-zeitliches, nicht-begriffliches und nicht-rationales Ergreifen der Wirklichkeit. Die Erkenntnisquelle sind die Sinne und die Erkenntnisgegenstände sind raum-zeitliche Phänomene. (β) Die zweite Gruppe von Begriffsbedeutungen meint eine *rationale Intuition*, d.h. ein begriffliches, rationales und nicht-sinnliches, nicht raum-zeitliches Ergreifen der Wirklichkeit. Die Erkenntnisquelle ist der Verstand und die Erkenntnisgegenstände sind Begriffe, Prinzipien und ästhetische und axiologische Werte, sowie logische und mathematische Strukturen der Wirklichkeit. Gemeinsam ist beiden Begriffsbedeutungen, daß sie die *intuitive Erkenntnis* als kognitives Vermögen verstehen, dem die Möglichkeit einer unmittelbaren, schlaglichtartigen Einsicht zugesprochen werden muß, d.h. es geht um eine Einsicht, die ohne methodische Zwischenschritte möglich ist. Der Gegenbegriff zur intuitiven Erkenntnis meint eine diskursive Erkenntnis, die nur mittelbar zustandekommt, d.h. es geht um eine Einsicht, die durch die Verknüpfung von Zwischengliedern gewonnen wird. Gegensätzlich sind die Begriffe einer sinnlichen und rationalen Intuition insbesondere hinsichtlich der Auffassungen, in welcher Weise die Wirklichkeit ergriffen wird.

In dieser Studie soll für die These argumentiert werden, daß die *intuitive Erkenntnis* im Rechtfertigungszusammenhang der Erkenntnis nur eine eingeschränkte Funktion übernehmen kann. Stattdessen ist sie hauptsächlich darauf angelegt, den gesamten Erkenntnisgegenstand schlaglichtartig zu erfassen und in einen Gesamtkontext zu integrieren. Dabei geht es um die Wesensmerkmale eines Erkenntnisgegenstandes, die nur dann in den Vordergrund rücken, wenn das Ganze erfaßt wird. Stets vorhandene Erkenntnislücken werden spekulativ geschlossen und Weltbilder werden vervollständigt. Hierin liegt dann auch das *schöpferische Potential* der Intuition einerseits und ihre *Irrtumsanfälligkeit* andererseits. Daraus ist die Konsequenz zu ziehen, vorerst nur den bescheidenen Begriff „intuitive Strukturierung“ anstatt „intuitive Erkenntnis“ zu verwenden, d.h. zunächst keinen Wahrheitsanspruch zu erheben. Genauere Auskünfte über die charakteristischen Merkmale der intuitiven Strukturierung sind von der Gestaltpsychologie und der Kognitionsforschung zu erwarten.

Im klaren Gegensatz zu den neuzeitlichen Rationalisten steht Kants Auffassung. Die sinnliche Intuition behandelt er unter dem verwandten Begriff „(sinnliche) Anschauung“. Die

⁶ Mittelstraß 1995, Stichwort: Intuition

fundamentale Bedeutung einer *rationalen Intuition*, die sich auf einen operativen Zahlbegriff bezieht – wie dies etwa bei Descartes und Leibniz anklingt –, erkennt er offensichtlich nicht. In Bezug auf die Mathematik gilt Kants Aufmerksamkeit der synthetischen Geometrie und einer eher elementaren Arithmetik. Hier erscheint ihm dann die Frage nach der Sicherstellung ihrer Anwendbarkeit auf die Wirklichkeit von zentraler Bedeutung. Mit der Konzeption der Anschauungsformen „Raum“ und „Zeit“ und der Konstruktion der Mathematik in der Anschauung glaubt Kant die Verknüpfung mit der Wirklichkeit gestiftet zu haben. Eine erste Auskunft zum Begriff „Anschauung“ gibt wiederum die *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie* von Mittelstraß:

Anschauung als philosophischer Terminus in seiner Verwendung weitgehend durch I. Kants Einteilung der von ihm sogenannten „Vorstellungen“ in *Anschauungen* und *Begriffe* bestimmt. [...] Kants Ausdrucksweise greift [...] häufig auf die Vorstellung eines besonderen Vermögens der „sinnlichen A.“ [...] zurück, durch das Gegenstände anschaulich gegeben werden können. Statt von sinnlicher Präsenz der Gegenstände kann dementsprechend dann auch vom Gegebensein der Gegenstände „in der (sinnlichen) A.“ die Rede sein. Nicht sinnlich präsent sind *abstrakte* Gegenstände, z.B. die Begriffe. Insofern man erst durch Abstraktionsschritte auf der Basis einer vorgängigen, in letzter Instanz anschauungsbezogenen Prädikation zu Begriffen gelangt, können diese als vermittelt (Kant: „indirekt“) gewonnen gelten im Unterschied zum „unmittelbaren“ („direkten“) Gegenstandsbezug „in der A.“. [...] Auf reine A.en stützen sich nach Kant insbesondere die Begriffsbildungen und Behauptungen der Mathematik. [...] Einerseits bezieht sich die Mathematik auf die Herstellung oder Konstruktion (Kant: „Synthesis“) von Objekten in der A. [...]. Andererseits behandelt die Mathematik die Konstruktionsverfahren als solche, unabhängig von einer bestimmten empirischen Aktualisierung. Derartige Konstruktionsverfahren sind z.B. für Ziffern und für die arithmetischen Grundoperationen definiert, exemplarisch realisiert etwa über Strichreihen mit Zeichenstift und Papier. [...] Das *Verfahren* jedoch, das z.B. auch durch das Operieren mit Rechensteinen anschaulich wird, läßt sich „rein“ nur als „Form der Anschauung“ zum Gegenstand der Betrachtung machen, d.h. unter Absehung von Aussagen, deren Geltung von den jeweiligen empirischen Realisierungsbedingungen abhängt. Zugleich bedarf es damit zum Verständnis der Mathematik nicht mehr einer von der (empirischen) Sinnlichkeit losgelösten besonderen, [...] „rational“ genannten A. (Intuition), wie sie der philosophische Rationalismus für die Begründung nicht-empirischer Aussagen in Anspruch nahm.⁷

Zahlreiche Kritiker (Herbart, Bolzano, Beneke, Schlick) halten Kants Anbindung des Zahlbegriffs an die Zeitanschauung für grundsätzlich verfehlt. In dieser Studie soll für folgende These argumentiert werden: Kant verknüpft den Zahlbegriff mit der Zeitanschauung. Damit verfügt er nur über einen verkürzten, weil figurativen Zahlbegriff (1. Konsequenz). Dies führt zu einem verkürzten Mathematikverständnis (2. Konsequenz) und läßt schließlich den Begriff der rationalen Intuition überflüssig erscheinen (3. Konsequenz). Damit ist

⁷ Mittelstraß 1995, Stichwort: Anschauung

einerseits die allgemeine Frage gestellt, ob für die Analyse des Erkenntnisprozesses der Rückgriff auf eine *rationale Intuition* erforderlich ist und andererseits die spezielle Frage verknüpft, inwiefern diese rationale Intuition mit einem adäquaten *Mathematikverständnis* zusammenhängt. Die Argumentationsstruktur wird dabei auf dem Hintergrund der epistemologischen Reflexionen von Poincaré und Piaget zu einem operativen Mathematikverständnis entwickelt.

Der Kerngedanke ist: (α) Poincaré argumentiert für die Unterscheidung mehrerer Intuitionsbegriffe. Zunächst ist eine sinnliche Intuition gemeint und dann eine rationale Intuition, die er als „Intuition der reinen Zahlen“ bezeichnet. (β) Im strikten Gegensatz zu Kant beharrt also Poincaré auf einer rationalen Intuition, der die Aufgabe zukommt, mathematische Konstruktionen im allgemeinen und nicht nur geometrische Konstruktionen im besonderen (wie bei Kant) zu bilden. (γ) Die mathematischen Operationen unterliegen abstrakten Strukturgesetzen, die mit einer sinnlichen Intuition gerade nicht faßbar sind.

Wir haben also mehrere Arten von Anschauung, erstens die Berufung auf die Sinne und die Einbildungskraft, dann die Verallgemeinerung durch Induktion, die den experimentellen Wissenschaften sozusagen nachgebildet wird; wir haben endlich die Anschauung der reinen Zahlen, [...] die allein die wahre mathematische Schlußfolgerung erzeugen kann.⁸

Die Mathematik kommt also „durch Konstruktionen“ vorwärts, sie „konstruiert“ immer verwickeltere Kombinationen. Indem sie dann durch die Analyse dieser Kombinationen, die man als selbständige Gesamtheiten bezeichnen könnte, zu ihren ursprünglichen Elementen zurückkehrt, wird sie sich der gegenseitigen Beziehungen dieser Elemente bewußt und leitet daraus die Beziehungen zwischen diesen Gesamtheiten selbst ab.⁹

Unter den Worten, welche von günstigem Einflusse waren, erwähne ich „Gruppe“ und „Invariante“. Sie ließen uns das wahre Wesen von vielen mathematischen Beweisen erkennen. [...] Der Begriff einer Gruppe hängt überall mit dem Begriff einer Transformation zusammen; [...].¹⁰

Unter ausdrücklicher Berufung auf Poincaré streicht Piaget den *operativen Aspekt* in der Mathematik heraus, der zunächst auf der Fähigkeit zur Bewegung und dann auf der Fähigkeit zur Handlung beruht.

Bei Poincaré geht die geistige Entdeckung des Raumes in der Tat auf die sensomotorische Organisation der Verschiebungen zurück und nicht auf die Wahrnehmung der Ausdehnung oder der Formen. [...] Der Raum hängt als System der Ortsveränderungen von den elementarsten sensomotorischen Verhaltensformen ab.¹¹

⁸ Poincaré 1906, S. 16

⁹ Poincaré 1902, S. 15ff

¹⁰ Poincaré 1908, S. 24f

¹¹ Piaget 1975e, S. 184

Man hat oft festgestellt, daß sich der gesunde Menschenverstand [...] in bezug auf die Eigenart oder das Objekt ihrer Wissenschaft von einem Jahrhundert zum andern einzigartig wandelte. Nichts ist in dieser Hinsicht interessanter als der fundamentale Gegensatz, der die mathematische Konzeption der Griechen von der modernen trennt, [...]. Dieser Gegensatz könnte gut aus der ungenügenden Kenntnis der Bedeutung der Operationen herrühren, die die griechische Konzeption der Mathematik charakterisierte, und aus der Bewußtwerdung des operativen Mechanismus des Denkens seit dem 17. Jh. Wenn diese These zutreffen würde, wäre die Geschichte der mathematischen Wissenschaften der Griechen das interessanteste Beispiel der erkenntnistheoretischen Erfahrung: die Erfahrung eines Denkens, das konstruierte, obwohl es seine Konstruktivität verleugnete, und das dann mangels dieser Kenntnis seiner eigenen Stärke zu konstruieren aufhörte.¹²

Auf diesem Hintergrund erscheint das Mathematikverständnis Kants in einem entscheidenden Punkt verkürzt: Kants Theorie der Mathematik ist an die Anschauungsformen von Raum und Zeit gebunden; Poincarés und Piagets Theorie der Mathematik hingegen ist an die Struktureigenschaften der Operationen geknüpft, die sich in den transformierenden Handlungen manifestieren.

Die sprachliche Formulierung der Erkenntnis

Zahlreiche Vertreter der Analytischen Philosophie argumentieren für die These, daß die traditionellen philosophischen Probleme – und damit auch die Erkenntnisprobleme – im wesentlichen Sprachprobleme sind und nur durch eine Klärung semantischer, syntaktischer und pragmatischer Fragen gelöst werden können. Mit diesem „linguistic turn“ kristallisieren sich in der Sprachphilosophie verschiedene Strömungen heraus, die sich darin einig sind, daß Wissen immer im Sinne *propositionalen Wissens* zu verstehen ist, die mit den Begriffen „Wahrheit“ und „Referenz“ verknüpft ist. Allen gemeinsam ist dann ein Problembewußtsein, das mit der Computer-Metapher der traditionellen **AI**-Forschung (Artificial Intelligence) korreliert, derzufolge die Intelligenz im Sinne einer Symbolverarbeitung gedeutet wird. Mit dieser, ausschließlich an Sprachproblemen orientierten These der Analytischen Philosophie werden aber zwei wichtige Aspekte übersehen: (α) Bereits auf der Ebene der sensorischen Fähigkeiten sind *non-verbale* Strukturierungen möglich, die wissenschaftliche Theorienkonstruktionen beeinflussen. Dieser Aspekt thematisiert die Möglichkeit nicht-bewußter metaphysischer Annahmen in wissenschaftlichen Theorien. (β) Neben den Fähigkeiten zur Sinneswahrnehmung und zur Sprache ist es gerade die Fähigkeit zur *Handlung*, die zur Ausbildung wissenschaftlicher Theorienkonstruktion beiträgt – und dies nicht nur im Zusammenhang mit dem Experiment, sondern auch im Hinblick auf die Formulierung der Mathematik. Diese neue Sichtweise wird konsequent von der Genetischen Erkenntnistheorie verfolgt und sowohl von den empirischen Neurowissenschaften als auch von der theoretischen Neuroinformatik wesentlich gestützt. Damit verknüpft ist die Einsicht, daß und warum die Computer-Metapher der traditionellen **AI**-Forschung einseitig bleibt und

¹² Piaget 1975e, S. 259f

durch eine Doppel-Metapher zu ersetzen ist, die dann im Paradigma des „Intuitive Processor“ **IP** und des „Conscious Rule Interpreter“ **CRI** ihren Ausdruck findet bzw. durch eine „dual-process theory“ beschrieben werden muß.

Obwohl ihre Thesen einseitig bleiben, hat die Analytische Philosophie dennoch einen wichtigen Aspekt der Erkenntnisbedingungen erkannt. Dieser Aspekt zielt auf die semantischen Probleme im Erkenntnisprozeß. Eine logisch strukturierte Sprache arbeitet mit Begriffen, die Objekten der Wirklichkeit in geeigneter Weise entsprechen sollen. Insofern es zulässig ist, einzelne Objekte vom Rest der Wirklichkeit zu isolieren, ist es möglich, diese Objekte durch eine begriffliche Sprache zu beschreiben. Diese Annahme, welche die Wirklichkeit als Ansammlung einzelner Objekte betrachtet, ist in der klassischen Physik durchaus angemessen. Besonders eigentümliche semantische Schwierigkeiten wirft aber die Quantentheorie auf: Einerseits laufen mikrophysikalische Prozesse offensichtlich völlig anders ab als die Prozesse der klassischen Physik, andererseits steht für das Verständnis nur eine an der klassischen Physik ausgebildete Sprache zur Verfügung. Die Begriffsbildung der klassischen Physik hat sich an den anschaulichen, sich im Alltag manifestierenden Phänomenen herausgebildet. Die dadurch entstandenen sprachlichen Formulierungen sind für die Beschreibung der klassischen physikalischen Effekte durchaus angemessen und zweckmäßig. Die Übertragung auf mikrophysikalische Objekte führt jedoch zu Widersprüchen. Dennoch muß die begriffliche Struktur der klassischen Physik auch in der Quantentheorie verwendet werden, zumindest dann, wenn ein anschauliches Verständnis der Theorie gewährleistet sein soll. Die Verwendung der klassischen Begriffsstrukturen ist hier allerdings nur noch in einem stark eingeschränkten Sinne zulässig, und zwar in dem Sinne, daß sich das mikrophysikalische Objekt in einer gegebenen Versuchsanordnung so verhält, als ob es ein klassisches Objekt mit der gemessenen Eigenschaft wäre. Damit wird deutlich, daß einem quantentheoretischen Objekt keineswegs immer eine Eigenschaft *an sich* zugesprochen werden kann. Stattdessen wird davon auszugehen sein, daß quantentheoretische Objekte – bezogen auf einen bestimmten Meßprozeß und bezogen auf eine an der klassischen Physik orientierten Beschreibungsweise – eine bestimmte Eigenschaft *zeigen*. Im Hinblick darauf, daß eine der klassischen Physik entstammende Begriffs- und Modellbildung im mikrophysikalischen Bereich Verwendung finden soll, kann also nicht darauf gehofft werden, daß Widersprüche vermeidbar sind. Stattdessen wird eine Lösung in der Koexistenz sich gegenseitig ausschließender Beschreibungsweisen gesucht, die dann ein anschauliches Verständnis von Teilaspekten ermöglicht.

Der Fortschritt in der Erkenntnis

Schließlich geht es um die Frage, wie es um den Fortschritt in der Erkenntnis bestellt ist. Die wichtigsten Positionen sind: (α) Die *epistemische Steigerung*: Hier wird der Erkenntnisaufbau im Sinne eines beständigen Zuwachses gedeutet. Jede neue Erkenntnis wird additiv zum bereits vorhandenen Wissen hinzugefügt, ohne daß der alte Bestand verändert wird. Der

Erkenntniszuwachs ist eine Erkenntniserweiterung. Diese Position ist aristotelisch. (β) Die *epistemische Umgestaltung*: Hier wird der Erkenntnisaufbau im Sinne einer Erkenntnis neuartiger Sinnzusammenhänge bewertet. Der Erkenntniszuwachs ist mit einer mehr oder weniger tiefgreifenden Erkenntnisumgestaltung verknüpft. Auf jeder neuen Stufe wird ein Teil des alten Bestandes als Scheinwissen entlarvt und aufgegeben. Diese Position ist platonisch. (γ) Die *epistemische Revolution*: Kuhn spricht von wissenschaftlichen Revolutionen, wenn die Forschungsgemeinschaft zu neuen Paradigmen überwechselt. Er stellt demnach ebenfalls eine Erkenntnisumgestaltung fest, aber im Sinne eines Gestalt-switch. Der wichtigste Unterschied zur platonischen Betrachtungsweise liegt darin, daß Kuhn die Theorien eines alten Paradigmas gerade nicht im Sinne von Scheinwissen abwertet, sondern als Theorien einer anders ausbuchstabilten Menge wissenschaftlicher Werte betrachtet. Über die Adäquatheit der jeweiligen Werteformulierung und Wertegewichtung ist keine einfache Entscheidung möglich, zumal transparadigamatische Kriterien prinzipiell nicht angegeben werden können. In diesem Zusammenhang treten dann Fragen auf, die das Verhältnis aufeinanderfolgender empirischer Theorien betreffen, die Kuhn in seiner Inkommensurabilitätsthese vorträgt. (δ) Die *epistemischen Entwicklungsstufen*: Diese Position wird von Piaget in seiner Genetischen Erkenntnistheorie vertreten und besagt, daß der Erkenntnisfortschritt in Stufen verläuft, wobei jede Stufe die vorhergehende auf einer abstrakteren Ebene rekonstruiert und bereits begonnene Strukturierungsansätze vervollständigt. Piaget ist überzeugt davon, daß der Erkenntnisfortschritt der Wissenschaft strukturell gleichartig verläuft wie der Erkenntnisfortschritt der ontogenetischen Reifung. Im Unterschied zu Kuhn handelt es sich demnach um einen Erkenntniserwerb, der gesetzesartig abläuft und grundsätzlich einen Fortschritt beinhaltet.

In dieser Studie soll für die These argumentiert werden, daß die Entwicklung der Naturphilosophie von der Antike bis zum 21. Jahrhundert tatsächlich zeigt, daß sich der Erkenntnisfortschritt in epistemischen Entwicklungsstufen im Sinne Piagets vollzieht. Der Erkenntniszuwachs hat immer wieder einen Neuaufbau auf neuen Fundamenten erbracht. Dieser Sachverhalt hat zwei wesentliche Aspekte: (α) Es gibt einen Erkenntnisfortschritt, der mit einem tiefgreifenden Wandel der grundlegenden Begriffe und Prinzipien – also der Metaphysik – verknüpft ist. Wichtiges Beispiel hierfür ist der Übergang von der aristotelisch-ptolemäischen zur galileisch-kopernikanischen Kosmologie. Der Erkenntnisfortschritt läßt sich allerdings erst in der Retrospektive als Fortschritt ausweisen. (β) Es gibt einen Erkenntnisfortschritt, der mit der mathematisch-experimentellen Erschließung andersartiger Strukturen neuer Erkenntnisgegenstände verknüpft ist. Exemplarisch stehen hierfür die Naturgesetze im mikrophysikalischen Bereich, die sich fundamental von den Naturgesetzen des makrophysikalischen Bereichs unterscheiden.

Die Geltung von Erkenntnis und die Rechtfertigung der Geltungsansprüche

Alle Versuche, Erkenntnis als absolut sicher auszuweisen, enden im Münchhausen-Trilemma: Die Begründungskette führt entweder (α) in einen unendlichen Regreß, (β) in einen logischen Zirkel oder (γ) zu Behauptungen, die durch den Verweis auf angeborene Ideen, Evidenz oder Offenbarung gestützt werden. Der Begriff „Evidenz“ nimmt insbesondere bei Descartes eine zentrale Rolle ein und wird mit dem Begriff „klar und deutlich“ bestimmt. Eine Aussage ist genau dann evident, wenn alle Begriffe klar und deutlich sind, die Aussage alle Stufen des methodischen Zweifels unbeschadet überstanden hat und keinen vernünftigen Zweifel mehr zuläßt. Diese Kriterien für Evidenz sind allerdings unbefriedigend, wie bereits Leibniz kritisch anmerkt. Im Zusammenhang mit der Entwicklungspsychologie, der Gestaltpsychologie und der theoretischen Neuroinformatik kann die spezielle Problematik des Evidenzbegriffs neu erörtert und präziser formuliert werden.

Die Geltungsproblematik führt zu der ernüchternden Konsequenz, daß der Solipsist, der nur sein eigenes, augenblickliches Bewußtsein für existent hält, weder empirisch noch logisch widerlegt werden kann. Wie ernst Erkenntnisse zu nehmen sind, ist in Anbetracht von Täuschungen der Sinneswahrnehmungen und Fehlleistungen des Verstandes bereits auf einer ganz grundsätzlichen Ebene eine durchaus berechtigte Frage. In physikalischen Theorien aber, die von abstrakten theoretischen Entitäten, Eigenschaften und Strukturen sprechen – von Quarks und Schwarzen Löchern – ist die Frage nach dem *Wirklichkeitsbezug* ganz einfach unabweisbar. Es muß also Auskunft darüber gegeben werden, wo in einem großen Spektrum zwischen realistischen und anti-realistischen Deutungen physikalische Theorien und ihre Gegenstände anzusiedeln sind. Strikte Realisten halten eine realistische Interpretation von Entitäten und Strukturen physikalischer Theorien für angebracht. Instrumentalisten hingegen schränken die Erkenntnisgültigkeit weitgehend ein, sie deuten meist nur unmittelbare Sinneswahrnehmungen realistisch und betrachten Entitäten und Strukturen als zweckmäßiges Instrumentarium zur ökonomischen Systematisierung empirischer Daten. Alle dazwischen liegenden Spielarten setzen den Schnitt zwischen einer realistischen und einer anti-realistischen Deutung an anderer Stelle fest.

In der Physik wird – häufig unausgesprochen – die Position eines Wissenschafts-Realismus vertreten, der mit (α) einer Außen-Perspektive, (β) einer Referenzthese, die den ontologischen Status theoretischer Terme sichert, (γ) einer Korrespondenztheorie der Wahrheit, (δ) einer Konvergenzthese, die die Abfolge wissenschaftlicher Theorien als Annäherung an eine „ideale Theorie“ versteht und (ϵ) einer Sprachunabhängigkeitstheorie, derzufolge die Sprache eine deskriptive, aber keine konstitutive Funktion hat, verknüpft ist. In der Wissenschaftstheorie hingegen wird eine breitgefächerte Realismus-Debatte um die Argumente für und gegen einen Entitäten-, Strukturen- oder Eigenschaften-Realismus geführt. Damit ist ein Problem thematisiert, das von den Physikern meist nicht explizit diskutiert wird, obwohl ihre diesbezüglichen Standpunkte immer entscheidend in die Theorienkonstruktion

und in das Wissenschaftsverständnis einfließen. Evolutionstheoretiker, Wahrnehmungspsychologen und Neurowissenschaftler hingegen betonen im Zusammenhang mit dem Wirklichkeitsbezug meist *adaptionistische* und *konstruktivistische* Elemente in der Erkenntnis. Die Beantwortung der Frage nach einer Rechtfertigung realistischer Geltungsansprüche im Schnittfeld von adaptionistischen und konstruktivistischen Aspekten müßte demnach auch die Einsichten der Evolutionstheorie, der Entwicklungspsychologie, der Gestaltpsychologie und der empirischen Neurowissenschaften einbeziehen. Dabei ist es durchaus einleuchtend, daß ein Minimalrealismus vorausgesetzt werden muß, der Existenz und Strukturiertheit des zu erkennenden Objekts **O** garantiert, damit überhaupt empirische Wissenschaften möglich sind.

Plädoyer für eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie

Die Philosophie ist zuständig, wenn es um die Analyse des Erkenntnisprozesses geht. Die Aussagen der traditionellen Erkenntnislehren sind jedoch spekulativ. Es ist daher nicht zu erwarten, daß sie auf alle relevanten Fragen adäquate Antworten liefern; sie müssen in mehrfacher Hinsicht kritisch hinterfragt werden.

Sie [die Erkenntnistheorie] verbindet vielmehr formale, faktische und normative Elemente. Das bedeutet, daß sie *mehreren* Arten von Kritik standhalten muß. Soweit sie formale Methoden benützt, kann sie auf Folgerichtigkeit und Widerspruchsfreiheit geprüft werden; soweit sie sich auf Fakten bezieht, kann sie empirisch getestet werden; und soweit sie normative Elemente enthält, kann sie immerhin noch auf ihre pragmatischen Vorteile hin untersucht werden.¹³

Die Epistemologie versteht sich in der Antike und in der Neuzeit eher nicht als empirisch gestützte Disziplin, sondern als eine Meta-Disziplin, die jeder empirischen Wissenschaft logisch vorausgeht. Eine gewisse Abkehr von dieser Sichtweise zeigt sich in den empiristischen Erkenntnislehren von Locke und Hume. Hier werden die traditionellen Ansätze um drei wichtige Aspekte ergänzt. (α) Locke fragt nach dem Ursprung der Ideen in der Reifung des Menschen vom Kind zum Erwachsenen und bezieht damit erstmals eine ontogenetische Perspektive in seine Erkenntnislehre ein. (β) Hume spricht im Zusammenhang mit dem Kausalprinzip von der „Vernunft der Tiere“ und kommt damit bereits in die Nähe phylogenetischer Überlegungen. (γ) Insbesondere will Hume seine Erkenntnislehre ganz im Sinne einer empirisch gestützten Wissenschaft aufbauen, die – nach dem Vorbild der Newtonschen Physik – von einigen wenigen Prinzipien ausgehend, die Fähigkeiten des Verstandes empirisch erschließt. Die einzige Methode, die ihm jedoch zur Verfügung steht, ist die Introspektion, also der subjektive Zugang zu den kognitiven Fähigkeiten. Kant hingegen, der empiristische und rationalistische Gedanken zusammenführt, behauptet, daß es synthetisches Wissen über die Welt gibt, das apriori vorgegeben ist. Für ihn sind die Formen der Anschauung und die Kategorien des Denkens konstitutiv für jegliche Erkenntnis und

¹³ Vollmer 1988a, S. 171

machen diese erst möglich. Sie können daher gerade nicht durch empirische Untersuchungen, sondern nur durch systematische Ableitungen erschlossen werden.

Den traditionellen Erkenntnislehren wird mehrfaches Versagen vorgeworfen:¹⁴ sie übersehen relevante Fragen, sie versuchen Scheinprobleme zu lösen und sie liefern widersprüchliche Lösungen für grundlegende Probleme. (α) Die traditionellen Erkenntnislehren beschränken sich auf menschliche kognitive Systeme und sie beziehen sich dabei auf den intelligenten, erwachsenen, gebildeten (männlichen?) Europäer. Sie vernachlässigen phylogenetische, ontogenetische und kulturell bedingte Aspekte des Erkenntnisprozesses. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie muß zeigen, daß und warum die Einbeziehung dieser Aspekte wichtige Einsichten in die Fähigkeiten kognitiver Systeme liefert. (β) Die traditionellen Erkenntnislehren gehen von der Prämisse aus, daß das Gehirn des Menschen auf Wissenserwerb angelegt ist. Demzufolge werden Fragen nach dem vollkommenen Wissen, den notwendigen Wahrheiten und den letzten Begründungen gestellt und spekulativ beantwortet. In diesem Zusammenhang wird der intuitiven Erkenntnis dann eine unverzichtbare Rolle zugesprochen und damit eine schwere Last auferlegt. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie muß aufdecken, daß und warum diese Fragen Scheinprobleme sind und untersuchen, welche Funktionen und Grenzen die intuitive Erkenntnis tatsächlich im Erkenntnisprozeß hat. (γ) Die traditionellen Erkenntnislehren geben widersprüchliche Antworten. Rationalistisch orientierte Erkenntnislehren argumentieren für die Existenz angeborener Ideen; empiristisch orientierte Erkenntnislehren hingegen behaupten, daß es diese nicht gibt. Zumindest eine der beiden sich widersprechenden Positionen muß notwendig falsch sein. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie muß klären, was sinnvollerweise unter dem Begriff „angeborene Ideen“ verstanden werden kann und zeigen, daß und inwiefern sowohl die Aussagen der rationalistischen als auch der empiristischen Erkenntnislehren unzutreffend sind. (δ) Auch Kants Formen der Anschauung und Kategorien des Denkens müssen kritisch hinterfragt werden. Insbesondere ist zu untersuchen, ob die systematische Begründung der Kategorien auf der Grundlage einer, an der aristotelischen Logik orientierten Urteilstafel einer empirischen Überprüfung standhält. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie muß herausfinden, ob es synthetisches Wissen geben kann, das allgemein gültig und notwendig wahr ist. Aus dem Versagen der traditionellen Erkenntnislehren ergeben sich somit tiefgreifende Aufgaben für eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie.

Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie erweitert den Fragenkatalog, klärt und modifiziert die Lösungsvorschläge der traditionellen Erkenntnislehren und eröffnet so – als erwünschte

¹⁴ Vollmer 1988a, S. 172f; Die im folgenden häufig verwendete Bezeichnung „kognitives System“ soll hier im Sinne eines extensionalen Begriffs als Sammelbegriff für Tiere und Menschen stehen. Demnach ist ein Kognitionsbegriff in einem eher weiten Sinne gemeint, der sich nicht auf bewußte, symbolverarbeitende Prozesse beschränkt. Im Unterschied dazu, wird in der Literatur der Kognitionsbegriff häufig auch als Sammelbegriff für Computer und Menschen verwendet. Die speziellen Probleme einer intensionalen Begriffsbestimmung erörtert Roth (vgl. Roth 1996, S. 26 – 32).

Konsequenz – eine neue Sicht auf die Frage nach der *intuitiven Erkenntnis*. Insbesondere soll der empirische Zugang sicherstellen, daß der intuitiven Erkenntnis keine Rolle zugeschrieben wird, die sie nicht übernehmen kann. Es liegen bereits wichtige Ansätze einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie vor. Jeder dieser Ansätze bleibt jedoch für sich genommen einseitig. Sie stellen spezielle Perspektiven dar, die zusammengeführt, auf ihre innere Konsistenz hin überprüft, durch weitere Aspekte und neuere Forschungsergebnisse ergänzt werden müssen. Im folgenden soll für die Einbeziehung von fünf Disziplinen als „Zulieferer“ argumentiert werden, da gerade ihre Ergebnisse – wie die bisherige Diskussion verdeutlicht hat – eine sorgfältige Beachtung durch eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie verdienen.

- (i) Die *Evolutionstheorie* und die *Evolutionäre Erkenntnistheorie*: Die wichtigsten Schriften dieses Ansatzes stammen von Lorenz, Vollmer, Riedl und Wuketits sowie ein „Verbesserungsvorschlag“ zur Beseitigung der „Kinderkrankheiten“ von Engels. Der Kerngedanke besteht in der Annahme, daß alle kognitiven Systeme das Ergebnis eines evolutionären Prozesses sind. Der Vergleich dieser unterschiedlichen kognitiven Systeme und die Betonung der *phylogenetischen Perspektive* der menschlichen Erkenntnis wirft ein neues Licht auf die Leistungen der menschlichen Erkenntnisfähigkeit. Der wichtigste Unterschied zu höher entwickelten Tieren besteht darin, daß der Mensch die Fähigkeit zur Sprache und Handlung erworben hat. Zentral ist die Unterscheidung von *mesokosmischer* und *wissenschaftlicher Erkenntnis*, wobei die mesokosmische Erkenntnis den Ausgangspunkt der wissenschaftlichen Erkenntnis bildet. Die Untersuchung ihrer charakteristischen Merkmale wird daher grundlegend sein für die Erörterung der teilweisen Abkehr der modernen Wissenschaften von den mesokosmischen Begriffen und Prinzipien. Die Evolutionäre Erkenntnistheorie betont den *adaptionistischen Aspekt* des Erkenntnisprozesses und verweist darauf, daß der Mensch nur an den Mesokosmos angepaßt ist und zwar in dem Sinne, daß er die Sinnesdaten dieses Ausschnitts der Wirklichkeit so strukturiert, daß er überlebensadäquat zu handeln vermag. Den Anspruch auf eine wirklichkeitskonstituierende Funktion im Sinne Kants läßt sich damit gerade nicht verbinden.
- (ii) Die *Entwicklungspsychologie* und die *Genetische Erkenntnistheorie*: Dieser Ansatz ist hauptsächlich von den Entwicklungspsychologen Piaget und Inhelder erarbeitet, dann von Furth zusammenfassend dargestellt, von Case weiter ausdifferenziert und von Fetz in seiner philosophischen Tragweite beleuchtet worden. Zentral ist der Gedanke der ontogenetischen Entwicklungsstufen. Diese sind dadurch charakterisiert, daß je nach dem bereits erreichten individuellen Entwicklungsstand, spezielle Strukturen der Wirklichkeit konstruiert werden. Insbesondere ist der merkwürdige Sachverhalt hervorzuheben, daß der Mensch – im Unterschied zu allen nicht-menschlichen kognitiven Systemen – eine außergewöhnlich lange Phase der Reifung aufweist und in einem neugierigen und lernbereiten Zustand verbleibt (Neotenie). Dies

deutet darauf hin, daß der Individualentwicklung eine wichtige Bedeutung zukommen muß. Dabei zeigt sich dann, daß die Wirklichkeit, wie sie der erwachsene Mensch erkennt, in der Kindheit stufenweise aufgebaut wird. Die Genetische Erkenntnistheorie betont somit den *konstruktivistischen Aspekt* des Erkenntnisprozesses und verweist darauf, daß das Kind zwar bereits über bestimmte Dispositionen zur Strukturierung verfügt, aber den Aufbau dieser Strukturen immer nur in der aktiv-handelnden Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit vornimmt. Diese Strukturen beziehen sich auf Begriffe wie „Raum“, „Bewegung“, „Substanz“ und „Kausalität“ – Begriffe also, die gerade im Zusammenhang mit den modernen physikalischen Theorien in Verruf geraten. Eine Sonderrolle spielen die Begriffe „Zahl“ und „Zeit“: In der Genetischen Erkenntnistheorie erscheinen sie als abgeleitete Begriffe, die erst spät in der ontogenetischen Entwicklung konstituiert werden. Die Genetische Erkenntnistheorie argumentiert insbesondere für einen Erkenntnisbegriff, der nachdrücklich den *operativen Aspekt* hervorhebt. Die Handlung ist eine fundamentale Bedingung der Möglichkeit von Erkenntnis. Nach dieser Auffassung stehen mathematische Erkenntnisse in einem engen Zusammenhang mit der Fähigkeit zu transformierenden Handlungen, die ihrerseits spezifischen Strukturgesetzen genügen. Demzufolge sind die Wurzeln des logischen und mathematischen Denkens nicht allein in der Sprache und Anschauung, sondern in der Kombination, Koordination und Reversibilität von Handlungen zu suchen. Dies ist die Grundlage für den fundamentalen Wechsel im Mathematikverständnis, der den Unterschied zwischen antiker und moderner Mathematik charakterisiert.

- (iii) Die *Wahrnehmungspsychologie* und die *Gestaltpsychologie*: Jedes kognitive System strukturiert die Sinnesdaten *intuitiv*. Aus der Vielzahl an Strukturierungsmöglichkeiten wird eine Variante automatisch ausgewählt. Hier geht es um den Sachverhalt, daß die Phänomene nicht nur nach Maßgabe der drei Dimensionen im Raum gegeben sind, sondern daß die Weise ihres Gegebenseins zusätzlich speziellen, hierarchisch angelegten Strukturierungsgesetzen unterworfen ist. Umgekehrt gewendet bedeutet dies, daß es nicht im Belieben des kognitiven Systems steht, seine intuitive Strukturierung zu ändern, falls sie sich – durch geeignete Kontrollinstanzen – als fehlerhaft erweist. Diese Strukturierungsgesetze – insbesondere die Gesetze der „guten Gestalt“ – stehen in einem engen Zusammenhang mit den Einfachheits- und Vollkommenheitsidealen der frühen Naturphilosophie, die den Gang der Naturerkenntnis wesentlich bestimmt haben.
- (iv) Die *theoretische Neuroinformatik*: Es können künstliche kognitive Systeme entwickelt werden, die prinzipiell ähnliche Leistungen vollbringen wie natürliche kognitive Systeme. Hierzu gehören die neuronalen Netze, deren wesentliche Eigenschaften darin bestehen, daß sie Informationen distribuiert kodieren und parallel

verarbeiten, fehlertolerant und lernfähig sind. Die Analyse ihrer Lernfähigkeit und die Erforschung der Prinzipien ihrer Funktionsweise gibt wichtige Hinweise zum Verständnis des allgemeinen Erkenntnisprozesses. Selbstorganisierende neuronale Netze stützen die Annahme, derzufolge die Strukturierung des Input in speziellen Lernphasen aufgebaut wird und besitzen so eine systematische Affinität zur Genetischen Erkenntnistheorie Piagets. In einem langsam und kontinuierlich lernenden System treten spontan Entwicklungsstufen als Systemeigenschaften auf. Die Simulationen an neuronalen Netzen erlauben Aussagen zu den Mechanismen der *Musterklassifikation*, der *Mustervervollständigung* und der *Prototypenbildung* von Objekten und kausalen Prozessen, sie werfen ein neues Licht auf die Probleme des Begriffs „Evidenz“ und sie stützen auch die These der Genetischen Erkenntnistheorie, derzufolge die Begriffe „Zahl“ und „Zeit“ zu den abgeleiteten Begriffen gehören.

- (v) Die *empirischen Neurowissenschaften* und die *Neuroepistemologie*: Hier gibt es frühe Ansätze von Oeser / Seitelberger und spätere Arbeiten von Roth, Hedrich und Churchland. Ein kognitives System war bis zum 20. Jahrhundert gewissermaßen eine „black box“, die der empirischen Wissenschaft – neben dem subjektiven Zugang (Introspektion) – keinen objektiven Zugang zur Erforschung seiner Fähigkeiten bot. Mit den empirischen Neurowissenschaften hat sich dies grundlegend geändert mit der Konsequenz, daß sich die Frage nach der intuitiven Erkenntnis nun im Rückgriff auf empirische Ergebnisse möglicherweise besser beantworten läßt. Zentral ist hier die Unterscheidung verschiedener Arten der Informationsverarbeitung – die in den Begriffen „sequentiell“ und „parallel“ gefaßt werden – und die Spezifizierung ihrer jeweils charakteristischen Merkmale. Die von der Gehirnforschung gewonnenen Einsichten in die *Informationsverarbeitung* und die damit verknüpften kognitiven Fähigkeiten müssen in eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie einbezogen werden.

Die besondere Strategie dieser Studie besteht also darin, die gut begründeten Ergebnisse der fünf genannten Disziplinen¹⁵ zusammenzuführen und zu vernetzen, wobei der Schwerpunkt eindeutig auf der Entwicklungspsychologie und damit auf der Genetischen Erkenntnistheorie liegt. Die *Vorteile* dieser Strategie dürften auf der Hand liegen: (α) Der Erkenntnisprozeß ist so kompliziert und vielschichtig, daß ein zufriedenstellendes Bild sicherlich nur dann entstehen kann, wenn er aus möglichst vielen unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet wird. (β) Die Aussagen der traditionellen Erkenntnislehren sind spekulativ und werden durch die Ergebnisse empirischer Wissenschaften überprüft und gegebenenfalls modifiziert bzw. ergänzt. (γ) Jeder empirische Befund kann immer nur auf dem Hintergrund einer spezifizierten Theorie gedeutet werden. Dies kommt in der allgemeinen These von der Theoriegeladenheit der

¹⁵ In einem weiteren Schritt müßte eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie noch ergänzt werden um eine Soziale Erkenntnistheorie (vgl. Schmitt 1994).

Beobachtung zum Ausdruck und gilt insbesondere auch für Theorien, die das erkennende Subjekt zum Erkenntnisgegenstand haben. Mit der Theorie steht und fällt das interpretierte Beobachtungsdatum. Das Zusammenspiel verschiedener empirischer Disziplinen erhöht die Glaubwürdigkeit ihrer Aussagen, d.h. wird eine Aussage von verschiedenen, voneinander unabhängigen empirischen Disziplinen belegt, dann kann diese Aussage als gut begründet gelten.¹⁶ (δ) Einseitigkeiten und Lücken der jeweiligen speziellen Perspektiven sowie überzogene Ansprüche im Hinblick auf die Erklärungsleistung einzelner Disziplinen können durch die anderen Disziplinen korrigiert bzw. vervollständigt werden. (ε) Der besondere Schwerpunkt liegt auf der Genetischen Erkenntnistheorie und zwar deshalb, weil gerade sie ein großes Erklärungspotential zur Verfügung stellt. Sie kann den fundamentalen Mangel der transzendentalen Erkenntnistheorie beheben, der darin besteht, daß nur die Resultate wissenschaftlicher Erkenntnisse gewürdigt werden, d.h. sie kann die Aufgabe übernehmen, auf die Erkenntnisanfänge in der Entwicklung des erkennenden Subjekts zurückzugehen und den stufenartigen Aufbau der Erkenntnis zu verfolgen. Damit gewinnt die Frage nach der Möglichkeit von Erkenntnis eine dynamische Dimension.

Mit dieser Strategie soll aber auch ein prinzipieller *Nachteil* abgemildert werden, der zweifellos mit jeder Erkenntnistheorie verknüpft ist, die empirische Ergebnisse einbezieht. Alle spezifischen Schwierigkeiten der empirischen Theorien werden mitgeschleppt und finden sich folglich in einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie wieder. Darüber hinaus liegt jede empirische Theorie in zahlreichen konkurrierenden Varianten vor. Welche der ausgearbeiteten Varianten adäquatere Antworten liefert, ist häufig umstritten. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie muß aber eine der verfügbaren Varianten auswählen und darauf aufbauen. Dieser Nachteil ist unvermeidbar – es sei denn, eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie wird grundsätzlich zurückgewiesen zugunsten einer transzendentalen Erkenntnistheorie. Letztere hat aber kein besseres und verlässlicheres Instrumentarium zur Analyse des Erkenntnisprozesses anzubieten.¹⁷

¹⁶ Diese Argumentationsstruktur ist analog dem *Maxwell-Bridgman-Kriterium* zur Stützung des Wissenschaftlichen Realismus. Hier geht es darum, daß eine theoretisch erschlossene Entität insbesondere dann als real existierend angesehen wird, wenn sie sich im theoretischen Kontext der Wissenschaften auf verschiedene, voneinander unabhängige Weisen manifestiert.

¹⁷ Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie ist ein interdisziplinäres Programm, das bislang erst in einigen grundlegenden Elementen vorliegt und das angesichts der kniffligen Probleme eher einem Wespennest gleicht, in dem sicher nicht gefahrlos gestochert werden kann. Insbesondere die Einsichten in den Aufbau und die Funktionsweise des Gehirns sind noch nicht umfassend genug und können gewiß noch nicht als hinreichend gesichert gelten, zumal die Ergebnisse der empirischen Neurowissenschaften – im Zusammenspiel mit den Einsichten der Evolutionstheorie – tiefgreifende Erschütterungen des traditionellen, religiös bestimmten Menschenbildes hervorrufen. Wuketits hat zu Recht darauf verwiesen, daß der Mensch die einzige Spezies ist, die sich auf ihre Existenz etwas einbildet und schwer beleidigt ist, wenn diese Selbsteinschätzung als „Ebenbild Gottes“ angekratzt wird. Diese These dürfte wohl lediglich einem narzistischen Bedürfnis des Menschen entspringen. Evolutionstheorie und empirische Neurowissenschaften lassen von der Sonderstellung des Menschen allerdings nicht mehr viel übrig (vgl. Wuketits 2002).

Transzendente oder naturalistische oder empirisch gestützte Erkenntnistheorie?

Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie ist eine Herausforderung für die traditionellen Erkenntnislehren und ihre epistemischen Ideale. Die traditionellen Erkenntnislehren sind zuallererst Rechtfertigungstheorien. Sie lassen sich charakterisieren durch das Paradigma der epistemischen Autonomie des erkennenden Subjekts. Besonders wichtige Vertreter dieses Paradigmas sind Descartes und Kant. Dabei geht es um den Kerngedanken, daß das erkennende Subjekt a priori beurteilen kann, ob sein vermeintliches Wissen als tatsächlich gerechtfertigtes Wissen gedeutet werden kann oder nicht. Demzufolge bedient sich das erkennende Subjekt ausschließlich seiner eigenen Vernunft, wenn es darum geht, zu bewerten und zu entscheiden, ob die zur Verfügung stehenden Gründe ausreichen. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie hingegen argumentiert für einen *Paradigmenwechsel* und kritisiert das Ideal von der epistemischen Autonomie des erkennenden Subjekts.

Hier sollen die wichtigsten Varianten möglicher Erkenntnislehren skizziert und verglichen werden und dabei soll es hauptsächlich um die Frage gehen, welche von ihnen das höchste Maß an Plausibilität beanspruchen kann. Zunächst sind vier Klassen von Erkenntnistheorien zu unterscheiden: (α) die traditionellen Erkenntnislehren der Neuzeit, (β) die transzendente Erkenntnislehre Kants, (γ) eine strikt naturalistische Erkenntnistheorie und (δ) eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie. Beispiele für die erste Klasse sind die rationalistischen Erkenntnislehren von Descartes und Leibniz, sowie die empiristischen Erkenntnislehren von Locke, Berkeley und Hume. Die neuzeitlichen Erkenntnislehren vor Hume setzen eine Außen-Perspektive und die Existenz Gottes voraus, wurzeln in einem Menschenbild, das einen Substanz-Dualismus einschließt und verfolgen das ehrgeizige Ziel, eine absolut sichere Fundierung aller Erkenntnisse zu formulieren, bevor sie endgültig dem rigorosen, aber mit empirischen und logischen Mitteln nicht widerlegbaren Erkenntnis-Skeptizismus Humes zum Opfer fallen. In einer kurzen Skizze soll beispielhaft an einigen Erkenntnislehren erläutert werden, inwiefern sie alle in der einen oder anderen Weise in ontologische, epistemologische oder konzeptionelle Sackgassen geraten und damit letztlich an ihren eigenen Erkenntnisansprüchen scheitern.

- (i) Die *Erkenntnislehre von Descartes*: Descartes geht aus von der Existenz einer denkenden Substanz als das unbezweifelbare Ergebnis seines methodischen Zweifels. Abgesehen vom eigenen Bewußtsein kann Descartes keine weiteren absolut sicheren Erkenntnisse gewinnen. Seine Methode endet vorzeitig im Solipsismus und damit in einer ontologischen Sackgasse. Den einzigen Ausweg sieht Descartes in der metaphysischen Annahme einer vollkommenen Substanz (Gott), die er glaubt, aus der introspektiv gewonnenen Analyse seiner Ideen begründen und durch spezielle metaphysische Argumentationsketten rechtfertigen zu können. Mit dieser Existenz Gottes sichert er dann – als ontologische Konsequenz – die Existenz einer Außenwelt und – als epistemologische Konsequenz – die Wahrheitsgarantie für seine klaren und

deutlichen Ideen. Demnach wäre zu erwarten, daß Descartes für eine Äquivalenztheorie der Erkenntnis mit einem naiven Realismus argumentieren könnte und müßte. Er erkennt aber, daß dieser naive Standpunkt nicht zutreffend ist. Die Gründe, warum der Mensch – trotz der Güte Gottes – häufig dem Irrtum unterliegt, kann er im Zusammenhang mit seiner Erkenntnislehre nicht überzeugend angeben. Damit endet Descartes schließlich auch in einer epistemologischen Sackgasse.

- (ii) Die **Erkenntnislehre von Locke**: Locke geht in seinem empiristischen Ansatz von den einfachen Ideen aus, aus denen sich die Gesamtheit aller komplexen Ideen aufbauen läßt und klassifiziert sie nach inneren Erfahrungen (Gefühle) und äußeren Erfahrungen (Sinneswahrnehmungen). Die äußeren Erfahrungen, für die eine Ursache-Wirkungs-Relation die Anbindung an die Außenwelt liefert, unterteilt er nochmals gemäß ihrer Verursachung durch die primären und sekundären Qualitäten eines Körpers. Im Hinblick auf die primären Qualitäten ergänzt Locke die Ursache-Wirkungs-Relation um eine Abbildtheorie der Erkenntnis. Er gelangt jedoch zu der Einsicht, daß auf dem Hintergrund seiner Erkenntnislehre der Substanzbegriff nicht integrierbar ist, da es keine empirische Grundlage für die einheitsstiftende Objektkonstitution aus einzelnen Sinnesdaten gibt. Dennoch will Locke am Substanzbegriff festhalten; im gegenteiligen Fall ginge ihm die grundlegende epistemologische Annahme eines erkennenden Subjekts und eines zu erkennenden Objekts verloren. Damit endet er aber in einer konzeptionellen Sackgasse; der Bruch zwischen einer empiristischen Erkenntnislehre und einer realistischen Substanz-Ontologie ist nicht zu kitten.
- (iii) Die **Erkenntnislehre von Hume**: Hume vertritt ebenfalls eine empiristische Position, verwirft aber Lockes Unterscheidung von primären und sekundären Qualitäten, und argumentiert scharfsinnig gegen eine empirische oder logische Begründung des Substanz-, Kausal- und Induktionsbegriffs. Sein Angriff auf die epistemologischen Grundbegriffe eines erkennenden Subjekts und eines zu erkennenden Objekts führen ihn endgültig in den Erkenntnis-Skeptizismus. Die Möglichkeit absolut gesicherter Erkenntnis wird von ihm konsequent bestritten. Diese Einsicht zwingt Hume zu einem Neuanfang im Sinne eines Erkenntnis-Pragmatismus. Substanz, Kausalität und Induktion sind überlebensnotwendige Konzepte, die in einer natürlichen Gewohnheit wurzeln. Zu Recht betont er, daß bereits Tiere über diese überlebensnotwendigen Konzepte verfügen.
- (iv) Die **Erkenntnislehre von Kant**: Beeindruckt vom Scheitern der rationalistischen und empiristischen Erkenntnislehren, unzufrieden mit Humes Erkenntnis-Skeptizismus und belehrt durch die aristotelische Logik, die euklidische Geometrie und die Newtonsche Physik, die längst den sicheren Gang der Wissenschaften eingeschlagen haben, argumentiert Kant für eine kopernikanische Wende in der Philosophie. Für ihn

steht fest, daß gesicherte Erkenntnis möglich ist. Die Sicherheit der Erkenntnis ist aber nicht – wie bei Descartes – an die Existenz einer vollkommenen Substanz gekoppelt; sie ist stattdessen an die Strukturierungsleistungen des erkennenden Subjekts gebunden. Nach Kant geht zwar die Erfahrung jeder Erkenntnis voraus, aber die Erkenntnis erschöpft sich nicht in der Erfahrung. Die Erkenntnisgegenstände müssen sich nach dem erkennenden Subjekt richten. Demzufolge buchstabiert Kant die Subjekt-Objekt-Relation der Erkenntnis in ganz neuartiger Weise aus: (α) Aus systematischen Überlegungen entwickelt er die Bedingungen für die Möglichkeit von Erkenntnis. Jeder empirischen Erkenntnis liegen die Formen der Anschauung (Raum, Zeit) und die Kategorien des Denkens (Substanz, Kausalität etc.) zugrunde. Umgekehrt gedeutet bedeutet dies: Empirische Erkenntnis ohne Rückgriff auf *diese* Strukturierungsleistungen des erkennenden Subjekts ist unmöglich. Nach Kant gibt es synthetische Urteile a priori; d.h. Urteile, die das Wissen über die Wirklichkeit erweitern und die sich dennoch durch Allgemeinheit und Notwendigkeit auszeichnen, da ihre Gültigkeit vor jeder Erfahrung feststeht. Seine Erkenntnislehre ist eng verknüpft mit der aristotelischen Logik, der euklidischen Geometrie und der Newtonschen Physik. (β) Kant unterscheidet zwischen einer phänomenalen Wirklichkeit und einer noumenalen Wirklichkeit. Die noumenale Wirklichkeit wird zwar als zureichender Grund der phänomenalen Wirklichkeit gedacht; sie bleibt aber epistemisch unzugänglich. (γ) Jede Erkenntnis setzt ein einheitsstiftendes Bewußtsein voraus und ist begleitet von einem „ich denke“. (δ) Das „Ding an sich“ und das transzendente Subjekt sind – im Gegensatz zu dem Ding in Raum und Zeit und dem empirischen Subjekt – regulative Ideen und damit gerade keine Erkenntnisgegenstände der empirischen Wissenschaft. (ε) Die Formen der Anschauung und die Kategorien des Denkens haben eine wirklichkeits-konstituierende Funktion. Sie sind die Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung und zwar der einzig erfahrbaren Wirklichkeit.

	zu erkennende Objekt	erkennende Subjekt
empirische Phänomene	Ding in Raum & Zeit	empirisches Subjekt
regulative Ideen	Ding an sich	transzendentes Subjekt

Die physikalischen Theorien des 20. Jahrhunderts – Relativitätstheorie, Quantentheorie und Chaostheorie – sind unverträglich mit Kants Transzendentalphilosophie. Sie zeigen, daß auch eine Wirklichkeit erfahrbar ist, die nicht auf einer euklidischen Geometrie und einer

Newtonschen Physik beruht. Offensichtlich ist die Konstruktion in der Anschauung nicht der einzig mögliche Weg um zu Erkenntnisgegenständen zu gelangen. Dieser Sachverhalt zeigt, daß Kants Erkenntnislehre zumindest auf der empirischen Objektebene problematisch ist. Zu befürchten ist aber, daß auch auf der empirischen Subjektebene Schwierigkeiten auftreten, sobald diejenigen empirischen Wissenschaften berücksichtigt werden, deren Untersuchungsgegenstand das erkennende Subjekt ist.¹⁸

Vor dieser Situation stehend, eröffnen sich drei grundsätzliche Optionen: (1) eine modifizierte transzendente Erkenntnistheorie, (2) eine strikt naturalistische Erkenntnistheorie und (3) eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie. Die verschiedenen Optionen beantworten die Frage nach *Aufgabe* und *Status* einer Erkenntnistheorie in unterschiedlicher Weise. (i) Welche Aufgaben hat eine Erkenntnistheorie? Nach klassischem Verständnis hat sie sowohl einen deskriptiven Aspekt (*questio facti*) als auch einen normativen Aspekt (*questio juris*). Für Kant hat es die Erkenntnistheorie aber ausschließlich mit der Begründung und Bewährung von Erkenntnis zu tun und dies bezieht sich dann nicht auf beliebige Erscheinungsformen des Wissens, sondern auf die besten wissenschaftlichen Ergebnisse. Wird dabei noch angenommen, daß Geltungsfragen ohne jeden inneren Zusammenhang mit Tatsachenfragen beantwortbar sind, dann folgt daraus eine strikte Reduktion der Erkenntnistheorie auf normative Aspekte. Grundsätzlich ist also zu klären: Kann bzw. soll sich die Erkenntnistheorie auf Fragen zur Erkenntnisgeltung (logische Aufgaben) oder auf Fragen zum Erkenntniserwerb (empirische Aufgaben) beschränken oder soll sie möglichst den gesamten Fragenkatalog abarbeiten? (ii) Wer ist zuständig für die Formulierung einer Erkenntnistheorie? Der Grundbegriff „Wissen“ bezieht sich auf den Geist / den mentalen Zustand. Die Beantwortung dieser Frage setzt voraus, daß ontologische, epistemologische, semantische und methodologische Probleme im Zusammenhang mit dem Geist / dem mentalen Zustand befriedigend geklärt sind – dies ist aber keineswegs der Fall. Mögliche Antworten könnten lauten: (α) Nur die Philosophie ist zuständig, weil der Geist / der mentale Zustand *kein* Teil der Natur und damit kein Erkenntnisgegenstand der empirischen Wissenschaften ist; (β) nur die empirischen Wissenschaften sind zuständig, weil der Geist / der mentale Zustand sehr wohl *ein* Teil der Natur und damit ein Erkenntnisgegenstand der empirischen Wissenschaften ist oder (γ) Philosophie und empirische Wissenschaften sind gleichermaßen zuständig, weil noch *offen* ist, was der Geist / der mentale Zustand ist und ob er ein Teil der Natur ist oder nicht? Der Sache nach lehnt die erste Option die Naturalismusthese konsequent ab, die zweite Option setzt sie genauso konsequent voraus und die dritte Option verhält sich vorsichtig. Sie nimmt zwar alle Aspekte der *Naturalismusthese*

¹⁸ Dieses neue Problembewußtsein führt um 1970 in der Erkenntnistheorie zum „naturalistic turn“. Carruthers, Stich und Siegal kommentieren dies so: „Most philosophers started to accept as a serious constraint on their theorizing, that both human mental processes and human modes of acquiring knowledge are *natural*, happening in accordance with causal laws as do all other events in nature; and that philosophical attempts to achieve an understanding of the nature of these processes should be seen as continuous with scientific enquiry.“ (Carruthers / Stich / Siegal 2002, S. 3)

(*ontologisch, epistemologisch, methodologisch*) ernst, bleibt aber offen für Modifikationen – falls dies erforderlich sein sollte.¹⁹

- (i) Eine **modifizierte transzendente Erkenntnistheorie**: Diese Erkenntnistheorie interpretiert das Erkenntnisproblem als ein ausschließlich philosophisches Problem mit der Begründung, daß die Fragen der Erkenntnis hauptsächlich den normativen Aspekt betreffen und diese allen empirischen Wissenschaften logisch vorgeordnet sind. Ausgangspunkt ist die Transzendentalphilosophie Kants. Diese müßte dann so modifiziert werden, daß die Verträglichkeit mit der Relativitätstheorie, Quantentheorie und Chaostheorie gewährleistet wird. Ein Vertreter dieser Position ist Cassirer, der für eine Relativierung der Aprioris argumentiert.
- (ii) Eine **strikt naturalistische Erkenntnistheorie**: Diese Erkenntnistheorie betrachtet das Erkenntnisproblem als ein ausschließlich empirisches Problem mit der Begründung, daß die Fragen der Erkenntnis zuallerst Tatsachenfragen zum Erkenntniserwerb sind, die nur durch die Untersuchung der kognitiven Fähigkeiten beantwortet werden können, wobei das kognitive System als Teil der Natur ausschließlich mit den Mitteln der Naturwissenschaften erforscht werden kann und muß. Hintergrund ist eine ontologische, epistemologische und methodologische Naturalismusthese. Vertreter dieser Position sind Quine (Erkenntnistheorie als Teilgebiet der Psychologie) und Riedl und Wuketits (Erkenntnistheorie als Teilgebiet der Biologie).
- (iii) Eine **empirisch gestützte Erkenntnistheorie**: Diese Erkenntnistheorie betrachtet das Erkenntnisproblem als ein teils empirisches, teils philosophisches Problem und wirbt für eine „gute Zusammenarbeit“ zwischen philosophischen und naturalistischen Ansätzen im Sinne einer spiralförmigen Entwicklung. Die empirischen Wissenschaften liefern Aussagen zu den deskriptiven Aspekten der Erkenntnis; sie können insbesondere eine Beschreibung der Erkenntnis in ihrer phylogenetischen,

¹⁹ Die Frage nach der Zuständigkeit stellt sich nicht nur bezüglich der Formulierung einer Erkenntnistheorie, sondern bereits – auf einer tieferen Ebene – bezüglich der Artikulierung eines Menschenbildes. Beckermann schreibt in seinem Buch *Analytische Einführung in die Philosophie des Geistes*: „Sind die Fragen der Philosophie des Geistes tatsächlich rein philosophische Fragen, die nur mit philosophischen Mitteln – zum Beispiel dem Mittel der Begriffsanalyse – geklärt werden können? Oder ist es nicht vielmehr so, daß diese Fragen nur in Zusammenarbeit von Philosophie und Naturwissenschaften beantwortet werden können? Handelt es sich dabei vielleicht sogar um Fragen, für die allein die Naturwissenschaften zuständig sind? Diese Fragen könnten dazu angetan sein, traditionell gestimmte Philosophen in Rage zu bringen. Wir werden aber sehen, daß empirische Ergebnisse aus der philosophischen Diskussion auf jeden Fall nicht völlig ausgeblendet werden können.“ (Beckermann 2001, S. 3) Hier steht also das menschliche Selbstverständnis auf dem Prüfstand: ein naturalistisches Menschenbild versus einem normativistischen Menschenbild. Einerseits sind die heimtückischen Probleme des Gehirn-Geist-Problems sicher noch weit von einer abschließenden Antwort entfernt. Es scheint daher ratsam, mit der Naturalismusthese vorsichtig umzugehen in dem Sinne, daß sie nicht dogmatisch verteidigt werden soll und darf. Im Zusammenhang mit einer Allgemeinen Erkenntnistheorie – wie sie Piaget vorschlägt (vgl. Kapitel 1.3) – könnte möglicherweise die Notwendigkeit eintreten, Aspekte der Naturalismusthese zu modifizieren.

ontogenetischen und kulturell bedingten Perspektive geben. Die Philosophie ist zuständig für die normativen Aspekte; sie bleibt aber – ohne Bezug zu den empirischen Wissenschaften – spekulativ in ihrer deskriptiven Komponente. Hinsichtlich des menschlichen Selbstverständnisses wird – unter Vorbehalt – eine ontologische, epistemologische und methodologische Naturalismusthese vorausgesetzt, derzufolge mentale Zustände nur auf der Grundlage eines materiellen Substrats zustandekommen. Diese Annahme schließt einen Substanz-Dualismus aus – nicht aber einen Eigenschafts-Dualismus. Vertreter dieses integrativen Ansatzes (mit unterschiedlichen Schwerpunkten in den empirischen Wissenschaften) sind Vollmer, Engels, Piaget, Shimony, Hedrich, Roth, Mainzer und Koppelberg.

Grundsätzlich ist demnach eine Wahl zwischen diesen drei Optionen zu treffen; in dieser Studie wird für die *dritte Option* argumentiert. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie muß sich dann gegen zahlreiche Gegner verteidigen: (α) Kritiker, die ihr eine zirkuläre Begründung vorwerfen und (β) Kritiker, die eine Verkürzung der Erkenntnistheorie auf ausschließlich deskriptive Aspekte befürchten, (γ) Kritiker, die die Irrelevanz aller empirischer Ergebnisse für die epistemologischen Fragestellungen behaupten und auf die Vorläufigkeit und Unsicherheit empirischer Ergebnisse verweisen und (δ) Kritiker, die die Relevanz phylogenetischer und ontogenetischer Aspekte für eine Erkenntnistheorie bezweifeln und betonen, daß nur wissenschaftliche Ergebnisse epistemologisch interessant sind, daß diese ein kulturelles Erzeugnis darstellen und daß daher hauptsächlich kulturell bedingte Aspekte relevant sind. Auch wenn die Wahl nicht durch die Angabe von notwendigen und hinreichenden Gründen entschieden werden kann, so läßt sich doch zumindest der Versuch unternehmen, über ein *aporetisches Verfahren* die weniger aussichtsreichen Optionen auszusondern und für diejenige Option zu argumentieren, die als plausibelste und vielversprechendste gelten kann.

Die allgemeinen Vorwürfe der *Zirkularität*, die grundsätzlich gegen *jede* Variante einer Erkenntnistheorie vorgetragen werden, sollen hier nicht diskutiert werden. Damit sind beispielsweise Einwände gemeint, wie sie besonders pointiert Hegel formuliert hat:

Die Untersuchung des Erkennens kann nicht anders als erkennend geschehen und das ist so absurd als Schwimmen lernen, bevor man ins Wasser geht.²⁰

Die Konsequenz, die hieraus zu ziehen ist, wäre demnach, auf jede Variante einer Erkenntnistheorie zu verzichten. Russell stellt jedoch klar, daß die Aufgaben einer Erkenntnistheorie eben bescheidener ausfallen müssen, wenn sie überhaupt möglich sein soll.

Wenn wir die Attitüde des vollkommenen Skeptikers annehmen, einen Standpunkt außerhalb aller Erkenntnis beziehen und verlangen, von dieser Stelle aus durch einen

²⁰ Hegel 1827, § 10

wie immer gearteten Zwang in den Kreis der Erkenntnis zurückgeführt zu werden, dann verlangen wir etwas Unmögliches, und unser Skeptizismus kann niemals widerlegt werden. Denn jede Widerlegung muß mit einem Stück Wissen anfangen, in das sich die Streitenden teilen; auf dem kahlen Zweifel wachsen keine Gründe. Deshalb darf die Erkenntniskritik der Philosophie nicht auf diese Weise destruktiv sein, wenn sie zu Ergebnissen führen soll.²¹

Die speziellen Vorwürfe der Zirkularität, die gegen jede *nicht-transzendente* Erkenntnistheorie erhoben werden können, sind von Vollmer ausführlich behandelt worden. Vollmer, der sich selbst als „Zirkel-Fan“ bezeichnet, argumentiert überzeugend dafür, daß es sich bei der zirkulären Begründung um einen virtuosen Zirkel (spiralförmige Begründungsstruktur) und nicht um einen vitiösen Zirkel (kreisförmige Begründungsstruktur) handelt.²² Auch Engels weist die Zirkelvorwürfe entschieden zurück. Sie unterscheidet den Rechtfertigungszirkel von Bieri²³ vom Erklärungszirkel von Baumgartner²⁴ und argumentiert für die Unhaltbarkeit beider Arten von Zirkelvorwürfen.²⁵ Des weiteren schließt sich auch Hedrich dieser Einschätzung an und argumentiert gegen verschiedene Zirkelvorwürfe. Er spricht von einer „synthetischer Erkenntnistheorie“, um die Synthese von analytischer Erkenntnistheorie und empirischen Disziplinen hervorzuheben und belegt das methodische Vorgehen mit dem Begriff „Kontextkonsistenzschleife“.²⁶ Auch Piaget ist überzeugt von einer spiralförmigen Begründungsstruktur, sowie der Unmöglichkeit einer absoluten Fundierung der Erkenntnis und spricht sich aus für eine „wissenschaftliche Erkenntnistheorie“.²⁷ Piaget argumentiert für die These, daß die Strukturierungsformen, die das kognitive System in der Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit aufbaut, Konstruktionen sind, an denen dieses immer weiterbaut. Hierin unterscheidet sich der Wissenschaftler nicht von einem Kind. Mit der Dynamik dieser Strukturierungsformen wird die Annahme notwendiger und allgemeingültiger Aprioris obsolet und damit eine transzendente Erkenntnistheorie fragwürdig.²⁸

Die Frage, ob die empirischen Wissenschaften in die Erkenntnistheorie „hineinreden“ dürfen, sollen oder sogar müssen, wird äußerst kontrovers beantwortet. Quine plädiert ausdrücklich

²¹ Russell 1967

²² Vollmer 1988a

²³ Bieri 1987

²⁴ Baumgartner 1984

²⁵ Engels 1989

²⁶ Hedrich 1998

²⁷ Piaget 1974

²⁸ Sicherlich wäre es ungerechtfertigt, alle Zirkelvorwürfe gegen eine nicht-transzendente Erkenntnistheorie als endgültig erledigt zu betrachten; dennoch soll hier die Position vertreten werden, daß die Argumente von Vollmer, Engels, Hedrich und Piaget überzeugender sind als die Argumente ihrer Gegner. Auf die genauen Details der Argumentenlinien kann jedoch im Rahmen dieser Studie nicht eingegangen werden – dazu muß auf die angegebene Literatur verwiesen werden.

dafür, psychologische Resultate in der Erkenntnistheorie zu berücksichtigen und argumentiert sogar für eine strikt naturalistische Erkenntnistheorie im Sinne einer Teildisziplin innerhalb einer behavioristischen Psychologie. Für ihn stehen die deskriptiven Aspekte in der Erkenntnistheorie im Vordergrund.

Die Erkenntnistheorie [...] erhält ihren Platz innerhalb der Psychologie und somit innerhalb der empirischen Wissenschaften. Sie studiert ein empirisches Phänomen, nämlich ein physisches menschliches Subjekt. Diesem menschlichen Subjekt wird ein bestimmter, experimentell kontrollierter Input gewährt [...] und zur rechten Zeit liefert das Subjekt als Output eine Beschreibung der dreidimensionalen Außenwelt und ihres Verlaufs.²⁹

Die spezielle Position Quines findet allerdings kaum Anhänger und dies hauptsächlich aus zwei Gründen: (α) Zunächst wird darauf verwiesen, daß die Variante von Quine auf einer Psychologie beruht, der die stark verengte Sichtweise des Behaviorismus zugrundeliegt.³⁰ Die Argumente richten sich demnach nicht gegen eine strikt naturalistische Erkenntnistheorie im allgemeinen, sondern nur gegen eine spezielle Variante. Eine wesentlich plausiblere Variante könnte sich stattdessen auf die Kognitionspsychologie stützen. Noch allgemeiner wäre eine Variante, die alle empirischen Wissenschaften einschließt, die Auskünfte zum erkennenden Subjekt als empirisches Subjekt geben. (β) Des weiteren wird argumentiert, daß eine Erkenntnistheorie, die zu einer empirischen Wissenschaft wird, prinzipiell alle *normativen Aspekte* aufgibt. Sagal bringt die diesbezügliche Ablehnung mit seinem Suizid-Argument besonders pointiert zum Ausdruck:

To give up philosophy's traditional attempt to provide a systematic justification for human knowledge, especially for the fundamental principles of science, is to commit suicide on a grand level. And this is what naturalistic epistemology, or the naturalization of epistemology, is all about.³¹

Dieses Argument ist möglicherweise nicht ganz unberechtigt. Es trifft aber nur eine strikt naturalistische Erkenntnistheorie und schließt daher die *zweite Option* der zuvor genannten Erkenntnistheorien aus. In diesem Sinne argumentiert Shimony ausdrücklich für eine „integrale Erkenntnistheorie“ und somit für die Einbeziehung normativer Aspekte.

This essay will propose an *integral epistemology*, in which certain methods of descriptive epistemology [...] and certain methods of analytic epistemology [...] are combined for the purpose of rationally assessing claims to human knowledge.³²

²⁹ Quine 1975, S. 115

³⁰ Shimony / Nails 1987

³¹ Sagal 1987, S. 321

³² Shimony 1987b, S. 300

Im strikten Gegensatz zu Quine haben Russell und Wittgenstein die Zulässigkeit einer Einflußnahme empirischer Wissenschaft auf die Erkenntnistheorie scharf kritisiert und die *Irrelevanz* aller naturwissenschaftlichen Ergebnisse für die epistemologischen Fragestellungen behauptet. Mainzer und Roth hingegen plädieren für eine Verbindung von philosophischer Erkenntnistheorie mit den empirischen Neurowissenschaften.

Abwegig wäre [...] die traditionelle Kritik, daß es die Analyse neurologischer Grundlagen des Denkens mit der „Genesis“, nämlich der faktischen Evolution zu tun habe, während Logik und Erkenntnistheorie die „Geltung“ der Begriffe und Theorien untersuchen. Die Struktur neuronaler Konzepte erweist sich ja gerade als grundlegend für die Geltung von Begriffen und Theorien, während logisch-symbolische Formalismen nur Spezial- und Teildarstellungen berücksichtigen.³³

Ich vertrete dabei die Meinung, daß eine philosophische Erkenntnistheorie nicht ohne empirische Basis auskommen kann, genausowenig wie empirisches Forschen ohne erkenntnistheoretische Grundlage möglich ist. Beide Bereiche bedingen sich gegenseitig, und keiner ist dem anderen vorgeordnet.³⁴

Auch Piaget stellt sich der Frage, inwiefern die empirischen Wissenschaften überhaupt eine bedeutsame Rolle spielen können. In seinem Fall läßt sich ja die Frage besonders bissig formulieren: Kann ein Kinderpsychologe etwas Wesentliches zum Erkenntnisproblem der Philosophen beitragen? In dieser Frage ist implizit die Voraussetzung gemacht, daß die Erkenntnistheorie nach den Bedingungen wahrer Erkenntnis fragt, also Geltungsfragen stellt und somit ausschließlich einen normativen Charakter aufweist. Piaget argumentiert aber für die These, daß alle traditionellen Erkenntnislehren – empiristische, rationalistische und idealistische Erkenntnislehren – immer schon Bezug nehmen auf Beobachtungsmaterial, wie es sich der alltäglichen Erfahrung entnehmen läßt um Aussagen über den Aufbau der Erkenntnis formulieren zu können.³⁵ Da die traditionellen Erkenntnislehren zeitlich vor der Entstehung einer wissenschaftlich etablierten Psychologie formuliert werden, ist es einleuchtend, daß das Beobachtungsmaterial nur der alltäglichen Erfahrung entstammen kann. Dieses Beobachtungsmaterial sollte aber jetzt durch die empirischen Wissenschaften geprüft und bestätigt oder modifiziert werden. Die empirischen Wissenschaften dürfen und müssen in die Erkenntnistheorie „hineinreden“. Demnach ist es eine Illusion, Erkenntnisfragen ohne die Hilfe der empirischen Wissenschaften beantworten zu wollen. Selbst wenn sich die Erkenntnistheorie ausschließlich auf normative Aspekte beschränkt, d.h. nur Fragen zur Begründung und Bewährung von Erkenntnis zuläßt und daher methodisch die Logik eines axiomatischen Systems untersucht, muß zuerst nachgewiesen werden, daß eine radikale Unabhängigkeit der Normen von den Fakten vorliegt. Im Hinblick darauf, daß auch normative

³³ Mainzer 1995, S. 720

³⁴ Roth 1996, S. 24

³⁵ Beispielsweise wurzelt die cartesische Erkenntnislehre mit ihrer Unterscheidung von angeborenen, erzeugten und erworbenen Ideen in der Introspektion – auch sie beruft sich damit gewissermaßen auf ein empirisches Verfahren.

Systeme eine historische Entwicklung aufweisen, ist die Möglichkeit einer derartigen Beweisführung zumindest zweifelhaft. Ein wichtiges Beispiel ist hier die aristotelische Logik, die der Kategorienlehre Kants zugrundeliegt. Unmißverständlich lehnt Piaget daher die Möglichkeit einer strikten *Grenzziehung* zwischen den empirischen Wissenschaften einerseits und der Philosophie andererseits ab.³⁶ Wenn Roth und Piaget mit ihren Thesen Recht behalten, dann schließt dies die *erste Option* einer modifizierten transzendentalen Erkenntnistheorie aus. Der Vorwurf der Irrelevanz empirischer Wissenschaften für die Erkenntnistheorie wäre damit als unberechtigt zurückzuweisen und die Vorläufigkeit empirischer Sachverhalte in jeder Erkenntnistheorie wäre als unvermeidbar hinzunehmen. Im Gegenzug stellt Piaget seine „wissenschaftliche Erkenntnistheorie“ vor und Fetz kommentiert dies folgendermaßen:

Piagets Werk stellt den bedeutsamsten und folgenreichsten Versuch dar, das traditionell philosophische Erkenntnisproblem mit den Mitteln empirischer Forschung, speziell jenen der Entwicklungspsychologie, anzugehen.³⁷

Die genetische Epistemologie als „Verwissenschaftlichung“ der von Haus aus philosophischen Erkenntnistheorie: Dieser Schritt und das ihn legitimierende Forscherwerk Piagets haben inzwischen die verschiedenartigsten Reaktionen ausgelöst, sind weltweit auf vorbehaltlose Anerkennung wie auf ebenso eindeutige Ablehnung gestoßen. Von wissenschaftlicher Seite wurde dieser Schritt als ein [...] im Grunde fälliges Ereignis begrüßt, das die alten Fragen nach dem erkennenden Menschengestalt endlich aus dem esoterischen Bereich philosophischer Spekulationen herausnimmt, auf den Boden empirischer Forschung stellt und in den Gesamtzusammenhang der Wissenschaften rückt. Andererseits wurde Piagets Werk von Philosophen als eine philosophisch mehr oder weniger belanglose „psychologische“ Entwicklungstheorie hingestellt und kritisiert, zumeist aber in einer *conspiration du silence* überhaupt nicht zur Kenntnis genommen.³⁸

³⁶ Piaget gibt eine Geschichtsinterpretation, derzufolge die großen philosophischen Systeme der Antike und Neuzeit die besondere Form ihrer Erkenntnislehre immer einer speziellen Wissenschaft ihrer Zeit verdanken. Er nennt Platon in bezug auf Geometrie und Arithmetik, Aristoteles in bezug auf Logik und Biologie, Descartes in bezug auf Algebra und analytische Geometrie, Leibniz in bezug auf den Infinitesimalkalkül, Locke und Hume in bezug auf eine introspektive Psychologie, Kant in bezug auf die Newtonsche Physik und Hegel in bezug auf Geschichte (vgl. Piaget 1985, S. 65 – 80 mit einem Kommentar von Fetz 1988, S. 37ff).

³⁷ Fetz 1988, S. 5

³⁸ Fetz 1988, S. 12; Fetz hat in detail herausgearbeitet, daß Piaget seiner „wissenschaftlichen Erkenntnistheorie“ einen speziellen Wissenschaftsbegriff zugrundelegt, der von der traditionellen Auffassung stark abweicht. Nach dem klassischen, auf Auguste Comte zurückgehenden Klassifikationssystem, lassen sich vier Wissenschaftsgruppen unterscheiden und in eine lineare Ordnung bringen, die in ihrer Komplexität zunehmen und in ihrer Allgemeinheit abnehmen: (i) die logisch-mathematischen, (ii) die physikalischen, (iii) die biologischen und (iv) die psycho-soziologischen Wissenschaften. Piaget hingegen spricht von einem „Kreis der Wissenschaften“, indem er die Wurzeln der Logik und Mathematik in einer „natürlichen Logik“ sucht und so diese Wissenschaften an die Psychologie anknüpft. Der Objektbereich der Logik und Mathematik einerseits und der Objektbereich der Psychologie andererseits weisen Überschneidungen auf. Darüber hinaus argumentiert Piaget für einen Wissenschaftsbegriff, der vier Ebenen unterscheidet: (α) die Ebene des Objektbereichs, (β) die Ebene des Theoriebereichs, (γ) die interne Epistemologie, welche die Grundlagendiskussion ausmacht und schließlich (δ) die abgeleitete Epistemologie, welche die, auf der Basis der jeweiligen Wissenschaft möglichen Aussagen zum Erkenntnisproblem umfaßt. Auf der ersten und vierten Ebene schließen sich die vier Wissenschaftsgruppen zu einem zyklischen System (vgl. Fetz 1988, S. 42f, Engels 1989, S. 272ff).

Ignorieren der Arbeiten Piagets ist sicher nicht die angemessene Antwort auf seine „wissenschaftliche Erkenntnistheorie“. Wenn sich der Philosoph aber entschließt, die erkenntnistheoretischen Gedanken Piagets überhaupt zur Kenntnis zu nehmen und ernsthaft zu prüfen, dann wird er feststellen, daß im Kern eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie vorliegt, die den Rekurs auf philosophische Reflexionen keineswegs als überflüssige Zutat versteht, auch wenn dies Piaget in der, mitunter sehr emotional vorgetragenen Argumentation gegen puristisch gesinnte Philosophen nicht immer ausdrücklich vermerkt. So verstanden verflüchtigen sich die Vorbehalte gegen Piagets „wissenschaftliche Erkenntnistheorie“ und eröffnen den Weg zu einer ernsthaften Auseinandersetzung.

Auch Philosophen argumentieren mitunter ganz im Sinne Piagets und plädieren für eine „kooperative naturalistische Erkenntnistheorie“.

Mein Standpunkt besteht aus drei Teilen. 1. Eine richtig verstandene und umsichtig konzipierte psychologische Erkenntnistheorie stellt tatsächlich einen Angriff auf die traditionell-analytische Erkenntnistheorie dar. Psychologische Erkenntnistheorie weist den Vorzug auf, die Mängel einer rein apriorischen Methodologie zu vermeiden und die Unzulänglichkeiten einer rein inferentiellen Konzeption doxastischer Rechtfertigung erfolgreich zu überwinden. 2. Zumindest einige Versionen psychologischer Erkenntnistheorie stellen eine Fortsetzung einer bedeutenden modernen erkenntnistheoretischen Tradition dar, die etwa Descartes, Locke, Hume und Kant umfaßt. Alle diese Philosophen machen Gebrauch von psychologischen Begriffen und sind somit zumindest einem begrifflichen Psychologismus in meinem Sinn verpflichtet. Weiterhin verlassen sie sich weitgehend *implizit* auf gewisse psychologische Voraussetzungen über den Einfluß mentaler Strukturen auf unser kognitives Leben. 3. Es scheint mir deshalb keine geringfügige Veränderung des traditionell erkenntnistheoretischen Geschäfts, wenn diese impliziten psychologischen Voraussetzungen in *explizite* Auflagen für eine adäquate Konzeption einer akzeptablen Theorie epistemischer Rechtfertigung verwandelt werden, die dadurch *teilweise* zu einer empirischen Angelegenheit wird. Es versteht sich von selbst, daß diese Hinwendung zu einem empirischen Psychologismus eine vielversprechende erkenntnistheoretische Perspektive für einen kooperativen Naturalisten eröffnet.³⁹

Ein wichtiges Argument, das von Gegnern einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie vorgebracht wird, ist das zwei-Arten-von-Wissen-Argument. Dieses Argument bezieht sich auf die Behauptungen, (α) daß überlebensrelevantes Wissen und wissenschaftliches Wissen wesentlich verschieden sind, (β) daß nur das wissenschaftliche Wissen eine philosophisch interessante Art des Wissens darstellt und (γ) daß die Evolutionstheorie, die Entwicklungstheorie und die empirischen Neurowissenschaften nichts Relevantes zur Frage nach der Möglichkeit von wissenschaftlichem Wissen beitragen können. Zur Bekräftigung dieses Arguments wird mit Vorliebe auf die Quantentheorie verwiesen, die ganz sicher nichts zum

³⁹ Koppelberg 2001, S. 351

Überleben beiträgt und deren neuronale Bedingungen noch völlig unbekannt sind. Zu Recht zieht Kornblith die Schlagkraft des Arguments in Zweifel und hält dagegen:

Während die Fähigkeit, die Quantenmechanik zu verstehen, unserer Spezies keinerlei selektiven Vorteil verschafft hat, haben uns die intellektuellen Vermögen, die das Verstehen der Quantenmechanik erlauben, einen solchen Vorteil verschafft. Schließlich beziehen sich diese Vermögen nicht einzig und allein auf die Quanten-Welt. Es ist nicht so, als ob wir intellektuelle Organe hätten, die darauf beschränkt sind, Informationen über Quantenmechanik und sonst nichts aufzunehmen, [...]. Menschliches Wissen unterscheidet sich seiner Art nach nicht von dem Wissen, das andere Tiere besitzen. Wissen bildet offenbar eine einzige natürliche Art.⁴⁰

Ein weiteres Argument im Zusammenhang mit einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie betrifft die Frage nach der Relevanz phylogenetischer und ontogenetischer Aspekte im Vergleich zur Relevanz *kulturell* bedingter Aspekte. Diese Frage bezieht sich demnach insbesondere auf das Verhältnis der mesokosmischen Strukturierung zur wissenschaftlichen Strukturierung und wird in einer Debatte ausgetragen, in der sich hauptsächlich drei unerschiedliche Positionen ausmachen lassen.⁴¹

- (i) Die **Position von Gopnik und Meltzoff**: Die Entwicklungspsychologen Gopnik und Meltzoff argumentieren für eine starke *Kontinuitätsthese*. Diese besagt, daß die Mechanismen, die der ontogenetischen Entwicklung der kognitiven Fähigkeiten des Kindes zugrundeliegen, identisch sind mit denjenigen Mechanismen, die dem wissenschaftlichen Denken zugrundeliegen. Das Kind ist demnach ein „kleiner Wissenschaftler“ und umgekehrt – der Wissenschaftler ist ein „großes Kind“. Wissenschaft ist ein Epiphänomen der Kindheit. Sowohl Kinder als auch Wissenschaftler verhalten sich wie Autodidakten: Sie sammeln Daten, stellen Hypothesen auf und modifizieren diese im Lichte neuer Daten. Wenn diese Position stimmen würde, dann müßte eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie zuallererst phylogenetische und ontogenetische Aspekte berücksichtigen. Kulturell bedingte Aspekte wären dann eher zweitrangig, weil sie keine neuen Einsichten liefern würden, wie wissenschaftliches Denken möglich ist.
- (ii) Die **Position von Dennett und Bickerton**: Dennett und Bickerton hingegen argumentieren für eine *Diskontinuitätsthese*. Diese besagt, daß die Fähigkeit zum wissenschaftlichen Denken nur durch eine rigorose Umprogrammierung der Kognition in der phylogenetischen Entwicklung der Menschheit einerseits und der ontogenetischen Reifung des Individuums andererseits möglich ist. Demzufolge soll ein tiefer Graben zwischen dem tierischen und dem menschlichen Bewußtsein

⁴⁰ Kornblith 2001, S. 316f

⁴¹ Carruthers 2002, S. 76ff

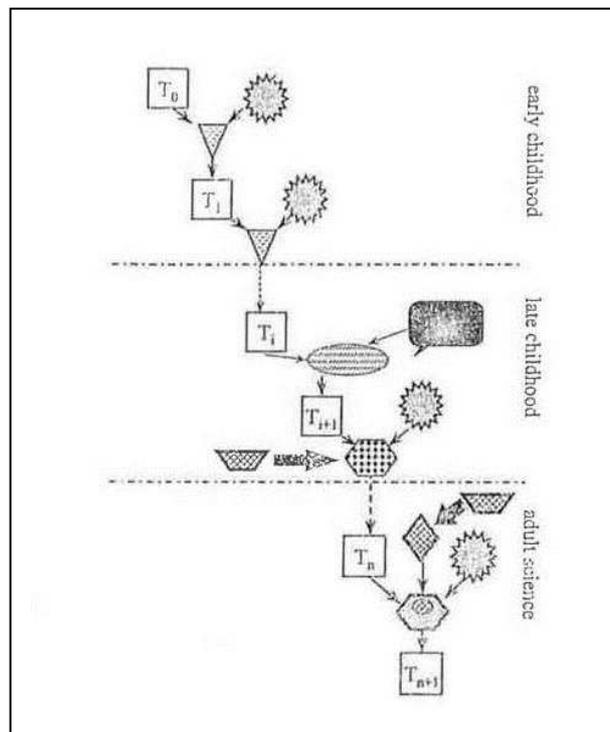
existieren und der Unterschied soll in den sprach-basierten kognitiven Leistungen liegen. Dies ist ein kulturell bedingtes Ergebnis in einer Gesellschaft, die über Sprache und Schrift verfügt. Die externen Faktoren der Kultur führen demnach zu völlig neuartigen kognitiven Fähigkeiten und diese sind alleinige Grundlage des wissenschaftlichen Denkens. Wissenschaft ist ein genuin neues kognitives Phänomen. Wenn diese Position stimmen würde, dann könnte eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie durchaus auf phylogenetische und ontogenetische Aspekte verzichten, weil sie nur wenig Einsichten liefern würden, wie wissenschaftliches Denken möglich ist. Stattdessen müßten zuallererst kulturell bedingte Aspekte untersucht werden.

- (iii) Die *Position von Carruthers und Varley*: Carruthers und Varley weisen die beiden genannten Positionen als einseitig zurück und argumentieren für eine *schwache Kontinuitätsthese*. Diese besagt, daß die Prozesse, die der ontogenetischen Entwicklung des Kindes zugrundeliegen auch in der wissenschaftlichen Tätigkeit vorliegen aber ergänzt werden müssen um kulturelle Einflüsse, die wesentlich mit der Sprache und der Schrift zusammenhängen. Dabei liegt nicht eine rigore Umprogrammierung der Kognition vor, sondern eine Erweiterung der kognitiven Fähigkeiten. Diese Position erscheint plausibel und dies bedeutet, daß eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie phylogenetische, ontogenetische und kulturell bedingte Aspekte gleichermaßen berücksichtigen muß. Insbesondere müßten die Ergebnisse einer Sozialen Erkenntnistheorie eingearbeitet werden.⁴²

Faucher faßt dies in einem drei-stufigen Modell zusammen und unterscheidet (i) die Phase der frühen Kindheit, (ii) die Phase der späten Kindheit, die wesentlich durch die Standardausbildung bestimmt ist und (iii) die Phase der erwachsenen Person, die Wissenschaft betreibt. Die einzelnen Elemente des Modells bedeuten: (α) Der Wissenserwerb vollzieht sich im Übergang von einem alten Wissenszustand (T_k) zu einem neuen

⁴² Die Bedeutung kultureller Einflüsse auf die Wissenschaft soll an drei charakteristischen Beispielen erläutert werden, die den Unterschied zwischen dem abendländischen und dem morgenländischen Denken sichtbar machen: (i) Das abendländische Denken der Antike geht von einem unveränderlichen Kosmos aus und ist nicht fähig, kosmische Ereignisse – z.B. Supernovas – wahrzunehmen. Die Chinesen hingegen konzentrieren sich auf alle Unregelmäßigkeiten am Himmel als vermeintliche Vorboten des Unheils. Daher entgeht ihnen kein neuer Stern. Zwischen 204 v. Chr. und 1604 n. Chr. beobachten die Chinesen 74 neue Sterne; im Westen werden in diesem Zeitraum nur etwa vier davon bemerkt. (ii) Die aristotelische Philosophie nimmt eine scharfe Trennung vor zwischen dem Seienden und dem Nichts. Das Seiende und das Nichts gelten als inkommensurabel. Die aristotelisch geschulten Gelehrten des 14. und 15. Jahrhunderts empfinden es daher als widersinnig, für das Nichts ein arithmetisches Zeichen „0“ einzuführen und den Wert der anderen Ziffern als abhängig von diesem Nichts (1, 10, 100) zu begreifen. Die von den Indern bereits im 5. Jahrhundert eingeführte „Null“ kann sich im Abendland erst im 16. Jahrhundert mühsam durchsetzen. (iii) Die gesamte abendländische Wissenschaft ist tief verwurzelt in der aristotelischen zwei-wertigen Logik. Die Idee einer fuzzy-logic entwickelt der Iraner Lotfi Zadeh und die technische Anwendung wird zunächst nur von Japanern und Chinesen betrieben. Das cartesisch geprägte Denken des Abendlandes akzeptiert alles, was präzise und quantitativ faßbar ist und mißachtet alles, was ungenau und qualitativ ist. Erst mit der erfolgreichen Vermarktung fuzzy-gesteuerter Konsumgüter freundet sich auch der Westen zähneknirschend mit der fuzzy-logic an.

Wissenszustand (T_{k+1}) als Theorienmodifikation. (β) Der Wissenserwerb ergibt sich durch die Auseinandersetzung mit neuen Erfahrungen (Stern). (γ) Die Integration der neuen Erfahrungen wird durch die Mechanismen der Assimilation und Akkomodation im Sinne Piagets geleistet (Dreieck).⁴³



Figur 1.1

(δ) Ab der späten Kindheit kommen zusätzlich und zunehmend die Belehrungen durch Autoritäten – Eltern, Lehrer etc. – hinzu (Sprechblase), deren Aussagen weitgehend ungeprüft geglaubt und übernommen werden (Ellipse). Der Unterricht an den Schulen zielt hauptsächlich auf das Verständnis und die Akzeptanz von Theorien und gerade nicht oder eher selten dem Nachweis ihrer Gültigkeit. (ϵ) Dabei bestimmt die spezielle Kultur (Trapez) die Inhalte der Standardausbildung; sie beeinflusst aber auch die kognitiven Leistungen – Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Kategorisierung, Begründung etc. (ζ) Das Zusammenspiel aller relevanten Faktoren – Erfahrung, Belehrung, Kultur – leitet die Theorienmodifikation (Sechseck). (η) Für die erwachsene Person, die Wissenschaft betreibt, sind die in der Wissenschaft jeweils gültigen Normen (Raute) verbindlich. Zu diesen Normen gehören innere Konsistenz, äußere Kohärenz, Einfachheit, Prüfbarkeit, Fruchtbarkeit, Erklärungsleistung etc. (ϑ) Dabei bestimmt die spezielle Kultur (Trapez) wesentlich das Interesse, die Ziele, die Normen und die Methoden wissenschaftlicher Erkenntnis. Das Zusammenspiel aller relevanten Faktoren leitet die Theorienmodifikation (Sechseck) des Wissenschaftlers.

⁴³ Faucher et al. 2002, S. 362

1.2 Evolutionäre Erkenntnistheorie

Die traditionellen Erkenntnislehren sind spekulativ. Ihre Aussagen zum Erkenntnisprozeß müssen – wie in Kapitel 1.1 begründet – empirisch geprüft, modifiziert und ergänzt werden. Ein erster grundlegender Schritt auf dem Weg zum angestrebten Ziel besteht darin, die spezielle Perspektive einer Evolutionstheorie (spezielle Varianten: Synthetische Theorie der Evolution / Neutralitätstheorie der Evolution / Systemtheorie der Evolution) und ihre Einsichten für die Erkenntnistheorie fruchtbar zu machen. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie sucht (α) den Erkenntnisapparat, (β) die kognitiven Erkenntnisfähigkeiten und (γ) die Strukturierungsleistungen als Ergebnis eines Evolutionsprozesses zu verstehen. Zunächst muß der Begriff „Evolution“ präzisiert werden. Im engen Sinne ist unter diesem Begriff die phylogenetische Entwicklung gemeint. Er kann aber – in einem sehr weiten Sinne – unter drei verschiedenen Aspekten verstanden werden:

- (i) Die **phylogenetische Entwicklung**: Dieser Aspekt umfaßt die biologische und kognitive Entwicklung verschiedener kognitiver Systeme. Damit ist gemeint, daß nicht nur die verschiedenen Erkenntnisapparate Ergebnisse der Evolution sind, sondern auch die kognitiven Fähigkeiten. Insbesondere werden hier die verschiedenen informationsverarbeitenden Fähigkeiten des menschlichen Gehirns im Sinne neuer Systemeigenschaften thematisiert. Dies ist der zentrale Erkenntnisgegenstand der Evolutionären Erkenntnistheorie und der vergleichenden Neurowissenschaften.
- (ii) Die **ontogenetische Reifung**: Hier ist der individuelle Reifungsprozeß eines speziellen kognitiven Systems gemeint und zwar die Entwicklung vom Baby zum Erwachsenen. Insbesondere geht es dabei um den individuellen, stufenartigen Aufbau der informationsverarbeitenden Fähigkeiten des Gehirns, d.h. Wahrnehmen, Sprechen, Handeln, Denken etc. und um den konstruktiven Aufbau der Wirklichkeit in den jeweiligen Entwicklungsstufen. Dies ist der zentrale Erkenntnisgegenstand der Genetischen Erkenntnistheorie und der Forschung an neuronalen Netzen.
- (iii) Die **kulturelle Entfaltung**: Dieser Aspekt meint die Standardausbildung in den Schulen, die Entwicklung von Wissenschaft und Technik und – als Konsequenz – die Veränderung der Wirklichkeit durch den Menschen. Die historische Entwicklung der Wissenschaften ist Thema der Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftstheorie.

Im folgenden geht es um eine kursorische Diskussion der wichtigsten Schlüsselbegriffe und Kerngedanken der Evolutionären Erkenntnistheorie: (α) die *Postulate der Evolutionären Erkenntnistheorie*, (β) der *phylogenetische Aspekt der Erkenntnis*, (γ) der *adaptionistische Aspekt der Erkenntnis*, (δ) die *mesokosmische und die wissenschaftliche Strukturierung* und (ϵ) die *Erklärungserfolge und Erklärungsprobleme der Evolutionären Erkenntnistheorie*.

Die Postulate der Evolutionären Erkenntnistheorie

Was ist Erkenntnis? Die Evolutionäre Erkenntnistheorie beschreibt Erkenntnis einerseits als einen Prozeß und andererseits als ein Ergebnis. Jede Erkenntnis ist ein interpretierender Akt, der beeinflußt wird von bereits gemachten Erfahrungen, Erwartungen, Vorurteilen, Überzeugungen, Vorlieben etc. Als Ergebnis ist Erkenntnis eine drei-gliedrige Relation:

S erkennt O als A

Das erkennende Subjekt **S** erkennt das zu erkennende Objekt **O** als ein strukturiertes Ganzes **A**.⁴⁴ Erkenntnis entsteht durch das Zusammenspiel von objektiven und subjektiven Strukturen, d.h. die Strukturierung **A** hat eine Komponente, die auf das zu erkennende Objekt zurückverweist und eine Komponente, die durch das erkennende Subjekt bedingt ist und vom Erkenntnisapparat, von den kognitiven Fähigkeiten und von der jeweiligen Erkenntnisstufe abhängt. Die subjektiven Strukturen werden wesentlich von der phylogenetischen Entwicklung, der ontogenetischen Reifung und der kulturellen Entfaltung bestimmt.

*Wirklichkeitserkenntnis ist eine adäquate Rekonstruktion und Identifikation äußerer Strukturen im Subjekt. [...] Um etwas zu erkennen [...] muß der Organismus (a) ein internes Abbild von Außenweltstrukturen erstellen (konstruieren), (b) dieses Modell mit gespeicherten Engrammen vergleichen und (c) feststellen können, ob und inwieweit der rekonstruierte Gegenstand mit bereits Bekanntem übereinstimmt, ihn identifizieren.*⁴⁵

Wie jede wissenschaftliche Theorie muß auch die Evolutionäre Erkenntnistheorie von bestimmten ontologischen, epistemologischen und methodologischen Postulaten ausgehen, die sie bestenfalls plausibel begründen, aber nicht streng beweisen kann. Der Verzicht auf derartige Postulate – etwa als Folge eines rigorosen Zweifels – hätte die unerwünschte Konsequenz, daß keine wissenschaftlichen Theorienkonstruktionen möglich wären.⁴⁶ Die folgenden Postulate formulieren grundsätzliche Annahmen über das zu erkennende Objekt **O**, das erkennende Subjekt **S** und die Interaktion zwischen **O** und **S**.⁴⁷

- (i) Das **Realitätspostulat**: Es existiert eine Wirklichkeit **O** und zwar unabhängig von der Existenz kognitiver Systeme **S**, die diese Wirklichkeit wahrnehmen und erforschen können. Dieses Postulat ist eine Existenzbehauptung und nur im ontologischen Sinne zu verstehen, sie sagt nichts über die Erkennbarkeit der Wirklichkeit.
- (ii) Das **Strukturpostulat**: Die Wirklichkeit **O** ist strukturiert, die Phänomene sind

⁴⁴ Die Einteilung in ein erkennendes Subjekt **S** und ein zu erkennendes Objekt **O** hat hier nur einen heuristischen Wert für die Analyse des Erkenntnisprozesses und soll keine dualistische Weltsicht etablieren.

⁴⁵ Vollmer 1988a, S. 294

⁴⁶ Vollmer 1975, S. 28 – 34

⁴⁷ Russell hat zu Recht betont: „[...] auf dem kahlen Zweifel wachsen keine Gründe.“

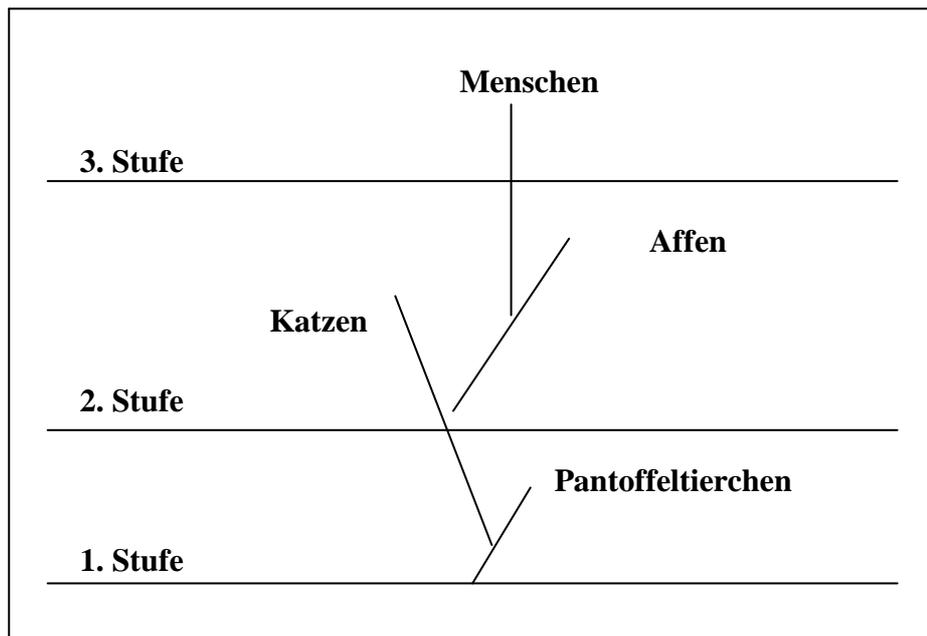
hochgradig redundant und nach Naturgesetzen bestimmt. Diese Strukturen sind real, objektiv und – wie die Gehirnforschung zeigt – notwendige Bedingungen für die Möglichkeit von Erkenntnis. Wäre die Wirklichkeit ausschließlich chaotisch, dann wäre nicht nur keine Erkenntnis möglich, sondern es gäbe überhaupt keine kognitiven Systeme **S**. Dieses Postulat richtet sich gegen eine radikal konstruktivistische Auffassung – etwa im Sinne Maturanas und Varelas –, derzufolge die Strukturen ausschließlich eine subjektive Zutat des erkennenden Subjekts sind.

- (iii) Das **Postulat des Fremdpsychischen**: Es existieren verschiedene kognitive Systeme **S** (Katzen, Affen, Menschen), die ein unterschiedlich hoch entwickeltes Bewußtsein (Wachheit, Aufmerksamkeit, Reflexion) haben. Der Solipsismus, der nur das eigene Bewußtsein gelten läßt, ist damit ausgeschlossen. Dieses Postulat wendet sich aber auch gegen behavioristische Positionen, die sich auf die Analyse von Reiz-Reaktions-Schemata beschränken, psychologische Termini zu mentalen Phänomenen (Gefühle, Wünsche, Gedanken) vermeiden und damit gehirninterne Verarbeitungsmechanismen als mögliche Erkenntnisgegenstände ausschließen wollen.
- (iv) Das **Interaktionspostulat**: Die Sinnesorgane eines kognitiven Systems **S** und die Wirklichkeit **O** treten in eine Interaktion. Ein großer Teil des sensorischen Input wird – wie die Gehirnforschung zeigt – ausgefiltert; ein kleiner Teil wird sinnesspezifisch verarbeitet, d.h. bewertet, strukturiert, durch gehirneigene Vorgaben ergänzt und dann als Informationen über die Wirklichkeit interpretiert und für ein überlebensadäquates Handeln verfügbar gehalten.
- (v) Das **Gehirnfunktionspostulat**: Die Vertreter der Evolutionären Erkenntnistheorie gehen von der Annahme aus, daß ausnahmslos alle kognitiven Leistungen – und die Einsichten der Gehirnforscher stützen diese Sicht – an ein materielles Substrat gebunden sind. Insbesondere sind mentale Phänomene funktionale Zustände des Gehirns; sie werden durch physische Zustände komplexer Systeme realisiert. Damit wird ein Substanz-Dualismus ausgeschlossen, demzufolge eine ontologisch selbständige immaterielle Substanz existiert, die für die kognitiven Fähigkeiten zuständig ist. Dabei bleibt die Beschreibung durch einen Eigenschafts-Dualismus oder eine Supervenienztheorie offen.
- (vi) Das **Erklärbarkeitspostulat**: Alle Tatsachen werden als prinzipiell analysierbar und erklärbar angesehen. Damit ist eine Absage an jene Theorien verbunden, die aus der Gesamtmenge der Tatsachen eine Teilmenge herausgreifen und sie als nicht weiter analysierbar einstufen. Hierunter fallen kreationistische, vitalistische und teleologische Theorien, die auf übernatürliche, dem Verstand unzugängliche Wirkmechanismen verweisen. Der mit diesen Positionen verknüpfte Wissensverzicht soll aus heuristischen Gründen zurückgewiesen werden.

Es ist offensichtlich, daß die Evolutionäre Erkenntnistheorie hier einen minimal-realistischen Begriffsrahmen voraussetzt um ihre Theorie aufzubauen. Damit ist eine beachtliche Anzahl von philosophischen Positionen von vornherein ausgeschlossen – insbesondere so „ärgerliche“ Positionen wie der Solipsismus, der Idealismus, der Kreationismus etc.⁴⁸ Im Vorgriff sei jedoch bemerkt, daß diese Postulate sowohl von der Genetischen Erkenntnistheorie als auch von den empirischen Neurowissenschaften ausdrücklich gestützt und präzisiert werden. Auf dem Hintergrund dieser Postulate werden im folgenden die phylogenetischen und adaptionistischen Aspekte der Erkenntnis skizziert.

Der phylogenetische Aspekt der Erkenntnis

Jedes Lebewesen ist selbsterhaltend und selbstherstellend. Diese Fähigkeiten sind verknüpft mit vielschichtigen, selektiven Interaktionen mit der Umwelt. Die verschiedenen Arten von Lebewesen lassen sich hierarchisch ordnen im Sinne einer Baumstruktur. Jede höhere Stufe weist gegenüber allen niedrigeren Stufen *neuartige Systemeigenschaften* auf und die einzelnen Stufen sind durch das dynamische Prinzip der Evolution miteinander verknüpft.⁴⁹



Die Evolution ist ein auf *Informationsgewinn* angelegter Prozeß. Die Entstehung der verschiedenen Arten von Lebewesen ist verbunden mit einer Pluralität von kognitiven

⁴⁸ Engels hat zu Recht darauf hingewiesen, daß die Vertreter der Evolutionären Erkenntnistheorie ganz sicher das altehrwürdige philosophische Problem von der Existenz der Außenwelt nicht lösen und auch keine stützenden Argumente zugunsten dieser Auffassung angeben können. „Nun muß es nicht zum Selbstverständnis einer Evolutionären Erkenntnistheorie von ihrer Aufgabenstellung gehören, das Problem der Realität der Außenwelt lösen zu können. Die Unlösbarkeit dieses Problems mit den theoretischen Mitteln der Evolutionären Erkenntnistheorie spricht nicht gegen die Evolutionäre Erkenntnistheorie als solche, sondern gegen ihren überzogenen Anspruch.“ (Engels 1989, S. 226).

⁴⁹ Mainzer 1997, S. 10

Systemen, die sich darin unterscheiden, daß sie (α) ein und dieselbe Wirklichkeit mit einem unterschiedlichen Informationsgehalt abbilden und (β) über unterschiedliche informationsverarbeitende Fähigkeiten und damit über unterschiedliche Möglichkeiten zur Strukturierung verfügen. Die *Abbildung der Wirklichkeit* ist hier im Sinne eines geeigneten Kodierungsverfahrens von Signalen (vgl. Kapitel 1.5) zu verstehen, das adaptionistische und konstruktivistische Züge trägt. Diesen Doppelaspekt betont insbesondere Oeser:

Richtig verstanden hat es weder mit einer naiven Abbildungstheorie der Wahrnehmung noch mit einer trivialen Korrespondenztheorie der Wahrheit, noch mit einer bloß rezeptiv-passiven Vorstellung von der Wahrnehmung zu tun, sondern stellt vielmehr Anfang und Ende des Prozesses menschlicher Erkenntnis dar, der je nach Höhe der Abstraktion mehrere konstruktive Schritte enthält, die jedoch alle in der unmittelbaren Erfahrung mit der Realität rückgekoppelt sind.⁵⁰

Pantoffeltierchen verfügen über ein äußerst informationsarmes Abbild der Wirklichkeit. Katzen besitzen bereits ein bedeutend informationsreicheres Abbild. Jedes Lebewesen verfügt aber nur über einen Ausschnitt aus der Gesamtmenge möglicher Informationen und besetzt so eine arttypische kognitive Nische. Innerhalb dieses Ausschnitts ist das kognitive System überlebensadäquat angepaßt. Aus der Sicht eines höher entwickelten kognitiven Systems sind also die Abbilder, über die niedrig entwickelte kognitive Systeme verfügen, nicht falsch, sondern informationsärmer, d.h. ein informationsreicheres Abbild ist für sein Überleben nicht zwingend erforderlich. Jedes Abbild der Wirklichkeit ist eine drastische Vereinfachung, die unter utilitaristischen Gesichtspunkten angelegt ist. Der Vergleich der verschiedenen kognitiven Systeme legt die Vermutung nahe, daß auch das menschliche kognitive Vermögen begrenzt sein dürfte.

Der Mensch hat hinsichtlich seiner Sinneswahrnehmungen keine wesentlich anderen Fähigkeiten als höher entwickelte Tiere. Im Vergleich zum Menschen verfügen einzelne Tierarten mitunter sogar über besser ausgerüstete oder andere Sinnesorgane. Es gibt Fische, die elektrische Felder erzeugen; Vögel, die magnetische Felder spüren; Fledermäuse, die ihre Beute mit Ultraschall lokalisieren; Bienen, die Ultraviolett und Schlangen, die Infrarot sehen.⁵¹ Auch Tiere sind zu einem non-verbalen Denken im Sinne einer vorbegrifflichen Abstraktionsleistung fähig, das erwartungs- und verhaltensrelevant ist. Speziell in Skinner-Boxen trainierte Tauben lernen, symmetrische von nicht-symmetrischen Figuren zu unterscheiden und das Symmetrieprinzip auf, für sie noch unbekannte Figuren zu generalisieren. Bei Versuchen mit spiegel-symmetrischen und punkt-symmetrischen Figuren sind sie teilweise erfolgreicher als Menschen.⁵² Auch tierische Kommunikationssysteme sind

⁵⁰ Oeser / Seitelberger 1988, S. 39; Der konstruktivistische Aspekt wird in der Evolutionären Erkenntnistheorie zwar ausdrücklich erwähnt, aber nicht näher bestimmt.

⁵¹ Vollmer 1988a, S. 76

⁵² Delius 1992, S. 106 – 118

bekannt. Hierzu gehören der Schwänzeltanz der Honigbienen, der Informationen über Art, Lage und Entfernung einer Futterquelle beinhaltet und die Pfeifsprache der Delphine, die über ein umfangreiches Vokabular zur Verständigung verfügen.⁵³ Einige Tiere sind auch für ihr „handwerkliches Geschick“ bekannt. Dazu gehören Biber, die Bäume fällen und Staudämme bauen. Andere Tiere sind in geradezu beängstigender Weise zur organisierten Staatenbildung mit optimierter Arbeitsteilung fähig. Hier sind es verschiedene Ameisenarten, die – trickreich und hinterhältig – Pilze züchten, Sklaven halten, Kriege führen und sich dabei derart ausgefeilter Methoden bedienen, als hätten sie einen Verstand.⁵⁴ Insbesondere sind Affen fähig, sich einfache Probehandlungen im Vorstellungsraum auszudenken, einfache Werkzeuge zu verwenden, einige Elemente einer Zeichensprache zu erlernen und diese kreativ zur Äußerung ihrer eigenen Wünsche einzusetzen. Sie verfügen sogar über das kognitive Vermögen sich selbst im Spiegel zu erkennen.⁵⁵

Der Unterschied zwischen Menschen und Tieren besteht in einer äußerst facettenreichen menschlichen Fähigkeit zu experimentierenden Handlungen, zum kontrafaktischen Probandeln im Vorstellungsraum, zu komplexen Einsichten in soziale Strukturen, zum symbolischen und begrifflichen Denken, zur syntaktisch strukturierten Sprache und Schrift, zur Erfindung und Durchführung algorithmischer Verfahren und zu differenzierten Reflexionen über die Struktureigenschaften der Handlungen. Dabei ist nicht nur die Befähigung zur Handlung und zur Sprache, sondern jede Verstandestätigkeit ein Ergebnis der Evolution. Offensichtlich haben sich neue kognitive Vermögen entwickelt, die bei Tieren entweder gar nicht oder nur in bescheidenen Ansätzen vorhanden sind. Die verschiedenen kognitiven Systeme unterscheiden sich demnach nicht nur darin, daß sie Abbilder von der Wirklichkeit mit einem unterschiedlichen Informationsgehalt entwerfen, sondern insbesondere auch darin, daß sie über unterschiedliche informationsverarbeitende Fähigkeiten verfügen. Dabei sind zwei komplementäre Mechanismen am Werk: (α) die Spezialisierung und (β) die Entspezialisierung. Charakteristisch für den Menschen ist seine „Spezialisierung auf das Nichtspezialisieren“. Auf den ersten Blick erscheint die Entspezialisierung keine Vorteile zu bieten. Daher erklärt Seitelberger:

Spezialisierung bedeutet abgesehen von ihrer Wirksamkeit in einer definierten und stabilen Umgebung gleichzeitig oft eine Sackgasse, aus der keine weitere

⁵³ Vollmer 1975, S. 75f

⁵⁴ Wuketits 2002, S. 124; Damit soll natürlich nicht behauptet werden, daß Tiere als kleine menschliche Wesen zu verstehen sind. Dennoch muß hervorgehoben werden, daß die vielfältigen Ähnlichkeiten zwischen Menschen und Tieren erwarten lassen, daß auch die Erforschung von Tieren einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der kognitiven Fähigkeiten des Menschen leisten kann. Wichtig wird dieser Gedanke für die empirischen Neurowissenschaften, wenn es darum geht, vergleichende Untersuchungen zur Gehirnentwicklung und zu den Mechanismen der Gehirnfunktionen vorzunehmen (vgl. Kapitel 1.5).

⁵⁵ Kolb / Whishaw 1996, S. 25; In Versuchen von Savage-Rumbaugh lernen die beiden Schimpansen Sherman und Austin, unter Verwendung graphischer Symbole, einander um Werkzeuge zu bitten um damit an Futter zu gelangen (vgl. Savage-Rumbaugh / Lewin 1995, S. 99ff).

Entwicklung mehr erfolgen kann. Auf der anderen Seite stellt schon eine geringfügige oder relative Entspezialisierung Möglichkeiten für adaptive evolutive Veränderungen bereit.⁵⁶

Die Entspezialisierung bereits vorhandener Systemeigenschaften ist mit dem Aufbrechen strukturbedingter Funktionsbeschränkungen verknüpft. Autonom lebende Einzeller verfügen über mehr Informationen und über mehr Reaktionsmöglichkeiten als im System lebende Einzeller, wie das Neuron, das nur dem Alles-oder-Nichts-Gesetz der Informationsübertragung unterliegt. Die Entspezialisierung meint also, daß ein Subsystem eines komplexen Systems im Vergleich zu seinem „alleinlebenden Verwandten“ eine bescheidenere informationsverarbeitende Leistung aufweist. Diese „Verdummung“ des Subsystems im Zuge seiner Integration in ein komplexes System eröffnet neue Wege für Systemeigenschaften, die in den einfacheren Systemen, aus denen sie bestehen, nicht zu finden sind. In diesem Sinne wird verständlich, daß die Gründe für die höchsten kognitiven Fähigkeiten nicht in den informationsverarbeitenden Leistungen der einzelnen Neuronen, sondern in der komplexen Architektur der Neuronenverbände zu suchen sind (vgl. Kapitel 1.5).⁵⁷

Grundlegende Systemeigenschaften sind die genetische Fixierung, die Lernfähigkeit, die Handlungs- & Sprachfähigkeit und das Vermögen zur Reflexion.⁵⁸

- (i) Die **genetische Fixierung**: Wenig entwickelte kognitive Systeme (Pantoffeltierchen) sind in ihrem senso-motorischen Vermögen vollständig genetisch fixiert. Die gesamte ihnen zur Verfügung stehende Information über die Umwelt ist im Genom gespeichert und wird an die Nachkommen vererbt. Sie reagieren nach bestimmten angeborenen Auslösemechanismen auf Augenblicksinformationen gemäß einem starren Reiz-Reaktions-Schema. Sie können also im ontogenetischen Sinne nicht durch Erfahrungen dazulernen. Anpassungen an veränderte Umweltsituationen sind nur langfristig auf phylogenetischem Wege durch die Änderung des genetischen Codes möglich. Höher entwickelte kognitive Systeme hingegen sind nicht vollständig genetisch fixiert. Sie verfügen stattdessen über neue Systemeigenschaften, die ihnen eine flexiblere Anpassung an ihre Umwelt erlauben. Genetisch fixierte Informationen über die Welt sind aber dennoch in jedem kognitiven System im Sinne von Dispositionen angelegt. Diese Dispositionen sind dann als constraint-Bedingungen zu verstehen, innerhalb deren ein kognitives System auf die Umwelt reagieren kann.

⁵⁶ Oeser / Seitelberger 1988, S. 56

⁵⁷ Im Gehirn kommt der Unterschied zwischen Menschen und Tieren hauptsächlich dadurch zum Ausdruck, daß die kognitive Höherentwicklung mit einer größeren Anzahl von Kortex-Arealen verbunden ist. Die relevante anatomische Einheit des Gehirns ist das funktionelle Areal und die relevante Verhaltenseinheit ist die spezifische Fähigkeit. Je mehr Kortex-Areale ein kognitives System besitzt, desto komplexer erscheint ihm die Welt und desto mehr Verhaltensoptionen stehen ihm zur Verfügung. Die Anzahl der Kortex-Areale determiniert somit gewissermaßen die erfahrbare Wirklichkeit (vgl. Kolb / Whishaw 1996, S. 139f).

⁵⁸ Kaspar 1983; Oeser 1983; Mithen 2002

- (ii) Die **Lernfähigkeit**: Höher entwickelte kognitive Systeme (Katzen, Affen) sind nur teilweise genetisch fixiert; darüber hinaus sind sie lernfähig. Charakteristisch für alle Lernvorgänge ist die Plastizität des Gehirns durch die Veränderung der Synapsen. Diese Veränderung bedeutet Speicherung von Informationen (vgl. Kapitel 1.5). Es lassen sich verschiedene Lernvorgänge unterscheiden: Imitation, Übung, exploratives Forschen, Einsicht etc. Zuallererst handelt es sich um eine Lernfähigkeit, die sich in der ontogenetischen Reifung des kognitiven Systems entfaltet und die an bestimmte Zeitfenster gekoppelt ist. Bei Tieren ist die sensible Phase der Lernfähigkeit meist auf die Jugendzeit beschränkt. Der Mensch hingegen zeichnet sich gerade dadurch aus, daß seine ontogenetische Entwicklung stark verlangsamt ist und daß seine Reifung gewissermaßen auf einem jugendlichen Stand stehenbleibt, so daß Neugier und Lernfähigkeit lebenslang anhalten (Neotenie). Die Ergebnisse der Lernprozesse werden nicht vererbt; sie können aber durch Imitation von den Nachkommen erworben werden. Die Lernfähigkeit ist demnach eine neue Systemeigenschaft; sie gestattet eine individuelle Anpassung an neue Umweltsituationen und damit eine enorme Erweiterung der kognitiven Nische.
- (iii) Die **Handlungs- & Sprachfähigkeit**: Eines der Schlüsselereignisse der menschlichen Phylogenese ist der Erwerb des aufrechten Ganges. Mit der Aufrichtung des menschlichen Körpers wird (α) die Aufgabe der Fortbewegung allein den Beinen überlassen und die Hände freigestellt, um eine äußerst differenzierte Fähigkeit zum Handeln auszubilden und (β) die biologische Voraussetzung geschaffen, um die Fähigkeit zum Sprechen auszubilden. Im Zusammenhang mit der Erschließung neuer Tätigkeitsfelder für Hand und Mund kommt es dann zur Herstellung und zum Gebrauch von Werkzeugen, zur Symbolbildung, zur sprachlichen Verständigung und Vermittlung von Sachverhalten. Die damit einhergehenden Fähigkeiten sind aber die Grundlage dafür, daß logische und mathematische Strukturen vorgebildet werden. Dies beruht darauf, daß die Kombination, Koordination und Reversibilität von Handlungen gewissen Strukturgesetzen unterliegt (vgl. Kapitel 1.3).
- (iv) Das **Vermögen zur Reflexion**: Menschen sind teilweise genetisch fixiert, äußerst lernfähig und mit Verstand ausgestattet. Diese Fähigkeiten ermöglichen es dem Menschen nicht nur seine kognitive Nische erheblich zu erweitern, sondern auch eine Veränderung der Umweltbedingungen nach seinen Wünschen vorzunehmen. Die charakteristischen Merkmale dieses kognitiven Vermögens bestehen in einem explorativen Forschen, in der Fähigkeit zum „Gedankenexperiment“, d.h. zum risikolosen Probehandeln im Vorstellungsraum und zum Extrahieren derjenigen Strukturgesetze, die dem jeweiligen Handeln zugrundeliegen. Sprache und Schrift ermöglichen die Mitteilung und Aufbewahrung der so gewonnenen Erkenntnisse. Dies hat eine drastische Beschleunigung des Evolutionsprozesses durch die kulturelle

Weitergabe von kumulativ erworbenen Informationen zur Folge. Insbesondere erweisen sich diese neuen Systemeigenschaften als notwendige und hinreichende Vorbedingung für die kulturelle Entfaltung und damit für Wissenschaft und Technik.

Im Hinblick auf den Erkenntnisprozeß sind zwei Aspekte besonders zu betonen: (α) Die Fähigkeit zur Entwicklung von bewußten *Strukturierungsalternativen* schließt zahlreiche Möglichkeiten des Irrtums ein.⁵⁹ (β) Die Fähigkeit zur *Handlung* wird in den traditionellen Erkenntnislehren nicht angemessen berücksichtigt.

Der adaptionsistische Aspekt der Erkenntnis

Ausgehend von den zuvor genannten ontologischen, epistemologischen und methodologischen Postulaten und auf dem Boden einer speziellen Variante der Evolutionstheorie (Synthetische Theorie der Evolution / Neutralitätstheorie der Evolution / Systemtheorie der Evolution) argumentiert die evolutionäre Erkenntnistheorie zugunsten des hypothetischen Charakters jeglicher Wirklichkeitserkenntnis und bezeichnet ihre Position als hypothetischer Realismus. Das Realitätspostulat, das im ontologischen Sinne von einer Existenz der Wirklichkeit spricht, wird hier ergänzt durch eine epistemologische These.⁶⁰

- (i) Die *These vom hypothetischen Realismus*: Die Wirklichkeit ist teilweise sinnlich erfahrbar (Wahrnehmung), teilweise aktiv veränderbar (Handlung) und teilweise rational strukturierbar (Verstand). Erkenntnis ist dann die subjektive Rekonstruktion von hypothetisch angenommenen, eindeutig zuweisbaren objektiven Strukturen der Wirklichkeit. Die phylogenetische Perspektive scheint nahezulegen, die Erkenntnis in einem hypothetisch-realistischen Sinne zu beurteilen: zwar (α) hypothetisch, weil die kognitiven Systeme nicht gezwungen sind, letzte und perfekte Wahrheiten zu erschließen, aber dennoch (β) realistisch, weil die kognitiven Systeme darauf angewiesen sind, in der Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit ein Abbild zu entwerfen, das ein hinreichend überlebensadäquates *Handeln* ermöglicht. Wirklichkeitserkenntnis ist also möglich, aber nicht als absolut wahre Erkenntnis ausweisbar. Sie ist vorläufig, fehlbar, korrigierbar und unvollständig; sie kann aber nicht völlig falsch sein.

Die These vom hypothetischen Realismus bestimmt das Verhältnis der subjektiven Strukturen zu den realen Strukturen in den Begriffen „Überlebensadäquatheit“, „Mutation / genetische

⁵⁹ Diese wunderbaren Systemeigenschaften haben leider auch ihre Schattenseiten – wie Lorenz zu Recht feststellt: „Reinen Unsinn zu glauben ist ein Privileg des Menschen.“ (Zitiert in: Riedl 1981, S. 29)

⁶⁰ Lorenz hat seine Ausführungen zum hypothetischen Realismus in der Metapher von der *Rückseite des Spiegels* zusammengefaßt: „Auch heute noch blickt der Realist nur nach außen und ist sich nicht bewußt, ein Spiegel zu sein. Auch heute noch blickt der Idealist nur *in* den Spiegel und kehrt der realen Außenwelt den Rücken zu. Die Blickrichtung *beider* verhindert sie zu sehen, daß der Spiegel eine nicht spiegelnde Rückseite hat, eine Seite, die ihn in eine Reihe mit den realen Dingen stellt, die er spiegelt: Der physiologische Apparat, dessen Leistungen im Erkennen der wirklichen Welt besteht, ist nicht weniger wirklich als sie.“ (Lorenz 1973, S. 32)

Rekombination / Selektion“, „Anpassung / Passung“, „partielle Isomorphie“ und „projektive Rekonstruktion“. Diese Begriffe sind wiederum abhängig von der vorausliegenden Formulierung und Interpretation der Evolutionstheorie.

Erstens paßt unser Erkenntnisapparat in dem Sinne auf die Welt, wie ein Werkzeug auf das Werkstück paßt. [...]

Zweitens ist Erkenntnis nützlich, indem sie nämlich für das Überleben einen Vorteil bietet. [...]

Drittens also passen einige subjektive Strukturen sogar in dem Sinne auf die Welt, daß sie mit ihnen *übereinstimmen*. Dann gibt es eine gewisse Strukturgleichheit, eine partielle Isomorphie zwischen subjektiven und objektiven Strukturen. [...]

Die unleugbare und zum Teil verblüffende *Passung* wird dabei als Ergebnis einer *Anpassung* erklärt, die den beiden großen Baumeistern der Evolution, Mutation und Selektion, unterworfen war. [...]

Die Passung muß wenigstens so weit reichen, daß die wesentlichen Bedürfnisse des Organismus [...] befriedigt werden; sie muß *überlebens-adäquat* sein.⁶¹

- (ii) Die ***These von der Überlebensadäquatheit***: Kognitive Systeme sind nicht auf den Erwerb von Wissen, sondern – wesentlich bescheidener – darauf angelegt, die Wirklichkeit hinreichend adäquat abzubilden, um das Überleben in einer bestimmten biologischen Nische zu sichern. Wenn aber lediglich die Herausbildung überlebensrelevanter Strukturen die eigentliche Funktion des Erkenntnisapparates und seiner kognitiven Fähigkeiten ist, dann ist – so schlußfolgert die Evolutionäre Erkenntnistheorie – die Frage nach absolut sicherer Erkenntnis eine Scheinfrage.
- (iii) Die ***These von der Mutation / genetischen Rekombination / Selektion***: Die wichtigsten primären Evolutionsmechanismen sind Mutation, genetische Rekombination und Selektion, die in charakteristischer Weise zusammenspielen. Durch eine richtungslose Variation genetisch bedingter Merkmale entsteht eine Vielfalt von Mutanten. Die Selektion wirkt als natürliche Auslese, d.h. sie schränkt das Überleben ungeeigneter Mutanten ein und wirkt so im Sinne einer *constraint-Bedingung*. Die Auslese greift primär am Phänotypus (Individuum) an und wirkt sich sekundär durch das Überleben und die Fortpflanzung der Geeigneten auch auf den Genotypus (Genom) aus.⁶²

⁶¹ Vollmer 1988a, S. 35 – 41

⁶² Die Frage nach den relevanten Evolutionsfaktoren gehört zu den zentralen, aber immer noch nicht befriedigend gelösten Problemen der Evolutionstheorie; sie hat zur Formulierung verschiedener Theorie-Varianten geführt. Die modernen Evolutionstheorien gehen davon aus, daß mehrere Evolutionsfaktoren (primäre Faktoren: Mutation, genetische Rekombination, Selektion; sekundäre Faktoren: Isolation, Schwankungen der Populationsgröße, Einnischung, Bastardisierung) zusammenwirken. Die *Synthetische Theorie der Evolution* begreift die Selektion als externer, von Außenweltfaktoren abhängiger Mechanismus. Kritiker argumentieren, daß diese Theorie unvollständig ist. Die *Systemtheorie der Evolution* erweitert daher den Ansatz und nimmt zusätzlich noch interne Selektionsmechanismen an. Hiermit werden Konstruktions- und Funktionsbedingungen angesprochen, die limitierend wirksam sind (vgl. Wuketits 1988).

- (iv) Die **These von der Anpassung / Passung**: Erkenntnisapparate, Erkenntnisfähigkeiten und Strukturierungsleistungen sind das Ergebnis der Evolution. (α) Die spezifischen Merkmale des Erkenntnisapparates schränken die Erkenntnisfähigkeiten auf bestimmte Funktionen ein, d.h. der Erkenntnisapparat ist im Sinne eines Werkzeugs für bestimmte Aufgaben geeignet und für andere untauglich. (β) Erkenntnisapparat und Erkenntnisfähigkeiten jedes kognitiven Systems passen zur realen Welt wie Schloß und Schlüssel, d.h. das kognitive System ist befähigt, subjektive Strukturen auszubilden, die auf die Strukturen der Wirklichkeit passen. (γ) Die Passung ist das Ergebnis eines phylogenetischen Anpassungsprozesses. Die subjektiven Strukturierungen aller kognitiven Systeme passen (als Ergebnis) auf einen Ausschnitt der Wirklichkeit, weil sie sich im Laufe der Evolution durch Mutation, genetische Rekombination und Selektion in Anpassung (als Prozeß) an diesen Teil der Wirklichkeit herausgebildet haben.
- (v) Die **These von der partiellen Isomorphie**: Es besteht eine partielle Strukturgleichheit zwischen Wirklichkeit und Abbild. Dies wird mit einem korrespondenztheoretischen Wahrheitsbegriff verknüpft. Die Isomorphie könnte im Prinzip vollständig sein, sie könnte aber auch in einem nur eingeschränkten Bereich gelten und wenn sie tatsächlich vollständig wäre, dann ist dies zumindest nicht beweisbar. Im Falle einer unvollständigen Isomorphie zwischen Wirklichkeit und Abbild ließe sich schließlich ein fiktives Superwesen ersinnen, das über wesentlich neuartige Fähigkeiten zum Erkenntniserwerb verfügt, so daß dem Menschen im Vergleich zu diesem Superwesen die bescheidene Rolle eines „höher entwickelten Pantoffeltierchens“ zukäme.

Die These von der partiellen Isomorphie wird durch ein Projektionsmodell der Erkenntnis näher spezifiziert:

Während also die Konstruktion eines Projektionsbildes bei vorgegebenem Objekt, Projektionsmechanismus und Schirm eindeutig, das heißt deduktiv zwingend ist, bleibt der umgekehrte Vorgang, die Rekonstruktion dieses Objekts, *hypothetisch*, sogar dann, wenn Bild, Projektionsart und Schirm vollständig bekannt sind.⁶³

- (vi) Die **These der projektiven Rekonstruktion**: Das Verhältnis von Wirklichkeit und Erkennbarkeit der Wirklichkeit wird im Sinne eines Projektionsmodells beschrieben. Ein Ausschnitt der Wirklichkeit (Objekt) wird mittels eines Projektionsmechanismus auf den Projektionsschirm (Erkenntnisapparat) projiziert und erzeugt dort ein Projektionsbild, das im Vergleich zum wirklichen Objekt informationsärmer ist. Der umgekehrte Vorgang meint dann die Rekonstruktion des wirklichen Objekts aus den bekannten Bestimmungsstücken (Projektionsmechanismus, Projektionsschirm, Projektionsbild). Das so rekonstruierte Objekt bleibt hypothetisch, da im

⁶³ Vollmer 1988a, S. 31

Rekonstruktionsprozeß die durch die Projektion verlorengegangene Information ergänzt werden muß. Zwischen dem wirklichen Objekt und dem rekonstruierten Objekt besteht zumindest eine partielle Isomorphie.

Das Verhältnis der subjektiven Strukturen zu den objektiven Strukturen ist somit durch die genannten Thesen näher bestimmt, aber das Verhältnis ist komplizierter als die Evolutionäre Erkenntnistheorie annimmt. (α) Die These von der partiellen Isomorphie wird von Kritikern⁶⁴ mit dem Einwand zurückgewiesen, daß eine Außen-Perspektive erforderlich wäre, um von einer partiellen Strukturgleichheit zwischen Wirklichkeit und Abbild sprechen zu können. Bereits der *Sinn* der Rede von einer Korrespondenz ist an diese Außen-Perspektive gebunden. (β) Das Projektionsmodell ist zur Sicherung einer partiellen Isomorphie ungeeignet, weil durch die Ergänzung fehlender Informationen ein konstruktivistischer Aspekt ins Spiel kommt. Nachfolgend wird sich zeigen, daß gerade das Auftreten von *Strukturierungsalternativen* für die Evolutionäre Erkenntnistheorie zum „Stolperstein“ wird, da es hier um einen Sachverhalt geht, der mit den Begriffen „Überlebensadäquatheit“, „Mutation / genetische Rekombination / Selektion“, „Anpassung / Passung“, „partielle Isomorphie“ und „projektive Rekonstruktion“ nicht adäquat zu bewältigen ist. Engels und Roth kritisieren daher den *Abegriff der Anpassung* und die *These vom hypothetischen Realismus*; sie bringen mit großem Nachdruck die Begriffe „Konstruktion“ und „Kohärenz“ ins Spiel. Auch Piagets Genetische Erkenntnistheorie läßt sich als vorweggenommene Kritik an der Position der Evolutionären Erkenntnistheorie lesen (vgl. Kapitel 1.3).

Um das Problemfeld zu eröffnen, muß zunächst etwas ausführlicher auf den Begriff „Anpassung“ eingegangen werden. Der Anpassungsbegriff hat zwei Aspekte: Es handelt sich (α) um die Anpassung im Sinne eines Prozesses und (β) um die Passung im Sinne eines Ergebnisses. Problematisch an den bisherigen Überlegungen ist der Schluß von der beobachtbaren Wirkung (Ergebnis) auf die nicht-beobachtbare Ursache (Prozeß) und zwar deshalb, weil der Anpassungsprozeß, der wesentlich auf den Mechanismen Mutation, genetische Rekombination und Selektion beruht und an die Überlebensadäquatheit gekoppelt ist, nicht die einzige Ursache für die Passung sein muß. Engels führt daher im Zusammenhang mit den beiden Aspekten des Anpassungsbegriffs die Begriffe „Passungsgrad“ und „Anpassungswert“ ein. Sie sieht den Anpassungswert eines Merkmals an die durchschnittliche Zahl der reproduktionsfähigen Nachkommen gekoppelt und sie bestimmt den Passungsgrad eines Merkmals als Eignung im Hinblick auf die Auseinandersetzung mit der gesetzesmäßig strukturierten Wirklichkeit.⁶⁵

⁶⁴ Putnam 1982, S. 75; Hedrich 1998, S. 105

⁶⁵ Engels 1989, S. 138; Ein hoher Passungsgrad bietet noch nicht zwingend eine Garantie für den Reproduktionserfolg. Damit wird der Begriff „Anpassungswert“ logisch unabhängig vom Begriff „Passungsgrad“. Mit dieser begrifflichen Differenzierung versucht Engels den Tautologievorwurf gegen den, für die Evolutionstheorie grundlegenden Ausdruck „the survival of the fittest“ zu entkräften.

Das skizzierte Zusammenspiel von Mutation, genetische Rekombination und Selektion hat jedoch interessante *epistemologische Konsequenzen*. Die Pluralität kognitiver Systeme ist charakterisiert durch die Unterschiede in den genetisch bedingten Merkmalen, die bestimmte kognitive Fähigkeiten generieren, die wiederum die Konstruktion bestimmter Abbilder der Wirklichkeit ermöglichen. Die Mutationen und genetischen Rekombinationen können zunächst eine große Variation von genetisch bedingten Merkmalen hervorbringen. Die Selektion eliminiert aus der Gesamtheit der realisierten genetisch bedingten Merkmale nur diejenigen, die überlebenshindernd sind, weil sie zu Abbildern der Wirklichkeit führen, die in relevanter Weise inadäquat sind. Übrig bleiben zuallererst überlebensfördernde Merkmale, die zu adäquaten Abbildern der Wirklichkeit führen. Darüber hinaus können aber auch überlebensneutrale Merkmale bestehen bleiben, die Abbilder der Wirklichkeit zulassen, die adäquat oder inadäquat sein können, da sie irrelevant sind. Dies ist die Position von Kimura, der eine *Neutralitätstheorie der Evolution* entwickelt hat.⁶⁶

genetisch bedingtes Merkmal	konstruiertes Abbild der Wirklichkeit	Auswirkung durch Selektion
fördernd	relevant, adäquat	beibehalten
hindernd	relevant, aber inadäquat	eliminieren
neutral	irrelevant, adäquat / inadäquat	beibehalten

Dieser Sachverhalt hat für das Verständnis der Janusköpfigkeit der menschlichen kognitiven Fähigkeiten wichtige Konsequenzen: (α) Die *Fähigkeit zur Erkenntnis*: Können alle kognitiven Fähigkeiten als Ergebnis eines Anpassungsprozesses erklärt werden? Diese Frage zielt darauf zu klären, ob und inwiefern der Mensch bezüglich seiner kognitiven Fähigkeiten aus der Perspektive der Evolutionstheorie zu „luxuriös“ ausgestattet ist. Durch Mutationen und genetische Rekombinationen können genetisch bedingte Merkmale auftreten, die zwar für das Überleben nicht relevant sind, aber auch nicht durch die Selektion eliminiert werden. Ein Teil der kognitiven Fähigkeiten könnte so im Sinne einer „Luxusausstattung“ begriffen werden. Hierzu gehört insbesondere die charakteristische Fähigkeit des Menschen, Strukturierungsalternativen – religiöse Vorstellungen, wissenschaftliche Theorien etc. – zu entwerfen. (β) Die *Fähigkeit zum Irrtum*: Wieso werden falsche Abbilder über die

⁶⁶ Der Unterschied zwischen der *Synthetischen Theorie der Evolution* und der *Neutralitätstheorie der Evolution* illustriert Kimura an zwei „Schluckspechten“: Der „Schluckspecht“ der Synthetischen Theorie wählt unter allen Getränken sorgfältig aus und trinkt nur das Beste; der „Schluckspecht“ der Neutralitätstheorie hingegen trinkt alles außer Gift (Wuketits 1988, S. 106f).

Wirklichkeit nicht gnadenlos ausgerottet? Diese Frage zielt darauf zu klären, wieso gerade der Mensch in privilegierter Weise zum Irrtum befähigt ist. Falsche Abbilder über die Wirklichkeit werden offensichtlich nur dann durch die Selektion eliminiert, wenn sie für das Überleben relevant sind. Dieser Sachverhalt stellt einen fundamentalen Einwand dar gegen die These vom hypothetischen Realismus.⁶⁷ Die Selektionsbedingungen stecken nur den Rahmen ab; sie sind *constraint-Bedingungen* und gerade keine *Extremalprinzipien*. Innerhalb dieses Rahmens verhält sich die Natur dann gerade nicht wie eine „Ingenieurin“, die nur das Beste / Einfachste tut, was zum Überleben nützlich ist, sondern eher wie eine „Bastlerin“ oder „Tüftlerin“, die alles ausprobiert, was nicht strikt verboten ist.⁶⁸ Der Spielraum für die Möglichkeiten des Irrtums wird durch die Selektion zwar eingengt, aber nicht völlig ausgeschlossen. Die Erklärungsbedürftigkeit dieses Sachverhalts bringt Krüger pointiert zum Ausdruck:

Die Evolution spielt vielmehr in der Regel mit einer üppigen Vielfalt an Variationen. Die Lösungen, die sich dann durchsetzen, sind keineswegs immer die einfachsten. Die Vorstellung eines universalen Sparprinzips der Natur, wie sie im Anschluß an Leibnizens Extremalprinzip die naturphilosophische Diskussion der Aufklärungszeit beherrschte, wurde vielfach wiederlegt.⁶⁹

Kurz gesagt: die Fähigkeit zur Erkenntnis ist allemal auch die Fähigkeit zum Irrtum. Evolutionär zu erklären sind also erst einmal die notwendigen Bedingungen eines zweideutig gewordenen Bezugs zur Realität, nicht die gleichsam potenzierte Anpassung des Menschen an die Realität.⁷⁰

Die kognitiven Fähigkeiten des Menschen ermöglichen einen variablen Umgang mit Erkenntnis und die Herstellung vielfältiger Bezüge zur Wirklichkeit. Engels bestimmt diesen wichtigen Gesichtspunkt mit den Begriffen „Intentionalität“, „Kontrafaktizität“ und „Pluriperspektivität“ (vgl. Kapitel 1.3).

⁶⁷ Bislang ist die „evolutionäre Testzeit“ allerdings noch zu kurz, um eine begründete Aussage darüber zu wagen, inwiefern die kognitiven Fähigkeiten des Menschen überhaupt überlebensfördernd sind. Eine pessimistische Einschätzung könnte schließlich auch davon ausgehen, daß der Mensch mit seiner enormen Gehirnkapazität „übers Ziel hinausgeschossen“ ist und möglicherweise bald aussterben wird (atomare Selbstzerstörung, Umweltverschmutzung etc.). Alle biologischen Systeme, die Exzessivbildungen aufweisen (Flugsaurier: 12m Flügelspannweite, Giraffenhals-Echse: 3m Halslänge, Riesenhirsch: 3.5m Geweihspannweite), sind letztendlich nach Anfangerfolgen im Überlebenskampf als Folge ihrer eigenen „Konstruktionsprobleme“ ausgestorben. Die exzessive Entwicklung einzelner Organe hat im Laufe der Zeit immer *auch* Nachteile mit sich gebracht, die die Vorteile schließlich übertrafen. Eine Rückbildung scheint nach dem Irreversibilitätsprinzip ausgeschlossen. Dies ist ein Beispiel für eine innere Selektion.

⁶⁸ Zahlreiche kritische bis ablehnende Stellungnahmen zur Evolutionstheorie haben damit dazu, daß die Selektion als *positives Kriterium* – im Sinne eines Extremalprinzips – verstanden wird, das überlebensfördernde Merkmale aussucht bzw. erzwingt (Synthetische Theorie der Evolution). Damit wird der Selektion zuviel aufgebürdet und jedes tatsächlich auftretende Merkmal müßte als überlebensfördernd ausgewiesen werden. Insbesondere wäre kaum erklärbar, warum der Mensch über kognitive Fähigkeiten verfügt, die weit über das hinaus gehen, was zum Überleben erforderlich ist. Stattdessen scheint es angemessener zu sein, die Selektion als *negatives Kriterium* – im Sinne einer *constraint-Bedingung* – zu interpretieren, das überlebenshindernde Merkmale eliminiert (Neutralitätstheorie der Evolution).

⁶⁹ Mainzer 1995, S. 284

⁷⁰ Krüger 1988, S. 84f

- (i) Die *These von der Intentionalität*: Der intentionale Aspekt kommt darin zum Ausdruck, daß Erkenntnis im Sinne einer drei-gliedrigen Relation **S** erkennt **O** als **A** – und gerade nicht als nur zwei-gliedrige Relation **S** erkennt **O** – aufgefaßt wird. Dabei wird hervorgehoben, daß mit dem Erkennen die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten charakteristischen Aspekt gerichtet ist. Beispielsweise zeigt sich dies, wenn ein und dasselbe zu erkennende Objekt (Katze) in völlig unterschiedlichen Funktionszusammenhängen wahrgenommen wird, was sich dann in der jeweiligen Wahl der Bezeichnung (Pelztier, Raubtier, Kuschtier) niederschlägt.
- (ii) Die *These von der Kontrafaktizität*: Hier wird die kognitive Fähigkeit des Menschen angesprochen, alternative Strukturierungen – **S** erkennt **O** als **A** oder **S** erkennt **O** als **A*** – zu entwerfen. Beispielsweise können so im Vorstellungsraum kontrafaktische Handlungsmöglichkeiten durchgespielt und ihre Konsequenzen antizipiert werden, ohne daß diese konkret realisiert werden müssen. Dieser Gedanke wird in der Genetischen Erkenntnistheorie unter den Begriffen „Operation“ und „Reversibilität“ besonders wichtig.
- (iii) Die *These von der Pluriperspektivität*: Intentionalität und Kontrafaktizität zusammengenommen führen zu einer Pluriperspektivität, d.h. zur kognitiven Fähigkeit, Sachverhalte unter ganz unterschiedlichen Perpektiven zu betrachten, Perpektivenwechsel vorzunehmen und damit vielfältige Bezüge zur Wirklichkeit herzustellen. Die Pluriperspektivität ist aber wesentlich verknüpft mit der Fähigkeit zur Handlung und Sprache.

Diesen erweiterten Blick auf den Erkenntnisbegriff macht deutlich, daß die Argumentation von der Überlebensadäquatheit, der partiellen Isomorphie zwischen Wirklichkeit und Abbild, verknüpft mit einer Korrespondenztheorie der Wahrheit und die These vom hypothetischen Realismus zu eng geführt ist. Dies hebt insbesondere Engels hervor:

Der eigentliche *Erklärungsgegenstand* einer Evolutionären Erkenntnistheorie wäre somit eine kognitive Kompetenz, die sich nicht einfach in der Übereinstimmung zwischen Erkenntnis und Realität erschöpft. Ihre Besonderheit liegt vielmehr in dem, was Intentionalität und Kontrafaktizität genannt wurde und in dem Begriff der Pluriperspektivität zusammengefaßt wurde. Evolutionsbiologisch zu erklären wäre damit die Entstehung des Spielraums, der uns die Herstellung der von uns als Wahrheit oder Erkenntnis bezeichneten Korrespondenz ermöglicht, womit aber auch gleichursprünglich die Möglichkeit der Verfehlung dieser Korrespondenz sowie ihrer Verfälschung gegeben ist. Aufgrund der Pluriperspektivität des menschlichen Erkennens kann man statt von einem zweideutigen besser von einem mehrdeutigen Bezug zur Realität sprechen.⁷¹

⁷¹ Engels 1989, S. 172

Auch Roth schließt sich der Sache nach der Kritik Engels an und argumentiert aus neurobiologischer Perspektive gegen die These vom hypothetischen Realismus und damit auch gegen die Synthetische Theorie der Evolution. Die Neutralitätstheorie der Evolution ist von dieser Kritik allerdings nicht betroffen, da sie auf die These vom hypothetischen Realismus verzichtet.

Für das Überleben genügt es, gewisse Minimalbedingungen [...] zu erfüllen, die zur erfolgreichen Erhaltung des Individuums und der Art führen. Die Umwelt definiert diese Minimalbedingungen, sie setzt eine *untere* Grenze, sie wählt aber in aller Regel nicht den „Bestangepaßten“ aus. [...]

Was hier für den Organismus allgemein gesagt wurde, gilt auch für das Gehirn und seine kognitiven Funktionen. Die meisten Merkmale der funktionalen Organisation des Gehirns sind nur unspezifisch genetisch festgelegt, sie gehorchen überwiegend epigenetischen, selbstorganisierenden und erfahrungsabhängigen Prozessen. [...] Die EE nimmt daher fälschlicherweise an, der Mensch könne nur dann überleben, wenn die kognitiven Prinzipien des Menschen den Merkmalen der objektiven Welt zumindest in wesentlichen Punkten entsprechen: [...].⁷²

[...] gehen wir angesichts der Neutralität des neuronalen Codes davon aus, daß die verschiedenen Modalitäten und Qualitäten [...] Konstrukte des Gehirns aufgrund interner Kriterien sind, Kriterien freilich, die sich – so dürfen wir annehmen – stammesgeschichtlich und individualgeschichtlich bewährt haben [...].⁷³

Die Analyse der Evolutionären Erkenntnistheorie muß ergänzt werden um einen konstruktivistischen Aspekt, der den schöpferischen Anteil des erkennenden Subjekts betont, die Janusköpfigkeit der kognitiven Fähigkeiten berücksichtigt und für den ein Kohärenztheoretischer Wahrheitsbegriff eher angemessen erscheint. Die Genetische Erkenntnistheorie betont genau diesen Aspekt und arbeitet ihn unter den Begriffen „Schema“, „Assimilation“, „Akkomodation“ und „Äquilibration“ weiter aus (vgl. Kapitel 1.3).

Die mesokosmische und die wissenschaftliche Strukturierung

Erkenntnis ist das Ergebnis einer Strukturierung. Tiere verfügen nur über eine einzige Strukturierungsmöglichkeit. Sie sind auf eine Strukturierung festgelegt; sie können keine Alternativen entwickeln. Der Mensch hingegen zeichnet sich gerade dadurch aus, daß für ihn Strukturierungen auf mehrfache Weise möglich sind. Die Gesamtheit aller Strukturierungen können in zwei Klassen eingeteilt werden, die sich in ihren Strukturmerkmalen grundlegend unterscheiden: (α) die *mesokosmischen Strukturierungen*, d.h. Strukturierungen, die der Alltagserfahrung zugrundeliegen und (β) die *wissenschaftlichen Strukturierungen*, d.h. Strukturierungen, die durch verschiedene wissenschaftliche Modelle möglich sind. Zentral ist hier der Begriff „Mesokosmos“.

⁷² Roth 1996, S. 347f; Seine Kritik an der Evolutionären Erkenntnistheorie bezieht sich namentlich auf Vollmer.

⁷³ Roth 1996, S. 363

Die Welt, an die sich unser Erkenntnisapparat in Jahrtausenden der Evolution angepaßt hat, weil er sie wahrnehmend und handelnd zu bewältigen hatte, ist nur ein Teil der wirklichen Welt. Es ist eine Welt der mittleren Dimensionen; [...] Diese Welt nennen wir „Mesokosmos“. [...]

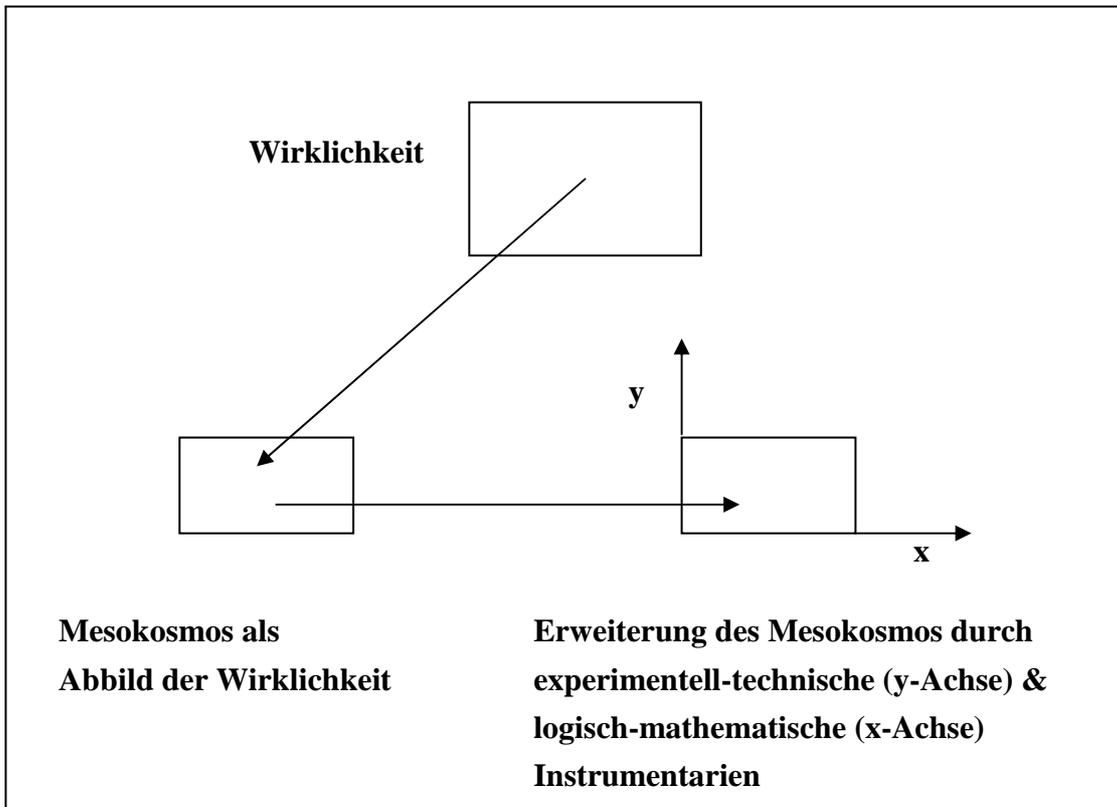
Auch die ratiomorphen Hypothesen, auf die unser Erkenntnisapparat programmiert ist, sind nur mesokosmisch getestet und bewährt; außerhalb *können* sie versagen. Weil sie jedoch biologisch verankert sind, bleiben sie unkorrigierbar, selbst wenn sie auf rationalem Wege als falsch erkannt werden.⁷⁴

Wie ist der Mesokosmos charakterisiert? Wo liegen die Grenzen des Mesokosmos? Wodurch ist eine Erweiterung des Mesokosmos möglich?

- (i) Die ***Merkmale des Mesokosmos***: Der Mesokosmos ist derjenige Ausschnitt der Wirklichkeit, auf den der Mensch durch die phylogenetische Entwicklung und die ontogenetische Reifung geprägt ist, d.h. der dem Menschen direkt durch die Sinne und den Verstand wahrnehmend und handelnd zugänglich ist. Die Sinneswahrnehmungen sind auf einen Ausschnitt der Wirklichkeit beschränkt, der charakterisiert ist durch mittlere Dimensionen: ein ein-dimensionales Zeitfenster, ein drei-dimensionales Raumfenster und Bewegungsabläufe eines Geschwindigkeitsbereichs mit $v \ll c$ und lineare Ursache-Wirkungs-Ketten.
- (ii) Die ***Grenzen des Mesokosmos***: Die Grenzen des Mesokosmos lassen sich nicht exakt bestimmen, da der Begriff prinzipiell anthropozentrisch ist und damit in mehrfacher Weise Spielräume einschließt. Einerseits meint dies ein individueller Spielraum, der mit der ontogenetischen Entwicklung zusammenhängt und andererseits ein kultureller Spielraum, der wesentlich von der Veränderung der Lebenswelt durch die Technik abhängt. Ausgeschlossen sind Systeme, die besonders klein oder groß sind; Systemeigenschaften, für die keine Sinnesorgane verfügbar sind; stark vernetzte Systeme mit komplizierten Kausalstrukturen und dynamische Systeme mit komplizierter Zeitentwicklung.
- (iii) Die ***Erweiterung des Mesokosmos***: Neben der mesokosmischen Strukturierung verfügt der Mensch über die Möglichkeit zur wissenschaftlichen Strukturierung. Demzufolge kann der Mensch seinen, ihm kognitiv zugänglichen Ausschnitt der Wirklichkeit vergrößern. Eine Erweiterung des Mesokosmos gelingt unter zwei Aspekten: (α) Die *experimentell-technische Erweiterung*: Durch technische Methoden können „Sinnesprothesen“ geschaffen werden, die die Einschränkung auf mittlere Dimensionen (Mikroskop, Teleskop) aufweichen oder andere Phänomenbereiche (elektromagnetische Phänomene) der Wirklichkeit erschließen. (β) Die *logisch-mathematische Erweiterung*: Durch die Entwicklung von Strukturwissenschaften

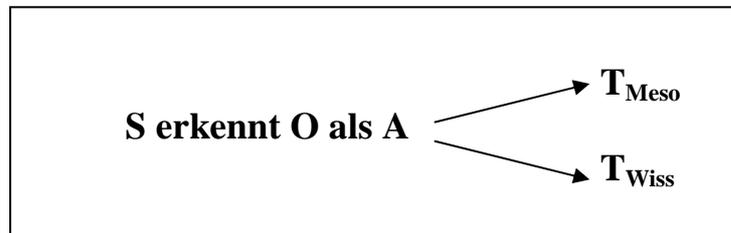
⁷⁴ Vollmer 1988a, S. 41ff

(Logik, Mathematik, Systemtheorie etc.) können abstrakte Strukturen der Wirklichkeit erkannt werden.



Die mesokosmische Strukturierung ist nur konstitutiv für einen Teil der, dem Menschen möglichen Erkenntnis. Sie gehört gewissermaßen zur „Serienausstattung“. Die mesokosmische Strukturierung kann durch folgenden *Eigenschaftenkatalog* charakterisiert werden: (α) Sie ist phänomen-orientiert und konkret. (β) Sie ist antropomorph, d.h. sie ist geprägt durch die senso-motorische Erfahrung des Menschen und sie befähigt ihn zum überlebensadäquaten Handeln. (γ) Sie nimmt eine egozentrische Perspektive ein und sie setzt bei Bewegungsphänomenen ein Bezugssystem voraus. (δ) Sie leistet eine interne Rekonstruktion äußerer Sachverhalte und systematisiert die Alltagserfahrungen. (ϵ) Sie erfolgt weitgehend automatisch, d.h. ohne Zutun des Bewußtseins. Sie ist unbelehrbar, wengleich sie durch Kontrollinstanzen überprüft und falsifiziert werden kann. (ζ) Sie drückt die Alltagserfahrungen in der natürlichen Sprache aus; die Begriffe bleiben eher unscharf. Die Aussagen müssen nicht logisch konsistent sein und sind es häufig auch nicht. (η) Sie stützt sich auf einen vorwiegend unkritischen Gebrauch von sprachlichen Mitteln, induktiven Schlüssen und Verallgemeinerungen. (ϑ) Sie beschränkt sich auf eine qualitative Beschreibung der Erfahrungen und verwendet keinen mathematischen Formalismus. (ι) Sie hat sich in der Auseinandersetzung mit dem Mesokosmos herausgebildet und ist an diesen Ausschnitt der Wirklichkeit angepaßt. Extrapolationen außerhalb dieses Bereichs können zu

falschen Ergebnissen führen. (κ) Reste der mesokosmischen Strukturierungen T_{Meso} befinden sich immer auch in den wissenschaftlichen Strukturierungen T_{Wiss} . Sie werden im Zuge des Erkenntniserwerbs geprüft und erforderlichenfalls modifiziert; dies garantiert den Erkenntnisfortschritt.



Die mesokosmische Strukturierung erfolgt nach Maßgabe bestimmter *mesokosmischer Strukturierungsformen*. Dieser Schlüsselbegriff bezeichnet – in Anlehnung an Kants Formen der Anschauung und Kategorien des Denkens – fundamentale Strukturen, die als Bedingungen für die Möglichkeit von Erkenntnis gelten können. Sie werden von der Genetischen Erkenntnistheorie konkretisiert und von den empirischen Neurowissenschaften bestätigt.⁷⁵

Nach der Evolutionären Erkenntnistheorie sind einige Anschauungsformen, Begriffe und Prinzipien (wenn auch nicht unbedingt die Kantischen) genetisch bedingt, angeboren, [...], ontogenetisch a priori und für Wahrnehmung und Erfahrung bestimmend. Das erklärt, warum wir uns andere Erfahrungen nicht *vorstellen* oder anschaulich machen können, warum sie *psychologisch notwendig*, unüberwindlich, unkorrigierbar sind. Und diese psychologische Notwendigkeit erklärt schließlich auch, warum Kant ihnen absolute Notwendigkeit zuschrieb.⁷⁶

Mit Blick auf die traditionellen Erkenntnislehren sind insbesondere zwei Fragen zu den mesokosmischen Strukturierungsformen zu klären:

- (i) Die **Frage der Genese der Strukturierungsformen**: In welchem Verhältnis stehen die Strukturierungsformen zu den angeborenen Ideen? Diese Frage zielt auf den Entstehungszusammenhang von Strukturierungen. Die Evolutionäre Erkenntnistheorie argumentiert für die These, daß die mesokosmische Strukturierung auf Strukturierungsformen beruht, die teilweise angeboren sind. Ein Merkmal kann dann als angeboren gelten, wenn es genetisch fixiert ist. Die mesokosmische Strukturierung

⁷⁵ Die Bezeichnungweise der Vertreter der Evolutionären Erkenntnistheorie und der Genetischen Erkenntnistheorie ist uneinheitlich. Lorenz spricht von „angeborenen Lehrmeistern“; Kaspar, Oeser, Riedl, Vollmer und Wagner sprechen von „ratiomorphen Hypothesen“ (Kaspar 1983; Oeser 1983; Riedl 1981; Vollmer 1988a; Wagner 1987). Vollmer spricht gelegentlich auch von „kognitiven Strukturen“. Fetzer spricht von „Erkenntnisformen“ (Fetzer 1988). In dieser Studie wird durchgängig der Begriff „Strukturierungsformen“ verwendet um einerseits die Bedeutung der strukturierenden Leistung und andererseits den Verzicht auf einen Wahrheitsanspruch hervorzuheben.

⁷⁶ Vollmer 1988a, S. 193f

ist teilweise genetisch bedingt, d.h. es gibt genetisch übertragene Informationen über die Welt, die sich in bestimmten Dispositionen manifestieren und es gibt im Reifungsprozeß durch Lernen erworbene Informationen.

- (ii) Die **Frage der Geltung der Strukturierungsformen**: Worin unterscheiden sich die Strukturierungsformen von Kants Formen der Anschauung und Kategorien des Denkens? Nach Kant geht es um den Geltungszusammenhang von Strukturierungen. Die mesokosmischen Strukturierungsformen sind ontogenetisch a priori, d.h. unabhängig von der individuellen Entwicklung, aber phylogenetisch a posteriori, d.h. abhängig von der stammesgeschichtlichen Entwicklung. Sie werden nicht – wie dies Kant tut – aus systematischen Überlegungen abgeleitet, sondern aus empirischen Untersuchungen gewonnen. Sie sind – im Gegensatz zu Kant – nicht notwendig wahr und absolut sicher, sondern nur überlebensadäquat. Sie konstituieren nur einen Teil der möglichen menschlichen Erkenntnis; dem wissenschaftlichen Wissen liegen modifizierte Strukturierungsformen zugrunde.⁷⁷

Strukturierungsformen der Transzendentalen Erkenntnistheorie	Strukturierungsformen der Evolutionären Erkenntnistheorie
a priori (logisch vor jeder Erfahrung, ermöglichen Erfahrung)	ontogenetisch a priori (angeboren), phylogenetisch a posteriori (erworben)
allgemein, notwendig	überlebensadäquat, hypothetisch
konstitutiv für jegliche Erkenntnis	konstitutiv für mesokosmische Erkenntnis
aus systematischen Überlegungen abgeleitet	aus empirischen Untersuchungen gewonnen

Die Evolutionäre Erkenntnistheorie grenzt sich entschieden von der Position Kants ab und kritisiert den systematischen Weg zur Auffindung und die Argumente zur Rechtfertigung der Kategorien des Denkens, die wesentlich auf einer Entsprechung zur Urteilstafel beruhen.

Wir können fragen, ob es einen *eindeutigen* Weg gibt, diese kognitiven Strukturen zu finden oder abzuleiten. Wie hat eigentlich Kant sie gefunden? Kant legt besonderen Wert auf die Schlüssigkeit [...], Vollständigkeit [...] und Eindeutigkeit

⁷⁷ Es ist zu betonen, daß Kant den Begriff des Apriori nicht im Sinne *angeborener Dispositionen* und die Frage nach den Bedingungen der Möglichkeit von Erkenntnis nicht im Sinne ihrer *empirischen Entstehungsbedingungen* versteht (vgl. Kesselring 1988, S. 92; Engels 1989, S. 341ff).

[...] seiner Formen und Kategorien. Er versucht deshalb, *systematische* Argumente und *Prinzipien* vorzubringen, nach denen sie gewonnen werden können. [...]

Er erhebt ferner den Anspruch, seine Tafel mit zwölf Kategorien enthalte die *vollständige* Liste der ursprünglichen und primitiven Begriffe, der Grundbegriffe des reinen Intellekts. Und schließlich behauptet er, ein gemeinsames Prinzip gefunden zu haben, um diese Vollständigkeit zu *beweisen*. [...]

Erstens ist Kants logische Tafel der Urteile schon logisch anfechtbar. [...]

Zweitens ist der Übergang von den Urteilsformen zu den entsprechenden Kategorien höchst fragwürdig.⁷⁸

Aus der phylogenetischen Perspektive der Evolutionären Erkenntnistheorie sind alle Erkenntnisse a posteriori. Die verschiedenen kognitiven Systeme haben sich in einem ständigen Anpassungsprozeß an die Umwelt entwickelt. Die Evolutionäre Erkenntnistheorie geht davon aus, daß die Strukturierungsformen ontogenetisch apriori sind; diese haben sich am Mesokosmos ausgebildet. Folgerichtig sind sie Bedingungen der Möglichkeit von überlebensadäquaten Erkenntnissen im Mesokosmos. Sie können trügerisch sein und sie bedürfen daher der Überprüfung durch geeignete Kontrollinstanzen. Sie haben keine wirklichkeits-konstituierende Funktion; insbesondere kann die Wirklichkeit jenseits des Mesokosmos ganz anders sein. Welche Strukturierungsformen konkret vorliegen ist zwar eine empirische Frage, diese kann die Evolutionäre Erkenntnistheorie aber nicht beantworten.

Evolutionäre Erkenntnistheorie: Erklärungserfolge und Erklärungsprobleme

Was leistet die Evolutionäre Erkenntnistheorie im Hinblick auf die Klärung des Erkenntnisprozesses und welche Fragen bleiben unbeantwortet? Die Strukturierungsleistung eines kognitiven Systems ist eine interne Rekonstruktion realer Strukturen, d.h. eine Hypothesenbildung über die Strukturen der Welt. Sie enthält immer einen subjektiven Anteil. Die Kernfrage ist: Wieso stimmen die subjektiven Strukturen mit den realen Strukturen überhaupt zusammen? In der Geschichte der Philosophie wird diese Frage spekulativ entweder mit dem Verweis auf eine von Gott eingerichtete prästabilisierte Harmonie (Leibniz) oder mit dem Verweis auf synthetisch apriorische Urteile (Kant) beantwortet. Die Evolutionäre Erkenntnistheorie will eine empirisch gestützte Antwort geben. Sie ist dabei jedoch nur in der Beantwortung einer Teilfrage erfolgreich. Gemäß der Einteilung in mesokosmische Strukturierung und wissenschaftliche Strukturierung zerfällt die Frage in zwei Teilfragen:

- (i) Die *erste Teilfrage*: Wieso passen die mesokosmischen Strukturen zu den realen Strukturen?
- (ii) Die *zweite Teilfrage*: Wieso passen die wissenschaftlichen Strukturen zu den realen Strukturen?

⁷⁸ Vollmer 1988a, S. 195

Die Evolutionäre Erkenntnistheorie beschränkt – nach Vollmer – ihren Anspruch auf Erklärungsleistung ausdrücklich auf die mesokosmischen Strukturierungen. Das Zustandekommen und die Entwicklung wissenschaftlicher Strukturierungen ist nicht ihr Untersuchungsgegenstand. Die Evolutionäre Erkenntnistheorie gibt dann eine Teilantwort auf die erste Teilfrage; die zweite Teilfrage muß sie unbeantwortet lassen.⁷⁹

Wie wissenschaftliche Theorien entworfen und getestet, bestätigt oder widerlegt, korrigiert oder abgelöst werden, ist nicht ein Problem der Evolutionären Erkenntnistheorie, sondern der Wissenschaftstheorie.⁸⁰

Eine angemessene Beurteilung der Erklärungsleistungen der Evolutionären Erkenntnistheorie **EE** muß sowohl die Erklärungserfolge als auch die Erklärungsdefizite hervorheben:

- (i) Die **erfolgreichen Erklärungsleistungen** der **EE** sind: (α) Die **EE** interpretiert die Erkenntnis als drei-gliedrige Relation, die mit verschiedenen *Strukturierungsalternativen* verknüpft ist. Sie liefert die wichtige Unterscheidung von *mesokosmischer Strukturierung* und *wissenschaftlicher Strukturierung*. Diese Unterscheidung ist im Hinblick auf eine Analyse der Intuition zentral, weil sich die mesokosmische Strukturierung hauptsächlich auf diese Intuition beruft. (β) Die **EE** betont den *phylogenetischen Aspekt*, demzufolge die Evolution eine Hierarchie von kognitiven Systemen hervorgebracht hat, die über unterschiedliche Systemeigenschaften verfügen. Die kognitive Kompetenz des Menschen ist ein Ergebnis dieser phylogenetischen Entwicklung. Erkenntnisapparate,

⁷⁹ Oeser sieht dies anders, er versucht das Problem durch eine zwei-stufige Evolutionäre Erkenntnistheorie zu lösen. Er versteht die Entwicklung der Erkenntnistheorie im Sinne einer selbstkorrigierenden Rückkopplungsschleife, ordnet der Evolutionären Erkenntnistheorie der ersten Stufe (diese bezieht sich auf die kognitiven Fähigkeiten zur mesokosmischen Strukturierung) einen hypothetischen Realismus zu und sieht für die Evolutionäre Erkenntnistheorie der zweiten Stufe (diese bezieht sich auf die kognitiven Fähigkeiten zur wissenschaftlichen Strukturierung) einen *funktionalen internen Realismus* – im Unterschied zum begründungssemantischen internen Realismus im Sinne Putnams – vor. „Betrachtet man die **EE** als zweistufige Theorie, die ihre Basis in der biologischen Evolutionstheorie hat, dann ist es auch klar, daß sich der Begriff der Realität entsprechend diesen Reflexionsstufen verändert. Wobei der Grundsatz gilt, daß nur jener Grad von Reflexivität erreicht werden muß, der dem Grad der Theoretisierung der jeweiligen erfahrungs-wissenschaftlichen Erkenntnis entspricht. [...] Somit lassen sich die Reflexionsstufen des Realismus mit den Stufen der **EE** auf folgende Weise in Verbindung bringen: – der Basistheorie, also der biologischen Evolutionstheorie, entspricht der wissenschaftliche Realismus, – der **EE** erster Stufe entspricht der hypothetische Realismus, – der **EE** zweiter Stufe entspricht der interne Realismus.“ (Oeser 1987, S. 43) Der interne Realismus argumentiert für die These, daß von der *Existenz* und der *Struktur* der Wirklichkeit nur im Hinblick auf eine zuvor spezifizierte Theorie sinnvoll gesprochen werden kann. „Die Sicherung der Realität der im Rahmen einer Theorie konstruierten Objekte, die den Mesokosmos überschreiten, ist eine andere, keine angeborene, sondern eine konstruierte.“ (Oeser 1987, S. 46). Oeser zieht aus dem funktionalen internen Realismus Konsequenzen für das Wahrheitsproblem. „Die menschliche Erkenntnis besteht daher aus einer minimalen aktiven Abtastung der Umwelt und einer internen Konstruktion, die sowohl Voraussetzung als auch Resultat dieser Abtastung ist. Begriffe sind daher nicht Abbilder der Realität an sich, sondern Reaktionsschemata auf die artspezifische Umwelt. Daraus folgt, daß auch Theorien verdichtete Komplexe von Handlungsschemata sind. Auf diese Weise wird der funktionale interne Realismus mit einer kausalen Theorie der Referenz verbunden, [...]“ (Oeser 1987, S. 48f). Unübersehbar wird hier auf den konstruktivistischen Aspekt des Erkenntnisprozesses verwiesen, dennoch bleibt offen, wie dieser konstruktivistische Aspekt konkret auszubuchstabieren ist.

⁸⁰ Vollmer 1988a, S. 74

Erkenntnisfähigkeiten und Erkenntnisstrukturen sind nicht unveränderlich, sondern unterliegen dem permanenten Prozeß der Evolution. Dadurch wird die bislang statische Betrachtungsweise von einer dynamischen Sicht abgelöst und die menschliche kognitiven Kompetenz wird in diese Dynamik eingebettet. Nur auf diesem Hintergrund läßt sich dann in der vergleichenden Gehirnforschung das Argument vorbringen, daß die Erforschung der kognitiven Fähigkeiten von Tieren zu, auf den Menschen übertragbaren Ergebnissen führt. (γ) Die **EE** hebt hervor, daß es – im Gegensatz zu den traditionellen Erkenntnislehren – nicht zwei Erkenntnisquellen (Sinne, Sprache & Verstand), sondern drei Erkenntnisquellen (Sinnlichkeit & Beweglichkeit, Sprache & Verstand, Handlung & Verstand) gibt, d.h. die *Fähigkeit zur Handlung* in Verbindung mit der Reflexionsfähigkeit wird als wesentliche, zusätzliche Erkenntnisquelle in den Blick genommen. Dies führt auf den wichtigen Sachverhalt, daß erst die transformierenden Handlungen die Möglichkeit eröffnen, zu begreifen, daß hinter der Wirklichkeit *Strukturgesetze* wirksam sind. (δ) Die **EE** betont den *adaptionistischen Aspekt*, demzufolge die mesokosmische Strukturierung nicht dem Wissenserwerb dient, sondern lediglich auf ein überlebensadäquates Handeln zielt. Mesokosmische Strukturierung ist daher wesentlich *widerspruchstolerant*, d.h. nicht logisch konsistent.

- (ii) Die *problematischen / fehlenden Erklärungsleistungen* der **EE** sind: (α) Die **EE** kann nur auf dem Hintergrund einer spezifizierten Evolutionstheorie formuliert werden. Bei der Evolutionstheorie handelt es sich aber um eine Vielzahl konkurrierender *Varianten* mit zahlreichen noch ungelösten Problemen. Es versteht sich von selbst, daß die Evolutionäre Erkenntnistheorie alle Schwierigkeiten der jeweils zugrundegelegten Evolutionstheorie mit sich führt. Dabei bleibt durchaus unklar, welche Konsequenzen die ungelösten Probleme der Evolutionstheorie auf die Evolutionäre Erkenntnistheorie haben. (β) Die **EE** hebt hervor, daß die kognitiven Fähigkeiten und die mesokosmischen Strukturierungsformen sich in der Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit überlebensadäquat angepaßt haben, aber nur auf einen bestimmten Ausschnitt der Wirklichkeit selektiert sind. Dies verweist auf den adaptionistischen Aspekt des Erkenntnisprozesses. Die damit verbundene These des *hypothetischen Realismus* im Sinne einer epistemologischen These ist allerdings im Hinblick auf die noch zu diskutierenden Ergebnisse der Genetischen Erkenntnistheorie kritisch zu beurteilen. Insbesondere ist das Verhältnis der subjektiven Strukturen zu den objektiven Strukturen komplizierter als die Evolutionäre Erkenntnistheorie annimmt. (γ) Die **EE** kritisiert zwar Kants Formen der Anschauung und Kategorien des Denkens; sie macht ihrerseits aber keine konkreten Angaben darüber, welche *Strukturierungsformen* tatsächlich vorliegen. Dies leistet erst die Genetische Erkenntnistheorie. (δ) Die **EE** kann nicht erklären, warum der Mensch die kognitive Fähigkeit zum risikolosen Probehandeln im Vorstellungsraum erworben hat,

wenn damit grundsätzlich die Möglichkeit zum Irrtum verbunden ist. Sie kann für das Auftreten von *Strukturierungsalternativen* keine überzeugende Antwort geben, da sie ihre Erklärungen einseitig auf den adaptionsistischen Aspekt hin anlegt. Die Umwelt wirkt aber nicht determinierend auf die Evolution kognitiver Systeme, sondern liefert lediglich constraint-Bedingungen. Es müssen weitere Aspekte – wie der konstruktivistische Aspekt der Genetischen Erkenntnistheorie – zur Analyse der Erkenntnis herangezogen werden. (ε) Die EE kann nicht erklären, warum die wissenschaftliche Strukturierung näher an der Wahrheit ist als die mesokosmische Strukturierung, zumal letztere phylogenetisch getestet ist. Die Priorität der wissenschaftlichen Strukturierung gegenüber der mesokosmischen Strukturierung bleibt daher unverständlich und ist sogar *kontra-intuitiv*. Dieser Sachverhalt dürfte das schwerwiegendste Problem für die EE sein. Auch hier kann die Genetische Erkenntnistheorie Abhilfe leisten.

Bemerkenswert ist, daß Vollmer und Wuketits ausdrücklich darauf verweisen, daß die, ausschließlich auf die Evolutionstheorie gegründete Evolutionäre Erkenntnistheorie insbesondere durch die Ergebnisse der *Gestaltpsychologie* und der *Entwicklungspsychologie* ergänzt werden muß. Die *Befähigung* zur wissenschaftlichen Strukturierung kann erst durch die Genetische Erkenntnistheorie weiter geklärt werden. Sie weist nach, daß in den menschlichen Handlungen bereits mathematische Strukturen vorgebildet sind.

Wenn man schon anerkennen muß, daß Logiker und Mathematiker, Physiker und Biologen Fragen und Antworten der Erkenntnistheorie diskutieren, so kann es nicht überraschen, daß auch die Psychologie wesentliche Anregungen zu dieser Diskussion geliefert hat. Neue Einsichten brachten Gestaltpsychologie (Wertheimer, W. Köhler), Kinder- und Entwicklungspsychologie (Karl und Charlotte Bühler) und vor allem die Arbeiten von Jean Piaget [...].⁸¹

Von hervorragender Bedeutung für das Verhältnis der Entwicklung des Erkenntnisvermögens sind die Arbeiten von Piaget, die in einer *genetischen Erkenntnistheorie* ihren Niederschlag gefunden haben.⁸²

Die Evolutionäre Erkenntnistheorie ist ein erster wichtiger Schritt hin zu einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie, aber sie ist einseitig und damit unvollständig. Das folgende Kapitel soll die offensichtlich von der Evolutionären Erkenntnistheorie belassenen Leerstellen auffüllen.

⁸¹ Vollmer 1975, S. 19

⁸² Wuketits 1983, S. 24

1.3 Genetische Erkenntnistheorie

Die Evolutionäre Erkenntnistheorie bleibt einseitig in ihrer Betonung des adaptionsistischen Aspekts. Sie kann die grundlegende Frage nach der Möglichkeit von *Strukturierungsalternativen* – und damit die Möglichkeit von Wissenschaft – nicht überzeugend beantworten; es bleibt eine Leerstelle, die durch andere empirische Disziplinen aufgefüllt werden muß. Der Erkenntnisprozeß ist daher weiter zu analysieren. Ein zweiter grundlegender Schritt besteht darin, die spezielle Perspektive der *Entwicklungspsychologie* und ihre Einsichten für die Erkenntnistheorie fruchtbar zu machen.

Die Forschungen über genetische Erkenntnistheorie versuchen, die Mechanismen zu analysieren, nach denen Erkenntnis, sofern sie zu wissenschaftlichem Denken gehört, sich entwickelt, und weiter suchen sie, den Übergang von den Stufen der geringsten Erkenntnis zu denen der fortgeschrittensten Erkenntnis zu entdecken. Zu diesem Zwecke ist untersucht worden, wie sich die Kategorien und Begriffe der etablierten Wissenschaft, z.B. Raum, Zeit, Kausalität, Zahl und logische Klassen im Leben des Kindes entwickeln.⁸³

Der erweiterte Blick auf den Erkenntnisprozeß ist hauptsächlich aus vier Gründen interessant: (α) Zunächst zeigt sich, daß sich der Aufbau der Intelligenz und die Konstruktion der Wirklichkeit in einer *spiralförmigen Entwicklung* vollzieht. Erkenntnis ist ein Prozeß, der seine Erkenntnisgegenstände selbst konstituiert. (β) Des weiteren wird deutlich, daß und in welcher Weise die grundlegenden mesokosmischen Begriffe „Raum“, „Bewegung“, „Objekt“ und „Kausalität“ *konstruiert* werden, also gerade diejenigen *Strukturierungsformen*, die in der Relativitätstheorie und Quantentheorie in Verruf kommen. Insbesondere ist der Unterschied zu Kants Formen der Anschauung und Kategorien des Denkens hervorzuheben: Die Strukturierungsformen liegen nicht logisch vor jeder Erfahrung, sondern werden in der aktiven Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit in immer neuer Weise konstruiert und unterliegen demnach der Veränderung. (γ) Schließlich wird klar, inwiefern sich im *aktiven Handeln* eines Kindes bereits diejenigen logischen und mathematischen Strukturen abzeichnen, die später zunächst begrifflich (Sprache) und dann formal (Mathematik) gefaßt werden. Damit wird der Fähigkeit zur Handlung die ihr gebührende Rolle im Erkenntnisprozeß zugesprochen, die in den traditionellen Erkenntnislehren nicht genügend gewürdigt wird. (δ) Die Einsicht in die psychologischen Grundlagen des Erwerbs von Begriffen kann wichtige Konsequenzen haben für das Verständnis dieser Begriffe. In diesem Sinne wird ein neuer Blick auf die Begriffe „Zahl“ und „Zeit“ eröffnet, mit Ergebnissen, die von Kants Sicht abweichen.

Im folgenden geht es um eine kursorische Diskussion der ontogenetischen Perspektive des Erkenntnisprozesses: (α) die *Schlüsselbegriffe und Kerngedanken der Genetischen*

⁸³ Inhelder, in: Furth 1972, S. 45f

Erkenntnistheorie, (β) Fundierung und Vervollständigung der Genetischen Erkenntnistheorie, (γ) 1. Stufe: der senso-motorische Aufbau der Wirklichkeit, (δ) 2. Stufe: der symbolisch-sprachliche Aufbau der Wirklichkeit, (ε) 3. Stufe: der operationale Aufbau der Wirklichkeit, (ζ) der Aufbau geometrischer Strukturen, (η) der Aufbau des Invarianzbegriffs, (θ) der Aufbau des Zahlbegriffs, (ι) der Aufbau des Zeitbegriffs und (κ) die Erklärungserfolge und Erklärungsprobleme der Genetischen Erkenntnistheorie.

Die Schlüsselbegriffe und Kerngedanken der Genetischen Erkenntnistheorie

Wissenschaftliches Denken ist ein Prozeß kontinuierlicher Konstruktionen und Reorganisationen, der – mit dem Alltagsverständnis beginnend – in Stufen voranschreitet. Die Frage: „Was ist Erkenntnis?“ muß ergänzt werden durch die Frage: „Wie wird Erkenntnis?“ In allen traditionellen Erkenntnislehren sind implizit psychologische Sachfragen eingeschlossen und diese sollten – nach Piaget – mit den Mitteln der Entwicklungspsychologie analysiert und empirisch geprüft werden. Die Analyse des Erkenntnisprozesses verlangt daher die Einbeziehung entwicklungspsychologischer Ergebnisse, andernfalls bleibt sie spekulativ.

Tatsächlich beziehen sich alle Erkenntnistheoretiker in ihren Analysen auf psychologische Faktoren, aber ihre Bezugnahmen auf die Psychologie sind in den meisten Fällen spekulativ und nicht auf psychologische Forschung gegründet.⁸⁴

Das erste Prinzip der genetischen Erkenntnistheorie verlangt also, die Psychologie ernst zu nehmen.⁸⁵

Die Genetische Erkenntnistheorie argumentiert für die These, daß Erkenntnis vom erkennenden Subjekt als eine unauflösbare Subjekt-Objekt-Beziehung konstruiert wird. Die ontogenetische Reifung kognitiver Fähigkeiten ist ein Prozeß, der zwei miteinander korrelierte Seiten aufweist: (α) der *Aufbau der Intelligenz* und (β) die *Konstruktion der Wirklichkeit*. Dabei kommt dem ontogenetischen Aufbau der Handlungsfähigkeit eine besondere Bedeutung für die Konstruktion dieser Wirklichkeit zu.

Wie kommt es, daß diese inneren Konstruktionen so offenkundig der äußeren Welt angepaßt sind? Wo liegt die Quelle dieser Konstruktionen und was entspricht ihnen in der äußeren Welt? Piaget akzeptiert die Ansicht, daß sie von der Erfahrung abstrahiert sind, aber er hält es für notwendig, zwei Arten von Erfahrungen oder Abstraktionen zu unterscheiden: eine sinnliche Erfahrung, die von den sinnlichen Gegenständen, auf die das Erkennen sich richtet, abstrahiert, und eine logisch-mathematische Erfahrung, die von der Erkenntnistätigkeit selbst abstrahiert.⁸⁶ Realität erkennen heißt, Transformationssysteme zu konstruieren, [...].⁸⁷

⁸⁴ Piaget 1973, S. 14

⁸⁵ Piaget 1973, S. 16

⁸⁶ Furth 1972, S. 100f

⁸⁷ Piaget 1973, S. 23

Hier knüpft die Genetische Erkenntnistheorie an die Evolutionäre Erkenntnistheorie an, wenn sie die Fähigkeit zur *Handlung* als wesentliche, zusätzliche Erkenntnisquelle in Verbindung mit einem zur Reflexion befähigten Verstand in den Blick nimmt. Vom ontogenetischen Standpunkt aus betrachtet, ist das Handeln keine nachträgliche Anwendung des Denkens, sondern es gilt umgekehrt: die Handlung bzw. die Wahrnehmung einer Handlung geht dem Denken voraus. Dabei sind zwei verschiedene Aspekte des Denkens zu unterscheiden, die sich komplementär zueinander verhalten: (α) der *figurative Aspekt* des Denkens bezogen auf Wahrnehmungen und Imitation von Zuständen und (β) der *operative Aspekt* des Denkens bezogen auf die Strukturen der Transformationen von Zuständen.

Der figurative Aspekt des Denkens besteht in der Imitation von als statisch aufgefaßten äußeren Zuständen. Die figurativen Funktionen im kognitiven Bereich sind in erster Linie Wahrnehmung, Nachahmung und geistiges Vorstellen, das nichts anderes ist als internalisierte Nachahmung. Der operative Aspekt des Denkens bezieht sich nicht auf Zustände, sondern auf Transformationen von einem Zustand in einen anderen. Er umfaßt die Objekte oder Zustände transformierenden Handlungen selbst ebenso wie die intellektuellen Operationen, die im Grunde Transformations-systeme darstellen. [...]

[...] ich glaube, daß menschliches Erkennen wesentlich aktiv ist. [...] Erkennen heißt, Realität zu transformieren, um zu verstehen, wie ein bestimmter Zustand zustande kommt.⁸⁸

Diese Position greift einen grundlegenden Gedanken Kants auf, demzufolge eine Disziplin immer gerade dann den Gang einer Wissenschaft annimmt, wenn klar begriffen wird, daß die Erkenntnisgegenstände konstruiert werden müssen (Mathematik: Konstruktion geometrischer Figuren; Physik: Herstellung künstlicher Phänomene). Erkenntnis ist demnach wesentlich an Handlung gebunden. Die Genetische Erkenntnistheorie geht aber einen entscheidenden Schritt über Kant hinaus: Die Erkenntnis bezieht sich nicht nur auf konkrete Konstruktionen in der räumlichen Anschauung, sondern Erkenntnis zielt hier wesentlich auf (α) die konkrete *Ausführung* transformierender Handlungen, (β) die Fähigkeit zur *Abstraktion* von der Konkretisierung dieser transformierenden Handlungen und (γ) die Einsicht in die *Strukturgesetze* dieser transformierenden Handlungen (vgl. Kapitel 2.2).

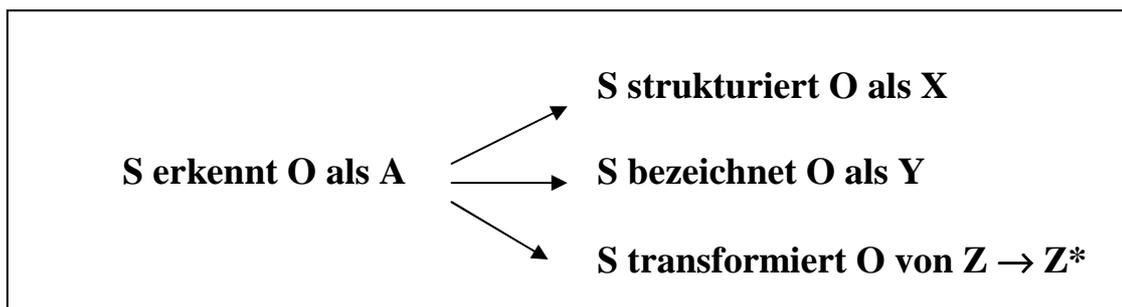
Ein Ding in der Welt ist erst dann ein Objekt der Erkenntnis, wenn der erkennende Organismus mit ihm in Interaktion tritt und es als ein Objekt konstituiert. Daraus folgt unmittelbar Piagets Ablehnung der beiden Alternativen von Nativismus und Empirismus. Der Nativismus stattet den menschlichen Organismus mit fertigen Erkenntniskategorien aus, die mit sinnlichen Stimuli gefüllt werden. [...] Der Empirismus hält den Organismus für mehr oder weniger vollständig den Zufälligkeiten der Umwelt unterworfen. Erkenntnis ist danach eine subjektive Nachbildung von etwas, das in der äußeren Welt schlicht gegeben ist.⁸⁹

⁸⁸ Piaget 1973, S. 22

⁸⁹ Furth 1972, S. 41

Mit Piagets Position verknüpft sich eine dreifache Absage: (α) die Absage an die *empiristische Position*, derzufolge das erkennende Subjekt die objektiven Strukturen bloß registriert und abbildet; (β) die Absage an die *aprioristische Position*, derzufolge das erkennende Subjekt bereits vor jeder Erkenntnis mit unveränderlichen Strukturen ausgestattet ist, die mit den objektiven Strukturen im Sinne einer prästabilierten Harmonie übereinstimmen und (γ) die Absage an die *Position der Evolutionären Erkenntnistheorie*, derzufolge die Strukturen zwar phylogenetisch a posteriori, aber ontogenetisch a priori sind.⁹⁰

Die Genetische Erkenntnistheorie bestimmt den Erkenntnisbegriff im Sinne einer mehrfachen Strukturierungsleistung. Die Strukturierungen sind nicht beliebig, sondern unterliegen bestimmten constraint-Bedingungen. (α) Die *figurative Strukturierungsleistung X*: Diese bezieht sich auf die sinnliche Wahrnehmung von Objekten und Prozessen; sie führt zur Klassifikation und zur non-verbalen Prototypenbildung. (β) Die *repräsentative Strukturierungsleistung Y*: Diese bezieht sich auf die verschiedenen Möglichkeiten zur Symbol- und Begriffsbildung. (γ) Die *operative Strukturierungsleistung Z*: Diese bezieht sich auf die Abstraktion von Handlungen und führt zur Einsicht in mathematische Strukturen. Zusammenfassend können die drei Aspekte folgendermaßen angegeben werden:



Die Kernthese Piagets besagt, daß sich die kognitive Entwicklung des Menschen als Folge von Reifung, Übung und Erfahrung in Stufen vollzieht. Die ontogenetische Entwicklung der kognitiven Fähigkeiten folgt einem Stufenbau, der durch drei Merkmale charakterisiert ist:

- (i) Die ***Kennzeichnung einer Entwicklungsstufe durch eine bestimmte Struktur***: Eine Entwicklungsstufe ist ein Zeitabschnitt, in dem das Handeln und Denken charakterisiert ist durch eine spezifische Struktur. Verschiedene Entwicklungsstufen unterscheiden sich durch inkommensurable Weltbilder. Beispielsweise liegt eine

⁹⁰ Ros betont, daß Piaget seine Zurückweisung präformistischer Positionen nicht konsequent durchhält. Zwar wendet sich Piaget gegen Kants Auffassung, derzufolge die Formen der Anschauung und die Kategorien des Denkens vor jeder Erfahrung als gegeben angesehen werden müssen und dies deshalb, weil die Strukturierungsformen im Laufe der ontogenetischen und kulturellen Entwicklung einer ständigen Veränderung unterliegen, aber Piaget hängt seinerseits einem präformistischen Gedanken an, wenn es um die Genese der Strukturierungsformen geht. Das Problem hängt damit zusammen, daß Piaget nicht deutlich genug trennt zwischen Kompetenz (genetisch bedingte Fähigkeit) und Performanz (kulturell geförderte Fähigkeit) (vgl. Ros 1983, S. 25f).

qualitative Veränderung vor, wenn ein Kind von seinen senso-motorischen Strukturen der frühen Kindheit übergeht zu Strukturen der symbolischen Repräsentation des Vorschulalters. Die konstruierte Wirklichkeit ist auf jeder Stufe von anderer Qualität, die neuartige kognitive Leistungen beinhaltet.

- (ii) Der *integrative Charakter der Entwicklungsstufen*: Jede Entwicklungsstufe bereitet die nachfolgende Stufe vor und auf jeder neuen Stufe wird die vorangehende Stufe ausdifferenziert, überarbeitet und vervollkommenet. Das alte Wissen ändert seine Position und Funktion innerhalb der neuen Strukturen des Denkens. Jede folgende Stufe stellt eine Rekonstruktion und eine Überholung der vorherigen Stufe dar, die bereits begonnene Strukturierungsansätze vervollständigt.
- (iii) Die *Konstanz der Reihenfolge der Entwicklungsstufen*: Die Abfolge der Entwicklungsstufen ist universell. Keine Stufe kann übersprungen oder gegen eine andere Stufe ausgetauscht werden. Der Aufbau der Stufen kann sich je nach individuellen und kulturellen Besonderheiten und individueller Reifung und Übung beschleunigen oder verzögern, aber die Reihenfolge bleibt stets gewahrt.

Jede Entwicklungsstufe vollzieht sich über einen gewissen Zeitabschnitt. Zunächst zeigen sich die neuen Strukturen nur gelegentlich und vorübergehend, dann bilden sie sich stärker heraus, stabilisieren sich und schließlich werden sie auf eine Vielzahl von Situationen verallgemeinert. Das Denken wird zunehmend organisierter, effizienter, abstrakter, objektiver und konsistenter. Das Kind ist also gerade nicht ein kleiner Erwachsener mit weniger Wissen, wie dies in den traditionellen Erkenntnislehren stets angenommen wird.

Die Stufen beziehen sich auf die gesetzmäßige Folge relativ stabiler Erkenntnisstrukturen, die das Verhalten des Organismus charakterisieren. Überdies sind die Strukturen so beschaffen, daß die späteren in sich aufnehmen, was auf früheren Stufen erreicht worden ist, und daß sie die früheren Strukturen durch Rekonstruktion und Erweiterung auf einer höheren Ebene bereichern.⁹¹

Frühere Stufen bereiten spätere Stufen vor und werden ihnen integriert; spätere Stufen rekonstruieren frühere Stufen zunächst vermittels neuer Instrumente, um dann über sie hinauszugehen, d.h. sie zu generalisieren und zu bereichern.⁹²

Im Zeitraum der kindlichen Reifung von der Geburt bis etwa zum 15. Lebensjahr können in einer groben Einteilung drei Hauptstufen unterschieden werden: (α) der *sensomotorische* Aufbau der Wirklichkeit, (β) der *symbolisch-sprachliche* Aufbau der Wirklichkeit und (γ) der *operationale* Aufbau der Wirklichkeit.

⁹¹ Furth 1972, S. 39

⁹² Furth 1972, S. 230

Ontogenetische Reifung			
	1. Stufe	2. Stufe	3. Stufe
Stufen der ontogenetischen Reifung	sensomotorischer Aufbau der Wirklichkeit	symbolisch-sprachlicher Aufbau der Wirklichkeit	operationaler Aufbau der Wirklichkeit

Die ontogenetische Reifung wird genauer bestimmt durch die Begriffe „Schema“, „Assimilation“, „Akkommodation“ und „Adaptation / Äquilibration“.

Assimilation – Der inkorporierende Prozeß eines operativen Aktes. Ein In-sich-Aufnehmen von Umweltdaten, nicht in einem kausalen, mechanistischen Sinne, sondern als Funktion einer internen Struktur, die kraft ihrer eigenen Natur – durch Assimilation potentiellen Materials aus der Umwelt – nach Betätigung strebt. [...]

Akkommodation – Der nach außen gerichtete Prozeß eines operativen Aktes, der sich auf einen besonderen Realitätszustand bezieht. Die Akkommodation wendet eine allgemeine Struktur auf eine besondere Situation an; als solche enthält sie immer ein Element von Neuheit. In einem eingeschränkten Sinne führt die Akkommodation an eine neue Situation zur Differenzierung einer schon ausgebildeten Struktur und somit zum Auftreten neuer Strukturen.⁹³

- (i) Die ***These vom Schema***: All das, was an einer Handlung wiederholbar und generalisierbar ist, wird als Schema bezeichnet. Auf der frühen sensomotorischen Stufe ist ein Schema ein praktisches Konzept. Dies kann an einem einfachen Beispiel illustriert werden: Ein Baby entwickelt ein Greifschema, (α) indem es die Fähigkeit erwirbt, Objekte seiner Umwelt zu ergreifen, (β) indem es ein praktisches Konzept entwirft, diese Handlung auf andere Objekte anzuwenden und (γ) indem es unterscheiden lernt, auf welche Objekte dieses Greifschema erfolgreich angewandt werden kann und auf welche nicht. Das Schema bezieht sich auf die innere Struktur der Handlung; es ist im Augenblick seiner praktischen Verwendung verfügbar, ohne jedoch bereits das Denken im eigentlichen Sinne darzustellen. Das Schema ist eine strukturierte Verhaltenssequenz, die das erwartungs- und verhaltensrelevante Wissen des kognitiven Systems für einen bestimmten Bereich widerspiegelt. Ist ein Schema etabliert, dann führt dies zu einer Automatisierung der Verhaltenssequenz.
- (ii) Die ***These von der Assimilation***: Jedes kognitive System unterliegt der Tendenz, ein erworbenes Schema auf immer neue Anwendungsgebiete zu übertragen. Assimilation

⁹³ Furth 1972, S. 362, 363 (Glossar)

bedeutet, daß ein kognitives System nur den Ausschnitt der Wirklichkeit kognitiv bewältigen kann, für den die subjektiven Strukturen bereits angelegt sind. Die Wirklichkeit wird so „zurechtgeschneidert“, daß sie auf die subjektiven Strukturen paßt. Bei jeder Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit verbiegt und verzerrt das kognitive System die jeweilige Erfahrung bis zu einem gewissen Grad, um sie verstehen zu können. Das erkennende Subjekt interpretiert das zu erkennende Objekt also nach Maßgabe seiner bereits aufgebauten Konzepte und Strukturen, d.h. die Assimilation beschreibt den Transfer eines alten Schemas in einen neuen Kontext. Sachverhalte, die nicht passen, werden entweder einfach nicht zur Kenntnis genommen und ignoriert oder gemäß eines anderen Mechanismus intergriert, der nachfolgend in der These von der Akkomodation formuliert wird.⁹⁴

- (iii) Die *These von der Akkomodation*: Akkomodation bedeutet, daß ein kognitives System seine Wissensbasis schrittweise erweitert nach Maßgabe neuer Erfahrungen. Spezifische Eigenschaften der Wirklichkeit, die sich mit den vorhandenen Strukturen nicht hinreichend verstehen lassen, erzwingen eine Neuorganisation des Denkens. Strukturen der Wirklichkeit werden extrahiert und führen zu einer Veränderung, indem sie strukturbildend im Subjekt wirken. Bereits vorhandene Strukturen werden durch Variation angepaßt und neue Strukturen durch Konstruktion entwickelt.
- (iv) Die *These von der Adaptation / Äquilibration*: Eine Adaptation zwischen den subjektiven Strukturen und den objektiven Strukturen liegt dann vor, wenn zwischen den sich ergänzenden Mechanismen der Assimilation und Akkomodation ein Gleichgewicht besteht, das durch Äquilibration zustandekommt. Die Äquilibration ist ein interner Regulationsfaktor um das erkennende Subjekt in einen Zustand innerer Kohärenz zu bringen, d.h. die Äquilibration sorgt dafür, daß Widersprüche im Gedankensystem ausgemerzt werden, sofern sie bewußt erkannt und als unangenehm bewertet werden.

Die Äquilibration tritt in drei verschiedenen Sinnzusammenhängen auf: (α) Die Äquilibration bezeichnet einen Zustand innerer Kohärenz zwischen Assimilation und Akkomodation in den alltäglichen Aktivitäten des kognitiven Systems. (β) Die Äquilibration meint einen Zustand innerer Kohärenz am Ende einer jeden Entwicklungsstufe. (γ) Die Äquilibration bezieht sich

⁹⁴ Ursprünglich kommt der Begriff „Assimilation“ aus der Biologie und meint dort die Umwandlung körperfremder Stoffe in körpereigene. Diese Assimilation dient unmittelbar der Selbsterhaltung eines Organismus. Assimilationen spielen auch in der Wissenschaft eine grundlegende Rolle. Beispielsweise zeigt sich dies in der Übertragung des Teilchenbildes auf das Licht (Einstein) und in der Übertragung des Wellenbildes auf die Materie (de Broglie). Beispiele dafür, daß sowohl Kinder als auch Naturwissenschaftler Sachverhalte einfach nicht zur Kenntnis nehmen, insofern diese nicht in die bereits angelegten Strukturen passen, zeigen sich darin, daß Kinder erst im Alter von etwa 8 Jahren bemerken, daß der Wasserspiegel in einem Gefäß bei jedem Neigungswinkel immer horizontal bleibt und daß die Astronomen des aristotelisch geprägten Abendlandes bis gegen Ende des 16. Jahrhunderts keine Veränderung am Himmel wahrgenommen haben – im Gegensatz zu den Chinesen, die in diesem Zeitraum zahlreiche Novas und Supernovas beobachteten.

auf den gesamten Entwicklungsprozeß, der insgesamt auf eine immer bessere Vervollkommnung des Zustandes innerer Kohärenz gerichtet ist.

Fundierung und Vervollständigung der Genetischen Erkenntnistheorie

Traditionelle Erkenntnislehren – die verschiedenen Varianten des Innatismus und Apriorismus – gehen von drei grundlegenden Annahmen zur *Subjekt-Objekt-Beziehung* aus: (α) das erkennende Subjekt ist sich seiner Erkenntnistätigkeit bewußt, (β) das zu erkennende Objekt ist dem erkennenden Subjekt im Sinne eines raum-zeitlichen Phänomens zugänglich und (γ) die Strukturierungsformen, welche die Subjekt-Objekt-Beziehung herstellen, sind a priori gegeben. Kant unterscheidet zwischen einem empirischen und einem transzendentalen Subjekt. Das empirische Subjekt unterliegt den Naturgesetzen und ist als Erkenntnisgegenstand der Naturwissenschaften zu verstehen. Das transzendente Subjekt hingegen kann gerade nicht zum Gegenstand der Erfahrung werden, sondern geht aller Erfahrung voraus und strukturiert diese; seine Aufgabe im Erkenntnisprozeß ist die einheitsstiftende Leistung. Das transzendente Subjekt ist eine regulative Idee und somit ausschließlich ein Erkenntnisgegenstand der Philosophie. Des weiteren unterscheidet Kant zwischen den raum-zeitlichen Phänomenen und den Dingen an sich, die als zureichender Grund dieser Phänomene gedacht werden. Die Frage, was jenseits der raum-zeitlichen Phänomene das Ding an sich tatsächlich ist, muß als unbeantwortbar abgewiesen werden, weil sich das erkennende Subjekt seiner Formen der Anschauung und Kategorien des Denkens nicht entledigen kann. Nach Kant müssen sich deshalb die Erkenntnisgegenstände gewissermaßen nach dem erkennenden Subjekt richten.

Diese Annahmen zur Subjekt-Objekt-Beziehung werden in der Genetischen Erkenntnistheorie modifiziert. Wenn die Frage „Was ist Erkenntnis?“ ergänzt wird durch die Frage: „Wie wird Erkenntnis?“, dann eröffnet sich eine dynamische Perspektive: *Wie* ein erkennendes Subjekt wird, konstituiert *was* ein erkennendes Subjekt schließlich ist. Als Grundvoraussetzung aller früheren Überlegungen zur ontogenetischen Entwicklung wird dem Kind im Prinzip die gleiche Erkenntnisausstattung wie dem Erwachsenen zugesprochen, nur mit dem Unterschied, daß sein Denken noch mit Inhalten gefüllt werden muß. Die Genetische Erkenntnistheorie besteht aber darauf, daß die Entwicklung der kognitiven Fähigkeiten gerade nicht im Sinne eines quantitativen Wachstumsprozesses zu verstehen ist, sondern wesentlich als ein Prozeß mit *qualitativen Veränderungen*. Weder das erkennende Subjekt **S** noch das zu erkennende Objekt **O** sind unmittelbar gegeben, sondern beide entstehen als Ergebnis eines *Konstruktionsprozesses*. Auch die Strukturierungsformen erscheinen dann im Sinne spezieller Entwicklungsergebnisse immer neu und anders. Die Leistung des erkennenden Subjekts besteht also nicht nur darin, im Erkenntnisprozeß die Strukturierungsformen anzuwenden, sondern darüber hinaus auch darin, die Strukturierungsformen *selbst aufzubauen* und *ständig umzubauen*. Das Studium der phylogenetischen, ontogenetischen und kulturellen Entwicklung zeigt einerseits, daß kein absoluter Anfang existiert und andererseits, daß diese Entwicklung

anhält, da jede Neukonstruktion einer wissenschaftlichen Theorie diese fortsetzt. Insbesondere wird in der Genetischen Erkenntnistheorie der Begriff „epistemisches Subjekt“ in Abgrenzung zum Begriff „individuelles Subjekt“ eingeführt und an die Stelle von Kants Begriffen „transzendentes Subjekt“ und „empirisches Subjekt“ gesetzt. Nicht die Zufälligkeiten des individuellen Subjekts interessieren, sondern die universellen Strukturgesetzmäßigkeiten des Erkenntnisaufbaus, die sich in der Entwicklung eines jeden Individuums wiederfinden lassen und damit überindividuell sind. Das epistemische Subjekt bleibt allerdings – im Gegensatz zu Kant – Erkenntnisgegenstand der empirischen Wissenschaften. Der Kern der Fragestellung Piagets ist dann, wie die beiden charakteristischen Eigenschaften der Erkenntnis, (α) die formale Allgemeinheit und Notwendigkeit und (β) der Wirklichkeitsbezug, damit in Einklang gebracht werden können, daß die Erkenntnis auf einer Konstruktion von Strukturierungsformen beruht. Die Frage ist also: Wie ist es zu verstehen, daß die Erkenntnis diese charakteristischen Eigenschaften nicht von Anfang an besitzt, sondern diese nach und nach erst erlangt.

Die Erkenntnis wird als ein Interaktionsprozess zwischen Subjekt und Objektwelt betrachtet, der zur Konstruktion neuer Strukturen führt, an die das Subjekt seine Objekte „assimiliert“. Damit ist aber erst die genetische Perspektive, jedoch noch nicht das eigentliche Problemfeld der genetischen Epistemologie sichtbar geworden. Dieses wird nun von Piaget wie folgt umrissen: Bezüglich der formalen Seite der Erkenntnis soll die genetische Epistemologie die Frage verfolgen, warum die höher entwickelte Erkenntnis mit dem Charakter der Allgemeinheit und Notwendigkeit auftritt, wie er den logisch-mathematischen Operationen eigen ist. Bezüglich der inhaltlichen Seite der Erkenntnis und speziell der physikalischen Welterkenntnis hingegen soll sie das Problem abklären, warum die mathematisch strukturierte Erkenntnis – und anscheinend erst sie – den Schritt zur einer Objektivität im Sinne der Naturwissenschaft ermöglicht.⁹⁵

So stellt sich Piaget keineswegs der Kantischen Annahme apriorischer Erkenntnisformen entgegen, die auch er als die notwendigen Bedingungen einer jeden Erkenntnis betrachtet. Was Piaget in Frage stellt, ist vielmehr das, was er den statischen Charakter des Kantischen Apriorismus nennt, nämlich die Absolutsetzung des transzendentalen Subjekts als eines sich immer gleichbleibenden Bestimmungsgrundes der Erkenntnis. Kant, wie Piaget ihn sieht, hat das transzendente Subjekt als einen absoluten Anfang konzipiert, in dem alle Erkenntnis vorgebildet ist. Ein solches absolutes, entwicklungsenthobenes Erkenntnissubjekt kann es aber für Piaget nicht mehr geben. [...]

Versucht man auf ein authentisches Apriori zu stossen, so wird man gezwungen, in der Psychogenese immer weiter zurückzugehen, wobei sich die Erkenntnisformen ständig reduzieren. Ein wirklich authentisches Apriori lässt sich dann bei diesem Vorgehen überhaupt nicht mehr aufweisen, weil jede Erkenntnisstruktur sich am Ende als die Resultante einer Genese darstellt und so selbst wiederum auf eine ihr vorausliegende Struktur zurückweist.⁹⁶

⁹⁵ Fetz 1988, S. 75

⁹⁶ Fetz 1988, S. 123f

Es ist offensichtlich, daß die Genetische Erkenntnistheorie – wie die Evolutionäre Erkenntnistheorie – einen minimal-realistischen Begriffsrahmen voraussetzt. Im einzelnen bedeutet dies insbesondere die Annahme des *Realitätspostulats* und des *Strukturpostulats*.⁹⁷ Die Existenz einer strukturierten Wirklichkeit im ontologischen Sinne, auf die sich der Erkenntnisprozeß richtet, muß vorausgesetzt werden, ansonsten besitzen die Begriffe „Assimilation“ und „Akkomodation“ nicht den ihnen beigelegten Sinn. Des weiteren ist das erkennende Subjekt selbst zuallererst ein Objekt der Wirklichkeit, das letztlich nur auf der Grundlage seiner biologischen Strukturen als erkennendes Subjekt auftreten kann. Darüber hinaus ist Piaget aber ein *Konstruktivist* im epistemologischen Sinne.

Gewiß gibt es sowohl das Objekt als auch die objektiven Strukturen bereits vor ihrer Entdeckung, man entdeckt sie indessen nicht am Endpunkt einer operationellen „Reise“ [...] – wie Kolumbus Amerika entdeckt hat –, sondern nur durch ihre Rekonstruktion.⁹⁸

Gewiß existieren die Objekte, und sie enthalten Strukturen, die unabhängig von uns existieren; indessen können ohne die Einführung von Denkopoperationen, die zu diesem Zweck an die Objekte angepaßt sind und die das Arsenal der Assimilationsinstrumente bilden, weder die Objekte noch ihre Gesetze erkannt werden.⁹⁹

Den Begriff „Anpassung“ will Piaget offensichtlich nicht – wie die Evolutionäre Erkenntnistheorie – an die Überlebensadäquatheit koppeln, sondern an die innere Kohärenz. Die Frage nach der Anpassung der subjektiven Strukturen an die objektiven Strukturen ist dann als Abfolge von Gleichgewichtszuständen zu verstehen, die durch fortschreitende Konstruktionen hergestellt werden und die von der bereits erreichten Entwicklungsstufe abhängen. Hat sich ein Gleichgewichtszustand eingestellt, dann ist mit der damit verknüpften Erkenntnis ein bestimmter Passungsgrad erreicht. Die wechselseitige Bedingtheit von Assimilation und Akkomodation bedeutet, daß jede Erkenntnis nur relativ zu den zuvor angelegten Schematas beurteilt werden kann. Hat Piaget damit Recht, dann legt dies eher einen kohärenztheoretischen Wahrheitsbegriff nahe.

Das entscheidende Kriterium der Anpassung ist hier nicht mehr das biologische Überleben, sondern die innere Kohärenz, die wir als logische Notwendigkeit erfahren.¹⁰⁰

Ein bestimmtes Verhalten läßt sich nur dann als intelligent bezeichnen, wenn es einen allgemeinen adaptiven Aspekt hat.¹⁰¹

⁹⁷ Die Problematik, die mit der Annahme dieser speziellen Postulate verbunden ist, will Piaget im Zusammenhang mit einer *Allgemeinen Genetischen Erkenntnistheorie* reflektieren.

⁹⁸ Piaget 1974, S. 132

⁹⁹ Piaget 1974, S. 141

¹⁰⁰ Piaget 1974, S. 236

¹⁰¹ Piaget 1974, S. 238f

An die Stelle der These vom hypothetischen Realismus der Evolutionären Erkenntnistheorie, die einen epistemologischen Realismus beschreibt, sollte – im Verständnis Piagets – ein *Konstruktionspostulat* und ein *Kohärenzpostulat* eingeführt werden. Diese Postulate werden nachdrücklich von den empirischen Neurowissenschaften gestützt. Die kognitive Entwicklung des Menschen ist demzufolge darauf angelegt, ein Weltbild zu konstruieren, das zunehmend differenzierter, strukturierter und kohärenter wird. Dabei sind die abstrakten Denkstrukturen in der konkreten Organisation des kognitiven Systems verwurzelt.

- (i) Das ***Konstruktionspostulat***: Der Mensch als hoch entwickeltes kognitives System konstruiert nach Maßgabe seiner jeweiligen ontogenetischen Reifung und kulturellen Entfaltung seine spezifische Wirklichkeit immer wieder neu und anders. Dabei werden die Strukturierungsformen nicht einfach an die Wirklichkeit herangetragen, sondern sie werden gewissermaßen „in ständiger Rücksprache mit der Wirklichkeit“ aufgebaut. Dies ist ein semantisches Postulat; es soll den Wirklichkeitsbezug sichern.
- (ii) Das ***Kohärenzpostulat***: Die Anpassung der subjektiven Strukturen an die objektiven Strukturen ist im Sinne einer inneren Kohärenz der subjektiven Strukturen zu verstehen, die als epistemologische Notwendigkeit (subjektive Evidenz) erfahren wird und als Ergebnis der komplementären Mechanismen der Assimilation und Akkomodation vorliegt. Der Prozeß des Erkenntniserwerbs manifestiert sich im fortwährenden Aufbau neuer kognitiver Strukturen. Dabei gibt es zwei wesentliche Aspekte: (α) die Segregation in verschiedene Substrukturen und (β) die Integration in neue Gesamtstrukturen. Das Ergebnis des Erkenntniserwerbs ist dann eine etablierte Harmonie zwischen Denken und Wirklichkeit. Dies ist ein logisches Postulat; es soll die Widerspruchsfreiheit sichern.¹⁰²

Erkenntnis ist gerade nicht ein bloßes Registrieren von Sachverhalten, oder ein Aktualisieren angeborener Strukturen, oder ein bloßes Anpassen an Gegebenheiten, sondern ein Prozeß der Selbstregulation, der wesentlich von der bereits erreichten Stufe der kognitiven Kompetenz abhängt. Dieser Sachverhalt ersetzt den alten Gedanken des bloß quantitativen Erkenntnisfortschritts durch den neuen Gedanken eines qualitativen Erkenntnisfortschritts. Die neue Qualität der Erkenntnis bezieht sich dabei auf die innere Notwendigkeit, die durch die Geschlossenheit der Operationen (Kombination, Koordination, Reversibilität) zum Ausdruck kommt.

Aus dem Kantschen Begriff des Apriori scheidet sich daher der Zug des „Vorweg-Gegebenseins“ aus, denn es gibt einen schrittweisen Aufbau; wir bewahren jedoch den Zug der Notwendigkeit. In der Tat schreitet dieser Aufbau zu Anfang in einfachen Regulierungen vorwärts und erreicht in der Folge durch eine schrittweise

¹⁰² Die Wirksamkeit der inneren Kohärenz zeigt sich auch bei Gedächtnisleistungen. Erinnerungen an Begebenheiten der Kindheit fallen so aus, daß sie kohärent sind mit der bereits erreichten Entwicklungsstufe.

Äquilibration Zustände der „Geschlossenheit“, welche die internen Verknüpfungen einer Struktur streng selbstregulierend werden läßt. Die Konstruktionen *erwerben* damit einen Zug der Notwendigkeit, den sie im Ausgangspunkt nicht aufgewiesen haben.¹⁰³

Piaget unterscheidet zwischen einer *Speziellen Genetischen Erkenntnistheorie*, die den Aufbau der Erkenntnisstufen untersucht, indem sie sich auf ein Bezugssystem im Sinne einer äußeren, als objektiv und stabil gedachten Wirklichkeit stützt, das vom jeweils aktuellen Stand der empirischen Wissenschaften vorausgesetzt wird und einer *Allgemeinen Genetischen Erkenntnistheorie*, die diesen speziellen Standpunkt des Bezugssystems kritisch reflektiert.

Wir bezeichnen jede psychogenetische oder historisch-kritische Erforschung der Arten des Anwachsens der Erkenntnis als spezielle genetische Erkenntnistheorie, solange sie sich auf ein Bezugssystem stützt, das durch den Stand des Wissens im betreffenden Moment gegeben ist. Wir sprechen hingegen von allgemeiner genetischer Erkenntnistheorie, wenn das Referenzsystem selbst in den genetischen oder historischen Prozeß einbezogen ist, den man studieren will. [...]

Nun führt aber die Einbettung der aktuellen Kenntnisse in den genetischen Prozeß nicht nur dazu, jede Wahrheit, sogar die heute anerkannte, als relativ zu einem bestimmten Niveau des in Entwicklung begriffenen Denkens zu betrachten (eingeschlossen die fundamentalen logischen Wahrheiten), sondern vermeidet es auch, die Beziehungen zwischen dem Subjekt und dem Objekt vorwegzunehmen. [...] Vom Standpunkt einer allgemeinen genetischen Erkenntnistheorie existiert aber keine mit diesen Eigenschaften ausgestattete Realität mehr. [...] Es existiert kein Mittel, um das Problem der Grenzen zwischen Objekt und Subjekt mit Sicherheit zu lösen, wenn man das Bezugssystem aufgibt, auf das sich die spezielle Erkenntnistheorie stützt.¹⁰⁴

Der Erkenntnisanspruch der Speziellen Genetischen Erkenntnistheorie hängt somit entscheidend von der Geltung, der Tragfähigkeit und der Tragweite dieses speziellen Bezugssystems ab. Dies zu klären geht über den Aufgabenbereich der empirischen Wissenschaften hinaus; es ist die genuine Aufgabe der Philosophie. Die Wichtigkeit dieser Relativierung des metatheoretischen Standpunkts hebt insbesondere Engels hervor:

Im Lichte der Annahme einer Untrennbarkeit von Subjekt und Objekt sowie ihrer sich wechselseitig bedingenden Entwicklung, die die Untersuchungen der speziellen genetischen Erkenntnistheorie als Ergebnis erbracht haben, reflektiert der Entwicklungspsychologe nun auf seine eigene Disziplin und versteht sie als eine in Entwicklung begriffene Wissenschaft. Damit gelangt er zu einem kritischen Verständnis seines eigenen theoretischen Bezugssystems und zu der Einsicht, daß auch seine Theorien nur Assimilationsinstrumente sind, die die Wirklichkeit nie an sich erkennen lassen.¹⁰⁵

¹⁰³ Piaget 1975e, S. 6

¹⁰⁴ Piaget 1975e, S. 49f

¹⁰⁵ Engels 1989, S. 276

Die Genetische Erkenntnistheorie, wie sie von Piaget formuliert ist, weist – so Case – bemerkenswerte Vorzüge auf.

Piagets wissenschaftliches Untersuchungsprogramm hat nicht nur eine eindrucksvolle *Erklärungskraft*, sondern ebenso eine eindrucksvolle *heuristische Kraft*. [...]

1. Die Theorie besitzt eine große Reichweite. [...]
2. Die Theorie ist ökonomisch. [...]
3. Die Theorie ist nicht reduktionistisch. [...]
4. Die Theorie ist in hohem Grade systemisch.¹⁰⁶

Sie bleibt aber zumindest in drei wesentlichen Punkten unzulänglich und damit ergänzungsbedürftig:¹⁰⁷ (α) Der *Einfluß der Aufmerksamkeitskapazität*: Die Aufmerksamkeitskapazität eines Kindes bleibt unberücksichtigt, obwohl die Fähigkeit, die Aufmerksamkeit gleichzeitig auf mehrere relevante Merkmale zu lenken, ganz offensichtlich von entscheidender Bedeutung für die Problemlösung ist und während der ontogenetischen Reifung zunimmt. Der Begriff der Aufmerksamkeitskapazität bzw. der mentalen Kraft (M-Power) wird in der Theorie von Pascual-Leone eingeführt, fruchtbar gemacht und von Tomasello eingehend untersucht. Die Neuropsychologie versucht den Mechanismus der Aufmerksamkeit zu enträtseln. (β) Die *Rolle der Sprache*: Auf die grundlegende Bedeutung von Kultur und Sprache wird in Piagets Theorie zwar hingewiesen, aber nicht genügend ausgearbeitet. Insbesondere ist die kulturelle Standardausbildung, welche der Vermittlung von Sprache und Schrift dient, entscheidend für den operationalen Aufbau der Wirklichkeit. Dieser Sachverhalt wird von Bruner hervorgehoben und analysiert. (γ) Das *Konzept der horizontalen Struktur*: Die Unterscheidung von Entwicklungsstufen, die jeweils durch eine spezifische Art der Wissensfähigkeit gekennzeichnet sind, erscheint problematisch, insofern sie für alle Wissensbereiche gleichzeitig gelten soll. Der Prozeß des strukturellen Wandels ist aber inhaltsgebunden und bereichsspezifisch und keineswegs allgemeiner Natur. Dieses Problem wird von Case durch die Einführung einer zusätzlichen horizontalen Struktur der ontogenetischen Entwicklung gelöst.

¹⁰⁶ Case 1999, S. 25

¹⁰⁷ Kesselring 1988, S. 188 – 207; Kritiker der Genetischen Erkenntnistheorie werfen Piaget vor, daß er die *Intersubjektivität* und *Selbstreflexivität* des Wissens nicht ausreichend berücksichtige. Ros zitiert Maier mit einem besonders pointierten Einwand: „Eine sarkastische Kritik könnte Piaget vorwerfen, sein Kleinkind entwickle sich vom narzißtischen Solipsisten zu einem zunehmend durchrationalisierten Verhaltensstrategen, der auch die personale Umgebung nach Art von dinglichen ‚Mitteln‘ instrumentalisiert“ (Maier 1978, S. 490). Ros sieht den Grund der angesprochenen Problematik hauptsächlich in Piagets verarmten Sprachbegriff. Üblicherweise wird die Sprachfähigkeit unter drei Aspekten gesehen: (α) der Sachbezug, (β) der Fremdbezug und (γ) der Selbstbezug. Von diesen drei Bezügen scheint Piaget nur den ersten im Blick zu haben. Dieser eingeschränkte Sprachbegriff führt – so Ros – zu einer gewissen inneren Inkonsistenz mit anderen Teilen der Genetischen Erkenntnistheorie (vgl. Ros 1983, S. 29, 37ff). Diese Kritik und andere Einwände von Faucher et al. sind im Hinblick auf die Forderung einer, alle relevanten Aspekte der ontogenetischen Entwicklung umfassenden Entwicklungspsychologie gerechtfertigt. Die Kritik an Piagets Arbeiten wird hier berücksichtigt, insofern sie im Zusammenhang mit der Problemstellung dieser Studie relevant ist.

Insbesondere der letzte Aspekt erweist sich als „Stolperstein“ für Piagets Genetische Erkenntnistheorie. Der Zusammenhang zwischen Lebensalter und Entwicklungsstufe fällt offensichtlich für verschiedene Wissensbereiche unterschiedlich aus. Dies bedeutet, daß sich ein Kind – je nach Wissensgebiet – gleichzeitig auf verschiedenen Entwicklungsstufen befindet müßte. Im Zusammenhang mit dieser Problematik und auf dem Hintergrund der kognitionspsychologischen Forschungen von Carey¹⁰⁸ kritisiert daher Schurz:

Piaget zufolge beruht die kindliche Intelligenzentwicklung auf dem Erwerb sehr allgemeiner kognitiver Strukturen, die, einmal erworben, vom Kinde auf beliebige Inhalte bzw. Aufgabenstellungen angewandt werden können. Allerdings hatte Piaget diese seine These nur unzureichend empirisch gestützt. Denn er prüfte das Vorliegen kognitiver Strukturen immer nur mit Hilfe einiger ausgewählter Testbeispiele [...]. Zusammengefasst beruht [...] das Denken des Kindes keineswegs auf einigen wenigen allgemeinen Strukturen, so wie Piaget annahm, sondern auf einer Vielzahl inhaltsgebundener und bereichsspezifischer Konzepte. [...] Innerhalb eines inhaltlich abgegrenzten Bereichs lassen sich im kindlichen Denken durchaus konstante und auch stufenförmige Entwicklungsverläufe finden [...].¹⁰⁹

Diese Problematik hat Kritiker veranlaßt, die Frage zu stellen, ob der Begriff der diskreten Entwicklungsstufen völlig falsch oder lediglich unvollständig ist. Am Ende der 70er Jahren gerät die Theorie Piagets daher in eine wissenschaftliche Krise im Sinne Kuhns.

Das von Piaget selbst so bezeichnete Problem der *décalage*, – dem Erwerb des gleichen logischen Konzepts in unterschiedlichen Inhaltsbereichen, jedoch nicht erwartungsgemäß in der gleichen Altersstufe, sondern in unterschiedlichen (horizontale Verschiebung) –, stürzte die Entwicklungspsychologie in eine tiefe Krise. Kinder brachten einerseits in einigen Gebieten nicht die von der Theorie vorhergesagten Ergebnisse hervor, andererseits lösten sie bereits in jungen Jahren Aufgaben, die nach Piagets Vorstellungen noch gar nicht zu bewältigen waren.¹¹⁰

Der Neo-Piagetianer Case¹¹¹ kann in seinen umfangreichen Arbeiten nachweisen, daß Piagets Theorie der *vertikalen Entwicklungsstruktur* durch eine Theorie der *horizontalen Entwicklungsstruktur* ergänzt werden muß. Case verfolgt einen betont integrativen Ansatz, der die Entwicklungstheorie Piagets mit anderen Entwicklungstheorien (Pascual-Leone, Bruner) verknüpft. Sein Ansatz schließt aber auch Ergebnisse anderer Disziplinen ein: die Computer-Wissenschaften (Newell, Simon), die psychologische Begriffsforschung (Rosch) und die Sprachentwicklung (Chomsky). Im folgenden wird der Aufbau der Strukturierungsformen nach Piaget en detail erörtert und dabei die wichtigsten Ergänzungen von Case mitberücksichtigt.

¹⁰⁸ Carey 1985

¹⁰⁹ Schurz 1988, S. 23f

¹¹⁰ Case 1999, S. XIII

¹¹¹ Case 1999

1. Stufe: Der senso-motorische Aufbau der Wirklichkeit

Die Genetische Erkenntnistheorie zeichnet ein Modell vom Aufbau der Wirklichkeit, das zu einem konkreten, handlungsbezogenen Weltbild führt. Der Wissenserwerb ist zunächst senso-motorisch, d.h. das Weltbild des Babys ist an seine Sinneswahrnehmungen und Bewegungen geknüpft. Auf einer frühen Stufe der kognitiven Entwicklung geht es um ein implizites Wissen, das lediglich erwartungsrelevant ist.¹¹² Zu einem späteren Zeitpunkt ist eine Entwicklungsstufe erreicht, auf der das Kind über ein implizites Wissen verfügt, das bereits verhaltensrelevant ist. Dabei zeigt sich, daß sich im praktischen Handeln Strukturen abzeichnen, welche später in der theoretischen Erkenntnis begrifflich (Sprache) und formal (Mathematik) gefaßt werden. Der *Ausgangspunkt* des Aufbaus der Wirklichkeit läßt sich durch drei Merkmale charakterisieren: (α) Zunächst kann das Baby noch keine Unterscheidung treffen zwischen seinem eigenen Ich und der Außenwelt. Es fehlt jegliche Differenzierung zwischen Subjekt und Objekt. (β) Alle Handlungen sind auf den eigenen Körper zentriert. Der Körper bildet das einzig mögliche Bezugssystem; das Bezugssystem ist demnach egozentrisch. (γ) Die Handlungen werden als isolierte Prozesse wahrgenommen. Es erfolgt noch keine Kombination, Koordination und Reversibilität von Handlungen.

Das eigentliche Problem der Erkenntnis ist somit das folgende: Wenn anfänglich weder ein Subjekt im epistemischen Sinn des Ausdrucks existiert, noch Objekte, die als solche wahrgenommen werden, noch unveränderliche Instrumente des Austauschs, wie bilden sich dann die vermittelnden Instrumente aus, die doch erst konstruiert werden müssen! Offenbar reifen diese vorerst in der Berührungszone zwischen dem eigenen Körper und den umgebenden Dingen, um sich hierauf in zwei komplementäre Richtungen zu erweitern, nach innen und nach außen; und erst diese doppelte Konstruktion gestattet die Erarbeitung des Subjekts und die damit verbundene Konstituierung der Objekte.¹¹³

Die Entwicklung der kognitiven Fähigkeiten von Babys zwischen Geburt und dem zweiten Lebensjahr vollzieht sich in mehreren Phasen. In dieser Zeit werden bereits die ersten

¹¹² Bereits in den ersten Lebensmonaten eines Babys wird erwartungsrelevantes Wissen aufgebaut. Dieser Sachverhalt hat zu einer breit angelegten Debatte in der Entwicklungspsychologie geführt, wie ein derartiges Wissen so schnell erworben werden kann. Ein Beispiel soll die ungewöhnliche Leistung verdeutlichen: Eine Kugel fällt hinter eine Sichtblende. Diese wird dann entfernt und die Kugel liegt jetzt auf einem Tisch. In der ersten Versuchssituation befindet sich der Tisch unterhalb einer massiven dazwischengezogenen Platte. Diese soll nahelegen, daß die Kugel die Platte durchdrungen hat (physikalisch unmögliche Situation). In einer zweiten Versuchssituation fehlt diese Platte (physikalisch mögliche Situation). Zwischen diesen beiden Versuchssituationen gibt es ein signifikant unterschiedliches Blickverhalten der Babys bereits im Alter von drei Monaten. Wird eine physikalische Gesetzmäßigkeit verletzt, dann wird die ungewohnte Situation länger betrachtet. Demzufolge muß angenommen werden, daß Babys bereits frühzeitig über eine gewisse Kenntnis darüber verfügen, daß zwei feste Gegenstände sich nicht durchdringen können. Abgesehen davon besitzen Babys auch ein erwartungsrelevantes Wissen über das *Kontinuitätsprinzip* (Objekte bewegen sich immer kontinuierlich) und das *Kontaktprinzip* (ein Objekt kann ein anderes Objekt nur durch einen direkten Kontakt in Bewegung versetzen). Allerdings sind Babys dennoch keine Physik-Experten; es fehlt ihnen beispielsweise die Kenntnis des Gravitationsprinzips. Offensichtlich finden sie es im Alter von drei Monaten keineswegs beachtenswert, wenn ein Ball scheinbar in der Luft stehen bleibt, anstatt nach unten zu fallen, bis er auf einer festen Auflage zu liegen kommt (vgl. Knopf 2000).

¹¹³ Piaget 1974, S. 32

Strukturierungsformen herausausgebildet: Raum, Bewegung, Objekt und Kausalität. Diese Ordnungsstrukturen sind völlig non-verbal, aber erwartungs- und verhaltensrelevant, d.h. sie interessieren das Kind zunächst nur im Hinblick auf das Erreichen der erwünschten Ergebnisse der eigenen Handlungen. Im folgenden soll die kognitive Entwicklung in vier Phasen dargestellt werden.¹¹⁴

Kognitive Entwicklung und das erwartungs- und verhaltensrelevante Wissen				
	1. Phase	2. Phase	3. Phase	4. Phase
sensomotorischer Aufbau der Wirklichkeit	reflexartiges Verhalten	agierendes Verhalten	exploratives Verhalten	gedanklich antizipiertes Verhalten

1. Phase: Die erste Phase bezieht sich auf den Zeitraum von der Geburt bis zum 3. Monat und ist durch reflexartige Verhaltensweisen charakterisiert:

- (i) **Objekt:** Objekte regen zum Anschauen und Saugen an. Als erste wiederholbare und generalisierbare Handlung entwickelt das Baby das Saugschema. Außerdem werden Objekte wahrgenommen und wiedererkannt. Verschwundene Objekte werden noch nicht gesucht. Ein Objekt, das verschwindet, ist demnach noch kein permanentes Objekt, sondern ein Bild, das sich auflöst und wieder neu bildet.
- (ii) **Raum:** Bereits in den ersten Lebensmonaten kommt es zur sensomotorischen Erschließung verschiedener Räume: Saug-Raum, Tast-Raum, Seh-Raum und Hör-Raum. Die verschiedenen Räume sind jedoch noch nicht koordiniert und bilden noch keineswegs einen einzigen Raum. Das Baby beginnt bereits mit einer elementaren Differenzierung zwischen Zustands- und Positionsänderungen. Positionsänderungen sind gerade dadurch charakterisiert, daß die Veränderungen durch Augen- oder Kopfbewegungen rückgängig gemacht werden können, wohingegen dies bei Zustandsänderungen nicht möglich ist. Der Aufbau des Raumes ist möglich, weil das Baby nicht nur sinnliche sondern auch motorische Fähigkeiten entwickelt.

¹¹⁴ Piaget 1975a; Case 1999; Piaget hat seine Untersuchungen an seinen eigenen drei Kindern durchgeführt und die Ergebnisse ausführlich dokumentiert. Er gibt eine etwas differenziertere Auflösung der Ontogenese und entfaltet die kognitive Entwicklung der 1. Stufe in sechs Phasen. Case hingegen beschränkt sich auf eine Einteilung in vier Phasen.

- (iii) **Bewegung:** Die ersten Erfahrungen mit dem Bewegungskonzept macht das Baby im Zusammenhang mit seiner eigenen, zunehmend differenzierteren Fähigkeit zur Bewegung. Die reflexartigen Bewegungen ordnen sich zu einer Gruppenstruktur (praktische Gruppe). Diese Gruppenstruktur ist natürlich nur aus der Position des Beobachters klar und keineswegs aus der Sicht des Babys. Das Baby registriert aber, daß nur wenig verschobene Objekte durch eigene Bewegungen, die die Verschiebung kompensieren, wiedergefunden werden können.
- (iv) **Kausalität:** Eine Feststellung von Ursache und Wirkung ist in dieser frühen Phase natürlich noch nicht möglich. Erste Ansätze für kausale Strukturen ergeben sich aber aus dem reflexartigen Verhalten des Babys, das zur Außenwelt Kontakt aufnimmt.

2. Phase: Die zweite Phase bezieht sich auf den Zeitraum vom 3. Monat bis zum 12. Monat und ist durch agierende Verhaltensweisen charakterisiert:

- (i) **Objekt:** Objekte regen zum Anschauen, Saugen und Greifen an. Als zweite wiederholbare und generalisierbare Handlung entwickelt das Baby das Greifschema. Verschwundene Objekte werden durch visuelle Handlungen (Augenbewegungen, Kopfbewegungen) und taktile Handlungen (kleine Hindernisse wegräumen) gesucht. Zunächst werden aber nur dann Hindernisse beseitigt, wenn die Objekte nur teilweise verdeckt sind. Es genügt demnach, daß ein Teil eines bekannten Objekts sichtbar bleibt, um das Ganze zu vervollständigen. Später werden auch Hindernisse beseitigt, die ein Objekt völlig verdecken, sofern der Vorgang des Versteckens beobachtet werden konnte. Objekte existieren auch dann, wenn sie weder visuell noch taktil wahrnehmbar sind. Die Objekte existieren aber nur in Verbindung mit einer bevorzugten Position. Wird ein Objekt zunächst am Ort **A** versteckt und erfolgreich gefunden und dann am Ort **B** versteckt, so wird erneut am Ort **A** nach dem versteckten Objekt gesucht, obwohl der Vorgang des Versteckens am Ort **B** beobachtet werden konnte. Diese Phase ist phänomenistisch, d.h. das Objekt bleibt abhängig von seinem Kontext und dynamistisch, d.h. das Objekt bleibt abhängig vom Erfolg der Suchhandlung des Babys.
- (ii) **Raum:** Diese Phase beginnt mit der Koordination der verschiedenen Räume, insbesondere des visuellen und taktilen Raumes. Mit dem agierenden Verhalten ordnen sich die ergriffenen Objekte zum eigenen Körper in der Tiefe an. Das visuelle Unterscheidungsvermögen zwischen nahen und entfernten Objekten entfaltet sich allmählich. Befindet sich ein Objekt weit außerhalb des taktilen Raumes, dann wird keine Anstrengung unternommen, das Objekt zu greifen. Wird das Objekt langsam in den taktilen Raum hinein verschoben, dann greift das Baby in dem Moment nach dem Objekt, wenn dieses die taktile Raumgrenze erreicht hat. Die Entfernung wird zunehmend adäquater eingeschätzt. Später werden Körperbewegungen (Krabbeln)

ausgeführt mit dem Ziel, näher an entfernte Objekte heranzukommen. Positionsänderungen von Objekten werden somit im Zusammenhang mit der eigenen Handlung bemerkt. Räumliche Beziehungen zwischen verschiedenen Objekten können noch nicht erfaßt werden. Die drei Dimensionen des Raumes beschränken sich zunächst auf den taktilen Raum. Weit außerhalb des taktilen Raumes fehlt dagegen die Tiefe.

- (iii) **Bewegung:** Die Beweglichkeit von Objekten wird zu einer zentralen Erfahrung des Babys. Es werden erste Gruppenstrukturen wahrgenommen, die einfache reversible Operationen einschließen (subjektive Gruppe). Dazu erforscht das Baby ein Objekt durch Hin- und Herschieben und Drehung des Objekts und erkennt seine Rückseite. Der Gruppenbegriff ist hier in einem sehr elementaren Sinne zu verstehen: Er meint zunächst die Verschiebung von Objekten – also von **A** nach **B** – und dann eine Operation, die geeignet ist, eine Rückkehr zum Ausgangspunkt – also von **B** nach **A** – zu ermöglichen.
- (iv) **Kausalität:** In dem agierenden Verhalten des Babys wird eine gewisse Macht über die Objekte erfahren. Dies führt zu einem magischen Weltbild. Für das Baby gibt es zunächst nur eine einfache Ansammlung von Ereignissen, deren kausale Strukturen phänomenistisch (gekoppelt an die Wahrnehmung) und dynamistisch (gekoppelt an die eigene Handlung) sind. Das Baby erwartet, durch bestimmte Aktionen erwünschte Ergebnisse bewirken zu können. Eine Person schüttelt eine Rassel, das Baby reagiert darauf erfreut. Ist das Schauspiel zu Ende, versucht das Baby unter Einsatz seines Bewegungsrepertoires (Strampeln etc.) das interessante Schauspiel erneut auszulösen. Bei Erfolg führt dies zur Annahme eines Zusammenhangs zwischen Handlung und Phänomen und schließlich zur Handlungswiederholung (modus ponens). Die kausale Wirkung wird zuallererst der eigenen Aktion zugeschrieben und gerade noch nicht der Person, die die Rassel schüttelt. Zunächst nimmt das Baby noch an, daß jede seiner Handlungen eine auslösende Wirkung zeigt, später lernt es, daß nur dann die erwünschte Wirkung eintritt, wenn ein geeigneter physischer Kontakt (Druck, Stoß, Zug) besteht. Eine kausale Verknüpfung von Ursache und Wirkung, die nicht an seine Handlung gebunden ist, gibt es für das Baby noch nicht.

3. Phase: Die dritte Phase bezieht sich auf den Zeitraum vom 12. Monat bis zum 18. Monat und ist durch explorative Verhaltensweisen charakterisiert:

- (i) **Objekt:** Objekte werden als permanent und substantiell wahrgenommen. Das Kind beginnt selbst, Objekte zu verstecken und wieder zu finden. Ein verstecktes Objekt wird nicht mehr an einer bevorzugten Position gesucht, sondern an dem Ort, an dem es zuletzt wahrgenommen wird. Es werden jedoch nur sichtbare Verlagerungen des Objekts berücksichtigt. Wird ein Objekt in eine Schachtel gelegt, die Schachtel unter

ein Tuch gebracht, dort das Objekt aus der Schachtel entfernt und dann die leere Schachtel wieder unter dem Tuch hervorgeholt, dann sucht das Kind das Objekt nur in der Schachtel. Der Mißerfolg der Suchhandlung veranlaßt das Kind noch nicht, das Objekt dann auch unter dem Tuch zu suchen. Das Kind kann sich demnach eine nicht wahrnehmbare Verlagerung des Objekts noch nicht vorstellen.

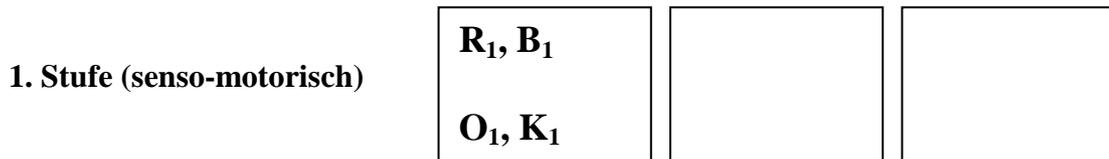
- (ii) **Raum:** In dieser Phase wird ein wichtiger Schritt hin zur Objektivierung der Beziehungen von Objekten untereinander vollzogen. Das Kind lernt, aufeinanderfolgende Verschiebungen eines Objekts zu berücksichtigen. Es experimentiert, indem es ein Objekt hinter sich wirft und sich dann nach rechts und nach links dreht, um das Objekt jeweils mit diesen komplementären Bewegungen wiederzufinden. Die Experimente werden systematisch durchgeführt, d.h. sie werden oft wiederholt und generalisiert. Darüber hinaus lernt das Kind eine Unterlage als Instrument zu verwenden. Ein sehr kleines Objekt wird außerhalb des taktilen Raumes des Kindes auf eine Unterlage gelegt, die in den taktile Raum hineinreicht. Das Kind zieht die Unterlage weiter heran um das Objekt zu greifen.
- (iii) **Bewegung:** Die Bewegungen von Objekten im Sinne einer Verschiebung im Raum werden ausgiebig erforscht und dann adäquat erfaßt; sie erfolgen konform zu den Gruppenstrukturen (objektive Gruppe). Das Kind erfährt somit im Spiel mit beweglichen Objekten die erste mathematische Struktur, ohne daß allerdings diese Struktur als Gruppenstruktur verstanden wird. Eine zeitliche Dimension des Bewegungsprozesses fehlt noch völlig.
- (iv) **Kausalität:** Das Kind erkennt in dieser Phase zwei verschiedene Arten von kausalen Verknüpfungen zwischen den wahrgenommenen Ereignissen. Einerseits handelt es sich um die ihm bereits bekannte kausale Ursache-Wirkungs-Beziehung, die es selbst durch einen physischen Kontakt (Druck, Stoß, Zug) auslösen kann. Diese kausale Beziehung wird systematisch explorativ erkundet. Andererseits bemerkt das Kind Ereignisse, deren Ursache außerhalb seiner eigenen Aktivitäten liegen. Auf dieser Entwicklungsstufe beginnt das Kind, Personen und Tiere seiner Umgebung zu „Spielgefährten“ zu erziehen. Die Wirklichkeit ist für das Kind zu einem Geflecht von Ursachen und Wirkungen geworden, in dieses es sich selbst als ein Objekt unter anderen Objekten einfügen kann. Die kausale Verknüpfung wird zunehmend vergegenständlicht und verräumlicht. Allerdings beschränkt sich das kausale Verständnis noch auf wahrnehmbare Sachverhalte und keineswegs auf Vorstellungen kausaler Beziehungen.

4. Phase: Die vierte Phase bezieht sich auf den Zeitraum vom 18. Monat bis zum 24. Monat und ist durch gedanklich antizipierte Verhaltensweisen charakterisiert:

- (i) **Objekt:** Objekte werden in der Vorstellung als permanent und substantiell wahrgenommen. Wird ein kleines Objekt in der geschlossenen Hand versteckt, wird die geschlossene Hand dann nacheinander unter verschiedene Kissen **A, B, C** gebracht und wieder hervorgezogen, dann wird das Kind zunächst in der geschlossenen Hand und dann auch unter den Kissen **A, B, C** so lange suchen, bis es das versteckte Objekt gefunden hat. In dieser letzten Phase ist offensichtlich ein permanentes Objekt konstituiert, das nicht mehr phänomenistisch (gekoppelt an die Wahrnehmung) und dynamistisch (gekoppelt an die Handlung) erkannt wird. Das Kind hat auch gelernt, zwischen seinem eigenen Ich und der Außenwelt zu unterscheiden.
- (ii) **Raum:** Der bisherige räumliche Egozentrismus wird in dieser Phase überwunden. Das Kind nimmt den Raum nicht mehr ausschließlich in Abhängigkeit zu seinem eigenen Körper wahr. Stattdessen kann es sich räumliche Beziehungen zwischen verschiedenen Objekten vorstellen und sich selbst als ein Objekt in diesem Raum. Damit ist es in der Lage, sich mögliche Umwege vorzustellen, die geeignet sind, Hindernisse zu berücksichtigen.
- (iii) **Bewegung:** Die Gruppenstrukturen werden adäquat vorgestellt (vorgestellte Gruppe). Das Kind erfährt somit durch die konkreten, sichtbaren Bewegungen von Objekten die erste mathematische Struktur und integriert diese erwartungs- und verhaltensrelevant in seinen Wissensbestand. Die zeitliche Dimension des Bewegungsprozesses hingegen fehlt weiterhin.
- (iv) **Kausalität:** Das kausale Verständnis wird derart erweitert, daß jetzt für alle beobachteten Wirkungen auch dann Ursachen unterstellt werden, wenn diese nicht wahrnehmbar sind, sondern nur gedanklich rekonstruiert werden können. Dies zeigt sich darin, daß das Kind auch in neuen, noch unbekanntem Situationen nach der Ursache sucht, sobald es eine Wirkung beobachtet. Umgekehrt, erwartet das Kind aber auch in neuen, noch unbekanntem Situationen eine Wirkung, wenn es eine Ursache beobachtet.

Am Ende der ersten Stufe des *sensomotorischen Wissenserwerbs* erscheint das Kind als ein Individuum, das durch sein adaptives Verhalten zeigt, daß es neue Eigenschaften eines Objekts erkunden, Bewegungen von Objekten und räumliche Beziehungen zwischen den Objekten verstehen und unmittelbar bevorstehende Ereignisse antizipieren kann. Mit der Konstitution eines permanenten Objekts hat das Kind eine Erkenntnisstufe erreicht, auf der nicht mehr nur auf ein Objekt reagiert wird, sondern auf der Objekte als existierend und als unabhängig von der eigenen Handlung erkannt werden. Kausale Konzepte entfalten sich aufgrund der konkreten Erfahrungen, daß sich Objekte in der Umgebung auf vielfältige Weise manipulieren lassen. Eine Zeitanschauung fehlt auf dieser Stufe aber noch völlig. Damit sind die ersten Voraussetzungen dafür geschaffen, daß der Erkenntnisprozeß im Sinne einer drei-

stellig Relation aufgefaßt werden kann. Die 1. Stufe im Aufbau der *Strukturierungsformen* des Menschen im Laufe seiner drei-stufigen ontogenetischen Reifung ist damit erreicht.¹¹⁵



Die bis zur 1. Stufe erarbeiteten Strukturierungsformen lassen sich in ein *Strukturierungsschema* einordnen, das mit der weiteren ontogenetischen Reifung ergänzt und strukturell erweitert werden muß. Die Strukturierungsformen bedeuten im einzelnen:

- (i) **R₁**: Der Aufbau eines drei-dimensionalen Raumes und die Anordnung der Objekte und Prozesse im Raum.
- (ii) **B₁**: Die Einsicht in die Gruppenstruktur der Bewegungen von Objekten im Raum. Diese erste mathematische Struktur, die spielerisch erfahren und erforscht wird, ist erwartungs- und verhaltensrelevant integriert.
- (iii) **O₁**: Die non-verbale, aber erwartungs- und verhaltensrelevante Prototypenbildung von sinnlich wahrnehmbaren, permanenten Objekten (Substanz).
- (iv) **K₁**: Die non-verbale, aber erwartungs- und verhaltensrelevante Prototypenbildung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen (Kausalität) im Hinblick auf die bereits aufgebauten Handlungsschemata und bezogen auf eine egozentrische Perspektive.

Mit Blick auf den Lernprozeß sind zwei verschiedene Arten des Wissens zu unterscheiden: (α) das explizite, deklarative Wissen (wissen, daß ...), das erst ab der 2. Stufe der Entwicklung in sprachlicher Formulierung aufgebaut wird und (β) das implizite, prozedurale Wissen (wissen, wie ...), das bereits auf der 1. Stufe der Entwicklung aufgebaut wird und erwartungs- und verhaltensrelevant ist. Aus ontogenetischer Perspektive ist das implizite Wissen die Grundlage des expliziten Wissens. Dieser Sachverhalt wird ausdrücklich durch die Ergebnisse der empirischen Neurowissenschaften und der theoretischen Neuroinformatik gestützt (vgl. Kapitel 1.5) und hat weitreichende Konsequenzen für den Wissensbegriff einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie.

¹¹⁵ Die Einsichten der Genetischen Erkenntnistheorie stehen in einem bemerkenswerten Einklang mit den Beobachtungen an höher entwickelten Tieren. Diese haben offensichtlich keine Probleme, überlebensadäquate Vorstellungen von Raum, Bewegung, Objekt und Kausalität zu bilden, die erwartungs- und verhaltensrelevant sind. Ein Zahl- und Zeitkonzept hingegen scheint ihnen völlig fremd zu sein. Stattdessen ist die Bewegung eines Objekts grundlegend. Aus evolutionstheoretischer Sicht ist dies unmittelbar einleuchtend, da die Wahrnehmung bewegter Objekte überlebensnotwendig ist. Bewegte Objekte sind „Fortpflanzungspartner“, „Beute“, „Feind“ oder „keines von diesen“. In jedem Fall ist es angezeigt, eine korrekte Vorstellung vom Objekt und von seinem Bewegungsablauf zu haben.

2. Stufe: Der symbolisch-sprachliche Aufbau der Wirklichkeit

Die zweite Stufe des symbolisch-sprachlichen Aufbaus der Wirklichkeit setzt ein, sobald die erste Stufe des senso-motorischen Aufbaus der Wirklichkeit hinreichend ausgebildet ist. Die erste Stufe dient dem Aufbau von Raum, Bewegung, Objekt und Kausalität. Unmittelbar nach der Objektbildung tritt die *Symbolbildung* auf. Symbole haben die *semiotische Funktion* der Repräsentation und ermöglichen die Ablösung des Denkens von konkreten Wahrnehmungen und Handlungen. Das Kind ist nicht länger an die unmittelbaren Sinneswahrnehmungen und Handlungen gebunden, sondern erwirbt zunehmend die Fähigkeit, sich innere Bilder zu machen und probeweise Handlungen im Vorstellungsraum durchzuspielen. Das repräsentative Denken ist schneller und flexibler als das senso-motorische Denken. Des Weiteren gestattet es einen Wechsel der Perspektive. Vorstellungen sind eine notwendige Bedingung für das Erfassen von vergangenen und zukünftigen Sachverhalten. Die Repräsentation ist aber verbunden mit einer Auswahl und Verdichtung, da Einzelheiten realer Situationen wegfallen. Die Aufmerksamkeit wird fokussiert auf wenige Aspekte, die als besonders relevant erscheinen. Demzufolge ist die Repräsentation keine schlichte Wiedergabe. Die zweite Stufe ist charakterisiert durch den Übergang vom *konkreten Schema* der senso-motorischen Stufe zum *abstrakten Begriff* der symbolisch-sprachlichen Stufe. Die Schematas sind die Grundlage für den symbolisch-sprachlichen Aufbau der Wirklichkeit, d.h. die bereits verfügbaren senso-motorischen Strukturen bilden die intellektuelle Basis, auf der sich die Symbolbildung und Sprache entwickeln kann. Das Kind rekonstruiert und erweitert auf der symbolisch-sprachlichen Stufe die Entwicklungen der senso-motorischen Stufe – allerdings auf einem höheren epistemischen Niveau. Die vielschichtigen kognitiven Leistungen, die bereits mit dem einfachen Fall einer Repräsentation von Objekten verbunden sind, werden von den Entwicklungspsychologen unter der Bezeichnung „Problem der dreifachen Repräsentation“ erörtert. Am Beispiel eines Kinderspiels, in dem eine Tasse als „Hut“ verwendet wird, kann der Sachverhalt verdeutlicht werden. In dieser Situation konkurrieren drei verschiedene repräsentationale Auffassungen des Objekts miteinander: (α) die Tasse als senso-motorisches Objekt, (β) die Tasse als symbolisches Objekt für einen Hut und (γ) die Tasse als intentionales Objekt für die Möglichkeit des Trinkens.¹¹⁶

Piaget unterscheidet vier *Grundformen der Symbolbildung* bei Kindern: (α) die rituelle Repräsentation durch Imitationen, Spiele und den Einsatz von Spielzeug; (β) die geometrische Repräsentation, die in zwei-dimensionalen Figuren (Zeichnungen) und drei-dimensionalen Figuren (Klötzchen-Bauwerke) zum Ausdruck kommt; (γ) die arithmetische Repräsentation durch einen einfachen Zahlbegriff, dem eine Unterscheidung kleiner Quantitäten zugrundeliegt und (δ) die verbale Repräsentation durch sprachliche Formulierungen.¹¹⁷

¹¹⁶ Tomasello 2002, S. 155

¹¹⁷ Piaget 1975d

Kognitive Entwicklung und das symbolisch repräsentierte Wissen				
	1. Form	2. Form	3. Form	4. Form
symbolischer Aufbau der Wirklichkeit	rituelle Repräsentation	geometrische Repräsentation	arithmetische Repräsentation	verbale Repräsentation

Diese Grundformen der Symbolbildung sind die Grundlage für die spätere Entwicklung der Erkenntnis-Instrumente wissenschaftlicher Theorien.

- (i) Die **rituelle Repräsentation E**: Die kindlichen Spiele lassen sich klassifizieren als Funktions-, Symbol-, Experimentier- und Regelspiele. In den Symbolspielen lernt das Kind, Spielzeug als „Stellvertreter“ einzusetzen, um konkrete Handlungen aus Alltagssituationen nachzuahmen, auszuprobieren und einzuüben. Will das Kind beispielsweise „Verkäufer“ spielen, dann können ihm Kieselsteinchen als „Waren“ und Puppen als „Kunden“ dienen. Das Kind, das drei Schuhkartons hintereinander plaziert um „Eisenbahn“ zu spielen, abstrahiert von allen Unterschieden und benutzt das eine, ihm wesentlich erscheinende Merkmal der Reihenbildung als Grundlage seiner Spielphantasie. Es treten demnach symbolische Objekte an die Stelle der gemeinten Objekte, wobei meist eine gewisse Ähnlichkeit zwischen Signifikat und Signifikant besteht. Das Kind legt dabei selbst fest, welche Bedeutung das von ihm gewählte Symbol in seinem Spiel haben soll. Die Bedeutungszuweisung ist variabel. Experimentierspiele sind zunächst vorwiegend destruktiv, später auch konstruktiv und dienen der Erforschung der Objekte, ihrer Bestandteile und Eigenschaften. Diese Grundform der Symbolbildung wird in der Wissenschaft weiterentwickelt zum *Laborexperiment*.¹¹⁸
- (ii) Die **geometrische Repräsentation F**: Das Kind beginnt nach dem Kritzelalter mit der Konstruktion von zwei-dimensionalen Figuren (Zeichnungen) und drei-dimensionalen Figuren (Klötzchen-Bauwerke). Die Repräsentationen ermöglichen eine strukturell erweiterte Raumschauung. Zuallererst werden in den Zeichnungen topologische Strukturen erkannt. Es werden offene und geschlossene Figuren unterschieden und

¹¹⁸ Stern 1926, S. 237 – 291; Auch Tiere bedienen sich des Symbolspiels. Junge Katzen lieben es mit einem Wollknäuel „Mäusefangen“ zu spielen. Evolutionsbiologisch gesehen haben Symbolspiele die wichtige Funktion, Fertigkeiten und Geschicklichkeiten zu trainieren außerhalb des Ernstfalles.

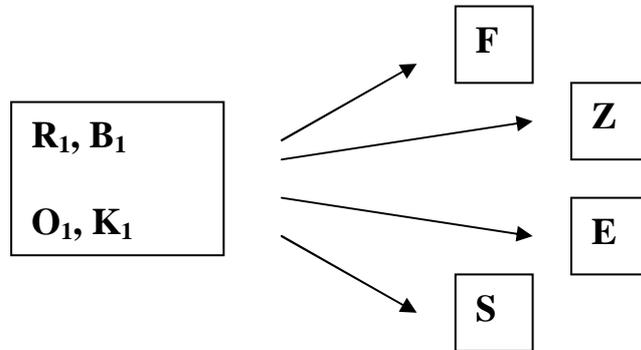
Nachbarschaftsbeziehungen bemerkt. Später werden metrische Strukturen erkannt und Längenverhältnisse berücksichtigt. Der Umgang mit Klötzchen dient dazu, diese zu unterschiedlichen Gebilden zu stapeln, um damit räumliche Strukturen zu entdecken, die durch die Konstruktionen hergestellt werden können. Diese Entdeckungsreise vollzieht sich in vier Phasen:¹¹⁹ (α) Die Konstruktion vertikaler oder horizontaler ein-dimensionaler Strukturen (Turm). (β) Die Kombination vertikaler und horizontaler Strukturen zu zwei-dimensionalen Strukturen (Stufe). (γ) Die Koordination von zwei Strukturen (Torbogen). (δ) Die Koordination von mehreren Strukturen (Torbogen mit Tür). Diese Grundform der Symbolbildung wird in der Wissenschaft weiterentwickelt zur *synthetisch-geometrischen Darstellung* wissenschaftlicher Resultate.

- (iii) Die **arithmetische Repräsentation Z**: Das Kind baut einen einfachen, anschaulichen Zahlbegriff auf, indem es lernt, kleine Quantitäten zu unterscheiden. Dabei handelt es sich zunächst nur um positive, ganze Zahlen, soweit diese unter Einsatz der eigenen Finger erfaßt werden können. Insbesondere ist auf der 2. Stufe noch kein Zahlbegriff gemeint, der kardinale und ordinale Aspekte kombiniert. Der Grund ist darin zu sehen, daß das Kind noch nicht über das Konzept der Erhaltungsgrößen verfügt. Das Verständnis für eine komplexere Mathematik im Sinne einer Anwendung operativer Verfahren entsteht erst auf der 3. Stufe im Zuge der kulturellen Entfaltung. Diese Grundform der Symbolbildung wird in der Wissenschaft weiterentwickelt zur *analytisch-arithmetischen Darstellung* wissenschaftlicher Resultate.
- (iv) Die **verbale Repräsentation S**: Das Kind beginnt nach dem Brabbelalter die ersten Worte zu sprechen. Dabei handelt es sich um eine Verwendung verbaler Zeichen, die keine Ähnlichkeit zwischen Signifikat und Signifikant aufweisen und die von der Gesellschaft in ihrer Bedeutung fixiert werden. Das Kind trifft auf eine Umgebung, die einen Code benutzt, den es erst „knacken“ muß. Das Kind lernt schrittweise die Semantik, die Pragmatik und die Syntax der Sprache. Die fundamentale Bedeutung der Sprache für die Erkenntnis ist unbestreitbar. Sie besitzt aber eine eigentümliche Janusköpfigkeit: (α) Die Sprache ermöglicht und bestimmt Erkenntnis, insofern sie – als Stütze des Denkens – überhaupt erst eine sequentielle Informationsverarbeitung erlaubt (vgl. Kapitel 1.5). (β) Die Sprache begrenzt und verhindert auch Erkenntnis, insofern sie von der Individualität der Objekte und Prozesse abstrahiert und damit Komplexität reduziert, spezielle Perspektiven vorgibt und Intentionen betont. Diese Grundform der Symbolbildung wird in der Wissenschaft weiterentwickelt zu den verschiedenen *Fachsprachen*.¹²⁰

¹¹⁹ Case 1999, S. 162 – 172

¹²⁰ Bruner 1987

Das senso-motorische Wissen wird in verschiedenen neuen Strukturierungsformen noch einmal repräsentiert und zwar derart, daß das nun neu strukturierte Wissen in einer breiten Vielfalt relevanter Kontexte flexibel genutzt werden kann. Notwendige Voraussetzungen für diese neuen Arten von Strukturierungsformen sind Kompetenz (genetisch bedingte Fähigkeit) und Performanz (kulturell geförderte Fähigkeit).



Dieser Prozeß der *repräsentationalen Neubeschreibung* ist es also, der dem Kind hilft, immer abstraktere und allgemeinere kognitive Fertigkeiten auszubilden. Diese Entwicklungsstufe muß allerdings auf dem Hintergrund sozialer Fähigkeiten gedeutet werden: (α) das Bewußtsein der eigenen Person in Abgrenzung zu anderen Lebewesen, (β) die Einsicht in den intensionalen Charakter von Sprache und Handlung und (γ) die Einnahme verschiedener Perspektiven im Hinblick auf ein und dieselbe Wahrnehmungssituation und die damit verknüpfte Verwendung von mehreren sprachlichen Symbolen. Beispielsweise zeigt sich dies, wenn ein und dasselbe zu erkennende Objekt (Katze) in unterschiedlichen Funktionszusammenhängen gedacht wird, was sich dann in der jeweiligen Wahl der Bezeichnung (Pelztier, Raubtier, Kuscheltier) niederschlägt. Die kognitiven Fähigkeiten des Kindes ermöglichen jetzt einen variablen Umgang mit Erkenntnis und die Herstellung vielfältiger Bezüge zur Wirklichkeit. Damit werden gerade diejenigen kognitiven Fähigkeiten thematisiert, die aus der ausschließlich phylogenetischen Perspektive der Evolutionären Erkenntnistheorie unverstanden bleiben.¹²¹

Schließlich sollen noch einige wichtige Aspekte in der Entwicklung des *Spracherwerbs* erörtert werden. Dieser vollzieht sich in vier Phasen, die charakteristischerweise vom ersten bis zum fünften Lebensjahr andauern: (α) Nach dem Brabbelalter schließt sich mit etwa 12 Monaten die erste Phase der Ein-Wort-Sprache an. (β) Mit etwa 18 Monaten hat sich das Vokabular auf einige hundert Wörter erweitert, die nun in der zweiten Phase in einer Zwei-Wort-Sprache Verwendung finden. (γ) In der dritten Phase, etwa ab dem 2. Lebensjahr, wird das Repertoire an Wörtern enorm erweitert. Darüber hinaus werden grammatische Regeln befolgt; dies ist jedoch nicht im Sinne einer expliziten und bewußten Anwendung von Regeln gemeint, sondern im Sinne einer Generalisierung bereits eingeübter Beispiele. (δ) In der

¹²¹ Tomasello 2002, S. 11 – 22

vierten Phase lernt das Kind im Alter von 3 bis 5 Jahren, daß die grammatischen Regeln von vielen, mitunter eher unsinnigen Ausnahmen durchsetzt sind.¹²²

Kognitive Entwicklung und das sprachlich formulierte Wissen				
	1. Phase	2. Phase	3. Phase	4. Phase
sprachlicher Aufbau der Wirklichkeit	Ein-Wort- Sprache	Zwei-Wort- Sprache	implizites Lernen grammatischer Regeln	implizites Lernen der Ausnahmen von den erlernten Regeln

Die Frage nach dem Spracherwerb führt in das dornige Gebiet der Sprachforschung. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie schreibt der *psychologischen Begriffsforschung* eine wichtige Rolle zu. Hier gibt es verschiedene, teilweise konkurrierende Modelle, die den begrifflichen und grammatischen Aufbau der Sprache beschreiben. Hierzu gehören (α) der Aufbau von exakten Begriffen als Merkmalsmengen, (β) der Aufbau von Fuzzy-Begriffen als Prototypen, (γ) die Bildung extensionaler Begriffshierarchien, (δ) die Kodierung von Begriffen in Begriffsnetzen, (ϵ) das Verständnis für Analogien und Metaphern und (ζ) der Aufbau der Sprache auf der Grundlage einer genetisch determinierten Universalgrammatik durch generative Transformationsregeln. Hier sollen nur einige wenige, aber besonders bemerkenswerte Aspekte angeschnitten werden.

- (i) Der **Aufbau von exakten Begriffen als Merkmalsmengen**: Die aristotelische Theorie des Begriffs geht davon aus, daß ein Begriff bestimmt wird durch (α) die Intension (Konjunktion notwendiger und hinreichender Merkmale), (β) die Extension (die Menge der Objekte, die unter den Begriff fallen) und (γ) eine binäre Zugehörigkeitsfunktion (mit den Wahrheitswerten „wahr“ oder „falsch“). Die Definition eines Begriffs wird demnach traditionellerweise gesichert durch die Angabe des Oberbegriffs und der spezifizierenden Merkmale. Der Artbegriff „Vogel“ kann dann beispielsweise definiert werden durch die Angabe des Gattungsbegriffs „Tier“ und den spezifizierenden Merkmalen „zwei Beine“ und „eierlegend“. Umgekehrt werden Allgemeinbegriffe gefunden durch die vergleichende Betrachtung von

¹²² Kandel / Schwartz / Jessell 1996, S. 652ff; Case 1999, S. 189; Savage-Rumbaugh, die die Sprachfähigkeiten besonders talentierter Affen untersucht, kommt zu dem Ergebnis, daß der Spracherwerb (computergestützte Verständigung mit Symbolen) bei Kleinkindern und akkulturierten Schimpansen bis zu etwa 2 Jahren vergleichbar ist. Danach bricht die Sprachentwicklung bei Affen abrupt ab – hauptsächlich deshalb, weil Affen das Verständnis für syntaktische Regeln fehlt (vgl. Savage-Rumbaugh / Lewin 1995; Tomasello 2002).

Einzelexemplaren und der Feststellung und Zusammenfassung von gemeinsamen Merkmalen. Die Einordnung eines Elements x in die Menge A , denen die definierenden Merkmale zukommen oder die Komplementmenge A^c , denen die definierenden Merkmale nicht zukommen, läßt sich eindeutig vornehmen. Die so definierten Begriffe sind eindeutig, präzise und stabil. Die aristotelische Theorie des Begriffs ist adäquat im Hinblick auf mathematische Begriffe (gerade & ungerade Zahlen), aber sicher nicht immer für die Begriffe der Alltagssprache. Diese zeichnen sich meist durch Vagheit, Typikalität und Kontextabhängigkeit aus. Die aristotelische Theorie muß daher ergänzt werden durch eine prototypische Theorie der Begriffsbildung um den allgemeinen Begriffserwerb zu beschreiben.¹²³

- (ii) Der *Aufbau von Fuzzy-Begriffen als Prototypen*: Eine wesentlich leistungsfähigere Beschreibung des Begriffserwerbs liefert die Gradiententheorie. Von den zahlreichen Varianten gilt die Prototypentheorie von Rosch als empirisch gut bestätigt.¹²⁴ Diese Theorie des Begriffs geht davon aus, daß ein Begriff bestimmt wird durch (α) die Prototypen als Zentrum einer unscharfen Menge (typische Vertreter, die im höchsten Maße zur Menge gehören), (β) die Außenseiter als Peripherie der unscharfen Menge (untypische Vertreter, die irgendwie auch noch zur Menge gehören) und (γ) eine modifizierte Zugehörigkeitsfunktion (mit einer Wahrheitswertefunktion $\mu(x)$ mit Werten im Intervall $[0,1]$). Der Prototyp ist eine idealisierte Abstraktion von – als relevant eingestuft – Merkmalen bezüglich einer Klasse einzelner Exemplare.¹²⁵ Der Begriff „Vogel“ wird zuallererst von typischen Vertretern, wie etwa Spatz oder Wellensittich (in Mitteleuropa) repräsentiert und eher weniger durch untypische Außenseiter, wie etwa Pinguin, Marabu oder Truthahn. Für die kindliche Bildung des Begriffs „Vogel“ sind also Spatz und Wellensittich wichtiger als die Art der Fortpflanzung und die Anzahl der Beine. Der Fuzzy-Begriff läßt sich daher nicht immer als klar abgegrenzte Menge von Einzelelementen charakterisieren, sondern

¹²³ Eckes 1991, S. 19 – 31; Mainzer 1995, S. 613f

¹²⁴ Eine andere Variante der Gradiententheorie, die in Konkurrenz zur *Prototypentheorie* entwickelt wurde, ist die *Exemplartheorie*. Dieser Theorie zufolge werden Individuen, die eine besondere Relevanz für das erkennende Subjekt aufweisen, individuell kodiert. Ein neues, zu kategorisierendes Objekt wird dann mit dem kodierten Exemplar verglichen und es wird der Grad der Ähnlichkeit festgestellt. Die Exemplartheorie betont zu Recht die Möglichkeit der gesonderten Kodierung einzelner Objekte besonderer Relevanz; die Beschreibung allgemeiner Begriffe im Sinne einer Ansammlung kodierter Einzelexemplare ist aber aufwendig und daher wenig wahrscheinlich.

¹²⁵ Mervis / Rosch 1981; Eckes 1991, S. 32 – 54; Hoffmann 1993, S. 119 – 132; Lotfi Zadeh entwickelt 1964 die Theorie der Fuzzy-Begriffe. Der Kerngedanke ist die Einsicht, daß reale Erscheinungen häufig Abstufungen zulassen. (Beispiel „Fahrzeug“: Ein Auto und ein Bus gehören *im höchsten Maße* zu diesem Begriff, ein Dreirad oder ein Kinderwagen *irgendwie auch*, ein Pferd und ein Hund *eher nicht*.) Die erzwungene, scharfe Einteilung in Mengen führt gelegentlich zu absurden Konsequenzen. Zu den berühmten Paradoxien gehören (α) das Sandhaufen-Paradoxon, (β) das Kahlkopf-Paradoxon, (γ) das Schiff des Theseus, (δ) das Woodger-Paradoxon (Phylogenie vom Tier zum Mensch) und (ϵ) die heutigen Ethik-Debatten um den Beginn des menschlichen Lebens (Ontogenese des Menschen). C.S. Peirce sagt: „Wir können in der Welt der Logik ebensowenig die Vagheit vernachlässigen, wie wir in der Mechanik die Reibung vernachlässigen können.“

eher als unscharfe Menge. Ein Element einer Menge wird also gerade nicht durch seine definierenden Merkmale identifiziert, sondern durch seine Ähnlichkeit mit dem kodierten Prototypen.¹²⁶

- (iii) Die **Bildung extensionaler Begriffshierarchien**: Begriffe werden in relationalen Begriffsstrukturen eingebettet. Die *horizontale Organisation* betrifft die interne Struktur und wechselseitige Abgrenzung von Begriffen einer bestimmten Abstraktionsebene. Die *vertikale Organisation* bezieht sich auf die Relation zwischen Begriffen unterschiedlicher Abstraktionsebenen. Fundamental ist die Konstruktion der aristotelischen Begriffshierarchie: Individuum, Art und Gattung. (α) Zunächst erlernen Kinder Artbegriffe wie „Katze“, „Hund“ und „Vogel“. Sie bilden Basisbegriffe, d.h. allgemeine Begriffe, die durch gemeinsame *anschauliche* Merkmale charakterisiert sind. Die Bevorzugung der Basisbegriffe bedeutet, daß gerade diejenige Abstraktionsebene gewählt wird, die der non-verbalen, aber erwartungs- und verhaltensrelevanten Prototypenbildung entspricht. Die non-verbale Bildung von Prototypen ist darauf angelegt, eine maximal nützliche Kategorisierung wahrgenommener Objekte zu ermöglichen. Basisbegriffe unterscheiden sich von Begriffen über- und untergeordneter Abstraktionsebenen dadurch, daß sie ein Maximum an Informationen bei einem Minimum an kognitivem Aufwand zur Verfügung stellen. Basisbegriffe besitzen demnach einen optimalen erwartungs- und verhaltensrelevanten Informationsgehalt – ein Kompromiß zwischen *Abstraktion* und *Konkretheit*. (β) Später erlernen Kinder verschiedene Stufen übergeordneter Gattungsbegriffe wie „Tiere“, „Lebewesen“ und differenziertere untergeordnete Artbegriffe wie „Siamkatze“, „Perserkatze“, „Angorakatze“, sowie den ihnen zugrundeliegenden Inklusionsbeziehungen. (γ) Im weiteren Aufbau der Begriffshierarchien werden die Vorstellungen von *Individualität* und *Allgemeinheit* vollständig entwickelt (vgl. Kapitel 1.5).¹²⁷
- (iv) Die **Kodierung von Begriffen in Begriffsnetzen**: Begriffe werden in Begriffsnetze eingebettet. Diese lassen sich durch graphische Darstellungen verdeutlichen, in der Begriffe als Knoten und Relationen als Verbindungen zwischen den Knoten dargestellt werden. Simulationen kognitiver Fähigkeiten an neuronalen Netzen zeigen, daß Wörter nach semantischer Verwandtschaft und grammatischer Kategorie geordnet

¹²⁶ Die Simulation kognitiver Fähigkeiten an neuronalen Netzen zeigt, daß ein Prototyp als Punkt **A** in einem **n**-dimensionalen Merkmalsraum kodiert wird. Einem neuen Objekt entspricht dann ein anderer Punkt **B** im Merkmalsraum. Die Ähnlichkeit mit dem Prototyp läßt sich durch den Abstand der beiden Punkte mit einem definierten Abstandsmaß angeben.

¹²⁷ Rosch et al. 1976; Eckes 1991, S. 120 – 140; Hoffmann 1993, S. 138 – 142; Die entwicklungspsychologische Priorität von Basisbegriffen ist empirisch gut bestätigt. Davon ausgenommen sind natürlich alle diejenigen Objekte, die für das Kind eine besondere Relevanz haben und daher sofort als Individuen mit Eigennamen kodiert werden. Dazu gehören „Mama“, „Papa“ und „Egon“ der Stoffhase.

kodiert werden, d.h. begriffliche und grammatische Zusammenhänge werden selbstorganisierend auf semantischen Karten abgebildet. Psycholinguistische Untersuchungen deuten darauf hin, daß die Aktivierung eines Knotens sich ein Stück weit in seine unmittelbare Umgebung ausbreitet und auch Nachbarknoten aktiviert. Damit wird die *Kontextabhängigkeit* der Begriffe angesprochen. Sie spielt für die intuitive Strukturierung eine wichtige Rolle; sie wird im Zusammenhang mit den Ritter-Kohonen-Netzen nochmals diskutiert (vgl. Kapitel 1.5).¹²⁸

- (v) Das ***Verständnis für Analogien und Metaphern***: Analogien und Metaphern sind nicht nur Elemente der Sprache, sondern primär Elemente des Denkens und Handelns. Raum, Bewegung, Objekt und Kausalität sind die Strukturierungsformen, auf die sich Metaphern beziehen und die dazu dienen, eine abstrakte Art der Erfahrung durch eine konkrete Art der Erfahrung partiell einsichtig zu machen. Lakoff und Johnson unterscheiden Struktur-Metaphern und Orientierungs-Metaphern. (α) *Struktur-Metaphern* sind dadurch charakterisiert, daß sie Relationen enthalten, die über verschiedene Objektbereiche hinweg als ähnlich erkannt werden. Um Metaphern bilden zu können, müssen bestimmte Objekte durch andere ersetzt werden, so daß ein Teil der relationalen Strukturen in den beiden Objektbereichen übereinstimmt. Metaphern passen immer nur partiell; ihre Wahl ist vom kulturellen Kontext abhängig. Häufig wird eine Analogie hergestellt zwischen einem abstrakten Bereich und einem konkreten Bereich, der von der Erfahrung her gut bekannt ist. Beispielsweise werden wissenschaftliche Theorien mit Gebäuden verglichen; in diesem Zusammenhang kann dann vom „Fundament der Physik“ (Einstein) und von der „Tieferlegung der Fundamente“ (Hilbert) gesprochen werden.¹²⁹ Struktur-Metaphern sind sinnstiftend; sie spielen sowohl in der Theorienkonstruktion als auch für das Theorienverständnis eine wichtige Rolle (vgl. Kapitel 2.4). (β) In den *Orientierungs-Metaphern* werden Konzepte mit einer räumlichen Orientierung in Verbindung gebracht und häufig mit Bewertungen versehen. In westlichen Kulturen wird eine vertikale Orientierung bevorzugt. Spezielles und wichtiges Beispiel für eine Orientierungs-Metapher ist die Verräumlichung der Zeit.¹³⁰
- (vi) Der ***Aufbau der Grammatik***: Grammatische Strukturen werden aus der Sprache rekonstruiert und situationsgemäß angewandt. Bemerkenswert ist, daß regelhaftes Sprachverhalten auch ohne explizite interne Repräsentation der Regeln möglich ist. Am Beispiel der Fähigkeit zur Bildung der Vergangenheitsform von Verben wird dies deutlich: Zunächst benutzen Kinder häufig gehörte Verben als Folge ihres

¹²⁸ Spitzer 2000, S. 244

¹²⁹ Einstein 1940; Hilbert 1918

¹³⁰ Lakoff / Johnson 1998

Imitationsbedürfnisses. Dann scheinen sie die Regel für die regelmäßig gebeugten Verben intuitiv zu erkennen und generalisieren diese auf alle Verben. Dabei kommt es zur *Übergeneralisierung*. Zu einem späteren Zeitpunkt begreifen sie, daß es unregelmäßig gebildete Verben gibt und erlernen diese Ausnahmen.

Bei der Erklärung des allgemeinen Spracherwerbs konkurrieren hauptsächlich drei verschiedene Theorien:¹³¹ (i) Der *Behaviorismus*: Diese Position ist empiristisch, führt prinzipiell alle sprachlichen Leistungen auf Lernvorgänge zurück und weist strikt alle Ansätze ab, die angeborene Strukturen annehmen. Kinder lernen Sprache, indem sie die Erwachsenen imitieren. Richtige Imitationen werden belohnt und damit verstärkt. Genauere Untersuchungen zeigen indes, daß einerseits die These der Imitation weitgehend falsch ist und andererseits die Theorie insbesondere die kreative Kompetenz der Sprachbenützer nicht erklären kann. Die Theorie kann demzufolge als durchaus widerlegt gelten. (ii) Der *Nativismus*: Chomsky vertritt die These von den angeborenen Strukturen der menschlichen Sprachfähigkeit, die auf einer genetisch determinierten Universalgrammatik beruhen. Demnach müßten allen natürlichen Sprachen eine einzige Grammatik mit allgemeinen Regeln zugrundeliegen, die dem Kind als innere Informationsquelle zur Verfügung steht und auf die es beim Spracherwerb zurückgreifen kann. Der sprachliche Output ist reicher als der äußere Input, zumal der Input häufig verwirrend, dürftig und unzuverlässig ist. Nach dieser Position gibt es ein genetisches Programm, das die Konstruktion der Grammatik leistet und demzufolge ausschließlich linguistischen Zwecken dient.

Wir wollen die „Universale Grammatik“ (UG) als das System von Prinzipien, Bedingungen und Regeln definieren, die Elemente bzw. Eigenschaften aller menschlichen Sprachen sind, und zwar nicht nur zufälligerweise, sondern eben aus Notwendigkeit – wobei ich natürlich an eine biologische, nicht an eine logische Notwendigkeit denke. [...] Die UG ist bezüglich aller Menschen invariant. [...] Jede menschliche Sprache stimmt mit UG überein; Sprachen unterscheiden sich in anderen, zufälligen Eigenschaften.¹³²

Chomskys These liegt die Annahme zugrunde, daß der Spracherwerb sich grundsätzlich von anderen Lernprozessen unterscheidet – Schachspiel, Mathematik – und auf speziell für die Sprache vorgesehenen Kortex-Arealen (Broca-Areal, Wernicke-Areal) beruht. Er unterscheidet in der Sprache zwei Strukturebenen: (α) die verschiedenen

¹³¹ Bruner 1987, S. 24 – 32; Zimmer 1988, S. 63 – 71

¹³² Chomsky 1977, S. 41; Chomsky, der die Sprache für eine charakteristische und exklusive Begabung des Menschen hält und Savage-Rumbaugh, die Sprachexperimente mit besonders talentierten Affen durchführt, sind erbitterte Gegner. Dabei schreibt Savage-Rumbaugh in ihrer Begeisterung den Affen eine zu große Fähigkeit zur Symbolbildung zu; Chomsky hingegen spricht den Affen jegliche sprachliche Fähigkeit rundweg ab (Chomskys rigorose Ablehnung angeblich sprachbegabter Affen könnte vielleicht noch dadurch verstärkt worden sein, daß Herb Terrace seinen Affen „Nim Chimpsky“ genannt hat – eine respektlose Anspielung auf Noam Chomsky). Die Beschreibungen der Experimente zeigen recht deutlich, daß Affen die Bedeutung von Symbolen (Semantik) durchaus verstehen, aber die rekursiven Regeln der Sprache (Syntax) offensichtlich nicht begreifen (vgl. Zimmer 1988; Savage-Rumbaugh / Lewin 1995).

Oberflächenstrukturen, welche die Vielzahl an faktisch produzierten Sprachen ermöglichen (Performanz) und (β) die *Tiefenstruktur* mit ihrer *Universalgrammatik*, welche die Fähigkeit bestimmt, aus einer geringen Anzahl von phonetischen Zeichen eine unübersehbar große Anzahl von Sätzen zu bilden und zu verstehen (Kompetenz). Die Verbindung zwischen den beiden Strukturebenen wird von unterschiedlichen generativen Transformationsregeln gestiftet, welche die verschiedenen Sprachen generieren. Chomsky möchte mit seinem Ansatz die strukturelle Ähnlichkeit aller Sprachen, die relative Leichtigkeit des Spracherwerbs – im Gegensatz zu Schach und Mathematik – und die kreative Kompetenz der Sprachbenutzer erklären. Wenn er Recht behält, dann hätte die genetisch determinierte Universalgrammatik die Funktion einer constraint-Bedingung für die Sprache. (iii) Der *Konnektionismus*: Kritiker des von Chomsky vertretenen Nativismus bezweifeln aber die Sonderstellung der Sprache und argumentieren für eine konstruktivistische Theorie des Spracherwerbs. Diese Position ordnet sich problemlos ein in Piagets Genetische Erkenntnistheorie und dem stufenartigen Aufbau der kognitiven Fähigkeiten. Dabei wird auf die Simulation grammatischer Strukturen an neuronalen Netzen verwiesen, wo sich zeigt, daß neuronale Netze während des Sprachtrainings ebenfalls Entwicklungsstufen durchlaufen und dabei ähnliche Fehler machen wie Kinder beim Spracherwerb. Die Firma DEC entwickelte mit einem enormen Aufwand ein erfolgreiches Computerprogramm DECtalk, das eine, nach expliziten Regeln geleitete Buchstaben-Phonem-Umwandlung durchführt. 1986 wurde von Sejnowski und Rosenberg NETtalk vorgestellt. Hier wird jedoch nicht ein Computerprogramm mit einem komplexen Regelwerk eingesetzt, sondern ein entsprechend trainiertes neuronales Netz. In nur zehn Trainingsstunden wurde ein Leistungsniveau von 95% erreicht. Insbesondere ist das Netz imstande, nach dem Training auch Wörter korrekt auszusprechen, die nie zuvor repräsentiert wurden. Der Erfolg von NETtalk liefert den wichtigen Hinweis, daß möglicherweise auch andere sprachliche Leistungen durch speziell trainierte neuronale Netze simuliert werden können.

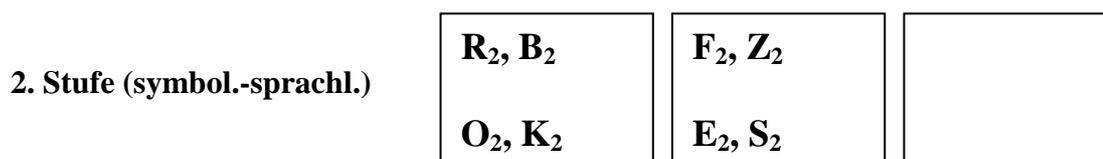
Ein Netzwerk [...] produziert im Endeffekt ein völlig regelkonformes Verhalten, und bestimmte explizite Regeln können dieses Verhalten sekundär beschreiben oder rekonstruieren. Doch die Behauptung, ein Netzwerk würde dieses Verhalten zeigen, weil es Regeln intern repräsentiert und anwendet, ist [...] prinzipiell falsch.

Ganz anders hingegen arbeitet NETtalk, das im Endeffekt genau das gleiche leistet wie DECtalk. NETtalk erreicht dieses Ziel jedoch auf ganz andere Weise als DECtalk, bei dem Regeln und deren Anwendung klassisch programmiert wurden. Deshalb hat NETtalk auch solches Aufsehen erregt. Es zeigte einen vollständig anderen Weg auf, um eine komplizierte Leistung zu vollbringen, obwohl es keinerlei Regeln benutzt, weder für die anfängliche Lernphase, noch später beim funktionstüchtigen Netzwerk. NETtalks Fähigkeiten mit einer These à la Chomsky zu erklären, wäre schlichtweg falsch, denn obwohl das Netzwerk sich scheinbar nach bestimmten Regeln verhält, kennt es weder diese Regeln noch benutzt es sie.¹³³

¹³³ Churchland 2001, S. 158f

Eine empirische Entscheidung zwischen Nativismus und Konnektionismus scheint derzeit noch nicht möglich. Aber auch dann, wenn der Mensch nicht über eine genetisch determinierte Universalgrammatik verfügt, ist zumindest die schwächere Position zwingend, derzufolge die Sprachfähigkeit genetisch bedingt ist, d.h. die Disposition zum Erlernen einer Sprache. Darüber hinaus gibt es ein kritisches Zeitfenster in dem die Muttersprache erworben werden kann.¹³⁴

Die 2. Stufe im Aufbau der *Strukturierungsformen* des Menschen im Laufe seiner dreistufigen ontogenetischen Entwicklung ist damit erreicht.



Die bis zur 2. Stufe erarbeiteten Strukturierungsformen lassen sich in das bereits begonnene *Strukturierungsschema* einordnen, das mit der weiteren ontogenetischen Reifung ergänzt und erweitert wird. **R₂, B₂, O₂** und **K₂** sind extensionale, intensionale und strukturelle Erweiterungen von **R₁, B₁, O₁** und **K₁**. Das Bewegungskonzept wird um eine „anschauliche Zeit“ ergänzt, die zunächst nur die Einsicht in die Sukzession von Bewegungszuständen einschließt.¹³⁵ Die neuen Strukturierungsformen bedeuten im einzelnen:

- (i) **F₂**: Die geometrische Repräsentation von Figuren durch konkrete Konstruktionen (zwei-dimensionale Figuren, drei-dimensionale Figuren) in einem topologisch strukturierten Raum.
- (ii) **Z₂**: Die arithmetische Repräsentation durch Verwendung eines einfachen Zahlbegriffs, der zwar bereits ein Verständnis für kleine Quantitäten zuläßt, aber noch keine kardinale und ordinale Struktur aufweist.

¹³⁴ In diesem Zusammenhang sind zwei Sachverhalte bemerkenswert: (α) Wird ein Kind („Kaspar-Hauser-Kind“) isoliert und ohne sprachliche Kommunikation gehalten, dann wird es nach dem Ende des kritischen Zeitfensters trotz intensiver Bemühungen nicht mehr in der Lage sein, eine Sprache zu erlernen. (β) Kinder, die in einer Umgebung leben, in der nur eine *Pidgin-Sprache* gesprochen wird, erfinden gewissermaßen eine neue Sprache, indem sie den bereits vorhandenen Wortschatz stark erweitern, neue syntaktische Strukturen entwickeln und so eine *Kreol-Sprache* erschaffen. Die Pidgin-Sprache ist eine Form der Kommunikation, die immer dann entsteht, wenn Menschen verschiedener sprachlicher Herkunft miteinander leben, ohne daß sie die jeweils andere Sprache erlernen. Eine Pidgin-Sprache hat ein stark reduziertes Vokabular von etwa 700 bis 1500 Wörtern und eine extrem vereinfachte syntaktische Struktur. Die Kreol-Sprache ist dann die, von Kindern aus der Pidgin-Sprache ihrer Eltern eigenständig geschaffene Sprache, die allen späteren Generationen als neue Muttersprache dient. Im Gegensatz zu Kindern sind Erwachsene nicht in der Lage, eine komplexe Sprache zu entwickeln. Diese ausgeprägte *kreative Kompetenz* beschränkt sich offensichtlich auf Kinder. Darüber hinaus ist es bemerkenswert, daß die verschiedenen Kreol-Sprachen auffallend ähnlich strukturiert sind, obwohl sie sich an unterschiedlichen Orten entwickelt haben (vgl. Zimmer 1988; Pinker 1996)

¹³⁵ Bewegungsabläufe mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten lassen sich mit einer anschaulichen Zeitvorstellung nicht vergleichen.

- (iii) **E₂**: Die rituelle Repräsentation in Symbolspielen, d.h. die Verwendung von „Stellvertretern“ als Vorform explorativer und experimenteller Forschung.
- (iv) **S₂**: Die verbale Repräsentation (Semantik, Grammatik, Pragmatik) und die Rekonstruktion des Wissens der senso-motorischen Ebene auf der sprachlichen Ebene.

Hier wird eine Unterscheidung getroffen zwischen einer erwartungs- und verhaltensrelevanten Prototypenbildung **O₂** und **K₂** – im folgenden zusammengefaßt zu **P₂** – und ihrer sprachlichen Formulierung **S₂** mit dem Anspruch, zu betonen, daß der Umfang der Erkenntnisgegenstände und Erkenntnisinhalte von **P₂** und **S₂** nicht bijektiv ist. Die non-verbale, aber erwartungs- und verhaltensrelevante Prototypenbildung beinhaltet drei Aspekte: (α) das Herauslösen eines Objekts aus der gesamten Fülle an Sinneseindrücken im Sinne einer Figur-Hintergrund-Bildung; (β) die Kategorisierung des Objekts, d.h. die Zuordnung unterschiedlicher Objekte zu einer bestimmten Klasse und (γ) die erwartungs- und verhaltensrelevanten Schlußfolgerungen, die der direkten Beobachtung nicht zugänglich sind und die ein bestimmtes Hintergrundwissen voraussetzen. Diese Unterscheidung ist deshalb wichtig, weil auf der Ebene der wissenschaftlichen Theorienkonstruktion ebenfalls erwartungs- und verhaltensrelevante Annahmen über die Wirklichkeit einfließen können, die keineswegs immer verbal verfügbar sein müssen (vgl. Kapitel 2.4). Damit ist eine Position verknüpft, die davon ausgeht, daß Wissen nicht zwingend sprachlich formuliert sein muß um als Wissen gelten zu können. Der Wissensbegriff wird um einen figurativen Aspekt und einen operativen Aspekt erweitert im Vergleich zum Wissensbegriff der traditionellen Erkenntnislehren. Diese bleiben einseitig und lassen ausschließlich propositionales Wissen als Wissen gelten. Prototypenbildung beruht zuallererst auf dem non-verbale Denken und diese kognitive Fähigkeit gibt es vor und unabhängig von jeder Sprache.¹³⁶ Insofern sich die Prototypenbildung auf Objekt und Kausalität bezieht, steht die hier vertretene Position ausdrücklich auch im Gegensatz zu Kant, der Substanz und Kausalität ausschließlich im Sinne von begriffliche formulierten Kategorien des Denkens auffaßt (vgl. Kapitel 2.1).

Die früher weitverbreitete Meinung, daß die Intelligenz erst mit der Sprache und durch die Sprache aufträte, hat sich als falsch erwiesen; Kinderpsychologie und Tierpsychologie haben gleichzeitig die Existenz vorsprachlicher Denkkakte festgestellt. Es gibt eben auch „praktische Intelligenz“, und sie ist elementarer als die sprachlich fixierte; [...].¹³⁷

Die Sprache dient dazu, Unterscheidungen, die das Kind schon machen kann, genauer zu bezeichnen, zu unterstützen und auf andere Bereiche zu übertragen. Die Unterscheidungen sind aber schon da, auch ohne Sprache.¹³⁸

¹³⁶ Zimmer 1988, S. 128 – 132

¹³⁷ Stern 1926, S. 61

¹³⁸ Bruner 1987, S. 23

Damit stellt sich die Frage nach dem Verhältnis von \mathbf{P}_2 und \mathbf{S}_2 . (α) \mathbf{S}_2 und \mathbf{P}_2 sind nicht bijektiv, weil die Sprache weit über die Prototypenbildung hinausreicht. Dieser Sachverhalt ist nicht umstritten, zumal sofort einsichtig ist, daß der Mensch zur Bildung abstrakter Begriffe befähigt ist. Der umgekehrte Sachverhalt hingegen ist wohl eher umstritten und bedarf besonderer Begründung. (β) \mathbf{S}_2 und \mathbf{P}_2 sind nicht bijektiv, weil die Prototypenbildung \mathbf{P}_2 auch über die Sprache \mathbf{S}_2 hinausreicht. Der Grund liegt darin, daß die Kategorisierung von Objekten und Prozessen der Begriffsbildung vorausgeht. Die Kategorisierung wird nicht durch verbale Belehrung vermittelt, sondern zuallererst senso-motorisch an konkreten Beispielen und Präzedenzfällen erfahren. Es besteht demnach die Tendenz, Erscheinungen spontan zusammenzufassen, auf die ein ähnliches Verhalten paßt. Die erwartungs- und verhaltensrelevanten senso-motorischen Erkenntnisse werden auf der Sprachebene nur teilweise rekonstruiert. Der wichtige Sachverhalt, demzufolge bei einer hinreichenden *Strukturiertheit der Wirklichkeit* und einer hinreichend *komplexen Architektur des Gehirns* – völlig unabhängig von der Verfügbarkeit einer Sprache – automatisch und nicht-bewußt bereits eine Prototypenbildung erfolgt, wird bestätigt durch die Simulation kognitiver Fähigkeiten an neuronalen Netzen und durch die Untersuchungen an Menschen mit Aphasien (vgl. Kapitel 1.5).¹³⁹

Das Verhältnis von \mathbf{P}_2 und \mathbf{S}_2 legt eine Erweiterung des Wissensbegriffs nahe; dies wird im Wissenspostulat zum Ausdruck gebracht.

- (i) Das **Wissenspostulat I**: Erkenntnis liegt auch dann vor, wenn das Wissen zwar non-verbal, aber erwartungs- und verhaltensrelevant ist. Der Grundbegriff „Wissen“ der Erkenntnistheorie sollte sich nicht auf propositionales Wissen allein beschränken, sondern um eine weitere epistemologisch relevante Form des Wissens erweitert werden.
- (ii) Das **Wissenspostulat II**: Wissen liegt in zweifacher Form vor: (α) Das implizite, prozedurale Wissen, das in der Fähigkeit zur Sinnlichkeit, Beweglichkeit und Handlung des erkennenden Subjekts wurzelt und erwartungs- und verhaltensrelevant ist, sowie (β) das explizite, deklarative Wissen, das auf der Fähigkeit zur Symbol-, Sprach- und Schriftbildung des erkennenden Subjekts beruht.

Dieses neue Wissenspostulat steht im Gegensatz zu Wittgensteins *transzendental-linguistischer Position*, derzufolge die Sprache eine Bedingung für Bewußtsein und Erkenntnis ist und die Grenzen der Sprache eines Sprechers auch die Grenzen seiner Welt bedeuten. Demnach müßte die Sprache das Denken begrenzen und formen; Denken ohne Sprache wäre nicht möglich.¹⁴⁰ Wittgensteins Position ist jedoch aus mehreren Gründen nicht

¹³⁹ Hoffmann 1993, S. 142 – 144

¹⁴⁰ Mainzer 1995, S. 629ff

haltbar: (α) Das *phylogenetische Argument*: Tiere befinden sich vorwiegend in einer non-verbalen Welt. Wenn die Grenzen der Sprache eines kognitiven Systems immer auch die Grenzen seiner Welt bedeuten würde, dann gäbe es folgerichtig für die Tiere keine Welt. Tiere sind jedoch zur Prototypenbildung von Objekten und kausalen Prozessen fähig und zeigen praktische Intelligenz. (β) Das *ontogenetische Argument*: Das Kind verfügt lange vor dem Spracherwerb über eine Klassifizierung von Objekten und Prozessen. In der Ontogenese werden in einem ersten Schritt Strukturen ausgebildet, die mit Handlungen verbundene Erfahrungen repräsentieren. Erst in einem zweiten Schritt werden Klassen von Erscheinungen aus den Handlungskontexten herausgelöst und begrifflich separiert. Das Erleben der Funktionsgleichheit ist das Primäre; die Abstraktion gemeinsamer Merkmale hingegen ist das Sekundäre.¹⁴¹ (γ) Das *psychologische Argument*: Der Mensch verfügt – neben seinem expliziten Wissen – noch über ein weitergehendes implizites Wissen, das ihm zwar nicht in sprachlicher Formulierung zur Verfügung steht, aber durchaus erwartungs- und verhaltensrelevant sein kann. Im sozialen Umgang bezieht der Mensch einen beträchtlichen Teil seines Wissens über den aktuellen Gemütszustand anderer Menschen aus deren Körpersprache. Eine sprachliche Formulierung dieses Wissens gelingt häufig nicht. (δ) Das *neurologische Argument (Feinkörnigkeitsargument)*: Der Mensch ist nach Maßgabe seiner neuronalen Kodierungsmechanismen zu einer Unterscheidung von etwa 10^4 Farben fähig, ohne daß er diese auch nur annähernd mit der elaboriertesten Farbensprache benennen könnte. Die empirischen Neurowissenschaften können die Gründe dingfest machen (vgl. Kapitel 1.5).

Unsere Fähigkeit, Sinneseindrücke in Worte zu fassen, hinkt unserer Wahrnehmung weit hinterher.

Diese Diskrepanz beruht darauf, daß unsere Sprache völlig andere Codierungsstrategien verwendet als unser Nervensystem. Sprache besteht aus einem engumgrenzten Wortschatz [...]. Das Nervensystem dagegen benutzt ein kombinatorisches *System von Repräsentationen*, das eine detaillierte *Analyse* der Feinheiten jedes Sinneseindrucks erlaubt. Dadurch können wir weit differenzierter wahrnehmen und unterscheiden als wir gemeinhin in Worten auszudrücken vermögen.¹⁴²

(ε) Das *Aphasie-Argument*: Menschen mit einer sensorischen Aphasie sind unfähig, die Bedeutung bestimmter Worte zu erfassen. Gleichzeitig haben sie aber häufig keine Schwierigkeiten, Objekte, auf die sich diese Worte beziehen, zu erkennen und sinnvoll zu verwenden. Die Bedeutung von gehörten oder gelesenen Worten wird demnach getrennt von der Bedeutung der wahrgenommenen Objekte verarbeitet.

Kategoriale Wahrnehmungsprozesse können nach bestimmten Hirnschäden hochgradig selektiv, d.h. unabhängig voneinander ausfallen. [...] Dies deutet auf die [...] Trennung der neuronalen Prozesse hin, die einerseits dem *Erkennen* und

¹⁴¹ Nelson 1983, S. 135; Zimmer 1988, S.119ff

¹⁴² Churchland 2001, S. 24

andererseits der *Benennung* von Dingen zugrunde liegen. Läsionen im linken vorderen temporalen Bereich stören allgemein das *Benennen*, nicht aber das *Erkennen* von Objekten.¹⁴³

(ζ) Das *kulturvergleichende Argument*: Sapir und Whorf vertreten die These des *kulturellen Relativismus* und der *linguistischen Determiniertheit*. Diese These besagt, (α) daß unterschiedliche Sprachgemeinschaften die Welt unterschiedlich wahrnehmen und interpretieren und (β) daß diese Unterschiede auf den Einfluß der Sprache zurückzuführen sind. Idealer Prüfstein dieser These ist die Farbwahrnehmung. Einerseits lassen sich Farben sprachunabhängig erfassen und andererseits sind die sprachlichen Unterschiede der Farbennennung zwischen den Kultur ungewöhnlich groß. Die non-verbale Farbkategorisierung stützt sich hauptsächlich auf die Prototypen der Farben (Fokalfarben), und zwar auch dann, wenn die Sprache diese Differenzierung nicht vorsieht. Farbkategorien besitzen eine interne Struktur, in der prototypische Farben als kognitive Bezugspunkte herausgehoben sind. Um diese Fokalfarben gruppieren sich die übrigen Farben gemäß ihrer Ähnlichkeit. Trotz sprachlicher Unterschiede werden die Fokalfarben von allen Menschen gleichermaßen bevorzugt wahrgenommen und wiedererkannt. Der empirische Befund führt zur Verwerfung einer strikten Sapir-Whorf-These und eher stützt die gegenteilige Auffassung vom *kulturellen Universalismus* und der *sprachlichen Nicht-Signifikanz*.¹⁴⁴

3. Stufe: Der operationale Aufbau der Wirklichkeit

Der operationale Aufbau der Wirklichkeit ist der logische und mathematische Aufbau in den „Kinderschuhen“. Der Sache nach geht es hier um die zunehmende Einsicht des Kindes in die Strukturgesetze transformierender Handlungen. Die philosophische Relevanz dieses Sachverhalts liegt in der Möglichkeit, die Wirklichkeit durch die Anwendung einer operativ verstandenen Mathematik zu erweitern und damit eine Wirklichkeit zu erfahren, die nicht an Kants Formen der Anschauung und Kategorien des Denkens gebunden ist (vgl. Kapitel 2.2).

Die 3. Stufe der kognitiven Entwicklung des Kindes kann in drei charakteristische Phasen eingeteilt werden: (α) die prä-operationale (Piaget) / relationale (Case) Phase, die – zeitgleich mit der symbolisch-sprachlichen Stufe – etwa mit dem 5. Lebensjahr abgeschlossen ist, (β) die konkret-operationale (Piaget) / dimensionale (Case) Phase, die etwa vom 5. bis zum 12. Lebensjahr anhält und (γ) die formal-operationale (Piaget) / vektoriale (Case) Phase, die bis zum 15. Lebensjahr dauert.¹⁴⁵

¹⁴³ Roth 1996, S. 188f

¹⁴⁴ Zimmer 1988, S. 136 – 141; Eckes 1991, S. 93 – 100; In zahlreichen Studien konnte festgestellt werden, daß in den verschiedenen Sprachkulturen maximal elf Fokalfarben auftreten. Die Dani, ein Volk aus Neu-Guinea, verfügen nur über eine sprachliche Unterscheidung von zwei Prototypen: „mili“ für dunkle und kalte Farben und „mola“ für helle und warme Farben. Dennoch bilden auch für diese Menschen alle Fokalfarben den kognitiven Bezugspunkt für Wahrnehmungen und Beurteilungen.

¹⁴⁵ Piaget und Case verwenden unterschiedliche Bezeichnungen für die einzelnen Phasen.

Kognitive Entwicklung und das operationale Wissen			
	1. Phase	2. Phase	3. Phase
operationaler Aufbau der Wirklichkeit	prä-operational / relational	konkret-operational / dimensional	formal-operational / vektorial

In den traditionellen Erkenntnislehren wird das Denken als der Handlung vorangehend und die Handlung als eine Anwendung des Denkens begriffen. Die Genetische Erkenntnistheorie dreht die Sichtweise um und betont, daß die Handlung neue Wissenshorizonte erschließt. Die Kombinationen von Handlungen bilden Strukturen. Die Reflexion über diese Strukturen eröffnet den Zugang zu einem völlig neuen Wissensbereich, der nicht mehr an die *statische Anschauung* konkreter Objekte gebunden ist, sondern zunächst eine *dynamische Anschauung* konkreter Strukturen und dann eine *rationale Intuition* in abstrakte Strukturen voraussetzt. Die operationale Stufe wird beschrieben durch die Begriffe „Operation“, „Reversibilität“ und „Struktur“.¹⁴⁶

- (i) Die ***These von der Operation***: Eine Operation ist charakterisiert durch fünf Merkmale: (α) Operationen sind Handlungen, die sowohl in der Wirklichkeit als auch im Vorstellungsraum ausgeführt werden können. (β) Operationen können wiederholt und generalisiert und damit zum Prototyp eines Schemas gemacht werden. (γ) Operationen können kombiniert (symbolisch: $\mathbf{AB} + \mathbf{BC} = \mathbf{AC}$) werden und sie können reversibel (symbolisch: $\mathbf{AB} + \mathbf{BA} = \mathbf{0}$) sein, d.h. Handlungen können – zumindest gedanklich – rückgängig gemacht werden. (δ) Operationen sind in eine Struktur eingebettet, d.h. für alle Operationen gelten dieselben Eigenschaften dieser Struktur und die Kombination dieser Operationen führt wieder zu einer Operation, die dieser Struktur genügt. (ε) Die Strukturen lassen bestimmte Invarianten zu.

¹⁴⁶ Piaget 1973, S. 29ff; Solange ein Kind die gedankliche Umkehrbarkeit einer Operation und die Teile-Ganzes-Relation nicht versteht, kommt es zu verblüffenden Auskünften. Einem Kind werden zwanzig Holzperlen vorgelegt, wovon 2 weiß und 18 schwarz sind und dann wird die Frage gestellt: „Welche von zwei möglichen Ketten ist länger? Diejenige, die aus schwarzen Perlen gemacht werden kann oder diejenige, die aus Holzperlen gemacht werden kann?“ Das Kind antwortet: „Die Kette mit den schwarzen Perlen ist länger.“ Auf Nachfrage begründet das Kind seine Einschätzung folgendermaßen: „Wenn die Kette aus schwarzen Perlen gemacht wird, dann sind die Perlen zwar aus Holz, sie sind aber für die erste Kette bereits verbraucht. Die zweite Kette kann nur noch die beiden weißen Perlen enthalten.“ Demzufolge glaubt das Kind, daß die schwarzen Perlen für die zweite Kette nicht mehr zur Verfügung stehen. Um den Vergleich durchführen zu können, müßte die Teilkollektion gedanklich neben die Gesamtkollektion gelegt und dann verglichen werden. Für das Kind ist die Operation aber gerade nicht im Sinne einer bloß gedanklichen Hypothese zu verstehen, die wahlweise in der einen oder anderen Ausführung möglich ist und dann in Gedanken verglichen werden kann. Daher gelingt es dem Kind noch nicht, im Vorstellungsraum Teil und Ganzes gleichzeitig nebeneinander zu legen.

- (ii) Die *These von der Reversibilität*: Es sind zwei Arten von reversiblen Transformationen zu unterscheiden: (α) inverse Transformationen und (β) reziproke Transformationen. Die prä-operationale Phase ist dadurch charakterisiert, daß das Kind noch keine Einsicht in die Reversibilität einer Operation hat. Die konkret-operationale Phase zeichnet sich dadurch aus, daß das Kind die beiden Arten von Reversibilität unterscheiden und verstehen kann. In der formal-operationalen Phase ist das Kind fähig, beide Arten von Reversibilität zu kombinieren.
- (iii) Die *These von der Struktur*: Eine Struktur ist durch drei Merkmale charakterisiert: (α) Eine Struktur steht unter spezifischen Strukturgesetzen, (β) diese Strukturgesetze sind im Sinne von Transformationsregeln zu verstehen und (γ) die Struktur ist abgeschlossen. Beispiele sind: algebraische Strukturen und Ordnungsstrukturen.

Ein Beispiel für eine *algebraische Struktur* ist die Gruppe der ganzen Zahlen \mathbf{Z} , auf der die Operation „+“ definiert ist. \mathbf{Z} mit der Operation „+“ bildet eine kommutative Gruppe $(\mathbf{Z}, +)$, die bestimmten Strukturgesetzen unterliegt: das Assoziativgesetz $(\mathbf{a} + \mathbf{b}) + \mathbf{c} = \mathbf{a} + (\mathbf{b} + \mathbf{c})$, das Kommutativgesetz $\mathbf{a} + \mathbf{b} = \mathbf{b} + \mathbf{a}$, das neutrale Element $\mathbf{a} + \mathbf{0} = \mathbf{a}$. Die Addition ist reversibel, d.h. es liegt die Inversion als spezielle Form der Reversibilität vor, also: $\mathbf{a} + (-\mathbf{a}) = \mathbf{0}$. Die Gruppe der ganzen Zahlen ist unter der Addition abgeschlossen. Ein Beispiel für eine *Ordnungsstruktur* ist die Reihenbildung der ganzen Zahlen \mathbf{Z} , auf der die Operation „<“ definiert ist. \mathbf{Z} mit der Operation „<“ bildet eine geordnete Reihe $(\mathbf{Z}, <)$, die bestimmten Strukturgesetzen unterliegt: das Transitivgesetz, wenn $\mathbf{a} < \mathbf{b}$ und $\mathbf{b} < \mathbf{c}$ dann $\mathbf{a} < \mathbf{c}$. Die Ordnungsstruktur ist reversibel, d.h. es liegt die Reziprozität als spezielle Form der Reversibilität vor, also: $\mathbf{a} < \mathbf{b}$ und $\mathbf{b} > \mathbf{a}$.

Die kognitive Entwicklung des Kindes ist begleitet von einer ständigen Zunahme der *Aufmerksamkeitskapazität*. Wenn mehrere Merkmale gleichzeitig berücksichtigt werden müssen, hängt dies wesentlich von der bereits erreichten Aufmerksamkeitskapazität ab. Pascual-Leone definiert die Aufmerksamkeitskapazität als die maximale Anzahl unabhängiger Schemata, die gleichzeitig und vollständig aktiviert werden kann. Die Aufmerksamkeitskapazität nimmt während der ontogenetischen Reifung zu und hängt ab von biologischen Faktoren (Myelinisation im Gehirn) und erfahrungsbedingten Faktoren (exploratives Forschen, Übung). Beim Spiel mit einer Balkenwaage kann festgestellt werden, inwiefern das Kind – in Abhängigkeit von seinem Entwicklungsstand – fähig ist, Gewicht \mathbf{m} und Abstand \mathbf{l} vom Drehpunkt in adäquater Weise zu berücksichtigen.¹⁴⁷

- (i) Die *prä-operationale (Piaget) / relationale (Case) Phase*: Die erste Phase ist charakterisiert durch (α) eine egozentrische Perspektive, (β) eine stark fokussierte Aufmerksamkeit auf nur ein einziges Merkmal und (γ) prä-logische

¹⁴⁷ Case 1999, S. 101 – 123, 161 – 249

Schlußfolgerungen, d.h. Schlußfolgerungen, die nur in einer Richtungen gezogen werden können, weil die Einsicht in die Reversibilität einer Operation noch nicht vorliegt. Merkmale werden in ihrer polaren Form erfaßt, d.h. ein Gegenstand ist groß oder klein, schwer oder leicht, heiß oder kalt. Beim Spiel mit der Balkenwaage begreift das Kind, daß sich diejenige Seite der Balkenwaage senkt, auf der das größere Gewicht (bei gleichem Abstand) liegt bzw. wo der größere Abstand der Gewichte vom Drehpunkt (bei gleichen Gewichten) gegeben ist. Das Kind erkennt die beiden relevanten Relationen: Gewicht m – Verhalten der Waage, Abstand l – Verhalten der Waage. Die Aufmerksamkeitskapazität dieser Phase erlaubt jedoch nur die Berücksichtigung einer Relation.

- (ii) Die *konkret-operationale (Piaget) / dimensionale (Case) Phase*: Die zweite Phase ist charakterisiert durch (α) die mögliche Einnahme verschiedener Perspektiven, (β) die gleichzeitige Berücksichtigung von mehreren Merkmalen und (γ) logische Schlußfolgerungen, d.h. Schlußfolgerungen, die nun in beide Richtungen gezogen werden können, weil die Einsicht in die Reversibilität einer Operation vorliegt. Die Einsichten sind noch eingeschränkt auf konkrete Sachverhalte. Merkmale können sich in ihren Wirkungen gegenseitig kompensieren. Allerdings bleibt das Wissen um die Kompensation noch qualitativ. Beim Spiel mit der Balkenwaage begreift das Kind, daß sich das Absenken der Balkenwaage nicht nur auf die Größe der Gewichte m_1 und m_2 allein bezieht, sondern auch vom Abstand des Gewichte l_1 und l_2 zum Drehpunkt abhängt. Die Aufmerksamkeitskapazität dieser Phase erlaubt die Berücksichtigung von zwei verschiedenen Relationen. Dennoch bleibt die quantitative Beurteilung noch unzulänglich, weil das Kind in dieser Phase nur Additions- bzw. Subtraktions-Strategien zur Verfügung hat. Das Problem wird demnach als Frage nach der größeren Differenz $|m_1 - m_2|$ oder $|l_1 - l_2|$ aufgefaßt und dies in Beziehung zum Verhalten der Waage gesetzt.
- (iii) Die *formal-operationale (Piaget) / vektoriale (Case) Phase*: Die dritte Phase ist charakterisiert durch (α) die Abstraktion von direkt-visuellen Erfahrungen und (β) den Aufbau und die Kombination verschiedener logischer Strukturen: Klassifikation, Seriation und Invarianz im Sinne formaler Strukturen. Am Beispiel der Balkenwaage zeigt sich, daß das Kind schließlich das korrekte Verhältnis $m_1 : m_2 = l_2 : l_1$ findet und damit das archimedische Hebelgesetz begreift.

Case verweist ausdrücklich auf die Notwendigkeit optimaler Bedingungen für den Erkenntniserwerb, die sich darin zeigt, daß Kinder selbst *aktiv* Experimente mit der Balkenwaage ausführen und Schlußfolgerungen bei enttäuschten Erwartungen ziehen können. Dies verdeutlicht (α) die fundamentale Rolle von Assimilation und Akkomodation, (β) den Zusammenhang von Erkenntnis abstrakter Strukturen und konkreter Handlungen und (γ) die

Inhaltsgebundenheit und Bereichsabhängigkeit der erfaßten Strukturen.¹⁴⁸ Dieser Sachverhalt ist grundlegend für die Physik-Didaktik: Um das formal-operationale Denken zu fördern, müssen die Vorteile einer *dynamischen Anschaulichkeit* genutzt werden (vgl. Kapitel 2.4).

Diese Art des Verständnisses entwickelt sich nicht, wenn die Kinder keine eigenen Erfahrungen mit der Balkenwaage aufbauen können. Das bedeutet: wenn sie keine Rückmeldung erhalten, daß das auf der vorhergehenden Stufe aufgebaute Denken unangemessen ist. Wahrscheinlich entwickelt es sich auch nicht, wenn sie keine eigenen Erfahrungen im Denken mit Begriffen des Verhältnisses aufbauen können. Sind diese beiden Bedingungen erfüllt, scheint die genannte Entwicklung des Denkens mit konstanter Regelmäßigkeit aufzutreten.¹⁴⁹

Die Entwicklung von der prä-operationalen, über die konkret-operationale hin zur formal-operationalen Phase soll am Beispiel (α) der Inklusionsbeziehung von Mengen, (β) der Transitivitätsbeziehung von Reihen, (γ) des Analogie-Konzepts geometrischer Figuren und (δ) der Verfügung über verschiedene implizite Bezugssysteme genauer erläutert werden.¹⁵⁰

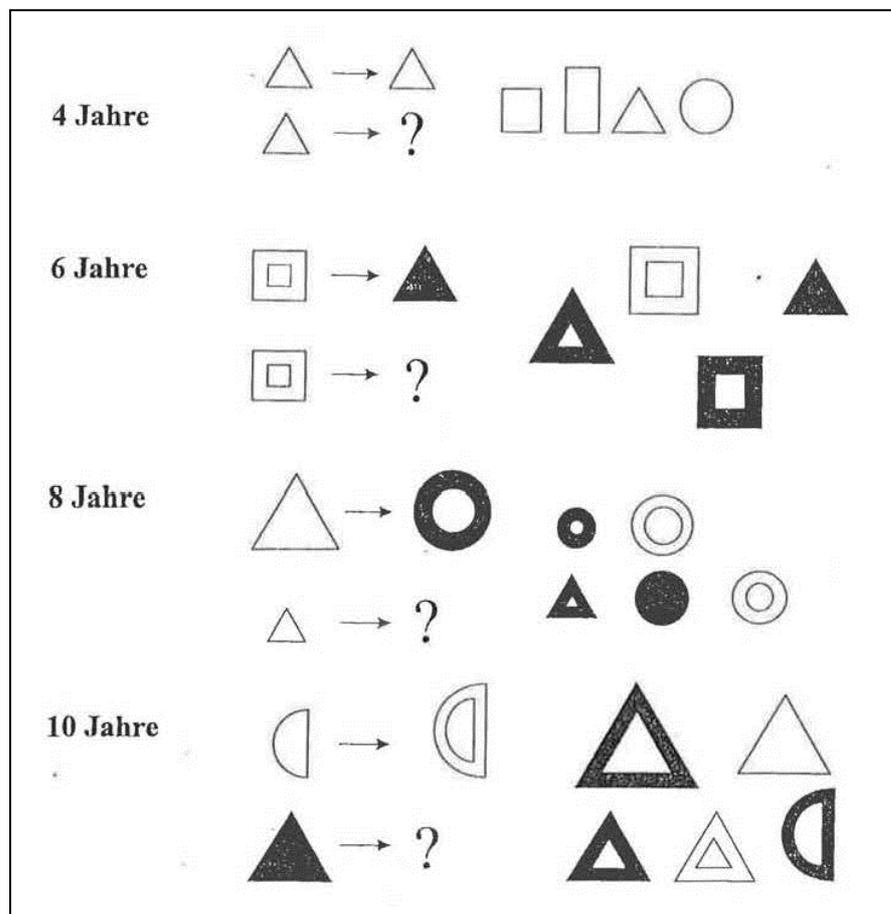
- (i) Die **Inklusionsbeziehung von Mengen**: Ein Kind, das sich in der prä-operationalen Phase befindet, wird zugeben, daß alle Enten Vögel aber nicht alle Vögel Enten sind. Auf die Frage, ob es im Wald mehr Vögel oder mehr Enten gibt, wird das Kind antworten, daß es dies nicht wisse, weil es sie nicht gezählt habe. Befindet sich das Kind bereits in der konkret-operationalen Phase, dann wird es die Inklusionsbeziehung am konkreten Beispiel richtig verstehen und antworten, daß es selbstverständlich mehr Vögel als Enten gibt. Erst in der formal-operationalen Phase wird das Kind wissen, daß die Inklusionsbeziehung grundsätzlich für alle Mengen gilt, unabhängig vom konkreten Inhalt.
- (ii) Die **Transitivitätsbeziehung von Reihen**: Ein Kind, das sich in der prä-operationalen Phase befindet, wird erkennen, daß Stab **A** kürzer als **B** und Stab **B** kürzer als **C** ist. Auf die Frage, wie sich **A** und **C** zueinander verhalten, wird das Kind antworten, daß es dies nicht wisse, weil es **A** und **C** nicht zusammen gesehen habe. Befindet sich das Kind in der konkret-operationalen Phase, dann wird es die Transitivitätsbeziehung am konkreten Beispiel richtig verstehen und antworten, daß selbstverständlich Stab **A** kürzer als **C** ist. Erst in der formal-operationalen Phase wird das Kind wissen, daß die Transitivitätsbeziehung grundsätzlich für alle Ordnungsstrukturen gilt, unabhängig von ihrem konkreten Inhalt.

¹⁴⁸ Die Entwicklung der Naturphilosophie bestätigt diesen wichtigen Sachverhalt. Erst der Übergang von einer nur kontemplativen Naturbetrachtung (aristotelische Physik) zu einer systematisch experimentierenden Naturbeherrschung (galileische Physik) eröffnete den Weg zu einem operativen Mathematikverständnis und brachte einen enormen Zuwachs an Erkenntnis (vgl. Kapitel 2.2).

¹⁴⁹ Case 1999, S. 119

¹⁵⁰ Piaget 1973, S. 36ff

- (iii) Das **Analogie-Konzept geometrischer Figuren**: Gegeben seien drei Reihen mit Figuren: (α) eine geordnete, vollständige Reihe, (β) eine geordnete, unvollständige Reihe und (γ) eine ungeordnete Reihe. Die Aufgabe besteht darin, die geordnete, unvollständige Reihe so zu ergänzen, daß sie zur geordneten, vollständigen Reihe paßt. Dazu soll die zu ergänzende Figur aus der ungeordneten Reihe ausgewählt werden. Die Ergebnisse des Analogie-Tests zeigen eindrucksvoll, daß in der kindlichen Entwicklung die Anzahl an Merkmalen, die es berücksichtigen kann, sukzessive zunimmt.¹⁵¹



Figur 1.2

- (iv) Die **Verfügung über verschiedene implizite Bezugssysteme**: Räumliche Strategien setzen ein Bezugssystem voraus. Der Aufbau verschiedener Bezugssysteme erfolgt ebenfalls in Stufen: (α) selbstbezogene Bezugssysteme, (β) objektbezogene Bezugssysteme und (γ) ortsbezogene Bezugssysteme. Zunächst bildet der eigene Körper das einzig mögliche Bezugssystem; später werden andere Bezugssysteme antizipiert. Ein Kind wird in einen Raum geführt und dort zu einem an einer Wand stehenden Tisch gebracht. Dann wird das Kind aus dem Raum geschickt und einige Minuten

¹⁵¹ Case 1999, S. 217

später erneut hereingeführt. In der Zwischenzeit wird der Tisch an eine andere Stelle des Raumes gerückt. Das Kind wird nun gebeten, an die Stelle zu gehen, wo es sich zuvor befunden hat. Ein noch objektbezogenes, jüngeres Kind geht zum Tisch; ein bereits ortsbezogenes, älteres Kind geht an die entsprechende Stelle im Raum, unabhängig von der Position des Tisches.

Der Übergang von der konkret-operationalen hin zur formal-operationalen Phase wird meist nur unzureichend vollzogen, wie die unterschiedlichen Ergebnisse der *Auswahlaufgaben* von Wason eindrucksvoll demonstrieren. Die Aufgabe besteht darin die Gültigkeit einer „wenn... dann...“-Beziehung zu überprüfen. Nur 10% der befragten erwachsenen Personen lösen das Problem, wenn es in einer formal-operationalen Variante vorgegeben wird, wohingegen aber 75% das Problem korrekt bewältigen können, wenn es in einer konkret-operationalen Variante – eingebettet in einen alltäglichen Kontext – gestellt wird. Testpersonen bekommen vier Karten vorgelegt mit dem Hinweis, daß eine Seite immer einen Buchstaben (**A**, **B**) und die andere Seite immer eine Zahl (**16**, **19**) aufweist. Sie werden gefragt, welche Karten sie umdrehen müssen, um zu prüfen, ob die Regel **R** immer erfüllt ist.¹⁵²



- (i) Das *abstrakte Letter Number Problem*: Die Regel **R** lautet: „Wenn eine Karte auf einer Seite ein **A** hat, dann steht auf der anderen Seite eine **16**“. Die meisten Personen drehen die erste Karte mit dem **A** um und sehen nach, ob auf der anderen Seite eine **16** steht (modus ponens). Nur wenige Personen erkennen, daß sie auch die vierte Karte mit der **19** umdrehen müssen, um nachzusehen, ob auf der anderen Seite *kein A* steht (modus tollens).
- (ii) Das *konkrete Letter Number Problem*: Testpersonen bekommen die Aufgabe, gedanklich als Polizist in eine Bar zu gehen und die vier anwesenden Personen zu überprüfen, ob die Regel **R** „Wenn eine Person Alkohol **A** trinkt, dann muß diese Person mindestens **18** Jahre alt sein“ immer befolgt wird. Die Testpersonen bekommen vier Karten vorgelegt mit dem Hinweis, daß der Buchstabe **A** für Alkohol und **B** für ein nicht-alkoholisches Getränk steht und die Zahl **16** und **19** auf das Alter verweist. Die meisten Personen drehen sowohl die erste Karte mit dem **A** um und überprüfen das Alter (modus ponens), als auch die dritte Karte mit der **16** und überprüfen das Getränk (modus tollens). Die Verknüpfung mit einem vertrauten Kontext ist offensichtlich signifikant für die Problemlösung.

¹⁵² Thagard 1999, S. 52ff; Evans 2002, S. 194ff

Die Feststellung, daß der Übergang von der konkret-operationalen hin zur formal-operationalen Phase nur unzureichend vollzogen wird, sollte Anlaß genug sein, die Physik-Didaktik zu überprüfen und eventuell neu zu konzipieren. Die Physik-Didaktik ist noch immer vorwiegend an einer *statischen Anschaulichkeit* (gestützt auf die Sinneswahrnehmungen, bezogen auf starre Körper) orientiert und offensichtlich viel zu wenig an einer *dynamischen Anschaulichkeit* (gestützt auf die Handlungsfähigkeit, bezogen auf deformierbare Körper) interessiert. Exploratives Forschen an dynamisch anschaulichen Sachverhalten könnte Hindernisse auf dem Weg zum formal-operationalen Denken beseitigen (vgl. Kapitel 2.2 & 2.4).

Die 3. Stufe im Aufbau der *Strukturierungsformen* des Menschen im Laufe seiner dreistufigen ontogenetischen Entwicklung ist damit erreicht. Der Erkenntniszuwachs stellt sich dar als eine fortwährende Neuschöpfung von immer komplexeren Strukturen. Die Subjekt-Objekt-Beziehung manifestiert sich auf der Ebene der sinnlichen Wahrnehmungen, auf der Ebene der non-verbalen und verbalen Repräsentationen und auf der Ebene der Kombination, Koordination und Reversibilität von Handlungen. Diese Entwicklungsstufe muß auf dem Hintergrund mathematischer Fertigkeiten gedeutet werden, die im Sinne einer grundlegenden *kulturellen Leistung* zu verstehen sind. Für die Entwicklung einer komplexen Mathematik ist die Verwendung des indisch-arabischen Positionssystems einschließlich der arabischen Zahlzeichen und der Null von zentraler Bedeutung.

3. Stufe (operational)

R₃, B₃	F₃, Z₃	M₃
O₃, K₃	E₃, S₃	

Die Strukturierungsformen lassen sich in das bereits begonnene *Strukturierungsschema* einordnen. Diese Strukturierungsformen werden, in Abhängigkeit von der kulturellen Entfaltung, wie sie etwa in der Standardausbildung vermittelt werden, weiter ausgebaut. **R₃**, **B₃**, **O₃** und **K₃** sind extensionale, intensionale und strukturelle Erweiterungen von **R₂**, **B₂**, **O₂** und **K₂**. Das Bewegungskonzept wird um eine operative Zeitvorstellung ergänzt, die ein Gleichzeitigkeitskonzept von verschiedenen Bewegungen einschließt. Die weiteren Strukturierungsformen bedeuten im einzelnen:

- (i) **F₃**: Die konkrete Konstruktion geometrischer Figuren (zwei-dimensionale Figuren, drei-dimensionale Figuren) in einem metrisch strukturierten Raum und die Einsicht in einfache geometrische Strukturen.
- (ii) **Z₃**: Der Aufbau des Zahlbegriffs (rationale Zahlen) auf der Grundlage einer arithmetischen Stück-für-Stück-Korrespondenz mit einer ordinalen und einer kardinalen Struktur und die Einsicht in einfache arithmetische Strukturen.

- (iii) **E₃**: Der Ausbau des Wissens durch den gezielten Einsatz von „Schul-Experimenten“ als Vorform experimenteller Forschung. Dabei handelt es sich um ein kulturell verfügbares Wissen, das von der Wissenschaft bereits aufgebaut wurde.
- (iv) **S₃**: Die Erweiterung sprachlicher Ausdrucksformen und die Einsicht in eine Vielzahl alltagslogischer Beziehungen (modus ponens, Identitätsprinzip, Prinzip des ausgeschlossenen Widerspruchs, Prinzip des ausgeschlossenen Dritten etc.).
- (v) **M₃**: Der Aufbau des Wissens um Invarianzbeziehungen (Quantum, Gewicht, Volumen) und die Einsicht in algorithmische Rechenverfahren, die auf operativen Strukturen (Wiederholung, Kombination, Koordination, Reversibilität) beruhen und die eine Formulierung der Alltagsmathematik ermöglichen.

Piaget erkennt weitgehende Parallelen zwischen der 3. Stufe der Ontogenese und der frühen Wissenschaftsgeschichte. Die antike Wissenschaft, die es zu großartigen Erfolgen in Logik und Geometrie bringt, leistet das, was mit einer kontemplativen, anschauungsnahen, figurativen, nicht-operativen Wissenschaft möglich ist. Eine Erweiterung des Erkenntniserwerbs verlangt daher nicht vorrangig ein *Mehr an Erfahrung*, sondern hauptsächlich eine andere *Art von Erfahrung* – eine Erfahrung, die wesentlich operativ ist.

Die Denkentwicklung beim Kinde weist erstaunliche Parallelen zur wissenschaftlichen Ideengeschichte, insbesondere ihrer früheren Epochen, auf. Dies ist freilich nicht so zu verstehen, dass das heutige Kind irgendwann das Wissen des erwachsenen Aristoteles erwirbt; aber so, dass eine Reihe von Modellbildungen der frühen Wissenschaftsgeschichte bereits in der intuitiven Theoriebildung des Kindes und des ungebildeten Erwachsenen verwurzelt sind.¹⁵³

Um diesen *operativen Aspekt* noch deutlicher herauszuarbeiten, wird im folgenden der konstruktive Aufbau (α) geometrischer Strukturen, (β) des Invarianzbegriffs, (γ) des Zahlbegriffs und (δ) des Zeitbegriffs en detail untersucht. Insbesondere im Hinblick auf die Begriffe „Zahl“ und „Zeit“ ist hervorzuheben, daß Piaget ausdrücklich gegen die Position Kants argumentiert, wenn er betont, daß es sich hier nicht nur um Formen der Anschauung eines inneren Sinns geht. „Zahl“ und „Zeit“ sind wesentlich operative Konzepte und werden daher erst spät in der Ontogenese vollständig konstituiert. Dies zeigt sich auch in der Entwicklung der Naturwissenschaften: „Zahl“ und „Zeit“ erweisen sich auch hier als äußerst widerspenstige Konzepte, deren operativer Aspekt erst in der Neuzeit im Anschluß an Descartes und Leibniz erfaßt wird. Es ist demnach nur folgerichtig, wenn der eigentliche Aufstieg der Naturwissenschaften insbesondere gekoppelt ist an (α) einen Zahlbegriff, der eine analytische Darstellung ermöglicht und an (β) einen Zeitbegriff, der die Behandlung dynamischer Prozesse erlaubt (vgl. Kapitel 2.2).

¹⁵³ Schurz 1988, S. 26

Der Aufbau geometrischer Strukturen

In der Entwicklung des Kindes werden in der prä-operationalen Phase topologische Strukturen aufgebaut; in der konkret-operationalen Phase werden metrische Strukturen konstruiert.¹⁵⁴

- (i) Die *offenen und geschlossenen Figuren*: In der prä-operationalen Phase werden einem Kind verschiedene Kreise, Dreiecke und Vierecke vorgelegt. Das Kind zeichnet alle Figuren in etwa derselben Weise als geschlossene Figuren. Werden ihm hingegen Schlangenlinien und Zick-Zack-Linien vorgegeben, dann zeichnet es offene Figuren. Das Kind versteht einfache topologische Strukturen.
- (ii) Die *Nachbarschaftsbeziehungen*: In der prä-operationalen Phase werden einem Kind verschieden große Kreise vorgelegt, die in unterschiedlichen Nachbarschaftsbeziehungen zueinander stehen: ein kleiner Kreis innerhalb eines großen Kreises, ein kleiner Kreis außerhalb eines großen Kreises, ein kleiner Kreis auf einem großen Kreis. Das Kind kann diese topologischen Beziehungen richtig wiedergeben.
- (iii) Die *Längenverhältnisse*: In der prä-operationalen Phase werden einem Kind zwei gleich lange Stäbe vorgelegt. Sind die Stäbe übereinandergelegt, dann wird das Kind die Übereinstimmung der Längen bestätigen. Werden die Stäbe nebeneinandergelegt und dann einer der Stäbe etwas verschoben, dann wird es behaupten, daß die beiden Stäbe nicht mehr die gleiche Länge haben.¹⁵⁵

Bemerkenswert daran ist, daß hinsichtlich des Aufbaus geometrischer Strukturen die Parallelisierung von Ontogenese und Wissenschaftsgeschichte gerade nicht gelingt. Historisch gesehen wird bereits in der Antike als erster Strukturtyp die metrische Struktur – euklidische Geometrie – entwickelt. Erst im 17. Jahrhundert entsteht die projektive Geometrie und dann im 19. Jahrhundert die topologische Geometrie. Von ihrer theoretischen Beziehung her verhält es sich jedoch genau umgekehrt: die topologische Struktur ist der einfachste Strukturtyp; die beiden anderen Strukturtypen ergeben sich durch zusätzliche Strukturgesetze. Piaget bezeichnet das gegenläufige Verhältnis von ontogenetischer Reifung und wissenschaftlicher Entwicklung als *genetisches Paradoxon der Geometrie*.¹⁵⁶

¹⁵⁴ Inhelder, in: Furth 1972, S. 62f

¹⁵⁵ Eine besonders kuriose Geschichte zur Vorstellung der Längeninvarianz bei Kindern erzählt Furth: Piaget zeigt einem Kind ein Brett mit zwei darauf befindlichen Spielzeug-Bäumen und befragt es nach der Entfernung der beiden Bäume. Im Anschluß daran wird zwischen die beiden Bäume eine Wand eingefügt und das Kind erneut nach der Entfernung befragt. Das Kind behauptet, daß die Entfernung nun kleiner sei, weil die Wand etwas von der Entfernung wegnimmt. Piaget fügt dann eine Wand mit Tür ein und jetzt glaubt das Kind, daß die Entfernung der beiden Bäume sich mit dem Öffnen und Schließen der Tür verändert. (Furth 1972, S. 290)

¹⁵⁶ Dieses gegenläufige Verhältnis von ontogenetischer Reifung und wissenschaftlicher Entwicklung wiederholt sich, wenn es um die Simulation kognitiver Leistungen an Computern geht. Hier könnte dann vom genetischen Paradoxon der Kognition gesprochen werden (vgl. Kapitel 1.5).

[...] es ist bemerkenswert, daß Euklid kein explizites Axiom formuliert hat, das der Verschiebung und [...] dem entspricht, was Helmholtz die „freie Beweglichkeit“ der Figuren nannte. Die Griechen hielten sich an das Objekt und nicht an die Handlung, an die Figur und nicht an die Operation, d.h. an das Resultat der Konstruktion und nicht an die Konstruktion selbst. Daraus ergibt sich die Umkehrung der genetischen Ordnung, [...].

Die Schaffung der geometrischen Gruppentheorie [...] und die damit verbundene Bewußtwerdung des operativen Charakters der Verschiebungen und allgemeinen Transformationen – im Gegensatz zu den statischen Figuren der Antike oder ihrer einfachen analytischen Formulierung – und vor allem die Untersuchung des Kontinuums am Ausgangspunkt der Topologie sowie die Entdeckung der elementaren qualitativen Aspekte des Raums bezeugen in überraschender Weise die Inversion der Entwicklungsrichtung der wirklichen Genesis gegenüber der historischen Reihenfolge der Entdeckungen.¹⁵⁷

Die antike Wissenschaft konstruiert zwar geometrische Figuren und systematisiert ihre Erkenntnisse gemäß der axiomatischen Methode. Sie reflektiert dann aber lediglich die metrischen Eigenschaften der bereits konstruierten Figuren und insofern bleibt sie an den *figurativen Aspekt* der Geometrie gebunden. Sie reflektiert also gerade nicht die Eigenschaften des Konstruktionsprozesses und daher entgeht ihr der *operative Aspekt*. Der zu einem operativen Verständnis gehörige Gruppenbegriff wird erst 1872 von Klein im Rahmen des „Erlanger Programms“ formuliert (vgl. Kapitel 2.2).

Der Aufbau des Invarianzbegriffs

Bereits auf der senso-motorischen Stufe bildet sich das Konzept eines Objekts heraus. Allerdings ist das Objekt noch für eine lange Zeit nicht mit der Vorstellung einer Invarianz verknüpft. Der Invarianzbegriff ist in drei verschiedenen Bedeutungen zu verstehen: (α) die Invarianz des Quantums (Handlung des Wiederfindens), (β) die Invarianz des Gewichts (Handlung des Abwägens) und (γ) die Invarianz des Volumens (Handlung des Umgreifens). In der prä-operationalen Phase verfügt das Kind noch über keinen der drei Invarianzbegriffe. Während der konkret-operationalen Phase bilden sich diese drei Invarianzbegriffe heraus, aber nicht gleichzeitig, sondern in einer festgelegten Reihenfolge. Diese Entwicklung läßt sich an drei charakteristischen Experimenten verdeutlichen: das Deformieren von Wachskugeln, das Auflösen von Zucker in Wasser und das Umgießen einer Flüssigkeit von einem Gefäß in ein anderes mit anderen geometrischen Maßen. Der vollständige Aufbau des Invarianzbegriffs vollzieht sich in vier Phasen:¹⁵⁸

- (i) Die *fehlende Invarianz*: Ein Kind bekommt zwei gleich große Wachskugeln und darf eine davon zu einem langgestreckten Zylinder umformen. Befindet sich das Kind in der prä-operationalen Phase, dann wird es zwar zugeben, daß die beiden Wachskugeln

¹⁵⁷ Piaget 1975e, S. 229ff

¹⁵⁸ Piaget / Inhelder 1975c

gleiches Quantum, gleiches Gewicht und gleiches Volumen haben, es wird aber glauben, daß jede Veränderung der Form mit einer Veränderung des Quantums, des Gewichts und des Volumens einhergeht. Das Urteil über die Veränderung wird nicht einheitlich ausfallen. Das Kind wird an eine Vermehrung oder Verminderung des Quantums denken, je nach dem, ob es bemerkt, daß die Kugel dicker als der Zylinder oder der Zylinder länger als die Kugel ist. Die fehlende Invarianzvorstellung ist damit verknüpft, daß das Kind noch nicht über eine Einsicht in die Reversibilität einer Operation verfügt. Entsprechendes gilt für andere Experimente: Wird dem Kind ein Glas Wasser und einige Stücke Würfelzucker vorgelegt, dann wird es behaupten, daß der Zucker völlig verschwindet, wenn er im Wasser aufgelöst wird. Soll das Kind eine Flüssigkeit von einem Gefäß in ein anderes umgießen, dann wird es – bei anderen geometrischen Maßen – eine Veränderung der Flüssigkeitsmenge vermuten.

- (ii) Die *Invarianz des Quantums*:¹⁵⁹ Mit etwa 8 Jahren wird das Kind im Umgang mit den Wachskugeln sicher sein, daß die Verformung das Quantum nicht ändert, weil nichts hinzugefügt oder hinweggenommen wurde. Das Kind wird erkennen, daß die Verformung reversibel ist. Dennoch wird es behaupten, daß sich Gewicht und Volumen geändert haben. Bemerkenswerterweise wird es die Invarianz des Quantums auch dann behaupten, wenn es die Auflösung des Würfelzuckers im Wasser beobachtet. Es wird aussagen, daß der Zucker in winzigen, nicht mehr sichtbaren Kügelchen im Wasser verbleibt und daß dabei kein Kügelchen verlorengeht. Allerdings wird es bestreiten, daß Gewicht und Volumen der Flüssigkeit während des Auflösungsprozesses des Zuckers invariant bleiben.
- (iii) Die *Invarianz des Gewichts*: Etwa mit 10 Jahren wird das Kind im Umgang mit den Wachskugeln sicher sein, daß die Verformung sowohl das Quantum als auch das Gewicht unverändert läßt. Die Einsicht in die Invarianz des Gewichts ist deshalb für ein Kind schwierig, weil es erst eine Beziehung zwischen der beobachtbaren Verformung und der Operation des Anhebens zur Feststellung des Gewichts herstellen muß. Weiterhin wird das Kind behaupten, daß sich das Volumen geändert hat, da es noch nicht begreift, daß sich die simultane Änderung in allen drei Raumrichtungen kompensieren. Eigenartigerweise beurteilt das Kind das Volumen in Abhängigkeit von der Raumachse. Einem horizontalen Zylinder wird es ein größeres Volumen zuschreiben als einem vertikalen Zylinder.
- (iv) Die *Invarianz des Volumens*: Mit 12 Jahren erkennt das Kind die Kompensationen in den drei Raumrichtungen bei der Verformung der Wachskugeln und kann die

¹⁵⁹ In seinen Schriften verwendet Piaget fälschlicherweise immer den Begriff „Menge“, anstatt „Quantum“. Es ist aber offensichtlich, daß Piaget die Invarianz des Quantums und nicht der Menge meint. Diese Begriffskonfusion wird von Neemann in pointierter Weise getadelt: „Woher soll ein Kind aber wissen, wonach gefragt ist, wenn der Experimentator selber beide Begriffe nicht auseinanderhält.“ (Neemann 1972)

Invarianz des Volumens verstehen. Besonders deutlich kommt dies auch zum Ausdruck, wenn das Kind eine bestimmte Flüssigkeitsmenge von einem Gefäß in ein anderes mit anderen geometrischen Maßen umgießen soll und dabei ebenfalls die Invarianz des Volumens annimmt.

Der konstruktive Aufbau des Invarianzbegriffs weist einige eigentümliche Merkmale auf: (α) Zuerst wird das Quantum als invariante Größe konstruiert. Die Annahme der Invarianz eines Quantums hat aber keineswegs die Annahme der Invarianz des Gewichts und des Volumens zur Folge. Die Invarianz des Quantums ist somit eine elementare Form des Invarianzbegriffs, die ein allgemeines Schema der Quantifizierung darstellt. (β) Jede vollständige Aneignung einer Invarianzvorstellung ist begleitet von einem Gefühl der *Evidenz*, das Kinder häufig mit den Worten „das ist sicher, das muß so sein“ zum Ausdruck bringen und durch spezielle Argumente (Reversibilitäts-Argument, Identitäts-Argument, Kompensations-Argument) untermauern.

Dieses Bewußtsein einer Notwendigkeit geht – beim Kind wie in der Wissenschaft – über die Erfahrung hinaus [...].¹⁶⁰

(γ) Erst die Ersetzung des vertikalen Struktur-Modells von Piaget durch das vertikal-horizontale Struktur-Modell von Case erfaßt den Sachverhalt, demzufolge nicht allgemeine Invarianzkonzepte konstruiert werden, sondern verschiedene Invarianzkonzepte, die inhaltsgebunden und bereichsspezifisch sind. Auch hierfür gibt es Parallelen zur Entwicklung der Naturphilosophie: Die cartesischen Erhaltungssätze beziehen sich auf Quantum und Bewegung der Materie; Leibniz hingegen formuliert Erhaltungssätze für die Summe der kinetischen und potentiellen Energie.

Der Aufbau des Zahlbegriffs

Die Anzahl der Elemente einer visuell wahrgenommenen Menge zu bestimmen, ohne dabei einen *Zählprozeß* zu verwenden, ist beim erwachsenen Menschen auf etwa sieben Elemente beschränkt. Die kognitiven Fähigkeiten des Menschen für eine genaue Mengenerfassung ohne Zählen ist demnach sehr begrenzt und denen einiger Tiere kaum überlegen.¹⁶¹ Als Hilfsmittel verwendet der Mensch Zahlsymbole. Diese haben eine doppelte Bedeutung: (α) die Bedeutung einer *Ordinalzahl*, weil sie für einen bestimmten Punkt in der Zahlwortreihe stehen und (β) die Bedeutung einer *Kardinalzahl*, weil sie die Anzahl der Elemente einer Menge angeben. Der Zahlbegriff ist erst dann vollständig ausgebildet, wenn beide Bedeutungen in eine wechselseitige Beziehung gebracht worden sind.

¹⁶⁰ Piaget / Inhelder 1975c, S. 175

¹⁶¹ Menschen haben gewissermaßen ein angeborenes Konzept von Zahlen: „Sie [Babys] besitzen bereits etwa bis zur Zahl 3 oder 4 Vorstellung von der Konstanz von Mengen. Wenn man Halbjährigen zeigt, dass man zwei Objekte auf eine Ebene stellt, einen Vorhang runterlässt und von oben ein drittes Objekt hinzufügt, dann den Vorhang wieder hebt [...], dann reagieren sie mit deutlichem Erstaunen.“ (Singer 2003, S. 114)

Während die ältere empirische Psychologie die Erwerbung des Zahlbegriffs als einen Prozeß der Abstraktion aus konkreten Daten beschrieb, hat die neuere genetische Psychologie die *sukzessiven schöpferischen Tätigkeiten* aufgedeckt, die bei der Bildung des Zahlbegriffs tatsächlich stattfinden.¹⁶²

Bemerkenswert ist der Aufbau des Zahlbegriffs beim Kind. Die Konstruktion beruht zuallererst auf einer *Stück-für-Stück-Korrespondenz*. Die Frage ist jedoch, ob der Zahlbegriff nur auf dieser Operation beruht oder ob noch andere Operationen vorliegen. Psychologische Untersuchungen zeigen, daß für den Zahlbegriff tatsächlich zwei Operationen relevant sind. Der Aufbau des Zahlbegriffs vollzieht sich in vier Phasen:¹⁶³

- (i) Die ***geometrische Zuordnung***: In einem Experiment wird eine bestimmte Anzahl roter Spielmarken in einer Reihe hingelegt. Das Kind – das bereits zählen kann – erhält blaue Spielmarken und die Aufgabe, die gleiche Anzahl blauer Marken auszulegen. In einer frühen Phase wird das Kind eine Reihe von blauen Marken so auslegen, daß sie in etwa dieselbe Länge hat wie die rote Markenreihe, ungeachtet der tatsächlichen Anzahl der dabei verwendeten blauen Spielmarken.
- (ii) Die ***geometrische Stück-für-Stück-Korrespondenz***: In einer mittleren Phase wird das Kind eine Reihe von blauen Spielmarken so auslegen, daß jeder roten Spielmarke genau eine blaue zugeordnet ist. Diese Stück-für-Stück-Korrespondenz ist jedoch noch immer eine geometrische, weil das Kind behauptet, die Anzahl der blauen Marken habe sich verändert, sobald die Reihe zusammengeschieben oder auseinandergezogen wird, ohne daß allerdings Spielmarken hinzugefügt oder weggenommen werden.
- (iii) Die ***eigenschaftsgebundene Stück-für-Stück-Korrespondenz***: In einer weiteren Phase wird das Kind eine Reihe von blauen Spielmarken so auslegen, daß jeder roten Spielmarke genau eine blaue zugeordnet ist. Diese Stück-für-Stück-Korrespondenz ist dann nicht mehr geometrisch, wenn das Kind erkennt, daß eine räumliche Verschiebung der Marken nichts an dieser Zuordnung ändert. Sie ist aber noch eigenschaftsgebunden, solange das Kind nicht fähig ist, von der gemeinsamen Eigenschaft – in diesem Fall die Eigenschaft, eine Spielmarke zu sein – abzusehen.
- (iv) Die ***arithmetische Stück-für-Stück-Korrespondenz***:¹⁶⁴ In einer späteren Phase wird das Kind begreifen, daß eine Stück-für-Stück-Korrespondenz auch dann herstellbar ist, wenn die Elemente zweier Mengen keine Gemeinsamkeiten aufweisen in dem Sinne,

¹⁶² Riess 1973, S. 11

¹⁶³ Piaget / Szeminska 1975b, S. 56

¹⁶⁴ Möglicherweise wird erst der Mathematikstudent die folgende Scherzfrage verstehen: Ein Mathe-Professor sitzt mit drei Mathe-Studenten in seinem Büro und nimmt eine Prüfung ab. Nach der Prüfung verlassen fünf Mathe-Studenten sein Büro. Frage: „Was denkt der Mathe-Professor?“ – Antwort: „Er denkt: Wenn jetzt noch zwei Mathe-Studenten kommen, dann ist keiner mehr da.“

daß jedes beliebige Element einer Menge jedem beliebigen Element der anderen Menge zugeordnet werden kann. Dies setzt voraus, daß jedes Element aller konkreten Eigenschaften entkleidet und nur als arithmetische Einheit verstanden wird.

Dieser Aufbau des Zahlbegriffs zeigt, daß Zahlen nicht allein auf der Grundlage von Klassifikationen konstruiert werden können; es muß noch das Konzept einer *arithmetischen Einheit* eingeführt werden. Damit diese arithmetischen Einheiten aber unterscheidbar sind, muß eine Reihenbildung durchgeführt werden. Die Ununterscheidbarkeit arithmetischer Einheiten läßt sich daher nur über Ordnungsbeziehungen aufheben. Auch die vollständige Aneignung des Zahlbegriffs ist begleitet von einem Gefühl der *Evidenz*.

Die Zahl, so können wir also schließen, ist eine Synthese aus der Inklusion von Klassen und Ordnungsbeziehungen. Sie hängt gleichzeitig von einer algebraischen Struktur und von einer Ordnungsstruktur ab. Ein Strukturtypus allein reicht zur Erklärung nicht aus.¹⁶⁵

Es [das Kind] wird sogar die Erhaltung einer Menge im Verlauf der möglichen Verschiebung ihrer Elemente als evident, als Folge einer rationalen Notwendigkeit betrachten. Diese dauernde Äquivalenz und die Erhaltung wird zu einer Art Wahrheit *a priori*. Dieses *a priori* scheint indessen [...] am Schluß und nicht am Ausgangspunkt des genetischen Prozesses zu stehen, es charakterisiert die Gleichgewichtsphase am Ende des genetischen Prozesses und nicht dessen Ausgangspunkt.¹⁶⁶

Für Piaget steht fest, daß sowohl die aprioristischen als auch die empiristischen Erklärungen zum Zahlbegriff verfehlt sind, weil sie insbesondere den operativen Aspekt des Begriffs nicht berücksichtigen.

Die aprioristischen Lösungen, die die Zahl als eine Struktur auffassen, die innerhalb des Geistes entstanden ist [...] und der äußeren Realität aufgezwungen wird, erklärt nicht, warum die Zahl mit dieser Realität konvergiert. Die empiristischen Lösungen, die trotz allem vorgeben, die Zahl direkt aus dem Experiment abzuleiten, erklären weder ihre Fruchtbarkeit noch ihre Notwendigkeit. Sagt man jedoch, daß die Zahl von den Operationen oder den durch das Subjekt auf die Objekte ausgeübten Handlungen herrührt, ohne von den Objekten selbst abzustammen, so gestattet dies, die verschiedenen Zahlbegriffe als Ergebnis einer fortschreitenden Koordination zu verstehen, ohne daß die Zahl im vornherein als im Geist oder in den Dingen liegend aufgefaßt werden muß.¹⁶⁷

Der Zahlbegriff ist demnach kein primitives Konzept, sondern ein abgeleitetes Konstrukt, das wesentlich einen operativen Aspekt einschließt. Es ist sofort einsichtig, daß der Zahlbegriff der Antike als unvollständiges Konzept gelten muß, weil er an den figurativen Aspekt der

¹⁶⁵ Piaget 1973, S. 47f

¹⁶⁶ Piaget 1975e, S. 66

¹⁶⁷ Piaget 1975e, S. 133f

„Rechensteinchen“ gebunden ist. Insbesondere fehlen in der Antike die Null und die negativen Zahlen, weil sie gerade keine anschauliche Deutung durch „Rechensteinchen“ zulassen. Interessanterweise wird die Erweiterung des Zahlbegriffs erst durch den Einfluß indisch-arabischer Kulturen angestoßen (vgl. Kapitel 2.2).

Der Aufbau des Zeitbegriffs

Der Zeitbegriff erweist sich als besonders problematisch. Dies zeigt sich schon darin, daß das Zeitkonzept in unterschiedlicher Weise definierbar ist: (α) die *astronomische Definition*: Zeit als Zahlmoment an Kreisbewegungen von Himmelskörpern (Aristoteles); (β) die *psychologische Definition*: Zeit als Abfolge psychischer Zustände (Locke); (γ) die *epistemologische Definition*: Zeit als innerer Sinn zur Erfassung sukzessiver Vorgänge (Kant) und (δ) die *thermodynamische Definition*: Zeit als Zunahme der Entropie. Darüber hinaus gibt es Positionen, die ganz auf den Zeitbegriff verzichten wollen. In jedem Fall muß die Zeit bzw. die zeitliche Entwicklung eines Prozesses immer durch eine geometrische Darstellung veranschaulicht werden. Ein weiteres Indiz für die besonderen Schwierigkeiten des Zeitkonzepts im Vergleich zum Raumkonzept ist auch darin zu sehen, daß zwar einerseits bereits mit den Schriften Euklids eine axiomatisch gut ausgearbeitete Geometrie vorliegt, aber andererseits noch Descartes die Bewegung eines Körpers als reine Ortsveränderung interpretiert und alle zeitlichen Aspekte ignoriert.¹⁶⁸

Piaget unterscheidet zwischen einer „anschaulichen Zeit“, die sich bereits auf der 2. Stufe der ontogenetischen Reifung konstituiert und die entweder die Ortsveränderung oder die Unterscheidung von „vorher“ und „nachher“ meint und einer „operativen Zeit“, die sich erst auf der 3. Stufe der ontogenetischen Reifung konstituiert und damit die Koordination von mehreren Bewegungen einschließt. In der Newtonschen Physik wird die Geschwindigkeit zirkulär definiert: Geschwindigkeit ist das Verhältnis von einem räumlichen und einem zeitlichen Intervall $v = dx/dt$. Die Zeit kann aber nur durch den Verweis auf Körper angegeben werden, der sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegen. Bemerkenswert ist, daß die Begriffe „Gleichzeitigkeit“ und „Zeitdauer“ keine primitiven Konzepte sind. Es handelt sich um abgeleitete Konstrukte, die aus Bewegungsphänomenen erschlossen werden und erst in der konkret-operationalen Phase eines Kindes auftreten. Zunächst muß der doppelte Aspekt des operativen Zeitbegriffs beachtet werden: (α) die *ordnungsstrukturierte Zeit* und (β) die *metrische Zeit*.

Es gibt keine primitive Intuition der Gleichzeitigkeit, und zwei Bewegungen sind qualitativ verschieden. Hier bedarf es einer intellektuellen Konstruktion.¹⁶⁹

Wir haben gefunden, daß der klassische Begriff der Geschwindigkeit als einer Beziehung zwischen dem räumlichen Intervall und der zeitlichen Dauer erst sehr

¹⁶⁸ Capek 1987, S. 91 – 111

¹⁶⁹ Piaget 1973, S. 82

spät [...] auftritt, nämlich im Alter von etwa 9 oder 10 Jahren.¹⁷⁰

Der einzige dem Kind zugängliche Zeitbegriff liegt somit in der Bewegung und ist mit deren räumlichen Eigenschaften identisch, die im Positionswechsel bestehen.¹⁷¹

Zur Untersuchung der Konstruktion des Zeitbegriffs analysiert Piaget eine bestimmte experimentelle Situation: eine Flüssigkeit wird stufenweise (gleiche Flüssigkeitsmenge in regelmäßigen Abständen) von einem Gefäß **A** in ein anderes Gefäß **B** abgegossen. Die beiden Gefäße haben unterschiedliche geometrische Maße. Dabei handelt es sich um zwei korrelierte Bewegungen: eine absteigende Bewegung im Gefäß **A** und eine aufsteigende Bewegung im zweiten Gefäß **B**, die unterschiedliche Geschwindigkeiten aufweisen.

- (i) **Erster Schritt:** Das Kind bekommt eine Reihe von Blättern, auf denen die leeren Gefäße als Strichzeichnungen dargestellt sind und es wird aufgefordert, nach jedem Versuchsschritt $V_1, V_2 \dots V_5$ die direkt wahrgenommenen Niveauflächen auf einem Blatt einzuzichnen. Am Ende des Versuchs liegen die Blätter $P_1, P_2 \dots P_5$ geordnet auf dem Tisch. Dieses Vorgehen stellt sicher, daß eventuelle Schwierigkeiten der folgenden Versuchsteile nicht auf Wahrnehmungsfehler zurückzuführen sind. Bereits in der prä-operationalen Phase ist das Kind in der Lage, sowohl die absteigende als auch die aufsteigende Folge von Niveauflächen korrekt wahrzunehmen und einzuzichnen.
- (ii) **Zweiter Schritt:** Die Blätter werden gemischt und das Kind wird aufgefordert, die Reihenfolge $P_1, P_2 \dots P_5$ wieder herzustellen. Hier geht es darum, daß das Kind die Reihenfolge nicht durch die direkte Wahrnehmung feststellen kann, sondern durch operatives Denken finden muß. In der prä-operationalen Phase kann das Kind die Aufgabe überhaupt nicht bewältigen, weil die Operation der Reihenbildung noch nicht verfügbar ist. Daraus folgt, daß eine Folge von Wahrnehmungen noch kein Verständnis der Folge impliziert. Zu Beginn der konkret-operationalen Phase gelingt es dem Kind zunehmend sicherer und schneller, die richtige Reihenfolge zu finden. Dieser Sachverhalt beinhaltet aber lediglich die Abfolge der Ortsveränderung der Niveauflächen.
- (iii) **Dritter Schritt:** Die Blätter werden so durchgeschnitten, daß Gefäß **A** und Gefäß **B** getrennt sind; dann werden die Teilblätter gemischt. Das Kind wird aufgefordert, die Reihenfolge $A_1, A_2 \dots A_5$ und $B_1, B_2 \dots B_5$ getrennt wieder herzustellen und die Zuordnung der beiden Reihenfolgen zu bestimmen. Hier geht es darum, daß das Kind zwei unterschiedliche Reihenfolgen (absteigend, aufsteigend) und die Zuordnung der Teilblätter durch operatives Denken feststellen soll. Im Alter von etwa 7 Jahren kann

¹⁷⁰ Piaget 1973, S. 72

¹⁷¹ Piaget 1975f, S. 27

das Kind zwar die Aufgabe des zweiten Versuchsteils korrekt lösen, scheitert aber bei den durchgeschnittenen Zeichnungen. Für das Zuordnen der Niveauflächen in den Gefäßen **A** und **B** genügt die korrekte Reihenbildung nicht, es gehört noch das Prinzip der Zuordnung dazu, d.h. die Gleichzeitigkeit, die durch die Korrelation der Doppelreihe bestimmt wird. Demzufolge verfügt das Kind in dieser Phase noch nicht über ein Verständnis der Gleichzeitigkeit.

[...] hier handelt es sich darum, zwei Bewegungen verschiedener Geschwindigkeit [...] zu koordinieren, und gerade in diesem Koordinieren besteht die operative Zeit, im Gegensatz zu der anschaulichen Zeit. [...]

Dies ist der Grund, warum die operative Zeit die Koordination der Bewegung ist und nicht nur das Ordnen einer isolierten Bewegung, denn während diese letztere durch eine einfache gegliederte Anschauung rekonstituiert werden kann, setzt das Koordinieren zweier Geschwindigkeiten die endgültige Überwindung der Anschauung [...] voraus.¹⁷²

- (iv) **Vierter Schritt:** Zuletzt werden die Teilblätter gemischt und spezielle Fragen zur Einschachtelung und zur Dauer gestellt. Hier geht es darum, daß das Kind ohne weitere Anleitung erkennt, daß es zuerst die Reihenfolgen wieder herstellen muß um dann festzustellen, daß einerseits $A_k A_m < A_k A_{m+1}$ und andererseits $A_k A_m = B_k B_m$ gilt. Bevor das Kind zu diesen Einsichten fähig ist, wird es die Zeitdauer an die Verschiebung der Niveauflächen in den Gefäßen **A** und **B** koppeln.

Mit dieser Versuchsanordnung können vier verschiedene Operationen getestet werden: (α) die *Reihenbildung*: $A_k, A_{k+1}, A_{k+2}, \dots$, (β) die *Gleichzeitigkeit*: A_k korreliert mit B_k , (γ) die *Einschachtelung*: $A_k A_m < A_k A_{m+1}$ und (δ) die *Dauer*: $A_k A_m = B_k B_m$ im Sinne gleicher Zeitintervalle.

Diese Methode nun [...] erlaubt es, eine paradoxe Tatsache herauszustellen, [...] die von vornherein zeigt, daß die zeitliche Ordnung operativer und nicht anschaulicher Natur ist: die Herstellung der nicht umkehrbaren Geschehnisfolge setzt die Umkehrbarkeit [...] des Denkens voraus, [...].¹⁷³

Die spezielle Problematik der Begriffe „Geschwindigkeit“, „Gleichzeitigkeit“ und „Zeitdauer“ demonstrieren auch Spiele mit Puppen, die sich unterschiedlich schnell bewegen. In der prä-operationalen Phase verfügt das Kind über eine unvollständige Vorstellung von *Geschwindigkeit*, die wesentlich an einen beobachtbaren Überholvorgang gekoppelt ist, d.h. der Geschwindigkeitsbegriff wird dann aufgebaut, wenn Überholvorgänge direkt beobachtet werden können.¹⁷⁴

¹⁷² Piaget 1955, S. 37f

¹⁷³ Piaget 1955, S. 18

¹⁷⁴ Piaget 1973, S. 73

- (i) **Erster Schritt:** Zwei Puppen bewegen sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf zwei nebeneinanderliegenden Bahnen. Sie starten zum selben Zeitpunkt und halten zum selben Zeitpunkt an. Das Kind, das den Überholvorgang der schnelleren Puppe direkt beobachtet, wird zugeben, daß die Puppen sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegen.
- (ii) **Zweiter Schritt:** Die beiden Puppen bewegen sich durch zwei nebeneinanderliegende Tunnel. Das Kind bemerkt, daß die beiden Tunnel unterschiedlich lang sind. Die beiden Puppen gehen zum selben Zeitpunkt in die Tunnel hinein und kommen zum selben Zeitpunkt aus den Tunneln heraus. Die Puppe im längeren Tunnel geht natürlich schneller. Dennoch wird das Kind behaupten – da es den Überholvorgang nicht beobachten kann –, daß beide Puppen sich mit derselben Geschwindigkeit bewegen, weil sie zur selben Zeit aus den Tunneln herauskommen.

In der prä-operationalen Phase verfügt das Kind über eine unvollständige Vorstellung von *Gleichzeitigkeit* und *Zeitdauer*, die wesentlich an Bewegungen gekoppelt ist, die mit gleicher Geschwindigkeit ablaufen.¹⁷⁵

- (i) **Erster Schritt:** Zwei Puppen hüpfen mit derselben Hüpf Frequenz und derselben Hüpfweite nebeneinander über den Tisch. Sie starten zum selben Zeitpunkt und sie halten zum selben Zeitpunkt an. Das Kind wird zugeben, daß die beiden Puppen gleichzeitig losgehen und gleichzeitig stehenbleiben.
- (ii) **Zweiter Schritt:** Zwei Puppen hüpfen mit derselben Hüpf Frequenz, aber unterschiedlichen Hüpfweiten nebeneinander über den Tisch. Sie starten zum selben Zeitpunkt und sie halten zum selben Zeitpunkt an. Die Puppe mit der größeren Hüpfweite geht natürlich schneller. Das jüngere Kind wird behaupten, daß die beiden Puppen zwar gleichzeitig losgehen, aber nicht gleichzeitig stehenbleiben, weil sie unterschiedlich große Strecken zurücklegen. Das etwas ältere Kind wird behaupten, daß die beiden Puppen zwar gleichzeitig losgehen und gleichzeitig stehenbleiben, aber nicht dieselbe Zeitdauer benötigen, weil sie unterschiedlich große Strecken zurücklegen.

Sobald sich Bewegungsvorgänge auf zwei qualitativ unterschiedliche Bewegungen beziehen, versteht das Kind, das sich in der prä-operationalen Phase befindet, die Begriffe „Geschwindigkeit“, „Gleichzeitigkeit“ und „Zeitdauer“ noch nicht. Das Kind begreift nicht, daß die Zeit mit gleichförmiger Geschwindigkeit abläuft. Erst in der konkret-operationalen Phase werden die Begriff vollständig aufgebaut. Die Komplexität des Zeitbegriffs faßt Piaget folgendermaßen zusammen:

¹⁷⁵ Piaget 1973, S. 81

In den Zeitbegriff gehen drei Arten von Operationen ein. Erstens: Operationen der Reihenbildung, der Ordnung der Ereignisse in der Zeit – B kommt nach A, C nach B, D nach C usw. Zweitens: Operationen, die den Operationen der Klasseninklusion entsprechen – wenn Ereignis B auf Ereignis A folgt und Ereignis C auf Ereignis B folgt, müssen wir in der Lage sein, operationell zu schließen, daß das Zeitintervall AC länger ist als das Zeitintervall AB. Dies entspricht in der Logik der Klassen dem Begriff, daß das Ganze größer ist als ein Teil, oder daß eine ganze Klasse – die Gesamtklasse – größer ist als eine Unterklasse. Und drittens: Operationen der Zeitmessung, die die Synthese der beiden anderen Arten von Operationen darstellen – ebenso wie die Operationen, die mit dem Zahlbegriff arbeiten, die Synthese aus Operationen der Ordnung und der Klassifizierung darstellen.¹⁷⁶

Nach Piaget ist die Zeit kein primitives Konzept, sondern ein abgeleitetes Konstrukt, das wesentlich einen operativen Aspekt einschließt. Ein primitives Konzept hingegen ist die Bewegung im Sinne einer Ortsveränderung, Die spezielle Problematik des Zeitbegriffs im Gegensatz zum Raumbegriff besteht darin, daß der Raum ein statisches Konzept ist, das der Visualisierung unmittelbar zugänglich ist, wohingegen die Zeit ein grundsätzlich dynamisches Konzept ist, das eine Visualisierung nur über eine Verräumlichung als lineare oder zirkuläre Linie ermöglicht. Insbesondere kann *Zeit kein intuitives Konzept* sein, weil das ganzheitliche Erfassen ein wesentliches Merkmal der Intuition ist.

[...] wir können eine geometrische Figur als Ganze wahrnehmen. [...] Zeitliche Dauer hingegen, gleichgültig wie kurz sie sein mag, können wir nicht auf einmal erfassen. Sobald wir am Ende einer Dauer sind, läßt sich ihr Anfang nicht mehr wahrnehmen. Mit anderen Worten, jede Erkenntnis der Zeit setzt eine Rekonstruktion auf seiten des Erkennenden voraus, da der Anfang jeder Dauer bereits verloren ist und wir nicht in der Zeit zurückgehen können, um ihn wiederzufinden. Erkenntnis des Raumes ist unter psychologischem Gesichtspunkt deshalb sehr viel unmittelbarer und einfacher als Erkenntnis der Zeit.¹⁷⁷

Auch im Alltagsverständnis zeigen sich Merkwürdigkeiten im Zusammenhang mit der Zeit. Hier wird die Zeit in unterschiedlicher, teils widersprüchlicher Weise organisiert. Auffällig an den nachfolgenden Beispielen ist, daß die Zeit durch *Metaphern* veranschaulicht wird, die auf die Strukturierungsformen der ersten Stufe zurückgreifen.¹⁷⁸

- (i) **Raum:** „in den vor uns liegenden Wochen ...“; „das liegt jetzt alles hinter uns ...“; „in den folgenden Wochen ...“; „in den vorhergehenden Wochen ...“. Die Zeit wird hier durch die Metapher einer Wegstrecke veranschaulicht. Bei der ersten Zeitorganisation liegt die Zukunft vor dem Sprecher und die Vergangenheit hinter ihm. Bei der zweiten Zeitorganisation liegt die Zukunft hinter dem Sprecher und die Vergangenheit vor ihm.

¹⁷⁶ Piaget 1973, S. 86

¹⁷⁷ Piaget 1973, S. 70f

¹⁷⁸ Lakoff / Johnson 1998, S. 53f

- (ii) **Objekt:** „wir haben dafür viel Zeit investiert ...“; „damit können wir Zeit einsparen ...“. Die Zeit wird hier durch die Metapher des Geldes veranschaulicht. Allerdings ist diese Metapher in besonderer Weise vom kulturellen Kontext abhängig. Sie ist relativ neu und tritt nur in den industrialisierten Gesellschaften auf.
- (iii) **Bewegung:** „die Zeit wird kommen, ...“; „die Zeit ist schon lange vorbei, ...“; „wir gehen schweren Zeiten entgegen, ...“; „die Zeit scheint stehengeblieben zu sein ...“. Bei der ersten Zeitorganisation bleibt der Mensch in Ruhe und die Zeit wird durch die Metapher eines bewegten Objektes veranschaulicht. Die zweite Zeitorganisation dreht die Bewegungsverhältnisse geradezu um. Die dritte Zeitorganisation schließt die Bewegung aus.

In der Entwicklung der Naturwissenschaft zeigt sich deutlich, daß mit den Schwierigkeiten des operativen Aspekts des Zeitbegriffs gerungen wird. In der aristotelischen Philosophie ist die Naturbeschreibung gewissermaßen statisch. Sie ist mit den Mitteln der Geometrie und der Logik aufgebaut. In der platonischen Philosophie gehört das Veränderliche überhaupt gar nicht erst zu den Erkenntnisgegenständen. Es bedarf eines tiefgreifenden Paradigmenwechsels um in der Neuzeit zu einer kinematischen und dann zu einer dynamischen Naturauffassung zu gelangen. Zum neuen Paradigma gehören (α) das systematische Experiment, (β) der operative Zeitbegriff und die technische Entwicklung der Uhr und (γ) der operative Zahlbegriff und die mathematische Definition des Funktionsbegriffs. Dieser Paradigmenwechsel vollzieht sich zwar vollständig in der Naturwissenschaft, aber nur unzureichend in der Philosophie. Am Beispiel der Transzendentalphilosophie Kants läßt sich dies nachweisen (vgl. Kapitel 2.2).

Genetische Erkenntnistheorie: Erklärungserfolge und Erklärungsprobleme

Eine angemessene Beurteilung der Erklärungsleistungen der Genetischen Erkenntnistheorie muß sowohl die Erklärungserfolge als auch die Erklärungsdefizite hervorheben: Besonders interessant ist dabei das Verhältnis der Aussagen der Genetischen Erkenntnistheorie **GE** und der Evolutionären Erkenntnistheorie **EE**.

- (i) Die **erfolgreichen Erklärungsleistungen** der **GE** sind: (α) Die **GE** begreift die ontogenetische Entwicklung des Menschen als *stufenartiger Prozeß*, der zwei miteinander korrelierte Seiten aufweist: der Aufbau der Intelligenz und die Konstruktion der Wirklichkeit. Der Mensch verfügt über die Möglichkeit, *Strukturierungsalternativen* zu entwerfen und dieses kognitive Vermögen wurzelt in den Fähigkeiten zur Sprache und Handlung. (β) Die **GE** betont die qualitativen Unterschiede zwischen den verschiedenen Entwicklungsstufen und hebt hervor, daß Wissen nicht passiv aufgenommen, sondern *aktiv konstruiert* wird. Die Leistung des erkennenden Subjekts besteht gerade nicht darin, im Erkenntnisprozeß a priori vorgegebene Strukturierungsformen einfach anzuwenden, sondern darin, Strukturierungsformen selbst aufzubauen und mit dem Erkenntnisfortschritt ständig

umzubauen. (γ) Die **GE** spezifiziert die *Strukturierungsformen* und argumentiert gegen Kant, daß diese nicht allgemein und notwendig sind, sondern auch mit dem Erkenntnisfortschritt der Wissenschaften einer ständigen Veränderung unterworfen sind. Dadurch wird die statische Betrachtungsweise von einer *dynamischen Sicht* abgelöst. Hierin liegt die besondere Stärke des entwicklungspsychologischen Ansatzes. (δ) Gemäß der **GE** konstruiert das kognitive System ein Netz von Subjekt-Objekt-Beziehungen. Diese manifestieren sich auf der Ebene der senso-motorischen Fähigkeiten, auf der Ebene der non-verbalen und verbalen Repräsentationen und auf der Ebene der Wiederholung, Kombination, Koordination und Reversibilität von Handlungen. Demgemäß sind drei Strukturierungsleistungen zu unterscheiden: die *figurative*, die *repräsentative* und die *operative* Strukturierung. Auf dem Hintergrund dieser unterschiedlichen Strukturierungsleistungen wird der *Wissensbegriff* erweitert, d.h. es wird auch nicht-propositionales, aber erwartungs- und verhaltensrelevantes Wissen einbezogen. (ε) An die Stelle der These vom hypothetischen Realismus der **EE** muß das Konstruktions- und Kohärenzpostulat der **GE** treten. Der Mensch konstruiert nach Maßgabe seiner jeweiligen ontogenetischen Reifung und kulturellen Entfaltung seine spezifische Wirklichkeit immer wieder neu und anders. Dabei werden die Strukturierungsformen nicht einfach an die Wirklichkeit herangetragen, sondern sie werden gewissermaßen „in ständiger Rücksprache mit der Wirklichkeit“ aufgebaut. (ζ) Der Konstruktion liegen die komplementären Mechanismen der Assimilation und Akkomodation zugrunde. *Assimilation* bedeutet, daß ein kognitives System die Wirklichkeit nach Maßgabe seiner bereits aufgebauten Konzepte und Strukturen interpretiert, d.h. die Assimilation beschreibt den Transfer eines alten Schemas in einen neuen Kontext. *Akkomodation* bedeutet, daß ein kognitives System seine Wissensbasis schrittweise erweitert nach Maßgabe neuer Erfahrungen. Spezifische Eigenschaften der Wirklichkeit, die sich mit den vorhandenen Strukturen nicht hinreichend verstehen lassen, erzwingen eine Neuorganisation des Denkens. Strukturen der Wirklichkeit werden extrahiert und führen zu einer Veränderung, indem sie strukturbildend wirken. Die Anpassung der subjektiven Strukturen an die objektiven Strukturen der Wirklichkeit ist im Sinne einer inneren Kohärenz der subjektiven Strukturen zu verstehen, die als epistemologische Notwendigkeit oder *Evidenz* erfahren wird. (η) Die **GE** erbringt den Nachweis, daß die grundlegenden *Strukturierungsformen* „Raum **R**“, „Bewegung **B**“, „Objekt **O**“ und „Kausalität **K**“ weder im Sinne angeborener Ideen noch im Sinne apriorischer Formen der Anschauung und Kategorien des Denkens zu verstehen sind, sondern bereits auf der ersten Stufe der ontogenetischen Reifung aufgebaut und im Laufe der Entwicklung immer strukturreicher konstituiert werden. (θ) Die **GE** betont, daß ab der zweiten Stufe der ontogenetischen Reifung das senso-motorische Wissen in verschiedenen neuen Strukturierungsformen noch einmal repräsentiert wird und zwar derart, daß das

nun neu strukturierte Wissen in einer breiten Vielfalt relevanter Kontexte flexibel genutzt werden kann. Sie klassifiziert diese neuen Strukturierungsformen nach den Begriffen „Figur **F**“, „Zahl **Z**“, „exploratives Spiel **E**“ und „Sprache **S**“. (ι) Die operative Strukturierung bezieht sich wesentlich auf die Ausführung transformierender Handlungen, die Fähigkeit, von der Konkretisierung dieser Strukturen zu abstrahieren und die Einsicht in die Strukturgesetze dieser transformierenden Handlungen. *Operationen* sind Handlungen, die wiederholt, generalisiert und kombiniert werden können. Eine *Struktur* steht unter spezifischen Strukturgesetzen, die spezielle Invarianten zulassen. Die **GE** zeigt, daß der *Zahlbegriff* und der *Zeitbegriff* komplexe Konstrukte sind, die figurative und operative Aspekte zusammenführen. Der operative Aspekt eröffnet ein neues Mathematikverständnis. (κ) Die **GE** sieht einen kontinuierlichen Übergang von der ontogenetischen Entwicklung zur kulturell bedingten Wissenschaft. Dies erlaubt eine partielle *Parallelisierung* der Entwicklungslinien; dies läßt sich explizit am Zahlbegriff und Zeitbegriff nachweisen. Die Antike ist einer kontemplativen Naturbetrachtung verpflichtet, die hauptsächlich die Frage nach dem Wesen einer Entität (Bewegung, Zahl) stellt und damit vorwiegend einer figurativen Natursicht verhaftet bleibt. Mit der analytisch orientierten Mathematik der Neuzeit wird ein völlig neues Mathematikverständnis auf den Weg gebracht, das die Frage nach den Strukturen mathematischer Operationen stellt und damit eine operative Natursicht eröffnet.

- (ii) Die *problematischen / fehlenden Erklärungsleistungen* der **GE** sind: (α) Die **GE** weist zwar darauf hin, daß die *figurative Strukturierung* bestimmten Strukturierungsgesetzen unterworfen ist, analysiert sie aber nicht. Die ist die Aufgabe der Gestaltpsychologie (vgl. Kapitel 1.4). (β) Die **GE** kann den Erkenntnisfortschritt von einer Entwicklungsstufe zur nächsten zwar adäquat beschreiben, aber die *neuronalen Mechanismen* werden im Rahmen der empirischen Neurowissenschaften und der theoretischen Neuroinformatik (vgl. Kapitel 1.5) weiter hinterfragt. Was die **GE** mit den Begriffen „Reifung“, „Übung“, „Assimilation“ und „Akkomodation“ belegt, kann die Theorie der neuronalen Netze dann mit den Begriffen „Selbstorganisation“, „Training“, „top-down-Prozesse“ und „bottom-up-Prozesse“ genauer aufklären.
- (iii) Der *Vergleich der Erklärungsleistungen* zwischen der **GE** und der **EE** zeigt: (α) Die **EE** macht keine Angaben darüber, welche *Strukturierungsformen* tatsächlich vorliegen. Die **GE** hingegen untersucht den ontogenetischen Aufbau der Strukturierungsformen und konkretisiert diese in Abhängigkeit von der jeweils erreichten Entwicklungsstufe. (β) Die **EE** kann für das Auftreten von *Strukturierungsalternativen* keine überzeugende Antwort geben. Die **GE** interpretiert die Strukturierungsalternativen im Sinne einer Abfolge von Strukturierungen. Die

extensionale, intensionale und strukturelle Anreicherung ist mit der Fähigkeit zur Sprache, zur Handlung und zur Reflexion über die Kombination, Koordination und Reversibilität der Handlungen verknüpft. Der Spielraum für den Irrtum ist wesentlich mit der figurativen Strukturierung verbunden. (γ) Die **EE** kann nicht belegen, daß die *wissenschaftliche Strukturierung* näher an der Wahrheit ist als die mesokosmische Strukturierung, zumal letztere phylogenetisch getestet ist. Die Priorität der wissenschaftlichen Strukturierung gegenüber der mesokosmischen Strukturierung bleibt daher auf dem Boden der **EE** unverständlich und sogar kontra-intuitiv. Die **GE** kann das Problem durch den Verweis auf die operative Strukturierungsleistung lösen.

Der letzte Aspekt soll noch etwas genauer erörtert werden. Piaget stellt die Frage besonders pointiert:

Wie kann man nun die mysteriöse Macht der Operationen erklären, die auf Handlungen zurückzugehen scheinen, die mit der naheliegendsten Erfahrung zusammenhängen, sich aber durch ihre gegenseitige Koordination von der empirischen Realität in beschleunigtem Maße entfernen, bis sie diese zu dominieren vermögen, ihnen sogar vorangehen und gelassen auf die Bestätigungen verzichten können, die ihnen die Realität auf dem begrenzten Gebiet des Aktuellen und des Endlichen gewähren kann?¹⁷⁹

Die Genetische Erkenntnistheorie erkennt, daß die mesokosmischen Strukturierungen hauptsächlich figurative Strukturierungsleistungen sind, wohingegen die wissenschaftlichen Strukturierungen durch operative Strukturierungsleistungen ergänzt, geprüft und korrigiert werden. Demzufolge sind die strukturellen Gemeinsamkeiten und Unterschiede dieser beiden Strukturierungsmöglichkeiten zu analysieren. Gemeinsam ist beiden, daß sie Beziehungsgeflechte angeben. Den zentralen Unterschied sieht die Genetische Erkenntnistheorie darin, daß die figurativen Strukturierungen Deformierungen unterliegen, wohingegen operativen Strukturierungen zu permanenten Akkomodationen führen. Die Deformierungen, denen die figurative Strukturierung unterliegt, werden erfolgreich von der Gestaltpsychologie aufgedeckt. Dieser Sachverhalt verdeutlicht, daß die mesokosmische Strukturierung nicht auf den Erwerb wahrer Erkenntnis angelegt ist.

Jede Wahrnehmung ist ein System von Beziehungen; kein Element wird je in einem isolierten Zustand wahrgenommen: Dies ist die fundamentale Tatsache, an der die Gestalttheorie festhält und die wir als Ausgangspunkt des Folgenden annehmen wollen, [...].

Worin besteht nun diese [...] Relativität der Wahrnehmung? Sie ist gleichzeitig sehr nahe und sehr verschieden von derjenigen der Intelligenz. Sie ist ihr sehr nahe, da auch sie ein Kompositionsprinzip bildet, verschieden wiederum, weil eine Wahrnehmungsbeziehung in der Regel die in Beziehung gesetzten Werte deformiert, im Gegensatz zu einer logischen Relation wie $A < B$, die die Werte von A und B

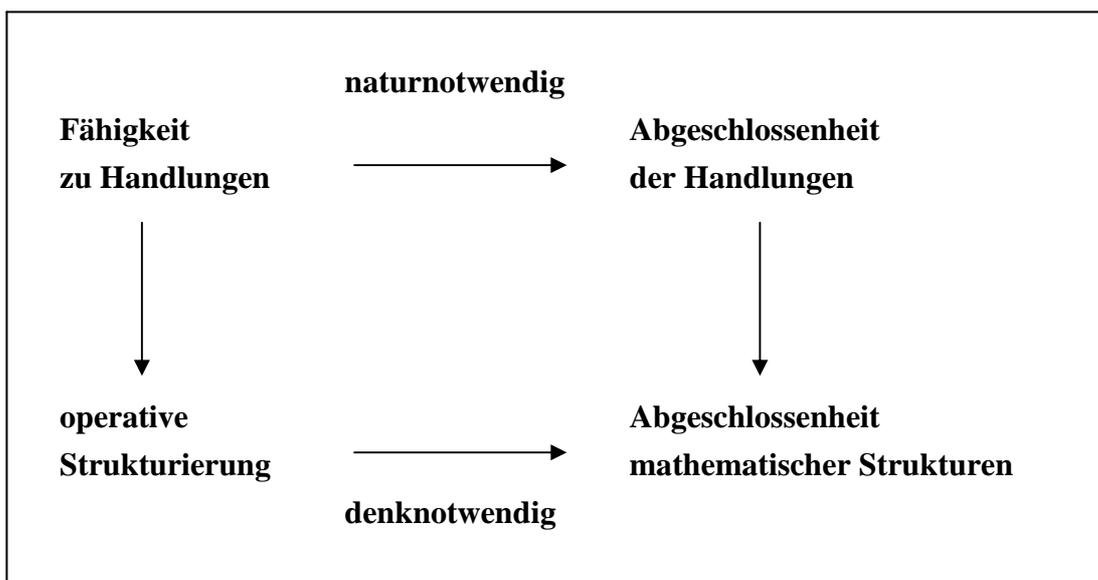
¹⁷⁹ Piaget 1975e, S. 58f

durch den Vergleich nicht verändert: [...].

Hieraus folgt unmißverständlich, daß die Wahrnehmungsbeziehungen in der Regel [...] deformierend wirken und strenggenommen den objektiven Gegebenheiten nicht adäquat sind, die sie übersetzen. Sie können also untereinander nicht nach den Gesetzen der Logik zusammengesetzt werden: Ihre Komposition folgt [...] nicht aus operativen Kombinationen.¹⁸⁰

Die logisch-mathematischen Denkstrukturen bieten das in der Evolution des Lebendigen absolut einmalige Beispiel einer permanenten Akkomodation, da sie weder durch ihre Weiterentwicklung in Frage gestellt noch durch Erfahrungsdaten widerlegt werden.¹⁸¹

Zwei Gründe sind für den defizitären Zustand der figurativen Strukturierung ausschlaggebend: (α) Die figurative Strukturierung ist *einzel*n, d.h. sie führt nicht zu abgeschlossenen Strukturen. (β) Die figurative Strukturierung ist *statisch*, d.h. die Sukzession von Sinneswahrnehmungen bleibt ohne Struktur. Beide Schwierigkeiten werden durch die Fähigkeit zur Handlung aufgelöst. Die operative Strukturierung erweitert die Erkenntnis um abgeschlossene Strukturen und um dynamische Prozesse.



Die traditionellen Erkenntnislehren berufen sich auf die Sinneswahrnehmung und die Verstandestätigkeit und betonen die Bedeutung der Sprache. Auf dieser Grundlage gewinnen sie nur ein figuratives Mathematikverständnis (vgl. Kapitel 2.2). Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie hingegen betont zusätzlich die Fähigkeit zur Handlung und anerkennt die Bedeutung der operativen Strukturierungsleistung. Auf dieser erweiterten Grundlage erhalten Experiment und operatives Mathematikverständnis eine eigenständige Rolle im Erkenntnisprozeß.

¹⁸⁰ Piaget 1975e, S. 171ff

¹⁸¹ Fetz 1988, S. 243

1.4 Gestaltpsychologie

Das Gehirn verfügt über die Fähigkeit, sensorische Informationen auszuwählen, zu verarbeiten und zu strukturieren. Diese Strukturierung ist auf mehrfache Weise möglich: (α) die schlaglichtartige, ganzheitliche, kreative, meist nicht-bewußte und ungeprüfte intuitive Strukturierung und (β) die sukzessive, immer bewußte, diskursive Strukturierung durch die Anwendung logischer und mathematischer Methoden. Die *intuitive Strukturierung* dient zuallererst dazu, die Umwelt geordnet erscheinen zu lassen, damit adäquat gehandelt werden kann. Das intuitive Strukturierungsvermögen ist überlebensnotwendig, weil nur eine strukturierte Wahrnehmung ein überlebensadäquates Handeln ermöglicht. Sie erfolgt automatisch und verzichtet auf eine bewußte, zeitintensive Überprüfung. Im Gegensatz zu den traditionellen Erkenntnislehren lehrt die Gestaltpsychologie, daß die Wahrnehmung nicht eine Komposition von einzelnen Sinneseindrücken ist, sondern die *Zergliederung des Ganzen* in „geformte Teilgebilde“. Die Wahrnehmung von Gesamtheiten ist immer primär, die Wahrnehmung der Einzelteile hingegen sekundär.

Die ursprüngliche Aufgabe unserer Sinne beim Wahrnehmen von Dingen ist *nicht*, wie Jahrhunderte hindurch bis heute von Philosophen und Psychologen gelehrt wurde: eine Masse von winzigen „einzelnen Empfindungen“ zu umfassenderen Ganzen *zusammenzufügen, sondern: die ursprüngliche Einheit des Sinnesfeldes zu sprengen*, es mit Grenzen zu durchziehen und geformte Teilgebilde daraus auszusondern. Die „*einzelnen Empfindungen*“ jener Lehre *hat es nirgends in der Welt gegeben*, [...]; sie sind *reine Gedankendinge*, auf die man kommt, wenn man sich die in unserem Sehen erreichte natürliche Unterteilung des Wahrnehmungsfeldes *ohne Rücksicht auf Gestaltgesetze* bis zum Äußersten fortgesetzt denkt.¹⁸²

Sofern ein Ganzes gegliedert ist, läßt sich an ihm *stets ein neues, bisher nicht erörtertes Gestalt-Kriterium aufweisen*: Ein und derselbe Sachverhalt hat als Teil eines Ganzen Eigenschaften, die er als Einzelinhalt nicht besitzt: Seine „*Strukturfunktion*“ oder seine „*Rolle im Ganzen*“, [...].¹⁸³

Sinneswahrnehmungen werden nicht passiv aufgenommen, sondern *aktiv* gestaltet. Hierzu gehören zuallererst die Konstanzleistungen. Dabei geht es um die Tendenz des Wahrnehmungssystems, Objekte trotz Veränderung des sensorischen Input als invariant zu erleben. Diese abstrahierenden und objektivierenden Konstanzleistungen beziehen sich auf Farb-, Größen-, Richtungs- und Formkonstanz. Dies sind *Verrechnungsmechanismen*, die es ermöglichen, Gegenständen trotz wechselnder Lichtverhältnisse dieselbe Farbe und trotz wechselnder Entfernungen dieselbe Größe zuzuschreiben. Des weiteren gelingt es, trotz Änderung der eigenen Raumposition bzw. der Raumposition von Gegenständen den Eindruck einer Änderung der Richtung bzw. Form zu vermeiden. Das Ausmaß der aktiven und gestaltenden Aspekte der Wahrnehmung ist damit jedoch noch längst nicht erschöpft. Die

¹⁸² Metzger 1975, S. 133

¹⁸³ Metzger 1986, S. 128

zentrale Frage ist dann, ob und nach welchen *Gestaltgesetzen* das Gehirn das Chaos der Wahrnehmungsdaten ordnet.

Die Gestaltpsychologie versteht Wahrnehmung als einen schöpferischen Akt, in dessen Verlauf weit mehr als nur eine bloße Aufnahme von Sinnesinformationen stattfindet.¹⁸⁴

Unsere Wahrnehmungen sind also keine direkten Aufzeichnungen der uns umgebenden Welt; sie werden vielmehr nach eigenen Regeln und Beschränkungen konstruiert, die durch die Fähigkeiten des Nervensystems auferlegt werden.¹⁸⁵

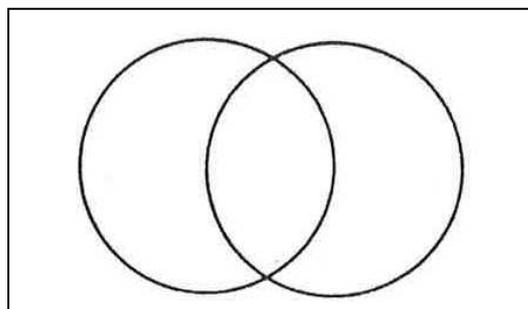
Sofern Aspekte der Sprache und der Handlung unberücksichtigt bleiben, reduziert sich der Erkenntnisprozeß auf den *figurativen Aspekt*. Jede Erkenntnis ist ein interpretierender Akt, der beeinflußt wird von bereits gemachten Erfahrungen, Erwartungen, Vorurteilen, Überzeugungen, Vorlieben etc. Als Ergebnis ist Erkenntnis eine drei-gliedrige Relation:

S strukturiert O als X

Das erkennende Subjekt **S** erkennt das zu erkennende Objekt **O** als ein, gemäß spezieller Gestaltgesetzen strukturiertes **X**. Hier soll es um folgende Aspekte der Gestaltpsychologie¹⁸⁶ gehen: (α) die *intuitive Strukturierung nach Gestaltgesetzen*, (β) *spezielle Beispiele intuitiver Strukturierung*. (γ) die *charakteristischen Merkmale der intuitiven Strukturierung* und (δ) die *Erklärungsleistung der Gestaltpsychologie*.

Die intuitive Strukturierung nach Gestaltgesetzen

Visuelle Wahrnehmungen sind immer vieldeutig; sie können prinzipiell auf mehrfache Weise strukturiert werden. Die folgende Figur läßt sich in unterschiedlicher Weise in „geformte Teilgebilde“ zergliedern; sie kann beispielsweise (α) als zwei gekreuzte Kreise, (β) als zwei sich berührende Sicheln oder (γ) als vier offene Kreisbogen gesehen werden.¹⁸⁷



Figur 1.3

¹⁸⁴ Kandel / Schwartz / Jessell 1996, S. 394

¹⁸⁵ Kandel / Schwartz / Jessell 1996, S. 376; Beispiele für Gestaltgesetze sind: Gesetz der Geschlossenheit, Gesetz der Nähe, Gesetz der Innenseite, Gesetz der Ähnlichkeit, Gesetz des Zusammenhangs etc.

¹⁸⁶ Die Gestaltpsychologie wurde von Max Wertheimer (1880 – 1943) auf den Weg gebracht und von Wolfgang Köhler (1887 – 1967) und Kurt Koffka (1886 – 1941) weitergeführt.

¹⁸⁷ Metzger 1986, S. 163

Trotz der verschiedenen Strukturierungsmöglichkeiten wird die Figur zuallererst als zwei gekreuzte Kreise wahrgenommen. Der Grund liegt darin, daß die Wahrnehmung nicht nur bestimmten Gestaltgesetzen genügt, sondern daß diese Gestaltgesetze eine *Hierarchie* bilden, denen alle Menschen in ähnlicher Weise unterliegen. Die Gestaltgesetze sind constraint-Bedingungen; sie schränken die Beliebigkeit der Strukturierungsmöglichkeiten ein.

Wäre die Gliederung des Gesehenen gar dem *Zufall* überlassen, [...]; *eine gegenseitige Verständigung wäre überhaupt nicht möglich. Es muß also ursprüngliche und für alle Menschen ungefähr in gleicher Weise gültige Gesetze* geben, nach denen alles Gesehene sich gliedert. [...]

Trotzdem ist es *falsch* zu meinen, die „natürliche“ Gliederung sei einfach von der Verteilung der Reize im Auge *erzwungen*; denn, wie wir fanden, ist die Reizverteilung, auch wo man sie nicht vermutet, außerordentlich *vieldeutig*. Unterzieht man die Verhältnisse an der entscheidenden Stelle, an der gereizten Sinnesfläche im Auge, einer genaueren Prüfung, so ergibt sich sogar, daß *von der Reizverteilung aus* die „natürliche“ Gliederung *auch nicht den leisesten Vorzug* vor anderen Gliederungen besitzt. Es müssen demnach *Gesetze des Sehens selbst* sein, nach denen alles Gesehene sich gliedert und daher auch seine Form erhält.¹⁸⁸

Unter den unzähligen in jedem Augenblick bestehenden Möglichkeiten, das Gesehene zu gliedern, suchen *die Augen schon selbst* die „beste“, „ordentlichste“ für uns aus und *legen sie uns fertig vor*; wir haben meist keine Wahl mehr.¹⁸⁹

Das kindliche Sehen (und Wahrnehmen überhaupt) kennt nur eine viel *einfachere Gliederungshierarchie* als das Sehen Erwachsener.¹⁹⁰

Die Gestaltpsychologie bestätigt die Ergebnisse der Evolutionären Erkenntnistheorie und der Genetischen Erkenntnistheorie und unterstreicht (α) den *adaptionistischen Aspekt*, insofern die Strukturierung dem überlebensadäquaten Handeln und der Kommunikation in der Gemeinschaft dient, (β) den *ontogenetischen Aspekt*, demzufolge in der Entwicklung des Kindes immer komplexere Strukturen aufgebaut werden und (γ) den *konstruktivistischen Aspekt*, insofern das erkennende Subjekt aus der Vieldeutigkeit des sensorischen Input eine mögliche Strukturierung gemäß den Gestaltgesetzen automatisch auswählt.

Sofern dynamische Aspekte berücksichtigt werden, rücken Bewegungsphänomene in das Zentrum der Aufmerksamkeit. McCloskey hat die Irrwege der Intuition in der Physik am Beispiel von Bewegungsphänomenen untersucht.

Die Diskrepanz zwischen dem spontanen intuitiven Urteil vieler Menschen und der physikalischen Wirklichkeit mag etwas überraschen. Man erwartet eigentlich, daß der Mensch [...] im Alltag genügend Gelegenheit hat, sich ein genaues Bild über die Bewegungen von festen Körpern zu machen. [...]

Das scheint aber nicht der Fall zu sein. [...] Es sieht sogar so aus, als habe der Irrtum

¹⁸⁸ Metzger 1975, S. 66f

¹⁸⁹ Metzger 1975, S. 113

¹⁹⁰ Metzger 1986, S. 387

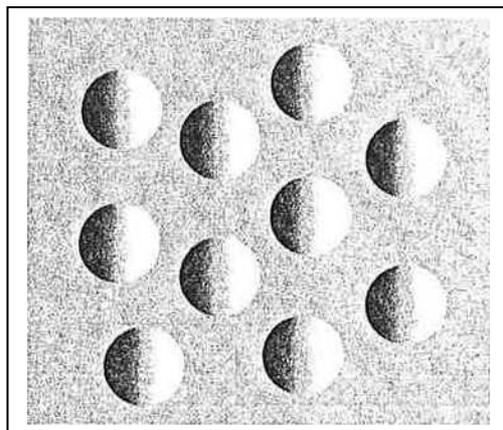
System – die Mißverständnisse scheinen nämlich auf einer intuitiven Bewegungs-„Theorie“ zu beruhen, die fundamentalen Prinzipien der Newtonschen Mechanik widerspricht. Diese intuitive Auffassung von der Mechanik ähnelt auf merkwürdige Weise einer Theorie, die in den drei Jahrhunderten vor Newton von vielen Philosophen vertreten wurde.¹⁹¹

McCloskey vermutet, daß die Fehleinschätzungen teilweise mit optischen Täuschungen zusammenhängen.

Spezielle Beispiele intuitiver Strukturierung

An einigen besonders instruktiven Beispielen der visuellen Sinneswahrnehmung läßt sich die immanente Strukturierung verdeutlichen und die *charakteristischen Merkmale* der intuitiven Strukturierung aufzeigen. Die Strukturierung wird (α) durch zuvor gemachte Erfahrungen aber auch (β) durch erfahrungsunabhängige Gestaltgesetze bestimmt. Es ist die Aufgabe der Gestaltpsychologie und der Gehirnforschung, Auskünfte darüber zu geben, wie diese Gestaltgesetze genau beschaffen sind und nach welchen Mechanismen sie funktionieren. Einige dieser Sachverhalte – Invarianz, Prägnanz, Gestalt-switch, Kontextabhängigkeit etc. – sind besonders hervorzuheben, da sie eine nicht zu unterschätzende Wirksamkeit in der Entwicklung der Naturwissenschaft haben.¹⁹²

(i) **Tiefeneindruck durch Schattierung:** Beobachtungen mit schattierten Kreisen, die einen Tiefeneindruck erzeugen, lassen erkennen, daß der räumlichen Strukturierung der Sinneswahrnehmung immer die Annahme einer Lichtquelle zugrundeliegt. Ist der schattierte Kreis rechts hell und links dunkel, dann wird der Kreis als Erhebung gedeutet, falls die Lichtquelle rechtsseitig angenommen wird; derselbe Kreis wird aber als Vertiefung gedeutet, wenn die Lichtquelle linksseitig angenommen wird. In Gedanken kann die Lichtquelle verschoben werden, um so das Umklappen der räumlichen Figur zu erreichen.¹⁹³



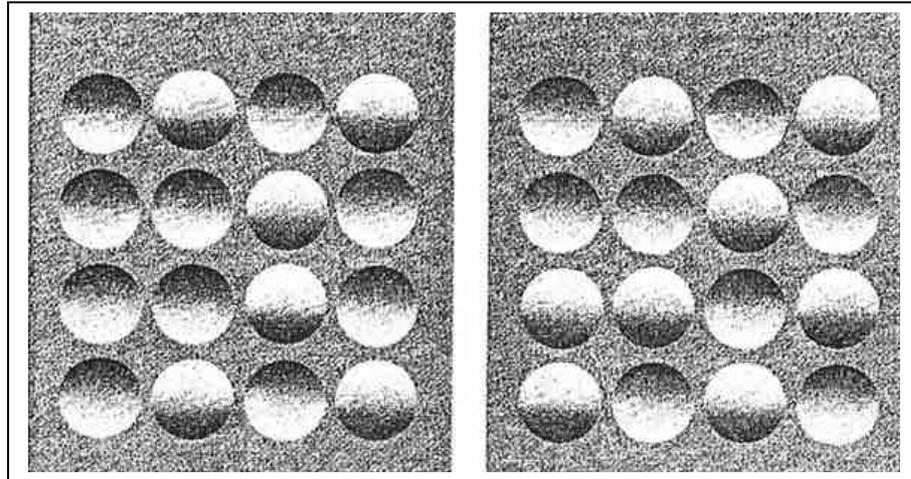
Figur 1.4

¹⁹¹ McCloskey 1983, S. 88

¹⁹² Analoge Strukturierungsgesetze gelten auch für alle anderen Sinneswahrnehmungen. Sie sind für die Entwicklung der Naturwissenschaften allerdings eher belanglos und können daher hier unberücksichtigt bleiben.

¹⁹³ Ramachandran 1992, S. 148

Bemerkenswert daran ist, daß ein analoges Umklappen nur sehr schwer möglich ist, wenn der schattierte Kreis oben hell und unten dunkel ist. In diesem Fall wird immer angenommen, daß die Lichtquelle oben ist. Dies bedeutet: (α) Die intuitive Strukturierung macht nicht-bewußte Annahmen, um *fehlende Informationen* zu ergänzen und damit die Strukturierung sinnvoll zu machen. (β) Die intuitive Strukturierung ist an ein Strukturierungsvermögen gebunden, das geprägt ist durch die *Erfahrung* (Sonne als Lichtquelle: rechts, links, oben, aber nie unten). Diese beiden sehr wichtigen Aspekte werden von der Gehirnforschung bestätigt.¹⁹⁴



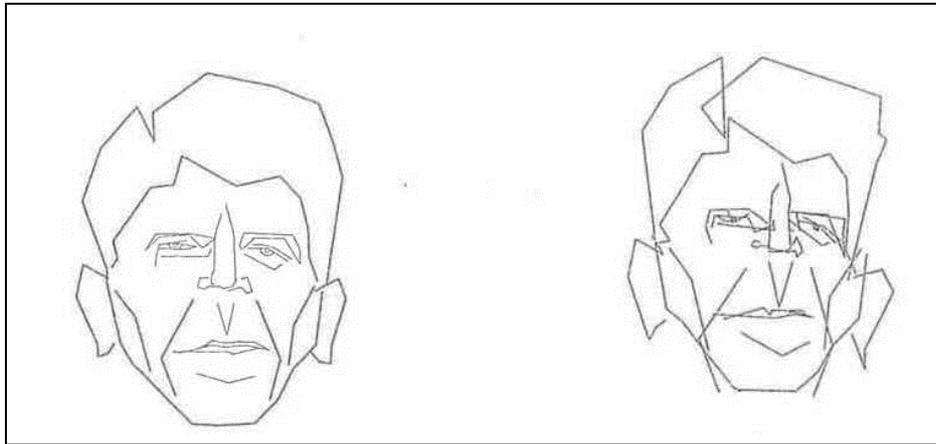
Figur 1.5

(ii) **Karikaturen:**¹⁹⁵ Eine weitere Einsicht in das intuitive Strukturierungsvermögen ergibt sich aus der Analyse von Karikaturen. Grundlegend für das Erkennen von Karikaturen ist zunächst, daß das kognitive System die Gesamtheit der Merkmale intuitiv beurteilt und einteilt in *essentielle* und nicht-essentielle Merkmale. Des Weiteren ist dann die kognitive Fähigkeit erforderlich, an Hand dieser wenigen, als essentiell eingestufte Merkmale bereits eine sinnvolle Strukturierung vornehmen zu können. Unabdingbar für das Erkennen von

¹⁹⁴ Rock 1985, S. 63; Ramachandran 1992, S. 153

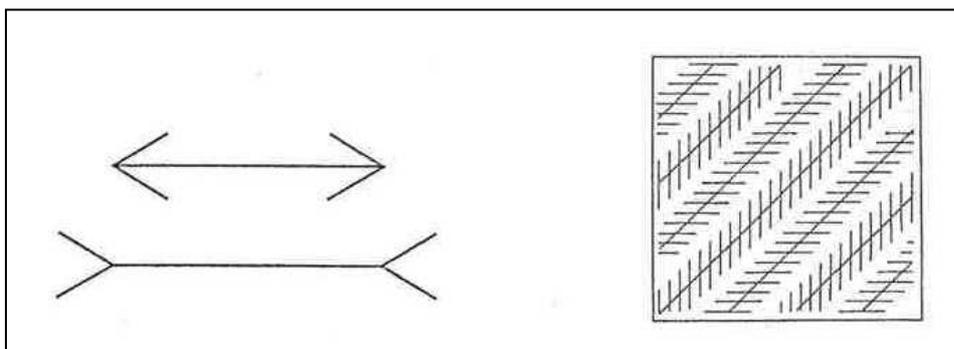
¹⁹⁵ Einen interessanten Einblick in das Wesen von Karikaturen gibt Churchland. Gesichter werden im Gehirn äußerst effizient durch Vektoren kodiert. Charakteristische Merkmale – Augenabstand, Nasengröße, Lippenfülle etc. –, die für die Gesichtserkennung eine entscheidende Rolle spielen, werden in einem n -dimensionalen Merkmalsraum kodiert. Den Zusammenhang zwischen dem Durchschnittsgesicht (Prototyp), dem tatsächlichen Gesicht (Original) und der übersteigerten Repräsentation (Karikatur) läßt sich mit den Mitteln der Vektordarstellung konstruieren. (α) Der Prototyp wird durch Mittelwerte – durchschnittlicher Augenabstand, durchschnittliche Nasengröße, durchschnittliche Lippenfülle etc. – über sehr viele beliebige Gesichter bestimmt. Der Prototyp entspricht dann einem bestimmten Vektor \mathbf{P} im n -dimensionalen Merkmalsraum. (β) Das tatsächliche Gesicht – tatsächlicher Augenabstand, tatsächliche Nasengröße, tatsächliche Lippenfülle etc. – wird erstellt. Das tatsächliche Gesicht entspricht dann einem bestimmten anderen Vektor \mathbf{O} im n -dimensionalen Merkmalsraum. (γ) Die Verlängerung der Verbindungslinie zwischen den Endpunkten der Vektoren \mathbf{P} und \mathbf{O} markiert die möglichen Endpunkte der Vektoren $\mathbf{K}_1, \mathbf{K}_2, \mathbf{K}_3 \dots$ die – je nach Abstand zu \mathbf{O} – mehr oder weniger pointierte Karikaturen liefern. Verblüffend ist, daß Karikaturen meist besser zu identifizieren sind als Originale. Dies liegt daran, daß die Karikaturen weiter entfernt sind vom Durchschnittsgesicht und die charakteristischen Merkmale deutlicher hervorheben (Churchland 2001, S. 32 – 41).

Karikaturen ist natürlich, daß das, der Karikatur zugrundeliegende Original bereits bekannt und gedanklich verfügbar ist. Die Frage ist dann, nach welchen Kriterien das Gehirn die Einteilung der Merkmale in essentiell und nicht-essentiell vornimmt. Diese Frage ist ein zentrales, aber noch ungelöstes Problem der Gehirnforschung.



Figur 1.6

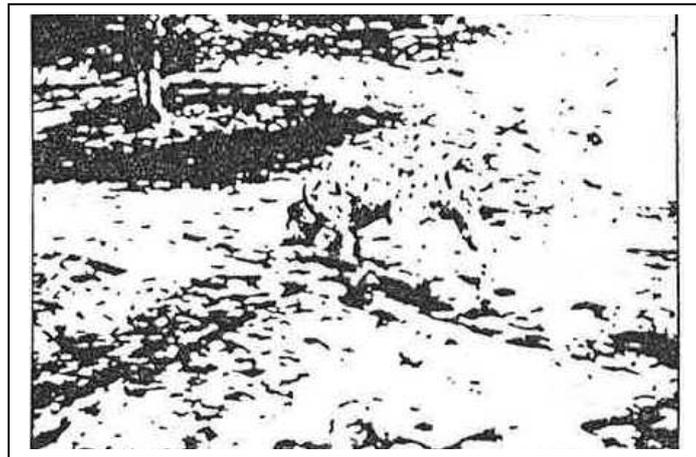
(iii) Sinnestäuschungen: Es gibt optische Täuschungen, die in der Beschaffenheit des Auges ihre Ursache haben. Darüber hinaus ist es häufig die geometrische Strukturierung des Gehirns, die einer Täuschung unterliegt. Bemerkenswert daran ist, daß explizites Wissen keinen Einfluß auf den Wahrnehmungsprozeß hat, d.h. die Täuschung verschwindet nicht, obwohl sie als Täuschung entlarvt ist. Die intuitive Strukturierung stellt sich *automatisch* ein; sie kann demnach nicht „belehrt“ werden. Die prinzipielle Fehleranfälligkeit der intuitiven Strukturierung läßt sich hier besonders eindrucksvoll demonstrieren. Bekannte Beispiele sind die Müller-Lyer-Täuschung (links) und die Zöllner-Täuschung (rechts).¹⁹⁶



Figur 1.7

¹⁹⁶ Kandel / Schwartz / Jessell 1996, S. 397; Metzger 1975, S. 177; Spezielle Sinnestäuschungen werden nur dann ausgebildet, wenn entsprechende Erfahrungen vorliegen. Die Zulus, die eine Kreis-Kultur (runde Hütten, runde Dächer, runde Türen etc.) haben, sind wenig vertraut mit rechten Winkeln und parallelen Linien. Daher unterliegen sie nur geringfügig den Sinnestäuschungen, sofern diese mit geraden Linien zu tun haben (vgl. Gregory 1966, S. 161f).

(iv) **Belehrung der intuitiven Strukturierung:** Im Zusammenhang mit den Sinnestäuschungen ist festzustellen, daß die intuitive Strukturierung nicht „belehrt“ werden kann. Dies gilt allerdings nur unter einer wesentlichen Einschränkung: Die Strukturierung des sensorischen Input ist sinnvoll. Dann ist keine Belehrung möglich. Ist die Strukturierung hingegen nicht sinnvoll, dann findet automatisch eine *Belehrung* statt. Am folgenden Beispiel soll der Sachverhalt dargestellt werden. Auf einem schwarz-weiß-Bild ist zunächst eine Ansammlung von schwarzen und weißen Flecken zu sehen, die nach aufmerksamer Betrachtung schließlich einen Dalmatiner in einem Birkenwald erkennen lassen.



Figur 1.8

Bemerkenswert sind die einzelnen Schritte, die zum Erkennen des Dalmatiners führen und die als Belehrung der intuitiven Strukturierung interpretiert werden können. (α) Der sensorische Input wird intuitiv strukturiert und die vorgeschlagene Hypothese H_1 wird mit dem Input verglichen. Ist die Übereinstimmung nicht zufriedenstellend, dann wird die Hypothese H_1 zurückgewiesen und intuitiv eine neue Hypothese H_2 vorgeschlagen. (β) Dieses *Ping-Pong-Prinzip* wird sich solange wiederholen, bis die Übereinstimmung von H_n mit dem Input zufriedenstellend ausfällt, d.h. bis der sensorische Input sinnvoll erscheint. Dies beschreibt die *Lernphase* in Bezug auf den Input. Wird der sensorische Input zu einem etwas späteren Zeitpunkt erneut gegeben, dann wird sofort die intuitive Hypothese H_n vorgeschlagen. Dies beschreibt die *Reproduktionsphase* in Bezug auf den Input. Bei erneuter Präsentation des Input gelingt es gerade nicht, die Hypothese H_n *nicht* sofort vorzuschlagen.

(v) **Figur-Hintergrund-Gegensatz:** Der Gegensatz von Figur und Hintergrund illustriert den Sachverhalt, daß immer ein Teil des Bildes als Figur ausgewählt wird. Damit wird die *Aufmerksamkeit* auf diesen Teil fokussiert, während alles andere in den Hintergrund tritt und unbeachtet bleibt. Die Figur wird dabei als *vor* dem Hintergrund befindlich wahrgenommen. Bekanntes Beispiel ist der Becher von Rubin, der auch als zwei, einander zugewandte Gesichter gesehen werden kann. Vasarely hat in seiner künstlerischen Darstellung zweier Liebenden, die sich umarmen, eine sehr ästhetische Variante des Figur-Hintergrund-

Gegensatzes zur Geltung gebracht. Wichtig wird der Figur-Hintergrund-Gegensatz im Zusammenhang mit den Aufmerksamkeits-theorien in der Gehirnforschung.¹⁹⁷



Figur 1.9

(vi) *Gestalt-switch*: Die Umklappfiguren verdeutlichen besonders eindringlich, daß die Strukturierung eine geirneigene Zutat im Wahrnehmungsprozeß ist und daß mehrere Strukturierungsmöglichkeiten bestehen. Uneindeutige Figuren werden einer *Disambiguierung* unterworfen, d.h. das Gehirn entscheidet sich für jeweils eine der Möglichkeiten. Es kommen sukzessiv unterschiedliche, aber gleichberechtigte Interpretationen zustande. Diese Umklappfiguren werden als *multi-stabile* Figuren bezeichnet. Die „Gattiin-Schwiegermutter-Figur“ zeigt den wichtigen Sachverhalt, daß die einzelnen Teile der Figur beim Gestalt-switch ihre spezifische Rolle wechseln können. Das Kinn, das Ohr und die Halskette der jungen Frau werden zur Nase, zum Auge und zum Mund der alten Frau.¹⁹⁸

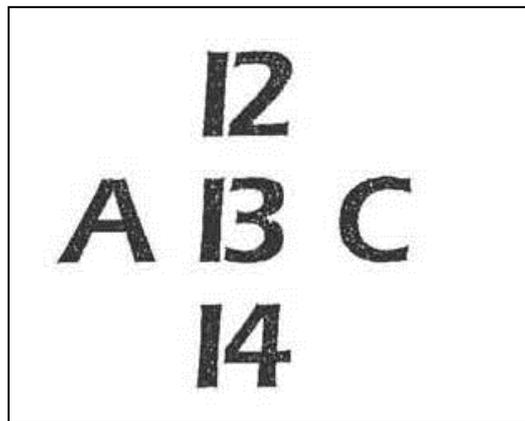


Figur 1.10

¹⁹⁷ Kandel / Schwartz / Jessell 1996, S. 396; Singer 2002

¹⁹⁸ Kebeck 1994, S. 170

(vii) **Kontextabhängigkeit:** Die Bedeutungszuschreibung hängt eng mit dem Kontext zusammen, in dem eine Sinneswahrnehmung scheinbar steht. Im Erkenntnisprozeß ist insbesondere dann *Kontextinformation* erforderlich, wenn Zweideutigkeiten in multi-stabilen Figuren eliminiert werden müssen. Das nachstehende Beispiel demonstriert diesen Sachverhalt: Wird die horizontale Reihe beachtet, dann wird sie als **A, B, C** gelesen; wird nur die vertikale Reihe beachtet, dann wird sie als **12, 13, 14** gelesen. Je nach Kontext wird demnach die mittlere Figur als Buchstabe **B** oder als Zahl **13** interpretiert. Die Gründe für die Kontextabhängigkeit der intuitiven Strukturierung klärt die Gehirnforschung. Insbesondere wird dann klar, daß grundsätzlich jeder sensorische Input im Kontext gedeutet wird und nicht nur Zweideutigkeiten.¹⁹⁹



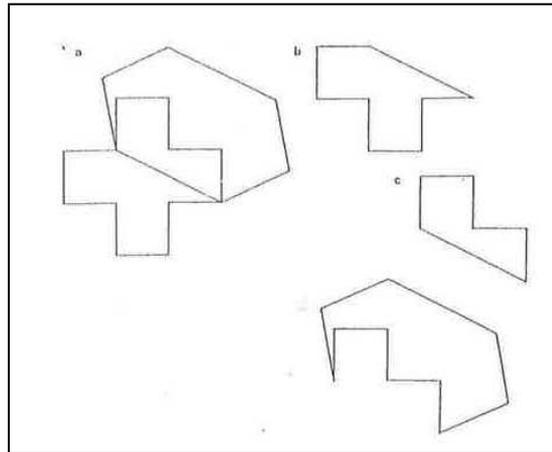
Figur 1.11

(viii) **„Gute Gestalt“:** Wenn eine Figur eine Strukturierung in einfache, symmetrische Teilfiguren zuläßt, dann setzen sich diese „guten Gestalten“ durch. Im folgenden Beispiel wird die linke Figur als Balkenkreuz und Sechseck wahrgenommen, nicht aber als drei „mißgebildete Gestalten“. Von den zahlreichen Strukturierungsmöglichkeiten, die eine Figur bietet, wird intuitiv diejenige Möglichkeit ausgewählt, welche die „beste Gestalt“ ergibt. Diese Tendenz des Wahrnehmungssystems, den sensorischen Input möglichst einfach zu strukturieren, wird mit dem Begriff „Prägnanz“²⁰⁰ belegt. Anstrengungen, die Figur weniger einfach und symmetrisch zu erkennen, stoßen auf einen fast unüberwindbaren Widerstand. Dies verdeutlicht, daß das Gehirn mit einem *axiologischen System* ausgestattet ist, das aber keineswegs durch vorangegangene Erfahrungen bestimmt wird. Die positive Bewertung der „guten Gestalten“ ist mit einem ästhetischen Genuß verknüpft, der auch in den Naturwissenschaften eine bemerkenswerte Rolle spielt.²⁰¹

¹⁹⁹ Hoffmann 1993, S. 133

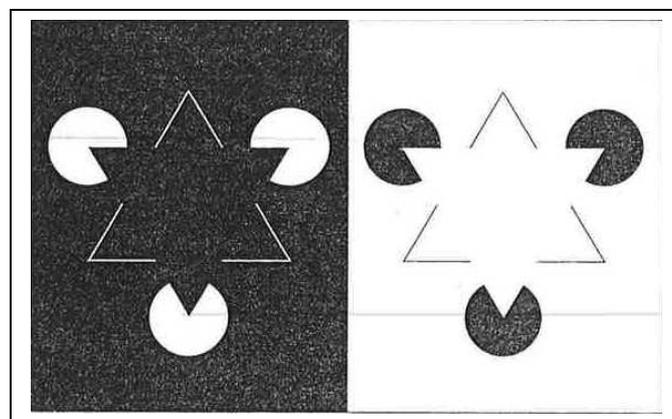
²⁰⁰ Das *Prägnanzprinzip* spielt in der Gestaltpsychologie eine problematische Doppelrolle. Einerseits handelt es sich um das zentrale Grundkonzept überhaupt, andererseits ist es die vielkritisierte Schwachstelle – und dies deshalb, weil der Begriff „Prägnanz“ weder allgemein und klar, noch eindeutig und zirkelfrei definiert ist (Hüppe 1984, S. 18f). Soll das Prägnanzkonzept für die Naturwissenschaft fruchtbar gemacht werden, dann sind hauptsächlich quantitative Präzisierungen mit den Mitteln der Informationstheorie gefragt (Hüppe 1984, S. 32ff).

²⁰¹ Metzger 1986, S. 332



Figur 1.12

(ix) „**Virtuelle Figuren**“: Die amodalen Figuren von Kanizsa täuschen Dreiecke vor, obwohl die Konturen nur virtuell sind. Die Umrisse des weißen Dreiecks (links) und des schwarzen Dreiecks (rechts) entstehen durch illusionäre, also in Wirklichkeit gar nicht in der Abbildung vorhandene Konturen, die durch das Gehirn hinzugefügt werden. Die „beste Gestalt“ wird somit auch dann angestrebt, wenn Teile ergänzt werden müssen, die einsehbar gar nicht existieren und für eine sinnvolle Strukturierung auch nicht zwingend erforderlich wären. Dieser Sachverhalt unterstreicht den *konstruktivistischen Aspekt* der Erkenntnis und schränkt die Möglichkeiten einer realistischen Deutung erheblich ein.²⁰²

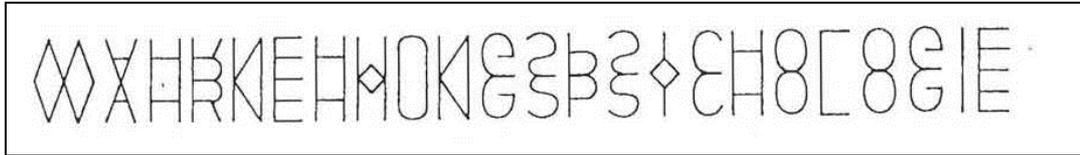


Figur 1.13

(x) **Symmetrien**: Figuren, die nur näherungsweise eine „gute Gestalt“ haben, werden meist entsprechend korrigiert bis sie diesem wirksamen Gestaltgesetz genügen. (α) Geringfügige Abweichungen von den Hauptraumrichtungen (senkrecht, waagrecht, geradeaus) werden ignoriert. Geringfügige Abweichungen von der Kreisform werden nicht als Ellipsen, sondern als perspektivisch verzerrte Kreise gedeutet. Geringfügige Abweichungen vom rechten

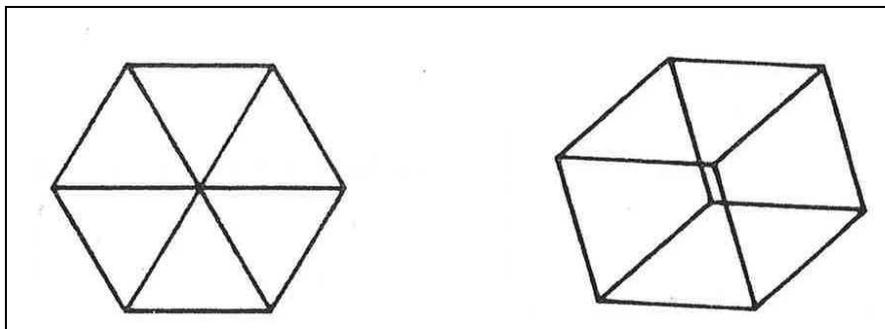
²⁰² Kandel / Schwartz / Jessell 1996, S. 398

Winkel werden nicht als schiefe Winkel, sondern als perspektivisch verzerrte rechte Winkel interpretiert. (β) Die visuelle Wahrnehmung spricht so stark auf die Symmetrie der Formen an, daß die erlernte – hier gespiegelte – Schrift kaum mehr zu lesen ist.²⁰³



Figur 1.14

(γ) Die starke Dominanz der Symmetrie zeigt sich auch im Vergleich der folgenden Figuren. Die rechte Figur wird als zwei-dimensionale Darstellung einer *drei-dimensionalen Figur* (Würfel) gedeutet. Die linke Figur hingegen wird als Darstellung einer *zwei-dimensionalen Figur* gesehen, obwohl auch hier eine Deutung als zwei-dimensionale Darstellung einer drei-dimensionalen Figur (Würfel) möglich wäre. Die völlige Symmetrie der Figur erschwert offensichtlich eine drei-dimensionale Strukturierung. Eine drei-dimensionale Interpretation einer Figur wird nur dann gewählt, wenn die dabei wahrgenommene Figur prägnanter erscheint als die zwei-dimensionale Interpretation.²⁰⁴



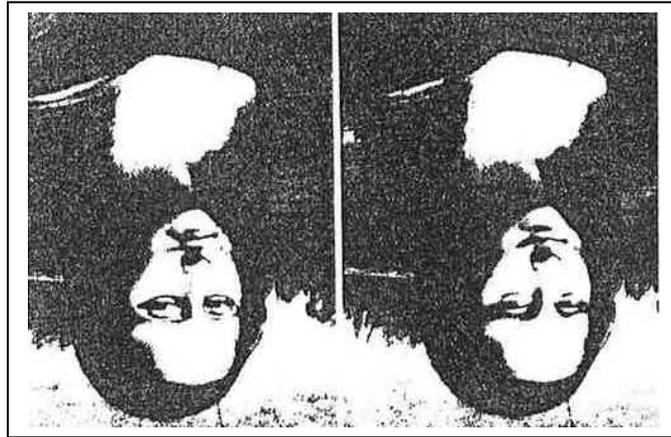
Figur 1.15

(xi) **Verzerrte Bilder:** Die Wahrnehmung von *Ähnlichkeiten* spielen eine grundlegende Rolle. Wie sehr die Wahrnehmung von Ähnlichkeiten und Unterschieden aber von den bereits erworbenen Erfahrungen abhängt, läßt das folgende Beispiel erkennen. Die Bilder scheinen sehr ähnlich zu sein, solange die beiden Gesichter in der ungewohnten Kopf-über-Position verglichen werden. Werden die Bilder jedoch umgedreht, dann kommen die frappierenden Unterschiede deutlich zum Vorschein.²⁰⁵

²⁰³ Metzger 1986, S. 336

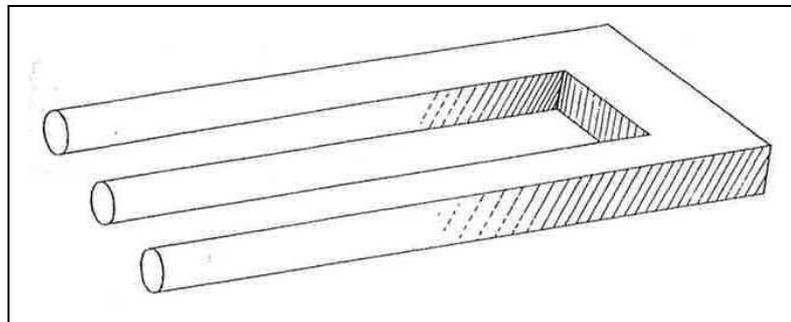
²⁰⁴ Rock 1985, S. 72; Metzger 1986, S. 340

²⁰⁵ Kandel / Schwartz / Jessell 1996, S. 408



Figur 1.16

(xii) **Unmögliche Bilder:** Unmögliche Bilder sind drei-dimensionale Figuren, die als Projektionen auf den zwei-dimensionalen Raum gezeichnet werden, obwohl sie als drei-dimensionale Figuren nicht existieren können. Hier gelingt die Strukturierung nur *partiell*, aber nie vollständig. Zahlreiche unmögliche Bilder hat Escher gezeichnet. Das folgende Beispiel kann als drei Röhren (linke Hälfte) oder als zwei verbundene Balken (rechte Hälfte) erkannt werden. Das Unbehagen, das unmögliche Bilder hervorrufen, verdeutlicht das ausbleibende *Evidenzerlebnis*.²⁰⁶



Figur 1.17

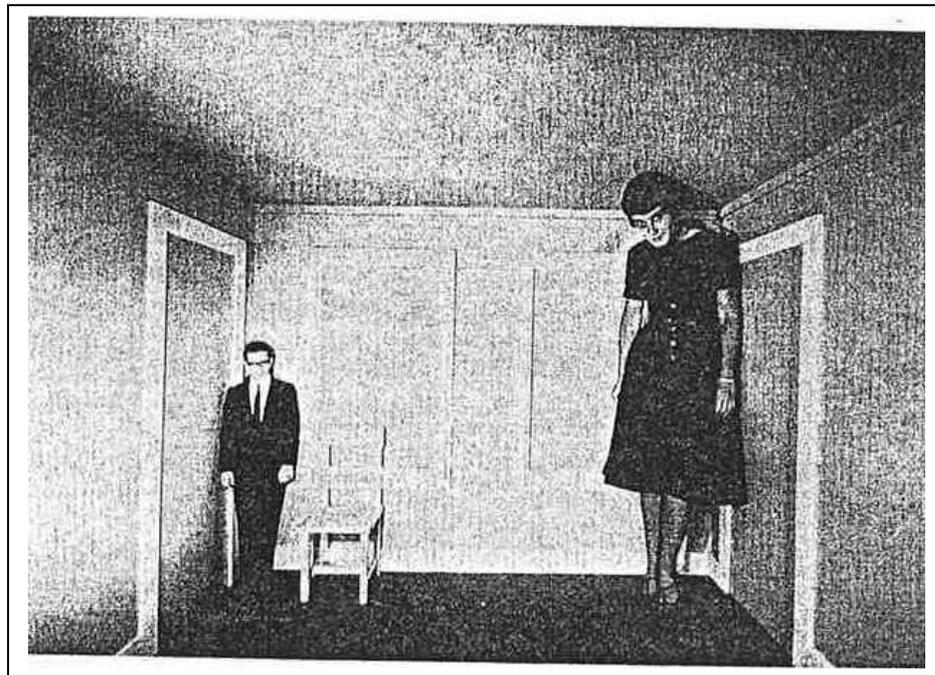
(xiii) **Erfahrungswidrige Bilder:** Gestaltgesetze sind offensichtlich auch erfahrungsunabhängig wirksam. Bemerkenswerterweise kann das Gehirn Strukturierungen vornehmen, die hochgradig *erfahrungswidrige Konsequenzen* nach sich ziehen. Berühmtes Beispiel ist das Zimmer von Ames, in dem zwei Personen ihre Plätze tauschen und dabei scheinbar gewaltige Größenveränderungen erleiden. Der Beobachter, der mit einem Auge durch eine kleine Öffnung in den Innenraum blickt, glaubt einen rechtwinkligen Raum zu erkennen, obwohl der Raum objektiv schiefwinklig ist. Auch wenn der Beobachter über die wahren Verhältnisse informiert wird, gelingt es ihm nicht, den Strukturierungsfehler

²⁰⁶ Gregory 1966, S. 235

aufzulösen. Demzufolge steht es ihm durchaus nicht frei, den Raum schiefwinklig wahrzunehmen und dabei die Größe der Personen konstant zu lassen.

Nebenbei beweist dieses stärkste aller erfahrungswidrigen Phänomene mit größter Sicherheit, daß die Tendenz zur Regelmäßigkeit im Sinn der Rechtwinkligkeit eine präempirische Eigentümlichkeit der Arbeitsweise unseres Wahrnehmungssystems ist.²⁰⁷

Die prinzipielle *Fehleranfälligkeit* der intuitiven Strukturierung und die hierarchische Ordnung der Gestaltgesetze kann hier besonders eindrucksvoll demonstriert werden.²⁰⁸



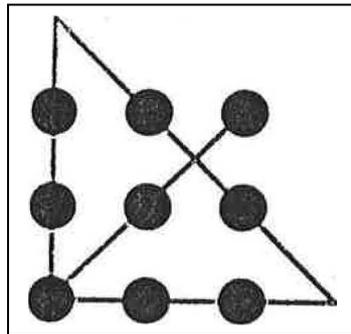
Figur 1.18

(xiv) Nicht-bewußte und unausgesprochene Annahmen: Bei der Suche nach Lösungen spielen *unausgesprochene Annahmen* mitunter die Rolle von constraint-Bedingungen. In der folgenden Aufgabe sind **3 x 3** Punkte durch vier gerade Striche zu verbinden, ohne dabei den Bleistift vom Papier abzuheben. Die Aufgabe läßt sich lösen, indem die Kontur der Figur überschritten wird. Häufig wird die Lösung deshalb nicht gefunden, weil fälschlicherweise – nicht-bewußt und unausgesprochen – angenommen wird, daß dies nicht erlaubt sei. Wird diese unausgesprochene Annahme aufgegeben, nimmt das Verständnis des Problems plötzlich eine ganz andere Struktur an und die Lösung ist augenscheinlich. Strukturell ähnliche Probleme können auch in der Naturbeschreibung auftreten. Auch hier werden häufig nicht-

²⁰⁷ Metzger 1986, S. 178

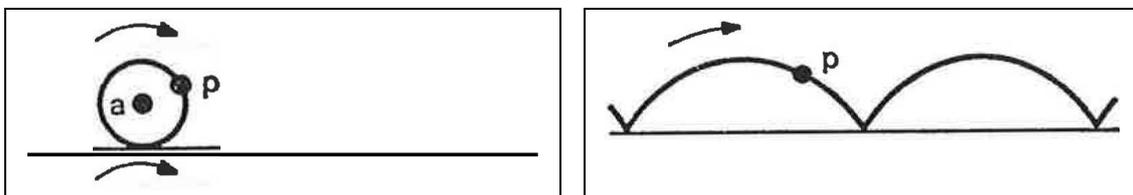
²⁰⁸ Metzger 1975, S. 242; Hier wäre allerdings kritisch nachzufragen, ob Zulus, die eine Kreis-Kultur haben und daher wenig vertraut sind mit rechten Winkeln und parallelen Linien, andere Erfahrungen mit dem *Zimmer von Ames* machen würden. Dies würde dann den scheinbar apriorischen Charakter dieser speziellen figurativen Strukturierung infrage stellen.

bewußte und unausgesprochene Annahmen gemacht, die den Blick auf eine mögliche Lösung verstellen.²⁰⁹



Figur 1.19

(*xv*) **Bezugssysteme:** Für die Naturwissenschaft sind Bewegungsphänomene grundlegend. Diese werden immer auf dem Hintergrund eines nicht-bewußt angenommenen Bezugssystems wahrgenommen. Dabei werden bestimmte Anordnungen bevorzugt als Bezugssystem aufgefaßt und Gegenstände in dieses eingeordnet. Besonders eindrucksvoll läßt sich die Rolle des Bezugssystems illustrieren, wenn ein Wechsel des Bezugssystems auftritt. Als Beispiel dient ein rollendes Rad auf einer ebenen Fläche. Wird das Experiment in einem verdunkelten Raum durchgeführt, wobei nur ein Punkt auf dem Radumfang leuchtet, dann ist eine zykloide Bahn (feste Grundlinie als Bezugssystem) zu sehen. Wird die Achse ebenfalls durch einen leuchtenden Punkt sichtbar gemacht, dann ist eine kreisförmige Bahn (bewegter Achsenpunkt als Bezugssystem) zu sehen.²¹⁰



Figur 1.20

Ein weiteres wichtiges Beispiel ist der freie Fall eines Gegenstandes. Die Frage ist: Wie sieht die Bewegungsbahn eines Objekts aus, das von einem bewegten Träger fällt? In Computer-Simulationen werden Studenten Fallversuche vorgeführt und ihre intuitiv gegebenen Antworten weisen häufig eine überraschende Diskrepanz zur physikalischen Wirklichkeit auf. McCloskey vermutet die Ursache in optischen Täuschungen. Bleibt in der Computer-Simulation der bewegte Träger sichtbar, dann bildet er das Bezugssystem.

Wäre es möglich, daß solche Bewegungen unter gewissen Umständen schlicht falsch wahrgenommen werden?

²⁰⁹ Rock / Palmer 1991, S. 73ff

²¹⁰ Neisser 1974, S. 323; Rock 1985, S. 159f

Um diese Hypothese zu untersuchen ließen wir unsere Versuchspersonen Fallbeispiele auf einem Computer-Bildschirm beobachten. Als bewegter Träger fungierte ein rechteckiger Kasten, der mit geringer, aber konstanter Geschwindigkeit von links nach rechts über den Bildschirm wanderte. Ein runder Fleck repräsentierte ein mitgeführtes Objekt, das zunächst mitten auf dem Kasten lag. Sobald der Kasten etwa ein Drittel der Wegstrecke zurückgelegt hatte, begann der Fleck zu „fallen“, während sich der Kasten mit unveränderter Geschwindigkeit weiterbewegte. [...] Viele Studenten täuschten sich erheblich über die tatsächliche Bewegung. [...] Diese Täuschungen traten allerdings nur dann auf, wenn der bewegte Kasten während des gesamten Fallprozesses sichtbar blieb.²¹¹

Betrüblicherweise führt der Physikunterricht nicht unbedingt schon zu einer Korrektur intuitiver Überzeugungen. Fehlrteile können sich mitunter äußerst hartnäckig halten und zwar offensichtlich deshalb, weil die Sinneswahrnehmungen „zurechtgebogen“ werden, bis sie den intuitiven Überzeugungen entsprechen.

Allem Anschein nach benutzten viele Studenten eine intuitive Impetustheorie als Grundlage, um den Lehrstoff des Physikkurses zu ordnen. Dabei werden Einzelaussagen so zurechtgebogen und verzerrt, daß sie in das intuitive Impetuskonzept passen. [...] Die intuitiven Vorstellungen und die Prozesse, durch die sie entstehen, sind daher auch lohnende Forschungsobjekte, um bessere Lehrmethoden zu entwickeln. Vielleicht kommt dabei sogar einiges darüber ans Licht, warum sich die moderne Naturwissenschaft gerade so entwickelt hat, wie es historisch geschah.²¹²

Dieser Sachverhalt stützt Piagets Thesen von der Assimilation und Akkomodation als den beiden konstruktiven Mechanismen zum Aufbau der Wirklichkeit. Eine Akkomodation wird erst dann vorgenommen, wenn eine Assimilation nicht gelingt und eine Veränderung in der Strukturierung erzwungen wird. Assimilationen, die nur ein geringfügiges „Zurechtbiegen“ der Daten erfordern, werden möglichen Akkomodationen vorgezogen.

Die charakteristischen Merkmale der intuitiven Strukturierung

Die visuelle Wahrnehmung liefert den Prototyp einer intuitiven Strukturierung – eine *phänomen-orientierte, sinnliche Intuition*. Bereits der einfachste visuelle Wahrnehmungsakt ist nicht als bloßes Registrieren von Sinnesdaten zu verstehen, sondern als eine Konstruktion des erkennenden Subjekts. An den diskutierten Beispielen zeigen sich exemplarisch die grundlegenden Eigenschaften und Funktionen der intuitiven Strukturierung:

- (i) Die *intuitive Strukturierung der Wahrnehmung*: Der sensorische Input wird schlaglichtartig und ganzheitlich wahrgenommen und nicht-bewußt und ungeprüft

²¹¹ McCloskey 1983, S. 97f

²¹² McCloskey 1983, S. 99; Auch nur eine Frage des Bezugssystems ist der makabre Witz vom Wachsoldaten, der auf den Befehl hin, jeden Gefangenen zu erschießen, der sich bewegt, unverzüglich alle erschöß und erklärte, daß sich alle Gefangenen mit hoher Geschwindigkeit um die Erdachse und um die Sonne bewegten. In diesem Falle scheint der Physikunterricht doch einen nachhaltigen Eindruck hinterlassen zu haben.

strukturiert. Das Einzelne wird nicht zusammengesetzt nach Art eines Telefonbuchs, sondern das Ganze wird zergliedert gemäß bestimmter Gestaltgesetze.

- (ii) Die **Vervollständigung fehlender Informationen**: Unzureichende Informationen werden vervollständigt um die intuitive Strukturierung sinnvoll zu machen (Vervollständigung von Bildteilen, Ergänzung fehlender Informationen). Die Vervollständigung unzureichender Informationen wird hauptsächlich nach Maßgabe vorheriger Erfahrungen vorgenommen. Damit unvollständige Informationen ergänzt werden können, muß ein vollständiges Original bekannt sein. Hier zeigt sich der erfahrungsbedingte Aspekt der intuitiven Strukturierung.
- (iii) Die **Bewertung und Einbettung in einen Kontext**: Merkmale werden eingeteilt und als essentiell oder nicht-essentiell bewertet. Für eine Mustererkennung reichen die essentiellen Merkmale aus. Der Sinneswahrnehmung wird zuallererst eine Bedeutung zugeschrieben, die eine Einbettung in den bestehenden Kontext erlaubt. Sind Einzelteile in einem Kontext gegeben, dann sind bereits wenige Merkmale ausreichend, während Einzelteile ohne Kontext nur durch aufwendige Merkmalsangaben erkennbar sind.
- (iv) Die **Fokussierung der Aufmerksamkeit**: In jeder Wahrnehmung wird ein Teil des sensorischen Input als wichtig bewertet und bildet dann die Figur; der komplementäre Teil wird als unwichtig bewertet und tritt in den Hintergrund. Der Figur-Hintergrund-Gegensatz geht einher mit einer Fokussierung der Aufmerksamkeit (Aufmerksamkeits-Bewußtsein) auf den sensorischen Input, der als wichtig bewertet wurde. Damit verknüpft ist eine weitreichende Selektion des sensorischen Input aus der gesamten Datenflut.
- (v) Die **Funktion der unausgesprochenen Annahmen in der intuitiven Strukturierung**: Nicht-bewußte und damit unausgesprochene Annahmen haben die Funktion von constraint-Bedingungen. Häufig besitzen sie den Rang epistemologischer Notwendigkeiten aus Mangel an Alternativen im Sinne Putnams.
- (vi) Das **kreative Potential der intuitiven Strukturierung**: Die intuitive Strukturierung entfaltet ihr kreatives Potential, wenn sie (α) fehlende Informationen spekulativ ergänzt, (β) Informationen auswählt und als essentiell oder nicht-essentiell bewertet, (γ) den sensorischen Input immer in einen Kontext zu bereits vorhandenen Informationen stellt, (δ) den sensorischen Input nach Maßgabe der Gestaltgesetze „zurechtbiegt“ und (ϵ) neuen sensorischen Input in den Wissensbestand integriert. Die Mechanismen der Kreativität sind die, von der Genetischen Erkenntnistheorie formulierten Assimilationen und Akkomodationen.

- (vii) Die *Fehleranfälligkeit und Korrekturbedürftigkeit der intuitiven Strukturierung*: Die intuitive Strukturierung unterliegt der Zwangsläufigkeit und Fehleranfälligkeit. Sie ist zwar prinzipiell nicht veränderbar (bei sinnvollem Input), dennoch kann ihre Fehlerhaftigkeit durch geeignete Kontrollinstanzen nachgewiesen werden.
- (viii) Die *Belehrung der intuitiven Strukturierung*: Erscheint die intuitive Strukturierung ohne Sinn, dann besteht ein Zwang zur Belehrung bis der sensorische Input sinnvoll wird. Die Belehrung besteht in einem Zusammenspiel von datengesteuerter Merkmalsanalyse (bottom-up-Prozesse) und konzeptgesteuertem Hypothesentest (top-down-Prozesse).
- (ix) Die *intuitive Strukturierung und das Evidenzerlebnis*: Menschen besitzen grundsätzlich die Fähigkeit, mehrere mögliche Strukturierungen vorzunehmen. Bei Umklappfiguren ist dies besonders augenfällig. Teile der Figur können dabei ihre spezifischen Rollen ändern, die sie für das Gesamtsystem spielen. Ist eine Strukturierung der visuellen Wahrnehmung problemlos möglich, dann geht dies einher mit einem Evidenzerlebnis. Bei unmöglichen Bildern ist eine eindeutige Strukturierung nicht möglich und das Evidenzerlebnis fehlt.
- (x) Die *Strukturierungsgesetze und ihre Kriterien*: Strukturierungen unterliegen bestimmten Gestaltgesetzen. Sie werden nach den Gesetzen der „guten Gestalt“ vorgenommen. Fundamentale Kriterien hierfür sind: Einfachheit, Einheitlichkeit, Regelmäßigkeit, Symmetrie, Kontinuität, Geschlossenheit, Harmonie, Kohärenz und Schönheit. Einige dieser Kriterien können mit informationstheoretischen Mitteln präzisiert werden: Eine Struktur genügt den Kriterien um so besser, je höher ihr Maß an Redundanz ist, d.h. je weniger bit sie zu ihrer Beschreibung benötigt. Einfache und symmetrische Figuren lassen sich schneller vergleichen, besser behalten und klarer beschreiben. Das Wahrnehmungssystem neigt dazu, die „einfachste Gestalt“ wahrzunehmen, die mit den verfügbaren Informationen einigermaßen verträglich sind. Diese Präzisierungsversuche beschränken das Prägnanzkonzept auf gut formalisierbare Teilaspekte. Sie decken aber keineswegs den gesamten Geltungsbereich ab.²¹³
- (xi) Die *Strukturierungsgesetze und die Wirklichkeit*: Geringfügige Abweichungen von der „guten Gestalten“ werden übersehen und dadurch korrigiert. Invarianzen und Symmetrien sind besonders wirksame Gestaltgesetze. In den virtuellen Figuren werden Symmetrien gesehen, die nachweislich nicht existieren. Gestaltgesetze können so dominierend sein, daß sie erfahrungswidrige Konsequenzen nach sich ziehen. Hier zeigt sich der erfahrungsunabhängige Aspekt der intuitiven Strukturierung.

²¹³ Kebeck 1994, S. 152f

- (xii) Der *hierarchische Aufbau der Strukturierungsgesetze*: Sobald Gestaltgesetze in Konkurrenz zueinander treten, kommt es zur Hierarchiebildung. Die „guten Gestalten“ bilden ein axiologisches System. Auch Symmetrien sind hierarchisch geordnet: Spiegelsymmetrien erscheinen prägnanter als Rotationssymmetrien. Die Hierarchie der Strukturierungsgesetze könnte dadurch zustandekommen, daß das Gehirn den sensorischen Input in unterschiedlichen Kortex-Arealen und dann zu unterschiedlichen Zeitpunkten verarbeitet (vgl. Kapitel 1.5).²¹⁴

Intuitive Strukturierung

**schlaglichtartig, ganzheitlich, ergänzend,
assoziativ, kontextbezogen (zusammenhängend)
bewertend (ästhetisch, axiologisch)
Raum (Bilder, geometrische Figuren)
nicht-bewußt, automatisch
widerspruchstolerant
schöpferisches Potential**

Die intuitive Strukturierung des sensorischen Input weist offensichtlich grundsätzlich immer vier wichtige Aspekte auf: (α) Sie ist vorwiegend *erfahrungsabhängig*, d.h. der sensorische Input ist das Material, dem nach Maßgabe der verfügbaren Erfahrungen eine Gestalt zugeschrieben wird. (β) Sie unterliegt darüber hinaus bestimmten *Gestaltgesetzen*, d.h. der sensorische Input wird nach Einfachheits- und Symmetrieidealen „zurechtgebogen“. (γ) Ist eine Strukturierung aus der Vielzahl möglicher Strukturierungen ausgewählt, dann ist es eher schwer, *alternative Strukturierungen* zu sehen. (δ) Sie wird mit der Wirklichkeit in Verbindung gebracht, d.h. der „zurechtgebogene“ sensorische Input wird durch ein *Evidenzerlebnis* belohnt und als die *Wirklichkeit* gedeutet.

Wie beobachtet, sind Wahrnehmungsgebilde oder -ereignisse oft einfacher, einheitlicher, in ihrem Aufbau regelmäßiger als ihre Vorlagen. Sie machen, mit diesen verglichen, oft unmittelbar den Eindruck, „verbessert“ zu sein.²¹⁵

Je elementarer diese Regeln sind, umso weniger ist es möglich, in der

²¹⁴ Diese Hypothese wurde von Rock und Palmer untersucht: „Wertheimers Gruppierungsgesetze haben der wissenschaftlichen Entwicklung standgehalten. Keines ist widerlegt worden, [...]. Während die Gruppierungsgesetze als solche nicht ernsthaft in Frage gestellt worden sind, ist die Stufe des visuellen Systems, auf der sie ihre Wirksamkeit entfalten, neuerdings Gegenstand der Diskussion. [...] Gruppierungen nach Nähe muß deshalb zeitlich nach der Tiefenwahrnehmung stattfinden. Für die Gesetze des gemeinsamen Bereichs und des Zusammenhangs sowie die Ähnlichkeitsgruppierung nach Helligkeit sind wir zu ähnlichen Schlüssen gekommen.“ (Rock / Palmer 1991, S. 71)

²¹⁵ Metzger 1986, S. 330

Wahrnehmung eine Zusammensetzung zu verwirklichen, die ihnen widerspricht.²¹⁶

In der Wahrnehmung dagegen erscheint die prägnanteste aller möglichen Gliederungen als „die wirkliche“.²¹⁷

Die Konstruktionen unseres Geistes sind zwar nicht unmittelbar mit der Realität identisch, aber sie sind keineswegs zufällig [...].²¹⁸

Kritiker halten die Erklärungsleistungen der Gestaltpsychologie für nicht zufriedenstellend, obwohl ihre Ergebnisse empirisch gut bestätigt sind. Dafür gibt es zwei wesentliche Gründe: (α) die bereits erwähnte Problematik des Grundbegriffs „Prägnanz“, der nicht hinreichend präzisiert ist und (β) die vorwiegend deskriptiven Erklärungsleistungen, welche die zugrundeliegenden Mechanismen der Strukturierungen gerade nicht erklären können.

Die gestaltpsychologischen Überlegungen beruhen auf der Annahme, daß die visuellen Strukturen Produkt der Selbstorganisation psychophysischer Prozesse sind. Die Prozesse der Selbstorganisation aber werden ebensowenig spezifiziert, wie die Frage behandelt wird, wie denn die Übereinstimmung der phänomenalen mit den tatsächlich gegebenen Strukturen hergestellt und aufrecht erhalten wird.²¹⁹

Offensichtlich bedarf die Gestaltpsychologie der Ergänzung durch weitere Disziplinen, die sich mit den Mechanismen befassen, welche der Strukturierungen zugrundeliegen. Die Lücken können von der theoretischen Neuroinformatik weiter aufgefüllt werden: (α) die Selektion relevanter Informationen aus der gesamten Datenflut (Flaschenhalsmodell), (β) die Vervollständigung der Informationen bei fehlerhaftem oder unvollständigem sensorischen Input (Simulation an auto-assoziativen neuronalen Netzen), (γ) die Interpretation der Information in Abhängigkeit vom jeweiligen Kontext (Simulation an selbstorganisierenden neuronalen Netzen), (δ) das Zusammenspiel einer datengesteuerten Merkmalsanalyse (bottom-up-Prozesse) mit einem konzeptgesteuerten Hypothesentest (top-down-Prozesse) und (ϵ) das Evidenzerlebnis (Modell der Attraktor-Zustände), das in der cartesischen und leibnizischen Erkenntnistheorie eine zentrale Funktion sowohl im Entstehungszusammenhang als auch im Rechtfertigungszusammenhang einer Theorie einnimmt (vgl. Kapitel 1.5).

Die Erklärungsleistung der Gestaltpsychologie

Die Wahrnehmung steht am Anfang jeder Naturwissenschaft und bildet die Grundlage jeder Erkenntnis. Die gestaltpsychologischen Ergebnisse haben daher eine große Bedeutung für die Physik (vgl. Kapitel 2.4). Dies zeigt sich in mehrfacher Hinsicht: (α) Auf der Ebene wissenschaftlicher Theorienkonstruktion fließen erwartungs- und verhaltensrelevante Annahmen über die Wirklichkeit ein, die häufig nicht-bewußt und unausgesprochen eingehen. Demzufolge enthält die Naturbeschreibung *verborgene Annahmen*, die bestimmte

²¹⁶ Metzger 1986, S. 166

²¹⁷ Metzger 1986, S. 181

²¹⁸ Rock 1985, S. 3

²¹⁹ Hoffmann 1993, S. 171

Lösungsmöglichkeiten nahelegen und andere ausschließen. Dies hat damit zu tun, daß Phänomene nicht isoliert gedeutet werden, sondern immer im Kontext eines bereits etablierten Weltbildes stehen. Die Begründung dieser allgemeiner Annahmen über die Natur wird intuitiv geleistet. (β) Die speziellen *Einfachheits-* und *Symmetrieannahmen*, die in der antiken und neuzeitlichen Naturphilosophie eine grundlegende Rolle spielen und die vorwiegend mit dem Verweis auf die göttliche Vollkommenheit begründet werden, wurzeln hauptsächlich in den Strukturierungsgesetzen der Wahrnehmung – insbesondere die Gesetze der „guten Gestalt“. Augenfälliges Beispiel ist die Bevorzugung symmetrischer Figuren (Kreis, Kugel, reguläre Polygone, reguläre Polyeder). (γ) Die Gestaltpsychologie beschreibt die Wahrnehmung unter zwei sich ergänzenden Aspekten: Den erfahrungsbedingten (empirischen) Aspekt, der sich in der Vervollständigung fehlender Informationen manifestiert und den erfahrungsunabhängigen (apriorischen) Aspekt, der sich in besonders wirksamen Gestaltgesetzen manifestiert. Der erste Aspekt zielt auf die *Empiriegeladenheit jeder Hypothesen* und der zweite Aspekt auf die *Theoriegeladenheit jeder Beobachtung*. Beide Aspekte sind grundlegend für die wissenschaftliche Theorienkonstruktion. (δ) In jeder Wahrnehmung wird ein Teil des sensorischen Input als wichtig bewertet und bildet dann die Figur; der komplementäre Teil wird als unwichtig bewertet und tritt in den Hintergrund. In der Wissenschaft entspricht dies der Aufspaltung der wirklichen Phänomene in einen Teil, der als *Effekt* gedeutet und in einen Teil, der als *Störung* bewertet wird. Der Effekt ist dann der eigentliche Erkenntnisgegenstand, der durch die idealisierten Naturgesetze beschrieben wird. (ε) Es besteht eine Analogie zwischen den Umklappfiguren der Gestaltpsychologie und dem *Paradigmenwechsel* in der Wissenschaft. Dies hat bereits Kuhn hervorgehoben. Bei Umklappfiguren können Teile der Figur ihre spezifische Rolle, die sie für das Gesamtsystem spielen, ändern. In Analogie dazu wird auch ein und dasselbe Phänomen in verschiedenen paradigmatischen Zusammenhängen unterschiedlich gedeutet. In der aristotelischen Naturphilosophie wird der freien Fall als das Bestreben eines Körpers gedeutet, an seinen natürlichen Ort zurückzukehren. In der Newtonschen Physik hingegen ist der freie Fall die Wirkung der Gravitation. (ζ) Der gestalttheoretische Grundsatz: „Das Ganze ist verschieden von der Summe der Teile“ steht in einem krassen Widerspruch zur analytisch-synthetischen Methode von Galilei und Descartes. Nicht nur die Gestaltpsychologie zieht das neuzeitliche Methodenideal in Zweifel, auch die modernen physikalischen und biologischen Theorien verweisen auf seine Grenzen. Ergänzend zur analytisch-synthetischen Methode müssen daher noch ganzheitliche Methoden (Systemtheorie, Kybernetik) hinzutreten, welche die *Vernetzungsstrukturen* der Teile beschreiben. (η) Die Kunst der Erfindung ist wesentlich verknüpft mit der Fähigkeit zur intuitiven Strukturierung. Alle Formen der Intuition sind charakterisiert durch Ganzheitlichkeit, Schlaglichtartigkeit und ein *kreatives Potential*, das die kognitive Bedingung für die Möglichkeit bildet, Strukturierungsalternativen zu entwickeln. Die Intuition ist damit auch eine wesentliche Voraussetzung für die Theorienkonstruktion der Wissenschaft.

1.5 Neuroepistemologie

Von der Gehirnforschung läßt sich das sagen, was Galilei von seiner Bewegungslehre sagt: Sie ist eine neue Wissenschaft von einem sehr alten Gegenstand.²²⁰ Die bisherigen Aussagen zum Erkenntnisprozeß lassen zahlreiche Fragen offen; sie müssen durch die Ergebnisse der Gehirnforschung und der Simulation von kognitiven Leistungen an neuronalen Netzen geprüft und gegebenenfalls korrigiert, modifiziert und ergänzt werden. Ausgehend von den *empirischen Neurowissenschaften* und der *theoretischen Neuroinformatik* ermöglichen diese Disziplinen grundlegende Einsichten in die Funktionsweise des Gehirns und werfen – als Konsequenz – auch ein neues Licht auf die Theorienkonstruktionen und auf das Theorienverständnis in der Physik. Diesen Zusammenhang unterstreicht Oeser:

Die zentrale Frage der Neuroepistemologie aber, die auch das Kernstück von Kants „Philosophie des Gehirns“ bildet und die weder evolutionsbiologisch noch entwicklungspsychologisch zu lösen ist, lautet: Wie, d.h. nach welchen Regeln und Gesetzmäßigkeiten, leistet das menschliche Bewußtsein als höchste integrierende Hirnfunktion die Erkenntnis in allen ihren Formen von den einfachsten Alltagserfahrungen bis zu den abstraktesten und kompliziertesten wissenschaftlichen Erkenntnissen? Wie anspruchsvoll und umfangreich eine solche Fragestellung auch sein mag, so läßt sich zumindest ein Ansatz zu einer derartigen funktionalen Erklärung des Bewußtseins liefern, wenn man versucht, die Ergebnisse der gegenwärtigen Hirnforschung, insbesondere die der funktionalen Neuroanatomie, in die erkenntnistheoretische Fragestellung einzubauen.²²¹

Neben den *Bausteinen* des Gehirns, müssen die *strukturellen* und *funktionalen Aspekte* besprochen werden. Besonders grundlegend ist – im Hinblick auf die intuitive Strukturierung – die Frage nach speziellen Strukturierungsleistungen (Ähnlichkeit, induktive Schlüsse, Generalisierung, Musterklassifizierung, Mustervervollständigung, Bedeutungszuschreibung, Prototypenbildung von Objekten und kausalen Prozessen) des Gehirns. Dabei zeigt sich, daß bereits einfache neuronale Netze zu aussagekräftigen Resultaten führen.

Im folgenden geht es um einen kursorischen Überblick über einige zentrale Ergebnisse der Gehirnforschung und der Simulation von Gehirnleistungen an neuronalen Netzen, soweit diese für die Explikation des Begriffs „intuitive Erkenntnis“ wichtig sind: (α) Die *Postulate der empirischen Neurowissenschaften*, (β) der *Aufbau des Gehirns und die Funktionen der verschiedenen Gehirngebiete*, (γ) der *Aufbau der Neuronen und die Informationsübertragung*, (δ) die *Kodierung von Informationen*, (ε) die *topographische Struktur des Gehirns*, (ζ) die *biologische Entwicklung der Gehirn-Architektur*, (η) *konstruktivistische versus realistische*

²²⁰ In der Antike gibt es zwei konkurrierende Theorien über die organische Bedingtheit der Erkenntnisfähigkeit: Der Pythagoreer Alkmaion von Kroton formuliert eine *zephalozentrische These*, derzufolge das Gehirn grundlegend für das Denken ist und Aristoteles setzt dem eine *kardiozentrische These* entgegen, derzufolge das Herz für das Denken zuständig ist. Er glaubt, daß das Gehirn ein Kühlsystem ist (vgl. Kolb / Whishaw 1996).

²²¹ Oeser / Seitelberger 1988, S. 169

*Interpretation der Wirklichkeit, (ϑ) das „Ich“ und das „Bewußtsein“, (ι) Gehirn versus Computer, (κ) parallele versus sequentielle Informationsverarbeitung, (λ) der Lernprozeß neuronaler Netze, (μ) das Doppel-Paradigma: **IP** (Intuitive Processor) & **CRI** (Conscious Rule Interpreter) und (ν) die Erklärungsleistung der Neuroepistemologie.*

Die Postulate der empirischen Neurowissenschaften

Die empirischen Neurowissenschaften setzen das *Realitätspostulat*, das *Strukturpostulat*, das *Postulat des Fremdpsychischen* und das *Interaktionspostulat* voraus: Es existiert eine Wirklichkeit, sie ist strukturiert, die Phänomene sind hochgradig redundant und nach Naturgesetzen bestimmt. Diese Ordnungsstrukturen sind real, objektiv und eine notwendige Bedingung für die Möglichkeit von Erkenntnis. Wäre die Wirklichkeit ausschließlich chaotisch, dann wäre nicht nur keine Erkenntnis möglich, sondern es gäbe überhaupt keine kognitiven Systeme. Die Sinnesorgane eines kognitiven Systems und die Wirklichkeit treten in eine Interaktion. Ein großer Teil des sensorischen Input wird ausgefiltert; ein kleiner Teil wird sinnesspezifisch verarbeitet, d.h. bewertet, geordnet, strukturiert, durch gehirneigene Vorgaben ergänzt und dann als Information über die Wirklichkeit interpretiert und für ein überlebensadäquates Handeln verfügbar gehalten. Darüber hinaus ist noch ein drei-stufiges Naturalismuspostulat einzuführen.

- (i) Das *Naturalismuspostulat (ontologisch)*: Jedes kognitive System **S** mit seinen kognitiven Fähigkeiten ist ein Teil der Natur und damit zuallererst ein Erkenntnisgegenstand der empirischen Wissenschaften. Gehirnläsionen und die damit verknüpften Funktionsstörungen kognitiver Fähigkeiten sind ein Indiz dafür, daß ausnahmslos alle kognitiven Leistungen an ein materielles Substrat gebunden sind. Insbesondere sind mentale Phänomene funktionale Zustände des Gehirns; sie werden durch physische Zustände komplexer Systeme realisiert.²²²
- (ii) Das *Naturalismuspostulat (epistemologisch)*: Der Wissenserwerb ist ein natürlicher Prozeß, der wesentlich auf den neuronalen Strukturen des Gehirns beruht. Die gehirnternen Verarbeitungsmechanismen der kognitiven Systeme sind prinzipiell mit den Mitteln der empirischen Wissenschaften zu erklären. Damit ist eine Absage an jene Theorien verbunden, die auf übernatürliche, dem Verstand unzugängliche Wirkmechanismen verweisen, d.h. eine Ignorabimusthese soll abgewiesen werden.

²²² Mit dem ontologischen Naturalismuspostulat wird nur ein Substanz-Dualismus ausgeschlossen – keineswegs ein Eigenschafts-Dualismus (physisch, mental) –, demzufolge eine ontologisch selbständige immaterielle Substanz existiert, die für die kognitiven Fähigkeiten zuständig sein soll. Beckermann hat sich ausführlich mit den verschiedenen Ansätzen befaßt. Im Gehirn-Geist-Problem, das unter der Bezeichnung „Leib-Seele-Problem“ eine lange philosophische Tradition hat, stehen sich zwei Positionen mit ihren jeweiligen Spielarten gegenüber: *dualistische Substanztheorien* und *monistische Substanztheorien*. Nach Beckermann wird von den zeitgenössischen Philosophen der Substanz-Dualismus nicht mehr als ernstzunehmende Option aufgefaßt. Das Verhältnis der beiden Substanzen müßte dann entweder im Sinne einer prästabilierten Harmonie (Leibniz) oder im Sinne einer kausalen Interaktion (Descartes) gedeutet werden. Die damit verknüpften Probleme sind erdrückend und die vorgetragenen Gegenargumente schlagend (vgl. Beckermann 2001).

- (iii) Das *Naturalismuspostulat (methodologisch)*: Die Untersuchung des Gehirns gibt Auskunft über die Mechanismen des Wissenserwerbs. Das menschliche Gehirn als Gegenstand der empirischen Forschung ist aber äußerst problematisch. Da der direkte Eingriff ethisch nicht vertretbar ist, müssen verschiedene indirekte Verfahren eingesetzt werden. Wichtige Möglichkeiten sind (α) der Einsatz von nicht-invasiven, bildgebenden Verfahren (Evozierte Potentiale (EPR), Positronen-Emissions-Tomographie (PET), funktionelle Magnet-Resonanz-Tomographie (fMRI) und die Magnet-Encephalographie (MEG)); (β) die Beobachtungen von Funktionsstörungen – Agnosien, Aphasien, Apraxien, Anosognosien etc. – an Menschen mit Gehirnerkrankungen oder Gehirnverletzungen; (γ) die Sezierung der Gehirne verstorbener Menschen; (δ) die Untersuchungen an anderen kognitiven Systemen (Katzen, Affen), die ein unterschiedlich hoch entwickeltes Bewußtsein haben und (ϵ) die Simulationen kognitiver Leistungen an neuronalen Netzen.

Die letzten beiden Aspekte des methodologischen Naturalismus beziehen sich nicht auf das Gehirn des Menschen, sondern auf *Tiere* und *neuronale Netze* und erfordern daher noch einige weitere Erläuterungen und spezielle Begründungen. Insbesondere ist dabei hervorzuheben, daß in beiden Fällen ein methodologischer Reduktionismus angenommen wird, der besagt, daß relevante Aussagen zur Erkenntnistheorie bereits an einfacheren Modellen gewonnen werden können. Sofern dieser methodologische Reduktionismus berechtigt ist, ermöglicht er es, die Probleme der *Selbstreferenz* und der *Komplexität* zumindest abzuschwächen.²²³ (α) Inwiefern ist es zulässig, Einsichten in die kognitiven Fähigkeiten von Tieren auf Menschen zu übertragen? Die kognitiven Leistungen hängen wesentlich von der speziellen Architektur des Gehirns ab – die Bausteine, die Strukturen und Funktionen. Die Grundprinzipien der *Verarbeitung* und *Kodierung* von Informationen sind für alle kognitiven Systeme gleich. Dies erscheint mit Blick auf die phylogenetische Verwandtschaft des Menschen mit seinen tierischen „Großeltern“ einleuchtend. Höhere epistemische Leistungen dürften demzufolge nicht etwas prinzipiell Neuartiges darstellen, sondern der Ausbau und die Variation bereits bestehender Mechanismen. Der Vorteil bei Tieren besteht einerseits darin, daß auch invasive Methoden (angeblich ethisch vertretbar) eingesetzt werden können und andererseits darin, daß bei niedrigeren Tieren die neuronalen Strukturen etwas einfacher sind. Churchland und Roth diskutieren und entkräften eine Reihe von Behauptungen, die alle von einer Besonderheit, ja Einzigartigkeit, des menschlichen Gehirns sprechen.

Bei Menschen wie Tieren kann man heute davon ausgehen, daß die Grundeinheit der Kognition der neuronale Aktivitätsvektor, daß die Grundeinheit der Denkprozesse

²²³ Der methodologische Reduktionismus besagt zunächst nur, daß Einsichten, die bei Tieren und neuronalen Netzen erzielt werden, relevant sind für die Behandlung epistemologischer Fragen. Die weitergehende Aussage eines ontologischen Reduktionismus ist damit nicht zwingend verbunden.

die Vektorumwandlung und die Grundeinheit des Gedächtnisses die Einstellung der synaptischer Gewichte ist.²²⁴

Die Annahme, daß beim Menschen noch irgendetwas „völlig Neues“ hinzukommt, das dann den Geist erzeugt, ist nicht gerechtfertigt, auch wenn diese Annahme das Bedürfnis des Menschen nach Einzigartigkeit befriedigen mag.

Fazit: Die These, die häufig betonte Sonderstellung des Menschen ließe sich anhand von Merkmalen seines Gehirns untermauern, ist nicht richtig. Am menschlichen Gehirn kann im Vergleich zu ihm stammesgeschichtlich nahestehenden Tieren nichts grundlegend Neues und Anderes festgestellt werden. Vielmehr resultiert die unbezweifelbare hohe Leistungsfähigkeit des menschlichen Gehirns aus einer *Kombination* von Merkmalen, die sich einzeln auch bei Tieren finden, [...].²²⁵

(β) In welchem Sinne kann davon gesprochen werden, daß an neuronalen Netzen kognitive Leistungen simuliert werden? Der Kerngedanke ist die Hypothese von einer *Analogie* zwischen den kognitiven Fähigkeiten des Gehirns und den Leistungen neuronaler Netze. Sie liegt darin, daß an neuronalen Netzen festgestellt werden kann, inwiefern bestimmte Systemeigenschaften im Prinzip ausreichen um bestimmte kognitive Leistungen zu simulieren. Demnach können Hypothesen über komplexe Gehirnfunktionen getestet werden: Verhält sich das neuronale Netz in den Simulationsexperimenten im Prinzip wie ein Gehirn, dann liegt der Gedanke nahe, daß ähnliche Mechanismen vorliegen. Sehr aufschlußreich ist der Sachverhalt, daß beispielsweise auf Sprache trainierte neuronale Netze in bestimmten Phasen des Trainings dieselben Fehler machen wie Kinder beim Spracherwerb. Der Vorteil bei neuronalen Netzen besteht dann darin, daß eine Vielzahl verschiedener Veränderungen vorgenommen werden kann, die an realen Gehirnen natürlich nicht möglich sind. Grundlage der Hypothese von der Analogie zwischen den kognitiven Fähigkeiten des Gehirns und den Leistungen neuronaler Netze ist das seit Galilei vorherrschende Wissenschaftsverständnis, demzufolge ein natürliches Phänomen dann als verstanden gilt, wenn es möglich ist, das Phänomen bzw. Teilaspekte des Phänomens experimentell herzustellen bzw. nachzubilden.

Der Aufbau des Gehirns und die Funktionen der verschiedenen Gehirngebiete

Das Gehirn ist drei-stufig aufgebaut. Jede Stufe läßt sich ganz treffend durch ein Schlagwort charakterisieren:

fressen – freuen – fragen

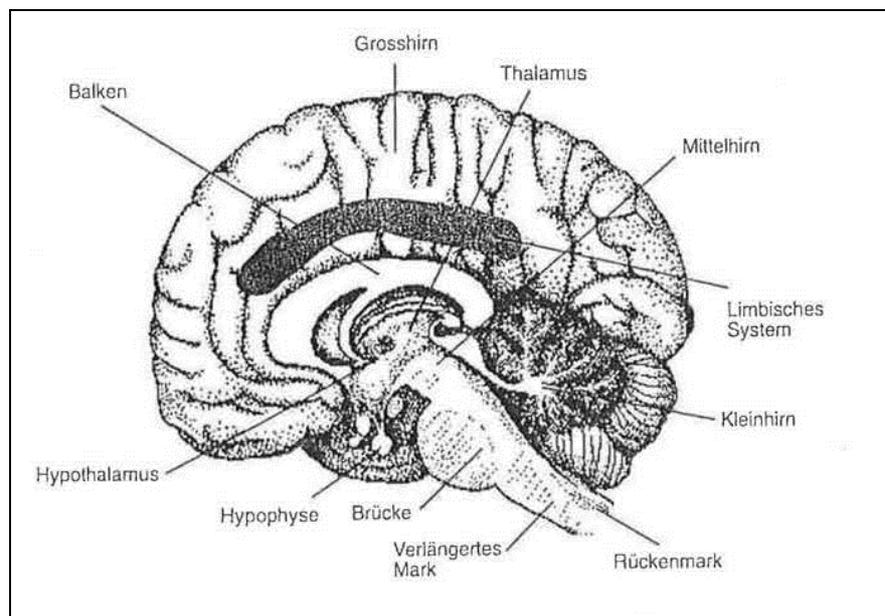
1. Stufe: Die unterste Stufe bildet das *Stammhirn*. Es besteht aus dem verlängerten Rückenmark, dem Mittelhirn und dem Kleinhirn. Hier befinden sich die Steuerungszentren für alle Basisfunktionen zur Aufrechterhaltung des Lebens (Atmung, Herzschlag, Kreislauf, Körpertemperatur etc.), die Steuerungszentren für Reflexe (Schlucken, Niesen, Husten etc.), die Koordinationszentren für optische und akustische Signale und die Kontrollzentren für alle

²²⁴ Churchland 2001, S. 381

²²⁵ Roth 1996, S. 76

unwillkürlichen Bewegungen. Das Kleinhirn ist das Koordinationszentrum für alle gut geübten Bewegungsabläufe (Gehen, Schreiben, Tanzen etc.). Bemerkenswert ist, daß im Kleinhirn – im Gegensatz zum Rückenmark – ein neues Bauprinzip gilt: die Nervenbahnen sind innen (Hirnmantel); die Neuronen befinden sich außen (Hirnrinde) und bilden Falten. Durch dieses Bauprinzip ist eine enorme Vergrößerung der Oberfläche möglich und damit kann eine riesige Anzahl von Neuronen untergebracht werden.²²⁶

2. Stufe: Die mittlere Stufe wird vom *Zwischenhirn* mit Thalamus, Hypothalamus und Hypophyse und dem *Limbischen System* mit Amygdala und Hippocampus gebildet. Das Zwischenhirn gilt als Tor zum Bewußtsein und steuert die Aufmerksamkeit. Es ist die oberste Kontrollinstanz für das untergeordnete Stammhirn und die oberste Koordinationsinstanz für alle Sinneswahrnehmungen. Das Limbische System ist Sitz der Triebe (Selbsterhaltung, Arterhaltung) und der emotionalen Intelligenz (Freude, Ärger, Trauer etc.). Es ist das zentrale *Bewertungssystem*, d.h. es hat eine Filterfunktion für alle einlaufenden Signale und bewertet die Informationen (bekannt – unbekannt, wichtig – unwichtig, angenehm – unangenehm). Amygdala und Hippocampus spielen eine grundlegende, wenngleich auch noch nicht hinreichend erforschte Rolle bei allen kognitiven Leistungen und sind daher wichtig für jeden Lernprozeß. Insbesondere hängen alle Gedächtnisleistungen vom Hippocampus ab.²²⁷



Figur 1.21

3. Stufe: Die höchste Stufe bildet der *Grosshirn* (Kortex) mit seinen beiden Hemisphären und dem Verbindungsbalken. Der Kortex ist eine 2 mm dicke, stark gefaltete Schicht vernetzter Neuronen. Jede Hemisphäre verfügt über spezialisierte Kortex-Areale (visueller Kortex,

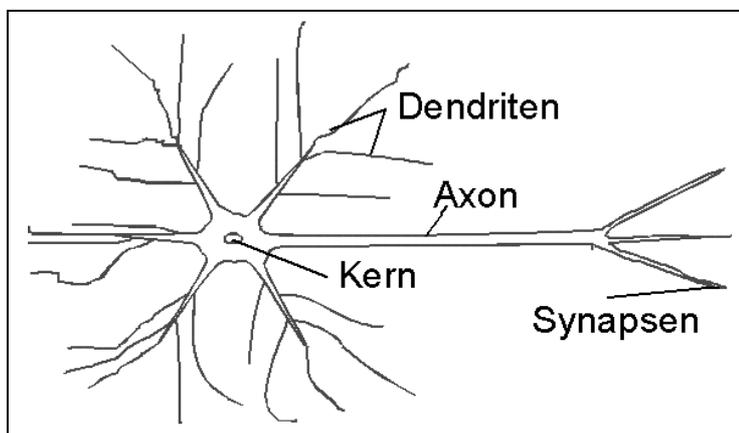
²²⁶ Kandel / Schwartz / Jessell 1996, S. 81ff; Kolb / Whishaw 1996, S. 41ff, 120ff

²²⁷ Kandel / Schwartz / Jessell 1996, S. 83; Kolb / Whishaw 1996, S. 50f

auditiver Kortex, motorischer Kortex, somatosensorischer Kortex, Assoziationsfelder), die – je nach der Ebene der Informationsverarbeitung – als primäre, sekundäre oder tertiäre Kortex-Areale bezeichnet werden.²²⁸ Hier wird die Aufnahme, Verarbeitung, Kodierung und Abgabe der Informationen gesteuert. Die Informationsverarbeitung erfolgt – gemäß dem *Flaschenhalsmodell* – in drei Stufen: (α) Die *Datenaufnahme* über die Sinne. (β) Die *Datenreduktion* durch Auswahl und Bewertung. (γ) Die *Datenanreicherung* durch gehirneigene Hypothesen. Diese drei-stufige Verarbeitung macht deutlich, daß der einfließende Informationsstrom zunächst drastisch reduziert wird, d.h. die Relevanz der Informationen wird bewertet und entsprechend wird eine Auswahl getroffen. Anschließend werden die durchgelassenen Informationen nach gehirneigenen Vorgaben neu strukturiert und angereichert. Diese Strukturierungsleistungen sind gerade im Zusammenhang mit der intuitiven Erkenntnis von grundlegender Bedeutung.²²⁹

Der Aufbau der Neuronen und die Informationsübertragung

Die *Neuronen* sind die kleinsten funktionellen Einheiten des Gehirns. Sie übertragen Informationen – Schaltelemente vergleichbar –, indem sie Eingangssignale (Input) in Ausgangssignale (Output) umwandeln. Die Anzahl der Neuronen im menschlichen Kortex liegt bei etwa 10^{12} . Die Neuronen (Pyramidenzellen, Sternzellen etc.) bestehen aus Zellkern, Zellkörper, Dendriten, Axon und Synapsen. Die Dendriten sind baumartige Verästelungen zur Informationsaufnahme, das myelinisierte Axon ist ein Zellfortsatz zur Informationsabgabe, die Synapsen sind Verzweigungen zur Kontaktaufnahme mit anderen Neuronen.²³⁰



Figur 1.22

Anzahl und Qualität der Synapsen variieren mit der geistigen Tätigkeit. Jedes Neuron kann mit etwa 10^3 anderen Neuronen in Kontakt treten. Dazu schüttet es an den Synapsen

²²⁸ Kolb / Whishaw 1996, S. 46f; Die Neurowissenschaften verfügen über eine Topographie des gesamten Kortex durch verschiedene Kartentypen: (α) *Projektionskarten* (primäre & sekundäre Felder der axonalen Verbindungen), (β) *cytoarchitektonische Karten* (vertikale Organisation in Modulen) und (γ) *funktionale Karten* (Karten der Gehirnaktivität durch elektrische Reizungen, wie sie in bildgebenden Verfahren sichtbar werden).

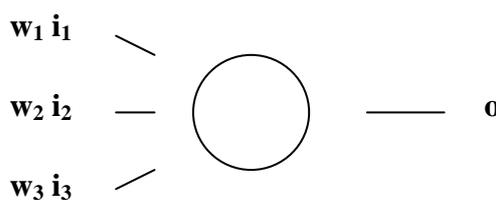
²²⁹ Vester 2000, S. 23

²³⁰ Hoffmann 1993, S. 2f; Mainzer 1995, S. 250; Spitzer 2000, S. 19; Neben der *Gehirnhypothese* ist die *Neuronenhypothese* die wichtigste Annahme der Neurowissenschaften.

Neurotransmitter (Glutamat) aus. Die verschiedenen Neurotransmitter sind chemische Botenstoffe, die entweder exzitatorisch (erregend) oder inhibitorisch (hemmend) wirken. Die Neuronen sind für Natrium- und Kaliumionen selektiv permeabel. Diese Ladungsträger sind innerhalb und außerhalb der Zellkörper ungleich konzentriert. Dadurch herrscht eine elektrische Potentialdifferenz zwischen der Innen- und der Außenseite der Zellmembran, die als Ruhepotential bezeichnet wird. Wird diese Potentialdifferenz verändert und erreicht sie einen bestimmten Schwellenwert, dann wird sie als Aktionspotential über das Axon an andere Neuronen weitergeleitet. In diesem Fall wird davon gesprochen, daß das Neuron „feuert“. Wird der Schwellenwert nicht erreicht, bleibt die Informationsübertragung aus. Das Neuron kann demnach zwei Zustände einnehmen: den Ruhezustand und den Erregungszustand.²³¹

Wie verläuft dieser Prozeß der *Informationsübertragung*?²³² Die Aktivität eines Neurons wird im einfachsten Modell beschrieben durch den Input \mathbf{i} , die Synapsengewichte \mathbf{w} , den Schwellenwert \mathbf{S} und den Output \mathbf{o} . Alle einlaufenden Aktionspotentiale haben nach dem *Alles-oder-Nichts-Prinzip* entweder den Input $\mathbf{i} = \mathbf{1}$ (Neuron feuert) oder $\mathbf{i} = \mathbf{0}$ (Neuron feuert nicht). Die Information ist durch die Frequenz der Aktionspotentiale kodiert. Die ankommenden Aktionspotentiale werden mehr oder weniger stark über die synaptische Kontaktstelle übertragen. Die Stärke der synaptischen Übertragung läßt sich mathematisch durch eine reelle Zahl im Intervall $[-1, +1]$ symbolisieren. Das Synapsengewicht \mathbf{w} gibt die Gewichtung des Input durch die Synapsenverbindungsstärke an. Das Neuron summiert die gewichteten Aktionspotentiale und vergleicht die Summe mit einem Schwellenwert \mathbf{S} . Ist die Summe größer als der Schwellenwert, dann feuert das Neuron, ist sie kleiner, dann unterbleibt die Informationsübertragung.²³³

Informationsübertragung: $\mathbf{o} = \Sigma \mathbf{w}_k \mathbf{i}_k > \mathbf{S}$



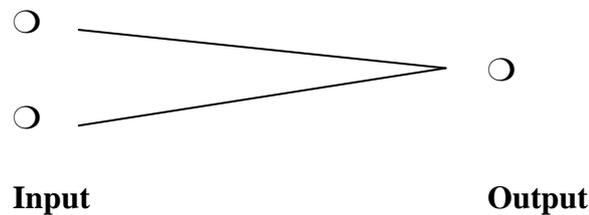
Es sind zwei grundlegende Prinzipien der Input-Output-Verbindung zur Verarbeitung der Information zu unterscheiden, die dazu führen, daß beim Übergang von der elementaren zur komplexen Input-Output-Verbindung neuartige Systemeigenschaften auftreten:

²³¹ Kandel / Schwartz / Jessell 1996, S. 31ff

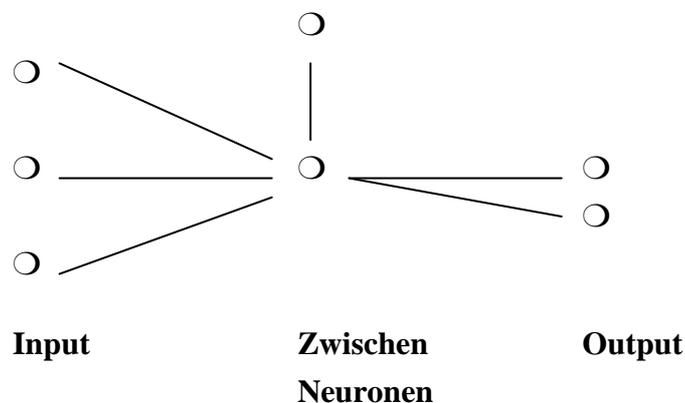
²³² Genaugenommen handelt es sich bei der Informationsübertragung um eine Signalübertragung, wobei das kognitive System den Signalen eine Bedeutung zuweist und sie damit als Informationen auffaßt.

²³³ Dorffner 1991, S. 17; Der Index \mathbf{k} zählt die etwa 10^3 synaptischen Eingänge durch, die zum Input eines Neurons beitragen.

- (i) Die **elementare Input-Output-Verbindung**: Im einfachsten Modell werden die sensorischen Rezeptorzellen direkt mit den motorischen Aktivatorzellen verbunden. Es existieren keine Zwischen-Neuronen und damit treten keine intermediären Verrechnungsmechanismen auf. Dieses Prinzip ist im Reflexbogen realisiert und steuert reflexartige motorische Funktionen.



- (ii) Die **komplexe Input-Output-Verbindung**: Werden zwischen den sensorischen Rezeptorzellen und den motorischen Aktivatorzellen weitere Neuronen eingefügt, dann entsteht ein Zwischenspeicher zur Weiterverarbeitung der Informationen. Dieser Prototyp ist ausbaufähig und erlaubt unzählige Variationen. Das Prinzip ermöglicht interne Verrechnungsmechanismen, verschiedene Formen des Gedächtnisses (Kurzzeitgedächtnis, Langzeitgedächtnis) und offensichtlich auch ein introspektiv erfahrbares Bewußtsein.



Die Informationen können auf unterschiedlichen Funktionsebenen repräsentiert werden, entweder (α) als momentane Speicherung im *Kurzzeitgedächtnis* oder (β) als permanente Speicherung im *Langzeitgedächtnis*. Der Lernprozeß besteht dann darin, daß die Synapsengewichte langsam verändert werden. Beim Lernvorgang verstärken sich die Synapsen aber nur dann, wenn das Aktionspotential auf ein bereits aktiviertes Neuron trifft. Dieser Sachverhalt wird als *Hebbsche Lernregel* bezeichnet. Der biologische Mechanismus, der für die Änderung der Synapsengewichte sorgt, ist die *Langzeitpotenzierung*. Bei einer Synapse sind die beiden Seiten des 20 μm breiten synaptischen Spalts zu unterscheiden: An der *präsynaptischen* Seite werden Neurotransmitter ausgeschüttet, die zur *postsynaptischen* Seite diffundieren und dort die Rezeptoren besetzen. Dies induziert an der postsynaptischen Seite eine Veränderung der elektrischen Potentialdifferenz der Zellmembran. Ist die

Veränderung hinreichend groß, dann findet – wie zuvor beschrieben – eine Informationsübertragung statt. Treffen die Neurotransmitter aber auf ein bereits aktiviertes Neuron, dann verstärkt sich durch die Informationsübertragung zusätzlich noch die Verbindung. Dies meint die Verstärkung der Neurotransmitterausschüttung oder die Vergrößerung der Rezeptorenanzahl. Das Synapsengewicht wird verändert – $w_k \rightarrow w_k + \delta w_k$ –, das Gehirn hat etwas dazugelernt, d.h. das Wissen ist implizit in den Synapsengewichten gespeichert. Der Lernprozeß manifestiert sich also in der *Plastizität* der Synapsen und hängt wesentlich damit zusammen, daß beide Zellen gleichzeitig aktiv sind. Der Mechanismus funktioniert somit wie ein *Koinzidenzdetektor*, der die zeitliche Korrelation von präsynaptischer und postsynaptischer Aktivität bewertet.²³⁴

Die Kodierung von Informationen

Die wichtigste Funktion des Gehirns ist die Verarbeitung von Signalen mit dem Ziel einer optimalen Anpassung an die Wirklichkeit. Wie bereits angesprochen, handelt es sich um eine drei-stufige Verarbeitung gemäß dem *Flaschenhalsmodell*, die Signale nicht einfach nur weitergibt, sondern auswählt, modifiziert, anreichert durch gehirneigene Hypothesen und ihnen eine Bedeutung verleiht.

Datenaufnahme über die Sinneswahrnehmungen (10^9 bit / sec)

Datenreduktion durch Auswahl und Bewertung (10^2 bit / sec)

Datenanreicherung durch gehirneigene Hypothesen (10^7 bit / sec)

Hierzu stellt sich zunächst die Frage, wie interne Repräsentationen realisiert werden. Alle kognitiven Systeme verfügen über verschiedene Codes um die für sie relevanten Aspekte der Wirklichkeit zu repräsentieren. Besonders überlebensadäquat sind Codes, die das Wesentliche extrahieren und die Informationen effizient und fehlertolerant kodieren. Grundlegend sind demnach: (α) *Sparsamkeit / Effizienz* der Kodierung, (β) *Robustheit / Fehlertoleranz* der Kodierung und (γ) die *Bewertung* (Ähnlichkeit, Häufigkeit, Relevanz) des Input.

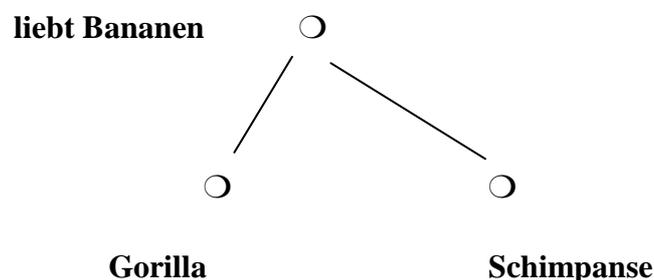
- (i) Das **Modell der lokalisierten Kodierung**: Dieses Modell geht davon aus, daß ein Objekt von einem bestimmten Neuron repräsentiert wird und demzufolge in diesem Neuron lokalisiert ist. Der Anblick der Großmutter aktiviert beispielsweise ein ganz bestimmtes einzelnes Neuron, das in diesem Modell folgerichtig „Großmutter-Neuron“ heißt. Diese Kodierungsart hat jedoch gewichtige Nachteile: (α) Bei einem etwaigen Verlust dieses Neurons ginge auch sein Inhalt verloren, d.h. die Großmutter könnte nicht mehr erkannt werden. Dies verstößt gegen das Prinzip der Robustheit /

²³⁴ Hepp 1949; Mainzer 1997, S. 50ff; Innerhalb der Refraktärzeit werden die Neurotransmitter wieder von den Rezeptoren gelöst, diffundieren zur präsynaptischen Seite zurück und stehen erneut für die Informationsübertragung zur Verfügung.

Fehlertoleranz. (β) Darüber hinaus stellt diese Kodierungsart eine äußerst aufwendige und damit ineffiziente Weise der Kodierung dar. Die Anzahl der empirisch zugänglichen Objekte ist so enorm groß, daß die damit verbundene „Kostenexplosion“ gegen das Prinzip der Sparsamkeit / Effizienz verstößt. Diese Kodierungsart ist demnach biologisch nicht sehr plausibel, obwohl nicht ausgeschlossen werden kann, daß in höheren Kortex-Arealen auch lokale Repräsentationen vorkommen.

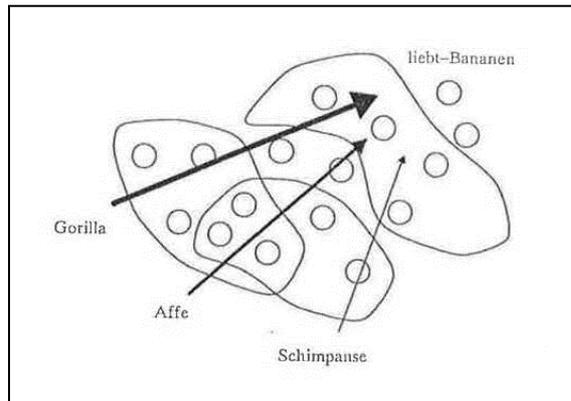
- (ii) Das **Modell der distribuierten Kodierung**: Dieses Modell geht davon aus, daß Objekte nach Maßgabe bestimmter interpretierbarer Merkmale (features) bzw. nicht-interpretierbarer Merkmale (micro-features) repräsentiert werden. Im ersten Fall ist eine *symbolische* Kodierung gemeint, im zweiten Fall eine *sub-symbolische*. Die Neuronen haben die Funktion von Merkmalsdetektoren. Die Objektrepräsentation ist distribuiert. Jedes einzelne Neuron liefert einen bestimmten Beitrag zur Objektrepräsentation; der etwaige Verlust eines einzelnen Neurons wird die Objektrepräsentation nicht verhindern. Darin besteht die hohe Fehlertoleranz. Außerdem ist diese Kodierungsart effizient, da sich der gesamte sensorische Input aus einer relativ geringen Anzahl von interpretierbaren bzw. nicht-interpretierbaren Merkmalen aufbauen läßt.

Der Unterschied zwischen der lokalisierten und der distribuierten Kodierungsart beinhaltet die epistemisch wichtige Konsequenz, induktive Schlüsse auf der Grundlage von *Ähnlichkeiten* ziehen zu können. An einem einfachen „Affenbeispiel“ soll dies demonstriert werden: Im Modell der lokalisierten Kodierung wird ein Gorilla, ein Schimpanse und eine Banane durch je ein spezifisches Neuron repräsentiert. Dann muß jeweils einzeln festgehalten werden, daß der Gorilla Bananen liebt und völlig unabhängig davon, daß auch der Schimpanse Bananen liebt. In der lokalisierten Kodierung von Symbolen manifestieren sich keine Ähnlichkeiten zwischen Gorillas und Schimpansen.



In völlig anderer Weise arbeitet die distribuierte Kodierung. Der Gorilla, der Schimpanse und die Banane werden durch Cluster von Neuronen repräsentiert, die jeweils bestimmte interpretierbare bzw. nicht-interpretierbare Merkmale kodieren. Die Ähnlichkeiten zwischen Gorilla und Schimpanse manifestieren sich dann in der *Überlappung* der beiden Neuronen-Cluster. Steht fest, daß der Gorilla Bananen liebt, dann besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür, daß der Schimpanse ebenfalls Bananen liebt. Sollte sich diese Annahme schließlich als

unzutreffend erweisen, dann kann sie nach einer entsprechenden bewußten Prüfung durchaus korrigiert werden.²³⁵



Figur 1.23

Hier handelt es sich um einen *induktiven Schluß*, der bei kognitiven Leistungen eine große Rolle spielt und insbesondere für die intuitive Strukturierung charakteristisch ist. Die distribuierte Kodierung stellt demnach *Ähnlichkeiten* und *Unterschiede* des sensorischen Input fest und hält die Ähnlichkeiten durch diese spezielle Kodierungsart automatisch fest. Hier wird deutlich, daß es sich nicht um eine bloße Verteilung von Kodierungsaufgaben handelt, sondern um eine wesentlich neuartige Kodierungsart, die neue Fähigkeiten der Informationsverarbeitung eröffnet. So offensichtlich die Vorteile des Modells der distribuierten Repräsentation auch sind, so schwerwiegend sind die damit verbundenen, noch ungelösten Probleme. Einige Schwierigkeiten seien hier skizziert:²³⁶

- (i) Das **Kodierungsproblem**: Wenn die distribuierte Repräsentation merkmalskodierend ist, dann muß zunächst gefragt werden, nach welchen Kriterien die Eignung und Relevanz eines interpretierbaren bzw. nicht-interpretierbaren Merkmals bewertet wird um eine adäquate Objektrepräsentation zu gewährleisten.
- (ii) Das **Integrationsproblem**: Des weiteren muß gefragt werden, nach welchen Kriterien entschieden wird, welche Merkmale zu einer ganzheitlichen internen Struktur verbunden werden um damit Objektrepräsentationen zu erzeugen. Dieses Bindungsproblem bezieht sich also auf die Frage, wie sich verschiedene Merkmale (Form, Farbe, Ort, Bewegung) zu einer kohärenten Repräsentation zusammenfügen.
- (iii) Das **Segregationsproblem**: Wenn die distribuierte Repräsentation merkmalskodierend ist, dann muß umgekehrt auch gefragt werden, nach welchen Kriterien entschieden wird, welche Merkmale zu trennen sind um damit verschiedene Objektrepräsentationen zu erreichen (Figur-Hintergrund-Gegensatz).

²³⁵ Dorffner 1991, S. 27

²³⁶ Dorffner 1991, S. 28; Kolb / Whishaw 1996, S. 145; Singer 2002

- (iv) Das **Black-box-Problem**: Distribuiert kodiertes Wissen entzieht sich einer formalen Untersuchung und kann nicht interpretiert werden, d.h. einzelnen Neuronen-Verbindungen können keine symbolischen Informationen zugeordnet werden. Damit bleibt das Gehirn aber gewissermaßen eine „black box“.

Das bislang überzeugendste Modell der Kortexfunktionen geht davon aus, daß der Kortex funktional als verteilt-hierarchisches System organisiert ist. Alle kognitiven Leistungen kommen dann dadurch zustande, daß verschiedene Kortex-Areale hierarchisch strukturiert und untereinander vernetzt sind.

Wie aber werden *Merkmale* kodiert? Eine besonders effiziente Möglichkeit um Merkmale zu kodieren ist die Kodierung durch *Vektorquantisierung*. Die Aktivität eines Neurons läßt sich durch einen Vektor darstellen, der durch Länge und Richtung eindeutig definiert ist. Merkmale werden als Vektoren in einem n -dimensionalen Merkmalsraum repräsentiert. Es gibt demnach n Grundmerkmale, die durch die Basis-Vektoren e_1, e_2, \dots, e_n dargestellt werden und den n -dimensionalen Merkmalsraum aufspannen. Jedes Merkmal, das zu kodieren ist, kann dann als Linearkombination dieser Grundmerkmale aufgebaut werden. Die Genauigkeit wird durch die Abstufungen der Grundmerkmale (Aktivitätsniveaus) erreicht. Die Leistungsfähigkeit kann am Beispiel der Farbkodierung verdeutlicht werden. Sollen im visuellen Kortex die etwa 10^4 verschiedenen Farben kodiert werden, die ein Mensch unterscheiden kann, dann sind dazu nur vier Neuronen nötig, die die Basis-Vektoren für die Kodierung der Grundfarben Rot, Grün und Blau und die Helligkeit bilden, sofern sie jeweils 10 diskrete Aktivitätsniveaus aufweisen. Diese Kodierungsart genügt zwar dem Prinzip der Sparsamkeit, verstößt aber noch gegen das Prinzip der Robustheit. Fällt eines der Grundmerkmale aus, dann fehlt eine gesamte Dimension, deren Informationen nicht mehr repräsentiert werden können. Das Robustheits-Problem löst der Kortex durch *Populations-Codes*. Demzufolge werden auch die Grundmerkmale distribuiert repräsentiert und die Populations-Codes enthalten ein bestimmtes Maß an Redundanz. Dieser Kompromiß genügt sowohl dem Prinzip der Sparsamkeit / Effizienz als auch dem Prinzip der Robustheit / Fehlertoleranz. Diese Variante der Kodierung durch Vektorquantisierung löst dann das Problem der Datenkompression optimal.

Die topographische Struktur des Gehirns

Der Kortex wird üblicherweise in vier Gebiete eingeteilt. (α) der *okzipitale Kortex*, (β) der *temporale Kortex*, (γ) der *parietale Kortex* und (δ) der *frontale Kortex*. Der frontale Kortex ist phylogenetisch spät entstanden, er wird in der ontogenetischen Reifung erst spät myelinisiert, er weist eine hohe Plastizität auf und er ist insbesondere zuständig für alle komplexen epistemischen Leistungen.

Die Feinstruktur des Kortex zeigt einen modularen Aufbau mit einer horizontalen Struktur in sechs Schichten und einer vertikalen Struktur in Säulen von etwa 150 bis 200 funktionell

zusammenhängenden Neuronen. Entsprechend gibt es im gesamten Kortex fünf verschiedene Arten von neuronalen Verbindungen: (α) die *intramodulare Verbindung* (Verbindungen innerhalb der Schichten-Struktur), (β) die *intermodulare Verbindung* (Verbindungen innerhalb der Säulen), (γ) die *kurzen Assoziationsfasern* (Verbindungen benachbarter Kortex-Areale), (δ) die *langen Assoziationsfasern* (Verbindungen entfernter Kortex-Areale) und (ϵ) die *interhemisphärische Verbindung*. Seitdem die Natur erst einmal diese erfolgreiche Struktur „erfunden“ hat, behält sie offensichtlich das Prinzip bei allen kognitiven Systemen bei, variiert es und wendet es auf die Lösung ganz unterschiedlicher Probleme an. Dieser Sachverhalt stützt den methodologischen Aspekt des Naturalismuspostulats, der die Übertragbarkeit von Ergebnissen der Gehirnforschung an Tieren auf Menschen behauptet.²³⁷

Der Aufbau spezialisierter Kortex-Areale weist zwei bemerkenswerte Eigenschaften auf, die einen direkten Zusammenhang zum Input herstellen: (α) Ähnlichkeiten des sensorischen Input werden durch Lagenachbarschaften der erregten Neuronen repräsentiert. Die Abbildung von den jeweiligen Rezeptoren der Sinnesorgane zu den entsprechenden Kortex-Arealen ist nachbarschaftserhaltend. Räumlich benachbarte Rezeptoren senden ihren Input an benachbarte Neuronengruppen im Gehirn. Die Tast-Rezeptoren der Körperoberfläche senden ihren Input an den somatosensorischen Kortex. Benachbarte Merkmale der Außenwelt (benachbarte Raumpunkte, benachbarte Frequenzen, benachbarte Bewegungsrichtungen) werden ebenfalls durch benachbarte Neuronengruppen im Gehirn repräsentiert. Benachbarte Neuronen kommunizieren stärker miteinander. Dadurch wird eine Beziehung zwischen der räumlichen Anordnung der Neuronen und ihrer Funktion hergestellt. (β) Häufig vorkommender oder besonders wichtiger sensorischer Input wird auf einer größeren Fläche im Kortex repräsentiert. Die Tast-Rezeptoren von Mund und Hände beanspruchen ein wesentlich größeres Gebiet des somatosensorischen Kortex verglichen mit anderen Teilen der Körperoberfläche, d.h. die Körperoberfläche ist nicht proportional zur Fläche, sondern proportional zur Bedeutung repräsentiert. Nach diesem topographischen Ordnungsprinzip werden Projektionskarten (visuell, auditiv, motorisch, somatosensorisch) aufgebaut. Es ist offensichtlich, daß durch die Kodierung nur eine *Ordnung* extrahiert werden kann, die im Input vorhanden ist. Wie diese topographischen Karten im Prinzip aufgebaut werden, darüber gibt das Kohonen-Netz weitere Auskunft.

Das Gehirn ist also gerade nicht im Sinne einer homogenen Anhäufung von Neuronen zu verstehen, sondern vielmehr als eine Ansammlung von *Karten*, die untereinander vernetzt sind. Die kognitiven Leistungen werden dann durch das Zusammenspiel verschiedener, räumlich getrennter Kortex-Areale erbracht. Der visuelle oder auditive Input wird in mehreren kortikalen Subsystemen analysiert: ein Kortex-Areal zur visuellen oder auditiven Ermittlung des Objektes (temporaler Kortex) und ein Kortex-Areal zur Ermittlung seines Ortes im Raum

²³⁷ Hedrich 1998, S. 243

(parietaler Kortex). Die Wahrnehmung eines konkreten Objektes erfordert demnach die simultane Aktivität verschiedener Kortex-Areale, die jeweils bestimmte Aspekte (was?, wo?) kodieren und die zusammen das Objekt konstituieren. Ein Teil des temporalen Kortex kodiert die Ortsveränderung eines Objekts als Bewegung. Ist dieses Kortex-Areal geschädigt, dann können nur noch Sequenzen von Standbildern wahrgenommen werden.²³⁸ Die bisherigen Erörterungen verdeutlichen den hierarchischen Aufbau des Gehirns: (α) das einzelne Neuron, (β) die Vernetzung von Neuronen zu topographischen Merkmalskarten bzw. semantischen Karten und (γ) die Vernetzung der topographischen Merkmalskarten und der semantischen Karten im gesamten Kortex.

Die biologische Entwicklung der Gehirn-Architektur

Charakteristisch für verschiedene Kortex-Areale ist ihre sequentielle Ausreifung und ein unterschiedliches Vermögen, synaptische Strukturen zu verändern (Plastizität).

- (i) Die *fehlende Plastizität*: Die fundamentalsten Gehirnfunktionen sind phylogenetisch fest „verdrahtet“ und besitzen keine oder nur eine geringe Plastizität. Hierunter fallen alle Steuerungsmechanismen (Atmung, Herzschlag), die das unmittelbare Überleben des kognitiven Systems sichern.
- (ii) Die *Plastizität innerhalb einer kritischen Phase*: Alle anderen Gehirnfunktionen besitzen eine Plastizität, die abhängig ist von den empirischen Gegebenheiten; sie werden innerhalb einer kritischen Phase (Zeitfenster) aufgebaut und sind damit ein Ergebnis der Ontogenese (Architektur-Lernen). Je elementarer die Gehirnfunktion ist, desto kürzer ist das Zeitfenster.
- (iii) Die *lebenslange Plastizität*: Allen höheren epistemischen Leistungen liegt eine lebenslange Plastizität zugrunde. Damit ist ein permanenter Wissenserwerb über die ontogenetische Phase hinaus möglich (Struktur-Lernen).

Das Gehirn kann seine vielfältigen Leistungen nur im Wechselspiel mit der Umwelt voll entfalten. Wird während der ontogenetischen Entwicklung Erfahrungen mit der Umwelt vorenthalten, dann kommt es zu irreversiblen Beeinträchtigungen der Gehirnfunktionen, die zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr repariert werden können. Erfahrungsentzug bringt demnach den Entwicklungsprozeß auf einer unreifen Stufe zum Stillstand. Im Gehirn eines neugeborenen Babys ist fast die gesamte Anzahl von Neuronen vorhanden (mit dem zweiten

²³⁸ Der parietale Kortex ist für die Raumwahrnehmung im allgemeinsten Sinne zuständig. Bestimmte Störungen können zu speziellen Formen der *Anosognosie* führen. Personen mit diesen Erkrankungen behaupten, sich gleichzeitig an zwei verschiedenen Orten zu befinden, ohne darin aber etwas Eigenartiges zu sehen. Störungen des temporalen Kortex können zu visuellen oder auditiven Halluzinationen führen. Das Gefühl der Körper-Identität kann durch Schädigungen des parietalen Kortex beeinträchtigt sein. Die Grenze zwischen Körper und Außenwelt wird von diesen Personen nicht mehr in adäquater Weise konstituiert. Solche Personen betrachten Teile ihres Körpers als nicht vorhanden oder empfinden sie als nicht zu ihnen gehörig (vgl. Roth 1996, S. 180f, 215f, 317).

Lebensjahr ist die Neurogenese abgeschlossen); sie müssen aber erst untereinander und mit den Sinnesorganen „verdrahtet“ werden, damit Erfahrungen möglich sind. Die Synapsendichte im Kortex beträgt unmittelbar nach der Geburt erst einen Bruchteil der Synapsendichte nach dem zweiten Lebensjahr. Die Verschaltung der Neuronen ist in ihren Grundzügen genetisch festgelegt, hängt aber wesentlich davon ab, ob Sinnesreize die jeweils möglichen Verschaltungsprozesse auch tatsächlich auslösen. Der genetisch fixierte Verschaltungsplan ist relativ ungenau angelegt; zahlreiche Verbindungen werden im Laufe der normalen Entwicklung wieder abgekoppelt. Neuronen, die keine funktionalen synaptischen Kontakte knüpfen können, unterliegen einer synaptischen Degeneration. Dadurch wird eine unnötige Redundanz im Gehirn verhindert und gleichzeitig die Effizienz der Verarbeitung gesteigert. Sensorische Signale wirken während der ontogenetischen Entwicklung bei der Auswahl neuronaler Verbindungen mit. Der erfahrungsabhängige neuronale Reifeprozess besteht dann darin, aus dem genetisch vorgegebenen Repertoire möglicher Verschaltungen adäquate Verbindungen auszuwählen und zu myelinisieren, sowie inadäquate Verbindungen abzukoppeln. Der Prozeß der Myelinisierung bedeutet, daß die Verbindungsfasern mit einer Isolierschicht umhüllt werden, die wesentlich die Geschwindigkeit der Informationsübertragung erhöht. Zunächst werden die sensorischen und motorischen Areale myelinisiert und am Ende der ontogenetischen Entwicklung werden die höchsten Kortex-Areale mit einer Myelinhülle versehen. Die Myelinisierung ist mit etwa 12 Jahren abgeschlossen. Für jeden Verschaltungsprozeß ist ein bestimmtes Zeitfenster vorgesehen, wenn es in dieser kritischen Phase nicht zur Verschaltung kommt, dann fehlt später das entsprechende kognitive Vermögen und kann nie mehr aktiviert werden. Der Optimierungsprozeß hängt somit von vier grundlegenden Faktoren ab.²³⁹

Biologische Entwicklung der Gehirn-Architektur				
	1. Faktor	2. Faktor	3. Faktor	4. Faktor
Aufbau der Gehirn-Architektur	Verschaltungspotential der Neuronen	Funktionsfähigkeit der Sinnesorgane	Struktur der Außenwelt	Zeitfenster für die Fixierung der Verschaltung

Dieser erfahrungsabhängige Aufbau der Gehirn-Architektur während der Ontogenese wird als *Architektur-Lernen* bezeichnet und ist vom *Struktur-Lernen* zu unterscheiden, das nach Abschluß der ontogenetischen Entwicklung den weiteren Wissenserwerb ermöglicht. Der

²³⁹ Singer 1985; Fuster 1995; Singer 2002; Die embryonale Entwicklung mit ihren komplizierten neuronalen Reifungs- und Wanderungsvorgängen sei hier ausgeklammert.

Mechanismus des Architektur-Lernens hat einen offensichtlichen Nachteil: Findet die Verschaltung der Neuronen im vorgesehenen Zeitfenster nicht statt, dann kann dies die Überlebensfähigkeit des kognitiven Systems drastisch verschlechtern. Andererseits sind mit diesem Mechanismus auch bemerkenswerte Vorteile verknüpft: (α) Das kognitive System ist flexibel und besitzt ein hohes Maß an Anpassungsfähigkeit. Im Sinne der Genetischen Erkenntnistheorie kann eine optimale Adaptation an den spezifischen Input erzielt werden. (β) Ein sich in seiner Kapazität entwickelndes kognitives System ist für das Erlernen komplexer Strukturen besser geeignet als eines, das von Anfang an die volle Kapazität aufweist. Die auffällige Nachreifung – insbesondere der frontale Kortex – ist eine notwendige Voraussetzung für das Erlernen komplexer Strukturen.

Durch die Gehirnentwicklung werden die zu lernenden komplexen Sachverhalte jeweils in dem Sinne gefiltert, daß zunächst nur einfache, aber grundlegende Inhalte überhaupt gelernt werden können, wohingegen später auch komplexe Strukturen verarbeitet und gelernt werden können. Ein sich entwickelndes Gehirn kann daher auf einen Lehrer verzichten. Es „nimmt“ sich nur die Lernerfahrungen, die es gerade „gebrauchen“ kann – ohne Unterweisung.²⁴⁰

Die Strukturbildungsmechanismen sind genetisch festgelegt. Die Auslösung der Strukturbildung erfolgt dann in der Reifungsphase durch die Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit. Der Sachverhalt soll exemplarisch an zwei Strukturbildungsmechanismen genauer geklärt werden.

- (i) Das **Extrahieren visueller Strukturen**: Die neuronale Unreife des visuellen Systems zeigt, daß die Wahrnehmung und Verarbeitung visueller Informationen zunächst noch deutlich begrenzt ist. Statische oder bewegte Objekte, die eine mittlere Strukturiertheit (menschliches Gesicht) aufweisen, bieten für ein Baby eine optimale Komplexität und sind daher besonders attraktive Reizkonfigurationen. Völlig unstrukturierte oder hochgradig strukturierte Reizkonfigurationen werden außer Acht gelassen. Offensichtlich geht von diesen keine optimale Stimulation aus.²⁴¹
- (ii) Das **Extrahieren sprachlicher Strukturen**: Um eine Sprache erfolgreich zu erwerben, erscheint es sinnvoll, zunächst einfache und später komplexe Sätze und Sprachregeln zu lernen. Dies ist die bevorzugte Strategie, die ein erwachsener Mensch beim Erlernen einer Fremdsprache anwendet. Das Kind, das Sprache erwirbt, ist – trotz Babysprache und Kindersprache – immer einer komplexen Sprachumgebung ausgesetzt, die kaum eine lerngerechte Reihenfolge sprachlicher Erfahrungen darbietet. Es ist daher wichtig, daß Sprache auch dann gelernt werden kann, wenn

²⁴⁰ Spitzer 2000, S. 202

²⁴¹ Knopf 2000, S. 82 – 93; Die Information darüber, ob ein Baby in einer sehr frühen Phase über eine spezifische Leistungsfähigkeit verfügt, wird indirekt über die Präferenztechnik ermittelt. Diese Analyseverfahren mißt das Blickverhalten bzw. die Nuckelrate.

einfache und komplexe Sätze und Regeln im Wechsel angeboten werden, weil das Kind nach Maßgabe seiner noch nicht voll entwickelten Kapazität, die einfachen Strukturen extrahiert und die komplexen Strukturen zunächst ignoriert.²⁴²

Die biologische Entwicklung der Gehirn-Architektur bestätigt damit den zentralen Ansatz Piagets, demzufolge sich der Aufbau der menschlichen Intelligenz und der Aufbau der Wirklichkeit wechselseitig bedingen und die Strukturen gemäß den Mechanismen der *Assimilation* und *Akkommodation* stufenweise konstruiert werden. Dies führt auf die Frage nach einer realistischen versus konstruktivistischen Interpretation der Wirklichkeit.

Konstruktivistische versus realistische Interpretation der Wirklichkeit

Die Aufgabe des kognitiven Systems ist es, die Phänomene in mentale Repräsentate zu übersetzen. Dabei sind drei „Welten“ beteiligt, die sich in ihrer Beschaffenheit grundlegend unterscheiden: (α) die Wirklichkeit, (β) die neuronalen Ereignisse im Gehirn und (γ) das subjektive Erleben. Der sensorische Input wird von den Sinnesrezeptoren aufgenommen und in neuro-elektrische Signale (Aktionspotentiale) und neuro-chemische Signale (Neurotransmitter) übersetzt. Das Gehirn interpretiert diese Signale dann nach Maßgabe bestimmter interner Kriterien hinsichtlich der Modalität, Qualität, Intensität und des Ortes des Input.

Der Ort, an dem eine bestimmte Erregung verarbeitet wird, bestimmt seine Modalität und auch seine Qualität. Dies bedeutet etwa, daß das Gehirn dasjenige als Sehen *interpretiert*, was den visuellen Cortex erregt, und dasjenige als Hören, was den auditorischen Cortex erregt, und zwar gleichgültig, ob die Erregung tatsächlich vom Auge bzw. vom Ohr kommt. [...]

Hieraus folgt, daß dasjenige, was wir als die wichtigsten Wahrnehmungsinhalte erleben, nämlich Modalität und Qualität einer Wahrnehmung, ein Konstrukt unseres Gehirns sind, und zwar aufgrund der räumlichen Anordnung der verschiedenen Verarbeitungszentren, ihrer *Topologie*, im Gehirn.²⁴³

Der Übergang von der physikalischen und chemischen Umwelt zu den Wahrnehmungszuständen des Gehirns stellt einen *radikalen Bruch* dar. Die Komplexität der Umwelt wird „vernichtet“ durch ihre Zerlegung in Erregungszustände von Sinnesrezeptoren. Aus diesen muß das Gehirn wiederum durch eine Vielzahl von Mechanismen die Komplexität der Umwelt, soweit sie für das Überleben relevant ist, erschließen. Dabei werden durch Kombination auf den vielen Stufen der Sinnessysteme jeweils [...] neue Bedeutungen erzeugt.²⁴⁴

Wahrnehmung hängt zwar mit Umweltereignissen zusammen, welche die verschiedenen Sinnesorgane erregen; sie ist jedoch nicht abbildend, sondern *konstruktiv*. [...] Diese Konstruktionen sind aber nicht willkürlich, sondern vollziehen sich nach Kriterien, die teils angeboren, teils frühkindlich erworben wurden oder auf späterer Erfahrung beruhen. Insbesondere sind sie nicht unserem

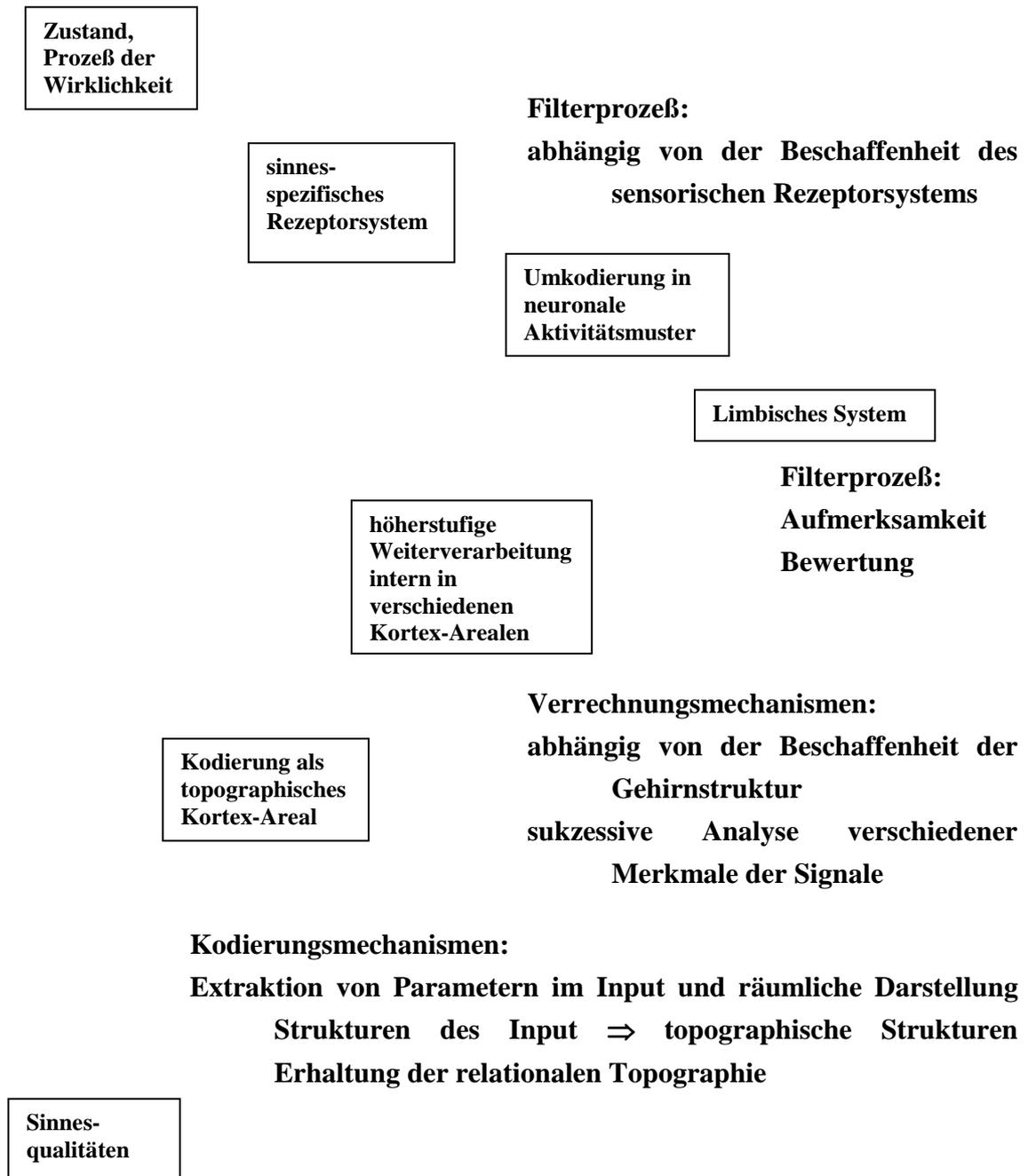
²⁴² Pinker 1996

²⁴³ Roth 1996, S. 110f

²⁴⁴ Roth 1996, S. 115

subjektiven Willen unterworfen. Dies macht sie in aller Regel zu *verlässlichen* Konstrukten im Umgang mit der Umwelt.²⁴⁵

Die sensorische Verarbeitung der Informationen erfolgt dabei einer *Analysekaskade* und zwar im wesentlichen folgendem Schema:



Die neuronalen Signale sind neutral, d.h. sie sind modalitätsspezifisch nicht mehr voneinander zu unterscheiden; ihre Beschaffenheit läßt also keine Rückschlüsse mehr zu auf Herkunft und

²⁴⁵ Roth 1996, S. 125

Bedeutung. Dieser Sachverhalt wird als *Prinzip der Neutralität des neuronalen Codes* bezeichnet. Der Ort der Kodierung im Kortex gibt jedoch eine gewisse Auskunft darüber, um welche Art von sensorischem Input es sich gehandelt haben muß. Am Ende der Informationsverarbeitung steht die spezifische sensorische Empfindung. Die Zuordnung von sensorischem Input und sensorischer Empfindung ist aber keine bijektive Abbildung. Beispielsweise kann ein und dieselbe Farbempfindung von unterschiedlichen Erregungsmustern der Farbrezeptoren hervorgerufen werden. Dies bildet die Grundlage für die Farbkonstanz. Analoge Verhältnisse liegen anderen Konstanzleistungen zugrunde.

Grundlegend für die Strukturierungen ist die Informationsverarbeitung nach dem *Ping-Pong-Prinzip*. Die Informationsverarbeitung erscheint als Kommunikation zwischen verschiedenen Kortex-Arealen und erfolgt immer in zwei Richtungen, d.h. es findet eine Interaktion von zwei reziprok gekoppelten Arealen unterschiedlicher Stufen statt.²⁴⁶

- (i) Die ***Bottom-up-Prozesse***: Der sensorische Input bzw. der bereits niederstufig verarbeitete Input wird an höhere Stufen zur Verarbeitung weitergeleitet. Gehirneigenes Strukturwissen höherer Stufen wird zur Strukturierung des sensorischen Input hinzugefügt. In den höheren Kortex-Arealen findet demnach die Hypothesenbildung statt.
- (ii) Die ***Top-down-Prozesse***: Die als plausibel erscheinende Hypothese wird durch ein Feedback überprüft und akzeptiert oder verworfen und dann modifiziert. Am Ende des Erkennungsprozesses hat sich die plausibelste Hypothese herausgebildet und durchgesetzt.

Diese Vorgänge verlaufen meistens automatisch und nicht-bewußt. Die beiden komplementären Prozesse der neuronalen Ebene entsprechen den komplementären Mechanismen der *Assimilation* und der *Akkomodation*, von denen Piaget spricht. Eine Assimilation ist dann erfolgreich, wenn die, vom höheren Kortex-Areal vorgeschlagene Hypothese dem sensorischen Input hinreichend entspricht. Eine Akkomodation findet immer dann statt, wenn das Ping-Pong-Prinzip nicht erfolgreich verläuft und eine neue Hypothesenbildung erforderlich wird. Am Ende des Erkenntnisprozesses wird ein Zustand der Äquilibration erreicht., der mit einem *Evidenzerlebnis* belohnt wird. Dies verweist auf den konstruktivistischen Aspekt der Informationsverarbeitung und präzisiert und ergänzt das *Konstruktionspostulat* und das *Kohärenzpostulat* der Genetischen Erkenntnistheorie.

- (i) Das ***Konstruktionspostulat***: Der Mensch als hoch entwickeltes kognitives System konstruiert nach Maßgabe seiner jeweiligen ontogenetischen Reifung und kulturellen Entfaltung seine spezifische Wirklichkeit immer wieder neu und anders. Dabei werden

²⁴⁶ Spitzer 2000, S. 140

die Strukturierungsformen nicht einfach an die Wirklichkeit herangetragen, sondern sie werden gewissermaßen „in ständiger Rücksprache mit der Wirklichkeit“ aufgebaut. Die Konstruktion der Wirklichkeit ist demnach nicht beliebig, sondern eingeschränkt durch constraint-Bedingungen: (α) Das kognitive System **S** unterliegt den strukturellen und funktionalen Bedingungen seiner Gehirn-Architektur. (β) Das kognitive System **S** extrahiert und kodiert beim Wissenserwerb die allgemeinen Strukturen des zu erkennenden Objekts **O**. Das kognitive System ist ein Struktur-Detektor der Wirklichkeit.

- (ii) Das **Kohärenzpostulat**: Die Anpassung der subjektiven Strukturen an die objektiven Strukturen ist im Sinne einer inneren Kohärenz der subjektiven Strukturen zu verstehen, die als epistemologische Notwendigkeit (subjektive Evidenz) erfahren wird und als Ergebnis der komplementären Mechanismen der Assimilation und Akkomodation vorliegt. Der Prozeß des Erkenntniserwerbs wurzelt im selbstorganisierenden Lernen des erkennenden Subjekts **S** und manifestiert sich im fortwährenden Aufbau neuer kognitiver Strukturen. Dabei gibt es zwei wesentliche Aspekte: (α) die Segregation in verschiedene Substrukturen und (β) die Integration in neue Gesamtstrukturen. Das Ergebnis des Erkenntniserwerbs ist dann eine etablierte Harmonie zwischen Denken und Wirklichkeit.

Damit wird die Möglichkeit eröffnet, eine neurologisch fundierte Antwort auf die Frage nach *Erkenntnis* und *Irrtum* einerseits und dem *Wirklichkeitsbezug* andererseits zu geben.

Das „Ich“ und das „Bewußtsein“

Besonders heiß umkämpft in der Philosophie sind die Begriffe „Ich“ und „Bewußtsein“. Diese Begriffe beziehen sich auf das erkennende Subjekt **S** und gelten als Grundlage für jede Erkenntnistheorie, obwohl die Begriffsexplikation eher vage bleibt und äußerst umstritten ist. Für Descartes ist das mit Bewußtsein ausgestattete „Ich“ – als *res cogitans* im Sinne einer ontologisch eigenständigen Substanz – der Ausgangspunkt jeder Erkenntnis überhaupt. Kant hingegen setzt das „ich denke“ – als notwendige Bedingung der Möglichkeit von Erkenntnis im Sinne eines transzendentalen Subjekts – jeder Erkenntnisleistung voraus. Das „Ich“ erscheint als besonders merkwürdiger Begriff: (α) Offensichtlich referiert der Begriff auf die einzig gesicherte Instanz, die auch einem rigorosen Skeptizismus nicht zum Opfer fallen kann. Der Solipsismus ist eine empirisch und logisch nicht widerlegbare Position. (β) Der Begriff „Ich“ ist ein indexikalischer Begriff und daher nur bedingt theoriefähig.²⁴⁷

²⁴⁷ Im Zusammenhang mit den spezifischen Fragen nach dem Bewußtsein stellt sich das Problem eines angemessenen Menschenbildes. Obwohl dieses Problem nicht explizites Thema dieser Studie ist, implizit aber prinzipiell allen epistemologischen Fragen zugrundeliegt, sollen skizzenhaft einige Anmerkungen angefügt werden. Ein *naturalistisches Menschenbild* stützt sich hauptsächlich auf die Naturwissenschaften und geht von dem Kerngedanken aus, daß das menschliche Verhalten durch Naturgesetze (genetische & erfahrungsabhängige & neuronale Bedingungen) bestimmt ist und kein Spielraum für einen freien Willen existiert. Die zweifelsohne

Aus neurowissenschaftlicher Sicht erscheint der Begriff „Ich“ nicht weniger problematisch. Hier handelt es sich im strikten Gegensatz zu Kants Begriff des transzendentalen Subjekts um den Begriff eines empirischen Subjekts, der auf ein vielschichtiges Konstrukt als Ergebnis einer integrativen Gehirnleistung hinweist. Völlig unterschiedliche Störungen des „Ich“ machen deutlich, daß ein zusammengesetztes *Selbst-Konstrukt* gemeint ist, das aus Teilkonstrukten besteht, die unabhängig voneinander ausfallen können. In der Ontogenese wird das zusammengesetzte Selbst-Konstrukt stufenweise aufgebaut. Vogeley unterscheidet

häufig auftretende subjektive Einschätzung der freien Willensentscheidung wird dabei keineswegs geleugnet, sondern als Illusion entlarvt bzw. als kulturelles Konstrukt interpretiert. Das Deutungsmonopol, das die Naturwissenschaften hiermit beanspruchen, wird von Philosophen und Theologen vehement bestritten, wobei die vorgebrachten Argumente wenig plausibel erscheinen – abgesehen davon, daß die Gegenentwürfe noch weniger überzeugen. (α) Eine erste Argumentationslinie bezieht sich auf die *Begriffsstruktur*: Hier geht es um den Vorwurf, die Naturwissenschaften hätten kein ausreichendes Begriffsinstrumentarium um insbesondere auch höhere kognitive Leistungen angemessen zu erfassen. Dies zielt auf Begriffe wie „Bewußtsein“, „Selbstbewußtsein“, „Intentionalität“, „freier Wille“, „Normen & Werte“ und „subjektiver Zugang & Erste-Person-Perspektive“, d.h. Begriffe, die nicht den Naturwissenschaften entstammen, sondern den Geisteswissenschaften. Der Begriff „Bewußtsein“ bleibt viel zu unklar und ist daher kaum geeignet, einem naturalistischen Menschenbild Erklärungsdefizite anzulasten. Weniger problematisch dürfte der Begriff „Intentionalität“ sein: Die Annahme, daß nur der Mensch über Intentionen verfügt und anderen Menschen Intentionen zuschreibt, wird nachhaltig durch die Beobachtung erschüttert, daß offensichtlich auch Affen täuschen und betrügen können. Diese kognitiven Leistungen sind aber ohne die Fähigkeit zu Intentionen und Zuschreibung von Intentionen nicht möglich. Der Begriff „freier Wille“ scheint eher Probleme zu erzeugen, wo möglicherweise gar keine sind. Der freie Wille im echten Sinne einer Freiheit des Willens erfordert eine autonome, innere Instanz (Beispiel: Substanz-Dualismus), deren Existenz sich kaum nachweisen läßt. Darüber hinaus müßte diese innere Instanz in einer Wechselwirkung mit dem Gehirn stehen, die auch überzeugte Dualisten nicht erklären können. Der freie Wille im Sinne einer vom limbischen System gesteuerten Handlungsfreiheit ist trivial, weil auch eine Katze zwischen zwei Katzenmenüs wählen kann. Der freie Wille im Sinne einer reflektierten, begründungs-orientierten Handlungsfreiheit verschiebt das widerspenstige Problem des freien Willens hin zum Problem der Normen und Werte. Hier aber müßte erst nachgewiesen werden, daß der Mensch nicht nur rationalisiert, d.h. daß menschliches Verhalten nach *Gründen* erfolgt und nicht nach *Ursachen*. Die Frage, ob der Mensch seine Entscheidungen nach Normen und Werten trifft, oder ob er im nachhinein lediglich rationalisiert, ist keine normative Frage, die von Theologen und Philosophen beantwortet werden kann, sondern eine empirische Frage, die von Psychologen und Neurowissenschaftlern beantwortet werden muß. In diesen Disziplinen wird die Annahme eines freien Willens aber zunehmend skeptisch beurteilt. Im übrigen ist zu fragen, ob Entscheidungen aus kalter Rationalität, wenn sie denn vorlägen, wirklich so beruhigend wären. Walter stellt den entscheidenden Punkt pointiert heraus: „[...] wem würden Sie Ihr Kind eher anvertrauen? Jemandem, der es spontan und auch nach reiflicher Erwägung *verabscheut*, einem Kind etwas anzutun oder jemandem, der lediglich *rational einsieht*, daß dies mit bestimmten philosophischen Prinzipien, die er aufgrund rationaler Erwägungen befürwortet, nicht vereinbar ist?“ (Walter 2000, S. 280). (β) Eine zweite Argumentationslinie verweist auf die drastischen Änderungen im Naturverständnis, die alle modernen Naturwissenschaften mit sich bringen und die umstrittenen Probleme im Zusammenhang mit einem wissenschaftlichen Realismus. Dieser Sachverhalt erschwert sicherlich die Formulierung eines naturalistischen Menschenbildes. Daraus kann aber keineswegs die Konsequenz gezogen werden, daß Philosophie oder Theologie über einen besseren Zugang zur Formulierung eines angemessenen Menschenbildes verfügen, insbesondere deshalb nicht, weil sie nur über Sprache als einziges Erkenntnis-Instrument verfügt. (γ) Eine dritte Argumentationslinie beruft sich auf die Besonderheiten der kulturellen Leistungen des Menschen, deren Erklärung angeblich aus dem Gegenstandsbereich der Naturwissenschaften herausfallen. Wird dieses Argument ernst genommen, dann müßte mit dem Auftreten der ersten kulturellen Leistungen – in der doppelten Entwicklungsgeschichte (phylogenetisch, ontogenetisch) des Menschen – etwas Mysteriöses eintreten, das prinzipiell darüber hinausgeht, was durch die Zunahme der Komplexität von kognitiven Systemen möglich ist. Dieses Mysteriöse läßt sich jedoch weder in der Menschheitsgeschichte noch in der Individualentwicklung dingfest machen. Das naturalistische Menschenbild soll hier keineswegs dogmatisch vertreten werden, aber es muß doch kritisch gefragt werden, ob das intuitive Selbstverständnis, auf das sich die Philosophen letztendlich berufen, ein Garant sein kann für ein angemessenes Menschenbild. Gerade die Intuition ist – trotz ihrer Unverzichtbarkeit für den Erkenntnisprozeß – in besonderer Weise irrtumsanfällig und bedarf der Belehrung durch möglichst viele Kontrollinstanzen (vgl. Newen / Vogeley 2000; Metzinger 2001; Singer 2003).

in seinem Aufsatz zur *Psychopathologie des Selbstkonstrukts* – gemäß einer Terminologie von Scharfetter – fünf verschiedene Teilkonstrukte des „Ich“.²⁴⁸

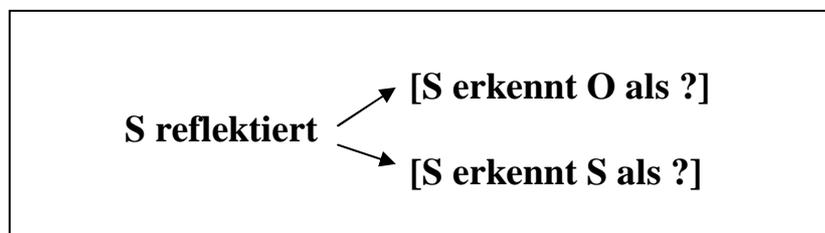
- (i) Die ***Ich-Vitalität***: Hier wird die Erfahrung beschrieben, sich selbst als *existierendes*, lebendes Wesen wahrzunehmen. Bei Störungen kann es zur Befürchtung oder zur Gewißheit des eigenen Todes kommen, d.h. der Patient erlebt sich zwar als existierend aber dennoch als tot. Noch bizarrer erscheinen Erlebnisse der eigenen Nicht-Existenz.
- (ii) Die ***Ich-Aktivität***: Hier geht es um die Personalisation, d.h. um das Erleben von perzeptiven, kognitiven, emotionalen und motorischen Leistungen als *eigene* Wahrnehmungen, Gedanken, Gefühle und Handlungen. Störungen werden als Depersonalisation bezeichnet; sie können dazu führen, daß Patienten sich als von einer anderen Macht gesteuert empfinden.
- (iii) Die ***Ich-Konsistenz***: Hier ist die Erfahrung der *Einheit* gemeint und zwar die konsistente und kohärente Einheit des eigenen Körpers, der eigene Person oder auch der ganzen Welt. Die Zerstörung dieser Konsistenz und Kohärenz führt zum Eindruck der Auflösung und Zersplitterung der Einheit. Im Extremfall kann es zu Verdoppelungserlebnissen kommen, so daß von zwei unabhängigen Persönlichkeiten mit je eigenen Erlebnis- und Gefühlswelten zu sprechen ist.
- (iv) Die ***Ich-Identität***: Hier wird die *Kontinuität* des „Ich“ in der Zeit erfahren. In einer Identitätsstörung können Erlebnisse aus früheren Lebensphasen als zu einer anderen Person gehörig empfunden werden.
- (v) Die ***Ich-Demarkation***: Hier geht es um die Abgrenzung des eigenen Körpers von der Außenwelt. Fehlt die *Körper-Welt-Grenze*, so kann es zu fehlerhaften Identifikationen mit Gegenständen der Außenwelt kommen, in denen Patienten zu Gegenständen mutieren können.

Wenn Philosophen, Psychologen und Neurowissenschaftler von „Bewußtsein“ sprechen, dann beziehen sie sich auf unterschiedliche Begriffsvarianten. Auch der empirische Begriff „Bewußtsein“ zielt auf eine Ansammlung unterschiedlicher Zustände, die durch die Interaktion verschiedener Bereiche im Gehirn zustande kommen, von denen die meisten selbst gar nicht bewußtseinsfähig sind. Einige der wichtigsten Bedingungen für die Möglichkeit von elementaren Bewußtseins-Phänomenen sind (α) ein hinreichend komplex-strukturierter assoziativer Kortex, (β) eine genügend hohe Stoffwechselaktivität – insbesondere die Versorgung mit Sauerstoff und Zucker –, (γ) eine spezifische Gehirnaktivität von mindestens 100 Millisekunden für einen bewußt wahrgenommenen Input und (δ) eine

²⁴⁸ Vogeley 2001, S. 238 – 268

massive Rückkopplung mit dem limbischen System (Motivation, Bewertung). Für höhere Bewußtseinsformen, die zur reflektiven Analyse und Repräsentation gehirnter Prozesse befähigen, muß das Gehirn in der Lage sein, über die jeweils ablaufenden Verarbeitungsprozesse Protokoll zu führen und diese zu nutzen, um Handlungsentwürfe zu optimieren. Außerdem dürfte auch die Einbindung des Individuums in soziale Strukturen eine notwendige Bedingung sein. Dieser Sachverhalt erfordert eine differenzierte Begrifflichkeit. Roth unterscheidet in seiner *Phänomenologie des Bewußtseins* verschiedene Ebenen:²⁴⁹

- (i) Das **Wach-Bewußtsein**: Hier geht es um eine sehr allgemeine Form des Bewußtseins, das ein Kontinuum mehr oder minder wacher Zustände umfaßt. Die Wachheit bildet den Hintergrund für alle höheren Bewußtseinsebenen. Störungen des Wach-Bewußtseins können zur Ohnmacht bzw. zum Koma führen.
- (ii) Das **Aufmerksamkeits-Bewußtsein**: Hier ist die spezielle Fähigkeit gemeint, die Aufmerksamkeit – wie ein Suchscheinwerfer – auf bestimmte perzeptive, kognitive, emotionale und motorische Leistungen zu fokussieren. Da die Bewußtseinsinhalte modular, d.h. räumlich und funktional getrennt organisiert sind, können bei Läsionen in einzelnen Gehirnbereichen Bewußtseinsinhalte selektiv ausfallen, während andere erhalten bleiben.
- (iii) Das **Ich-Bewußtsein**: Hier geht es um die Konstruktion eines „virtuellen Akteurs“ und damit um das Erleben des eigenen „Ich“, das sich in den zuvor genannten Teilkonstrukten manifestiert und das in seinem Zusammenspiel erst das vollständige Ich-Bewußtsein hervorbringt.
- (iv) Das **Reflexions-Bewußtsein**: Hier wird die Fähigkeit des Menschen angesprochen, gedanklich eine Metaebene („innere Auge“) einzunehmen um über die eigenen Fähigkeiten zur Wahrnehmung, zu Gedanken und Handlungen zu reflektieren.



Die Möglichkeit eines Reflexions-Bewußtseins scheint an das Auftreten eines Ich-Bewußtseins geknüpft zu sein.

²⁴⁹ Roth 2001, S. 155 – 209; Singer 2000, S. 333 – 351; Singer 2002

Worin besteht die *philosophische Relevanz* dieser begrifflichen Differenzierungen? Zunächst wird deutlich, daß sich hinter den philosophischen Begriffen „Ich“ und „Bewußtsein“ ganze Begriffslandschaften verbergen, die ganz sicher nicht mit den philosophischen Mitteln der Begriffsanalyse allein erschlossen werden können. Der Rückgriff auf die empirischen Neurowissenschaften erscheint daher zwingend geboten. Des weiteren ergeben sich gewichtige Argumente gegen einen interaktiven Dualismus.

Solche [...] Befunde sind mit der Annahme unvereinbar, daß ein autonomer Geist das Gehirn als Instrument benutzt, um sich – so Eccles – in der materiellen Welt zu verwirklichen. Vielmehr zeigen sie, daß Bewußtsein das *Endresultat* der sehr komplexen Interaktion vieler Hirnzentren ist, von denen die allermeisten grundsätzlich unbewußt arbeiten, und der Geist nicht etwa die Hirnaktivität anstößt, wie dies im Rahmen des interaktiven Dualismus angenommen wird, [...].²⁵⁰

Das Gehirn generiert mit der Ausbildung eines Ich einen „virtuellen Akteur“, dem ein Körperschema und ein Ort im Raum zugeschrieben wird und der zum scheinbaren Träger der Willkürhandlungen wird. Es sieht so aus, als ob nur über die Konstruktion eines solchen virtuellen Akteurs und die Bündelung der vielfältigen, an den Willkürhandlungen beteiligten Prozesse im assoziativen, besonders präfrontalen Kortex komplexe Handlungsplanung möglich ist.²⁵¹

In erkenntnistheoretischen Zusammenhängen wird die begriffliche Differenzierung wichtig, wenn es darum geht, zwei verschiedene *Informationsverarbeitungssysteme* zu identifizieren, die sich gerade auch im Hinblick auf die aktivierte Bewußtseinssebene unterscheiden. Hier ist dann zu unterscheiden zwischen bewußten (mit Reflexions-Bewußtsein) und nicht-bewußten Zuständen (ohne Reflexions-Bewußtsein).

Gehirn versus Computer

Werden die zuvor beschriebenen Vorgänge des Gehirns zu einem stark vereinfachten abstrakten Modell zusammengefaßt, dann führt dies zum Begriff des *neuronalen Netzes* im technischen Sinne und zur Idee, zumindest elementare kognitive Leistungen an diesen künstlichen neuronalen Netzen zu simulieren. McCulloch und Pitts entfalten 1943 den Gedanken, daß Neuronen wie logische Elemente funktionieren und zeigen, daß die logischen Operationen „und“, „oder“ und „nicht“ modellierbar sind, woraus alle komplexeren Verknüpfungen aufgebaut werden können. Hepp stellt 1949 seine Lern-Regel zur erfahrungsabhängigen Änderung der Synapsengewichte vor und 1958 untersucht Rosenblatt das Perzeptron – ein mehr-schichtiges neuronales Netz. Damit beginnt die erste Blütezeit der Erforschung neuronaler Netze. Diese findet ein jähes Ende als 1969 Minsky und Papert nachweisen, daß ein zwei-schichtiges neuronales Netz grundsätzlich das **XOR**-Problem (exklusive Disjunktion) nicht bewältigen kann und daß für ein mehr-schichtiges neuronales Netz keine explizite Lern-Regel angegeben werden kann.

²⁵⁰ Roth 2001, S. 195

²⁵¹ Roth 2001, S. 204

Die Hoffnungen, kognitive Leistungen zu simulieren, richten sich dann auf die **AI**-Forschung (Artificial Intelligence). Der Fortgang der Gehirnforschung steht ganz unter der Leitmetapher eines *sequentiell* arbeitenden Computers. Demzufolge wird das menschliche Gehirn als eine symbolverarbeitende Maschine betrachtet, die Symbole und Regeln systematisch abarbeitet. Doch dieses Paradigma stößt auf merkwürdige Probleme. Der Mensch erkennt ein Gesicht oder ein Wort in Bruchteilen von Sekunden. Die Simulation dieser kognitiven Leistung auf einem sequentiell arbeitenden Computer würde Tausende von Verarbeitungsschritten erfordern. Innerhalb des genannten Zeitraums kann das Gehirn aber nur etwa 100 Verarbeitungsschritte ausführen. Die damit verknüpften Schwierigkeiten sind in der **AI**-Forschung als das 100-Schritte-Problem bekannt geworden. Hier wird bereits deutlich, daß die Strategie der Informationsverarbeitung im Gehirn von prinzipiell anderer Art sein muß, als dies ein sequentiell arbeitender Computer nahelegt.²⁵²

Nach 1980 erfährt die Erforschung neuronaler Netze eine zweite Blütezeit. Es werden neuronale Netze entwickelt, die erfolgreich Bildverarbeitung, Sprach- und Schrifterkennung leisten, das **XOR**-Problem lösen und Lern-Regeln für mehr-schichtige neuronale Netze angeben. Zu diesen neuen Netzwerktypen gehören insbesondere das Hopfield-Netz (1982), das Kohonen-Netz (1982), das Ritter-Kohonen-Netz (1989), das Rumelhart-Netz (1986) und das Elman-Netz (1991). Sie stellen adäquatere Modelle dar um kognitive Fähigkeiten zu simulieren. Die Ergebnisse der vergangenen zwanzig Jahre zeigen, daß das Paradigma eines ausschließlich sequentiell arbeitenden Computers im Hinblick auf die kognitiven Fähigkeiten des Menschen sicherlich nicht adäquat ist. Probleme ergeben sich hauptsächlich mit der Effizienz, der Plausibilität und der Implementierbarkeit mittels Programmierung. Zum alten Paradigma muß ein neues Paradigma hinzugefügt werden, das eine *parallel verteilte Informationsverarbeitung PDP* beschreibt.²⁵³

²⁵² Bis zum 19. Jahrhundert ist die wissenschaftliche Untersuchung geistiger Aktivitäten ein Zweig der *Philosophie* und ihre wichtigste Methode ist die Introspektion. Mitte des 19. Jahrhunderts kommt die *Psychophysik* hinzu, die sich hauptsächlich mit der Beschreibung, Quantifizierung und Interpretation von Wahrnehmungen (Fechner) beschäftigt. Zum Ende des 19. Jahrhunderts wenden sich die Psychologen der Analyse von Lernen und Gedächtnis (Ebbinghaus) zu. Die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts kommt zunehmend unter den Einfluß des *Behaviorismus* (Watson), der das menschliche Verhalten mit der gleichen Strenge untersuchen wollen, wie dies die Naturwissenschaften tun. Daher argumentieren seine Vertreter dafür, sich auf beobachtbare Verhaltensaspekte zu konzentrieren und Spekulationen über nicht-beobachtbare kognitive Zustände zu vermeiden. Die *Gestaltpsychologie*, die *kognitive Psychologie* und die *Neuropsychologie* hingegen betonen die Bedeutung gehirnterner Verarbeitungsmechanismen (vgl. Kandel / Schwartz / Jessell 1996, S. 328f, 394f).

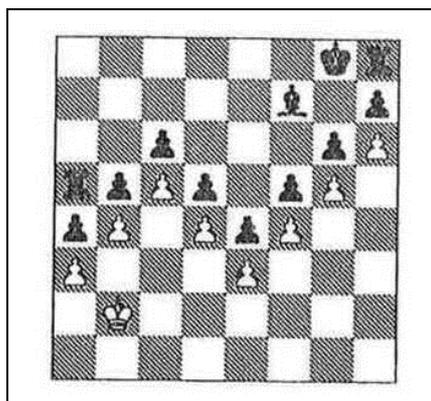
²⁵³ Die unglaublichen Fähigkeiten künstlicher neuronaler Netze, die geistigen Leistungen des Menschen zu simulieren, hat gewaltige Auswirkungen auf das menschliche Selbstverständnis. Spitzer schreibt dazu: „Wir haben uns zwar seit langem daran gewöhnt, daß wir nicht Mittelpunkt der Welt sind, und auch mit dem Gedanken, daß wir nicht Krone der Schöpfung sind, hatten wir schon über einhundert Jahre Zeit, uns anzufreunden. Verglichen mit den unbequemen Gedanken von Galileo Galilei und Charles Darwin jedoch erscheint die Enträselung unseres Denkens noch wesentlich unbequemer, scheint sie uns doch die letzte Bastion unserer Einzigartigkeit zu nehmen. [...] Kurz, wenn wir schon Mittelpunkt und Krone opfern mußten, so ist doch wenigstens unser Denken sicher. – So oder so ähnlich sieht unser Selbstverständnis aus, das durch die Forschungsergebnisse der vergangenen zehn Jahre radikal in Frage gestellt wird.“ (Spitzer 2000, S. 10)

Daher haben sich die meisten Neurobiologen, die mit Computermodellen arbeiten und neuronale Funktionen in Modelle fassen wollen, von seriellen Systemen ab- und Systemen mit parallelen und verteilten Komponenten zugewandt, die sie *konnektionistische Systeme* nennen. [...] Einzelne Elemente im Modell übertragen keine große Informationsmenge. *Es ist die Komplexität der Verbindungen zwischen vielen Elementen, nicht diejenige einzelner Komponenten, die eine komplexe Informationsverarbeitung möglich macht.*²⁵⁴

Wie und welchem Sinne ist es möglich, daß neuronale Netze kognitive Leistungen erbringen können? Welche Prinzipien liegen der Funktionsweise von neuronalen Netzen zugrunde? Ziel ist es nicht, das Gehirn nachzubauen, sondern eine Theorie zu entwerfen und abzusichern, die es erlaubt die Vorgänge im Gehirn besser zu verstehen. Sequentiell arbeitende Computer können zahlreiche Aufgaben (Schachspiel, mathematische Algorithmen) hervorragend lösen, die dem Menschen eher schwerfallen; umgekehrt versagt der Computer kläglich bei vielen alltäglichen Aufgaben (Gesichtserkennung, Spracherkennung), die der Mensch offensichtlich spielend bewältigt. Es muß daher gravierende Unterschiede in der Kodierung und Verarbeitung von Informationen zwischen diesen beiden Systemen geben, die sich grundlegend auf die kognitiven Fähigkeiten im allgemeinen und die Mustererkennung im speziellen auswirken.²⁵⁵ Der Begriff „Muster“ ist hier sehr allgemein zu verstehen: es kann ein Bild, ein Wort, ein Gegenstand, eine Situation oder ein Sachverhalt gemeint sein. Das Gehirn ist ein Informationsverarbeitungssystem, das distribuiert kodierte Information parallel verarbeitet und dabei seine Synapsen der verarbeiteten Information anpaßt. Der Unterschied

²⁵⁴ Kandel / Schwartz / Jessell 1996, S. 41

²⁵⁵ Der Computer „Deep Thought“ schlägt Garri Kasparow im Schachspiel. Dennoch kapituliert der Computer bei einer äußerst simplen Schachposition, die sich Hartston und Norwood ausgedacht haben.



Figur 1.24

Jeder menschliche Schachspieler, der mit den Schachregeln einigermaßen vertraut ist, erkennt sofort, daß die Mauer aus weißen Bauern für den „schwarzen Spieler“ nicht zu durchbrechen ist. Der „weiße Spieler“ kann seinen König getrost hin- und herbewegen und damit für immer dem Schachmatt entgehen. Der Computer hingegen schlägt mit dem weißen Bauern den schwarzen Turm und gibt so durch eigenes Verschulden die schützende Mauer auf. Der Grund für diese „Dummheit“ liegt darin, daß Computer einen Zug nach dem anderen berechnen (wenngleich auch eine beträchtliche Zahl von Spielzügen im voraus) und dabei immer möglichst einen Figuren-Vorteil erreichen wollen. Es fehlt ihnen offensichtlich der Blick für das Gesamtmuster (vgl. Penrose 2000).

zwischen parallel und sequentiell arbeitenden Systemen manifestiert sich hauptsächlich in der Architektur und der Plastizität; dies hat Konsequenzen hinsichtlich der Robustheit (Ausfall einzelner Neuronen) und der Fehlertoleranz (Störungen im Input).²⁵⁶

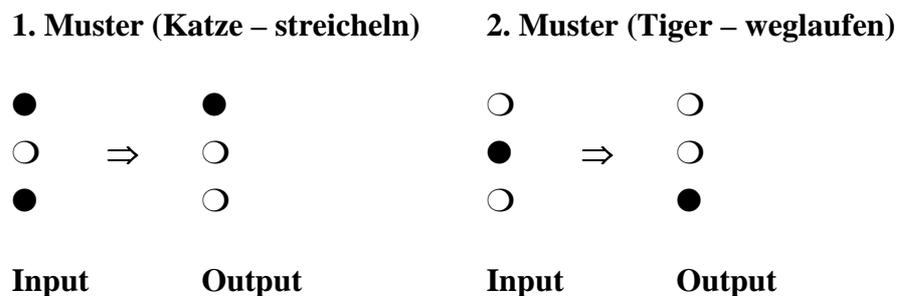
Gehirn / Neuronale Netze	symbolische AI-Systeme
distribuierte Kodierung	lokalisierte Kodierung
parallele Informationsverarbeitung	sequentielle Informationsverarbeitung
Generalisierungsfähigkeit bei Ähnlichkeit	keine Generalisierungsfähigkeit bei Ähnlichkeit
Lernfähigkeit, Plastizität (Anpassung der Synapsengewichte)	keine Lernfähigkeit, keine Plastizität (keine Anpassung der Verschaltung)

Abgesehen von den bereits genannten strukturellen Unterschieden gibt es funktionale Unterschiede: (α) Sequentiell arbeitende Computer basieren auf einer von-Neumann-Architektur. Sie werden von einem Zentral-Prozessor gesteuert; sie verfügen über einen Datenspeicher und ein Programm; sie sind sensibel gegen Störungen der Hardware. Bereits ein kleiner Defekt an entscheidender Stelle kann zum Totalausfall des Systems führen. Das Gehirn hingegen ist äußerst robust. Störungen führen meist nur zu einem graduellen Leistungsabfall. Auch dann, wenn eine große Zahl von Neuronen ausfällt, versagt das Gehirn nicht völlig. (β) Computer arbeiten mit Symbolen und expliziten Regeln (regel-basiert); das Gehirn hingegen arbeitet sub-symbolisch und lernt aus Beispielen (beispiel-basiert). (γ) Die Übertragungsgeschwindigkeit von Informationen innerhalb des Gehirns liegt um den Faktor 10^5 niedriger als beim Computer. Dies hängt mit der Refraktärzeit der Neuronen zusammen; Neuronen können nur etwa 10^2 mal in der Sekunde feuern. Der Informationsgehalt liegt darin, ob und mit welcher Frequenz ein Neuron feuert. (δ) Die Informationsübertragung der Neuronen ist eher unzuverlässig. Ihre Fehleranfälligkeit liegt möglicherweise um 10^9 höher im Vergleich zum Computer. (ε) Das Gehirn kann im Gegensatz zum Computer auch dann Informationen erfolgreich verarbeiten, wenn diese unscharf, verrauscht, fragmentarisch oder inkonsistent sind. (ζ) Das Gehirn kann selbstorganisierend lernen und hat die Fähigkeit, sich den Erfordernissen der Informationsverarbeitung anzupassen. Grundlage ist die regulierbare Stärke der Synapsen, d.h. Wissen wird durch Strukturveränderungen gespeichert. Diese Eigenschaft wird als Plastizität des Gehirns bezeichnet.

²⁵⁶ Spitzer 2000, S. 12ff; Urchs 2002, S. 184ff

Parallele versus sequentielle Informationsverarbeitung

Besonders bemerkenswert ist also die – im Vergleich zu traditionellen Computern – neuartige Informationsverarbeitung. Traditionelle Computer arbeiten sequentiell, das Gehirn hingegen vorwiegend parallel. Die parallele Verarbeitung weist gegenüber der sequentiellen Verarbeitung grundlegend andere Merkmale auf: Sequentiell meint, daß jeder Verarbeitungsschritt mit den anderen zusammenhängt; parallel hingegen bedeutet, daß jeder Verarbeitungsschritt von den anderen unabhängig ist, aber mit diesen zusammen erst das Ganze ergibt.²⁵⁷ Am Problem einer einfachen Musterklassifikation und mit den Mitteln eines Spielzeug-Netzwerks soll der Sachverhalt demonstriert werden. Gegeben sei ein zweischichtiges neuronales Netz mit drei Neuronen der Input-Schicht und drei Neuronen der Output-Schicht. Die Input-Neuronen liefern uninterpretierte Signale in Form von Aktionspotentialen. Das Gehirn muß dann Muster erkennen, ihnen eine Bedeutung zuschreiben und mit einer angemessenen Reaktion antworten. Die konkrete Aufgabe sei, zwei Muster zu erfassen (Katze, Tiger) und in spezifischer Weise darauf zu reagieren (streicheln, weglaufen). Bei der sequentiellen Informationsverarbeitung würde der Informationsgehalt jedes einzelnen Neurons nacheinander abgearbeitet werden. Je komplexer das Muster ist, desto aufwendiger wird der Algorithmus. Das Abarbeiten von komplexen Mustern benötigt dann mehr Zeit und ist äußerst fehleranfällig. Wird an einer Stelle eine fehlerhafte Entscheidung getroffen, dann kann das Muster nicht mehr erkannt werden. Bei der parallelen Verarbeitung hingegen wird das Muster durch eine entsprechend hohe Anzahl von Neuronen in vielen, voneinander unabhängigen, gleichzeitig ablaufenden Verarbeitungsschritten erfaßt.



(● ein Neuron im Erregungszustand, ○ ein Neuron im Ruhezustand). Jedes Neuron der Input-Schicht ist mit jedem Neuron der Output-Schicht verknüpft und weist ein charakteristisches Synapsengewicht auf. Positive Synapsengewichte symbolisieren exzitatorische Wirkungen; negative Synapsengewichte hingegen symbolisieren inhibitorische Wirkungen. Der Schwellenwert für alle Output-Neuronen sei $S = 0.8$. Für das gestellte Problem existiert eine Lösung, d.h. es gibt eine Verteilung von Synapsengewichten, die das erwünschte Verhalten generiert. Dies läßt sich als Korrelations-Matrix formulieren:

²⁵⁷ Churchland nennt diese Strategie ganz griffig den „Schnittlauch-Trick“. Anstatt jeden Halm einzeln zu schneiden, wird das ganze Bündel zusammengefaßt und gehackt (vgl. Churchland 2001, S. 14).

$$\begin{array}{rcc}
 & + 0.5 & - 0.5 & + 0.5 \\
 \mathbf{w_{kl}} & = & + 0.3 & + 0.3 & + 0.3 & & \mathbf{w_{kl} \cdot \mathbf{i}_l = \mathbf{o}_k} \\
 & & - 0.3 & + 1.0 & - 0.3 & &
 \end{array}$$

Es läßt sich leicht prüfen, daß mit diesen Synapsengewichten für beide zuvor genannten Muster die richtige Zuordnung von Input und Output geleistet wird. Beim 1. Muster feuert nur das obere Neuron der Output-Schicht und beim 2. Muster feuert nur das untere Neuron der Output-Schicht.²⁵⁸

1. Muster

$$\begin{array}{rcc}
 + 0.5 & - 0.5 & + 0.5 & & \mathbf{1} & & + 1.0 & & \mathbf{1} \\
 + 0.3 & + 0.3 & + 0.3 & & \mathbf{0} & = & + 0.6 & \Rightarrow & \mathbf{0} \\
 - 0.3 & + 1.0 & - 0.3 & & \mathbf{1} & & - 0.6 & & \mathbf{0}
 \end{array}$$

2. Muster

$$\begin{array}{rcc}
 + 0.5 & - 0.5 & + 0.5 & & \mathbf{0} & & - 0.5 & & \mathbf{0} \\
 + 0.3 & + 0.3 & + 0.3 & & \mathbf{1} & = & + 0.3 & \Rightarrow & \mathbf{0} \\
 - 0.3 & + 1.0 & - 0.3 & & \mathbf{0} & & + 1.0 & & \mathbf{1}
 \end{array}$$

Dieses einfache Beispiel zeigt, daß sich durch die Vernetzung von zwei Neuronenschichten bereits grundsätzlich die kognitive Fähigkeit der *Musterklassifikation* simulieren läßt. Das gesamte Wissen über die Zuordnung steckt in der Vernetzung der Neuronen und den richtig eingestellten Synapsengewichten. Grundlegend ist dabei, daß alle Neuronen der Output-Schicht parallel arbeiten. Dies führt zu wichtigen Konsequenzen: (α) Das Erkennen von komplexen Mustern benötigt zwar eine große Anzahl von Neuronen, ist aber robust (Ausfall einzelner Neuronen) und fehlertolerant (Störungen des Input). (β) Komplizierte Muster benötigen nicht mehr Zeit als einfache. Das 100-Schritte-Problem der AI-Forschung erweist sich hier als völlig gegenstandslos. (γ) Das Erlernen eines Musters erfolgt nicht durch eine entsprechende Programmierung, sondern durch Training an ähnlichen Beispielen.

Der Lernprozeß neuronaler Netze

Klassifiziert nach ihren Funktionen gibt es sensorische Neuronen (Input-Schicht), die ihre Signale von außen (Sinnesorgane) erhalten, motorische Neuronen (Output-Schicht), die ihre Signale nach außen (Sprache, Handlung) abgeben und Inter-Neuronen (Zwischen-Schicht, Kontext-Schicht), die eine gehirninterne Verarbeitung leisten. Die besondere Architektur der neuronalen Netze generiert spezielle Gehirnleistungen – Musterklassifikation, Mustervervollständigung, Prototypenbildungen von Objekten und kausalen Prozessen. Lernen bedeutet, daß die Synapsengewichte in der Lernphase nach Lern-Regeln allmählich eingestellt

²⁵⁸ Spitzer 2000, S. 23ff

werden. Unter Lernen kann zweierlei verstanden werden: (α) angeleitetes Lernen durch *Verstärkung* (erwünschter Output bekannt) und (β) selbstorganisierendes Lernen durch *Konkurrenz* (erwünschter Output nicht bekannt). Selbstorganisation wird physikalisch durch Phasenübergänge komplexer dynamischer Systeme beschrieben. Das selbstorganisierende Lernen ist abhängig von bestimmten Bedingungen, dem das erkennende Subjekt **S** genügen muß – Eigenschaften der Gehirn-Architektur – und bestimmten Bedingungen, dem das zu erkennende Objekt **O** genügen muß – Eigenschaften des sensorischen Input. Neuronale Netze lassen sich allgemein durch drei Bestimmungsmerkmale charakterisieren:

- (i) Die **Neuronenstruktur**: Hier geht es um die spezifischen Kenndaten des Neurons, also die Inputfunktion (gibt den effektiven Eingang an in Abhängigkeit von Input **i** und Synapsengewichte **w**), die Aktivierungsfunktion (berücksichtigt den Zustand des Neurons zum Zeitpunkt der Informationsübertragung) und die Outputfunktion (gibt den Ausgangswert an in Abhängigkeit vom Schwellenwert **S** und gegebenenfalls von der Aktivität von Nachbar-Neuronen).²⁵⁹
- (ii) Die **Architektur**: Hier geht es zunächst um die Anzahl der Schichten der Neuronen (Input-Schicht, Output-Schicht, Zwischen-Schicht, Kontext-Schicht), dann um die Verbindung der Neuronen (auto-assoziative Verbindung, kompetitive Verbindung, Eins-zu-Eins-Verbindung) und weiter um die Richtung des Informationsflusses (vorwärtsgekoppelt, rückwärtsgekoppelt).
- (iii) Die **Lern-Regeln**: Diese beschreiben Algorithmen zur Änderung der Synapsengewichte während der Lernphase gemäß einer geeigneten Fehlermeldung (Hepp-Regel, Delta-Regel, Wettbewerbs-Regel, Fehlerrückführungs-Regel). Dazu ist eine Distanzmetrik einzuführen, die den Fehler quantifiziert, d.h. ein Ähnlichkeitsmaß zwischen zwei Vektoren (Skalarprodukt, euklidische Norm).

In der folgenden Übersicht werden einige *Grundtypen* von besonders wichtigen Netzwerk-Architekturen und die damit simulierbaren kognitiven Leistungen vorgestellt.²⁶⁰

²⁵⁹ Der Ausdruck $\sum w_{ki}i_k$, der die Informationsübertragung beschreibt, ist ein Spezialfall. Im allgemeinen handelt es sich um eine Funktion, die sich in eine Taylorreihe $\sum w_{ki}i_k + \sum w_{kij}i_ki_j + \dots$ entwickeln läßt und dann auch Neuronen höherer Ordnung (Sigma-Pi-Neuronen) beschreibt. Netze, die nur Neuronen erster Ordnung enthalten, können ein gelerntes Muster nicht mehr erkennen, sofern es verschoben, gedreht oder skaliert ist. Ist das Netz jedoch mit Neuronen höherer Ordnungen ausgestattet, dann kann *Translationsinvarianz*, *Rotationsinvarianz* und *Skalierungsinvarianz* simuliert werden. (vgl. Dorffner 1991, S. 313ff; Hoffmann 1993, S. 110f)

²⁶⁰ Ritter / Martinetz / Schulten 1991, S. 4f; Scherer 1997, S. 9ff; Für die Implementierung von neuronalen Netzen gibt es zwei grundsätzliche Alternativen: (α) Der Konnektionismus kann als ein Vorschlag für eine neue Rechner-Hardware angesehen werden oder (β) die neuronalen Netze können auf von-Neumann-Rechnern simuliert werden. Symbolische Systeme können zwar im Sinne einer Turingäquivalenz die gleiche Funktionalität wie sub-symbolische Systeme erreichen, die *Effektivität* und *Plausibilität* bleiben dann aber unberücksichtigt.

	Name des Netzes	Architektur	Simulierte kognitive Leistung
1.	Rosenblatt-Netz (1958)	Input-Schicht, Output-Schicht, hetero-assoziativ	Musterklassifizierung
2.	Hopfield-Netz (1982)	Input-Schicht, Output-Schicht, auto-assoziativ	Mustervervollständigung
3.	Kohonen-Netz (1982)	Input-Schicht, Output-Schicht, Center-Surround-Prinzip, Konkurrenz	Topographische Karten, selbstorganisierendes Lernen
4.	Ritter-Kohonen-Netz (1989)	Input-Schicht, Output-Schicht, Center-Surround-Prinzip, Konkurrenz	Semantische Karten, selbstorganisierendes Lernen
5.	Rumelhart-Netz (1986)	Input-Schicht, Output-Schicht, Zwischen-Schicht	Prototypische Objekte, Abstraktion
6.	Elman-Netz (1991)	Input-Schicht, Output-Schicht, Zwischen-Schicht, rückgekoppelte Kontext-Schicht	Prototypische Prozesse, Kausalstrukturierung

1. Die Musterklassifizierung der Rosenblatt-Netzwerke: Der einfachste Fall eines Lernprozesses ist das angeleitete Lernen in einem zwei-schichtigen neuronalen Netz. Jedes Neuron der Input-Schicht ist mit jedem Neuron der Output-Schicht verknüpft; die einzelnen Neuronen einer Schicht sind voneinander unabhängig. Das Netz arbeitet als Assoziations-Netzwerk, d.h. es korreliert Musterpaare: Jedem Input-Muster wird ein bestimmtes Output-Muster zugeordnet. Der Lernprozeß ist durch einen Algorithmus charakterisiert:²⁶¹ (α) Die synaptischen Verbindungen zwischen den Neuronen der Input- und Output-Schicht werden zufallsverteilt auf geringe Werte eingestellt. (β) Den zunächst noch untrainierten neuronalen Netzen wird ein Input dargeboten und den produzierten Output mit dem erwünschten Output verglichen. (γ) Die Abweichungen werden ermittelt und die Synapsengewichte zwischen Neuronen der Input-Schicht und der Output-Schicht werden so verändert, daß sich die produzierten Ausgangssignale den erwünschten Ausgangssignalen etwas annähern. (δ) Das

²⁶¹ Speckmann 1996, S. 13

weitere Training führt zu einer schrittweisen Verminderung der Differenz. Dieser Vorgang wird als Delta-Regel des Lernens bezeichnet.²⁶²

Delta-Regel: $W_{\text{erwünscht}} = W_{\text{produziert}} + \Delta w$

Am Beispiel des zuvor besprochenen Musters (Katze – streicheln) kann das Prinzip einfach verdeutlicht werden. Zu Beginn des Trainings seien die Synapsengewichte zufallsverteilt festgelegt.²⁶³

$$\begin{array}{cccccc}
 + 0.2 & - 0.1 & + 0.1 & 1 & & + 0.3 & 0 \\
 + 0.1 & + 0.1 & + 0.1 & 0 & = & + 0.2 & \Rightarrow & 0 \\
 - 0.2 & + 0.3 & - 0.2 & 1 & & - 0.4 & & 0
 \end{array}$$

Wird das Katzen-Muster als Input dargeboten, dann erfolgt die Zuordnung von Input und Output zunächst noch fehlerhaft: Das obere Neuron feuert nicht:



Der Fehler wird zurückgemeldet, weitere Muster dargeboten und die Synapsengewichte etwas verbessert. Wird dann das Katzen-Muster erneut als Input dargeboten, so erfolgt die Zuordnung von Input und Output möglicherweise immer noch fehlerhaft: Das obere Neuron feuert nicht. Die Differenz zwischen dem erwünschten Output und dem produzierten Output hat sich aber bereits deutlich verringert:

$$\begin{array}{cccccc}
 + 0.4 & - 0.3 & + 0.2 & 1 & & + 0.6 & 0 \\
 + 0.2 & + 0.1 & + 0.2 & 0 & = & + 0.4 & \Rightarrow & 0 \\
 - 0.3 & + 0.6 & - 0.3 & 1 & & - 0.6 & & 0
 \end{array}$$

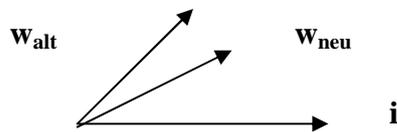
Durch häufige Wiederholungen der Lerninhalte wird das neuronale Netz schließlich die erwünschte Input-Output-Relation herstellen. Dies sichert der Konvergenzatz von Minsky und Papert.²⁶⁴

²⁶² Die Lern-Regel von Hepp muß hier modifiziert werden, da sie den Nachteil hat, daß bei anhaltender Aktivität der beiden beteiligten Neuronen die Gewichte unendlich anwachsen würden, d.h. nichts kann vergessen werden. Für die Delta-Regel hingegen gilt: Ist Δw positiv, dann handelt es sich um Lernen; ist Δw negativ, dann handelt es sich um Vergessen.

²⁶³ Spitzer 2000, S. 53ff

²⁶⁴ Minsky / Papert 1969

Der Lernprozeß besteht darin, den Synapsengewichtsvektor \mathbf{w} in die Richtung des Inputvektors \mathbf{i} zu drehen. Das Skalarprodukt $\mathbf{w}\mathbf{i}$ ist ein Maß für die Korrelation zwischen dem Inputvektor \mathbf{i} und dem Synapsengewichtsvektor \mathbf{w} . Je größer die Ähnlichkeit zwischen \mathbf{i} und \mathbf{w} , desto wahrscheinlicher wird der erwünschte Outputvektor erzielt (\mathbf{w} und \mathbf{i} seien geeignet normiert).



Lernen heißt demnach: Die Input-Output-Beziehungen werden immer wieder an Beispielen durchgespielt und die Synapsengewichte immer weiter verbessert, bis der erwünschte Output mit immer größerer Wahrscheinlichkeit hervorgebracht wird. Die langsame Anpassung der Synapsengewichte, also das Lernen in kleinen Schritten, ermöglicht es, allgemeine Strukturen des Input zu lernen – das neuronale Netz hat die Fähigkeit zu generalisieren. Mathematisch wird die Anpassung der Synapsengewichte durch eine Lernrate η zwischen 0 und 1 ausgedrückt, wobei eine langsame Anpassung Werte zwischen 0.1 und 0.2 bedeuten. Hier wird nicht eine maximale Anpassung an einzelne konkrete Muster angestrebt, sondern eine optimale Anpassung an *ähnliche Muster*. Dies läßt sich natürlich an kleinen Netzen mit einer geringen Anzahl von Neuronen nicht sehr plausibel machen. Für große Netze ist aber klar, daß die Ähnlichkeit von Mustern darin besteht, daß sich die Cluster, die die Muster repräsentieren, weitreichend überlappen. Wird der Original-Input durch den Vektor \mathbf{i}_1 repräsentiert und ein neuer Input durch den Vektor \mathbf{i}_2 , dann ist das Skalarprodukt der beiden Vektoren ein Maß für die Ähnlichkeit der beiden Muster. Dies läßt sich an einem binären Muster einfach verdeutlichen.

Original-Input	1	1	1	0	1	1
ähnlicher Input	1	1	1	0	0	1
nicht-ähnlicher Input	1	0	0	1	1	0

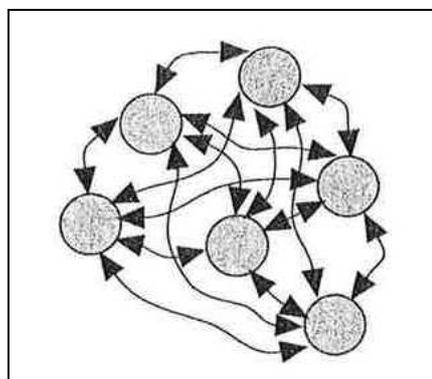
Da jedes einzelne Input-Neuron nur einen kleinen Anteil an der Summe des gewichteten Input hat, werden ähnliche Input-Muster mit demselben Output-Muster korreliert. Dies führt zur *Generalisierung*, d.h. das neuronale Netz erwirbt die kognitive Fähigkeit, auch auf einen neuen, noch unbekanntem, aber ähnlichen Input ebenfalls in adäquater Weise zu reagieren. Dem liegt ein Sparsamkeitsprinzip zugrunde: Die Speicherung allgemeiner Strukturen ist wesentlich ökonomischer, als die Speicherung aller verhaltensrelevanter Einzelereignisse. Dies gilt natürlich nur in einer Wirklichkeit, die hinreichend stabil, strukturiert und redundant ist. Ist der Input aber grob fehlerhaft oder unvollständig, dann kann *dieses* Netz die richtige Zuordnung nicht vornehmen.

Durch den Lernalgorithmus soll erreicht werden, daß das konnektionistische Modell die Lernaufgabe *verallgemeinert*. Diesen Vorgang bezeichnet man als

Generalisierung, [...]. Die Elemente der Lernaufgabe sind daher nicht als zu speichernde Daten zu betrachten, sondern als *Beispiele* aus einer strukturierten *Umgebung*²⁶⁵

Das bislang dargestellte Modell dürfte allerdings aus mehreren Gründen der *biologischen Plausibilität* entbehren: (α) Das Gehirn kann auch dann Muster erkennen, wenn diese unvollständig, fehlerhaft oder verrauscht angeboten werden. Diese Leistung kann das Rosenblatt-Netz nicht einmal ansatzweise simulieren. Diese Probleme lösen die auto-assoziativen Hopfield-Netze. (β) Die Neuronen eines Gehirns werden nicht durch Anleitung trainiert. Der erwünschte Output ist nicht bekannt und kann daher nicht mit dem produzierten Output verglichen werden. Diese Probleme lösen die Kohonen-Netze durch selbstorganisierendes Lernen. (γ) Es bleibt unklar, wie komplexe Input-Output-Beziehungen (**XOR**-Problem) simuliert werden können und wie es zur Prototypenbildung von Objekten kommen kann. Diese Probleme lösen die Rumelhart-Netze durch die Einführung von Zwischen-Schichten. (δ) Schließlich bleibt noch die Frage, wie die Prototypenbildung von Prozessen und kausalen Strukturen repräsentiert werden. Dazu müssen spezielle Kontext-Schichten eingeführt werden, wie dies die Elman-Netze tun. Die tatsächlichen Verhältnisse im Gehirn sind demnach wesentlich komplizierter als das bislang besprochene einfache Rosenblatt-Netz.

2. Die Mustervervollständigung der Hopfield-Netzwerke: Hopfield-Netzwerke sind auto-assoziative Netze, in der jedes Neuron der Output-Schicht mit jedem anderen Neuron derselben Schicht verbunden ist. Die Matrix der Synapsengewichte sei symmetrisch und spurfrei, d.h. $w_{kl} = w_{lk}$ und $w_{kk} = 0$. Die Symmetrie und Spurfreiheit der Synapsengewichte garantiert, daß das System immer einen stabilen Endzustand (Attraktor) erreichen kann. Das Netz lernt (in der Lernphase) einzelne visuelle Muster, d.h. es kann eine bestimmte Anzahl von Muster speichern und diese dann (in der Reproduktionsphase) durch Teilmuster abrufen. Das auto-assoziative Netz korreliert also das jeweilige Muster mit sich selbst. Die Speicherkapazität ist abhängig von der Anzahl der Neuronen.²⁶⁶



Figur 1.25

²⁶⁵ Nauck / Klawonn / Kruse 1994, S. 30

²⁶⁶ Spitzer 2000, S. 184

Wird (in der Reproduktionsphase) als Input die unvollständige Variante eines gelernten Musters eingegeben, dann produziert das Netz als Output das komplette Muster. Diese kognitive Leistung der Mustervervollständigung kommt durch die auto-assoziative Verbindung zustande. Der Kerngedanke besteht darin, daß ein aktiviertes Neuron alle diejenigen Neuronen aktiviert, zu denen es Verbindungen mit hinreichend positiven Synapsengewichten aufweist. Ein so gebautes neuronales Netz hat eine große konzeptionelle Bedeutung und besitzt bemerkenswerte Eigenschaften:²⁶⁷

- (i) Der **Attraktor**: Ist in einem Hopfield-Netz ein bestimmtes Muster gespeichert, dann wird dieses Netz – sofern einzelne Neuronen aktiviert werden – um dieses Muster als einem stabilen Zustand „herumschwingen“. Das gespeicherte Muster wirkt wie ein Attraktor.
- (ii) Die **Rekonstruktion**: Wird dem Hopfield-Netz ein unvollständiges oder fehlerhaftes Muster als neuer Input dargeboten, dann ergänzt oder korrigiert das Netz die fehlende oder fehlerhafte Information nach Maßgabe der in ihm gespeicherten Information, d.h. der Zustand des Netzes konvergiert zum Attraktor hin. Die Rekonstruktion wird möglich durch die Verknüpfungen der Neuronen untereinander.
- (iii) Die **Auswahl nach Ähnlichkeit**: Wird dem Hopfield-Netz ein, dem gespeicherten Muster ähnliches Muster dargeboten, dann konvergiert der Zustand des Netzes erneut zum Attraktor hin. Das Netz generalisiert über eine bestimmte Menge ähnlicher Muster. Sind in einem Hopfield-Netz mehrere Muster gespeichert, dann wird dieses Netz, sofern ihm ein Muster dargeboten wird, zu demjenigen Attraktor konvergieren, der dem Input am ähnlichsten ist.

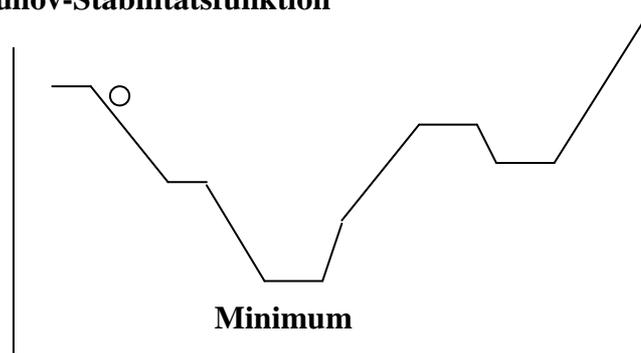
Die Eigenschaften des Hopfield-Netzes können durch die Metapher einer Landschaft beschrieben werden. Die möglichen Zustände im Netz werden durch die verschiedenen Punkte einer Landschaft (Liapunov-Stabilitätsfunktion) dargestellt, die Berge verdeutlichen die instabilen Zustände und die Täler sind die Attraktoren.²⁶⁸ Die Einstellung der

²⁶⁷ Ritter / Martinetz / Schulden 1991, S. 48ff; Hoffmann 1993, S. 83

²⁶⁸ Die besondere Bedeutung von Hopfields Arbeit besteht u.a. darin, daß Hopfield auf die Parallelen zu den Spingläsern der Festkörperphysik hinweist und damit die Möglichkeit aufzeigt, den mathematischen Formalismus der Spingläser auf neuronale Netze zu übertragen. Die Atome der Spingläser verhalten sich wie Dipolmagnete, die sich in einem äußeren Magnetfeld so ausrichten, daß sich ein Zustand minimaler Energie ergibt. Mit jedem stabilen Zustand korreliert demnach ein Minimum. Die Dipolmagnete entsprechen den Neuronen und die Ausrichtung im Magnetfeld entspricht der Liapunov-Stabilitätsfunktion. Die Zustände der Minimas heißen Attraktoren. Damit wird klar, daß bereits verfügbare Techniken und Methoden der theoretischen Physik zur Analyse und Beschreibung neuronaler Netze genutzt werden können. Das Hopfield-Netz wird in der Folgezeit weiterentwickelt. Eine wichtige Variante ist die *Boltzmann-Maschine* (Ackley / Hinton / Sejnowski 1985), die eine weitgehende Verwandtschaft mit der Kristallzüchtung der Festkörperphysik aufweist. Hier können Methoden (simuliertes Auskristallisieren) eingesetzt werden, die es immer ermöglichen, ein absolutes Minimum in der Liapunov-Stabilitätsfunktion zu erreichen (vgl. Schöneburg / Hansen / Gawaelczyk 1990; Nauck / Klawonn / Kruse 1994).

Synapsengewichte beim Lernprozeß ist in dieser Metapher als Veränderung der Landschaft zu verstehen. Das Verhalten des Netzes gleicht dann einer Kugel, die von einem Punkt ausgehend solange abwärts rollt, bis sie ein Tal (Minimum) gefunden hat. Ein Tal entspricht einem gespeicherten Muster (Attraktor) des Hopfield-Netzes. Dieser Zustand ist stabil. Spezielle Probleme für die Mustererkennung können sich dann ergeben, wenn lediglich lokale anstatt globale Minimas eingenommen werden.

Liapunov-Stabilitätsfunktion

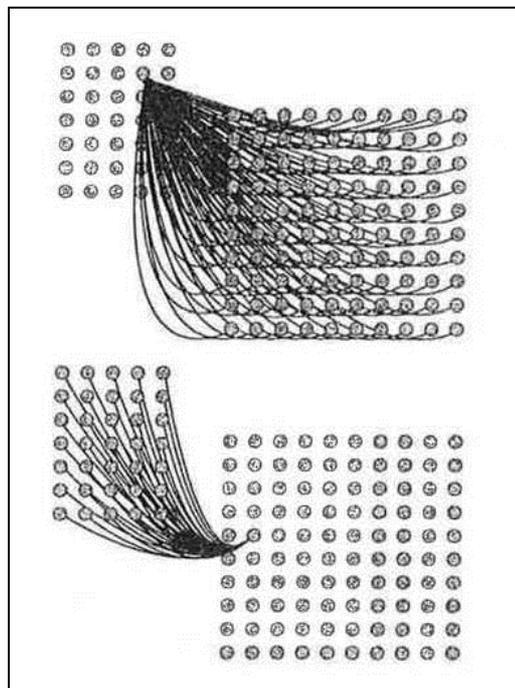


Zustände eines Netzes

Einige Ergebnisse der Gestaltpsychologie lassen sich im Lichte der Hopfield-Netze besser verstehen: (α) Nach Maßgabe der verfügbaren Erfahrungen werden Muster angelegt und gespeichert. Dies verdeutlicht den erfahrungsbedingten Aspekt der Informationsverarbeitung. (β) Karikaturen, fehlerhafte oder unvollständige Muster werden wiedererkannt, korrigiert oder ergänzt, sofern ein fehlerfreies und vollständiges Original zuvor gespeichert wurde. (γ) Die Attraktor-Zustände eines Hopfield-Netzes simulieren den kognitiven Zustand, der ein Evidenzerlebnis einschließt – das rekonstruierte Muster erscheint intuitiv einsichtig. (δ) Kontra-intuitive Sachverhalte schließen es gerade aus, daß ein Attraktor-Zustand eingenommen werden kann. Dies ist beispielsweise bei den unmöglichen Bildern von Escher der Fall. (ϵ) Beim Gestalt-switch (multistabile Figuren) sind bei gleichbleibendem sensorischen Input zwei stabile Attraktor-Zustände möglich. Das Evidenzerlebnis ist immer mit der jeweils verfügbaren Landschaft verbunden.

3. Die topographischen Karten der Kohonen-Netzwerke: Die bisher besprochenen neuronalen Netze müssen von einem Trainer überwacht, d.h. der erwünschte Output muß extern bekannt und vorgegeben werden. Dieser Sachverhalt ist natürlich nicht sehr geeignet, um die kognitiven Fähigkeiten des Gehirns zu simulieren. Daher erscheinen neuronale Netze, die unter der Anleitung eines Trainers lernen, biologisch nicht sehr plausibel. Für Kohonen-Netze trifft dieser Einwand nicht zu: Sie besitzen die Eigenschaft des *selbstorganisierenden Lernens*. Die Fähigkeit zur Selbstorganisation hängt entscheidend von der Komplexität des Systems ab. In diesen neuronalen Netzen kommt den Neuronen mit inhibitorisch wirkenden

Neurotransmittern eine besondere Rolle zu. Der Kerngedanke besteht darin, daß Neuronen, die in einem Lernprozeß aktiviert werden, in spezifischer Weise ihre Nachbar-Neuronen beeinflussen und damit verändern. Damit wird der konkrete *Ort* eines Neurons innerhalb einer Schicht wesentlich, d.h. die Neuronen werden zunächst als Punkte in einem regelmäßigen Gitter gedeutet und dann wird eine Beziehung zwischen den Synapsengewichten und der Metrik des Raumes hergestellt. Kohonen-Netzwerke bestehen – im einfachsten Modell – aus zwei jeweils zwei-dimensionalen Schichten: die Input-Schicht und die Kohonen-Schicht (Kohonen-Schicht). Jedes Neuron der Input-Schicht ist mit jedem Neuron der Kohonen-Schicht verbunden. Die Verbindung wird durch die Festlegung der *externen Synapsengewichte* geregelt. Zusätzlich ist jedoch noch jedes Neuron der Kohonen-Schicht in einer ganz charakteristischen Weise mit jedem anderen seiner eigenen Schicht verknüpft. Die Verbindung der Neuronen innerhalb der Kohonen-Schicht wird durch die Festlegung der *internen Synapsengewichte* geregelt.²⁶⁹

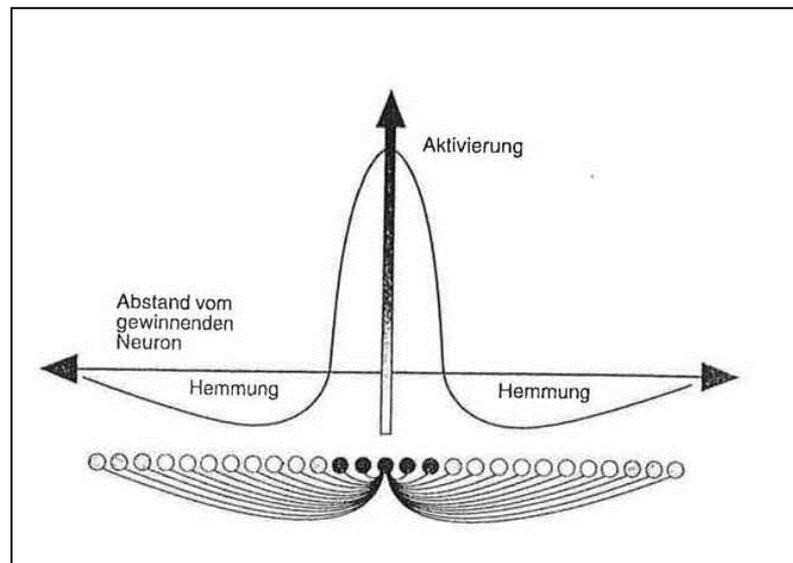


Figur 1.26

Die internen Synapsengewichte müssen die Metrik des Raumes widerspiegeln. Ein Neuron der Kohonen-Schicht, das durch einen bestimmten Input aktiviert ist, wird alle unmittelbaren Nachbar-Neuronen ebenfalls etwas aktivieren und weiter entfernt liegende Neuronen hemmen. Diese Aktivierung hat die Form eines „Sombreros“. Die Funktion beschreibt die Abhängigkeit der internen Synapsengewichte vom Abstand der beteiligten Neuronen.²⁷⁰

²⁶⁹ Spitzer 2000, S. 104

²⁷⁰ Spitzer 2000, S. 106



Figur 1.27

Kohonen-Netze können selbständig die entscheidenden Merkmale erkennen und klassifizieren. Auch hier muß Wissen in der Lernphase an einer repräsentativen Auswahl von Lernbeispielen erworben werden. Der Lernprozeß ist durch folgenden Algorithmus charakterisiert:²⁷¹ (α) Die synaptischen Verbindungen zwischen den Neuronen der Input-Schicht und der Kohonen-Schicht sind zufallsverteilt auf geringe Werte eingestellt. (β) Dem zunächst noch untrainierten neuronalen Netz wird ein Muster dargeboten. Aufgrund der unterschiedlichen Synapsengewichte werden die Neuronen der Kohonen-Schicht unterschiedlich stark aktiviert; ein bestimmtes Neuron wird jedoch durch den Input am stärksten aktiviert. Dabei wird dasjenige Neuron gewinnen, dessen Synapsengewichtsvektor \mathbf{w} mit dem Inputvektor \mathbf{i} am besten übereinstimmt. Dieses Neuron aktiviert seine unmittelbaren Nachbar-Neuronen und hemmt alle weiter entfernt liegenden Neuronen nach dem *Center-Surround-Prinzip*. (γ) Am gewinnenden Neuron und seiner unmittelbaren Umgebung werden die Synapsengewichte so verändert, daß die Übereinstimmung zwischen Inputvektor und Synapsengewichtsvektor noch größer wird. (δ) Das weitere Training mit anderen Mustern führt zu einer schrittweisen Zuordnung eines bestimmten Musters zu den jeweils gewinnenden Neuronen der Kohonen-Schicht und einer immer besseren Anpassung der Synapsengewichte. Der Lernprozeß besteht demnach darin, den Synapsengewichtsvektor \mathbf{w} des gewinnenden Neurons in die Richtung des Inputvektors \mathbf{i} zu drehen (\mathbf{w} und \mathbf{i} seien geeignet normiert, η sei die Lernrate).²⁷²

Wettbewerbs-Regel: $\mathbf{w}_{\text{neu}} = \mathbf{w}_{\text{alt}} + \eta \mathbf{i}$

²⁷¹ Speckmann 1996, S. 18ff

²⁷² Nauck / Klawonn / Kruse 1994, S. 98

Diese spezielle Architektur ermöglicht es den Neuronen der Kohonen-Schicht, ihre Synapsengewichte durch Selbstorganisation so einzustellen, daß ein dargebotenes Muster der Input-Schicht in gesetzesartiger Weise auf einem bestimmten Ort der Kohonen-Schicht repräsentiert wird. Das Ergebnis des Lernprozesses ist im allgemeinen eine Abbildung des Input mit **n**-dimensionalen Eigenschaften auf eine zwei-dimensionale Karte (visueller Kortex, auditiver Kortex, motorischer Kortex, somatosensorischer Kortex, Assoziationsfelder). Dieser Mechanismus wird *kompetitives Lernen* genannt; ein übergeordnetes Kontrollsystem ist hier überflüssig. Die Prinzipien des Lernprozesses sind Ähnlichkeit, Häufigkeit und Relevanz. Ähnlicher Input wird auf der Karte nahe beieinander repräsentiert, häufiger oder besonders relevanter Input wird auf einer größeren Fläche repräsentiert. Die Entfaltung besonderer kognitiver Fähigkeiten geht dann einher mit einer Vergrößerung der entsprechenden kortikalen Repräsentation dieser Fähigkeit. Der sensorische Input konkurriert gewissermaßen um kortikale Flächen.²⁷³

Signalähnlichkeit ↔ Lagenachbarschaft

Signalhäufigkeit ↔ Flächengröße

Signalrelevanz ↔ Flächengröße

Die Kohonen-Schicht ist demnach eine topographische Merkmalskarte. Wie werden diese Merkmalskarten aufgebaut? Eine genetische Fixierung der Synapsengewichte wäre bei höher entwickelten Tieren und bei Menschen äußerst aufwendig und ist offensichtlich auch nicht realisiert. Die Speicherfähigkeit der Gene ist dafür zu gering, die Synapsengewichte werden deshalb während der ontogenetischen Entwicklung der Gehirn-Architektur festgelegt. Ausgehend von beliebig vorgegebenen Synapsengewichten werden in der Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit geeignete und verbesserte Werte gelernt. Aus ungeordneten Anfangsverschaltungen wird ein nachbarschaftserhaltendes Verbindungsmuster zwischen Rezeptoren und Neuronen aufgebaut. Zu Beginn des Aufbaus besteht keine Korrelation zwischen der Ähnlichkeit des Input und der Nachbarschaft von Neuronen. Mit dem Abschluß des Aufbaus ist die Korrelation vollständig hergestellt.²⁷⁴

²⁷³ Ritter / Martinetz / Schulten 1991, S. 61

²⁷⁴ Spitzer 2000, S. 111f; Damit eine plausiblere Simulation kognitiver Fähigkeiten gelingt, muß ein neuronales Netz das *Stabilitäts-Plastizitäts-Dilemma* bewältigen. Neuronale Netze müssen eine bestimmte Plastizität besitzen, damit sie neue Muster lernen können und sie müssen eine bestimmte Stabilität besitzen, damit beim weiteren Lernen die alten Muster nicht überschrieben werden. Eine optimierte Lösung dieses Stabilitäts-Plastizitäts-Dilemmas ermöglicht das *Adaptive Resonance Theory-Netz* (vgl. Grossberg 1987). Diese Netze arbeiten mit Rückkopplungen; sie verfügen über ein Kurzzeitgedächtnis, ein Langzeitgedächtnis und einen Aufmerksamkeitsmechanismus. Der Kerngedanke dieser Netzwerke besteht darin, daß nicht „gewaltsam“ versucht wird, ein Input-Muster auf die bereits vorhandenen Klassifikationen abzubilden, sondern es bleibt immer die Möglichkeit, andere Neuronen für neuartige Muster zu rekrutieren und damit neue Klassifikationen vorzunehmen. Dieser Mechanismus wird dann als *Resonanz* bezeichnet (vgl. Schöneburg / Hansen / Gawaelczyk 1990; Dorffner 1991).

Dieser Sachverhalt hat tiefgreifende epistemologische Konsequenzen: (α) Wissen kann und wird sich aufgrund der Interaktion mit der Wirklichkeit selbsttätig aufbauen. (β) Der Lernprozeß zeigt insbesondere, daß der Input notwendigerweise eine hohe Regelmäßigkeit und Strukturiertheit aufweisen muß. Kohonen-Netze arbeiten als selbständige *Struktur-Detektoren*. Wäre die Natur ausschließlich chaotisch, dann könnte das Gehirn nichts lernen, weil der eingegebene Input gerade nicht im Sinne einer Ansammlung von Einzelmerkmalen gespeichert wird. (γ) Umgekehrt gewendet bedeutet dies aber auch, daß das Gehirn immer Strukturen extrahiert, die im Input vorhanden sind, sofern geeignete Sinnesrezeptoren vorhanden sind. Die notwendigen und hinreichenden Bedingungen für Erkenntnis hängen demnach einerseits von der spezifischen *Beschaffenheit der Gehirn-Architektur* und andererseits von der *Regelmäßigkeit des Input* ab. Besonders hervorzuheben ist jedoch, daß Strukturen extrahiert werden. Dies verweist darauf, daß der Wirklichkeitsbezug nur struktureller Art sein kann. Es ist demnach auf der Grundlage dieses neurologischen Befundes absehbar, daß es gerade die Mathematik ist, der in herausragender Weise die Herstellung des Wirklichkeitsbezugs zukommt.

4. Die semantischen Karten der Ritter-Kohonen-Netzwerke: Die Sprache gehört zu den epistemischen Leistungen des Menschen, die komplexe Verarbeitungsmechanismen in mehreren Kortex-Arealen erfordert. Sprache kommt in vier verschiedenen Varianten vor: (α) gehörte Sprache (auditiv), (β) gesprochene Sprache (motorisch & auditiv), (γ) gelesene Sprache (visuell) und (δ) geschriebene Sprache (motorisch & visuell). Der Mensch verfügt über zwei spezielle Kortex-Areale, die in besonderer Weise für die Sprache zuständig sind.²⁷⁵

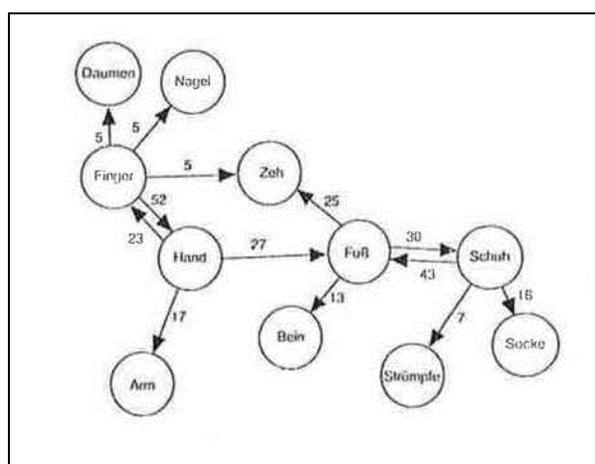
- (i) Das **Wernicke-Areal**: Hier geht es um das *Sprachverständnis*, d.h. um das sensorische Sprachzentrum, das sich im Bereich zwischen dem frontalen und dem temporalen Kortex befindet. Auf einer niederen Verarbeitungsstufe handelt es sich um die sensorischen Fähigkeiten, Phoneme zu hören bzw. Grapheme zu sehen. Auf den höheren Verarbeitungsstufen werden zunächst Wörter und dann Sätze verstanden.
- (ii) Das **Broca-Areal**: Hier geht es um die *Spracherzeugung*, d.h. um das motorische Sprachzentrum, das im Bereich zwischen dem parietalen und dem temporalen Kortex angesiedelt ist. Auf einer niederen Verarbeitungsstufe handelt es sich um die motorischen Fähigkeiten, Phoneme zu sprechen bzw. Grapheme zu schreiben. Auf den höheren Verarbeitungsstufen werden zunächst Wörter und dann Sätze erzeugt.

Die Sprachverarbeitung erfolgt kaskadenartig in verschiedenen Stufen und läßt sich als Zusammenarbeit einer ganzen Reihe unterschiedlich strukturierter und verschalteter Module verstehen. Dies soll am Beispiel der gehörten Sprache skizziert werden: (α) die Kodierung der Frequenzen in tonotopischen Karten, (β) die Kodierung der Phoneme in phonotopischen

²⁷⁵ Mainzer 1997, S. 56

Karten²⁷⁶, (γ) die Kodierung der Worte und ihre Bedeutung (Semantik), (δ) die Kodierung der Sätze, ihre Struktur und ihre Bedeutung (Grammatik & Semantik) und (ϵ) die Kodierung des Handlungszusammenhangs der Sätze (Pragmatik). NETtalk ist ein neuronales Netz, das einen Text phonetisch korrekt aussprechen kann. Diese sprachliche Kompetenz wird exemplarisch in einem Lernprozeß erworben. Damit ist eine kreative Kompetenz verknüpft, die dem neuronalen Netz die Fähigkeit verleiht, bislang nicht gelernte Sätze ebenfalls phonetisch korrekt auszusprechen. Analoge Sachverhalte liegen vor, wenn es um semantische und grammatische Aspekte der Sprache geht. Aus der großen Fülle von Schwierigkeiten, die mit der Modellierung dieser Aspekte zusammenhängen, soll insbesondere die Kodierung in Begriffsnetzen und die damit verknüpfte *Kontextabhängigkeit* der Begriffe und *Kreativität* der Satzbildung hervorgehoben werden. Begriffe sind im Gehirn als semantische Karten kodiert, d.h. Begriffe werden in *relationale Begriffsnetze* eingebettet. Diese lassen sich durch graphische Darstellungen verdeutlichen. Die Bedeutung eines Begriffs wird durch Knoten und durch Nachbarschaftsbeziehungen zu anderen Begriffen repräsentiert. Beim Sprachverständnis und bei der Spracherzeugung werden bestimmte Knoten aktiviert.

Wie kommt es zum Aufbau semantischer Karten mit einer *horizontalen Organisation*? Diese Organisation betrifft die interne Struktur und wechselseitige Abgrenzung von Begriffen einer bestimmten Abstraktionsebene. Psycholinguistische Untersuchungen zeigen, daß sich die Aktivierung eines Knotens ein wenig in dessen Umgebung hinein ausbreitet und damit Nachbarknoten des Netzwerks ebenfalls aktiviert. Diese Aktivierung sorgt dafür, daß bei der Erinnerung eines Begriffs der gesamte Kontext mit aktiviert wird. Graphisch lassen sich diese semantischen Karten gut veranschaulichen. Wird der Begriff „Fuß“ erinnert, dann wird zu 30% auch der Begriff „Schuh“ und zu 25% der Begriff „Zeh“ aktiviert.²⁷⁷



Figur 1.28

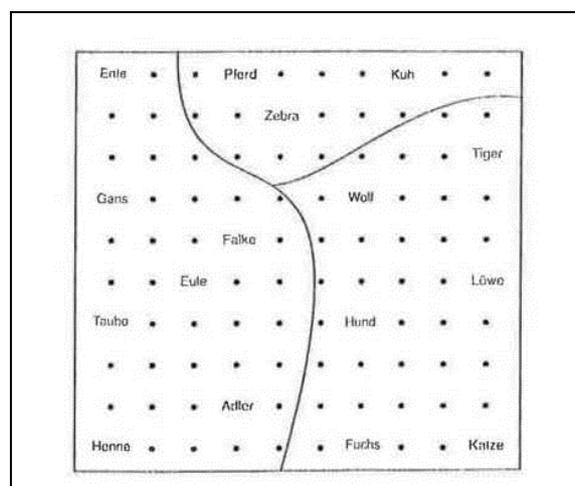
²⁷⁶ Dorffner 1991, S. 310; Nach der Geburt besitzt das Baby die Fähigkeit, alle 70 Phoneme zu unterscheiden, aus denen alle Sprachen der Welt gebildet werden. Nach wenigen Monaten hat das Baby die phonotopische Karte seiner Muttersprache angelegt, auf der aber nur das repräsentiert ist, was es tatsächlich gehört hat.

²⁷⁷ Spitzer 2000, S. 244

Wie kommt es zum Aufbau semantischer Karten mit einer *vertikalen Organisation*? Diese Organisation bezieht sich auf Relationen zwischen Begriffen unterschiedlicher Abstraktionsebenen. In einer von Ritter und Kohonen durchgeführten Simulation wurden neuronale Netze trainiert, selbstorganisierende Eigenschaftskarten anzulegen. Prototypen besitzen charakteristische Merkmale und diese Merkmale ermöglichen eine Ordnung der zugehörigen Begriffe. Wird ein Begriff gelernt – beispielsweise „Katze“ –, dann wird eine Eigenschaftskombination (klein, Fell, 4 Pfoten, jagen) gelernt, die mit dem entsprechenden Begriff „Katze“ assoziiert ist. Hier sind die Eigenschaften einiger Tiere vereinfacht durch einen 8-dimensionalen Vektor repräsentiert.

	Ente	Eule	Katze	Tiger
klein	1	1	1	0
groß	0	0	0	1
Fell	0	0	1	1
Federn	1	1	0	0
4 Pfoten	0	0	1	1
2 Beine	1	1	0	0
fliegen	0	1	0	0
jagen	0	1	1	1

In der Simulation werden die Eigenschaftsvektoren zusammen mit den entsprechenden Begriffen als Input dargeboten; das neuronale Netz bildet dann selbständig eine Karte der Inputmuster nach den Prinzipien der Ähnlichkeit und Häufigkeit. Das Ergebnis zeigt, daß die Basisbegriffe sinnvoll angeordnet sind und damit die Grundlage bilden für übergeordnete Begriffe – beispielsweise „Vogel“ und „Raubtier“ – sowie den ihnen zugrundeliegenden Inklusionsbeziehungen.²⁷⁸



Figur 1.29

²⁷⁸ Spitzer 2000, S. 249

In weiteren Simulationen trainieren Ritter und Kohonen selbstorganisierende semantische Netze und finden, daß diese die Begriffe nach *semantischer Verwandtschaft* und nach *grammatischen Kategorien* auf zwei-dimensionalen semantischen Karten repräsentieren. Auch Elman kann nachweisen, daß sich rekurrente Netze trainieren lassen, unterschiedlich lange und komplizierte Sätze zu verstehen und zu erzeugen. Das Netz lernt (Lernphase), nicht nur einzelne Worte zu kodieren, sondern diese Worte in ihrem jeweiligen grammatikalischen Kontext (Substantive, Verben, Relativpronomen) festzuhalten. Elmans Grundlage ist ein Trainingsset aus etwa 10^4 grammatikalisch sinnvollen Sätzen. Sein Netz lernt selbstorganisierend, jeden vorgegebenen Satz durch eine bestimmte Bahn in einem **n**-dimensionalen Merkmalsraum darzustellen, wobei grammatikalisch ähnliche Sätze durch ähnliche Bahnen im Merkmalsraum repräsentiert werden. Grundsätzlich kann das Netz (Reproduktionsphase) dann neue, nicht explizit gelernte Sätze erkennen und erzeugen. Dies belegt die Fähigkeit eines Netzes zum *kreativen* Umgang mit der Sprache, ohne daß grammatikalische Regeln gelernt werden. Voraussetzung ist immer, daß dem Training regelhafte Input-Output-Beziehungen zugrunde liegen. Diese Ergebnisse der Neuroinformatik werden gestützt von linguistischen Untersuchungen an Kindern, die ausschließlich einer Pidgin-Sprache ausgesetzt sind und spontan komplexe Sprachstrukturen erfinden, sowohl hinsichtlich des Vokabulars als auch der Grammatik.

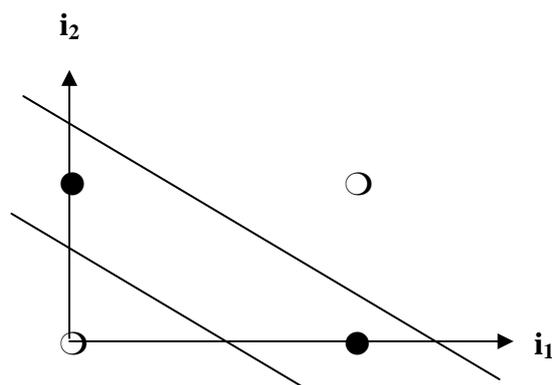
Diese Befunde sind besonders wichtig im Hinblick auf den Streit zwischen nativistisch gesinnten Linguisten und Konnektionisten. Chomsky behauptet, daß der Mensch über eine genetisch determinierte Universalgrammatik verfügt und daher bestimmte Regeln explizit anwendet und befolgt um Sprache zu verstehen und zu erzeugen. Nach dieser Position gibt es ein genetisches Programm, das die Konstruktion der Grammatik leistet und demzufolge ausschließlich linguistischen Zwecken dient. Im Gegensatz dazu, scheinen die selbstorganisierenden, semantischen Netze daraufhin zu deuten, daß keine intern gespeicherten Regeln angewendet werden, obwohl der Aufbau semantischer Karten nachträglich durch Regeln beschrieben werden kann. Elmans Erfolg beim Training neuronaler Netze beweist, daß es dafür keiner besonderen neuronalen Architektur bedarf.

Ein deutlicher Hinweis dafür, daß diese selbstorganisierende Kodierung in semantischen Karten tatsächlich auch im Gehirn realisiert ist, geben Untersuchungen an Aphasie-Patienten. Die speziellen Sprachdefizite variieren in Abhängigkeit vom konkreten Ort der Gehirnläsion. Patienten mit selektiven Sprachstörungen können auf spezielle semantische Karten nicht mehr zugreifen und als Konsequenz bestimmte Objekte nicht mehr benennen, obwohl sie noch immer erwartungs- und verhaltensadäquat mit ihnen umgehen können. Auch wenn diese Patienten einen Teil ihres Vokabulars eingebüßt haben, sind die non-verbale Konzepte offenbar nicht signifikant beeinträchtigt. Dies spricht für die eigenständige Kodierung von prototypischen Objekten und Prozessen einerseits und – völlig unabhängig davon – ihre sprachliche Kodierung andererseits.

5. Die Bildung prototypischer Objekte der Rumelhart-Netzwerke: Komplexe Input-Output-Beziehungen können nicht durch neuronale Netze mit nur zwei Schichten simuliert werden. Ein einfaches Beispiel ist das **XOR**-Problem (exklusive Disjunktion). Gegeben sei eine Situation (Beschränkung des Taschengeldes), die eine Entscheidung am Eisstand zwischen zwei Eissorten (Nougat **N**, Stracciatella **S**) erforderlich macht. In einem neuronalen Netz mit zwei Schichten müßte der Sachverhalt durch zwei Neuronen der Input-Schicht, die die beiden Eissorten repräsentieren und einem Neuron der Output-Schicht, das die Eisbestellung repräsentiert, dargestellt werden:

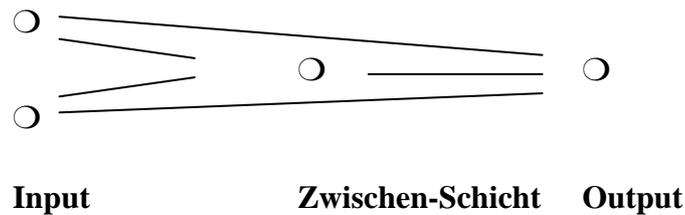
1. Fall	N	○			
	S	○	⇒		○
2. Fall	N	●			
	S	○	⇒		●
3. Fall	N	○			
	S	●	⇒		●
4. Fall	N	●			
	S	●	⇒		○
				Input	Output

Es gibt jedoch keine Linearkombination $\sum w_k i_k > S$ von Inputstärken, Synapsengewichten und Schwellenwert, das die Input-Muster gemäß $M_1 = \{(0,0), (1,1)\}$ und $M_2 = \{(0,1), (1,0)\}$ klassifiziert. Für eine Lösung sind zwei Geraden erforderlich.



Allgemein gilt, daß ein zwei-schichtiges neuronales Netz nur linear separierbare Probleme bewältigen kann; für diesen Fall gilt immer das Superpositionsprinzip. In komplizierteren Fällen muß das neuronale Netz um eine weitere Schicht ergänzt werden und hat im einfachen Beispiel der Eisbestellung die Struktur:²⁷⁹

²⁷⁹ Spitzer 2000, S. 126ff



Der Schwellenwert der Zwischen-Schicht sei $S_1 = 1.5$ und die Synapsengewichte zwischen Input-Schicht und Zwischen-Schicht seien



Dann läßt sich leicht errechnen, daß das Neuron der Zwischen-Schicht genau dann feuert, wenn der 4. Fall vorliegt.

Input und Zwischen-Schicht

1. Fall: $\Sigma w_k i_k = 0 < S_1$
2. Fall: $\Sigma w_k i_k = (+ 1.0) \times 1 = 1.0 < S_1$
3. Fall: $\Sigma w_k i_k = (+ 1.0) \times 1 = 1.0 < S_1$
4. Fall: $\Sigma w_k i_k = (+ 1.0) \times 1 + (+ 1.0) \times 1 = + 2.0 > S_1$

Der Schwellenwert der Output-Schicht sei $S_2 = 0.4$ und die Synapsengewichte zwischen Zwischen-Schicht und Output-Schicht seien



Damit ergibt die Rechnung, daß die gleichzeitige Bestellung von Nougat und Stracciatella ausgeschlossen wird.

Input, Zwischen-Schicht und Output

1. Fall: $\Sigma w_k i_k = 0 < S_2$
2. Fall: $\Sigma w_k i_k = (+ 0.5) \times 1 = 0.5 > S_2$
3. Fall: $\Sigma w_k i_k = (+ 0.5) \times 1 = 0.5 > S_2$
4. Fall: $\Sigma w_k i_k = (+ 0.5) \times 1 + (- 1.0) \times 1 + (+ 0.5) \times 1 = 0 < S_2$

Durch die Einführung einer Zwischen-Schicht ist das **XOR**-Problem lösbar. Allgemein gilt: die Repräsentationsfähigkeit und Problemlösungsfähigkeit hängt entscheidend ab von der Anzahl lernfähiger Schichten und – wie sich weiter zeigen wird – von der Anzahl der jeweiligen Neuronen in den Zwischen-Schichten. Dafür ergeben sich Probleme mit der Lern-Regel. Neuronale Netze mit Zwischen-Schichten müssen ihre Synapsengewichte nicht nur in der Output-Schicht regeln, sondern auch in den Zwischen-Schichten. Die Delta-Regel, nach der diese Aufgabe in zwei-schichtigen Netzen bewältigt wird, ist in mehr-schichtigen Netzen nicht mehr adäquat. Hier gibt es – je nach der Anzahl der Zwischen-Schichten – mehrere hintereinandergeschaltete Synapsengruppen, deren Gewichtsveränderung nicht eindeutig aus der Differenz zwischen dem erwünschten und dem produzierten Output hervorgeht. Es wird ein modifiziertes Verfahren benötigt. Der Fehler, der an der Output-Schicht festgestellt wird, wird im ersten Schritt an die Zwischen-Schicht zurückgemeldet und führt zu einer Korrektur der Synapsengewichte an der Output-Schicht. Im zweiten Schritt wird der Fehler an die Input-Schicht weitergemeldet und führt in der Zwischen-Schicht zu einer Korrektur der Synapsengewichte. Der Fehler wird demnach entgegen der Richtung des Informationsflusses zurückgemeldet. Diese Lern-Regel wird daher als *Fehlerrückführungs-Regel* bezeichnet. Dieser Algorithmus ist eine Erweiterung der Delta-Regel auf neuronale Netze mit mehr als zwei Neuronenschichten. Ein ernsthaftes Problem ergibt sich allerdings aus dem Sachverhalt, daß es für den Algorithmus kein entsprechendes Äquivalent im Gehirn gibt.²⁸⁰

Durch die Einführung von Zwischen-Schichten können *Prototypen von Objekten* gebildet werden. Im Unterschied zu zwei-schichtigen neuronalen Netzen handelt es sich hier um komplexe Systeme mit einer internen Struktur, die im Prinzip geeignet ist, mentale Zustände zu repräsentieren. Am einfachen Beispiel der beiden, bereits früher besprochenen Muster (Katze – streicheln, Tiger – weglaufen) kann der Mechanismus der Prototypenbildung von Objekten nach Maßgabe charakteristischer Merkmale erläutert werden. Dabei zeigt sich, daß in den Zwischen-Schichten die Prototypen durch Cluster von Merkmalen repräsentiert werden (Tiger: groß, Fell, 4 Pfoten; Katze: klein, Fell, 4 Pfoten, schnurrend).²⁸¹

groß	<input type="radio"/>				
Fell	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tiger	<input type="radio"/>	weglaufen
4 Pfoten	<input type="radio"/>				
klein	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Katze	<input type="radio"/>	streicheln
schnurrend	<input type="radio"/>				

Der Unterschied zur Problemstrategie am zwei-schichtigen neuronalen Netz ist offensichtlich: Obwohl das eingangs behandelte Spielzeug-Netzwerk die richtige Zuordnung von Input und

²⁸⁰ Spitzer 2000, S. 133

²⁸¹ Zur Veranschaulichung sei angenommen, daß einzelne Merkmale symbolisch kodiert sind.

Output geleistet hat, war es nicht zur Prototypenbildung von Objekten fähig. Umgekehrt gewendet gilt dann: Bei einer geeigneten Anzahl von Neuronen der Zwischen-Schicht werden automatisch Prototypen von Objekten gebildet. Der regelhafte Zusammenhang von Merkmalen ist natürlich implizit im Input vorhanden, andernfalls könnte er von einem kognitiven System gar nicht extrahiert werden.

Neuronale Netze verfügen also mit ihren „verborgenen“ neuronalen Zwischenschichten über interne Darstellungen, die Unterscheidungen und Strukturen der Außenwelt entsprechen, ohne an sprachlich-symbolische Repräsentationen gebunden zu sein. Daher kann sowohl bei hochentwickelten Tieren, bei Menschen wie bei bestimmten technischen Systemen davon gesprochen werden, daß sie Konzepte verwenden.²⁸²

Das kognitive System nimmt die Prototypenbildung aber gemäß der Anzahl der Neuronen in der Zwischen-Schicht vor. Wird die Anzahl der Neuronen verändert, dann wirkt sich dies auf die Prototypenbildung aus. Dieser wichtige Sachverhalt soll an einem etwas abgeänderten Beispiel verdeutlicht werden. Die Zwischen-Schicht habe zwei Neuronen, dann läßt sich der sensorische Input zu zwei möglichen Clustern zusammenfassen und mit zwei verschiedenen Output-Mustern verbinden: gefährliches Tier – weglaufen und freundliches Tier – annähern. Diese allgemein Clusterung reicht aber nicht aus, um zwischen zwei verschiedenen freundlichen Tieren und entsprechend unterschiedlichen Annäherungsstrategien zu unterscheiden.²⁸³

groß	<input type="radio"/>				
Fell	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	gefährliches Tier	<input type="radio"/>	weglaufen
4 Pfoten	<input type="radio"/>				
klein	<input type="radio"/>				
schlappohrig	<input type="radio"/>				
schwanzwedelnd	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	freundliches Tier	<input type="radio"/>	annähern
schnurrend	<input type="radio"/>				

Wenn ein neuronales Netz zu wenig Neuronen in seiner Zwischen-Schicht hat, um alle erwünschten Informationen zu kodieren, dann leidet seine Leistungsfähigkeit. Umgekehrt bedeutet dies: Befindet sich in der Zwischen-Schicht ein zusätzliches Neuron, dann kann derselbe Input differenzierter beurteilt werden, d.h. der sensorische Input läßt sich zu drei möglichen Clustern (Tiger: groß, Fell, 4 Pfoten; Hund: klein, Fell, 4 Pfoten, schlappohrig,

²⁸² Mainzer 1995, S. 719f

²⁸³ Jedes kognitive System ist selbsterhaltend und selbsterstellend. Seine Wahrnehmung ist aspekthaft und selektiv. Aus evolutionstheoretischer Sicht ist die Fähigkeit zur Prototypenbildung überlebensfördernd. Für niedrige Tiere ist es meist ausreichend, eine Unterscheidung zu treffen zwischen „Fortpflanzungspartner“, „Beute“, „Feind“ und „keines von diesen“. Bei höheren Tieren nimmt die Fähigkeit zur Prototypenbildung rasch zu.

schwanzwedelnd; Katze: klein, Fell, 4 Pfoten, schnurrend) zusammenfassen und mit drei verschiedenen Output-Mustern verbinden. Diese allgemeine Clusterung reicht aus, um zu unterscheiden zwischen einer Vermeidungsstrategie (weglaufen) und zwei verschiedenen Annäherungsstrategien (spielen, streicheln).

groß	<input type="radio"/>				
Fell	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Tiger	<input type="radio"/>	weglaufen
4 Pfoten	<input type="radio"/>				
klein	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Hund	<input type="radio"/>	spielen
schlappohrig	<input type="radio"/>				
schwanzwedelnd	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Katze	<input type="radio"/>	streicheln
schnurrend	<input type="radio"/>				

Neuronen der Zwischen-Schichten bilden Cluster von Merkmalen und sind daher zur Prototypenbildung von Objekten befähigt. Die Leistungsfähigkeit eines neuronalen Netzes hängt dabei eng zusammen mit der Anzahl der Neuronen in den Zwischen-Schichten. Zwischen-Schichten haben eine überragende Bedeutung für die Prototypenbildung:

Die Neuronen der Mittelschicht stellen ihre synaptischen Verbindungen so ein, daß sie den Input *verallgemeinern* und Repräsentationen von Clustern von Inputeigenschaften bilden, die ihrerseits outputrelevant sind. [...] Gewiß waren diese Inhalte in den dargebotenen Inputmustern implizit als regelhafter Zusammenhang von Eigenschaften vorhanden. In der Mittelschicht jedoch sind es einzelne Neuronen, die diese Eigenschaftscluster repräsentieren und damit die Außenwelt sehr ökonomisch abbilden. [...]

Kurz, mit der richtigen Anzahl von Neuronen in der Zwischenschicht generalisiert das Netz effizient und arbeitet am ökonomischsten und raschesten. [...]

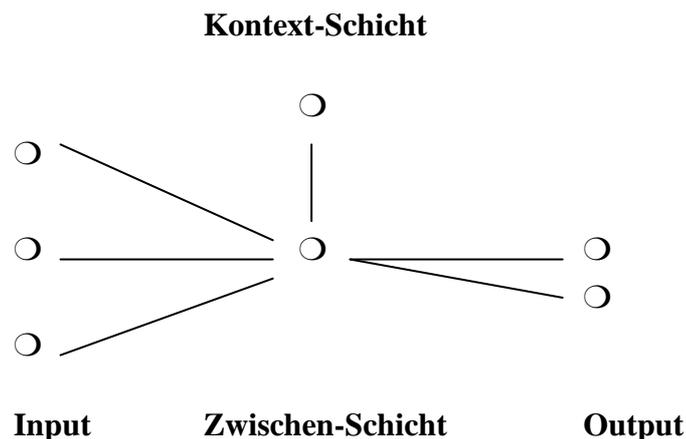
[...] Abstrakte, generalisierende Repräsentationen bzw. Prototypen mit allgemeinen Eigenschaften können in neuronalen Netzwerken als Systemeigenschaft unter bestimmten Voraussetzungen *spontan* entstehen. Dies ist für das Verstehen der Genese jeglicher Prozesse der Gestaltbildung bis hin zu begrifflichen Repräsentationen von kaum zu unterschätzender Bedeutung. *Abstrakta werden von neuronalen Netzwerken nicht als solche gelernt [...], sondern sie werden spontan hervorgebracht, sofern regelhafte Input-Output-Verhältnisse dem Training zugrunde liegen.*²⁸⁴

Dieser Sachverhalt beinhaltet wichtige epistemologische Konsequenzen: (α) Wissen ist demnach nicht allein durch den sensorischen Input bestimmt, sondern wird entscheidend durch die *Architektur* der Zwischen-Schichten mitgeprägt. (β) Haben Input-Schicht und Zwischen-Schicht dieselbe Anzahl von Neuronen, dann kommt es nicht zur Prototypenbildung. Ist hingegen die Anzahl der Neuronen in der Zwischen-Schicht etwas geringer, dann nehmen diese Neuronen gewissermaßen eine Umkodierung des Input vor, die

²⁸⁴ Spitzer 2000, S. 130ff

mit einer *Datenreduktion* verbunden ist. (γ) Die Informationsübertragung bildet einen *Flaschenhals*. Dieser Sachverhalt zwingt das neuronale Netz, Strukturen im Input zu entdecken und sich auf relevante Informationen zu beschränken.²⁸⁵

6. Die Bildung prototypischer Prozesse der Elman-Netzwerke: Kausale Strukturen beziehen sich auf prototypische Prozesse und eine prototypische zeitliche Ordnung dieser Prozesse. Ein besonderes Problem der Gehirnleistungen ist demnach die Repräsentation von zeitlichen und kausalen Strukturen. Diese sind wichtig für die Wahrnehmung von Bewegungen auf der sensorischen Ebene und für die Ausführung von Bewegungen auf der motorischen Ebene. Darüber hinaus ist die Repräsentation von Zeit relevant für Gedächtnis, Sprache und Bewußtsein. Um die Zeitrepräsentation zu simulieren, entwickelt Elman rekurrente Netze, d.h. neuronale Netze mit einer Kontext-Schicht, die mit der Zwischen-Schicht durch eine *Eins-zu-Eins-Verbindung* rückgekoppelt sind. Das Prinzip der Rückkopplung ermöglicht den ständigen Zugriff auf die unmittelbare kognitive Vergangenheit. Damit bleibt das Netz nicht in der hauchdünnen Schicht der Gegenwart gefangen, sondern eröffnet ein Zeitfenster.



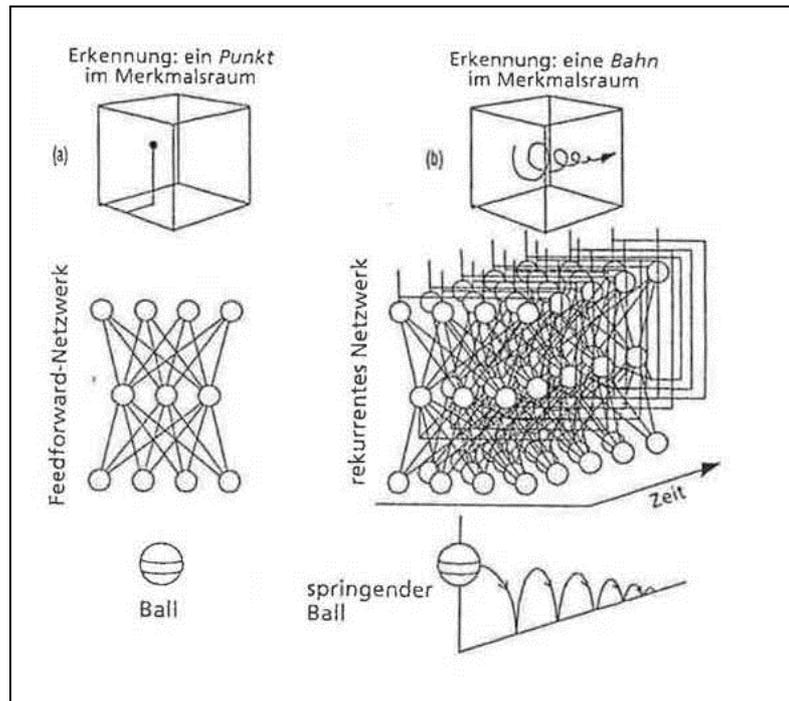
Die Kontext-Schicht erhält in einem ersten Schritt als Input den unveränderten Aktivierungszustand der Zwischen-Schicht. Dieser Aktivierungszustand wird in einem zweiten Schritt zusammen mit dem nachfolgenden Muster als Input der Zwischen-Schicht angeboten. Der ständige Zugriff auf die unmittelbare kognitive Vergangenheit ermöglicht es dem kognitiven System, frühere Informationen mit den aktuellen Informationen über die Gegenwart zu verrechnen. Dadurch wird die zeitliche Reihenfolge der Input-Muster repräsentiert. Die Kontext-Schicht hat somit die Funktion eines *Arbeitsgedächtnisses*, das jedoch nur eine kurze Zeitspanne zuläßt und dessen Kapazität sehr begrenzt ist.

Während man mit einem Feedforward-Netzwerk prototypische Objekte unterscheiden kann, kann man mit rekurrenten Netzwerken prototypische Vorgänge unterscheiden. Im ersteren Fall wird das Objekt erkannt, wenn es in einer Neuronenpopulation eine Aktivität hervorruft, die einem prototypischen

²⁸⁵ Ritter / Martinetz / Schulden 1991, S. 58ff

Aktivitätsvektor ähnlich ist. Im Falle rekurrenter Systeme wird ein Vorgang erkannt, wenn er in der Neuronenpopulation eine Reihe von Aktivitäten hervorruft, die einer prototypischen Vektorsequenz ähnlich sind. Die Aktivitätsvektoren treten nämlich im Laufe der Zeit eine typische Linie, eine Art Pfad, im Merkmalsraum aus. [...]

In allen Fällen stammt die Empfindung für Zeit aus den Vektorsequenzen, die ein gut trainiertes rekurrentes Netzwerk erzeugt. Ohne diese Sequenzen hätten wir keine Vorstellung von zeitlicher Ausdehnung oder von [...] Kausalvorgängen.²⁸⁶



Figur 1.30

Ein ausschließlich vorwärtsgekoppeltes Netz kann keine kognitiven Leistungen aus sich heraus erzeugen. Es ist vollständig von seinem sensorischen Input abhängig. Ein rückwärtsgekoppeltes Netz hingegen ist auch ohne unmittelbaren sensorischen Input zu kognitiven Leistungen befähigt. Welche immense Bedeutung dies insbesondere für den Menschen hat, zeigt der Sachverhalt, daß nur etwa **10%** der Neuronen des Gehirns direkt sensorisch oder motorisch wirken. **90%** der Neuronen des Gehirns beschäftigen sich mit der internen Informationsverarbeitung nach dem Ping-Pong-Prinzip. Durch rückwärtsgekoppelte Zwischen-Schichten und Kontext-Schichten erwirbt das kognitive System die Fähigkeit zur *Hypothesenbildung* und zur *Reflexion*.

Im Lichte der rekurrenten Netze lassen sich wiederum einige Ergebnisse der Gestaltpsychologie besser verstehen: (α) Die Belehrung der intuitiven Strukturierung findet immer dann statt, wenn die ersten Strukturierungsversuche kein sinnvolles Ergebnis erbringen. Durch Übung wird der zunächst sequentielle Prozeß der Mustererkennung in einen vorwiegend parallelen Prozeß überführt. Die unmöglichen Bilder (Escher) und die

²⁸⁶ Churchland 2001, S. 123ff

erfahrungswidrigen Bilder (Zimmer von Ames) sind kontra-intuitiv und schließen die Belehrung der intuitiven Strukturierung aus. (β) Die Kontextabhängigkeit der Informationsverarbeitung verdeutlicht, daß die Strukturierung nicht nur abhängig ist vom aktuellen sensorischen Input, sondern auch vom internen Zustand und damit von den früheren Erfahrungen und den gegenwärtigen Erwartungen. (γ) Die Gesetze der „guten Gestalt“ (Symmetrien, amodale Figuren) verweisen darauf, daß die gehirninternen Verrechnungsmechanismen einem axiologischen System unterliegen und im allgemeinen keine bewußten Prozesse sind. Dies läßt darauf schließen, daß diese speziellen Verrechnungsmechanismen bereits auf einer niedrigen Stufe der Verarbeitung auftreten und daher durch bewußte Prozesse kaum korrigierbar sind. (δ) Ein Evidenzerlebnis stellt sich dann ein, wenn das Ergebnis der Informationsverarbeitung nach dem Ping-Pong-Prinzip im Sinne eines sinnvollen Resultates feststeht.

Das Doppel-Paradigma: IP & CRI

Die grundlegende Hypothese über die Beschaffenheit intelligenter Systeme in der traditionellen **AI**-Forschung ist die „Physical Symbol System Hypothesis“ **PSSH**, die Newell und Simon 1976 formulieren:

Ein „Physical Symbol System“ hat die notwendigen und hinreichenden Voraussetzungen für ein intelligentes System.

Def: Ein „Physical Symbol System“ ist ein System, das aus Symbolen und Symbolstrukturen besteht, die physikalisch realisiert sein müssen.²⁸⁷

Ein Symbol ist eine eindeutig identifizierbare und lokalisierbare Einheit, die zwar beliebig festgelegt werden kann, dann aber etwas Bestimmtes repräsentiert. Die **PSSH** besagt demnach: Jedes System, das Symbole und symbolverarbeitende Prozesse zur Verfügung hat, *ist ein intelligentes System* (starke Lesart der Hypothese) bzw. *kann intelligente Leistungen simulieren* (schwache Lesart der Hypothese) und umgekehrt, jedes intelligente System ist ein symbolverarbeitendes System – also auch der Mensch. Zusätzlich wird noch vorausgesetzt, daß für alle intelligenten Vorgänge ein umfangreiches Wissen nötig ist, das im System gespeichert und jederzeit abrufbar sein muß (Heuristic Search Hypothesis). Demzufolge wäre menschliche Intelligenz wesentlich Symbolmanipulation, d.h. eine regel-basierte Operation mit symbolischen Ausdrücken, die in einer internen mentalen Sprache (mentalesisch) formuliert sind. Dies ist der Inhalt der *Computer-Metapher*. Die Verwendung von Symbolen und eine Informationsverarbeitung, die auf expliziten Regeln beruht, ist zwar ein wichtiges Kennzeichen menschlicher Intelligenz, aber sicher nicht das einzige und nicht das grundlegende Merkmal elementarer intellektueller Leistungen.²⁸⁸

²⁸⁷ Dorffner 1991, S. 3f

²⁸⁸ Ist Syntax konstitutiv und hinreichend für Semantik? Die damit verbundenen Fragen zur Simulierung des Denkens an Computern führt zu einer hitzigen Debatte zwischen Searle und Churchland, die am Beispiel des

Wenn die **PSSH** adäquat wäre, dann käme es nicht auf die interne Architektur des Systems an. Dies ist jedoch ganz sicher nicht der Fall. Bereits an einfachen neuronalen Netzen läßt sich studieren, welche Variationen in der Architektur zu welchen prinzipiellen kognitiven Leistungen führen. Die Annahme der traditionellen **AI**-Forschung, aus Daten und Regeln Intelligenz vollständig erschließen zu können, erweist sich somit als Irrtum. Wesentliche kognitive Leistungen sind gerade einer Modellierung durch symbolverarbeitende Mechanismen nicht oder nur sehr schwer zugänglich – dies gelingt neuronalen Netzen wesentlich besser. Hierzu gehören assoziative, intuitive oder ganzheitliche Erkenntnisse, Analogien, Abstraktionen, Generalisierungen, Bewertungen, Bedeutungen und induktive Schlußfolgerungen.

Ein zentraler Einwand gegen die **PSSH** macht geltend, daß gerade die Gebiete, auf denen Computer besonders leistungsfähig sind, Schwachstellen menschlicher Denkleistungen sind: schnelles und fehlerfreies Rechnen, Speichern großer Informationsmengen, umfangreiche mechanische Routinen und anderes mehr werden wesentlich besser durch Computer erledigt als durch menschliche Akteure. Umgekehrt lassen Assoziationen, hypothetisches Schließen, Assoziieren aufgrund unvollständiger Ausgangsinformationen den menschlichen Verstand gegenüber dem Computer derzeit wesentlich besser abschneiden. Es ist also extrem unwahrscheinlich, daß beide Systeme nach ähnlichen Prinzipien arbeiten.²⁸⁹

Symbolmanipulation [...] ist eine Form des abstrakten Denkens. Abstraktes Denken taucht evolutionär sehr spät auf. Die Menschen haben gefühlt, gehofft und gefürchtet, ihre Handlungen geplant und intelligent in der Welt agiert, lange ehe sie ein solches Abstraktionsniveau erreicht hatten. Warum, so könnte man fragen, sollten dann all diese vermutlich elementaren intellektuellen Leistungen auf Symbolmanipulation zurückzuführen sein?²⁹⁰

Neben der Untersuchung Neuronaler Architekturen und Lernverfahren steht das

Gedankenexperiments vom *Chinesischen Zimmer* ausgefochten wird. Das Gedankenexperiment soll – so Searle – zeigen, daß die regel-basierte Verknüpfung formaler Symbole noch kein Denken und Verstehen hervorbringt. Computer tun nur so, als ob sie denken könnten. Das Gedankenexperiment meint folgendes: Eine Person **A**, die zwar Englisch aber kein Wort Chinesisch versteht, sitzt in einem abgeschlossenen Raum mit einer Schachtel voll Tafeln mit chinesischen Schriftzeichen und einer Liste von Instruktionen, die in Englisch geschrieben sind. Durch einen Türschlitz schiebt eine weitere Person **B** weitere Tafeln mit Schriftzeichen hinein. Die Aufgabe von **A** besteht darin, anhand der Instruktionen und der Zeichen auf diesen neuen Tafeln, ihrerseits Zeichentafeln durch den Türschlitz hinauszureichen. Die Instruktionen seien so geschrieben, daß **B** die hineingereichten Zeichen als Fragen und die hinausgereichten Zeichen als passende Antworten versteht. Für **B** erscheint das chinesische Zimmer intelligent, obwohl es lediglich strikt den Instruktionen folgt und nicht versteht, wovon die Rede ist. Searles Argument ist jedoch – so Churchland – mit Blick auf die Computermetapher der traditionellen **AI**-Forschung angelegt. Im Zusammenhang mit neuronalen Netzen erweitert Searle sein Gedankenexperiment und ersetzt das chinesische Zimmer mit der Person **A** durch eine *chinesische Turnhalle* mit den Personen **A₁**, **A₂**, **A₃** ... **A_n**, welche die gestellte Aufgabe durch Arbeitsteilung bewältigen. Derart aufgerüstet streiten die „Kampfhähne“ Searle und Churchland weiter – bislang wohl unentschieden. Hintergrund ist das unterschiedliche Menschenbild. Searle verteidigt einen *Entitäten-Dualismus*, demzufolge mentale Zustände genuin neue Zustände sind, die nicht auf physikalische Zustände reduziert werden können, wohingegen Churchland für einen *Eliminativen Materialismus* argumentiert. Das Denken und Verstehen im Sinne Searles ist dann notwendig mit Bewußtsein verknüpft. Solange aber der Begriff „Bewußtsein“ unklar bleibt, kann auch das mit der *chinesischen Turnhalle* angesprochene Problem nicht wirklich gelöst werden (vgl. Mainzer 1995, S. 654ff; Urchs 2002, S. 122ff, 222ff).

²⁸⁹ Urchs 2002, S. 127

²⁹⁰ Urchs 2002, S. 195

Gebiet des Konnektionismus auch für ein neues Paradigma in der Künstlichen Intelligenz. Bisher versuchte man, kognitive Fähigkeiten regelbasiert und auf Grundlage der Struktur herkömmlicher Computer nachzubilden. Nun geht es darum, für die Simulation intelligenter Leistungen die Fähigkeiten Neuronaler Netze zu nutzen. Wissen wird nicht mehr symbolisch repräsentiert, sondern ist über das ganze Netzwerk verteilt. Diese auch als *sub-symbolisch* bezeichnete KI basiert auf der Modellierung assoziativer und intuitiver Vorgänge mit Hilfe selbstorganisierender Prozesse. Im Gegensatz zur symbolischen KI muß Wissen in weiten Teilen nicht mehr formalisiert werden, sondern kann sich durch die Lernprozesse eines Neuronalen Netzes selbst heranbilden.²⁹¹

Auch wenn bislang an den neuronalen Netzen nur einzelne kognitive Fähigkeiten simuliert werden können, so dürfte die bisherige Diskussion doch zeigen, daß ein neues Paradigma gefunden und artikuliert werden muß. Dorffner formuliert – im Rückgriff auf die Hypothese von Smolensky und Hofstadter – den Unterschied der beiden Paradigmen und betont, daß sich beide ergänzen müssen um ein plausibles Modell der kognitiven Fähigkeiten zu gewinnen. Das klassische Paradigma ist demnach nicht aufzugeben, sondern durch ein zweites Paradigma zu einem *Doppel-Paradigma IP & CRI* zu ergänzen.

Wesentliches Merkmal dieser Form von Artificial Intelligence ist, daß sie zunächst von der Modellierung von unbewußten, assoziativen oder intuitiven Vorgängen ausgeht. Symbolisches Denken, Schlußfolgern und Anwenden von Regeln spielen nach wie vor eine wesentliche Rolle, müssen aber in den Mechanismus der assoziativen Vorgänge eingebettet sein. Der Unterschied zur klassischen Vorstellung besteht darin, daß auch Wissen im Modell einen Platz haben kann, das sich nicht exakt durch Symbole und Symbolstrukturen darstellen läßt. Konzepte und Symbole, die für diese stehen, bilden nur eine Annäherung einer viel reicheren Struktur, die sich gewissermaßen *unterhalb* der linguistischen Symbole befindet – daher der Name *sub-symbolisch*.²⁹²

Die klassische AI setzt voraus, daß sich sowohl bewußt symbolische Handlungen, als auch unbewußte Assoziationen und Inferenzen mit dem gleichen Formalismus modellieren lassen: Nämlich einem symbolverarbeitenden System. Dabei sind die Prozesse auf der höheren Ebene die zugrundeliegenden, weshalb auch die dafür adäquaten Formalismen zur Modellierung aller Prozesse übernommen werden. Die sub-symbolische AI hingegen versucht, den zwei Ebenen verschiedene Mechanismen zuzuordnen. Außerdem sieht sie die unbewußte Ebene als die zugrundeliegende an, in die ein bewußter Symbolmechanismus eingebettet werden, bzw. aus der ein solcher hervorgehen muß.²⁹³

Der Mechanismus, der die Vorgänge auf der sub-konzeptionellen Ebene durchführt, wird von Smolensky der *intuitive processor* (IP) genannt, [...]. Der IP ist die virtuelle Maschine, auf der alle sub-symbolischen Prozesse ablaufen. Dem gegenüber stellt Smolensky den *conscious rule interpreter* (CRI), die Maschinerie, die für bewußte symbolische Handlungen und Regelanwendungen zuständig ist. [...]

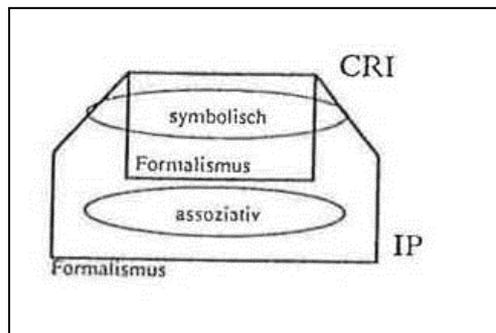
²⁹¹ Nauck / Klawonn / Kruse 1994, S. 3

²⁹² Dorffner 1991, S. v

²⁹³ Dorffner 1991, S. 12

Der IP umfaßt vor allem die Vorgänge, die instantan, also assoziativ oder intuitiv ohne bewußtes Zutun ablaufen.²⁹⁴

Das neue Paradigma dreht die gewohnten Verhältnisse geradezu um: Nicht die bewußten, symbolischen, algorithmischen Leistungen sind der Ausgangspunkt für Intelligenz, sondern die nicht-bewußten, assoziativen und intuitiven Leistungen. Kognitive Leistungen werden gerade nicht immer dadurch hervorgebracht, daß feste Repräsentationen nach Regeln verknüpft werden. Sie sind kein regelhaftes Hantieren mit Symbolen. Erst die höchste Ebene in der Kognition kann die bewußten, symbolischen und regel-basierten Leistungen hervorbringen. Diese müssen aber in die intuitiven, sub-symbolischen Grundmechanismen eingebettet werden.²⁹⁵



Figur 1.31

Als Konsequenz aus diesen Überlegungen ergibt sich die fundamentale Hypothese von der parallelen und sequentiellen Informationsverarbeitung, die im Doppel-Paradigma **IP & CRI** ihren Ausdruck findet und die aus den Ergebnissen der theoretischen Neuroinformatik resultiert. Das menschliche Erkenntnisvermögen verfügt demnach über zwei unterschiedliche Informationsverarbeitungssysteme. Roth charakterisiert die beiden Systeme folgendermaßen:

Wir können [...] idealtypisch zwei Arten oder Systeme der Informationsverarbeitung unterscheiden, ein bewußt-explizit und ein unbewußt-implizit ablaufendes System. Das erste System arbeitet überwiegend seriell, langsam [...] und „mühevoll“, ist in seiner Kapazität beschränkt und fehleranfällig; seine Informationsverarbeitung ist jedoch „tief“, d.h. auf die Verarbeitung komplexer und bedeutungshafter Inhalte ausgerichtet, [...]. Es ist beim Menschen eng mit der Fähigkeit zum sprachlichen Bericht verbunden. Das zweite System ist in seiner Kapazität nahezu unbeschränkt, arbeitet überwiegend parallel, schnell, weitgehend fehlerfrei, es ist in seiner Informationsverarbeitung jedoch „flach“, d.h. es verarbeitet Informationen anhand einfacher, z.B. physikalischer Merkmale oder einfacher Bedeutungen [...]. Es ist nicht an Sprache gebunden oder einer sprachlich-bewußten Beschreibung gar nicht zugänglich. Hierunter fällt alles, was mit „implizitem Lernen“ zu tun hat, mit Objektidentifikation anhand äußerlicher Merkmale, Einüben durch langwierige Praxis, unbewußter Imitation, Gruppierung nach Ähnlichkeiten, mit dem Erfassen einfacher Regeln usw.²⁹⁶

²⁹⁴ Dorffner 1991, S. 146f

²⁹⁵ Dorffner 1991, S. 12, 147

²⁹⁶ Roth 2001, S. 163

sequentielle Informationsverarbeitung	parallele Informationsverarbeitung
sukzessiv, einzeln, unvollständig isoliert, beziehungslos (unverknüpft, unzusammenhängend) neutral Symbolverarbeitung (Logik) Algorithmus (Zahlenoperationen) regel-basiert, deduktiv, programmiert bewußt, aufmerksam zeitbewußt (dynamisch) widerspruchsfrei	schlaglichtartig, ganzheitlich, ergänzend, assoziativ, kontextbezogen (verknüpft, zusammenhängend) bewertend (ästhetisch, axiologisch) Prototypenbildung (Objekte, Prozesse) Raum (Bilder, geometrische Figuren) beispiel-basiert, induktiv, trainiert nicht-bewußt, automatisch zeitlos (statisch) widerspruchstolerant schöpferisches Potential (kreativ, sinnstiftend)

Das Doppel-Paradigma **IP & CRI** verweist auf die prinzipielle Möglichkeit, kognitive Fähigkeiten zumindest teilweise durch Kombinationen aus Expertensystemen und neuronalen Netzen zu simulieren.²⁹⁷

Es liegt im Rahmen einer Wissenshierarchie nahe, für „low-level-knowledge“ wie z.B. Analyse und Erkenntnis von Signalen, Bildern, Sprache, Wahrnehmung; Bewegungskoordination und Intuition neuronale Netzwerke vorzusehen, während „high-level-knowledge“ wie z.B. logische und grammatikalische Ableitung, Rechnen, Erklärung und Expertenwissen besser von wissensbasierten Systemen bewältigt werden. Die Übergänge sind jedoch fließend, und die Zukunft liegt möglicherweise bei integrierten Systemen von neuronalen Netzen und wissensbasierten Systemen.²⁹⁸

Im Unterschied zur algebraisch-analytischen Repräsentation von Datenstrukturen, die wir in unserer Kultur- und Wissenschaftsgeschichte entwickelt haben, ist die geometrisch-topologische Darstellung die archaische Datenverarbeitung der Natur. Die algebraisch-analytische Darstellung führte über die Entwicklung der mathematischen Analysis und formalen Logik direkt zur Informatik und künstlichen

²⁹⁷ Es soll nochmals hervorgehoben werden, daß *neuronale Netze* allein nicht geeignet sind, die kognitiven Fähigkeiten des Gehirns mehr als nur ansatzweise zu simulieren. Die Unterschiede zwischen Gehirn und neuronalen Netzen sind dafür zu groß. Grundsätzliche Schwierigkeiten sind: (α) die geringe Anzahl der Neuronen und deren Vernetzung, (β) die strikte Trennung von Hardware und Software, (γ) das fehlende Äquivalent zu den Neurotransmittern, (δ) das fehlende Äquivalent zur Fehlerrückführungs-Regel in neuronalen Netzen mit Zwischen-Schichten, (ϵ) das fehlende „Weltbild“ und (ζ) die nicht vorhandene Wirksamkeit von system-internen Komponenten auf die kognitive Leistungen, die eng mit der sozialen Interaktion zusammenhängen – Emotion, Motivation, Aufmerksamkeit, Reflexion und Bewußtsein.

²⁹⁸ Mainzer 1995, S. 12

Intelligenz mit den Expertensystemen, während die Neuroinformatik an den geometrischen Abbildungsmaschinen anschließt, die den neuronalen Netzen zugrunde liegen. Die senso-motorischen Abbildungsoperationen werden also nicht wie in Software-getriebenen Computern in algebraisch-analytischer Symbolik codiert. Sie sind vielmehr in eine hochgradige Parallelstruktur der Netzwerktopologie eingebaut und entwickeln sich wie in der Evolution durch Selbstorganisation und Lernprozesse.²⁹⁹

Ein Expertensystem ist ein Computerprogramm einer **AI**-Programmiersprache, in dem das fachspezifische Wissen eines Experten zumindest partiell angelegt ist. Der Experte kann – neben seinem expliziten Wissen – immer auch auf ein *implizites Wissen* zurückgreifen, das er in einem langen Erfahrungsprozeß erworben hat und das ihm keineswegs bewußt sein muß. Nach dem 5-Stufen-Modell von Dreyfuß führt der Weg vom Anfänger, über den Experten bis hin zum Meister über mehrere Stufen: (α) Der Anfänger lernt bestimmte Regeln als Problemlösungsstrategien und wendet diese ohne Bezug auf die Gesamtsituation an. Sein gesamtes Wissen ist regel-basiert (Stufe 1 und 2). (β) Der Experte ist bereits so kompetent, daß er die gelernten Regeln in komplexen Problemen situationspezifisch anwenden kann (Stufe 3). Auf diese Stufe bezieht sich die maximale Leistungsfähigkeit von Expertensysteme. (γ) Der Meister verfügt darüber hinaus zusätzlich über eine umfassende Erfahrung und ein breites Hintergrundwissen, die es ihm nicht nur ermöglichen, die bekannten Regeln äußerst flexibel anzuwenden, sondern neue Varianten der Regeln zu entwickeln. Dieses Wissen verlangt ein hohes Maß an Intuition, die sich darauf verläßt, über ein möglichst umfassendes „Bild“ von der Gesamtsituation zu verfügen (Stufe 4 und 5).³⁰⁰

Für den Bau eines Expertensystems muß – im Idealfall – das gesamte Expertenwissen in Regeln gefaßt, in eine Programmiersprache übersetzt und mit einer Problemlösungsstrategie bearbeitet werden. Damit wird deutlich, daß Expertensysteme auf regel-basiertem Wissen beruhen. Die Regeln sind meist im Sinne von wenn-dann-Regeln zu verstehen und beziehen sich auf unscharfe Begriffe; dies ermöglicht auch eine Problemlösung bei unsicherer Datenlage.³⁰¹

Wissen ist der Schlüsselfaktor in der Darstellung eines Expertensystems. Man unterscheidet dabei zwei Arten von Wissen. Die eine Art des Wissens betrifft die

²⁹⁹ Mainzer 1995, S. 364

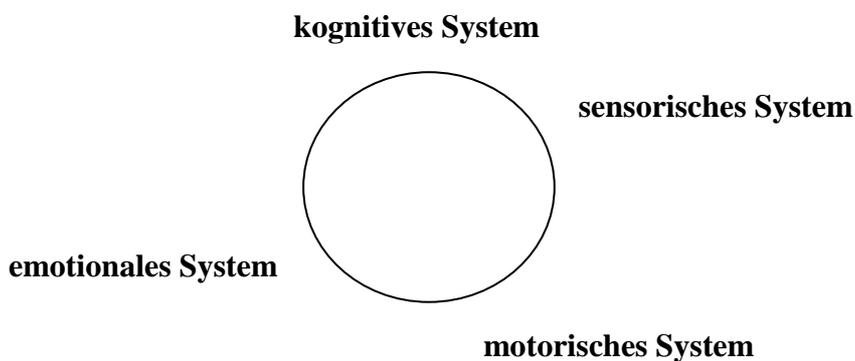
³⁰⁰ Mainzer 1997, S. 117ff

³⁰¹ Eine weitere Verbesserung erzielen *konnektionistische Expertensysteme*. Diese sind Kopplungen von Expertensystemen mit neuronalen Netzen, die das Wissen eines menschlichen Experten auf einem meist klar umrissenen Fachgebiet zusammenfassen. Dabei fließt sowohl unbewußtes, assoziatives, intuitives Wissen ein als auch bewußtes, regel-basiertes, symbolisch formuliertes Wissen zusammen. Die Intelligenz ist aber so komplex, daß sie bestenfalls durch *hybride Systeme* (Kombination: Robotern, neuronalen Netzen, Expertensysteme) simuliert werden kann. Die interessantesten Projekte sind COG und seine Verwandten KISMET, MACACA und COCO. Hier werden humanoide Roboter gebaut, die zu humanoiden Interaktionen befähigt sind. Dabei wird berücksichtigt, daß Intelligenz einen Körper benötigt, der die sensorische Interaktion mit der Außenwelt simuliert (vgl. Urchs 2002).

Fakten des Anwendungsbereichs, die in den Lehrbüchern und Zeitschriften festgehalten werden. Ebenso wichtig ist die Praxis im jeweiligen Anwendungsbereich als Wissen der zweiten Art. Es handelt sich um heuristisches Wissen, auf dem Urteilsvermögen und jede erfolgreiche Problemlösungspraxis im Anwendungsbereich beruhen. Es ist Erfahrungswissen, die Kunst erfolgreichen Vermutens, das ein menschlicher Experte nur in vielen Jahren Berufsarbeit erwirbt.³⁰²

Teile des Expertenwissens sind unbewußt, werden vorausgesetzt oder sind in intuitiven Bildern abgespeichert.³⁰³

Zusammenfassend kann das Gehirn ganz gut als ein vernetztes System von sensorischen, motorischen, emotionalen und kognitiven Teilsystemen verstanden werden.³⁰⁴



Völlig unabhängig von der theoretischen Neuroinformatik, erfährt die Hypothese von den beiden unterschiedlichen Informationsverarbeitungssystemen eine wichtige Unterstützung durch die *Kognitionspsychologie*. Hier ist es die „dual process theory“ von Evans und Stanovich; sie beschäftigen sich speziell mit Begründungs- und Entscheidungsstrategien und treffen eine Unterscheidung zwischen *pragmatischer Rationalität* und *logischer Rationalität*. Dieses Modell legt den Gedanken nahe, (α) daß die mesokosmische Strukturierung hauptsächlich durch ein Informationsverarbeitungssystem (System 1) geleistet wird, das intuitiv, automatisch, widerspruchstolerant, vorwiegend nicht-bewußt und wissens-basiert arbeitet und (β) daß die wissenschaftliche Strukturierung sich zusätzlich eines weiteren Informationsverarbeitungssystems (System 2) bedient, das kontrolliert, bewußt, widerspruchsfrei, regel-basiert und logik-basiert arbeitet, das im hohen Maße durch Kultur und Bildung befördert wird und das im System 1 fest verwurzelt ist. Der zuletzt genannte Aspekt betont insbesondere den Sachverhalt, daß das System 2 maßgeblich von System 1 beeinflusst wird.

³⁰² Mainzer 1995, S. 154

³⁰³ Mainzer 1995, S. 172

³⁰⁴ Emotionen lassen sich prinzipiell nicht aus dem Erkenntnisprozeß heraushalten, auch wenn sie keine „gern gesehenen Gäste“ im Forschungsprozeß sind. Alle sensorischen Daten werden im Limbischen System einer emotionalen Bewertung unterzogen, bevor sie in den verschiedenen Kortex-Arealen, die für die bewußten, kognitiven Leistungen zuständig sind, weiterverarbeitet werden. Der Einfluß der Emotionen auf den Forschungsprozeß ist bislang noch nicht genügend untersucht worden (vgl. Carruthers 2002).

On this account, reasoning is subserved by two quite different sorts of system. One system is fast, holistic, automatic, largely unconscious and requires relatively little cognitive capacity. The other is relatively slow, rule-based, more readily controlled and requires significantly more cognitive capacity. Stanovich speculates that the former system is largely innate and that, as evolutionary psychologists suggest, it has been shaped by natural selection to do a good job on problems similar to those which would have been important to our hominid forebears. The latter system, by contrast, is more heavily influenced by culture and formal education, and is more adept at dealing with the problems posed by a modern, technologically advanced and highly bureaucratized society. This new, slow system is largely responsible for scientific reasoning.³⁰⁵

After various intermediate developments, the dual process theory was recently reformulated [...] to refer to two distinct cognitive systems: implicit processes which are computationally powerful, context-dependent and not limited by working memory capacity; and explicit processes which permit general purpose reasoning but are slow, sequential and constrained by working memory capacity. [...] Other authors have proposed dual process theories also, most recently Stanovich (1999) who describes them as System 1 (implicit) and System 2 (explicit). We agree with Stanovich that System 2 thinking is needed to achieve normative rationality while System 1 is often sufficient for personal rationality.

The pragmatic influences of System 1 thinking are universal and pervasive. Some individuals succeed in suppressing these some of the time. Because they *can* do so, it does not mean that they generally do.³⁰⁶

There is a highly pervasive tendency for people to contextualize all problems and to be influenced by prior belief in their hypothesis testing, reasoning and evaluation of evidence. In general, expert thinking, including that of scientists, is prone to the same tendencies and biases [...].

Perhaps I should emphasize in conclusion that we have little choice in this matter of how we think. The pervasive effects of belief [...] reflect the operation of a very powerful pragmatic system, operating at an implicit level, and providing the main foundation of our cognitive processes. [...] People's critical thinking and reasoning can be improved by training, but the domination of implicit over explicit cognition remains.³⁰⁷

Abschließend soll noch genauer auf das besonders widerspenstige Problem der *Wissensrepräsentation* (Heuristic Search Hypothesis) eingegangen werden, das eng mit dem epistemologischen Grundbegriff „Wissen“ zusammenhängt. Höhere kognitive Leistungen erfordern den Zugriff auf ein adäquates „Weltbild“, d.h. ein kognitives System muß ein umfangreiches Hintergrundwissen über die Wirklichkeit repräsentieren um intelligent handeln zu können.³⁰⁸ Eine der zentralen Fragen ist demnach die Modellierung der

³⁰⁵ Carruthers / Stich / Siegal 2002, S. 15

³⁰⁶ Evans 2002, S. 197f

³⁰⁷ Evans 2002, S. 209f

³⁰⁸ Newell und Simon versuchten, generelle Methoden zur Lösung beliebiger Probleme zu entwickeln und in ein Programm zu integrieren, dem sie den ehrgeizigen Namen „General Problem Solver“ (GPS) gaben (Newell / Shaw / Simon 1960). Schnell wird indes klar, daß es unmöglich ist, komplexere Probleme mit Hilfe dieses Programms zu lösen, ohne auf Spezialwissen über den jeweiligen spezifischen Problembereich zurückzugreifen.

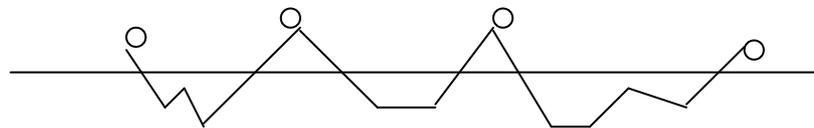
Wissensrepräsentation. Wäre sie nach strengen logischen Regeln konzipiert, dann würden daraus schwerwiegende Probleme resultieren. (i) Welches Wissen muß verfügbar sein? Diese Frage zielt darauf zu klären, welche Informationen für ein Problem relevant sind. Die Antwort hängt von den jeweiligen Intentionen und Zielen ab. (ii) Wie muß das Wissen kodiert sein, damit ein effektiver Zugriff gesichert ist? Hier wird der Zeitaufwand angesprochen, der nötig ist um die gesuchte Information zu finden. (iii) Wie muß das Wissen kodiert sein, damit der Wissensbestand ständig aktualisiert, modifiziert und erweitert werden kann? Insbesondere die letzte Frage zerfällt in zwei Teilfragen: (α) Wie sind neue Informationen zu behandeln, die nicht widerspruchsfrei zum alten Wissensbestand hinzugefügt werden können? Wenn eine bereits kodierte Information im Lichte der neu hinzugekommenen Information als falsch erkannt wird und ersetzt werden soll, dann geraten auch alle diejenigen Daten in Verdacht, falsch zu sein, die aus jener logisch abgeleitet sind. Wäre die Wissensrepräsentation nach strengen logischen Regeln konzipiert, dann müßten als Konsequenz alle Daten, die aus dieser falschen Information logisch folgen, ebenfalls geprüft und gegebenenfalls korrigiert werden. Die Konsistenzprüfung, die in jedem Fall vorzunehmen wäre, würde einen erheblichen Zeitaufwand benötigen. (β) Wie sind neue Informationen zu behandeln, die unvollständig sind. Wäre die Wissensrepräsentation nach strengen logischen Regeln konzipiert, dann könnten daraus keine weiteren Schlüsse gezogen werden. Jede unvollständige Information wäre völlig wertlos. (γ) Wie sind neue Informationen zu behandeln, die Teile des alten Wissensbestandes zwar in Zweifel ziehen, aber nicht evident genug sind, um diese zwingend aufzugeben? Ist die Prämissenmenge inkonsistent und wäre die Wissensrepräsentation nach strengen logischen Regeln konzipiert, dann ließen sich daraus – gemäß der klassischen Logik – beliebige Schlüsse ziehen. Das menschliche Gehirn toleriert aber offensichtlich auch inkonsistente Prämissenmengen. Die Regel von Duns Scotus, derzufolge aus einem

Robinson entwickelte mit seinem Resolutionsalgorithmus eine neue und außerordentlich effektive Methode (Robinson 1965). Damit war erneut die Hoffnung verbunden, einen bereichsunabhängigen Problemlöser zu konstruieren. Wenn jede Problemlösung auf die Ableitung einer Formel aus einer Menge von Prämissen reduzierbar ist, dann stellt jedes System mit der Fähigkeit zum automatischen Beweisen eine universale Problemlösungsmaschine dar. Die Schwierigkeiten des Programms erweisen sich aber als unüberwindbar. Die berühmteste Schwierigkeit ist das sogenannte *Frame-Problem*, das von Dennett an einem besonders illustrativen Beispiel erläutert wird: \mathbf{R}_1 sei ein Roboter, dem einprogrammiert wird, für sein eigenes Überleben zu sorgen und der nun vor einem eigenartigen Problem steht. Seine Energiequelle, eine Batterie \mathbf{B} befindet sich in einem Raum auf einem kleinen Wagen zusammen mit einer Zeitbombe \mathbf{Z} . \mathbf{R}_1 entwirft einen Plan zu seiner Rettung und beschließt den Wagen mit \mathbf{B} aus dem Raum zu ziehen. Obwohl \mathbf{R}_1 weiß, daß auch \mathbf{Z} auf dem Wagen liegt, zieht er nicht den Schluß, daß seine Handlung fatale Konsequenzen mit sich bringt, weil er sich ausschließlich auf die beabsichtigte Wirkung konzentriert. Die Roboter-Konstrukteure erkennen, daß sie einen verbesserten Roboter bauen müssen, der nicht nur die beabsichtigten Wirkungen seiner Handlung berücksichtigt, sondern darüber hinaus auch alle nicht-beabsichtigten Nebeneffekte. Der nächste Roboter \mathbf{R}_2 soll das Problem nun erfolgreicher lösen. \mathbf{R}_2 entwirft einen Plan zu seiner Rettung und beschließt ebenfalls den Wagen mit \mathbf{B} aus dem Raum zu ziehen. Zuvor prüft er jedoch alle Nebeneffekte. Dazu benötigt er viel Zeit. \mathbf{Z} explodiert, als \mathbf{R}_2 herausgefunden hat, daß seine Handlung keinen Einfluß auf die Farbe der Wände des Raumes hat. Die Roboter-Konstrukteure erkennen, daß sie einen verbesserten Roboter bauen müssen, der nicht nur die beabsichtigten Wirkungen seiner Handlung berücksichtigt, sondern darüber hinaus auch alle nicht-beabsichtigten Nebeneffekte, insofern sie relevant sind. Der nächste Roboter \mathbf{R}_3 soll das Problem nun erfolgreicher lösen. \mathbf{R}_3 entwirft einen Plan zu seiner Rettung und beschließt ebenfalls den Wagen mit \mathbf{B} aus dem Raum zu ziehen. Zuvor prüft er jedoch alle Nebeneffekte und legt eine Liste an mit allen Nebeneffekten, die irrelevant sind und daher ignoriert werden sollen. Dazu benötigt er viel Zeit... (Dennett 1984; Urchs 2002).

Widerspruch A und $\neg A$ jede beliebige Aussage folgt, gilt hier anscheinend nicht. Der Grund liegt darin, daß das Gehirn die Kodierung semantischer Aspekte intuitiv und widerspruchstolerant vornimmt.³⁰⁹

Widersprüche und Unklarheiten charakterisieren den menschlichen Geist im ganzen, aber damit auch seine Flexibilität und Lernfähigkeit. Gerade mehr oder weniger sichere Annahmen sind typischer für ihn als digitale Entweder-Oder-Entscheidungen.³¹⁰

Das Modell einer ausschließlich symbolischen Wissensrepräsentation ist sicher nicht adäquat. Es geht vielmehr darum, daß das kognitive System über eine Wissensrepräsentation verfügt, die teilweise explizit in symbolisch-sprachlicher Formulierung vorliegt und teilweise implizit, aber erwartungs- und verhaltensrelevant gegeben ist. Der implizite Teil der Wissensrepräsentation ist wesentlich intuitiv, d.h. nicht-bewußt und widerspruchstolerant. Dieser Sachverhalt kann durch eine *Gebirgsmetapher* veranschaulicht werden. Die mentalen Zustände des Wissens, die ein kognitives System einnehmen kann, lassen sich durch eine Gebirgszug darstellen, d.h. das gesamte Wissen entspricht den Punkten auf der Oberfläche eines Gebirges. In der sub-symbolischen Wissensrepräsentation entspricht jeder Gipfel des Gebirges einem bewußten Konzept. Beziehungen zwischen den Konzepten sind implizit gespeichert durch den Gebirgszug.³¹¹



Jedes neu hinzukommende Konzept wird automatisch in das bereits bestehende Gebirge eingegliedert, d.h. der Kontext, in dem das Konzept steht, wird dabei automatisch festgehalten. Alle mentalen Zustände des Wissens sind in einer sub-symbolischen Wissensrepräsentation modellierbar. Eine symbolische Wissensrepräsentation hingegen modelliert nur die Symbole (Kreise). Beziehungen zwischen den Symbolen müssen vom Designer explizit vorgegeben werden. Dies ist zwar nicht prinzipiell unmöglich, stellt aber den Designer doch sehr schnell vor unlösbare Probleme, wenn es darum geht, umfangreiche Wissensrepräsentationen konkret zu modellieren. Insbesondere verdeckt das Modell der symbolischen Wissensrepräsentation den Einfluß eines unterhalb der Bewußtseins-Ebene (gerade Linie) liegenden, aber erwartungs- und verhaltensrelevanten Wissens. Zwischenzustände sind aber wesentlich für die Modellierung von Kontexteinflüssen.

³⁰⁹ Dorffner 1991, S. 351; Urchs 2002, S. 128f

³¹⁰ Mainzer 1995, S. 101

³¹¹ Dorffner 1991, S. 149

In einem ersten Schritt gibt der sensorische Input Anlaß zu einer Konzeptualisierung und in einem zweiten Schritt kommt es eventuell zu einer symbolischen Formulierung (Kreise) der bewußten Konzepte. Hier ist die Schnittstelle zwischen **IP** und **CRI** und dies stellt sicher, daß die Symbole in der konkreten Erfahrung des Systems verankert sind. Diesen dualen Aspekt der Sprache hebt insbesondere Dorffner hervor:

Erstens ist Sprache ein primär unbewußter, assoziativer und intuitiver Vorgang, der daher dem Intuitive Processor (IP) zuzurechnen ist. Zweitens liefert die Sprache selbst die Symbole für den Conscious Rule Interpreter (CRI), also für bewußte (symbolische) Handlungen. [...] Diese Dualität siedelt Sprache also am Übergang zwischen IP und CRI an, [...].³¹²

Bei einer ausschließlich symbolischen Wissensrepräsentation geht demnach Wissen verloren. Eine sub-symbolische Wissensrepräsentation legt also nahe, den Wissensbegriff zu erweitern, um die gesamte gespeicherte Information (Hintergrundwissen) eines kognitiven Systems einzuschließen, auch wenn diese nicht bewußt zugänglich ist.

- (i) Das **Wissenspostulat I**: Erkenntnis liegt auch dann vor, wenn das Wissen zwar non-verbal, aber erwartungs- und verhaltensrelevant ist. Wissen als Ergebnis von Lernprozessen ist in den Synapsengewichten gespeichert und dabei keinesfalls zwingend auf eine symbolisch-sprachliche Repräsentation angewiesen, sondern meint zuallererst die Kodierung prototypischer Objekte und Prozesse. Der Grundbegriff „Wissen“ der Erkenntnistheorie sollte sich nicht auf propositionales Wissen allein beschränken, sondern um eine weitere epistemologisch relevante Form des Wissens erweitert werden.
- (ii) Das **Wissenspostulat II**: Wissen liegt in zweifacher Form vor: (α) Das implizite, prozedurale Wissen, das in der Fähigkeit zur Sinnlichkeit, Beweglichkeit und Handlung des erkennenden Subjekts wurzelt und erwartungs- und verhaltensrelevant ist, sowie (β) das explizite, deklarative Wissen, das auf der Fähigkeit zur Symbol-, Sprach- und Schriftbildung des erkennenden Subjekts beruht.

Die enorme Erweiterung des Wissensbegriffs findet unter den Philosophen wenig Zustimmung, insbesondere deshalb nicht, weil dann folgerichtig auch vom Wissen der Tiere gesprochen werden muß. Tieren wird zumeist kein Wissen im eigentlichen Sinne zugesprochen – es sei denn, es äußern sich Kognitions-Ethologen zu dieser Frage. Die wichtigsten Argumente gegen eine Verwendung des Wissensbegriffs auch bei Tieren sind: Die ausschließliche Fähigkeit des Menschen, (α) intentionale Bewußtseinszustände einzunehmen; (β) anderen Menschen ebenfalls intentionale Bewußtseinszustände zuzuschreiben; (γ) zur begrifflichen Formulierung und (δ) zur Reflexion und Selbstreflexion.

³¹² Dorffner 1991, S. 390

Kornblith analysiert die vorgebrachten Argumente und schließt sich dann ausdrücklich der Auffassung der Kognitions-Ethologen an.

Es ist die Fokussierung auf die Tauglichkeit der Spezies in ihrer Umwelt, die uns zwingt, die Möglichkeit eines erfolgreichen Verhaltens zu erklären. Diese Erklärung von erfolgreichem Verhalten erfordert den Wissensbegriff, und nicht den Begriff einer bloßen Überzeugung. Wissen erklärt die Möglichkeit von erfolgreichem Verhalten in einer Umwelt, und dieses erfolgreiche Verhalten erklärt die Tauglichkeit der Spezies.³¹³

Eine Art von Argument für die Ansicht, daß menschliches Wissen sich in signifikanter Weise vom Wissen anderer Tiere unterscheidet und daß der philosophisch interessante Begriff von Wissen nicht die natürliche Art ist, mit der Kognitions-Ethologen sich beschäftigen, hängt von genau diesen Unterschieden in der Fähigkeit zur Selbstreflexion ab.³¹⁴

Die ersten beiden Argumente erweisen sich als falsch. Beobachtungen höher entwickelter Tiere zeigt unmißverständlich, daß sie täuschen und betrügen können, was die Fähigkeit voraussetzt, intentionale Bewußtseinszustände einnehmen und anderen Tieren intentionale Bewußtseinszustände zuschreiben zu können. Die letzten beiden Argumente sind zwar richtig, aber für den Wissensbegriff nicht notwendig, andernfalls würde auch ein beträchtlicher Teil des menschlichen Wissens aus dem Gesamtbestand des Wissens herausfallen. Wird die Forderung der Reflexion und Selbstreflexion erhoben, dann führt dies auf direktem Wege in den radikalen Skeptizismus, zumal keine Mensch fähig ist, seinen gesamten Wissensbestand vollständig durch Reflexion abzusichern.

Menschen sind zweifellos zur Selbstreflexion in einem Maße befähigt, das für andere Tiere unerreichbar ist, und zweifellos reflektieren wir manchmal in einer Art und Weise selbstbewußt über das, was die Überzeugungen, zu denen wir gelangen, beeinflußt. Aber der Begriff des Wissens, für den Kognitions-Ethologen sich interessieren [...], schließt solch eine Reflexion keineswegs aus; er fordert sie nur nicht.³¹⁵

Die Fähigkeit des Menschen zur begrifflichen Formulierung und zur Reflexion und Selbstreflexion sind keine notwendigen Bedingungen für jegliches Wissen. Auch wissenschaftliches Wissen beinhaltet immer auch Anteile, die weder begrifflich formuliert noch Ergebnisse von Reflexionsprozessen sind. Hier geht es dann um die impliziten Anteile in den Theorienkonstruktionen, die im Fortgang der Wissenschaft gerade erst explizit gemacht werden müssen.

Bemerkenswert ist, daß hinsichtlich der Simulation kognitiver Fähigkeiten die Parallelisierung von Ontogenese und Geschichte der theoretischen Neuroinformatik gerade

³¹³ Kornblith 2001, S. 308

³¹⁴ Kornblith 2001, S. 313

³¹⁵ Kornblith 2001, S. 315

nicht gelingt. Historisch gesehen beginnen die Versuche, kognitive Fähigkeiten zu simulieren mit (α) den ersten mechanischen Rechenmaschinen von Leibniz und den elektronischen Rechenmaschinen von Zuse; diese beruhen auf der Idee einer *mathesis universalis*. Dann folgen (β) die von-Neumann-Rechner der numerischen Datenverarbeitung, die logisch-mathematische Fähigkeiten simulieren, (γ) die Expertensysteme der symbolischen Datenverarbeitung, die das Wissen von Spezialisten simulieren und (δ) die selbstorganisierenden neuronalen Netze, die elementare kognitive Fähigkeiten zum Aufbau eines „Weltbildes“ simulieren. Die Simulation kognitiver Leistungen an Computern und die ontogenetische Entwicklung des Menschen verläuft demnach in entgegengesetzter Reihenfolge. Hier könnte dann – in Analogie zu den Verhältnissen der Geometrie – vom *genetischen Paradoxon der Simulation kognitiver Fähigkeiten* gesprochen werden.

Die Erklärungsleistung der Neuroepistemologie

Die besonderen Erklärungsleistungen der empirischen Neurowissenschaften und der theoretischen Neuroinformatik bestehen darin, daß sie die neuronalen Grundlagen des Wissenserwerbs klären, die damit verknüpften *constraint-Bedingungen* aufdecken und die prinzipiellen Mechanismen der Kodierung und Verarbeitung von Informationen beschreiben können. Sie leisten damit einen wichtigen Beitrag zu einer neurologisch fundierten Erkenntnistheorie, die sich (vorläufig!) dem *Naturalismuspostulat* (ontologisch, epistemologisch, methodologisch) verpflichtet fühlt. Die bisher geführte Diskussion zeigt, daß insbesondere zwei Bedingungen für die Möglichkeit von Erkenntnis vorauszusetzen sind:

- (i) Die *Bedingungen an das zu erkennende Objekt*: Damit erkennende Subjekte existieren und lernen können, muß die Wirklichkeit existieren; die Phänomene müssen hinreichend stabil, strukturiert und redundant sein. Diese Bedingungen kommen im *Realitätspostulat* und *Strukturpostulat* zum Ausdruck. Sie werden sowohl von der Evolutionären Erkenntnistheorie als auch von der Genetischen Erkenntnistheorie vorausgesetzt und von den empirischen Neurowissenschaften ausdrücklich gestützt.
- (ii) Die *Bedingungen an das erkennende Subjekt*: Das kognitive System muß über senso-motorische Fähigkeiten verfügen, lernfähig sein und eine verteilt-hierarchische Gehirn-Architektur mit einer komplexen Schichten-Struktur aufweisen, die eine Vielzahl interner Filter-, Verrechnungs- und Kodierungsmechanismen ermöglichen.

Grundlage für die Einsichten in die neuronalen Mechanismen des Gehirns sind (α) invasive Verfahren an höher entwickelten Tieren und (β) die Simulation elementarer kognitiver Fähigkeiten an neuronalen Netzen. Hieraus lassen sich dann Modelle entwickeln, deren Adäquatheit – zumindest partiell – an Patienten mit spezifischen Gehirnläsionen geprüft werden können. Der Kerngedanke besteht darin, daß bereits einfache neuronale Netze elementare kognitive Fähigkeiten simulieren können, d.h. es müssen nicht en detail alle kortikalen Verschaltungen nachgebaut werden, um die Emergenz von Systemeigenschaften zu

erreichen. Grundlage dafür ist, daß neuronale Netze gerade nicht bloße Aggregate von Neuronen sind, sondern *komplexe Systeme*, die auf einer höheren Ordnungsstufe neue Systemeigenschaften hervorbringen können. Die Aufgabe ist dann, an neuronalen Netzen festzustellen, inwiefern bestimmte neuronale Strukturen im Prinzip ausreichen um spezifische kognitive Leistungen zu simulieren. Demnach können Hypothesen über komplexe Gehirnfunktionen getestet werden: Verhält sich das neuronale Netz im Prinzip wie ein Gehirn, dann liegt der Gedanke nahe, daß analoge Mechanismen vorliegen. Dabei kann es sicher nur darum gehen, grundlegende *Strukturprinzipien* des Gehirns zu erkennen, um auf dieser Grundlage die Emergenz der Systemeigenschaften wie Denken, Fühlen, Sprechen etc. immer besser verstehen zu können. Der Anspruch zielt also gerade nicht darauf, die gesamte Bandbreite kognitiver Fähigkeiten des Gehirns zu simulieren, sondern ein extrem verkleinertes Modell dafür liefern, wie im Prinzip kognitive Fähigkeiten von der Gehirn-Architektur abhängen. Natürlich bleibt damit noch die schwierige Frage unbeantwortet, inwieweit sich die einfachen Modelle um einige Größenordnungen „aufblasen“ lassen, ohne daß sich Grundlegendes an der Funktionsweise ändert. Die Grenzen der neuronalen Netze sind hier sicher erreicht. Eine Möglichkeit, diese Grenzen etwas auszuweiten, besteht dann insbesondere darin, neuronale Netze mit anderen Problemlösungstechniken zu kombinieren; dies führt zu hybriden Systemen.

Auf der so spezifizierten Grundlage lassen sich charakteristische Merkmale der Kodierung und Verarbeitung von Informationen angeben und epistemisch relevante Konsequenzen ableiten, die eine neurologisch fundierte Beantwortung der Frage nach *Erkenntnis* und *Irrtum* einerseits und dem *Wirklichkeitsbezug* andererseits ermöglichen. Auf diesen neuronalen Grundlagen entstehen zunächst spezielle elementare Strukturierungsleistungen und – darauf aufbauend – alle höheren epistemischen Leistungen. Dabei wird angenommen, daß höhere epistemische Leistungen nicht etwas prinzipiell Neuartiges darstellen, sondern den Ausbau und die Variation bereits bestehender Mechanismen.

- (i) Die Verarbeitung von Informationen ist drei-stufig und vollzieht sich nach dem *Flaschenhalsmodell*, d.h. (α) Daten werden aufgenommen, sofern geeignete Sinnesrezeptoren zur Verfügung stehen, (β) die Fülle der Daten wird drastisch reduziert durch eine Bewertung ihrer Relevanz auf verschiedenen Ebenen (Limbisches System, interne Verrechnungsmechanismen in den Zwischen-Schichten) und (γ) die Daten werden strukturiert und angereichert durch gehirneigene Vorgaben (Bedeutungszuschreibung, Kontexteinbettung, Hypothesenbildung nach dem Ping-Pong-Prinzip). Demzufolge werden Signale keineswegs eins-zu-eins weitergegeben. Dieser Mechanismus der Informationsverarbeitung stützt eine Auffassung, wie sie im *Konstruktionspostulat* und *Kohärenzpostulat* zum Ausdruck kommt, derzufolge die Wirklichkeit konstruiert wird.

- (ii) Neuronen übertragen Signale durch eine Kombination von elektrischen und chemischen Prozessen, die hauptsächlich an den Synapsen reguliert werden. Die Signalübertragung erfolgt primär im Sinne einer *parallelen Verarbeitung* und – darauf aufbauend – schließt sich eine *sequentielle Verarbeitung* an. Damit wird auf der neuronalen Ebene die *intuitive Strukturierung* als wesentliche Grundlage des Wissenserwerbs gedeutet. Das Paradigma der Symbolverarbeitung als charakteristisches Merkmal menschlicher Intelligenz muß aufgegeben werden zugunsten des Doppel-Paradigmas **IP & CRI**.
- (iii) Die Informationskodierung ist *distribuiert* und genügt den Bedingungen (α) der Effizienz / der Sparsamkeit, (β) der Fehlertoleranz (Störungen im Input) / der Robustheit (Ausfall einzelner Neuronen) und (γ) der Bewertung nach Ähnlichkeit, Häufigkeit und Relevanz. Die Kodierung beschränkt sich auf das Wesentliche, d.h. das Allgemeine und gerade nicht das Einzelne. Damit ist eine Datenreduktion verknüpft. *Ähnlichkeiten* im Input manifestieren sich in der Überlappung der Neuronen-Cluster. Die distribuierte Kodierungsart beinhaltet die epistemisch wichtige Konsequenz, daß auf der Grundlage von Ähnlichkeiten *induktive Schlüsse* gezogen werden können. Diese Fähigkeit ist überlebenssichernd, weil sie es ermöglicht, auf neue, noch unbekannte, aber ähnliche Situationen adäquat zu reagieren.
- (iv) Das Gehirn zeichnet sich durch eine hohe *Lernfähigkeit* aus. Lernen bedeutet Veränderung der Synapsengewichte (Plastizität). Der Lernprozeß erfolgt selbstorganisierend in topographischen bzw. semantischen Karten, d.h. im Aufbau spezialisierter Kortex-Areale wird ein direkter Zusammenhang zu den Strukturen des Input hergestellt. (α) Ähnlichkeiten des sensorischen Input werden durch Lagenachbarschaften der erregten Neuronen repräsentiert, d.h. die Abbildung von den jeweiligen Rezeptoren der Sinnesorgane zu den entsprechenden Kortex-Arealen ist nachbarschaftserhaltend. (β) Häufig vorkommender oder besonders wichtiger sensorischer Input wird auf einer größeren Fläche im Kortex repräsentiert. (γ) Das Gehirn extrahiert immer Strukturen, die im Input vorhanden sind, sofern geeignete Sinnesrezeptoren vorhanden sind. Es arbeitet als *Struktur-Detektor*.
- (v) Das Gehirn kodiert *prototypische Objekte* und – unabhängig und eigenständig davon – ihre *sprachliche Bezeichnung* in semantischen Karten. Patienten mit selektiven Sprachstörungen können auf spezielle semantische Karten nicht mehr zugreifen und als Konsequenz können sie bestimmte Objekte nicht mehr benennen, obwohl sie noch immer erwartungs- und verhaltensadäquat mit ihnen umgehen können. Dieser Sachverhalt stützt das *Wissenspostulat*, das implizites und explizites Wissen unterscheidet und für eine Erweiterung des traditionellen Wissensbegriffs argumentiert um nicht-propositionale Anteile des Wissens zu integrieren.

- (vi) Das Gehirn lernt an *konkreten Beispielen* aus einer strukturierten Wirklichkeit (Lernphase) und wendet das Erlernte auf *ähnliche Beispiele* an (Reproduktionsphase). Diese Fähigkeit zur Generalisierung führt zur *Musterklassifizierung*, d.h. das neuronale Netz erwirbt die Fähigkeit, auch auf neuen, noch unbekanntem, aber ähnlichen Input ebenfalls in adäquater Weise zu reagieren. Dem liegt ein Sparsamkeitsprinzip zugrunde: Die Speicherung allgemeiner Strukturen ist wesentlich ökonomischer, als die Speicherung aller verhaltensrelevanter Einzelereignisse.
- (vii) Ist der sensorische Input unvollständig oder verzerrt, dann kann das kognitive System durch die spezielle Art der rekurrenten Verschaltung die epistemisch wichtige Leistung der *Mustervervollständigung* erbringen. Diese Fähigkeit ist die neuronale Grundlage für die *intuitive Strukturierung*.
- (viii) Der sensorische Input wird solange modifiziert, durch gehirneigene Vorgaben ergänzt und „zurechtgebogen“, bis er *sinnvoll* erscheint, d.h. das Gehirn ist darauf angelegt, den Input in einen Kontext zur bisherigen Erfahrung zu stellen und ihm eine Bedeutung zuzuschreiben. Gelingt dies, dann ist damit ein *Evidenzerlebnis* verbunden, das die *Kohärenz* des Wissens bestätigt.
- (ix) Wissen ist nicht allein durch den sensorischen Input bestimmt, sondern wird entscheidend durch die spezielle Architektur der *Inter-Neuronen* mitgeprägt. In den Zwischen-Schichten kommt es zur Umkodierung des Input, die eine drastische Datenreduktion erlauben und Kontext-Schichten ermöglichen Gedächtnisleistungen. Durch rückwärtsgekoppelte Zwischen-Schichten und Kontext-Schichten erwirbt das kognitive System die Fähigkeit zur *Hypothesenbildung*. **90%** der Neuronen des Gehirns beschäftigen sich mit der internen Informationsverarbeitung nach dem Ping-Pong-Prinzip. Hier eröffnet sich einen enormen Spielraum für Phantasie und damit auch für den *Irrtum*.
- (x) Besonders hervorzuheben ist, daß Strukturen extrahiert werden. Dies verweist darauf, daß der *Wirklichkeitsbezug* nur struktureller Art sein kann. Es ist demnach bereits auf der Grundlage dieses neurologischen Befundes absehbar, daß es gerade die Mathematik ist, der in herausragender Weise die Herstellung des Wirklichkeitsbezugs zukommt und zwar nicht eine figurativ sondern eine *operativ verstandene Mathematik*.
- (xi) Das Doppel-Paradigma **IP & CRI** ist ein guter (vorläufiger!) Ausgangspunkt für ein angemessenes Verständnis kognitiver Fähigkeiten, weil hier – im Unterschied zur traditionellen **AI**-Forschung – der intuitiven Informationsverarbeitung eine zentrale Rolle zugesprochen wird.

Eine besondere philosophische Relevanz besteht darin, daß die von der Genetischen Erkenntnistheorie entdeckten *Strukturierungsformen* der senso-motorischen Stufe von den empirischen Neurowissenschaften und der theoretischen Neuroinformatik als Konsequenz der Gehirn-Architektur und der spezifischen Verschaltung bestätigt werden. Die Konzepte „Raum“, „Bewegung“, „Substanz“ und „Kausalität“ sind Ergebnisse gehirnterner Verrechnungsmechanismen, sie finden sich in ähnlicher Weise auch bei höher entwickelten Tieren. Der Index Ω gibt die individuell erreichte Entwicklungsstufe an.

R_{Ω}, B_{Ω}
O_{Ω}, K_{Ω}

Diese elementaren kognitiven Leistungen werden durch das Zusammenspiel verschiedener, räumlich getrennter Kortex-Areale erbracht.

- (i) **Raum:** Die räumlichen Verhältnisse und der Ort eines Objekts werden im parietalen Kortex kodiert. Notwendige Bedingungen für den Aufbau eines Raumkonzeptes sind senso-motorische Fähigkeiten. Ohne motorische Fähigkeiten könnten Positionsänderungen von Zustandsänderungen nicht unterschieden werden. Störungen im parietalen Kortex können zu Anosognosien führen, d.h. Patienten mit diesen Erkrankungen behaupten möglicherweise, sich gleichzeitig an zwei verschiedenen Orten zu befinden, ohne darin aber etwas Eigenartiges zu sehen.
- (ii) **Objekt:** Die Wahrnehmung eines konkreten Objektes im Raum erfordert die simultane Aktivität verschiedener Kortex-Areale, die jeweils bestimmte Aspekte (was?, wo?) kodieren und die zusammen das Objekt konstituieren. Das Objekt selbst wird im temporalen Kortex kodiert. Die Prototypenbildung von Objekten erfordert eine Gehirn-Architektur mit geeigneten Zwischen-Schichten, die die Koinzidenz aktivierter Cluster von Neuronen festhalten.
- (iii) **Bewegung:** Die Wahrnehmung von Bewegungsphänomenen setzt das Zusammenwirken von parietalen und temporalen Kortex-Arealen voraus. Ein spezieller Teil des temporalen Kortex kodiert die Ortsveränderung eines Objekts als Bewegung. Ist dieses Kortex-Areal geschädigt, dann können nur noch Sequenzen von Standbildern wahrgenommen werden. Die Wahrnehmung bewegter Objekte erfordert eine komplexe Gehirn-Architektur mit Zwischen-Schichten und Kontext-Schichten. Eine explizite Zeitkodierung gibt es nicht, d.h. es gibt keine temporalen Karten.
- (iv) **Kausalität:** Kausale Strukturen setzen zunächst die Fähigkeit zur Wahrnehmung bewegter Objekte voraus. Eine weitere notwendige Bedingung für den Aufbau

kausaler Konzepte sind senso-motorische Fähigkeiten und zwar in den Sinne, daß Wirkungen verursacht und dann als Ursache-Wirkungsketten erfahrbar (Koinzidenz) werden.

Hier zeigen sich grundlegende Unterschiede zu Kant: (i) Die Strukturierungsformen müssen wegen der Plastizität des Gehirns dynamisch aufgefaßt werden. (ii) Die Raumschauung verlangt nicht nur die Fähigkeit zur Sinnlichkeit, sondern auch die Fähigkeit zur Bewegung. (iii) Objekt und Kausalität sind primär nicht Begriffe, sondern non-verbale Prototypen. (iv) Die größten Unterschiede resultieren aus Kants Zeitanschauung. (α) Begrifflich ist zu unterscheiden zwischen einer Zeit, die an die Verfügbarkeit von Gedächtnisleistungen gebunden ist und einer Zeit, die an Bewegungsphänomene gekoppelt ist. (β) Der Vergleich spezieller Gehirnläsionen zeigt, daß es sich um zwei verschiedene kognitive Leistungen handelt, die unabhängig voneinander ausfallen können. (γ) Die neuronale Kodierung von Raum und Zeit sind völlig unterschiedlich. Für die Kodierung des Raumes und der Bewegung werden spezielle Kortex-Areale zur Verfügung gestellt; für die Zeit ist dies nicht der Fall.

2 Begriff, Funktionen, Grenzen und Wandel der intuitiven Erkenntnis in physikalischen Theorien

Diese Studie will den Begriff „intuitive Erkenntnis“ auf eine *neue Weise* explizieren, die grundsätzliche Rolle der intuitiven Erkenntnis im allgemeinen Erkenntnisprozeß und speziell in der Konstruktion und für das Verständnis physikalischer Theorien analysieren und ihre Unverzichtbarkeit für die Entwicklung der Naturerkenntnis von der Antike bis zum 21. Jahrhundert in den wichtigsten Aspekten darstellen. Die Grundzüge einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie – also die Ergebnisse des 1. Kapitels – ermöglichen einen neuen Blick auf diesen schwierigen Begriff und eine bessere Präzisierung seiner Strukturmerkmale. In *systematischer Perspektive* beinhaltet dies drei Aspekte: Es ist durchaus unklar, (α) was unter dem Begriff „intuitive Erkenntnis“ sinnvollerweise zu verstehen sein könnte, (β) worin die Funktionen und Grenzen dieser Erkenntnisart bestehen und (γ) inwiefern sich in der Entwicklung der Naturphilosophie die Maßstäbe geändert haben für das, was als intuitiv-einsichtige Theorie gelten kann. Insbesondere die Änderung dieser Maßstäbe verlangt einen gründlichen Blick auf die historische Abfolge naturphilosophischer Theorien.

In *historischer Perspektive* geht es zunächst um den Begriff „intuitive Erkenntnis“ und um seine Funktionen und Grenzen, wie sie von der traditionellen Philosophie, der Analytischen Wissenschaftstheorie, der Mathematik und der Physik bestimmt worden sind. Seit Menschen über den Erkenntnisprozeß nachdenken, hat die intuitive Erkenntnis ein wechselvolles Schicksal erfahren: Mal wird ihr eine wichtige Funktion zugeschrieben, mal wird ihr jegliche Funktion abgesprochen. Wenn aber Philosophen, Wissenschaftstheoretiker, Mathematiker und Physiker von intuitiver Erkenntnis reden, handelt es sich dann immer um denselben Begriff oder verbergen sich dahinter verschiedene *Begriffsvarianten*? Welches sind die wichtigsten Gebrauchsweisen des Begriffs in den traditionellen Erkenntnislehren und in welcher Weise sprechen Mathematiker und Physiker von intuitiver Erkenntnis oder sinnverwandten Begriffen in ihren Theorien? (α) Die Pythagoreer haben die Mathematik im Sinne einer Wissenschaft begründet und erstmals eine mathematische Naturauffassung etabliert. Dabei spielt die intuitive Erkenntnis eine zentrale Rolle. (β) Die wichtigsten Erkenntnislehren in der Antike entwickeln Platon und Aristoteles. Beide berufen sich der Sache nach ebenfalls auf eine intuitive Erkenntnis. Daran anknüpfend werden in der Neuzeit (γ) die rationalistischen Erkenntnislehren von Descartes und Leibniz und (δ) die empiristischen Erkenntnislehren von Locke und Hume aufgestellt. Sie alle argumentieren zugunsten der Unverzichtbarkeit der Intuition im Erkenntnisprozeß, wenngleich sich dahinter

ganz unterschiedliche Begriffe verbergen. (ε) Kant führt wichtige Einsichten der rationalistischen und empiristischen Erkenntnislehren zusammen und entwickelt seine Lehre von den Formen der Anschauung und den Kategorien des Denkens, die allerdings grundlegend mit der aristotelischen Logik, der euklidischen Geometrie und der Physik Newtons verknüpft ist. (ζ) Mit dem Niedergang der Newtonschen Physik und unter dem Eindruck der kontra-intuitiven Ergebnisse der Relativitätstheorie und der Quantentheorie verhält sich die, ausschließlich an Empirie und Logik orientierte Analytische Wissenschaftstheorie äußerst ablehnend gegenüber der intuitiven Erkenntnis. (η) Damit scheint sie jedoch im Widerspruch zu denjenigen Mathematikern und Physikern des 20. Jahrhunderts zu stehen, die maßgeblich an der Entwicklung dieser neuen physikalischen Theorien beteiligt sind und die der intuitiven Erkenntnis eine unverzichtbare Rolle im Erkenntnisprozeß zuschreiben.

Die antike und die neuzeitliche Philosophie sprechen der intuitiven Erkenntnis eine konstitutive und damit unverzichtbare Funktion im Erkenntnisprozeß zu. Diese Erkenntnisart soll hauptsächlich die *Gewißheit* der Erkenntnis sichern. Es ist das große Verdienst der Analytischen Wissenschaftstheorie, klar erkannt zu haben, daß ein absolut gesichertes Wissen über die Natur nicht zu erlangen ist und daß die intuitive Erkenntnis die ihr zugeschriebene Unfehlbarkeitsleistung prinzipiell nicht erbringen kann. Die Wissenschaftstheoretiker sind in ihrer Kritik zwar zu einseitig, wenn sie versuchen, der intuitiven Erkenntnis den Status einer, für die Wissenschaft grundlegenden Erkenntnisart abzusprechen, sie haben aber Recht, insofern sie auf den Niedergang der Newtonschen Physik verweisen und wichtige Aspekte von Kants Anschauungs- und Kategorienlehre in Zweifel ziehen. Für Kant hat die Anschauung eine wirklichkeits-konstituierende Funktion, die in der Folgezeit bereits von Helmholtz bestritten und dann im Zusammenhang mit der Relativitätstheorie und der Quantentheorie völlig erschüttert wird. Nicht wenige Mathematiker und Physiker des 20. Jahrhunderts weisen der intuitiven Erkenntnis dennoch eine wichtige Rolle für die Theorienkonstruktion und das Theorienverständnis zu. Es sind gerade diejenigen Forscher, die maßgeblich an der Formulierung der als besonders kontra-intuitiv geltenden physikalischen Theorien mitgewirkt haben. Zu diesen gehören Poincaré, Hilbert, Bohr, Schrödinger und Heisenberg; dabei bleibt der von ihnen verwendete Intuitionsbegriff eher unklar. Insbesondere ist fraglich, ob sie den Intuitionsbegriff tatsächlich in Übereinstimmung mit Kants Anschauungsbegriff verstehen, oder eher im Rückgriff auf ein Mathematikverständnis, das wesentlich auf Descartes und Leibniz zurückgeht. Diese Begriffsverwirrung läßt sich auflösen, wenn zwischen einem figurativen und einem operativen Mathematikverständnis differenziert wird. Es besteht jedenfalls ein scharfer *Dissens* zwischen den verschiedenen Positionen: (α) Die traditionelle Philosophie traut der intuitiven Erkenntnis zu viel zu; (β) die Analytische Wissenschaftstheorie traut ihr zu wenig zu und (γ) die Mathematiker und Physiker, die die modernen physikalischen Theorien entwickelt haben, bleiben in ihren Aussagen häufig zu vage.

Die Ausführungen gliedern sich in fünf Teile: (i) Zunächst geht es um einen historischen Abriß, der *das Schicksal der intuitiven Erkenntnis in den traditionellen Erkenntnislehren* nachzeichnet. Dabei wird deutlich, daß es sich beim Intuitionsbegriff um verschiedene Begriffsvarianten handelt. Die Explikation des Begriffs ist insbesondere abhängig von der vorausliegenden epistemologischen Grundposition und daher uneinheitlich. Es kristallisieren sich drei Hauptbedeutungen heraus: (α) eine sinnliche Intuition der Empiristen, (β) eine rationale Intuition der Rationalisten und (γ) die Anschauung, von der Kant und die meisten Mathematiker und Physiker im Anschluß an seine Transzendentalphilosophie sprechen. Des weiteren geht es um die Kritik der Analytischen Wissenschaftstheorie, die nur am Rechtfertigungszusammenhang einer Theorie interessiert ist, den Entstehungszusammenhang einer Theorie als nicht analysierbar bzw. als irrelevant einstuft, die Frage nach einem adäquaten Wirklichkeitsverständnis für metaphysisch erklärt und die intuitive Erkenntnis als Erkenntnisart ablehnt. (ii) Anschließend geht es um *den Wandel der intuitiven Erkenntnis im Mathematik- und Naturverständnis* und damit um die Einsichten von Mathematikern und Physikern, die der Intuition eine unverzichtbare Rolle zuschreiben.³¹⁶ Als Ergebnis wird sich zeigen, (α) daß die verschiedenen Intuitionsbegriffe der traditionellen Erkenntnislehren in wesentlichen Aspekten zu kurz greifen und (β) daß insbesondere im Hinblick auf ein operatives Mathematikverständnis der Intuitionsbegriff neu expliziert werden muß. (iii) Auf dem Hintergrund der spekulativen Aussagen der traditionellen Erkenntnislehren und im Rückgriff auf die Grundzüge einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie wird eine neue Bestimmung des Begriffs „intuitive Erkenntnis“ gegeben. Der als berechtigt ausgewiesene Teil der Kritik der empiristisch orientierten Wissenschaftstheoretiker und die gut begründeten Einsichten von Mathematikern und Physikern zur Rolle der intuitiven Erkenntnis werden in dieser Begriffsbestimmung berücksichtigt. Dabei steht insbesondere auch die, von der traditionellen Philosophie der intuitiven Erkenntnis zugeschriebene Evidenz im Zusammenhang mit der Rechtfertigung einer Theorie auf dem Prüfstand. (iv) Darauf aufbauend werden die *Funktionen und Grenzen der intuitiven Erkenntnis* im Hinblick auf die Theorienkonstruktion einerseits und das Theorienverständnis andererseits erörtert. Dabei wird in detail herausgearbeitet, wie die intuitive Erkenntnis die Metaphysik, die Leitmetaphern, die Methodenideale und die Kontrollinstanzen begründet, was sie zur Anschaulichkeit beiträgt und in welchem Sinne sie den Wirklichkeitsbezug herstellt. Damit lassen sich dann auch die Grenzen der intuitiven Erkenntnis ziehen. (v) Die historische Entwicklung der Physik – von ihren ersten Anfängen in der Antike bis hin zu den modernen Theorien des 21. Jahrhunderts – ist charakterisiert durch einen zunehmenden Verlust an Anschaulichkeit und eine zunehmende Akzeptanz kontra-intuitiver Ergebnisse. Dieser Sachverhalt wird exemplarisch an einigen besonders wichtigen Marksteinen der naturwissenschaftlichen Geschichte skizziert und in einem *7-Stufen-Modell intuitiver Theorien* entwickelt. Dabei ist aufzuzeigen, daß der Verlust

³¹⁶ Eine Untersuchung der Funktionen und Grenzen der intuitiven Erkenntnis im Zusammenhang mit der Quantenphysik würde den Rahmen dieser Studie bei weitem übersteigen und muß hier ausgeklammert bleiben.

an Anschaulichkeit als ein Wandel der Maßstäbe dafür, was als intuitiv-einsichtige Theorie gelten soll, verstanden werden kann und inwiefern der neue Intuitionsbegriff ein genaueres Verständnis ermöglicht für den Wandel dieser Maßstäbe. Die Änderung der Maßstäbe meint im Kern (α) den Übergang von den Strukturierungsformen der mesokosmischen Strukturierung zu immer neuen modifizierten Strukturierungsformen, (β) verbunden mit einer Verschiebung von einer unbelehrten, intuitiven Einsichtigkeit auf der mesokosmischen Phänomenebene hin zu einer belehrten, intuitiven Einsichtigkeit auf einer abstrakten, mathematisch formalisierten Strukturebene, die sich (γ) auf eine technisch veränderte Wirklichkeit bezieht. Die Unterschiede manifestieren sich hauptsächlich in der Formulierung der Metaphysik und Leitmetaphern, den Methodenidealen und Kontrollinstanzen, sowie der Art der Veranschaulichung und dem Wirklichkeitsbezug.

2.1 Das Schicksal der intuitiven Erkenntnis in den traditionellen Erkenntnislehren

Im folgenden sollen die wichtigsten traditionellen Erkenntnislehren im Hinblick darauf, welche Funktionen und Grenzen sie der intuitiven Erkenntnis zuschreiben, behandelt werden. Im einzelnen geht es um (i) die platonische Ideenlehre und Wesensschau, (ii) die aristotelische Induktions- und Abstraktionslehre, (iii) die cartesische Intuitions- und Evidenzlehre, (iv) die leibnizsche Unterscheidung von intuitiver und symbolischer Erkenntnis, (v) die Kritik Lockes und Humes am Substanz- und Kausalbegriff, (vi) Kants Lehre von den Formen der Anschauung und den Kategorien des Denkens und (vii) die Kritik der Analytischen Wissenschaftstheorie. Dabei kann es nur um eine kurze Skizze der jeweiligen Erkenntnislehren gehen, die insbesondere fünf Fragen zu klären hat: (α) Wie wird der jeweilige Intuitionsbegriff expliziert? (β) Gilt die Intuition als belehrbar? (γ) Welche Funktionen und Grenzen werden der Intuition zugewiesen? (δ) Welche Kritik wird an konkurrierenden Erkenntnislehren vorgebracht und inwiefern gehen in ihre Begründung wiederum Verweise auf intuitiv einsichtige Annahmen ein? (ϵ) Wie verhält sich der jeweils explizierte Intuitionsbegriff zu den Ergebnissen einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie?

Die kritische Würdigung der traditionellen Erkenntnislehren erfolgt allerdings unter zwei komplementären Blickwinkeln, die gegenläufige Zielsetzungen verfolgen: (α) Die *Kritik der reinen Vernunft* von Kant gilt als der Schlüsseltext für die moderne Philosophie; jede Erkenntnistheorie muß sich an Kant abarbeiten. Kant hat in seiner Transzendentalphilosophie viele Einsichten der empiristischen und rationalistischen Erkenntnislehren zusammengeführt. Dennoch – so soll hier argumentiert werden – sind auch wichtige Aspekte verloren gegangen, die – meist nur ansatzweise – in früheren Erkenntnislehren vorkommen. Die traditionellen Erkenntnislehren vor Kant sollen daher speziell unter einer *vorteils-orientierten Perspektive* diskutiert werden, die es ermöglicht, die verloren gegangenen Einsichten wieder zugänglich zu machen oder angefangene Entwicklungslinien weiterzudenken. (β) Kants Transzendentalphilosophie hingegen soll unter einer *nachteils-orientierten Perspektive* erörtert werden. Hier geht es darum, aufzuzeigen, welche wichtigen Aspekte fehlen oder nur verkürzt vorkommen und daher integriert werden sollen.

Die platonische Ideenlehre und Wesensschau

Jede Naturphilosophie muß auf dem langen Weg zur Naturerkenntnis drei fundamentale Fragen beantworten: (α) Wie sind die Grundbegriffe zu explizieren? (β) Wie kann sicheres Wissen erworben werden? (γ) Auf welche Erkenntnisgegenstände bezieht sich das Wissen? Platon (427 – 348 v. Chr.) will diese Fragen auf dem Hintergrund seiner Ideenlehre und Wesensschau beantworten. Er glaubt, daß der Mensch an den göttlichen Ideen teilhat und daß er sich diese durch Wiedererinnern bewußt machen kann. Dem Kern nach rekurriert Platon dabei auf die Fähigkeit zur *rationalen Intuition*. Mit dieser Auffassung ist eine Zwei-Welten-

Lehre verknüpft, die eine, nur dem Denken zugängliche Welt des Seins und eine, durch die Wahrnehmung erkennbare Welt des Wandels unterscheidet. Obwohl Platon keine Naturphilosophie im empirischen Sinne betreibt, wird durch seine Erkenntnislehre dennoch ein philosophischer Horizont geschaffen, der für die neuzeitliche Naturphilosophie und sogar für die moderne Mathematik und Physik äußerst wirksam ist. Die Naturbeschreibung durch idealisierte Strukturen und idealisierte Gegenstände, wie sie seit Galilei und Newton allgemein akzeptiert ist, beruft sich auf eine durch Platon inspirierte Natursicht.

Eine wichtige Rolle für den Erwerb gesicherten Wissens spielt die rationale Intuition. Im allgemeinen weist sie folgende Eigenschaften auf: (α) Die rationale Intuition steht am Ende eines langen *philosophischen Bildungsweges*, der über eine Schulung in Geometrie und Arithmetik führt. Die philosophische Bildung wird im Höhlengleichnis beschrieben als die „Kunst der Umkehrung der Seele“ aus dem Bereich des werdenden nach dem Bereich des Seienden. Die rationale Intuition bezieht sich auf das nur durch Wiedererinnerung zugängliche Wissen über das Seiende. (β) Das durch die rationale Intuition wiedererinnerte Wissen ist auf seine *innere Konsistenz* hin geprüft; es gilt daher als absolut sicher und keiner weiteren Kontrollmechanismen bedürftig. (γ) Die zu erkennenden Objekte sind *Begriffe* und *Strukturen*, denen eine Wirklichkeit jenseits von Raum und Zeit zukommt. Sie können nur mit einer besonderen Erkenntnisart erfaßt werden, wie dies im Liniengleichnis begründet wird. Sie sind die unveränderlichen und vollkommenen Urbilder der sinnlich wahrnehmbaren, veränderlichen und unvollkommenen Abbilder. Wahres Wissen kann es von den Abbildern nicht geben, daher ist Physik als Wissenschaft ausgeschlossen. (δ) Das erkennende Subjekt hat erfolgreich einen philosophischen Bildungsweg absolviert, d.h. Vorurteile, Sinnestäuschungen und perspektivische Verzerrungen sind ausgeschaltet. Der Bildungsprozeß beinhaltet *epistemische Umgestaltungen*, d.h. auf jeder Erkenntnisstufe wird – dargelegt im Höhlengleichnis – das vorherige Wissen teilweise als Scheinwissen entlarvt. (ϵ) Das intuitiv erworbene Wissen bezieht sich auf ein *axiologisch geordnetes System* von Ideen. Beeindruckendes Beispiel ist der Mythos der Welterschöpfung. Die Erschaffung des Kosmos vollzieht sich gemäß dem Prinzip der Vollkommenheit; für den Demiurgen ist dies die Realisierung der Idee des Guten und Schönen in der sichtbaren Welt. Aus diesem Prinzip wird auf die Kugelgestalt des Kosmos und die gleichförmige Bewegung der Himmelskörper geschlossen.

1. Unbelehrte Intuition & belehrte Intuition. Platon unterscheidet der Sache nach zwischen einer unbelehrten Intuition und einer belehrten Intuition. Die Belehrung der Intuition wird durch die Anwendung der Hebammenkunst (mäeutik) gesichert; das Ergebnis ist ein wiedererinnertes Wissen (anamnesis). Sichere Erkenntnis kann sich nur auf das Unveränderliche beziehen. Ausgangspunkt der platonischen Dialoge ist das Problem der *Begriffsdefinition* – die Sokratische Frage: „Was ist **X**?“ Die Begriffsbestimmung ist für Platon immer eine intensionale Frage nach dem Wesen von **X** und nicht eine extensionale

Frage nach Beispielen für X. Die Sokratische Frage weist eine Doppelfunktion auf: (α) Die *destruktive Funktion* der Sokratischen Frage besteht darin, unberechtigte Wissensansprüche zu erschüttern und Erkenntnisirrtümer zu entlarven. Die Dialoge beschreiben ein Wechselspiel um Frage und Antwort, um Bestimmung und Nachprüfung. Sokrates stellt die Frage, der jeweilige Dialogpartner glaubt eine richtige Antwort zu wissen und antwortet, doch die Antwort hält der Nachprüfung nicht stand. Sie bleibt unbefriedigend, es muß eine bessere Antwort gesucht werden. Aber jede Antwort, die gegeben wird, erweist sich als unzureichend. Diesen destruktiven Teil der Methode sollen die in der unbelehrten Intuition gegebenen Antworten als Scheinevidenzen zu entlarven. (β) Die *konstruktive Funktion* der Sokratischen Frage besteht darin, gesichertes Wissen der Wiedererinnerung zugänglich zu machen. Diesem Sachverhalt liegt die Annahme zugrunde, daß ein Potential apriorischen Wissens zur Verfügung steht, das durch eine geeignete Erkenntnismethode – die Hebammenkunst, wie sie im Dialog *Theätet*³¹⁷ erklärt ist – aktiviert werden kann. Die Lehre von der Wiedererinnerung des Wissens entwickelt Platon ausführlich in seinem berühmten Dialog *Menon*.³¹⁸ Platon erörtert in diesem Frühwerk das Problem der Lehrbarkeit von Wissen. Die ersten, naheliegenden Antworten verweisen auf die tieferliegende Frage nach dem Ursprung des Wissens, aber diese Frage scheint in die Aporie zu führen. Sokrates findet schließlich einen bemerkenswerten Ausweg. Die Pointe seiner Lösung liegt gerade darin, daß ein Mensch nur nach etwas suchen kann, was er zwar nicht aktual, wohl aber potentiell weiß. Der Wissenserwerb wird so als Aktualisierungsprozeß eines Wissenspotentials gedeutet. Der einzige und richtige Ausweg scheint Sokrates in der Lehre von der *Wiedererinnerung* des Wissens zu liegen. Die wahre Erkenntnis ist mit einer Ideenschau der präexistenten Seele verknüpft. Bevor sich die Seele mit einem Körper verbindet, hat sie alles im Sinne einer rationalen Intuition erblickt.

Nicht also durch Belehrung, sondern durch bloßes Fragen wird er zum Wissen gelangen, indem er aus sich selbst das Wissen gewinnt. [...]

Heißt aber das Wissen aus sich selbst gewinnen nicht so viel als sich wiedererinnern?³¹⁹

Für Platon erscheint der Schluß zwingend: „Wissen aus sich selbst gewinnen“ kann nur eine Wiedererinnerung des Wissens bedeuten. Der zureichende Grund für das Wissen ist dann die Erfahrung während einer mythischen Präexistenz.

Um die Gültigkeit seiner Lehre zu belegen, demonstriert Sokrates das menschliche Vermögen zur Wiedererinnerung des Wissens am „Satz des Pythagoras“. Das nun folgende Gespräch mit einem Sklaven wird zum Idealfall einer bleibenden Wiedererinnerung eines geometrischen

³¹⁷ Platon, *Theätet*, 150

³¹⁸ Platon, *Menon*, 80

³¹⁹ Platon, *Menon*, 85

Sachverhalts. Sokrates gelingt es, dem – der Geometrie unkundigen – Sklaven allein durch Fragen einen elementaren Satz der Geometrie zu entlocken. Dabei durchläuft der Sklave beim Wissenserwerb vier charakteristische Phasen: (α) die Feststellung des vermeintlichen Wissens, (β) die Entlarvung dieses Wissens als Scheinwissen – z.B. durch das Aufzeigen von Inkonsistenzen –, (γ) die damit verknüpfte Erschütterung über und die Einsicht in das eigentliche Nicht-Wissen und (δ) die Aktualisierung des wahren Wissens. Das Wissen – so glaubt Platon – kann nicht von außen an den Schüler herangetragen werden; er muß es selbst finden, und zwar in seiner eigenen Seele, in der es bereitliegt. Die Belehrung der Intuition im Hinblick auf eine geometrische Frage hat folgenden strukturellen Aufbau:

- (i) Die **unbelehrte Intuition**: Die geometrische Frage wird intuitiv beantwortet und die vorgeschlagene Hypothese H_1 wird anhand einer konkreten Zeichnung im Sand geprüft. Ist die Prüfung nicht zufriedenstellend, weil sie auf Inkonsistenzen führt, dann wird die Hypothese H_1 zurückgewiesen und intuitiv eine neue Hypothese H_2 vorgeschlagen. Es kommt zu einem Ping-Pong-Prozeß, der wesentlich durch die Hebammentchnik befördert wird.
- (ii) Die **Belehrung der Intuition**: Dieser Ping-Pong-Prozeß wird sich solange fortsetzen, bis die Überprüfung von H_n anhand der Zeichnung im Sand die Widerspruchsfreiheit ergibt. Dieser Prozeß der wiederholten Hypothesenbildung $H_1, H_2, \dots H_n$ ist offensichtlich ein sequentieller Prozeß; das akzeptierte Ergebnis aber ist die Hypothese H_n einer nun belehrten Intuition. Dieser Sachverhalt beschreibt den Prozeß der Aktualisierung der Wiedererinnerung.
- (iii) Die **belehrte Intuition**: Wird die geometrische Frage zu einem späteren Zeitpunkt erneut gegeben, dann wird sofort die intuitive Hypothese H_n vorgeschlagen. Dieser Sachverhalt beschreibt das bleibende Ergebnis der Aktualisierung der Wiedererinnerung.

Die Wissensvermittlung von rationalen Inhalten ist demnach die Selbstbelehrung des Schülers, ausgelöst durch die Hebammenkunst des Lehrers.

2. Sinnliche Intuition & rationale Intuition. In der platonischen Beschreibung des Wissenserwerbs wird deutlich, daß es der Sache nach um zwei Arten von Intuition geht. Dabei ist hervorzuheben, daß für Platon beide Erkenntnisarten eine wichtige Rolle im Erkenntnisprozeß spielen. Die konkrete Aufgabe besteht darin, den Flächeninhalt eines Quadrats mit der Seitenlänge a zu verdoppeln, d.h. die gesuchte Lösung ist $d = \sqrt{2} a$. Das Erkenntnisziel ist das Wissen um eine abstrakte geometrische Beziehung, die durch eine *rationale Intuition* erfaßt werden kann. Zunächst geht es aber um eine *sinnliche Intuition*. Sokrates veranschaulicht das Problem durch die Zeichnung einer konkreten Figur im Sand. Ausgangspunkt für den Wissenserwerb ist das sinnlich Wahrnehmbare und damit die

Intuition, die Strukturen am konkreten Einzelfall feststellt. Der Sklave kann sich mit dem Hilfsmittel der Zeichnung schrittweise den geometrischen Sachverhalt einsichtig machen. Die Veranschaulichung ist Teil der Hebammenkunst und fördert die rationale Intuition. Der Sache nach aktualisiert der Sklave also sein Wissen durch die Antworten, die er auf die Fragen des Sokrates gibt, die jener an sinnlich Darstellbares knüpft. Wissen ist die Wiedererinnerung bereits „geschauter Einsichten“. Damit wird deutlich: Der sinnlichen Intuition kommt die Funktion eines Katalysators für die Aktualisierung des bereits vollständig in der Präexistenz erworbenen Wissens zu. Das wahre Wissen ist das Ergebnis einer rationalen Intuition, die vom Konkreten und damit von Realisierungsmängeln abzusehen vermag.

sinnliche Intuition	rationale Intuition
Ausgangspunkt des Erkenntnisweges	Endpunkt des Erkenntnisweges
Erkennen von Strukturen im Abbild: Raum-Zeit-Phänomene	Erkennen von Strukturen im Urbild: Begriffe, Prinzipien, Vollkommenheitsideale
Einzelfall, Allgemeinheit, Wissen von der „Welt der Dinge“	Idealisierung, Wissen von der „Welt der Ideen“
Funktion: Katalysator für Wiedererinnerung	Funktion: aktualisiertes Wissen (exakt, allgemein, notwendig, sicher)
Grenzen: Realisierungsmängel	Grenzen: keine

Das nach der Prüfung, durch die rationale Intuition wiedererinnerte Wissen ist charakterisiert durch vollkommene Exaktheit, allgemeine Gültigkeit und Notwendigkeit. Bemerkenswert ist, daß der Sklave auf dem Hintergrund einer zunächst unbelehrten Intuition mehrmals falsche Antworten gibt, die zu Inkonsistenzen mit anderen Wissensinhalten führen. Mit diesen Inkonsistenzen konfrontiert, wird überhaupt erst ein Lernprozeß in Gang gesetzt.

Glaubst du nun, er würde jemals den Versuch gemacht haben, nach dem zu forschen oder das zu lernen, was er glaubte zu wissen ohne es doch zu wissen, wenn er nicht zuvor in Verlegenheit gebracht worden wäre durch das erweckte Gefühl seines Nichtwissens und von Sehnsucht nach dem Wissen ergriffen worden wäre?³²⁰

Die Wiedererinnerung des Wissens ist demnach ausgelöst durch Inkonsistenzen des vermeintlichen Wissens und führt zur schrittweisen Beseitigung der Inkonsistenzen.

³²⁰ Platon, Menon, 84

3. Ideenlehre: Liniengleichnis & Höhlengleichnis. Zentrales Anliegen Platons ist die Darstellung der Wesensschau der Ideen. Sie wird in mehreren Dialogen – insbesondere im *Phaidon*³²¹ – immer wieder unter immer neuen Akzenten behandelt. Nach Platons Philosophie existieren Ideen (eidos) ontologisch selbständig – unabhängig von einem erkennenden Subjekt. Platons Lehre zufolge gibt es demnach zwei Welten: die wirkliche Welt der Ideen und die scheinbare Welt der Dinge. Der Unterschied der Seinsweisen ist sowohl ontologischer als auch epistemologischer Art. (i) Der *ontologische Aspekt*: Die Dinge unterliegen einem beständigen Wandel; die Ideen hingegen sind unveränderbar und unvergänglich. Nach Platon existieren die in jeder Erkenntnis enthaltenen Allgemeinbegriffe als Ideen einer transzendenten Wirklichkeit. Es gibt verschiedene Gruppen von Ideen. (α) Die *ethisch-ästhetischen Ideen*: Hier steht die Ideentrias des Guten, Schönen und Gerechten im Mittelpunkt. (β) Die *logisch-mathematischen Ideen*: Hier geht es um die Ideen der Gleichheit, Ähnlichkeit, Unähnlichkeit, Einheit, Vielheit, Identität, Verschiedenheit, Kreis, Kugel und Quadrat. (ii) Der *epistemologische Aspekt*: Die Dinge sind sichtbar, im Sinne von Sehen als der vornehmsten sinnlichen Wahrnehmung; die Ideen sind das Unsichtbare, nur Denkbare. Die ontologische Zweiteilung korrespondiert mit der Zweiteilung des menschlichen Erkenntnisvermögens. Abgesehen von der sinnlichen Intuition gibt es eine rationale Intuition, die sich dadurch auszeichnet, daß sie die wahre, eigentliche, hinter der Erscheinungswelt stehende Wirklichkeit als solche zu erkennen vermag. Die philosophischen Reflexionen Platons über das Erkenntnisvermögen orientiert sich hier ausschließlich an den Sinneswahrnehmungen und am sprachlich formulierten Wissen. Dies hat weitreichende Konsequenzen für die gesamte Entwicklung der Naturphilosophie: Die Sinne (die Fähigkeit zur Sinneswahrnehmung) und der Verstand (die Fähigkeit zur sprachlichen Formulierung) sind die beiden fundamentalen Erkenntnisvermögen des Menschen. Die Fähigkeit zur Handlung und ihre unverzichtbare Rolle für den Wissenserwerb – insbesondere im Hinblick auf ein operatives Mathematikverständnis (vgl. Kapitel 2.2) – wird gar nicht erst in den Blick genommen.

Platon verknüpft seine Zwei-Welten-Lehre mit zwei Merkmalen, die die gegenseitige Beziehung dieser beiden Welten beschreiben: (α) Die *Lehre von der Urbild-Abbild-Beziehung*: Die Ideen geben das Vorbild oder Urbild (paradeigma) für die Dinge ab. Die Welt der Dinge ist nur ein „verunreinigtes Abbild“ der transzendenten Welt der Ideen, d.h. die sinnlich wahrnehmbaren Dinge weisen Realisierungsmängel auf. (β) Die *Lehre von der Teilhabe-Beziehung*: Die Dinge sind durch eine Beziehung der Teilhabe (methexis) mit den Ideen verbunden. Die eigentliche Wirklichkeit ist permanent, statisch und unwandelbar. Die sinnlich erfahrbare Welt hingegen ist eine Welt des Wandels. Das, woran die Dinge Anteil haben, bezieht sich auf das Unveränderliche und wird durch mathematische Strukturen erfaßbar. Platon verdeutlicht diesen Aspekt in einer kritischen Reflexion im *Parmenides*.

³²¹ Platon, *Phaidon*, 79

Die Ideen stehen gleichsam als Musterbilder in voller Wirklichkeit da, die Einzeldinge aber sind ihnen ähnlich und sind Abbildungen von ihnen und die Teilnahme der Einzeldinge an den Ideen besteht eben in nichts anderem als in dieser Nachbildung.³²²

Die Teilhabe-Beziehung zwischen den Ideen und den Dingen meint die Ordnungsstrukturen und sichert, daß diese durch die Urbild-Abbild-Beziehung erhalten bleiben. Das sichtbare Abbild gestattet es, durch seine Teilhabe-Beziehung diese Ordnungsstrukturen auch im nicht-sichtbaren Urbild erkennen zu können. Umgekehrt bedeutet dies, daß der sinnlich wahrnehmbaren Welt eine unveränderliche mathematische Struktur unterliegt. Das Abbild soll auf das Urbild hinweisen und dieses der rationalen Intuition zugänglich machen.

- (i) Im *Liniengleichnis*³²³ wird der epistemologische Aspekt der Zwei-Welten-Lehre weiter entfaltet und ausdifferenziert durch die Teilung einer Linie in zwei ungleiche Teile: das Denkbare und das Sichtbare. Der größere Abschnitt der Linie stellt die Ideen und die Gegenstände der Arithmetik und der Geometrie dar. Der kleinere Abschnitt der Linie bilden die Dinge und die Bilder von den Dingen (Spiegelbilder, Schattenbilder). Die mathematischen Gegenstände nehmen eine Mittelstellung zwischen den Ideen und den Dingen ein; sie vermitteln in der Urbild-Abbild-Beziehung. Zahlen und Figuren haben einerseits Anteil an der Vielheit der Dinge und andererseits an der Unveränderlichkeit der Ideen. Mit der Seinshierarchie ist eine Erkenntnishierarchie verknüpft. Gesichertes Wissen kann sich nur auf Ideen beziehen; von den wahrnehmbaren Dingen gibt es nur Scheinwissen. Dieses Scheinwissen bleibt, auch wenn es wahr ist, immer unsicher. Die wahrnehmbare Welt ist instabil und zwar sowohl im ontologischen als auch im epistemologischen Sinne. Das Kriterium der Wahrheit ist für gesichertes Wissen zwar notwendig, aber nicht hinreichend. Die Abbilder sind Hilfsmittel, die der Veranschaulichung dienen, um gesichertes Wissen über das Wesen der Ideen zu erlangen.
- (ii) Im *Höhlengleichnis*³²⁴ verdeutlicht Platon den Fortgang der menschlichen Erkenntnis in einem Mythos von Höhlenbewohnern, die die Schatten an der Höhlenwand für die wirkliche Welt halten. Platon sieht den unwissenden Menschen gleichsam in einer unterirdischen Höhle angeschmiedet, so daß nur die Schatten der Dinge wahrnehmbar sind. Um zur Erkenntnis zu gelangen, muß der Mensch aus der Höhle befreit und nach oben geführt werden; dort sieht er zunächst die Dinge und schließlich die Sonne, die gemäß dem Sonnengleichnis das Abbild der Idee des Guten ist. Im folgenden beschreibt Platon den Bildungsweg, auf dem in einer charakteristischen Ordnung

³²² Platon, Parmenides, 132

³²³ Platon, Der Staat, 509 – 513

³²⁴ Platon, Der Staat, 514 – 517

verschiedene Stufen des Wissens erreicht werden können. Die Bildung ist die „Kunst der Umkehrung der Seele“ aus dem Bereich des Werdenden nach dem Bereich des Seienden. Die Kunst, von der hier die Rede ist, ist die Sokratische Hebammenkunst als Instrument der Bildung. Auf jeder Erkenntnisstufe muß das Scheinwissen der vorherigen Stufe entlarvt werden. Als Scheinwissen entpuppt sich dabei das, was zunächst als wahre Wirklichkeit angesehen wird, obwohl es sich nur um das Abbild der Wirklichkeit handelt. Die neue Einsicht erfordert immer auch einen Perspektivenwechsel. Die geänderte Sichtweise verdeutlicht, was dem Scheinwissen und damit der Scheinwirklichkeit zugrunde liegt. Die neue Erkenntnisstufe erweist sich daher gerade nicht als bloßer Erkenntniszuwachs, sondern als Umgestaltung des bisherigen Wissens.

Die der sinnlichen Intuition zugängliche Erkenntnis bedarf der Korrektur, nur die der rationalen Intuition zugängliche Erkenntnis ist gesichertes Wissen. Bedeutend ist dieser Sachverhalt insbesondere deshalb, weil der Mensch, der nur über ein Scheinwissen verfügt, seinen defizitären Erkenntnisstand nicht begreift. Im Höhlengleichnis wird dies darin deutlich, daß erst der Befreite die Schatten tatsächlich als Schatten erkennt, wohingegen der Gefesselte dies gerade nicht kann.

4. Erkenntnisbedingungen. Die Ideen können nur durch eine rationale Intuition erfaßt werden. Im *Gastmahl* wird dieser Gedanke von Platon am Beispiel des Schönen vorgetragen. Auf einer Stufenleiter der Wesensschau wird der Aufstieg vom konkreten Schönen zur Idee des Schönen beschrieben: Ausgehend vom Schönen im konkreten Einzelfall wird das Schauen auf andere Einzelfälle gerichtet und an ihm das Schöne entdeckt. Hierauf wird das Schöne im Allgemeinen erblickt und am Ende des Weges wird das Schöne an sich erkannt. Das Ziel ist demzufolge nicht das Schöne im Allgemeinen, sondern das Erschauen der göttlichen Schönheit – eine Schönheit, die jenseits der sinnlich wahrnehmbaren Dinge liegt.

[...] denn dies ist der richtige Weg, [...] beginnend mit dem sinnlich Schönen hienieden muß man dem Schönen zuliebe Schritt für Schritt immer weiter emporsteigen, als ginge es eine Stufenleiter hinauf, von einem einzelnen Schönen zu zweien und von zweien zu allen schönen Körpern, von den schönen Körpern sodann zu den schönen Lebensberufen und von diesen zu den schönen Wissensgebieten und von diesen Wissensgebieten aus gelangt man schließlich zu jenem Wissensgebiet, das nichts anderes zu seinem Gegenstand hat als eben jenes Schöne selbst, das er nun schließlich in seiner Reinheit erkennt. [...]

Was also, sagte sie, darf man wohl erwarten, wenn einem das Glück beschert würde, das Schöne selbst zu schauen in voller Deutlichkeit, Reinheit und Unvermischtheit [...], wenn er vielmehr das göttliche Schöne selbst in seiner immer sich gleich bleibenden Form schauen könnte?³²⁵

³²⁵ Platon, *Gastmahl*, 211

Die charakteristischen Merkmale der Deutlichkeit, Reinheit und Unvermischtheit, die nur den Ideen zukommen, zeigen, daß die Stufenleiter der Wesensschau nicht nur ein Abstraktionsprozeß beinhaltet, sondern weit mehr bedeutet: Die Wesensschau stellt einen *Idealisierungsprozeß* dar. Der Abstraktionsprozeß verlangt, daß eine Eigenschaft, die sich an einem konkreten Objekt zeigt, zum Gegenstand der Betrachtung gemacht und daß dabei von allen anderen Eigenschaften des Objektes abgesehen wird. Der Idealisierungsprozeß hingegen geht darüber hinaus und reinigt die zu betrachtende Eigenschaft von ihrem sinnlich wahrnehmbaren Gehalt, d.h. die Idealisierung beseitigt die Realisierungsmängel der Eigenschaft und erklärt diese zu einer ontologisch selbständigen Entität. Der Idealisierungsprozeß betrifft sowohl das zu erkennende Objekt **O** als auch das erkennende Subjekt **S**.

Im *Phaidros* wird die Lehre von den Bedingungen der Wesensschau im Mythos vom Götterzug entwickelt. Vor dem irdischen Leben hat die Seele die Ideen im Himmel geschaut. Hier war sie noch frei von allen Faktoren, die die Wesensschau verfälschen könnte. Mit dem Eintritt in das irdische Leben ist eine Beeinträchtigung der Erkenntnisfähigkeit verknüpft. Die Seele wird im Mythos als geflügeltes Wesen dargestellt. Die mit dem irdischen Leben verbundene Abkehr vom Guten, Schönen und Gerechten beschwert das Gefieder der Seele. Sie verlangt danach, die Schwere zu überwinden und sich hinauszuschwingen an den Ort, wo die Götter wohnen um die Ideen erneut zu schauen. Dort führt Zeus den Zug der Götter und Geister an. Die gefiederte Seele folgt dem Götterzug mit großer Mühe. Sie erreicht den äußersten Rand des Himmels und schaut an diesem transzendenten Ort die Ideen. Im Mythos des, von Zeus geführten Götterzuges erblickt die Seele also die Ideen selbst.

Das farb- und gestaltlose und untastbare Sein, das wirklich ist, läßt sich allein von dem Geist, dem Steuermann der Seele, erschauen; um dasselbe wohnt an diesem Ort das Geschlecht des wahren Wissens. [...] Während der Umdrehung aber betrachtet er die Gerechtigkeit selbst, betrachtet die Mäßigung und das Wissen: nicht jenes, dem ein Entstehen anhaftet, noch das anders ist wenn es ein anderes von den Dingen zum Gegenstand hat, die wir jetzt als seiend bezeichnen; sondern das wirkliche Wissen, dessen Gegenstand das wirkliche Sein ist.³²⁶

Das „Auge der Seele“ ist die Vernunft; sie allein kann die Ideen schauen. Um zur Erkenntnis zu gelangen, muß das erkennende Subjekt bestimmte notwendige Bedingungen erfüllen. Das erkennende Subjekt muß in einem idealen Zustand sein; es befindet sich gewissermaßen außerhalb der wahrnehmbaren Welt und ist somit frei von allen Faktoren – Vorurteile, Sinnestäuschungen, perspektivische Verzerrungen –, die die Erkenntnis beeinflussen können. Schon das Höhlengleichnis läßt erkennen, daß die zunehmende Erkenntnis Perspektivenwechsel einschließt, die mit einer Umgestaltung des Wissens verbunden sind. Hier wird nun weiter präzisiert, daß die vollkommene Erkenntnis mit der Befreiung von allen

³²⁶ Platon, *Phaidros*, 246f

irdisch gebundenen Perspektiven einhergeht. Dieser idealisierte Erkenntniszustand kommt einer *Außen-Perspektive* gleich. Geometrie und Arithmetik sind aber gerade deshalb so erfolgreiche Instrumente der Naturphilosophie, weil sie gewissermaßen die Einnahme einer Außen-Perspektive ermöglichen (vgl. Kapitel 2.3).

5. Platons Wissenschaftsverständnis. Die Zwei-Welten-Lehre leitet Platons Erkenntnisinteresse und bestimmt insbesondere sein Wissenschaftsverständnis. Für Platon beinhaltet ein richtiges Verständnis von Wissenschaft immer nur eine theoretische, keinesfalls eine empirische Wissenschaft. In seinem Dialog *Der Staat* stellt Platon (α) die Frage nach dem allgemeinen Kriterium für die Aufnahme einer Disziplin in den Kanon der Lehrfächer und (β) die Frage nach den speziellen Disziplinen, die als Lehrfächer in seiner Akademie vorgeschrieben werden sollen. Die Erörterung dieser beiden Fragen geht einher mit einer harschen Kritik am Wissenschaftsverständnis der Pythagoreer. In einem bemerkenswerten Aspekt weicht die pythagoreische Auffassung von Platons Standpunkt ab: Die Pythagoreer beziehen empirische Untersuchungen ausdrücklich mit ein und Platon lehnt dies strikt ab. Für Platon ist eine Wissenschaft nur dann nützlich, wenn sie die Hinwendung zu den Ideen befördert. Die Bedeutung aller Wissenschaften liegt in ihrem Nutzen, auf der Stufenleiter der Erkenntnis, dem Ziel der Wesensschau näherzukommen. Die von Platon als nützlich anerkannten Disziplinen sind – mit einer wichtigen Einschränkung, die in der Kritik an den Pythagoreern formuliert wird – die pythagoreischen Wissenschaften: Arithmetik, Geometrie, Astronomie und Harmonik. Bezeichnenderweise fehlt die Physik im Kanon der Lehrfächer.

Die erste Disziplin, die untersucht wird, ist die *Arithmetik*. Sie erweist sich als die vornehmste Wissenschaft, die in vorzüglicher Weise geeignet ist, den Zugang zu den Ideen zu ermöglichen. Die weiteren Disziplinen, die Platon in den Kanon der Lehrfächer aufgenommen sehen will, ist die *Geometrie* als Lehre von den zwei-dimensionalen Figuren und die *Stereometrie* als Lehre von den drei-dimensionalen Figuren. Platon kritisiert die Beweistheorie der Mathematiker und betrachtet die Ergebnisse dieser Wissenschaften nur als vorläufiges Ziel der Erkenntnis. Der Grund sieht er darin, daß Arithmetik und Geometrie in ihren Beweisen immer mit speziellen Axiomen beginnen, deren Wahrheit intuitiv einsichtig erscheint, aber nicht weiter hinterfragt wird. Der eigentliche Schlußstein zur gesicherten Erkenntnis kann nur die Philosophie liefern: einerseits erkennt sie die Axiome als bloß gesetzte Voraussetzungen und andererseits dringt sie selbst bis zum Voraussetzungslosen vor.

[...] du weißt, wie es diejenigen machen, die es mit Geometrie und Arithmetik und den verwandten Wissenschaften zu tun haben: sie setzen das Ungerade und Gerade und die Figuren und die dreierlei Arten der Winkel und was damit verwandt ist, bei ihrem jeweiligen Beweisverfahren voraus und machen, als wären sie vollständig darüber im klaren, es einfach zur Grundlage ihrer Beweise, ohne sich irgend verpflichtet zu fühlen sich selbst oder anderen noch Rechenschaft darüber zu geben, da es für jeden von selbst einleuchtend sei; vielmehr schreiten sie von diesem Ausgangspunkt alsbald zu der weiteren Ausführung fort und erreichen schließlich

folgerecht denjenigen Punkt, auf dessen Klarstellung sie es abgesehen hatten. [...] [...] unter dem zweiten Abschnitt des Denkbaren meine ich das, was der denkende Verstand unmittelbar selbst erfaßt [...], indem er die Voraussetzungen nicht als unbedingt Erstes und Oberstes ansieht, sondern in Wahrheit als bloße Voraussetzungen, d.h. Unterlagen, gleichsam Stufen und Aufgangsstützpunkte, damit er bis zum Voraussetzungslosen vordringend an den wirklichen Anfang des Ganzen gelange, [...].³²⁷

Schließlich will Platon auch die *Astronomie* und die *Harmonik* in den Kanon der Lehrfächer aufnehmen. Arithmetik, Geometrie und Stereometrie handeln von idealen Gegenständen; Astronomie und Harmonik hingegen handeln von sichtbaren Himmelskörpern und hörbaren Tönen. Platon polemisiert gegen die Art, wie diese Wissenschaften von den Pythagoreern betrieben werden, nämlich als empirische Untersuchungen sinnlich erfahrbare Gegenstände und er fordert ein Wissenschaftsverständnis, das sich an den idealen Verhältnissen der Arithmetik, Geometrie und Stereometrie orientiert. Am Beispiel der Astronomie wird dies deutlich: es geht nicht um eine beobachtende, sondern um eine theoretische Astronomie.

So: man wird zwar die Gestirne, diese Zierden des Himmels, für das Schönste und Regelreichteste halten unter allem Sichtbaren, aber da sie nun einmal im Sichtbaren gebildet sind, so wird man zugeben, daß sie weit hinter dem Wahrhaften zurückbleiben, nämlich hinter den Bewegungen, in welchen sich die wahre Schnelligkeit und die wahre Langsamkeit nach der wahren Zahl und nach durchgängig wahren Figuren gegeneinander bewegen und was zu ihnen gehört, mit sich führen. Dies ist denn nur durch den Verstand und durch Denken zu erfassen, nicht durch das Gesicht.³²⁸

Eine Naturforschung im Sinne einer empirischen Wissenschaft ist in Platons Philosophie gerade nicht vorgesehen.

6. Weltschöpfung & Symmetrieprinzipien. Im *Timaios* stellt Platon die Erschaffung des Kosmos dar. Hier verbindet er (α) die Lehre von den Elementen des Empedokles von Akragas, (β) die Lehre der Stereometrie des Theaitetos von Athen und (γ) die Proportionenlehre von Eudoxos von Knidos mit (δ) seiner eigenen Ideenlehre zu einem brillianten Schöpfungsmythos. Platon trägt seine Ausführungen über die Entstehung des Kosmos in der Sprache des Mythos vor; er will damit keinen absoluten Wahrheitsanspruch geltend machen, da es sich um Aussagen über die Welt der Dinge handelt.

Bestimmend für die platonischen Betrachtungen über die Entstehung des Kosmos sind zwei *metaphysische Prinzipien*, deren Gültigkeit für Platon unbezweifelbar feststeht und auf dem Hintergrund seiner Ideenlehre *intuitiv* einsichtig ist: (α) das Prinzip des zureichenden Grundes und (β) das Prinzip der besten aller möglichen Welten. Die kausale Ursache für die Existenz

³²⁷ Platon, Der Staat, 510

³²⁸ Platon, Der Staat, 529

des sichtbaren Kosmos ist der Demiurg – der Schöpfer, Künstler und Werkmeister. Er erschafft den Kosmos als Abbild eines im Reich der Ideen existierenden Urbildes. Das werdende hat einen Anfang und eine Ursache; nur das Seiende ist ewig und ohne Ursache. Der Demiurg, der nur als vollkommener Schöpfer gedacht werden kann – ein anderer Gedanke käme nach Platon einer Gotteslästerung gleich –, erschafft einen Kosmos, der so vollkommen wie möglich ist. Die Vollkommenheit des Schöpfers überträgt sich aber nicht vollständig auf die Schöpfung; das Abbild bleibt etwas hinter dem Urbild zurück.

Alles werdende aber hat notwendig irgendeine Ursache zur Voraussetzung, denn ohne Ursache kann unmöglich etwas entstehen. Jedes Ding nun, dessen Form und Wirkungsart der Bildner (Demiurg) herstellt im beständigen Hinblick auf das sich immerdar gleichbleibende, das ihm dabei zum Muster dient, muß auf diese Weise unbedingt in jeder Hinsicht auf das Beste gelingen; [...].

Wenn nun dies Weltall schön und wohlgeraten, und der es bildete ein guter Werkmeister ist, so ist es offenbar, daß er nach dem ewigen blickte; im anderen Falle aber, den auch nur in den Mund zu nehmen eine Lästerung sein würde, nach dem gewordenen. Nun ist es doch für jedermann klar, daß er nach dem ewigen blickte; denn die Welt ist das schönste von allem gewordenen, und was die Ursache anlangt, so hält nichts den Vergleich mit dem Meister (als Urheber) aus.³²⁹

Der sichtbare Kosmos ist beseelt, vernünftig und göttlich. Das Beseelte beinhaltet das Vermögen der Selbstbewegung; das Vernünftige bedeutet ein Prinzip der Ordnung nach harmonischen Zahlenverhältnissen und das Göttliche manifestiert sich in den Attributen der Vollkommenheit. Das Hauptmerkmal des geschaffenen Kosmos ist also seine höchst mögliche Ähnlichkeit zum Schönsten und Vollkommensten. Was aber soll *Vollkommenheit* bedeuten? Nach Platon meint die Vollkommenheit des Kosmos seine Kugelgestalt und seine gleichförmige Drehbewegung. Dies zeigt, daß Platon – wie die Pythagoreer – für geometrische Figuren und Bewegungsformen eine *axiologische Struktur* annimmt.

Daher bildete er sie durch Drehung kugelförmig, mit allseitig gleichem Abstand von der Mitte aus nach der abschließenden Oberfläche, gerundet, gab ihr also diejenige Figur, die von allen die vollkommenste und am meisten sich selbst gleich ist, überzeugt, daß das Gleiche tausendmal schöner sei als das Ungleiche. [...]

So gab er ihr denn eine völlig gleichförmige Bewegung [...] und um ihre eigene Achse und ließ sie so im Kreise sich umschwingen; [...].³³⁰

Der Schöpfungsakt ist nicht im Sinne einer Schöpfung aus dem Nichts zu verstehen. Außer den ewigen Ideen gibt es bereits die Urelemente, die sich in chaotischer Bewegung befinden. Der Schöpfungsakt ist dann der Übergang von der Unordnung zur Ordnung – vom Chaos zum Kosmos – und damit verknüpft ist die Schaffung der Zeit. Die *Zeit* ist das Abbild der Ewigkeit, erkennbar durch die kosmische Ordnung der Zahlenverhältnisse. Der Demiurg

³²⁹ Platon, Timaios, 28f

³³⁰ Platon, Timaios, 33

findet das ewig Seiende bereits vor; er nimmt dieses Seiende als Urbild und erschafft das Werden. Dieses Werden wird vom *Raum* aufgenommen und wird durch die Bewegung zum Abbild in der Zeit. Der Raum ist ewig, unveränderlich, unsichtbar und gestaltlos; er ist eine ontologische Bedingung dafür, daß das Werden überhaupt in Erscheinung treten kann.

Der Demiurg gestaltet die Welt der Dinge, indem er vier regelmäßigen Polyeder der Lehre des Theaitetos als Vorbilder nimmt und die vier Elemente der Lehre des Empedokles als ihre Abbilder erschafft. Den Zusammenhang zwischen den Polyedern und den Elementen versucht Platon über den Begriff des Körpers herzustellen. Ein Körper weist drei wesentliche Merkmale auf: er ist (α) sichtbar, (β) tastbar und (γ) drei-dimensional. Die ersten beiden Merkmale korrespondieren mit Feuer und Erde. Die beiden weiteren Elemente Luft und Wasser gelten als Brückenelemente – sie stellen die Verbindung her zwischen Feuer und Erde. Die Anzahl der Raumdimensionen fixiert die Gesamtzahl der Elemente gemäß der Proportionalitätslehre des Eudoxos. Zwischen zwei kubischen Zahlen lassen sich zwei Proportionale einschieben. Damit wird die Anzahl der Elemente mathematisch begründet.

Tetraeder	Oktaeder	Ikosaeder	Hexaeder
a^3	a^2b	ab^2	b^3
Feuer	Luft	Wasser	Erde

Die regelmäßigen Polyeder sind aus zwei Sorten von Dreiecken aufgebaut: ein rechtwinklig, gleichschenkliges Dreieck mit den Winkeln (**45°, 45°, 90°**) und ein rechtwinklig, nicht-gleichschenkliges Dreieck mit den Winkeln (**30°, 60°, 90°**). Die Auswahl dieser beiden Dreiecke aus der unendlichen Anzahl möglicher Dreiecke wird durch die Intuition nach den Kriterien der Schönheit und Vollkommenheit geleistet.

Von den beiden genannten Dreiecken lassen die gleichschenkligen nur eine Art zu, die ungleichseitigen dagegen unzählige. Wir müssen also aus diesen unzähligen wieder die schönsten auslesen, wenn wir die Sache richtig erfassen wollen. Kann nun irgend jemand sich rühmen für die Zusammensetzung jener Körper eine schönere Art von Dreiecken ausgewählt zu haben, so sei er als Sieger nicht unser Feind, sondern unser Freund.³³¹

Platon hat in diesem hochspekulativen Mythos von der Welterschöpfung in eindrucksvoller Weise ein Weltbild entfaltet, das seinem Wissenschaftsverständnis perfekt entspricht. Sein Blick ist unbeirrt auf die vollkommene Welt des Seienden gerichtet; ob und inwiefern er dabei

³³¹ Platon, Timaios, 53

der Welt der Dinge gerecht wird, interessiert ihn eher weniger. Platon befragt nicht die Natur, sondern er schreibt ihr vor, daß sie den Kriterien der Schönheit und Vollkommenheit zu genügen hat.

7. Vergleich mit einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie. Platon thematisiert in seiner Wiedererinnerungslehre das Problem des Wissenserwerbs und gibt verblüffende Auskünfte. Der zureichende Grund für das Wissen ist die Erfahrung während einer mythischen Präexistenz. Für Platon erscheint der Schluß zwingend. Die empirischen Neurowissenschaften geben freilich eine ganz andere Antwort: Sie verweisen auf die Selbstorganisation des Lernprozesses als Folge der Auseinandersetzung mit den konkreten Phänomenen. Die Evolutionstheorie begründet, daß jedes kognitive System mit diesen Fähigkeiten zum selbstorganisierten Lernen ausgestattet ist, damit es überlebensadäquat handeln kann. Platon hat damit also nicht Recht, wenn er die Wiedererinnerung als die *einzig*e Möglichkeit des Wissenserwerbs deutet. Aus Mangel an alternativen Erklärungen argumentiert er für seine Wiedererinnerungslehre und glaubt sie durch die rationale Intuition ausreichend begründet. (ii) Ein sehr wichtiger Gedanke Platons bezieht sich auf die Möglichkeit, die Intuition zu belehren. Der strukturelle Ablauf der *Belehrung der Intuition* wird von den empirischen Neurowissenschaften ausdrücklich gestützt und dadurch bestätigt, daß sie die neuronalen Mechanismen aufklären. Die platonische Deutung der Belehrung als Aktualisierung in der Präexistenz „geschauter Einsichten“ ist dann zu ersetzen durch eine Interpretation, die auf den selbstorganisierenden Lernprozeß des Gehirns verweist. (iii) Platon beschreibt sehr zutreffend den Erkenntnisprozeß als ein sukzessiver Vorgang, der durch das Bewußtwerden von *Inkonsistenzen* ausgelöst wird und gerade nicht schlagartig erfolgt. In der Begriffsstruktur der Genetischen Erkenntnistheorie von Piaget handelt es sich um das Zusammenspiel von Assimilation und Akkomodation, das einem Gleichgewichtszustand zustrebt. (iv) Im Hinblick auf die empirischen Neurowissenschaften und die Gestaltpsychologie sind die logisch-mathematischen Ideen Platons sehr bemerkenswert. Einerseits handelt es sich um die Ideen der Ähnlichkeit und Unähnlichkeit, d.h. die grundlegende Eigenschaft des Gehirns, Informationen nach dem Kriterium der *Ähnlichkeit* distribuiert zu kodieren um auf dieser Basis induktive Schlüsse ziehen zu können. Andererseits geht es um die Ideen der *Einheit* und Vielheit, d.h. die grundlegende Eigenschaft des Gehirns, verschiedene Merkmale zu Objekten zu binden. Schließlich zielen die Ideen von Kreis, Kugel und Quadrat auf die Vorliebe des Gehirns, aus dem Input „gute Gestalten“ zu extrahieren.

Der platonische Schöpfungsmythos hat zu allen Zeiten den naturphilosophisch interessierten Menschen fasziniert und inspiriert. Bemerkenswert sind vier Aspekte: (i) Richtungweisend für die neuzeitliche Naturphilosophie ist der Gedanke einer konsequenten Mathematisierung der Natur, die wesentlich durch *Symmetrieüberlegungen* konkretisiert wird. Kreise, Kugeln, reguläre Polygone und reguläre Polyeder sind charakterisiert durch hohe Symmetrien. (ii) Die

damit unterstellten idealen Verhältnisse in der Natur – ausgedrückt durch idealisierte Gegenstände und idealisierte Naturgesetze – engen den Blick auf die Naturphänomene gravierend ein. Insbesondere die Chaostheorie zeigt unmißverständlich, daß eine den platonischen Vollkommenheitsidealen verpflichtete Natursicht zumindest einseitig ist. Der Mythos vom Demiurgen, dessen Schöpfungswerk gerade darin besteht, das Chaos vollständig in Ordnung zu überführen ist prinzipiell inadäquat. Hier wird ein großer Teil der Natur rigoros ausgeschlossen. (iii) Die Annahme spezieller Symmetrien wird nicht empirisch sondern metaphysisch begründet; Platon beruft sich auf die *Vollkommenheit* des Demiurgen. Die Gestaltpsychologie erklärt die Vorliebe des Menschen für „gute Gestalten“ informationstheoretisch mit ihrem günstigen Verhältnis von Informationsgehalt und kognitiver Leistung. Symmetrische Figuren lassen sich schneller vergleichen, besser behalten und klarer beschreiben. (iv) Mit der Entwicklung der Naturphilosophie vollzieht sich eine doppelte Verschiebung der Vollkommenheitsideale: (α) Die metaphysische Vollkommenheit wird zunächst durch die Annahme sinnlich wahrnehmbarer Symmetrien in geometrischen Figuren zum Ausdruck gebracht und später durch abstrakte Erhaltungssätze formuliert. (β) Die Begründung wird zunächst durch metaphysische Überlegungen gegeben und später im mathematischen Formalismus gesucht. Diese *doppelte Verschiebung* ist nur möglich auf der Grundlage einer operativ verstandenen Mathematik (vgl. Kapitel 2.2).

Die aristotelische Induktions- und Abstraktionslehre

Aristoteles (384 – 322 v. Chr.) greift alle Probleme der zeitgenössischen Naturphilosophie konstruktiv auf und füllt sie mit eigenen Gedankeninhalten. Er verbindet alltägliche Beobachtungen und Erfahrungen, Begriffsschärfe, Methodenreflexionen und spekulatives Denken miteinander. Er beleuchtet die Fragen von verschiedenen Blickwinkeln her, sichtet die Ansichten seiner Vorgänger, analysiert und kritisiert sie schonungslos, klärt sorgfältig die zentralen Begriffe und entwickelt dabei eine umfangreiche Begriffslehre mit logisch-semanticischer Bedeutung. Wichtige Grundbegriffe der Philosophie und der Naturwissenschaften gehen auf ihn zurück: die Unterscheidung von Theorie, Praxis und Technik, Substanz und Akzidens, Materie und Form, sowie Wirklichkeit und Möglichkeit. Aristoteles entwickelt die erste *Fachsprache* für die Naturphilosophie. Das aristotelische Erkenntnisideal kann auf die pointierte Formel gebracht werden: Wissen heißt, den Grund kennen, warum etwas so ist und warum es gar nicht anders sein kann. Damit wird der Ursachenbegriff zum zentralen Thema der Naturphilosophie. Aristoteles ist Empiriker, insofern er eine genaue Naturbeobachtung durchführt und er ist Theoretiker, insofern er die Vielfalt der Naturphänomene in einen systematischen Zusammenhang bringen will. Sein spezifisches Verständnis von Natur, Technik und Mathematik hindern ihn jedoch daran, eine experimentelle Naturforschung und eine mathematische Naturbeschreibung zu verfolgen. Die Naturphilosophie des Aristoteles ist daher weder Experimentalphysik noch theoretische Physik im modernen Sinne.

Die aristotelische Naturphilosophie ist in einem besonderen Maße der *sinnlichen Intuition* verpflichtet. Charakteristisch sind insbesondere folgende Merkmale: (α) Die deduktive Logik ist das grundlegende Instrument der Naturerkenntnis. Sie ist axiomatisch aufgebaut und ihre Axiome sind in der Intuition begründet. Der deduktiven Logik muß aber eine *induktive Logik* vorausgehen, die es erst ermöglicht, die Prämissen zu erschließen. (β) Den Erfahrungstatsachen kommt eine notwendige, wenn auch nicht hinreichende Funktion für den Wissenserwerb zu. Für die Theorienkonstruktion genügen wenige, besonders aussagekräftige Erfahrungstatsachen. Aus konkreten Einzelfällen wird induktiv auf den allgemeinen Fall geschlossen und das Allgemeine durch *Abstraktion* aus dem einzelnen erschlossen. Nur die Verflechtung empirischer und rationaler Elemente ermöglicht Erkenntnis. (γ) Die Systematisierung der Naturphänomene setzt eine umfangreiche und sorgfältige Begriffsklärung voraus. Aristoteles entwirft das erste Begriffslexikon und stellt eine *Fachsprache* für die Naturphilosophie zur Verfügung, die jedoch sehr anschauungsnah bleibt. (δ) Aristoteles unterscheidet drei wesensverschiedene Bereiche: Astronomie, Physik und Technik. Die *Mathematik* findet in der Astronomie ein wichtiges Anwendungsgebiet; für die Physik gilt sie als prinzipiell nicht zuständig. Der Grund liegt in einem komplexen Veränderungsbegriff, der einer mathematischen Beschreibung nur partiell zugänglich ist. (ϵ) Ziel der Naturphilosophie ist es, durch eine umfassende Strukturanalyse jedes Naturphänomen in einen Gesamtzusammenhang einzufügen. Die Formulierung der Bewegungsgesetze orientiert sich dabei am unmittelbaren *Augenschein* der Alltagserfahrung.

1. Begründung der Logik in der sinnlichen Intuition. Für Aristoteles bestimmt die Logik nicht nur die Gesetze des Denkens, sondern sie macht zugleich auch Aussagen über die Wirklichkeit. Die *Logik* ist demnach das erkenntnistheoretische Mittel, die Wirklichkeit zu erfassen; d.h. sie ist das adäquate Instrument um Erfahrungen zu systematisieren. Aristoteles kennt eine Vielzahl epistemischer Möglichkeiten: Er versteht die Logik (α) als Technik, die es ermöglicht, die allgemeine Gültigkeit von Schlüssen festzustellen, unter Absehung ihres konkreten Inhalts (deduktive Logik); des weiteren (β) als eine Möglichkeit, die notwendigen Prämissen für einen erklärungsbedürftigen Sachverhalt zu finden (induktive Logik) und schließlich (γ) als ein Wechselspiel von Begründung und Widerlegung (dialektische Logik).

Aristoteles formuliert die grundlegenden Axiome der deduktiven Logik. Diese Axiome sind intuitiv einsichtige Aussagen, d.h. sie sind jedem sinnvollen Zweifel entzogen und damit im strengen Sinne glaubwürdig. Das *Prinzip vom ausgeschlossenen Widerspruch* besagt, daß es unmöglich ist, einer Sache gleichzeitig und in derselben Beziehung eine Aussage zu- und abzusprechen. Obwohl das Axiom unmittelbar evident erscheint, bemüht sich Aristoteles auch hier, dies durch einen widerlegenden Beweis zu begründen. Er argumentiert, daß ein möglicher Opponent schon bei jeder minimalen sprachlichen Leistung das Prinzip akzeptiert. Das Prinzip vom ausgeschlossenen Widerspruch ist somit eine notwendige Bedingung der Möglichkeit von sprachlicher Kommunikation.

Weitaus problematischer erscheint die intuitive Begründung des *Prinzips des ausgeschlossenen Dritten*. Das Prinzip ist die Grundlage für das in der Mathematik wichtige Schlußverfahren des indirekten Beweises (*reductio ad absurdum*). Seine Begründung wurzelt in der Mathematik: eine Zahl ist entweder gerade oder ungerade, ein Drittes ist ausgeschlossen. Aristoteles wendet dieses Prinzip immer nur auf kontradiktorische Aussagenpaare an und hier ist das Prinzip intuitiv einsichtig. Für alle endlichen Mengen trifft dies auch zu, aber die Schwierigkeiten beginnen, wenn Aussagen über unendliche Mengen gemacht werden sollen.³³²

Aristoteles verwendet in der deduktiven Logik Begriffsvariablen **A, B, C,...** um deutlich zu machen, daß es allein auf die formale Struktur ankommt. Dieser Schritt hin zur Formalisierung abstrahiert vom konkreten Inhalt der Aussagen. Umgekehrt ist sie ein Schritt weg von der Anschaulichkeit konkreter Sachverhalte. Die formalen Strukturen können dann durch Beispiele veranschaulicht werden. Bemerkenswert ist, daß eine entsprechende Übertragung der Formalisierung auf das Gebiet der Arithmetik fehlt. Für diesen Gedanken wäre ein operatives Mathematikverständnis nötig gewesen (Kapitel 2.2).

2. Stufenleiter des Wissens & Seinsordnung. Im ersten Buch seiner *Metaphysik*³³³ beginnt Aristoteles mit den berühmten Worten über das Erkenntnisverlangen des Menschen. Im folgenden entwirft er eine *Stufenleiter des Wissens*. Ausgangspunkt ist die Wahrnehmung, die das Einzelne erkennt. Auf der ersten Stufe steht die Erinnerung, die die Wahrnehmung festhält. Auf der zweiten Stufe steht die Erfahrung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen. Diese beiden Stufen bilden das natürliche Wissen, das nicht nur den Menschen, sondern – mit Einschränkung – auch den Tieren, zugänglich ist. Auf der dritten Stufe steht das Wissen um Begriffe und Prinzipien. Das, durch Erfahrung erworbene Wissen ist dann nicht bloß zufällig, sondern notwendig. Die Wissenschaft ist gerade dadurch charakterisiert, daß sie nicht nur um eine Sache weiß, sondern auch um die ihr zugrundeliegenden Gründe. Die dritte Stufe ist demnach das wissenschaftliche Wissen. Insbesondere ist das Wissen also keine bloße Faktensammlung, sondern eine auf allgemeine und notwendige Prinzipien gestützte Erkenntnis. Die Vollendung des Wissens ist aber erst mit einer weiteren Stufe erreicht: das Wissen um die ersten Begriffe und Prinzipien. Diese Stufe ist das philosophische Wissen. Von besonderer Wichtigkeit ist der Sachverhalt, daß Aristoteles hier ein Modell der

³³² Im Streit um die Grundlagenkrise der modernen Mathematik spielt dieses Axiom eine zentrale Rolle: Der Intuitionismus (Brouwer, Heyting) lehnt das Prinzip ab und argumentiert zugunsten einer drei-wertigen Logik mit der unerfreulichen Konsequenz, daß der Mathematik das wichtige Instrumentarium des indirekten Beweises nicht mehr uneingeschränkt zur Verfügung steht. Brouwer schreibt: „Meiner Überzeugung nach sind das Lösbarkeitsaxiom und der Satz vom ausgeschlossenen Dritten beide falsch, und ist der Glaube an sie historisch dadurch verursacht worden, daß man zunächst aus der Mathematik der Teilmengen einer bestimmten *endlichen* Menge die klassische Logik abstrahiert, sodann diese Logik eine von der Mathematik unabhängige Existenz a priori zugeschrieben und sie schließlich auf Grund dieser vermeintlichen Apriorizität unberechtigterweise auf die Mathematik der *unendlichen* Mengen angewandt hat.“ (Brouwer in Becker 1975, S. 330)

³³³ Aristoteles, *Metaphysik* I

epistemischen Steigerung des Wissens vertritt: Das Wissen vom Einzelnen wird durch die höheren Stufen nicht verändert. Die neuen epistemischen Leistungen führen nur zur strukturelle Anreicherung des Wissens, nicht zur Aufhebung auf einer unteren Stufe. Damit wird – im Unterschied zu Platon – eine Geringschätzung des empirischen Wissens von vornherein ausgeschlossen. Die unteren Stufen, die der sinnlichen Intuition näher stehen, bedürfen demnach keiner Kontrollinstanzen.

In umgekehrter Reihenfolge gelesen entsteht aus der Stufenleiter des Wissens die *Seinsordnung* im Sinne einer Ursache-Wirkungs-Beziehung. Die Seinsordnung hat einen Anfang: es gibt eine erste Ursache und diese ist – so glaubt Aristoteles – der philosophischen Erkenntnis zugänglich. „Das, der Natur nach Erste“ meint den unbewegten Bewegter – die Ursache alles Seins als kosmisches Prinzip. „Das, für den Menschen Erste“ meint die dem Menschen zuerst zugänglichen Sinneswahrnehmungen. Die wichtigste Methode des Wissenserwerbs ist ein Zusammenspiel der induktiven Methode (sie bestimmt die Heuristik) und der deduktiven Methode (sie bestimmt die Systematik). Die Wissenschaft in ihrem *Entstehungszusammenhang* muß induktiv vorgehen; die Wissenschaft in ihrem *Rechtfertigungszusammenhang* hingegen ist deduktiv angelegt. Für Aristoteles sind die deduktive und die induktive Logik zwei Seiten einer Medaille. Die Wissenschaft benötigt sie beide um erfolgreich zu sein. Es ist der große Vorzug der aristotelischen Erkenntnislehre, daß sie die Entstehung des Wissens genauso fest im Blick hat, wie die Rechtfertigung des Wissens. Die neuzeitliche Kritik an Aristoteles (Bacon, Descartes) übersieht diesen Doppelaspekt und die empiristisch orientierte Wissenschaftstheorie des 20. Jahrhunderts glaubt, den Entstehungszusammenhang völlig aus dem Katalog relevanter epistemologischer Fragen ausklammern zu können.

3. Begründung der Axiome in der sinnlichen Intuition. Jede Wissenschaft – so meint Aristoteles – muß von Prinzipien (Axiome, Thesen) ausgehen und ihr Wissen durch die deduktive Methode aufbauen. In einem ersten Schritt stellt sich die Frage nach den charakteristischen Merkmalen der Prinzipien.

Wir glauben aber etwas zu *wissen*, schlechthin, [...] wenn wir sowohl die Ursache, durch die es ist, als solche zu erkennen glauben, wie auch die Einsicht uns zuschreiben, daß es sich unmöglich anders verhalten kann. [...]

Wahr muß der wissenschaftliche Schluß nun sein, [...]. *Aus ersten und ohne Beweis einleuchtenden Sätzen* aber muß er erfolgen, [...].

Von den unvermittelten Prinzipien eines Schlusses nenne ich *Thesen* diejenigen, die man nicht beweisen kann und nicht jeder schon inne zu haben braucht, der irgend etwas lernen will, dagegen nenne ich die Prinzipien, die jeder, der lernen will, innen haben muß, *Axiome*.³³⁴

Es ist aber ein Prinzip [...], wenn es durch sich selbst notwendig wahr ist und notwendig als wahr erscheint. Denn einen Beweis für ein solches Prinzip gibt es

³³⁴ Aristoteles, Organon IV, I 2, 71f

nicht im Sinne eines äußeren Grundes, sondern nur im Sinne eines Grundes in der Seele, [...].³³⁵

Wahre und erste Sätze sind solche, die nicht erst durch anderes, sondern durch sich selbst glaubhaft sind. Denn bei den obersten Grundsätzen der Wissenschaften darf man nicht erst nach dem Warum fragen, sondern jeder dieser Sätze muß durch sich selbst glaubhaft sein.³³⁶

Damit das deduktiv erschlossene Wissen sicher ist, müssen die Prinzipien, die als Prämissen am Anfang einer jeden Theorie stehen, gesichert sein. Diese Prinzipien sind grundsätzlich nicht beweisbar, aber in einem unterschiedlichen Maße intuitiv einsichtig. Aristoteles verlangt, daß die Axiome einer Wissenschaft evident, wahr und durch sich selbst glaubhaft sind, d.h. ihre Wahrheit muß durch die *rationale Intuition* (nous) gesichert sein, die sich vorwiegend am Augenschein orientiert und damit in der sinnlichen Intuition wurzelt. Demzufolge sind dann die Axiome – im Unterschied zu Thesen – jedem sinnvollen Zweifel enthoben; sie können als glaubwürdig gelten. Dafür gibt es keine äußeren Gründe, die immer anfechtbar wären, sondern nur innere Gründe „in der Seele“. Eine Täuschung hinsichtlich ihres Wahrheitsanspruchs ist grundsätzlich nicht möglich. Zu den Axiomen gehören logische, sowie axiologische und teleologische Prinzipien. Der sinnlichen Intuition kommt demzufolge eine wichtige Rolle für das Fundament jeder Wissenschaft zu. Mit dem Verweis auf diese Intuition argumentiert Aristoteles gegen konkurrierende Thesen: (α) die Lehre Platons von der Sokratischen Methode und der Wiedererinnerung des Wissens, (β) die Skepsis des Antisthenes gegen die Möglichkeit von Wissen überhaupt und (γ) die Ansicht des Xenokrates zur Zirkelhaftigkeit aller Beweise. Im Wissen um die Begründungsproblematik – die später den Namen „Münchhausen-Trilemma“ erhält – setzt Aristoteles seine Lehre von der *induktiven Methode* und der *sinnlichen Intuition* im Sinne einer eigenständigen Erkenntnisart entgegen. Die induktive Methode ist dann der Wegbereiter, der die intuitive Einsicht befördert.

In einem zweiten Schritt schließt sich die Frage an, wie die Prinzipien aufzufinden sind. Ausgehend von der Wahrnehmung über die Erinnerung und Erfahrung müssen die Prinzipien durch Induktion erschlossen werden. Der Erkenntniserwerb beginnt mit dem sinnlich Gegebenen. Dieses Wissen ist unmittelbar und anschaulich. Im Wahrnehmungsprozeß wird aber nur das Einzelne erfaßt; das Allgemeine hingegen erschließt sich erst durch Wiederholung der Wahrnehmung, durch gedankliche Strukturierung des Wahrgenommenen und durch begriffliche Formulierung. Zwischen den wahrgenommenen Dingen lassen sich Ähnlichkeiten und Unterschiede feststellen und dadurch wird es möglich, sie in Arten und Gattungen einzuteilen. Hierzu bedarf es der Fähigkeit zur Induktion (epagoge) und zur Abstraktion (aphairesis). Im Gegensatz zu Platon geht es also nur um einen

³³⁵ Aristoteles, Organon IV, I 10, 76

³³⁶ Aristoteles, Organon V, I 1, 100

Abstraktionsprozeß und gerade nicht um einen Idealisierungsprozeß: Die Abstraktion im aristotelischen Sinne verlangt, daß eine Eigenschaft, die sich an einem konkreten Objekt zeigt, zum Gegenstand der Betrachtung gemacht werden und daß dabei von allen anderen Eigenschaften des Objektes abgesehen wird. Die Idealisierung im platonischen Sinne hingegen beseitigt darüber hinaus auch die Realisierungsmängel der Eigenschaft und erklärt diese zu einer ontologisch selbständigen Entität.

Die Induktion aber ist der Aufstieg vom Besonderen zum Allgemeinen, z.B.: wenn der beste Steuermann ist, wer seine Sache versteht, und Gleiches von dem Wagenlenker gilt, so ist auch der Beste überhaupt, wer seine jeweilige Sache versteht. Die Induktion ist überzeugender, deutlicher, sinnlich faßbarer [...], der Syllogismus zwingender und für die Widerlegung wirksamer.³³⁷

Die Prinzipien sollen dem Wissensgebäude ein sicheres Fundament verschaffen. Ausgehend von der Wahrnehmung über die Erinnerung bis hin zur Erfahrung müssen die Prinzipien induktiv erschlossen werden. Die Methode zum Auffinden der Prinzipien ist demnach die Induktion; sie meint die Verallgemeinerung aus der Erfahrung. Im Einzelnen wird das Allgemeine unmittelbar – also intuitiv – erkannt, sofern das Einzelne ein aussagekräftiges Beispiel (paradeigma) ist. Die Induktion des Aristoteles zielt darauf, ein reiches Beobachtungsmaterial zusammenzutragen und dieses durch das Erkennen der Strukturen rational durchschaubar zu machen. Die induktive Methode zielt dabei zwar auf eine genaue Beobachtung, aber nicht auf die Durchführung von Experimenten.

4. Die Leitmetaphern der aristotelischen Naturphilosophie. Besonderes Merkmal der aristotelischen Naturphilosophie ist die Einteilung der Phänomene in (α) die astronomischen Phänomene des himmlischen Bereichs, (β) die natürlichen Phänomene des irdischen Bereichs und (γ) die künstlichen Phänomene des irdischen Bereichs. Als Konsequenz sind die Disziplinen entsprechend einzuteilen:

Astronomie — Physik — Technik

Grundlage dieser Einteilung der aristotelischen Naturphilosophie sind verschiedene *Leitmetaphern*, die den einzelnen Bereichen zugeordnet sind und diese strikt trennen. Die großartige Leistung der Newtonschen Physik wird gerade darin bestehen, diese scharfe Trennung der Leitmetaphern endgültig aufzuheben und zusammenzuführen.

- (i) Die *natur-orientierte Leitmetapher*: Aus der Gesamtheit der Merkmale, die der Natur zugeschrieben werden können, wird spekulativ ein spezielles Merkmal herausgegriffen, sprachlich formuliert und dieses dann als, die gesamte Natur charakterisierendes Wesensmerkmal gedeutet. Aristoteles begreift Natur (physis) als

³³⁷ Aristoteles, Organon V, I 12, 105

Etwas, an dem Bewegung (kinesis) im Sinne von Veränderung möglich ist. Er unterscheidet vier verschiedene Bedeutungen der Veränderungen: (α) die substantielle Veränderung (Entstehen – Vergehen), (β) die quantitative Veränderung (kleiner – größer, mehr – weniger), (γ) die qualitative Veränderung (heiß – kalt, trocken – feucht) und (δ) die örtliche Veränderung (Bewegungen nach Maßgabe des natürlichen Ortes). Das Wesen der Veränderung ist der Übergang vom Möglichen (dynamis) zum Wirklichen (energeia). Das Ziel der Veränderung sind die verwirklichten Möglichkeiten (entelecheia). Das eigentliche Charakteristikum der Veränderung ist die Bedingung eines intrinsischen Veränderungsprinzips.

Die Naturphänomene tragen das Prinzip der Veränderung in sich. Hierin unterscheiden sich die natürlichen Dinge von den künstlichen Dingen, denen dieses intrinsische Prinzip fehlt.

Es gibt aber keine Veränderung abgesehen von den Dingen: es wandelt sich ja je das sich Wandelnde entweder seinem Wesen nach oder nach dem „wieviel“ oder dem „wie geartet“ oder nach dem Ort [...].³³⁸

Das Zur-Wirklichkeit-Kommen des Möglichen, insofern es möglich ist, das ist ganz offenkundig: Veränderung.³³⁹

Nach dem Gesagten ist also Natur im ersten und eigentlichen Sinne die Wesenheit der Dinge, welche das Prinzip der Bewegung in sich selbst haben, [...]. Und Natur ist auch das Prinzip der Bewegung der natürlichen Dinge, immanent in den Dingen entweder dem Vermögen oder der wirklichen Tätigkeit nach.³⁴⁰

Es ist sofort einsichtig, (α) daß nicht alle Aspekte dieses aristotelischen Bewegungsbegriffs mathematisch erfaßbar sind (dies leistet nur die Logik) und (β) daß alle Phänomene, denen kein intrinsisches Veränderungsprinzip zugrundeliegt, als widernatürlich aufzufassen sind. Diese beiden Gedanken veranlassen Aristoteles, der Sache nach zwei weitere Leitmetaphern einzuführen, die eine scharfe Abgrenzung von der natur-orientierten Leitmetapher nahelegen.

(ii) Die **produkt-orientierte Leitmetapher**: Die von Menschen geschaffenen Produkte (Artefakte) und künstlich hergestellten Phänomene lassen sich gerade nicht durch ein intrinsisches Veränderungsprinzip charakterisieren. Neben den natürlichen Bewegungen gibt es die erzwungenen Bewegungen und diese bedürfen eines permanenten Bewegungsanstoßes. Folgerichtig unterscheidet Aristoteles einen fallenden Stein von einem geworfenen Stein. Ein fallender Stein strebt seinem natürlichen Ort zu, weil er einem intrinsischen Veränderungsprinzip unterliegt; ein geworfener Stein hingegen wird durch äußere Einflüsse gezwungen, seinen natürlichen Ort zu verlassen.

³³⁸ Aristoteles, Physik III, 1, 200

³³⁹ Aristoteles, Physik III, 1, 201

³⁴⁰ Aristoteles, Metaphysik V, 4, 1015

- (iii) Die *chiffre-orientierte Leitmetapher*: Die Auffassung von der mathematischen Struktur der Natur, die bereits bei Pythagoras in der Metapher „alles ist Zahl“ zum Ausdruck kommt, erscheint Aristoteles nur im Zusammenhang mit der Astronomie adäquat. Von den vier verschiedenen Bedeutungen des Veränderungsbegriffs sind für himmlische Phänomene substantielle, qualitative und quantitative Aspekte gegenstandslos; nur die Frage nach der örtlichen Veränderung ist relevant. Hier wird dann durch ein Abstraktionsverfahren vom Bewegungsvorgang der Himmelskörper abgesehen und nur noch die Form ihrer Bahnkurven betrachtet, die sich durch die Bewegung ergeben. In der Astronomie geht es daher ausschließlich um eine mathematische Beschreibung der, vor allen anderen geometrischen Figuren ausgezeichneten Kreisbewegungen.

Die Mathematik ist für Aristoteles zwar in der Astronomie, aber nicht in der Physik von Bedeutung. Er ist der Überzeugung, daß die Mathematik in der Beschreibung irdischer Phänomene nicht nur keine Rolle spielt; sie erscheint ihm geradezu ungeeignet, die Veränderung in der Natur zu erfassen.

[...] denn die mathematischen Dinge sind ohne Bewegung, mit Ausnahme derjenigen, von denen die Astronomie handelt.³⁴¹

Die genaue Schärfe der Mathematik aber darf man nicht für alle Gegenstände fordern, sondern nur für die stofflosen. Darum paßt diese Weise nicht für die Wissenschaft der Natur, denn alle Natur ist wohl mit Stoff verbunden.³⁴²

Die Mathematik ist demnach kein adäquates Instrument für die Beschreibung physikalischer Prozesse und zwar aus mindestens drei Gründen: (α) Die Mathematik kann keine Qualitäten wie heiß, kalt, trocken oder feucht erfassen. (β) Die Mathematik kann nicht die Frage nach den leichten und schweren Körpern beantworten. (γ) Zahlen und Figuren sind abstrakte Gegenstände, die keiner Veränderung und Bewegung unterworfen sind. Sie beziehen sich immer auf das Unveränderliche und Unbewegte, nicht auf das Veränderliche und Bewegte. Werden und Vergehen vollzieht sich immer zwischen qualitativen Gegensätzen.

5. Die intuitive Begründung physikalischer Grundbegriffe. Der Ausgangspunkt jeglicher Naturerkenntnis ist die Erfahrung. Die unmittelbare Erfahrung bietet zunächst ein Chaos von Sinneswahrnehmungen, in dem erst eine gedankliche Ordnung geschaffen werden muß. Ziel ist, durch eine umfassende logische Strukturanalyse jedes Naturphänomen in einen Gesamtzusammenhang einzufügen. Es ist also die Aufgabe, die *Grundbegriffe* zu klären und dann auf diesem Hintergrund die verschiedenen Bewegungsarten zu analysieren. Zu diesen Grundbegriffen gehören die Begriffe „Substanz“, „natürlicher Ort“, „Unendlichkeit“ und „Vakuum“. Mit diesen Grundbegriffen ist insbesondere die Frage verknüpft, was als

³⁴¹ Aristoteles, Metaphysik I 8, 989

³⁴² Aristoteles, Metaphysik II 3, 995

Abstraktion zulässig ist. Für Aristoteles gliedert sich die Frage nach der Begriffsbestimmung immer in drei Teilfragen: (i) Was sagt der Begriff aus (Begriffsinhalt)? (ii) Gibt es das, was der Begriff aussagt, wirklich (Existenz)? (iii) In welchem Sinn gibt es das, was der Begriff aussagt (Essenz)? Naturphilosophie heißt für Aristoteles die Anwendung der Logik nach dem aporetischen Verfahren: (α) Formulierung des Problems, (β) Aufzählung der bereits gefundenen Lösungsmöglichkeiten und Alternativen, (γ) Analyse der logischen Konsequenzen aus den jeweiligen Möglichkeiten und (δ) Auswahl der sinnvollen Möglichkeit, sowie Zurückweisung aller sinnlosen Lösungsvorschläge.

Das Veränderliche kann es immer im Modus des Möglichen oder im Modus des Wirklichen geben. Das, woran sich Veränderung vollzieht, ist das Zugrundeliegende – die Substanz (*ousia*). Die grundlegenden Aspekte sind (i) die verschiedenen Arten der Elemente, (ii) die Umwandlung der Elemente ineinander, (iii) das erste Element als die zugrundeliegende Substanz und (iv) der natürliche Ort der Elemente. Wie zuvor Platon, greift auch Aristoteles auf die Vier-Elementen-Lehre des Empedokles zurück. Demnach gibt es die Elemente Feuer, Luft, Wasser und Erde und deren, paarweise entgegengesetzte, qualitativen Eigenschaften warm, kalt, trocken und feucht. Nach Aristoteles können sich die vier Elemente ineinander umwandeln. Der fundamentale Prozeß der Umwandlung der aristotelischen Elementenlehre unterscheidet sich in einem wichtigen Aspekt von der platonischen Elementenlehre des Schöpfungsmythos: Der Umwandlungsprozeß betrifft qualitative Eigenschaften, die einer *phänomen-orientierten, sinnlichen Intuition* zugänglich sind und gerade nicht geometrische Eigenschaften, die durch eine *struktur-orientierte, rationale Intuition* faßbar sind.³⁴³

Ein weiterer zentraler Gedanke der aristotelischen Naturphilosophie betrifft die Lehre vom *natürlichen Ort*. Ihr liegt die Annahme zugrunde, daß jedes Element einen natürlichen Ort hat und dahin zurückstrebt, falls es gewaltsam von diesem Ort entfernt wird. Das Erd-Element fällt nach unten; das Feuer-Element steigt nach oben. Die räumlichen Richtungen sind in Bezug auf den Mittelpunkt des Kosmos definiert. Der natürliche Ort eines Elements beinhaltet zwei Aspekte: (α) Die Umwandlung der vier Elemente ist immer mit einem Ortswechsel verbunden und (β) jedes Element hat seinen Platz im Kosmos. Die im Zentrum des Kosmos angesiedelte Erde ist umgeben von den Sphären der drei irdischen Elemente Wasser, Luft und Feuer. Die Feuersphäre ist umschlossen von der Äthersphäre, in die – in unterschiedlicher Entfernung – die anderen Himmelskörper eingebettet sind. Den Abschluß des Kosmos bildet die Fixsternsphäre. Der Aufbau des Kosmos wird durch die natürlichen Orte der Elemente geordnet. Hiermit verknüpft ist eine hierarchische Struktur der Elemente im Kosmos nach *teleologischen Prinzipien*, die dem unmittelbaren Augenschein verpflichtet sind.³⁴⁴

³⁴³ Aristoteles, Vom Werden und Vergehen II

³⁴⁴ Aristoteles, Physik IV

Aristoteles betont die Wichtigkeit des *Unendlichkeitsbegriffs* für die Naturphilosophie. Auch hier sind die Fragen nach Existenz und Wesen zu klären, d.h. gefragt wird, ob und in welchem Sinne es ein Unendliches (apeiron) gibt. Nach Aristoteles muß ein Unendliches existieren, denn es gibt Beispiele dafür, die nicht zurückgewiesen werden können: (α) Die Zeit ist unendlich, (β) die Längen können ins Unendliche geteilt werden und (γ) die Zahlenreihe hat kein Ende. Das Problem scheint ihm aber so komplex, daß die Lösung nicht in einer schlichten Alternative zwischen Akzeptanz und Ablehnung des Unendlichen liegen kann. Aristoteles greift auf seine bereits früher getroffene Unterscheidung von Möglichkeit und Wirklichkeit zurück und trennt begrifflich zwischen dem *potentiell-Unendlichen* und dem *aktual-Unendlichen*. Nach seiner Auffassung gibt es ein aktual-Unendliches grundsätzlich nicht in der Natur. Alles Unendliche, was sinnlich erfahrbar ist, ist ein potentiell-Unendliches. Hier geht es dann um einen Prozeß, der nie vollendet ist. Die Zahlenreihe und die Längenteilung können immer fortgesetzt werden; der Zustand der verwirklichten Möglichkeit wird nie erreicht. Es gibt allerdings eine kleinste Zahl – die kleinste Menge von Einheiten – und eine größte Länge – der Durchmesser des Kosmos. Aristoteles will ausdrücklich nur einen physikalischen Unendlichkeitsbegriff zur Sprache bringen und gerade keinen mathematischen. Dies ermöglicht es ihm, auch den gefährlichen Unendlichkeitsbegriff noch in einer phänomen-orientierten, sinnlichen Intuition zu verankern.³⁴⁵

Aristoteles erwähnt seine Bewegungsgesetze eher beiläufig. Der Grund, weshalb er sie überhaupt zur Sprache bringt, ist sein Bemühen, den Begriff „Vakuum“ zu klären und seine Existenz zu widerlegen. Jede Naturerkenntnis, die Begriffe und Prinzipien formuliert, arbeitet mit *Abstraktionen*. Es ist daher von zentraler Bedeutung, klarzustellen, welche Abstraktionen überhaupt zulässig sind. Die neuzeitliche Bewegungslehre bezieht ihre Untersuchungen auf den Idealfall einer Bewegung im Vakuum; dies ist der Schlüssel zum Trägheitsprinzip. Die damit verknüpften Abstraktionen sind für Aristoteles aber nicht akzeptabel. Für ihn ist das Medium, in dem sich die Bewegung eines Körpers abspielt, nicht eine „lästige Zutat“, die als Störung einer idealen Bewegung gedeutet werden darf, sondern eine notwendige Bedingung für die Bewegung überhaupt. Das Abstraktionsverfahren, das Aristoteles benutzt, bezieht sich hingegen auf den bewegten Körper. Der Idealfall ist das einfache Erd-Element, das zum Zentrum des Kosmos strebt und das einfache Feuer-Element, das zur inneren Peripherie des sublunaren Teils des Kosmos strebt. Luft und Wasser haben eine doppelte Funktion: einerseits leisten sie der Bewegung Widerstand, andererseits sind sie die Medien, die Bewegung erst ermöglichen. Bewegung ist immer ein Übergang vom Möglichen zum Wirklichen. Zur Verwirklichung des Möglichen ist aber das Medium unabdingbar; von ihm kann aus aristotelischer Sicht gerade nicht abstrahiert werden. Galileis Kritik an den logischen Inkonsistenzen der aristotelischen Bewegungsgesetze ist zuallererst auch eine Kritik an einer Abstraktionslehre, die der sinnlichen Intuition verpflichtet ist.

³⁴⁵ Aristoteles, Physik III

6. Hierarchie der Bewegungsformen. Die aristotelische Bewegungslehre unterscheidet zwei prinzipiell verschiedene, natürliche Bewegungsformen: (i) die vollkommenen, himmlischen kreisförmigen Bewegungen der Himmelskörper mit dem Zentrum des Kosmos als Mittelpunkt und (ii) die unvollkommenen, irdischen, geradlinigen Bewegungen der einfachen Elemente: die Aufwärtsbewegungen des Feuers und die Abwärtsbewegungen der Erde. Mit dieser Charakterisierung wird eine Hierarchie der Bewegungsformen begründet, eingebettet in ein axiologisches System geometrischer Figuren. Die kreisförmige Bewegung gilt als vollkommen, (α) weil sie keinen Anfang und kein Ende hat – also ewig ist – und (β) weil sie keine entgegengesetzte Bewegung hat. Auf die beiden geradlinigen Bewegungen treffen diese Charakterisierungen gerade nicht zu. Sie sind einander entgegengesetzt und ihr Anfang und Ende ist durch den Mittelpunkt des Kosmos und die innere Peripherie des sublunaren Teil des Kosmos begrenzt.

Wenn also für diesen Körper kein Gegenteil sich findet, weil es auch zur Kreisbahn keine gegenteilige gibt, so tat offenbar die Natur recht daran, dasjenige aus dem Reigen der Gegensätze herauszulassen, das ungeworden und unvergänglich sein sollte, weil zwischen Gegensätzen sich auch Werden und Vergehen vollzieht.³⁴⁶

Die Hierarchie der Bewegungsformen hat weitreichende Konsequenzen: Aristoteles stellt die Frage nach der *Kommensurabilität* der Bewegungen. Er ist überzeugt davon, daß kreisförmige Bewegungen nicht mit geradlinigen Bewegungen verglichen werden dürfen, weil sie unterschiedlichen *Begriffsfeldern* angehören. Um seine Argumentation vorzubereiten, greift er auf seinen weitgefaßten Veränderungsbegriff zurück und stellt zunächst die Frage, ob verschiedene Arten der Veränderung vergleichbar sind. Es ist offensichtlich, daß substantielle, quantitative und qualitative Veränderungen nicht kommensurabel sind. In Analogie dazu versteht er auch die kreisförmige Bewegung als begrifflich verschieden von der geradlinigen Bewegung. Aristoteles hat immer die Gesamtheit aller Bestimmungsmerkmale im Blick. Es folgt jedoch noch eine weitere Konsequenz: Die ausgezeichneten geometrischen Figuren zu jener Zeit sind Kreise und Geraden; d.h. die Figuren, die mit Zirkel und Lineal konstruiert werden können. Sie korrespondieren offensichtlich mit den Bewegungsformen. Aus der Inkommensurabilität der beiden Bewegungsformen schließt Aristoteles auf die Inkommensurabilität von Kreis und Gerade. Die anschaulich verschiedenen Figuren sind für ihn auch wesensverschieden.

Es könnte jemand die Streitfrage aufwerfen: Ist jede Form von Veränderung mit jeder in ein Vergleichsverhältnis zu bringen oder nicht? Wenn also jede (mit jeder) vergleichbar ist und wenn (z.B.) „gleichschnell“ das ist, „was in gleicher Zeit über

³⁴⁶ Aristoteles, Über den Himmel I, 3, 270; Nach Aristoteles haben kreisförmige Bewegungen kein „Gegenteil“. Sie haben aber einen Orientierungssinn und kommen daher sehr wohl als gegenläufige Bewegungen vor. Aristoteles ist nur zu verstehen, wenn der Kreis als fertiges Ergebnis einer Bewegung betrachtet wird und gerade nicht als Bewegungsprozeß. Diese verblüffende Charakterisierung der kreisförmigen Bewegungen ist ein deutliches Indiz für ein figuratives Mathematikverständnis.

gleiche Entfernung sich bewegt“, dann wird es dahin kommen, daß eine kreisförmige (Bewegung) gleich sein kann mit einer geraden, [...].

Wenn die (so) vergleichbar sind, dann ergibt sich doch das eben Gesagte, daß eine Gerade mit einem Kreis gleich wäre. Aber sie sind eben doch nicht vergleichbar, somit auch nicht die Bewegungen (auf ihnen), stattdessen (gilt): Was nicht in das gleiche Begriffsfeld gehört, das ist alles unvergleichbar.³⁴⁷

„Leer“ aber bildet überhaupt kein Verhältnis, um das es von „Körper“ übertroffen würde, so wie ja auch „nichts“ (kein Verhältnis hat) zu „Zahl“. [...] Genau so kann auch „leer“ zu „voll“ kein (in Zahlen ausdrückbares) Verhältnis haben, also auch der (entsprechende) Bewegungsablauf nicht, [...].³⁴⁸

Die aristotelische Inkommensurabilitätsthese hat mehrere Aspekte: (α) der *geometrische Aspekt*: Kreis und Gerade sind wesensverschieden und damit unvergleichbar; (β) der *arithmetische Aspekt*: Zahl und Nichts (Null) sind wesensverschieden und damit unvergleichbar und (γ) der *physikalische Aspekt*: Medium und Vakuum sind wesensverschieden und damit unvergleichbar. In allen Fällen liegt der Grund der Unvergleichbarkeit in den jeweiligen qualitativen Unterschieden, die unmittelbar einsichtig und sinnlich intuitiv erscheinen.

7. Vergleich mit einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie. Mit Blick auf die Strukturierungsformen einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie zeigen sich grundlegende Unterschiede: (i) Im Gegensatz zu Platon etabliert Aristoteles die Naturphilosophie in ihrem empirischen Aspekt. Damit wird überhaupt erst der Phänomenbereich im Sinne einer wissenschaftlichen Disziplin in den Blick genommen. (ii) Die Instrumente, die zur Erforschung und Beschreibung der Natur zur Verfügung stehen sind: (α) eine auf logische Konsistenz geprüfte, qualitative *Fachsprache S* für den irdischen Bereich und (β) eine einfache *Geometrie F* für die Beschreibung der kreisförmigen Bewegungsphänomene des, als unveränderlich angenommenen, himmlischen Bereichs.



(γ) Naturerkenntnis beschränkt sich auf Beobachtungen; *Experimente E* fehlen völlig. Experimentelle Ergebnisse werden nicht zur Naturphilosophie gerechnet; sie beziehen sich auf widernatürliche Phänomene. Folgerichtig werden in der aristotelischen Erkenntnislehre nur Sinne und Verstand als Quellen der Erkenntnis betrachtet; die Fähigkeit zur *Handlung* bleibt ohne Bedeutung. Die Konsequenzen sind bemerkenswert: Obwohl die Neuzeit mit

³⁴⁷ Aristoteles, Physik VII, 4, 248

³⁴⁸ Aristoteles, Physik IV, 8, 215

Galilei eine experimentierfreudige Naturwissenschaft aufbaut, erlangt das Experiment auch bei Kant noch keinen systematischen Ort in seiner Transzendentalphilosophie. (δ) Die *Arithmetik Z* ist nur unzureichend entwickelt. Sie leidet an einem eingeschränkten *Zahlbegriff*, einem fehlenden *Funktionsbegriff* und einem *figurativen Mathematikverständnis* (vgl. Kapitel 2.2). Die Naturphilosophie wird erst noch ihr experimentell-technisches und mathematisch-logisches Instrumentarium aufbauen müssen, wenn sie erfolgreich sein will.

Die cartesische Intuitions- und Evidenzlehre

Descartes (1596 – 1650) gilt als Begründer der neuzeitlichen Metaphysik und Erkenntnislehre, der analytischen Geometrie und einer mechanistischen Naturphilosophie. Auf der Grundlage seiner, durch rationale Intuition begründeten Substanzenlehre glaubt Descartes die gesamten Wissensinhalte über die Natur deduktiv ableiten zu können. Seine kritischen Betrachtungen über das Wissen seiner Zeit führen ihn zum Prinzip des methodischen Zweifels. In seinen Untersuchungen formuliert er vier Hauptregeln der Methode und legt das Fundament der Metaphysik als Grundlage einer gesicherten Naturphilosophie. Er begründet damit eine rationalistische Metaphysik als Wissenschaft von den Prinzipien der menschlichen Erkenntnis. Descartes ist davon überzeugt, daß die konsequente Anwendung seiner Methode den Aufbau eines Systems zuverlässiger Wahrheiten ermöglicht, in dem ein Irrtum zwingend ausgeschlossen werden kann. Das Hauptproblem für die Unzulänglichkeiten der bisherigen aristotelisch-scholastischen Naturphilosophie sieht er nicht in einer ungenügenden empirischen Datenlage, sondern in einem nicht-adäquaten Begriffssystem. Die Naturphilosophie benötigt eine konzeptionelle Neuformulierung, die nur mit den Mitteln der rationalen Intuition geleistet werden kann. Descartes entwirft daher zunächst ein neues physikalisches Begriffssystem, das auf der Analyse des Substanzbegriffs beruht. Demzufolge ist die Materie vollständig charakterisiert durch ihre geometrischen und kinematischen Eigenschaften. Für eine dynamische Beschreibung fehlt sowohl der Masse- als auch der Kraftbegriff.

Descartes beruft sich auf eine *rationale Intuition* als Gegenbegriff zur Deduktion. Als charakteristische Merkmale der intuitiven Erkenntnis nennt er: (α) das unbezweifelbare Ergebnis einer aufmerksam durchgeführten Begriffsanalyse, (β) der konsequente Einsatz einer systematischen Methode und (γ) der Bezug auf den mathematisch und philosophisch geschulten Verstand. Das intuitiv Erkannte bezieht sich auf spezielle Begriffe und Prinzipien, die – „gereinigt“ durch das Feuer des methodischen Zweifels – aus Abstraktionen und Idealisierungen erschlossen werden, aber im menschlichen Bewußtsein als eingeborene Ideen immer schon vorliegen. Beispiele sind die Substanzbegriffe (denkende Substanz, vollkommene Substanz, ausgedehnte Substanz), die Bewegungsbegriffe (Bewegung im gewöhnlichen Sinne, Bewegung im eigentlichen Sinne), die Idee der Zahl und hier insbesondere die Emanzipation des Zahlbegriffs von seiner geometrischen Interpretation.

1. Erkenntnisziel & Erkenntnisbedingungen. Descartes übt heftige Kritik am herrschenden Bildungsideal. Die Meßlatte, die er für sein vernichtendes Urteil anlegt, ist sein rigoroser Erkenntnisanspruch, der aber durchaus in Übereinstimmung mit dem traditionellen Bildungsideal steht. Descartes wirft den zeitgenössischen Bildungseinrichtungen vor, einerseits ein klares und gesichertes Wissen in Aussicht zu stellen, andererseits diesen Anspruch aber nicht einlösen zu können und sich letztlich mit nur wahrscheinlichem Wissen zu begnügen. In seiner autobiographischen Darstellung seines eigenen Bildungsweges weist er sorgfältig nach, daß er sich am Ende seiner Studien nur in Zweifel und Irrtümer verstrickt findet und das, obwohl er als Musterschüler einer der berühmtesten Schulen Europas alle wissenschaftlichen Bereiche gründlich studiert hat. Als einzige Ausnahme anerkennt Descartes die Mathematik; ihr kommt eine *paradigmatische Rolle* für jede Wissenschaft zu, obgleich sie erst noch zu einem leistungsfähigen Instrument entwickelt werden muß. Einen wichtigen Grund für das Versagen der traditionellen Bildungseinrichtungen sieht Descartes darin, daß das Wissen eher ein Sammelsurium von Lehrmeinungen darstellt, das ohne systematische Methode in den vergangenen Jahrhunderten von der Antike bis zu seiner Zeit zusammengetragen wurde.

In seinen *Regeln zur Ausrichtung der Erkenntniskraft* von 1628 formuliert Descartes das Ziel eines methodisch geleiteten Wissenserwerbs, der dem strengen Kriterium der *Evidenz* genügt. Dabei kommt der rationalen Intuition eine unverzichtbare Rolle zu. Der erste Schritt, evidente Erkenntnisse zu erlangen, erfordert die konsequente Anwendung einer wissenschaftlichen Methode. Die Methode hat die Aufgaben, systematisch den Weg zu neuen und wahren Erkenntnisinhalten zu weisen. Dafür müssen sowohl das erkennende Subjekt **S** als auch das zu erkennende Objekt **O** spezielle Bedingungen erfüllen:

- (i) Die **Bedingung an das erkennende Subjekt**: Die Methode muß geeignet sein, den Verstand zu schulen durch eine methodische Ausrichtung der Erkenntniskraft (Ingenium). Dies zielt auch auf die Belehrung der rationalen Intuition.
- (ii) Die **Bedingung an das zu erkennende Objekt**: Die Methode muß geeignet sein, Erkenntnisprobleme so zu zerlegen und zu ordnen, daß ihre Lösungen der menschlichen Erkenntniskraft zugänglich sind. Diese Bedingung verlangt die Einschränkung auf die mathematisch erfaßbaren Aspekte der Erkenntnisgegenstände.

Es ist zweckmäßig, die Erkenntniskraft ganz den kleinsten und höchst einfachen Sachverhalten zuzuwenden und längere Zeit dabei zu verweilen, solange bis es uns zur Gewohnheit wird, die Wahrheit in deutlicher und scharfblickender Intuition zu erfassen. [...]

Dazu ist nun zwar mancher von Natur weit geschickter als andere, doch kann die Erkenntniskraft durch Lehre und Übung [...] tauglich gemacht werden.³⁴⁹

³⁴⁹ Descartes 1628, S. 30f

Die ganze Methode besteht in der Ordnung und Disposition dessen, worauf man sein geistiges Auge richten muß, um irgendeine Wahrheit zu finden. Und zwar werden wir diese Regel genau befolgen, wenn wir verwickelte und dunkle Propositionen stufenweise auf einfachere zurückführen und sodann von der Intuition der allereinfachsten zur Erkenntnis aller anderen über dieselben Stufen hinaufzusteigen versuchen.³⁵⁰

Die Evidenz des Erkannten beruht – so Descartes – wesentlich auf einer belehrten Intuition. Nach Descartes steht es also in der Macht des Menschen, Irrtum und Täuschung durch methodische Sorgfalt zu vermeiden. Dies trifft allerdings ausschließlich auf die vollkommen verstandenen Probleme zu. Probleme dieser Art gibt es nur in der Mathematik; empirische Probleme hingegen gehören zu den unvollständig verstandenen Problemen, da sie zur Beantwortung die Sinneserfahrungen voraussetzen. Damit aber auch empirische Sachverhalte streng wissenschaftlich behandelt werden können, muß der Umfang möglicher Erkenntnisgegenstände und der Katalog möglicher Erkenntnisfragen eingeschränkt werden. Zulässig sind nur diejenigen Erkenntnisgegenstände, die nach Zahl und Maß dargestellt werden können und nur solche Fragen, für die eine Rückführung auf vollständig verstandene Probleme gelingt. Descartes begründet eine allgemeine Wissenschaft im Sinne einer „mathesis universalis“ und greift damit das Programm der Pythagoreer wieder auf, deren universelle Arithmetik im Zusammenhang mit der ersten Grundlagenkrise der Mathematik ein jähes Ende fand.

2. Intuition & Deduktion. Descartes spricht von vier Erkenntnisarten: (α) die Sinneswahrnehmung, (β) die Einbildungskraft (im Sinne einer sinnlichen Intuition), (γ) die Intuition (im Sinne einer rationalen Intuition) und (δ) die Deduktion. Er beurteilt die Sinneswahrnehmung und die Einbildungskraft als irrtumsanfällig. Sie erfüllen zwar nicht die Kriterien der Gewißheit und Notwendigkeit – ihnen kommt aber eine unverzichtbare Hilfsfunktion zu. Die einzigen irrtumsfreien Erkenntnisarten sind für Descartes die „Handlungen des Verstandes“: die *Intuition* und die *Deduktion*. Darüber hinaus gibt es keine weiteren Erkenntnisarten, die zu gesichertem Wissen führen.

Bei den vorgenommenen Gegenständen ist nicht danach zu fragen, was andere gemeint haben oder was wir selbst etwa mutmaßen, sondern danach, was wir in klarer und evidenter Intuition sehen oder zuverlässig deduzieren können; nur so nämlich erwirbt man Wissenschaft.³⁵¹

[...] daß dem Menschen kein Weg zur gesicherten Erkenntnis der Wahrheit offensteht außer der evidenten Intuition und der notwendigen Deduktion, [...].³⁵²

Und so sind diese zwei Wege zur Wissenschaft am zuverlässigsten, und weitere darf man von seiten der Erkenntniskraft nicht zulassen, sondern alle anderen sind als

³⁵⁰ Descartes 1628, S. 16

³⁵¹ Descartes 1628, S. 9

³⁵² Descartes 1628, S. 50

verdächtig und Irrtümern preisgegeben abzuweisen.³⁵³

Denn schließlich dürfen wir uns [...] immer nur von der Evidenz unserer Vernunft überzeugen lassen. Und man beachte, daß ich sage, von unserer Vernunft und nicht von unserer Einbildungskraft oder unseren Sinnen. [...] Denn die Vernunft sagt uns nicht, daß das, was wir so sehen oder bildlich vorstellen, wahr sei.³⁵⁴

Die rationale Intuition ist die bestmögliche Erkenntnisart; sie allein entspringt dem „Lichte der Vernunft“ bzw. dem „natürlichen Lichte“ und führt zu Erkenntnissen, die keinen weiteren *vernünftigen Zweifel* mehr zulassen. Descartes spricht vom „gesunden Menschenverstand“ oder vom „natürlichen Licht“.³⁵⁵ Dies meint – im Sinne Descartes – die intuitive Einsicht des recht geleiteten Verstandes, die eine eigenständige Erkenntnisart darstellt. Um zu intuitiven Erkenntnissen zu gelangen, ist ein reiner, aufmerksamer und geschulter Verstand erforderlich, der sich auf einfache, d.h. nicht zusammengesetzte Erkenntnisgegenstände konzentriert und diese mühelos, schlagartig, klar und deutlich und unbezweifelbar begreift, ohne Rückgriff auf Sinneswahrnehmungen. Die rationale Intuition erfaßt die Grundbegriffe – die „ersten Samen der Wahrheit“. Sie entfaltet ein schöpferisches Potential und ermöglicht so, neues Wissen zu erwerben. Damit ist die rationale Intuition in ihren Bestimmungsmerkmalen scharf abgegrenzt von den anderen Erkenntnisarten. Die von Descartes angegebenen Beispiele für intuitive Erkenntnisse entstammen der Metaphysik und der Geometrie. Hier geht es zum einen um Existenz- und Essenzsätze bezüglich der verschiedenen Substanzen und zum anderen um einfache geometrische Aussagen zu Dreiecken und Kugeln. Die Intuition sichert die Wahrheit der Prämissen und die Deduktion sichert die Gültigkeit der Schlüsse.

Unter Intuition verstehe ich nicht das schwankende Zeugnis der sinnlichen Wahrnehmung oder das trügerische Urteil der verkehrt verbindenden Einbildungskraft, sondern ein so müheloses und deutlich bestimmtes Begreifen des reinen und aufmerksamen Geistes, daß über das, was wir erkennen, gar kein Zweifel zurückbleibt, oder, [...] eines reinen und aufmerksamen Geistes unbezweifelbares Begreifen, welches allein dem Lichte der Vernunft entspringt und das, weil einfacher, deshalb zuverlässiger ist als selbst die Deduktion, [...]. So kann jeder intuitiv mit dem Verstande sehen, daß er existiert, daß er denkt, daß ein Dreieck von nur drei Linien, daß die Kugel von einer einzigen Oberfläche begrenzt ist [...].

[...] Deduktion [...], worunter wir all das verstehen, was aus etwas anderem sicher Erkanntem mit Notwendigkeit erschlossen wird.³⁵⁶

[...] weil zur Intuition zweierlei erforderlich ist, nämlich: daß die Proposition klar und deutlich, und dann auch, daß sie als Ganzes auf einmal und nicht sukzessiv erkannt wird.³⁵⁷

³⁵³ Descartes 1628, S. 12

³⁵⁴ Descartes 1637, S. 65

³⁵⁵ Das „lumen naturale“ ist zu seiner Zeit ein geläufiger Begriff der Schulphilosophie, der im scharfen Kontrast zum „lumen supernaturale“ steht, die sich auf die göttliche Offenbarung bezieht.

³⁵⁶ Descartes 1628, S. 10f

³⁵⁷ Descartes 1628, S. 36

Die Intuition im cartesischen Sinne meint hier gerade nicht eine unbelehrte Intuition, sondern die ausführlich und sorgfältig belehrte Intuition eines geschulten Verstandes, die keinen begründeten Zweifel mehr zuläßt. Die Intuition steht hier also nicht im Gegensatz zum rationalen Denken, sondern ist – neben der Deduktion – das Wesen des rationalen Denkens. Descartes grenzt die rationale Intuition ab gegen die Einbildungskraft im Sinne einer sinnlichen Intuition. Er diskutiert das Verhältnis dieser beiden Erkenntnisarten unter zwei Aspekten: (α) die unterschiedliche Reichweite am Beispiel des Tausendecks und (β) der unterschiedliche Gewißheitsanspruch am Beispiel des Sonnenarguments.

Der erste Aspekt vergleicht Dreieck und Tausendeck und zeigt, daß der sinnlichen Intuition, die an der konkreten geometrischen Figur orientiert ist, nur das Dreieck zugänglich ist und diese damit in ihrer Reichweite stark begrenzt ist, wohingegen der rationalen Intuition, die am abstrakten Zahlbegriff orientiert ist, gleichermaßen das Dreieck wie das Tausendeck zugänglich ist und diese damit eine wesentlich größere Reichweite aufweist. Dieses Beispiel wird später von Leibniz wieder aufgegriffen und unter den Begriffen „intuitive Erkenntnis“ versus „symbolische Erkenntnis“ behandelt.

Damit dies ganz klar werde, untersuche ich erstlich den Unterschied zwischen bildlichem Vorstellen und reinem Verstehen. Stelle ich mir nämlich z.B. ein Dreieck bildlich vor, so verstehe ich nicht nur, daß es eine von drei Seiten umschlossene Figur ist, sondern ich schaue zugleich auch diese drei Linien mit meinem geistigen Auge, als seien sie mir gegenwärtig, an, und das nenne ich „sich etwas bildlich vorstellen“. Will ich aber ein Tausendeck denken, so verstehe ich zwar ebensogut, daß es eine aus tausend Seiten bestehende Figur ist, wie ich verstehe, daß das Dreieck eine aus drei Seiten bestehende Figur ist, aber ich stelle mir diese tausend Seiten nicht in derselben Weise bildlich vor, d.h. ich schaue sie mir nicht, als seien sie gegenwärtig, an.³⁵⁸

Den zweiten Aspekt behandelt Descartes im Zusammenhang mit dem Sonnenargument. Sinnliche und rationale Intuition führen zu widersprüchlichen Ergebnissen. Die sinnliche Intuition ist irrtumsanfällig und bedarf der Korrektur durch mathematische Berechnungen.

So finde ich in mir z.B. zwei verschiedene Vorstellungen von der Sonne: Die eine gleichsam aus den Sinnen geschöpft [...]; sie läßt mir die Sonne sehr klein erscheinen. Die andere hingegen den Berechnungen der Astronomie entnommen, d.h. gewissen mir angeborenen Begriffen abgewonnen [...]; sie zeigt mir die Sonne einigemal größer als die Erde. In der Tat, beide können nicht derselben außer mir existierenden Sonne ähnlich sein, und die Vernunft überzeugt mich, daß ihr die am unähnlichsten ist, die ihr doch am unmittelbarsten entsprungen zu sein scheint.³⁵⁹

Die sinnliche Intuition behält aber – trotz ihrer Gewißheitsdefizite – die wichtige Funktion der Veranschaulichung von Sachverhalten in der Naturphilosophie.

³⁵⁸ Descartes 1641, S. 64f

³⁵⁹ Descartes 1641, S. 35

Wenn dagegen der Verstand es sich zur Aufgabe macht, etwas zu prüfen, das auf Körper bezogen werden kann, so muß dessen Idee so deutlich wie möglich in der Einbildungskraft gezeichnet werden. Um dies bequemer zu leisten, muß die Sache selbst, die diese Idee darstellt, den äußeren Sinnen vorgestellt werden, und mehr als dies kann dem Verstande nicht helfen, einzelne Sachverhalte in deutlicher Intuition zu erkennen.³⁶⁰

Die Geometrie ist das natürliche Instrument um physikalische Sachverhalte anschaulich zu machen. Hier kommt der sinnlichen Intuition eine unverzichtbare Funktion zu.

3. Ideenlehre & Begriffsanalyse. Die cartesische Erkenntnislehre ist dem Kern nach eine Ideenlehre. Sie beruht auf der Annahme, daß eine bestimmte Relation zwischen dem repräsentativen Gehalt einer Idee und ihrer kausalen Ursache besteht, d.h. die Gültigkeit kausaler Strukturen wird ohne weitere Begründung vorausgesetzt. Der Ideenbegriff bezieht sich auf die rationalen Fähigkeiten, Begriffe und deren Verknüpfungen zu bilden und bewußt zu erfassen. Descartes unterscheidet drei Arten von Ideen nach Maßgabe ihrer kausalen Ursachen: (α) *Erworbene Ideen* (Elefant, Pferd) sind Bewußtseinsinhalte, die den Sinneswahrnehmungen entnommen sind. Ihr repräsentativer Gehalt wird durch den sinnlich wahrnehmbaren Gegenstand festgelegt. (β) *Erzeugte Ideen* (Pegasus, Seejungfrau) sind Bewußtseinsinhalte, die auf willkürlichen Verknüpfungen von Sinneswahrnehmungen beruhen. (γ) *Eingeborene Ideen* (Ich, Gott, Axiome der Logik & Mathematik) sind Bewußtseinsinhalte, die durch die Aktivierung potentiell vorhandener Begriffe und Prinzipien entstehen. Diese Ideen gehören zur ursprünglichen Ausstattung des Bewußtseins. Für ihre Aktivierung sind – nach Descartes – keine Wahrnehmungsprozesse erforderlich. Eine Kausalrelation liegt insofern vor, als Gott Ursache dieser Ideen ist und sie dem Menschen eingepreßt hat. Daher gilt sein uneingeschränktes Vertrauen gerade diesen speziellen Ideen, die durch das „natürliche Licht“ erkennbar sind. Die einzige erfolgversprechende Form des Wissenserwerbs liegt für Descartes in der Selbstbelehrung. Dieses Potential apriorischen Wissens ist dem menschlichen Erkenntnisvermögen zugänglich, wenngleich nicht ohne intellektuelle Anstrengung. Die Fundierung des Wissens versucht Descartes durch eine Introspektion zu leisten, d.h. durch die Analyse der spezifischen Ideen und deren kausalen Ursachen.

[...] mit mir allein will ich reden, tiefer in mich hineinblicken [...].³⁶¹

So werden wir die Vorurteile leicht ablegen, die sich nur auf die Sinne gründen und hier uns nur des Verstandes bedienen, um sein Wesen zu untersuchen, weil allein in ihm sich die ersten Begriffe oder Ideen von Natur befinden, die gleichsam die ersten Samenkörner der Wahrheiten sind, die wir zu erkennen vermögen.³⁶²

³⁶⁰ Descartes 1628, S. 43f

³⁶¹ Descartes 1641, S. 30

³⁶² Descartes 1644, S. 32

Den Begriff „Intuition“ verwendet Descartes in seinen späteren Schriften *Meditationen über die Grundlagen der Philosophie* von 1641 und *Die Prinzipien der Philosophie* von 1644 nicht mehr. An die Stelle dieser Erkenntnisart treten im Zusammenhang mit der Ideenlehre die charakteristischen Merkmale: das „klare und deutliche Erkennen, daß bei aufmerksamer Betrachtung kein Zweifel möglich ist“. Descartes unterscheidet die Ideen nach ihren Bestimmungsmerkmalen: Eine Idee ist klar, wenn der Vorstellungsinhalt präsent ist, d.h. wenn er sich gut vergegenwärtigen läßt. Eine Idee ist klar und deutlich, wenn ihre einzelnen Merkmale prägnant sind, d.h. wenn sie sich scharf abgrenzen lassen von anderen Merkmalen. Begriffe sind klare und deutliche Ideen. Decartes kann keine objektiven Maßstäbe benennen, wann die Kriterien klar und deutlich erfüllt sind – dies kritisiert später Leibniz und ergänzt die Ideenlehre durch das Prinzip des ausgeschlossenen Widerspruchs. Descartes trifft auch keine Unterscheidung zwischen Anschauung und Begriff – dies kritisiert schließlich Kant und unterscheidet zwei irreduzible Erkenntnisvermögen.

Denn zu einer Erkenntnis (perceptio), auf die ein sicheres und unzweifelhaftes Urteil gestützt werden kann, gehört nicht bloß Klarheit, sondern auch Deutlichkeit. *Klar* (clara) nenne ich die Erkenntnis, welche dem aufmerkenden Geiste gegenwärtig und offenkundig ist, wie man das klar Gesehene nennt, was dem schauenden Auge gegenwärtig ist und dasselbe hinreichend kräftig und offenkundig erregt. *Deutlich* (distincta) nenne ich aber die Erkenntnis, welche, bei Voraussetzung der Stufe der Klarheit, von allen übrigen so getrennt und unterschieden (sejuncta et praecisa) ist, daß sie gar keine andern als klare Merkmale in sich enthält.³⁶³

Descartes unterscheidet verschiedene Arten von Begriffen und Prinzipien: Einige sind einfach und unmittelbar einsichtig. Andere sind komplex und schwierig und müssen daher zuerst methodisch untersucht werden. Sofern sie alle Stufen des methodischen Zweifels unbeschadet überleben, sind auch diese Begriffe und Prinzipien evident. Begriffe sind intuitiv erfaßt, wenn sie klar und deutlich erkannt werden und Aussagen sind intuitiv einsichtig, wenn bei aufmerksamer Prüfung kein vernünftiger Zweifel mehr möglich ist.

	Rationale Intuition
1. Prüfung	umfassende Prüfung nötig, Zweifel müssen systematisch beseitigt werden, keine sofortige Zustimmung
2. Erkenntnis	unmittelbar und mühelos erfaßbar, keine Vermittlung durch weitere Ideen, umfassende Gewißheit

³⁶³ Descartes 1644, S. 15

Die charakteristischen Merkmale der intuitiven Erkenntnis stellen sich erst nach einer eingehenden Prüfung durch einen aufmerksamen Verstand ein. Die intuitive Erkenntnis der cartesischen Erkenntnislehre besteht demnach aus zwei Stufen: (α) Die *Prüfung*: Hier muß in einem aufwendigen Prüfverfahren der Sachverhalt gründlich untersucht werden. (β) Die *Erkenntnis*: Nach dem erfolgreichen Abschluß der Prüfung wird der Sachverhalt durch die rationale Intuition erfaßt und kann als evidente Erkenntnis gelten. Trotz des ehrgeizigen Anspruchs beruhen die ersten Grundsätze der Metaphysik noch immer auf Alltagsbegriffen, die unverändert dem Alltagsverständnis entnommen sind und deren Klarheit und Deutlichkeit gesondert zu begründen wäre, aber nicht begründet wird. Zu diesen nicht weiter hinterfragten Termini gehören „Denken“ (cogitatio), „Existenz“ (existentia) und „Gewißheit“ (certitudo).

4. Intuitive Begründung der Erkenntnis-Metaphern. In der *Metapher vom Baum der Erkenntnis* – in Anlehnung an die Genesis der Bibel – bringt Descartes seine Auffassung vom systematischen Aufbau der Wissenschaften zum Ausdruck. Jede wissenschaftliche Untersuchung kann nur dann zuverlässiges und evidentes Wissen liefern, wenn sie bei den Sachverhalten ansetzt, die durch Intuition als zweifelsfrei angesehen werden und durch Deduktion die Sachverhalte ableitet, die mit Notwendigkeit aus dem intuitiv Erkannten folgt. Der Ausgangspunkt für die Erweiterung des Wissens durch das rationale Denken muß das Einfachste der cartesischen Gedankenordnung sein. Nur dieses entspringt dem „Lichte der Vernunft“ und ist demzufolge unbezweifelbar und zuverlässig. Der Aufbau des Wissens erfolgt dann stufenweise vom Einfachen zum Komplexen in einer Kette von Denkakten, die so beschaffen sein muß, daß keine dazwischenliegenden Schlußfolgerungen übersprungen werden. Nur wenn die Kette von Denkakten nirgends unterbrochen ist, kann die Zuverlässigkeit aller Schlußfolgerungen als gesichert gelten. Die einzelnen intuitiven Erkenntnisse müssen aneinandergereiht und miteinander verknüpft werden; dies bringt Descartes in der *Metapher von der Perlenkette* zum Ausdruck. Diese Metapher verknüpft die Intuition mit der Deduktion. Intuition und Deduktion ergänzen sich gegenseitig; beiden Erkenntnisarten kommt eine unverzichtbare Funktion für den Erkenntnisprozeß zu.

[...] weil das meiste zuverlässig gewußt wird, obgleich es selbst nicht evident ist, wofern es nur aus wahren und erkannten Prinzipien durch eine zusammenhängende und nirgendwo unterbrochene Tätigkeit des Denkens, welches das einzelne deutlich in der Intuition sieht, deduziert ist, nicht anders als wenn wir das letzte Glied einer langen Kette mit dem ersten zusammenhängend erkennen, obgleich unsere Augen nicht mit einem und demselben Blick auf alle Zwischenglieder [...] achten, [...]. Woraus folgt, daß man zwar von jenen Propositionen, die aus den ersten Prinzipien unmittelbar erschlossen werden, je nach dem Gesichtspunkt sagen kann, daß sie bald durch Intuition, bald durch Deduktion erkannt werden, von den Prinzipien selbst dagegen, daß sie nur durch Intuition, von den entfernten Schlußfolgerungen aber, daß sie ausschließlich durch Deduktion erkannt werden.³⁶⁴

³⁶⁴ Descartes 1628, S. 11f

Bei Descartes wird die *Belehrung der Intuition* unter der Metapher einer Perlenkette besprochen. In dieser Metapher bringt Descartes die Zweiteilung der Erkenntnis klar zum Ausdruck und deutet dabei die intuitive Erkenntnis als Grundlage jeglicher Erkenntnis. Gemäß dieser Metapher begreift die intuitive Erkenntnis jede einzelne Perle; die deduktive Erkenntnis liefert lediglich die einzelnen Verbindungen zwischen den Perlen. Die einzelne Perle steht für einen Begriff bzw. eine Aussage.

Prüfverfahren



unbelehrte Intuition

belehrte Intuition

Die Belehrung der Intuition im Hinblick auf eine Begriffsklärung in der Metaphysik hat folgenden strukturellen Aufbau:

- (i) Die *unbelehrte Intuition*: Die begriffsanalytische Frage wird intuitiv beantwortet und die vorgeschlagene Hypothese H_1 wird geprüft. Ist die Prüfung nicht zufriedenstellend, weil sie dem methodischen Zweifel nicht standhält, dann wird die Hypothese H_1 zurückgewiesen und intuitiv eine neue Hypothese H_2 vorgeschlagen.
- (ii) Die *Belehrung der Intuition*: Dieser Ping-Pong-Prozeß wird sich solange fortgesetzt, bis eine Hypothese H_n gefunden wird, die dem methodischen Zweifel standhält. Dieser Prozeß der wiederholten Hypothesenbildung H_1, H_2, \dots, H_n ist offensichtlich ein sequentieller Prozeß; das akzeptierte Ergebnis aber ist die intuitive Hypothese H_n einer nun belehrten Intuition. Dieser Sachverhalt beschreibt das Prüfverfahren.
- (iii) Die *belehrte Intuition*: Wird die begriffsanalytische Frage zu einem späteren Zeitpunkt erneut gestellt, dann wird sofort die intuitive Hypothese H_n vorgeschlagen. Erkenntnis beginnt immer mit einer unbelehrten Intuition (Alltagsverständnis), die im Zuge eines Prüfverfahrens dann zur belehrten Intuition wird. Ist das Prüfverfahren abgeschlossen, dann wird das Ergebnis zum bleibenden Wissensbestand und ist durch eine belehrte Intuition erfaßt (Wissenschaftsverständnis).

Der Wissenserwerb von rationalen Inhalten ist demnach die Selbstbelehrung des geschulten Verstandes, geprüft mit den Mitteln des methodischen Zweifels. Die Verwandtschaft mit Platons Erkenntnislehre ist augenfällig.

5. Intuitive Begründung der Erkenntnis-Methode. Nachdem Descartes die Notwendigkeit einer neuen wissenschaftlichen Methode eingesehen hat, ergibt sich für ihn die konkrete Aufgabe, das alte unzulängliche Wissen rigoros abzulegen und ein neues gesichertes Wissen aufzubauen. Zunächst beschreibt er den „allgemeinen Umsturz“ seines bisherigen Wissens.

Ausgangspunkt ist der *methodische Zweifel* im Sinne eines universellen, rigorosen und umfassenden Zweifels. Der Zweifel ist demnach nicht begrenzt und problem-orientiert, d.h. er tritt nicht auf, weil sich zweifelhafte Sachverhalte ergeben, sondern er ist ein fundamentaler Zweifel, der alle, auch scheinbar unverdächtige Sachverhalte erfaßt, der „einmal im Leben“ vollzogen werden muß und der ein klar definiertes Ziel verfolgt: die Gewinnung evidenter Erkenntnis. Descartes formuliert drei verschiedene Stufen des Zweifels.³⁶⁵

- (i) Der *gewöhnliche Zweifel*: Zur ersten Stufe des Zweifels gehören die Täuschungen der Sinneswahrnehmungen und die Fehlschlüsse des Verstandes.
- (ii) Der *verschärfte Zweifel*: Die zweite Stufe des Zweifels thematisiert das Problem, klare und deutliche Kennzeichen anzugeben, die eine gesicherte Unterscheidung von Wach- und Traumzuständen ermöglichen.
- (iii) Der *fundamentale Zweifel*: Die dritte Stufe des Zweifels erörtert die Annahme eines betrügerischen Dämons (*genius malignus*), der den Menschen absichtsvoll in allen Sachverhalten täuscht – auch in den Sätzen der Arithmetik und der Geometrie.

Eine weitere Steigerung des Zweifels erscheint tatsächlich nicht mehr möglich. Ein Prinzip kann genau dann als unbezweifelbar gelten, wenn er durch alle drei Stufen des Zweifels gegangen ist und diese unbeschadet überstanden hat. Ist die methodische Prüfung abgeschlossen und eine zweifelsfreie Grundlage geschaffen, dann bleibt kein Grund für einen weiteren *vernünftigen Zweifel*. Die Einschätzung, ob ein weiterer Zweifel vernünftig ist oder nicht, wird einmal mehr der rationalen Intuition überlassen. Der methodische Zweifel wird so zum Gegenbegriff der objektiven Evidenz. Er übernimmt eine doppelte Funktion: (α) Die *destruktive Funktion*: Er ist ein Korrektiv für Irrtümer und damit ein grundlegendes Werkzeug zur Destruktion des bisherigen, nicht gesicherten Wissens der traditionellen Bildung und der Alltagserfahrung. (β) Die *konstruktive Funktion*: Er ist die Grundlage der – von Descartes gesuchten – metaphysischen Begriffe und Prinzipien und damit der Ausgangspunkt für die Konstruktion des neuen, unbezweifelbaren Wissens.

Die Methode ist ein Kanon von Regeln, der Auskunft gibt darüber, wie die rationale Intuition und die Deduktion anzuwenden sind. Der Kern der cartesischen Methodenlehre ist in vier fundamentalen Regeln zusammengefaßt. Die ineinandergreifenden Regeln beschreiben dann ein drei-stufiges Verfahren, demzufolge in einem ersten, analytischen Teilschritt ein Problem in Teilprobleme zerlegt, in einem zweiten Teilschritt jedes Teilproblem gelöst und in einem dritten, synthetischen Teilschritt die Gesamtlösung aus den Teillösungen zusammengesetzt wird. Hier kommt die Auffassung zum Ausdruck, daß die Anwendung der analytisch-synthetischen Methode auf alle Wissenschaften zulässig ist.

³⁶⁵ Descartes 1641

- (i) Die **Evidenz-Regel**: Diese Regel besagt, daß alle Sachverhalte, die nicht unmittelbar evident erscheinen, rigoros zurückgewiesen werden müssen. Die notwendigen und hinreichenden Kriterien für die Evidenz eines Sachverhalts sind ein klares und deutliches Erkennen und zwar derart, daß bei aufmerksamer Betrachtung ein vernünftiger Zweifel unmöglich erscheint.
- (ii) Die **Zerlegungs-Regel**: Ist ein Problem zu verwickelt, um es unmittelbar nach der Evidenz-Regel zu lösen, dann muß es soweit zerlegt werden, daß jeder Teilschritt gemäß der Evidenz-Regel gelöst werden kann. Die zweite Regel greift also genau dann, wenn die Befolgung der ersten Regel auf Schwierigkeiten stößt. Diese Regel überträgt die Arbeitsweise der Mathematik auf alle Wissenschaften.
- (iii) Die **Ordnungs-Regel**: Die Problemlösung soll in systematischer Ordnung fortschreiten, d.h. es ist schrittweise von einfachen zu komplexen Problemen vorzugehen. Dabei ist nicht eine kausale Ordnung (ontologisch) gemeint, sondern eine Gedankenordnung (epistemologisch) nach der Einfachheit der Erkennbarkeit.
- (iv) Die **Vollständigkeits-Regel**: Das systematische Vorgehen und die konsequente Anwendung der bisherigen Regeln sichert die Vollständigkeit der Erkenntnis, d.h. alle der Erkenntniskraft zugänglichen Erkenntnisgegenstände werden in diesem Verfahren erfaßt. Die letzte Regel macht deutlich, daß die cartesische Methodologie universell anwendbar ist und weder Wissensgebiete noch Wissensinhalte ausläßt.

Die Regeln erscheinen aber zunächst eher wie triviale Binsenweisheiten, da sie grundlegende Fragen gar nicht erst ansprechen. Dazu gehören insbesondere die Fragen, was als das Einfache gelten kann und an welchen Merkmalen dies zu erkennen ist. Die Regeln werden erst dann einsichtig, wenn sie in ihren Anwendungen durchgespielt werden und damit auf die offenen Fragen eine konkrete Antwort geben. Descartes muß folglich den Evidenzbegriff klären und alle notwendigen und hinreichenden Bedingungen dafür angeben, wann eine Erkenntnis evident ist.

6. Evidenzbegriff & Wahrheitskriterium. Der methodische Zweifel und die konsequente Anwendung der vier Regeln führen zwar zu den Prinzipien der Metaphysik, zunächst aber nur zur subjektiven Gewißheit der eigenen Existenz im Sinne einer denkenden Substanz. Descartes postuliert daher, daß die objektive Wahrheit mit der subjektiven Gewißheit koinzidiert und Garant dieser Koinzidenz ist eine vollkommene Substanz, deren Existenz im zweiten Prinzip der Metaphysik bewiesen wird. Das erste Prinzip der Metaphysik ist hinsichtlich seiner Wahrheit paradigmatisch für alle weiteren Erkenntnisse. Demzufolge müssen an diesem paradigmatischen Satz diejenigen Merkmale abgelesen werden, die als notwendige und hinreichende Kriterien für die Wahrheit einer Aussage gelten können. Die gesuchten Kriterien sind Klarheit und Deutlichkeit. Das Zusammenwirken von zwei

Bedingungen, die zusammengenommen hinreichend und notwendig sind, soll dann die objektive Wahrheit eines Sachverhalts garantieren: (α) Die *Bedingung an die denkende Substanz*: Die Erkenntniskraft ist durch ausreichende Übung geschult und der Sachverhalt ist durch eine gründliche Untersuchung geprüft. Notwendiges Kriterium für die subjektive Gewißheit ist dann ein klares und deutliches Erkennen der Begriffe und Prinzipien und zwar derart, daß bei aufmerksamer Betrachtung und Erwägung aller Argumente und Gegenargumente kein weiterer vernünftiger Zweifel möglich erscheint. Andere Möglichkeiten sind nicht denkbar und können daher zwingend ausgeschlossen werden. Kann das Wissen auf mehreren Wegen gewonnen werden, dann führt es immer zum selben Ergebnis. (β) Die *Bedingung an die vollkommene Substanz*: Die objektive Wahrheit koinzidiert nur dann mit der subjektive Gewißheit, wenn eine vollkommene Substanz existiert, wenn der Begriff der Vollkommenheit jegliche Täuschungsabsicht ausschließt und wenn die grundsätzliche Unfähigkeit der denkenden Substanz, Erkenntnisirrtümer aufzulösen, mit der Täuschungsabsicht der vollkommenen Substanz in Zusammenhang steht.

Leibniz kritisiert später die erste Bedingung, diagnostiziert die Unvollständigkeit des cartesischen Wahrheitskriteriums und ergänzt es durch die Forderung der Widerspruchsfreiheit. Berkeley kritisiert dann die zweite Bedingung und behauptet, daß von der grundsätzliche Unfähigkeit der denkenden Substanz, Erkenntnisirrtümer aufzulösen, nicht auf eine Täuschungsabsicht der vollkommenen Substanz geschlossen werden kann.

7. Begründung der Metaphysik in der rationalen Intuition. Mit seiner Metaphysik will Descartes ein breites Fundament schaffen, das alle Wissenschaften begründen kann. Kernstück seiner Metaphysik sind drei Existenzsätze: (α) die denkende Substanz, (β) die vollkommene Substanz und (γ) die ausgedehnte Substanz. Die Begründung der metaphysischen Prinzipien beruft sich wesentlich auf die rationale Intuition. Das Wesen der Substanzen kann niemals durch die Sinne erfahren, sondern nur als Begriff gedacht und damit durch den Verstand erfaßt werden. Die Existenzsätze sind intuitiv einsehbar und können als gesicherte Prinzipien der Metaphysik gelten – so hofft jedenfalls Descartes.

- (i) Das *erste Prinzip der Metaphysik*. Auf der Grundlage des methodischen Zweifels findet Descartes das erste Prinzip der Metaphysik. Das Denken verweist auf die Notwendigkeit der eigenen Existenz; an der Wirklichkeit des Denkens selbst kann das Denken nicht zweifeln. Auch wenn versuchsweise die Hypothese eines betrügerischen Dämons eingeführt wird, hält dieses Prinzip stand. Descartes setzt seine Untersuchungen fort, indem er die Frage: „Was ist der Mensch?“ zu beantworten sucht, d.h. nach der Frage der Existenz wird die Frage nach dem Wesen angeschlossen. Das sinnlich Wahrnehmbare bildet für Descartes den Ausgangspunkt für den Wissenserwerb. In einem Abstraktionsprozeß muß das Wesen der Substanz extrahiert werden. Dabei wird von allen kontingenten Merkmalen abgesehen. Am Ende

des Abstraktionsprozesses ist das Wesen herausgeschält: der Mensch ist eine denkende Substanz. Bemerkenswert sind hier zwei Aspekte: (α) Descartes benutzt die Abstraktion um zu gesicherten Erkenntnissen zu gelangen. Diese Methode wird so zu einem wichtigen Instrument für die rationale Intuition. (β) Descartes begründet die Zulässigkeit seiner Abstraktionsschritte mit dem Hinweis auf seine Vorstellungsfähigkeit. Daraus schließt er später auf die ontologische Eigenständigkeit einer denkenden Substanz und begründet damit seinen ontologischen Dualismus. Dieser folgenschwere Schluß bringt ihm den Vorwurf ein, das „Gespenst in der Maschine“ erfunden zu haben.

Auf der Plattform seiner bisherigen Erkenntnisse gerät Descartes in eine doppelte Krise: (α) Die *ontologische Krise*: Die eigene Existenz verbleibt in ihrer ontologischen Einsamkeit, solange nicht die Existenz der Außenwelt bewiesen ist. (β) Die *epistemologische Krise*: Die eigene Existenz ist nur im Sinne einer subjektiven Gewißheit erfahrbar, die objektive Wahrheit ist damit noch keineswegs gesichert. Einen Ausweg aus beiden Problemen sieht Descartes dann, wenn es ihm gelingt, die Existenz einer vollkommenen Substanz zu begründen, der gleichermaßen die Wahrheit subjektiver Gewißheiten und die Existenz der Außenwelt garantiert. Der nächste Schritt gerät zu einem gewaltsamen Befreiungsschlag aus einer unerträglichen Notlage; er ist keineswegs evident, sondern eine pure Verzweiflungstat.

(ii) Das *zweite Prinzip der Metaphysik*. Descartes führt einen kausalen Beweis für die Existenz einer vollkommenen Substanz. Die Vollkommenheit versteht er im Sinne eines aktual-Unendliche. Der Existenzbeweis wird durch die Analyse der eigenen Bewußtseinsinhalte konstruiert. Die Untersuchung führt über eine lange Argumentationskette, die zahlreiche metaphysische Annahmen beinhaltet: (α) Wissen ist vollkommener als Zweifel. Der zweifelnde Mensch besitzt demnach nicht das Höchstmaß an Vollkommenheit. (β) Der zweifelnde Mensch findet aber in seinen Bewußtseinsinhalten eine klare und deutliche Vorstellung von einer vollkommenen Substanz. Diese Vorstellung muß eine kausale Ursache haben. (γ) Die Gesamtheit der Vorstellungen werden gemäß ihren kausalen Ursachen eingeteilt. Von den drei möglichen kausalen Ursachen müssen zwei ausgeschlossen werden: Die Erfahrung kann nicht die kausale Ursache sein, denn alle Gegenstände der Erfahrung sind unvollkommen. Etwas Unvollkommenes kann nicht die Ursache einer Vorstellung von einer vollkommenen Substanz sein. Die Phantasie kann nicht die kausale Ursache sein, denn aus dem Nichts kann nicht die Vorstellung von einer vollkommenen Substanz entstehen. Als einzige mögliche kausale Ursache für die Idee einer vollkommenen Substanz bleibt die Einprägung durch eine vollkommene Substanz selbst. Diese metaphysischen Annahmen werden als evident angesehen, durch den Verweis auf das „natürliche Licht“ begründet und keiner weitergehenden Analyse unterzogen.

Der Beweis der Existenz einer vollkommenen Substanz hilft Descartes, den Aufbau der Metaphysik im Sinne seiner Gedankenordnung weiterzuführen. Das erste Prinzip liefert das Paradigma des Wahrheitskriteriums; das zweite Prinzip sichert das Wahrheitskriterium. Insbesondere wird jede weitere Untersuchung von Sachverhalten die dritte Stufe des Zweifels nicht mehr durchlaufen müssen, weil die Annahme eines betrügerischen Dämons widerlegt ist. Konsequenterweise prüft Descartes auch die Gegenthese: es gibt keine vollkommene Substanz. Wenn die Idee einer vollkommenen Substanz nicht im menschlichen Ideenvorrat zu finden wäre, dann hätte dies – nach Descartes – verheerende epistemologische Folgen. Der systematische Aufbau der Wissenschaften käme nicht über das erste Prinzip hinaus. Für Descartes ist die Existenz einer vollkommenen Substanz daher aus drei Gründen zwingend erforderlich: Sie garantiert (α) die Existenz anderer Substanzen, (β) die Wahrheit der Erkenntnisse und (γ) die Notwendigkeit der Naturgesetze.³⁶⁶

(iii) Das *dritte Prinzip der Metaphysik*. Abschließend untersucht Descartes die Frage nach Existenz und Wesen der Materie. Für den Nachweis ihrer Existenz genügt es gerade nicht, auf die Sinneswahrnehmungen zu verweisen. Diese sind irrtumsanfällig; sie überstehen noch nicht einmal die erste Stufe des Zweifels und sind daher ohne zusätzliche Begründungen nicht geeignet, zuverlässige Aussagen über die Materie zu liefern. Die einzige Möglichkeit sieht Descartes in der weiteren Analyse der Bewußtseinsinhalte. Wenn hier entsprechende Hinweise zu finden sind, dann muß es dafür eine kausale Ursache geben. Die Vorstellungen von der Materie werden nach dem Alltagsverständnis mit der tatsächlichen Existenz weiterer Substanzen in Verbindung gebracht. Es besteht keine Möglichkeit, diese Einschätzung – sofern sie falsch wäre – zu korrigieren. Es müssen demnach weitere Substanzen existieren; die entsprechenden Vorstellungen sind erworben. Umgekehrt gewendet bedeutet dies: Gott wäre ein Betrüger, wenn der Mensch zwangsläufig einem niemals korrigierbaren Irrtum aufsitzen würde. Mit dieser Argumentationsstrategie – die eher beschwörend als überzeugend klingen – sieht Descartes sich berechtigt, den dritten Existenzsatz der Metaphysik zu formulieren, demzufolge die Materie existiert. Die Frage nach dem Wesen dieser Substanzen entwickelt Descartes an seinem berühmten Wachsbeispiel. Ausgangspunkt ist ein sinnlich gegebenes Stück Wachs im Alltagsverständnis. Die Untersuchung, die er wiederum mit der Methode der Abstraktion führt, bringt ihn zu der Erkenntnis, daß es sich um eine ausgedehnte Substanz handelt. Die Ausdehnung ist demnach das charakteristische Merkmal der Materie.

Obwohl dieser Versuch einer metaphysischen Fundierung des Wissens ein imposantes Gedankenwerk darstellt, muß er dennoch als gescheitert beurteilt werden. Grundsätzlich hat

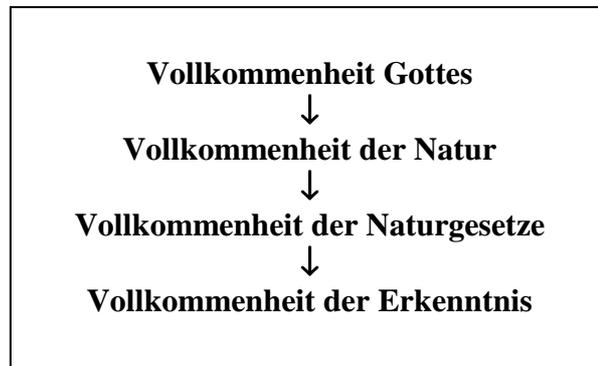
³⁶⁶ Die *rationale Intuition*, die das aktual-Unendliche mit den Mitteln der Vernunft erfassen will, unterscheidet sich prinzipiell von der *irrationalen Intuition* der Mystiker, die das Transzendente durch Offenbarung oder Visionen erfassen will.

Descartes drei Optionen: (α) Er gibt zu, daß er nichts Gewisses finden kann und schließt sich Sokrates an, der weiß, daß er nur weiß, daß er sonst nichts weiß. (β) Er gibt sich mit Wahrscheinlichkeiten zufrieden und reiht sich damit in die lange Reihe seiner philosophierenden Vorgänger ein, von denen er aber in seiner Kritik abschätzig sagt, daß sie keine Wissenschaft gelernt haben. (γ) Er baut das Wissen auf der Grundlage einer vollkommenen Substanz auf. Descartes entscheidet sich für die dritte Option – aber mit welcher Begründung? Sicherlich nicht deshalb, weil die ersten beiden Optionen jedem weiteren vernünftigen Zweifel enthoben sind. Es bleibt der berechtigte Verwurf, daß der intuitiven Erkenntnis eine zu große Last auferlegt wird, wenn sie die zweifelsfreie Fundierung des Wissens leisten soll. In der Folgezeit sind aus diesem Sachverhalt aber auch falsche Konsequenzen gezogen werden, insbesondere wenn die rationale Intuition verworfen wird.

8. Die Rolle der rationalen Intuition in der Naturphilosophie. Das Hauptproblem für die Unzulänglichkeiten der aristotelisch-scholastischen Naturphilosophie sieht Descartes nicht in einer ungenügenden empirischen Datenlage, sondern in einem nicht-adäquaten Begriffssystem. Die Naturphilosophie benötigt eine konzeptionelle Neuformulierung. Dabei erhebt Descartes einen umfassenden Erkenntnisanspruch: Alle Naturphänomene sollen erklärt werden, nicht nur Teilbereiche. Descartes setzt die Analyse der Substanzbegriffe weiter fort: Die Analyse der Begriffe „Ausdehnung“ und „Bewegung“ liefert die geometrischen und kinematischen Eigenschaften und die Analyse des Begriffs „Vollkommenheit“ führt auf die Erhaltungssätze als den fundamentalen Naturgesetzen. Druck und Stoß sind die grundlegenden Wechselwirkungen in der Natur. Dementsprechend stellt die Formulierung der Stoßgesetze das zentrale Problem der Naturphilosophie dar. Descartes sucht die Gesetzmäßigkeiten des Stoßes zu ermitteln und formuliert drei Naturgesetze: das Trägheitsprinzips, des weiteren gibt er zwei allgemeine Stoßgesetze an und zum Schluß diskutiert er verschiedene Spezialfälle.

Descartes skizziert ein eigenwilliges Programm, das Aussagen über die Natur treffen will, ohne dabei Beobachtungen und Experimente zugrunde zu legen. Notwendige und hinreichende Grundlage der Naturerkenntnis ist die Gotteserkenntnis. Allein aus der Begriffsanalyse (Substanzbegriffe, Bewegungsbegriffe) und der Spezifizierung der göttlichen Vollkommenheit (Erhaltung des Materiequantums, Erhaltung des Bewegungsquantums) will Descartes die gesamte Physik deduktiv ableiten. Die durch rationale Intuition gewonnenen Naturgesetze sind idealisierte Gesetzmäßigkeiten, sie sind absolut sicher und bedürfen keiner weiteren Kontrollmechanismen. Widersprüche mit dem empirischen Befund gehen immer zu Lasten der Sinneswahrnehmung. Descartes muß jedoch feststellen, daß seine Grundprinzipien die Naturgesetze nicht immer eindeutig festlegen; Beobachtungen müssen die nötigen Entscheidungshilfen bieten. Die Verstandestätigkeit kann mögliche Strukturen der materiellen Welt erkennen und die Sinneswahrnehmungen helfen, die wirklichen Strukturen aus den möglichen auszusondern. Eine Kontrollinstanz sind Beobachtungen und Experimente aber

gerade nicht. Die Ableitung der Naturgesetze wurzelt allein in den metaphysischen Annahmen der Vollkommenheit Gottes:



Die Vollkommenheit der Naturgesetze manifestiert sich in der Formulierung von Erhaltungssätzen. Neben den geometrischen Eigenschaften der ausgedehnten Substanzen interessieren vor allem die kinematischen Eigenschaften, die aus der göttlichen Vollkommenheit abgeleitet werden sollen. Die Ursache für die Existenz und die Bewegung der Materie ist Gott und die Quantität der Materie und der Bewegung genügen Erhaltungssätzen, die mit dem Hinweis auf die göttliche Vollkommenheit begründet werden. Die Vollkommenheit Gottes manifestiert sich in der Unveränderlichkeit seines Willens und daraus folgt die Unveränderlichkeit der Grundgrößen im Universum. Dies erscheint Descartes zwingend, weil eine Veränderung dieser Grundgrößen ein Indiz dafür wäre, daß Gott es sich anders überlegt.

Weiter legte ich dar, welches die Naturgesetze sind, und versuchte, gestützt auf kein anderes Prinzip als die unendliche Vollkommenheit Gottes, alle die zu beweisen, die man etwa hätte bezweifeln können, und deutlichzumachen, daß sie so umfassend sind, daß es, selbst wenn Gott mehrere Welten geschaffen hätte, keine einzige geben könnte, in der sie nicht beobachtet würden.³⁶⁷

Deshalb ist es durchaus vernunftgemäß, anzunehmen, daß Gott, so wie er bei der Erschaffung der Materie ihren Teilen verschiedene Bewegungen zugeteilt hat, und wie er diese ganze Materie in derselben Art und in demselben Verhältnis, in der er sie geschaffen, erhält, so auch immer dieselbe Menge von Bewegung in ihr enthält.

Aus derselben Unveränderlichkeit Gottes können wir gewisse Regeln als Naturgesetze entnehmen, [...].³⁶⁸

Im Vergleich zum platonischen Mythos der Welterschöpfung kommt es zu einer Verschiebung in der metaphysischen Ausformulierung der göttlichen Vollkommenheit. Im Vordergrund stehen nicht mehr Symmetrien geometrischer Figuren, sondern *Erhaltungssätze*, die sich auf die Grundgrößen beziehen. Dieses Verfahren, nach dem Descartes seine gesamte

³⁶⁷ Descartes 1637, S. 71

³⁶⁸ Descartes 1644, S. 48f

Naturphilosophie aufbaut, wird im Prinzip von Leibniz übernommen und modifiziert. Hier sind es dann Extremalprinzipien, die für die göttliche Vollkommenheit stehen. Die moderne Physik klärt den Zusammenhang zwischen Symmetrien, Erhaltungssätzen und Extremalprinzipien. Sie begründet die Gültigkeit der Extremalprinzipien im Rahmen des mathematischen Formalismus mit dem Verweis auf die Einheit, Einfachheit und Erklärungsleistung der physikalischen Theorien; damit kann sie auf eine Begründung durch transzendente Aussagen verzichten.

1. Platon

Symmetrien

metaphysische Begründung

2. Descartes / Leibniz

Erhaltungssätze / Extremalprinzipien

metaphysische Begründung

3. moderne Physik

Symmetrien / Erhaltungssätze /

Extremalprinzipien

mathematische Begründung

Nachdem Descartes die Ursache für die Gesamtbewegung geklärt hat, wendet er sich den speziellen Ursachen zu und stellt drei Naturgesetze auf. Die ersten beiden Naturgesetze formulieren das Trägheitsprinzip. Im Gegensatz zur aristotelischen Naturphilosophie wird die Bewegung nicht als Prozeß gedeutet, der immer einer Wirkursache erfordert. Descartes erkennt völlig richtig, daß Ruhe und geradlinig-gleichförmige Bewegung nur verschiedene Zustände sind. Alle in der Natur realisierten Bewegungsabläufe sind gebremste Bewegungen. Ohne äußere Ursache verändert ein Körper weder seine Gestalt, noch seinen Zustand der Ruhe, noch seinen Zustand einer geradlinig-förmigen Bewegung. Dies bedeutet, daß nur eine Änderung der geometrischen oder kinematischen Eigenschaften einer äußeren Ursache bedarf. Descartes glaubt, daß das Trägheitsprinzip ein idealisiertes Gesetz ist, das in der Natur niemals realisiert ist und zwar deshalb, weil jede Bewegung Teil einer Wirbelbewegung ist. Das dritte Naturgesetz behandelt den Stoßprozeß im allgemeinen und sieben Stoßgesetze beschreiben die wichtigsten Spezialfälle. Abgesehen vom ersten Stoßgesetz sind alle falsch. Für Descartes sind seine Stoßgesetze evident. Dabei spielt er die rationale Intuition gegen die Erfahrung aus. Für ihn ist undenkbar, daß der größere Körper vom kleineren Körper durch den Stoß zu einer Änderung der Richtung gezwungen wird. Seine Gesetze gelten nur für ideale Bedingungen; unter normalen Bedingungen sind sie nicht realisiert. Sie sind immun gegen die Erfahrung, die nur Stoßprozesse unter normalen Bedingungen angibt. Hier muß gegen Descartes der schwere Vorwurf erhoben werden, daß er das Experiment nicht als Kontrollinstanz akzeptiert. Dieser doppelte Fehler – die Unterbewertung des Experiments und die Überbewertung der Intuition – hat wesentlich dazu beigetragen, daß die rationale Intuition

selbst in Verruf geraten ist. Darüber hinaus erkennt Descartes offensichtlich nicht, daß seine Stoßgesetze bereits aus logischen Gründen unhaltbar sind. Aus der Retrospektive ist klar, daß er die Stoßprozesse nicht adäquat beschreiben kann, insofern er sich auf die geometrischen und kinematischen Eigenschaften von Körpern beschränkt.

9. Vergleich mit einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie. Nach Aristoteles entwirft Descartes das nächste naturphilosophische Gesamtsystem in der Geschichte der Naturphilosophie. Dieses System ist auf dem Hintergrund einer Erkenntnislehre errichtet, die – in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der empirischen Neurowissenschaften – zwei gehirninterne Erkenntnisarten unterscheidet: die Intuition und die Deduktion. Des weiteren unterscheidet Descartes zwischen einer sinnlichen Intuition und einer rationalen Intuition und diskutiert die Belehrung der Intuition und die damit verknüpfte Evidenz. (α) Die sinnliche Intuition ist auf die wahrnehmbaren Phänomene gerichtet und vergegenwärtigt einen Sachverhalt durch eine bildliche Vorstellung. Sie ist irrtumsanfällig und bedarf der Überprüfung durch Kontrollmechanismen. Trotz ihrer Mängel behält die sinnliche Intuition die Funktion der Veranschaulichung und dient damit dem Theorienverständnis. Diese Funktion entfaltet sie hauptsächlich im Zusammenhang mit einer synthetisch-geometrischen Darstellung. (β) Die grundlegendere Erkenntnisart im Erkenntnisprozeß übernimmt die rationale Intuition. Ihre Funktion entfaltet sich hauptsächlich im Zusammenhang mit einer analytisch-arithmetischen Darstellung. Sie ist entweder eine begriffs-orientierte, rationale Intuition oder eine struktur-orientierte, rationale Intuition und sie steht immer erst am Ende einer Belehrung. (γ) Der strukturelle Aufbau der Belehrung der Intuition wird von den empirischen Neurowissenschaften ausdrücklich gestützt und dadurch bestätigt, daß sie den Mechanismus als selbstorganisierenden Lernprozeß aufklärt. Der Sache nach nimmt die cartesische Behauptung von der Belehrung der Intuition gewissermaßen den Gedanken von der Plastizität des Gehirns vorweg. (δ) Ist das Prüfverfahren beendet, dann ist der Ping-Pong-Prozeß der Hypothesenbildung erfolgreich abgeschlossen und eine subjektive Evidenz im Sinne eines Überzeugungsbewußtsein erreicht, das die innere Kohärenz der gedanklichen Leistung feststellt. In der Sprache der Hopfield-Netze entspricht dieser Vorgang dem Aufbau und dem Abruf von Attraktor-Zuständen. In einer Untersuchung ist genau dann eine Lösung gefunden und kein weiterer vernünftiger Zweifel möglich, wenn alle Problem-relevanten Attraktor-Zustände systematisch abgerufen und überprüft wurden und ein Attraktor-Zustand eindeutig ausgezeichnet ist. Es ist offensichtlich, daß dies zuallererst von der Etablierung von Attraktor-Zuständen abhängt und sicher keine objektive Evidenz begründen kann. (ϵ) Den Zusammenhang von sinnlicher Intuition, rationaler Intuition und Deduktion beschreibt Descartes sehr zutreffend in seiner Metapher von der Perlenkette. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der empirischen Neurowissenschaften erkennt Descartes, daß jede Erkenntnis in der Intuition wurzelt. Den wichtigsten Beitrag leistet Descartes im Hinblick auf eine operatives Mathematikverständnis. Dieses wird von Leibniz aufgenommen und weiterentwickelt (vgl. Kapitel 2.2).

Die leibnizsche Unterscheidung von intuitiver und symbolischer Erkenntnis

Leibniz (1646 – 1716) entwickelt die Idee einer symbolischen Logik und verfolgt das überaus ehrgeizige Programm einer *universellen Zeichenlehre*. Alle Aussagen der Wissenschaften sollen aus einfachen Elementen durch Kombination aufgebaut und durch einen logischen Kalkül berechenbar gemacht werden. Unter der Idee einer formalen Universalwissenschaft strebt Leibniz eine architektonische Organisation des Wissens an. Die Metaphysik, derzufolge die Wirklichkeit aus Monaden besteht, kann durch eine streng logisch konstruierte Theorie beschrieben werden. Vor Leibniz wird angenommen, daß sich das Wesen jedes Seienden in der jeweiligen Art oder Gattung zeige; er hingegen betont, daß jedes Seiende in seiner einzigartigen *Individualität* verstanden werden muß. Die Individualität wird hier zum zentralen Thema. Die Substanzontologie ist mit einer Begriffstheorie verknüpft, die den Gedanken des *vollständigen Begriffs* und der kombinatorischen Begriffs-zusammensetzung entwickelt. Die Grundprinzipien seiner Philosophie haben demnach nicht nur einen metaphysischen, sondern immer auch einen logischen Charakter. Leibniz stellt zwei metaphysische Prinzipien an den Anfang jeglicher Erkenntnis: (α) Das Prinzip des ausgeschlossenen Widerspruchs und (β) das Prinzip des zureichenden Grundes. Auf dieser Grundlage entwickelt er seine Begriffslehre, seine Substanzenlehre und seine Raum-Zeit-Lehre. Für Leibniz sind diese Prinzipien eingeborene Wahrheiten, deren Gültigkeit durch die intuitive Erkenntnis, ohne Rückgriff auf die Erfahrung festgestellt werden kann. Zum weiteren Besitz, den die Vernunft in sich trägt, gehören die Grundbegriffe (Sein, Einheit, Vielheit, Verschiedenheit, Substanz) und die ursprünglichen Wahrheiten der Logik, Arithmetik und Geometrie.

Leibniz beruft sich auf eine struktur-orientierte, rationale Intuition als Gegenbegriff zur demonstrativen Erkenntnis. Als charakteristische Merkmale der intuitiven Erkenntnis nennt er: (α) das schlagartige Erfassen einfacher Begriffe und ursprünglicher Wahrheiten, (β) der methodische Einsatz von Kontrollinstanzen (Logik, Übergang vom Endlichen zum Unendlichen) und (γ) der Bezug auf den mathematisch und philosophisch geschulten Verstand. Darüber hinaus befaßt sich Leibniz mit zwei verschiedenen Arten der Repräsentation, die sich wiederum auf zwei verschiedene Erkenntnisarten stützen: die *intuitive Erkenntnis*, die sich auf eine synthetisch-geometrische Darstellung bezieht und die *symbolische Erkenntnis*, die sich auf eine analytisch-arithmetische Darstellung bezieht und Gebrauch macht vom abstrakten, cartesischen Zahlbegriff, der sich dem Zwang einer geometrischen Interpretation entledigt hat.

1. Die Kunst des Auffindens & die Kunst des Beurteilens. Die zwischen 1679 und 1691 entstandenen Schriften *Über die universale Synthese und Analyse oder über die Kunst des Auffindens und Beurteilens* und *Abhandlung über die Methode der Gewißheit und die Kunst des Auffindens* führen den Gedanken einer formalen Universalwissenschaft mit den Mitteln einer universellen Zeichenlehre näher aus. Leibniz sucht mit seiner neuen Logik den von

Bacon und Descartes vorgetragenen Vorwurf der Unfruchtbarkeit der aristotelischen Logik zu entkräften.

Denn die Wahrheiten, die noch gut begründet werden müssen, sind von zweifacher Art: die einen werden nur verworren und unvollkommen gewußt, und die anderen sind überhaupt nicht bekannt. Auf die ersten muß man die Methode der Gewißheit oder die Kunst des Beweisens anwenden, die anderen brauchen die Kunst des Auffindens, [...].³⁶⁹

Die neue Logik hat eine doppelte Funktion: (α) der *synthetische Aspekt* der Logik ermöglicht das systematische Auffinden neuer Erkenntnisse und (β) der *analytische Aspekt* der Logik gestattet die Begründung bisher ohne Beweis akzeptierter Sätze. Für Leibniz ist der Entstehungszusammenhang und der Rechtfertigungszusammenhang wissenschaftlicher Theorien gleichermaßen wichtig. Der naturphilosophische Aufbruch in der Neuzeit ist allerdings erfolglos bemüht, eine strikte Kunst des Erfindens zu entdecken; gewissermaßen eine Kunst, die sich lehren und lernen läßt.

2. Die metaphysischen Grundprinzipien. Das Fundament der Mathematik und der Naturphilosophie ist das *Prinzip des ausgeschlossenen Widerspruchs*. Mathematische Sätze sind für Leibniz – im Gegensatz zu Kant – immer analytische Urteile; für sie ist das Prinzip des ausgeschlossenen Widerspruchs notwendig und hinreichend. Die Naturphilosophie benötigt für ihre Aussagen zusätzlich das *Prinzip des zureichenden Grundes*. Leibniz unterteilt die Gesamtheit der Aussagen in zwei Arten: (α) Die *Vernunftwahrheiten*: Diese sind notwendig, weil ihr Gegenteil einen Widerspruch enthält. (β) Die *Tatsachenwahrheiten*: Diese sind kontingent, aber dennoch gewiß. Das Gegenteil einer kontingenten Aussage enthält zwar keinen Widerspruch, aber es muß gemäß dem Prinzip des zureichenden Grundes einen Grund dafür geben, warum sie wahr ist. Der letzte Grund für die Gültigkeit einer Reihe kontingenter Tatsachenwahrheiten kann nur außerhalb ihrer liegen und begründet dann die Existenz einer vollkommenen Substanz.

Die entscheidende Grundlage für die Mathematik ist der Satz vom Widerspruch [...]. Allein dieser Satz reicht aus, die gesamte Arithmetik und Geometrie, das heißt, sämtliche mathematischen Sätze zu beweisen. Um aber von der Mathematik zur Physik übergehen zu können, ist noch ein anderer Satz erforderlich, [...], das ist der Satz vom hinreichenden Grunde, nämlich es ereignet sich nichts, ohne daß es einen Grund gibt, warum es so und nicht anders ist.³⁷⁰

Es gibt ferner zwei Arten von *Wahrheiten*: *Vernunftwahrheiten* und *Tatsachenwahrheiten*. Die Vernunftwahrheiten sind notwendig, und ihr Gegenteil ist unmöglich; die Tatsachenwahrheiten sind zufällig, und ihr Gegenteil ist möglich. Ist eine Wahrheit notwendig, so kann man ihren Grund durch Analyse finden, indem man sie in einfachere Ideen und Wahrheiten auflöst, [...].

³⁶⁹ Leibniz 1691, Bd. 4, S. 211

³⁷⁰ Leibniz 1715, S. 25f

Man gelangt hierbei zuletzt auf einfache Ideen, von denen man keine Definition mehr geben kann; ebenso gelangt man zu Axiomen und Postulaten oder, in einem Wort, zu *ursprünglichen Prinzipien*, die nicht bewiesen werden können und auch gar keines Beweises bedürfen. Das sind die *identischen Sätze*, deren Gegenteil einen ausdrücklichen Widerspruch enthält.³⁷¹

Die Grundprinzipien – wie sie Leibniz versteht – sind insbesondere unter vier Aspekten bemerkenswert: (i) Eine Tatsachenwahrheit ist – isoliert betrachtet – nicht notwendig, sondern nur möglich. Wird die Tatsachenwahrheit aber im Zusammenhang mit anderen, ebenso möglichen Tatsachenwahrheiten betrachtet, so fordert die Verwirklichung der einen auch die Verwirklichung der anderen. Eine Tatsachenwahrheit muß demnach mit allen anderen gleichzeitig möglich sein. (ii) Der Unterschied von Vernunft- und Tatsachenwahrheiten besteht nur für ein erkennendes Subjekt **S**, das einer vollkommenen Erkenntnis nicht fähig ist; vom Standpunkt Gottes aus sind alle Aussagen Vernunftwahrheiten. Je höher die Erkenntnisfähigkeit, desto größer ist der Anteil der Vernunftwahrheiten an der Gesamtheit aller Wahrheiten. Die Einteilung ist demnach abhängig vom jeweiligen Erkenntnisstand des erkennenden Subjekts **S**. (iii) Das Prinzip des zureichenden Grundes ist durchgängig gültig, hat demnach einen außerordentlich umfassenden Anwendungsbereich und daher eine große Erklärungskraft. Es ist intuitiv einsichtig und evident; es ist einfach, ursprünglich und keines weiteren Beweises bedürftig. In diesem Prinzip berühren sich logische, physikalische und theologische Bereiche. (iv) Aus der Vollkommenheit Gottes folgt die universelle Gültigkeit der metaphysischen Prinzipien. Nach Leibniz handelt Gott niemals willkürlich, sondern immer gemäß Gründen, die in seinen Vollkommenheitsattributen (allmächtig, allwissend, allgütig) wurzeln. Die metaphysischen Grundsätze haben daher auch für Gott uneingeschränkte Gültigkeit. (α) Gott denkt nichts und schafft nichts, was im Widerspruch mit sich selbst oder mit seinen anderen Werken steht. (β) Gott tut nichts, ohne dafür einen zureichenden Grund zu haben. Diese Auffassung, wonach selbst Gott an das Prinzip des zureichenden Grundes gebunden ist, wird von denjenigen abgelehnt, die darin eine Einschränkung des freien Willens Gottes sehen. Die Frage, wie sich die metaphysischen Prinzipien zur Vollkommenheit Gottes verhalten, gibt 1715/16 Anlaß zu einer polemischen Debatte zwischen Leibniz und Clarke.

3. Der vollständige Begriff & die kombinatorische Begriffstheorie. Für Leibniz sind Begriffe zusammengesetzte Begriffe, die durch Analyse in ihre irreduziblen Bestandteile – also in einfache Begriffe – zerlegt werden können. Alle zusammengesetzten Begriffe lassen sich durch eine endliche oder unendliche Konjunktion von einfachen Begriffen konstituieren. Die kombinatorische Begriffstheorie besagt dann, daß ein Begriff genau dann *vollständig* ist, wenn alle Teilbegriffe aufgeführt sind. Der so festgelegte vollständige Begriff kennzeichnet genau einen Gegenstand; äquivalente Begriffe sind nicht möglich. Demzufolge ergeben sich vier

³⁷¹ Leibniz 1714, S. 41f

Aufgaben: (α) Die Analyse der vollständigen Begriffe in ihre Teilbegriffe, d.h. die vollständige Zerlegung in einfache Begriffe. (β) Die Synthese aller vollständigen Begriffe, d.h. die kombinatorische Zusammensetzung von einfachen Begriffen. (γ) Die vollständige Inventarisierung der einfachen Begriffe. (δ) Die vollständige Inventarisierung der zusammengesetzten Begriffe. Demzufolge sind Begriffe in folgender Form darstellbar:

$$\mathbf{B \text{ ist } B_1 \wedge B_2 \wedge B_3 \dots}$$

Begriffe sind im Sinne einer intensionalen Begriffsbedeutung zu verstehen, d.h. das Prädikat ist im Subjekt bereits enthalten; jedes wahre Urteil ist analytisch und lautet

$$\mathbf{B \text{ ist } B_k}$$

Dieses Urteil läßt sich dann im Sinne eines identischen Satzes lesen. Der Prädikatbegriff ist ein im Subjektbegriff enthaltener Teilbegriff. Eine vollkommene Erkenntnis eines Subjekts ermöglicht es, durch eine Analyse des Begriffs jedes darin enthaltene Prädikat zu erschließen. Beispielsweise ließe sich, sofern eine adäquate Idee von Cäsar vorläge, durch Begriffsanalyse einsehen, ob und wann er den Rubikon überschritten hat und ob und wann er ermordet wurde. Insbesondere folgt daraus, daß nur für ein erkennendes Subjekt **S**, das über eine vollkommene Erkenntnis verfügt, jedes Urteil analytisch ist. Die menschliche Erkenntnisfähigkeit erlaubt bestenfalls im Hinblick auf mathematische Erkenntnisgegenstände eine vollkommene Erkenntnis; alle kontingenten Tatsachen sind durch inadäquate Begriffe charakterisiert.

4. Die Ideenlehre & die Methode der speziellen Definitionen. Leibniz steht in der Tradition der rationalistischen Ideenlehre von Descartes; er argumentiert aber scharf gegen die unzulänglichen Kriterien der cartesischen Evidenzauffassung. In seiner Schrift *Betrachtungen über die Erkenntnis, die Wahrheit und die Ideen* von 1684 setzt er sich kritisch mit der Lehre von den klaren und deutlichen Ideen auseinander. Was als klar und deutlich bewertet wird, ist nach Descartes eine Sache der rationalen Intuition, die keinen weiteren vernünftigen Zweifel zuläßt. Dies bietet dann Anlaß zu philosophischen Auseinandersetzungen über die Maßstäbe und Inhalte gesicherter Erkenntnis. Nach Leibniz hat Descartes das Kriterium der klaren und deutlichen Erkenntnis als notwendiges und hinreichendes Wahrheitskriterium überanstrengt. Mit guten Gründen tritt er diesem ungerechtfertigten Vertrauen entgegen.³⁷²

³⁷² In einem Schreiben von 1684 an den Landgrafen Ernst zu Hessen-Rheinfels führt Leibniz seine Vorbehalte aus. Die Kriterien der Klarheit und Deutlichkeit selbst sind nicht klar und deutlich genug bestimmt: „Ich fordere also handgreifliche Kriterien der Wahrheit, Kriterien, welche ebensowenig einen Zweifel übriglassen wie Rechnungen mit Zahlen. Daher achte ich jene Kriterien gering, welche so ausgelegt sind, daß sie nur eben die geringsten Schwierigkeiten machen, wie z.B., wahr sei, was klar und deutlich erkannt werde. Es bedarf nämlich handgreiflicher Kennzeichen für das Klare und Deutliche, da ja die Menschen über diese Bestimmungen oft uneins sind [...]“. Leibniz fügt der cartesischen Evidenzlehre den wichtigen Aspekt der Widerspruchsfreiheit der Teilbegriffe hinzu. Er will dann nur noch einen Fall intuitiver Einsicht gelten lassen: den der identischen Sätze als Ergebnis einer vollständigen Begriffsanalyse. Die damit verknüpfte maßlose Forderung, alle Aussagen auf identische Sätze zurückzuführen, ist ihrerseits wiederum zum Scheitern verurteilt.

Für Leibniz ist die Definition das Werkzeug der Begriffsanalyse. Die Merkmale gesicherter Erkenntnis gründen dann auf der Methode spezieller Definitionen als Begriffsunterscheidungen. Wie Descartes – aber im Gegensatz zu Kant – unterscheidet Leibniz für seine Methode der speziellen Definitionen nicht zwischen Ideen und Begriffen.

- (i) Die *ostensive Definition*: Ideen sind klar oder dunkel. Klare Ideen sind deutlich oder verworren. Klar und verworren sind alle Sinneswahrnehmungen (Farben, Töne), die wiedererkannt werden, ohne daß gesagt werden kann, worin ihre Unterschiede oder Eigenschaften bestehen. Sie können nur durch den Hinweis auf die jeweilige Wahrnehmung mitgeteilt werden.
- (ii) Die *nominale Definition*: Zu den klaren und deutlichen Ideen gehören – neben den einfachen Begriffen – die zusammengesetzten Begriffe, sofern sie sich durch die Aufzählung zureichender Merkmale bestimmen lassen.
- (iii) Die *reale Definition*: Eine nominale Definition wird dann zu einer realen Definition, wenn die Möglichkeit des Sachverhalts einget, d.h. wenn die Widerspruchsfreiheit geprüft ist. Was einen Widerspruch enthält, ist unmöglich und daher evidenterweise nicht existent. Die Erkenntnis, ob das möglich Existierende auch das faktisch Existierende ist, kann apriori oder aposteriori sein. Aposteriori ist eine Erkenntnis durch den Verweis auf die entsprechende Tatsachenwahrheit.
- (iv) Die *kausale Definition*: Apriori ist eine Erkenntnis durch den Verweis auf die Konstruktionsmöglichkeiten. Die Möglichkeit eines Sachverhalts läßt sich demnach apriori einsehen, wenn erkannt wird, auf welche Weise der Erkenntnisgegenstand erzeugt werden kann. Reale Definitionen, die eine Konstruktionsvorschrift beinhalten, sind kausal. Die Konstruierbarkeit sichert die Widerspruchsfreiheit; dies ist notwendig und hinreichend für die Existenz.
- (v) Die *wesentliche Definition*: Wird ein zusammengesetzter Begriff vollständig in einfache Begriffe zerlegt und enthalten diese keine unausgesprochenen oder unbewiesenen Voraussetzungen, dann ist die Definition wesentlich.

Im Zusammenhang mit der kombinatorischen Begriffstheorie ist also im Einzelfall der Nachweis zu führen, daß alle Teilbegriffe eines zusammengesetzten Begriffs untereinander widerspruchsfrei sind, d.h. die Prädikate müssen kompossibel sein. Die Begriffsanalyse muß demnach solange fortgesetzt werden, bis alle irreduziblen Bestandteile vorliegen. Diese Analyse ist deshalb erforderlich, weil nur dann festgestellt werden kann, ob die zusammengesetzten Begriffe keinen Widerspruch enthalten. Das Prinzip des ausgeschlossenen Widerspruchs wird somit zum Zusatzkriterium für die Evidenz der Erkenntnis.

[...] ich nenne eine *Definition nominal*, wenn man noch zweifeln kann, ob der definierte Begriff möglich ist [...]; wenn aber die Eigenschaft dazu beiträgt, die Möglichkeit der Sache zu erkennen, so macht sie die Definition zu einer realen. [...] Wenn aber der Beweis der Möglichkeit apriori geführt wird, so ist die Definition *real* und auch *kausal*, wie wenn sie die mögliche Erzeugung der Sache in sich schließt. Und wenn sie die Analyse bis zu den ursprünglichen Begriffen zu Ende führt, ohne irgendetwas vorauszusetzen, was eines apriorischen Beweises seiner Möglichkeit bedürfte, so ist die Definition vollkommen oder *wesentlich*.³⁷³

Als Beispiel für eine kausale Definition führt Leibniz den Gedanken der Konstruktion einer geometrischen Figur an. Für Leibniz sind – im Gegensatz zu Kant – ausnahmslos alle geometrischen Sätze analytisch, d.h. sie lassen sich auf Identitätsaussagen zurückführen. Im Begriff „Dreieck“ ist das Prädikat von der Winkelsumme „ $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$ “ enthalten. Ein anderes Prädikat „ $\alpha + \beta + \gamma < 180^\circ$ “ oder „ $\alpha + \beta + \gamma > 180^\circ$ “ ist logisch ausgeschlossen. Konsequenterweise ist – nach Leibniz – eine nicht-euklidische Geometrie aus logischen Gründen nicht möglich. Die Konstruierbarkeit einer geometrischen Figur zielt bei Leibniz nicht auf das Konstruktionsergebnis, sondern auf den Konstruktionsprozeß. Für ihn kommt es nicht auf die konkrete geometrische Figur an, sondern nur auf die Angabe eines Verfahrens, nach dem die Konstruktion von geometrischen Figuren auszuführen ist. Dabei hat Leibniz zwei verschiedene Verfahren im Blick: (α) den synthetisch-geometrischen Konstruktionsprozeß, der die Herstellung einer Figur durch die Bewegung eines Punktes beschreibt und (β) den analytisch-arithmetischen Konstruktionsprozeß, der die Herstellung einer Figur durch mathematische Operationen mit Zahlzeichen nach Regeln meint.³⁷⁴ Das gewaltige Potential, das mit dem analytisch-arithmetischen Konstruktionsprozeß verbunden ist, entfaltet sich im 19. Jahrhundert schrittweise im Zusammenhang mit einer operativ verstandenen Mathematik (vgl. Kapitel 2.2).

5. Intuitive Erkenntnis & symbolische Erkenntnis. Für den weiteren Aufbau seiner Begriffslehre führt Leibniz die Einteilung der klaren und deutlichen Begriffe fort: (α) Die Einteilung in das Gegensatzpaar *adäquat* und *nicht-adäquat* gemäß dem Verhältnis zu dem zu erkennenden Objekt **O**: Ein Begriff ist genau dann adäquat, wenn die Zerlegung in Teilbegriffe vollständig durchgeführt und jeder Teilbegriff klar und deutlich ist. (β) Die Einteilung in das Gegensatzpaar *symbolisch* und *intuitiv* gemäß dem Verhältnis zu dem erkennenden Subjekt **S**: Die symbolische Erkenntnis ist eine Erkenntnis, die ein Zeichen zur Abkürzung eines komplexen Sachverhalts verwendet, weil die Konjunktion von Teilbegriffen nicht alle zugleich im Denken erfaßt werden können. Beispielsweise läßt sich das Unendliche nur als Zeichen ∞ denken und damit durch eine symbolische Erkenntnis erfassen. Vollständige Begriffe sind adäquat und intuitiv. Nur die einfachen Begriffe können durch Intuition erfaßt werden und gelten dann als evident.

³⁷³ Leibniz 1686, Bd. 1, S. 127f

³⁷⁴ Ende 1973, S. 14ff

Die Erkenntnis ist also entweder *dunkel* oder *klar* und die klare Erkenntnis wiederum entweder *verworren* oder *deutlich*, die deutliche Erkenntnis aber entweder *inadaequat* oder *adaequat* und gleichfalls entweder *symbolisch* oder *intuitiv*; wenn aber die Erkenntnis zugleich *adaequat* und *intuitiv* ist, so ist sie am vollkommensten.³⁷⁵

Meistens aber, zumal bei längerer Analyse, sehen wir nicht das ganze Wesen der Sache zugleich ein, sondern bedienen uns an Stelle der Dinge der Zeichen, deren Erklärung wir beim augenblicklichen Denken der Abkürzung wegen aussetzen, da wir wissen oder glauben, daß wir sie zur Verfügung haben [...]; ich pflege diese Erkenntnis [...] *symbolisch* zu nennen, deren wir uns in der Algebra und Arithmetik, ja sogar fast überall bedienen. Und gewiß können wir, wenn der Begriff sehr zusammengesetzt ist, nicht alle in ihn eingehenden Begriffe gleichzeitig denken: wo dies dennoch zulässig ist, oder wenigstens in dem Maße, in dem es zulässig ist, nenne ich die Erkenntnis *intuitiv*. Die Erkenntnis der einfachen deutlichen Begriffe ist nicht anders als intuitiv gegeben, so wie das Denken der zusammengesetzten Begriffe meist nur symbolisch ist.

Daraus wird schon offenkundig, daß wir auch die Ideen der Dinge, die wir deutlich erkennen, nur auffassen, insofern wir uns des intuitiven Denkens bedienen.³⁷⁶

An geometrischen Beispielen verdeutlicht Leibniz: Dreiecke können sowohl intuitiv als auch symbolisch erfaßt werden. Tausendecke hingegen können nur symbolisch erfaßt werden.

Wenn mir jemand ein regelmäßiges Vieleck vorlegt, so können mir Anblick und Bildeindruck die darin liegende Tausendzahl nicht zum Verständnis bringen. Ich habe sowohl von der Figur, wie von der Zahl nur eine *verworrene Idee*, wenn ich die Zahl nicht dadurch *unterscheide*, daß ich zähle. Habe ich sie aber herausgefunden, so kenne ich sehr gut die Natur und Eigenschaften des vorgelegten Vielecks, insofern sie die des Tausendecks sind, und habe folglich davon diese Idee, während ich kein Bild eines Tausendecks haben werde, [...]. Die Erkenntnis der Figuren hängt aber so wenig wie die der Zahlen von der Bildvorstellung ab, obwohl diese dazu beiträgt.³⁷⁷

Besonders bemerkenswert ist die Funktion der *symbolischen Erkenntnis*. Für Leibniz wird sie zum Instrument, um Wissen nicht nur darzustellen oder mitzuteilen, sondern auch um Wissen herzustellen. Der Sache nach bedeutet dies, daß nun nicht mehr der Umgang mit den Gegenständen im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Forschung steht, sondern der Umgang mit den *Zeichen* für die Gegenstände. Angewendet auf die Mathematik meint dies: Es wird nicht mit konkreten Zahlen, sondern mit Zahlzeichen gerechnet und zwar nach Regeln, die nur Bezug nehmen auf die spezifische Struktur des Zahlzeichensystems. In diesem Sinne verfolgt Leibniz das Programm einer universellen Zeichenlehre. Eine seiner großen Leistungen ist der Begriff „Kalkül“, den Leibniz durch drei Merkmale bestimmt: (α) Eine bestimmte Menge von Grundzeichen ist vorgegeben. (β) Formationsregeln legen fest, welche

³⁷⁵ Leibniz 1684, Bd. 1, S. 33

³⁷⁶ Leibniz 1684, Bd. 1, S. 37

³⁷⁷ Leibniz 1704a, S. 469f

Formeln im Sinne von Zeichenketten gebildet werden dürfen. (γ) Transformationsregeln legen fest, welche Operationen auf die Formeln angewendet werden dürfen um daraus neue Formeln herzuleiten.³⁷⁸ Die Regeln des Kalküls sind deutungsinvariant, d.h. die Konstruktion des Kalküls geht seiner Interpretation voraus. Damit sind wichtige Konsequenzen verknüpft: Zum einen wird die Möglichkeit eröffnet, daß sich Kalküle verselbständigen, d.h. es können Kalküle geschaffen und ihre Strukturen studiert werden, denen keine Referenz zukommt. Zum anderen wird die Möglichkeit eröffnet, daß kausale Definitionen, die auf die Angabe eines regel-geleiteten Konstruktionsverfahrens abzielen, auch die mathematischen Gegenstände des Unendlichen (unendliche Folgen, Infinitesimalkalkül, ideale Elemente etc.) zulassen, die gerade nicht im Sinne eines fertigen Konstruktionsergebnisses vorliegen.

Zusammenfassend unterscheidet Leibniz vier verschiedene Erkenntnisarten: (α) Die *sensitive Erkenntnis*: Diese Erkenntnisart bezieht sich auf die Sinne als Erkenntnisquelle und auf die raum-zeitlichen Phänomene als ihre Erkenntnisgegenstände. (β) Die *demonstrative Erkenntnis*: Diese Erkenntnisart bezieht sich auf den Verstand als Erkenntnisquelle; sie ist darauf angelegt, logische und geometrische Beziehungen schrittweise aufzubauen. Das so Erkannte ist nur mittelbar durch Beweise einsichtig. (γ) Die *symbolische Erkenntnis*: Diese Erkenntnisart bezieht sich auf den Verstand als Erkenntnisquelle; sie ist darauf angelegt, mathematische Zeichen als Instrumente zu verwenden. (δ) Die *intuitive Erkenntnis*: Diese Erkenntnisart bezieht sich auf den Verstand als Erkenntnisquelle und auf einfache Begriffe, Prinzipien und Axiome, sowie fundamentale logische und mathematische Beziehungen als ihre Erkenntnisgegenstände. Das so Erkannte ist unmittelbar einsichtig. Diese Erkenntnisart soll hauptsächlich die Gewißheit der Erkenntnis sichern.

6. Die Monaden & die rationale Intuition. Leibniz entwickelt in seinen beiden Schriften *Vernunftprinzipien der Natur und der Gnade* und *Monadologie* von 1714 eine Substanz-ontologie mit unausgedehnten, gestaltlosen, unteilbaren, unerzeugbaren, unzerstörbaren und relationslosen – also „fensterlosen“ – Individuen, die durch ein *Lebensprinzip* charakterisiert sind. Monaden sind sinnlich nicht erfahrbar; sie sind nur gedankliche Konstrukte, die das Wesen der Wirklichkeit beschreiben. Wie Descartes will auch Leibniz die gesamte Philosophie auf dem Fundament einiger weniger metaphysischer Prinzipien errichten, die teilweise logisch abhängig voneinander sind. Hierzu gehören: (i) das Prinzip des ausgeschlossenen Widerspruchs, (ii) das Prinzip des zureichenden Grundes, (iii) das Indiszernibilienprinzip bzw. das Prinzip der Identität des Ununterscheidbaren, (iv) das Kontinuitätsprinzip bzw. das Prinzip der Stetigkeit, (v) das Prinzip der kompossiblen Substanzen, (vi) das Prinzip der besten aller Welten und (vii) das Prinzip der prästabilierten Harmonie. Die Monadenlehre wurzelt in diesen metaphysischen Prinzipien; für Leibniz sind sie vernünftig und damit durch eine rationale Intuition einsichtig.

³⁷⁸ Krämer 1992

Monaden sind substantialisierte logische Subjekte. In der Begriffslehre wird dieser Sachverhalt unter der Bezeichnung eines *vollständigen Begriffs* eingeführt. Die Vollständigkeit des Begriffs sichert, daß in diesem Begriff bereits alle Teilbegriffe enthalten sind; d.h. der vollständige Begriff bezeichnet eindeutig eine *individuelle Substanz*. Jede Monade ist charakterisiert durch Einheit, Einfachheit, eine radikale Individualität und ein Lebensprinzip. Gemäß dem *Indiszernibilenprinzip* können zwei Monaden nicht in allen ihren Bestimmungsmerkmalen übereinstimmen. Es hat keinen Sinn – meint Leibniz –, von verschiedenen Individuen zu sprechen, wenn sich kein einziges Merkmale angeben läßt, gemäß dem sie unterschieden werden können. Die Monaden haben nur innere Eigenschaften oder Tätigkeiten, die durch eine Konjunktion unendlich vieler ein-stelliger Wesensprädikate ausgedrückt werden können. Sie sind durch zwei Fähigkeiten charakterisiert: (α) das Vermögen der Perzeption und (β) das Vermögen der Appetition.

Der veränderungsfähige Zustand einer Monade nennt Leibniz eine *Perzeption*. Hier handelt es sich um Bewußtseinsinhalte in einem sehr allgemeinen Sinne. Der Spezialfall der bewußten Perzeptionen bezeichnet Leibniz als Apperzeption. Dazu gehört insbesondere auch das Selbstbewußtsein, d.h. die Reflexion über den eigenen inneren Zustand. Unbewußt bleibende Perzeptionen bezeichnet Leibniz als kleine Perzeptionen. Der Grad der Vollkommenheit einer Monade richtet sich nach dem Verhältnis der kleinen Perzeptionen zu den Apperzeptionen. Je nach dem Anteil an Apperzeptionen gibt es eine hierarchische Struktur der Monaden. Je höher der Anteil der Apperzeptionen ist, desto größer ist der Anteil der Vernunftwahrheiten an der Gesamtheit der Wahrheiten. Für eine Monade, die auf einer niedrigen Stufe steht, kann es nur Tatsachenwahrheiten geben; d.h. sie kann nur Erfahrungen sammeln, aber keine Vernunftschlüsse ziehen. Vom Standpunkt Gottes aus sind alle Aussagen Vernunftwahrheiten. Der Mensch nimmt eine mittlere Position ein; er kennt sowohl Tatsachenwahrheiten als auch Vernunftwahrheiten. Bemerkenswert daran ist der Gedanke, alle Monaden in einen kontinuierlichen Zusammenhang bezüglich ihrer Bewußtseinszustände zu stellen. Der prinzipielle Unterschied, den Descartes zwischen Tier, Mensch und Gott zu sehen glaubt, wird von Leibniz aufgehoben zugunsten eines nur graduellen Unterschiedes.

Die Fähigkeit der Monade, von einer Perzeption zu einer anderen Perzeption überzugehen, nennt Leibniz *Appetition*. Die Veränderungen in den Monaden erfolgen ausschließlich nach dem *Kontinuitätsprinzip*; die Möglichkeit diskontinuierlicher Veränderungen schließt Leibniz ausdrücklich aus: Die Natur macht keine Sprünge. Monaden sind Einheiten stetig veränderlicher Eigenschaften \mathbf{M}_k . Mathematisch gesehen entwickelt Leibniz hier den wichtigen Funktionsbegriff. Die Veränderung meint also den stetigen Übergang von mindestens einer Perzeption zur anderen, ausgedrückt durch eine Änderung des entsprechenden Prädikats $\mathbf{M}_k \rightarrow \mathbf{M}_k^*$. Die gesetzmäßige Verknüpfung von Perzeptionen sichert die Identität der Monade. Das mathematische Gesetz, nach dem sich die stetigen Veränderungen vollziehen, bleibt stets unverändert.

7. Existenz & Eindeutigkeitssätze: die vollkommene Substanz & die beste aller Welten.

Das Vermögen der Perzeption und der Appetition kommt den Monaden nur in Abhängigkeit von einer vollkommenen Substanz (Gott) zu. In der Substanzenlehre nimmt daher der Nachweis der Existenz und Eindeutigkeit Gottes eine Schlüsselfunktion ein. Leibniz verfolgt dies in drei Schritten:

- (i) Die **Begriffsbestimmung (nominale Begriff)**: Der Begriff der Vollkommenheit kann sich nur auf Prädikate beziehen, die eines letzten Grades fähig sind. Im Unterschied zur Zahl, die nur als potentiell-Unendliches vorkommt, müssen Prädikate genannt werden, die im Sinne des aktual-Unendlichen denkbar sind. Darunter fallen – so meint Leibniz – die göttlichen Prädikate wie allmächtig, allwissend und allgütig.
- (ii) Der **Existenzsatz (reale Begriff)**: Für die Existenz Gottes führt Leibniz zwei Beweise an: (α) der *aposteriorische / kausale Gottesbeweis*: Für die Existenz der geschaffenen Welt muß das *Prinzip des zureichenden Grundes* gelten; dieser liegt außerhalb der erfahrbaren Dinge und ist eine notwendige Substanz, die den Grund ihrer Existenz in sich selbst trägt. (β) der *apriorische / ontologische Gottesbeweis*. Die vollkommene Substanz ist logisch möglich, d.h. sie verletzt nicht das *Prinzip des ausgeschlossenen Widerspruchs* und muß demnach notwendig existieren.
- (iii) Der **Eindeutigkeitssatz**: Das *Indiszernibilienprinzip* fordert die Eindeutigkeit der vollkommenen Substanz. Gäbe es zwei vollkommene Substanzen, dann wären diese ununterscheidbar und damit identisch.

Die metaphysischen Prinzipien sollen insbesondere auch verständlich machen, warum es überhaupt Etwas und nicht vielmehr Nichts gibt. Tatsachenwahrheiten sind kontingent, demnach wäre eine unendliche Anzahl von Welten möglich. Eine mögliche Welt meint eine widerspruchsfrei denkbare Welt, d.h. eine Welt, die dem *Prinzip des ausgeschlossenen Widerspruchs* genügt. Im logischen Kalkül lassen sich alle möglichen Welten in zwei Schritten formulieren: (α) Es werden alle logisch möglichen komplexen Begriffe aus den einfachen Begriffen aufgebaut. (β) Diese komplexen Begriffe werden zu allen logisch möglichen Aussagen zusammengesetzt. Dadurch läßt sich die Gesamtheit aller möglichen Welten gewinnen. Das *Prinzip des zureichenden Grundes* sorgt dafür, daß Gott aus der Gesamtheit aller möglichen Welten diejenige auswählt, die dem *Prinzip der besten aller möglichen Welten* entspricht. In seiner Allmacht kann Gott jede beliebige, logisch mögliche Welt erschaffen. Als allwissendes und allgütiges Wesen kann er nur das Beste wollen und verwirklichen. Auch für die beste aller Welten gibt Leibniz einen Existenz- und Eindeutigkeitssatz. Der Existenzsatz ergibt sich aposteriori durch den Verweis auf die tatsächlich existierende Welt, apriori durch die Bestimmung der Parameter, die die Vollkommenheit garantieren und der Eindeutigkeitssatz folgt aus dem Indiszernibilienprinzip.

Hierin liegt also die Ursache für die Existenz des Besten, das die Weisheit Gottes ihn erkennen, seine Güte ihn erwählen und seine Macht ihn erschaffen läßt.³⁷⁹

Aus dieser höchsten Vollkommenheit Gottes folgt, daß er bei der Hervorbringung des Universums den bestmöglichen Plan gewählt hat, in dem sich die größte Mannigfaltigkeit mit der größten Ordnung vereinigt: [...].³⁸⁰

Gott hat aber diejenige gewählt, die die vollkommenste ist, das heißt diejenige, die zu gleicher Zeit die einfachste den Hypothesen nach, aber die reichste den Erscheinungen nach ist, [...].³⁸¹

Mathematisch gesehen handelt es sich um ein Extremalprinzip. Wird der Grad der Vollkommenheit der möglichen Welten als eine Funktion $f(\mathbf{a}, \mathbf{b})$ der Ordnung \mathbf{a} und der Vielfalt \mathbf{b} begriffen, dann gibt die Nullstelle der Ableitung Auskunft über die tatsächlich existierende Welt.

8. Metaphern & rationale Intuition. Die Monaden sind „fensterlos“. Zwischen den Monaden können keine realen, sondern nur ideale Beziehungen bestehen. Dennoch sind alle Monaden des Universums untereinander verbunden; ihr Zusammenhang besteht darin, daß Gott sie einander zugeordnet hat. Die Beziehungen werden durch das *Prinzip der kompossiblen Substanzen* geregelt. Die schwierigen Verhältnisse zwischen den Monaden sind offensichtlich nicht ohne spezielle Mittel der Veranschaulichung zu verstehen. Leibniz macht daher ausgiebig Gebrauch von ganz unterschiedlichen Metaphern (natur-orientierte Metaphern, produkt-orientierte Metaphern), die einzelne Aspekte seiner Monadenlehre verdeutlichen sollen. Diese Metaphern dienen dazu, eine abstrakte Art des Denkens durch eine konkrete Art der Erfahrung partiell einsichtig zu machen. Sie sind dadurch charakterisiert, daß sie Relationen enthalten, die über verschiedene Objektbereiche hinweg als ähnlich erkannt und durch die rationale Intuition erfaßt werden.

- (i) Die *Stadt-Metapher*: Jede Monade entspricht einer bestimmten Perspektive auf das Universum. Die Gesamtheit der Monaden umfaßt die Vielfalt aller möglichen Perspektiven.

Und wie eine und dieselbe Stadt, von verschiedenen Seiten betrachtet, ganz anders und gleichsam in perspektivischer Vielfalt erscheint, so gibt es auch – zufolge der unendlichen Menge der einfachen Substanzen – gleichsam ebenso viele verschiedene Welten, die jedoch nur die Perspektiven einer einzigen unter den verschiedenen Gesichtspunkten jeder Monade sind.³⁸²

Wenn die Monade mit dem gesamten Universum in Beziehung steht, dann muß sie auch eine gewisse Erkenntnis vom ganzen Universum haben.

³⁷⁹ Leibniz 1714, S. 51

³⁸⁰ Leibniz 1714, S. 17

³⁸¹ Leibniz 1686, Bd. 1, S. 71

³⁸² Leibniz 1714, S. 53

- (ii) Die *Meeres-Metapher*: Jede Monade besitzt eine umfassende, bis ins Unendliche reichende Erkenntnis. Die Erkenntnis ist aber nicht intuitiv, sondern bestenfalls symbolisch. Erkenntnisgrenzen beziehen sich daher nicht auf den Erkenntnisumfang, sondern auf den Erkenntnisinhalt.

Jede Seele erkennt das Unendliche, erkennt alles, freilich in undeutlicher Weise, so wie ich etwa, wenn ich am Meeresufer spazieregehe und das gewaltige Rauschen des Meeres höre, dabei auch die besonderen Geräusche einer jeden Woge höre, aus denen das Gesamtgeräusch sich zusammensetzt, ohne sie jedoch voneinander unterscheiden zu können.³⁸³

Die Veränderungen, die in einer Monade möglich sind, werden eingeschränkt durch die Bedingungen anderer Monaden.

- (iii) Die *Spiegel-Metapher*: Die Existenz anderer Monaden erscheint in jeder Monade als Spiegelbild, d.h. jede Monade ist ein Spiegel des gesamten Universums. Mit jeder Veränderung in einer Monade korrespondiert eine entsprechende Anpassung in der Gesamtheit der anderen Monaden.

[...] daß jede Monade ein lebendiger, der inneren Tätigkeit fähiger Spiegel ist, der das Universum aus seinem Gesichtspunkte darstellt und ebenso eingerichtet ist wie das Universum selbst.³⁸⁴

Die Wechselwirkungen zwischen allen Monaden können prinzipiell – wie die mögliche Synchronisation von Uhren – unterschiedlicher Art sein; sie unterscheiden sich in ihrem Grad der Vollkommenheit.

- (iv) Die *Uhren-Metapher*: Die Beziehung ist prinzipiell auf drei Arten möglich: (α) Die Uhren stehen in direkter mechanischer Wechselwirkung untereinander und beeinflussen sich so, daß die Synchronisation stets gewährleistet bleibt. Entsprechend stehen die Substanzen in direkter Wechselwirkung untereinander, beispielsweise durch Druck und Stoß (Descartes, Huygens). (β) Die Uhren werden ständig kontrolliert und erforderlichenfalls neu synchronisiert. Genauso müssen die Substanzen überwacht und gegebenenfalls in Harmonie gebracht werden, beispielsweise durch das gelegentliche oder beständige Eingreifen Gottes (Geulincx, Malebranche). (γ) Die Uhren sind perfekt gebaut und von Anfang an vollkommen synchronisiert, so daß zu keiner Zeit eine Abweichung eintreten kann. Analog sind die Substanzen von Anfang an im Schöpfungsakt so vollkommen eingerichtet, daß ohne weiteren Eingriff die Ordnung und Übereinstimmung aller einzelnen Kausalreihen bestehen bleibt. Die höchste Vollkommenheit liegt in der dritten Option.

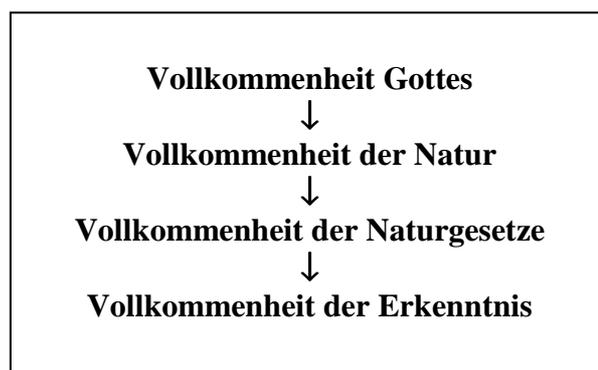
³⁸³ Leibniz 1714, S. 19

³⁸⁴ Leibniz 1714, S. 5

1. das System des gegenseitigen Einflusses, das im gewöhnlichen Sinne genommen das der Scholastik ist und das ich, nach dem Vorgang der Cartesianer, für unmöglich halte; 2. Das System eines dauernden Überwachers der im einen das sich darstellen läßt, was sich im anderen ereignet, fast so wie wenn ein Mensch damit beauftragt wäre, immer zwei falsch gehende Uhren, die aus sich selbst heraus nie imstande wären, miteinander übereinzustimmen, aufeinander einzustellen, und dies ist das System der Gelegenheitsursachen; 3. Das System der natürlichen Übereinstimmung der zwei Substanzen, so wie sie zwischen zwei sehr genauen Uhren besteht; und das halte ich für ebenso möglich wie das System des Überwachers und halte es des Urhebers dieser Substanzen, Uhren oder Automaten für würdiger.³⁸⁵

Die dritte Option beschreibt das *Prinzip der prästabilierten Harmonie* und ist – glaubt Leibniz – tatsächlich realisiert. Konsequenterweise folgt damit ein durchgängig deterministisches Naturgeschehen, das Gott zu einem arbeitslos gewordenen Weltenschöpfer degradiert. Leibniz wird daher sogleich von seinen Gegner angegriffen und verteidigt das Prinzip der stabilisierten Harmonie mit einem Analogie-Argument, das auf die entsprechende Bewertung menschlicher Handwerkskunst abzielt. Er vertraut dann darauf, daß das erkennende Subjekt sein Argument überzeugend findet, weil es ausgestattet ist mit der Fähigkeit zur rationalen Intuition und demzufolge die Grundprinzipien der Wirklichkeit, die sich hinter den Phänomenen verbirgt, einsieht.

9. Grundbegriffe & Grundprinzipien der Naturphilosophie. Nach Aristoteles und Descartes entwirft Leibniz ein weiteres naturphilosophisches Gesamtsystem in der Geschichte der Naturphilosophie. Dabei setzt er sich kritisch mit der cartesischen Naturphilosophie auseinander. Leibniz lehnt aber nicht die cartesische Methode ab, derzufolge aus der göttlichen Vollkommenheit die Naturgesetze abgeleitet werden. Im Gegenteil, auch er versucht dies.



Die Vollkommenheit der Naturgesetze manifestiert sich in Extremalprinzipien, die mit den Mitteln des Infinitesimalkalküls Extremalprinzip formulierbar sind.

³⁸⁵ Leibniz 1695, Bd. 1, S. 261

Der Unterschied zur cartesischen Naturphilosophie besteht in neuen metaphysischen Grundbegriffen und Grundprinzipen. Descartes verfügt nur über die beiden Grundbegriffe „Ausdehnung“ und „Beweglichkeit“. Damit ist die Mechanik aber auf die Kinematik eingeschränkt. Leibniz bemüht sich zuallererst um die Klärung dynamischer Begriffe, insbesondere die Begriffe „Kraft“ und „Masse“ und darüber hinaus auch die Begriffe „Raum“ und „Zeit“. Dabei vollzieht er den Übergang von der Physik als „Wissenschaft von der Ausdehnung“ im cartesischen Sinne zu einer Physik als „Wissenschaft von der Dynamik“.

[...] erkannte ich, daß die Betrachtung der *ausgedehnten Masse* allein nicht ausreicht und daß man noch den *Begriff der Kraft* anwenden muß, der sehr verständlich ist, obwohl er in den Bereich der Metaphysik fällt.³⁸⁶

Für Leibniz ist das Universum ein kontinuierlicher Seins- und Sinnzusammenhang. Daher erscheint ihm das Kontinuitätsprinzip als universell gültiges Grundprinzip der Weltordnung.

Wenn sich (bei den gegebenen Größen) zwei Fälle stetig einander nähern, so daß schließlich der eine in den anderen übergeht, muß notwendig bei den abgeleiteten bzw. abhängigen (gesuchten) Größen dasselbe geschehen. [...] Einer Ordnung im Gegebenen entspricht eine Ordnung im Gesuchten.³⁸⁷

Alle Naturphänomene unterliegen dem Kontinuitätsprinzip; eine gegenteilige Annahme verstieße gegen die Vernunft und kann daher – glaubt Leibniz – ausgeschlossen werden.

Es wird aber nach meiner Meinung niemals in der Natur ein Beispiel geben, das so sehr die Vernunft verletzt. Was jedoch in den einfachen und abstrakten Prinzipien selbst wider die Vernunft ist, das ist in den konkreten Phänomenen der Natur nur wider allgemeines Erwarten. [...]

Hieraus läßt sich nun verstehen [...], auf welche Weise die wahre Physik aus den Quellen der göttlichen Vollkommenheit zu schöpfen ist.³⁸⁸

Leugnet man dies, dann wird es in der Welt *Lücken* geben, die das große Prinzip des zureichenden Grundes umstoßen und uns dazu zwingen werden, für die Erklärung der Phänomene zu Wundern oder zum bloßen Zufall Zuflucht zu nehmen.³⁸⁹

Die Begründung beinhaltet einen bemerkenswerten Aspekt: Leibniz baut sein Argument schrittweise auf, indem er die allgemeine Gültigkeit des Kontinuitätsprinzip an Beispielen in der Mathematik nachweist und dann auf die Verhältnisse in der Natur überträgt. Es ist offensichtlich, daß eine so geführte Argumentation wesentlich vom aktuellen Wissensstand in der Mathematik abhängt. Wäre Leibniz bereits mit nicht-stetigen Funktionen vertraut gewesen, dann hätte er die Unhaltbarkeit seiner Argumentation eingesehen.

³⁸⁶ Leibniz 1695, Bd. 1, S. 203

³⁸⁷ Leibniz 1687, Bd. 4, S. 231

³⁸⁸ Leibniz 1687, Bd. 4, S. 243

³⁸⁹ Leibniz 1702, Bd. 4, S. 261

Das erste Beispiel stammt aus der projektiven Geometrie. Gegeben sei ein Kreis und eine Gerade, die den Kreis in zwei Punkten schneidet. Die Projektion sei eine Ellipse und eine Gerade, die die Ellipse ebenfalls in zwei Punkten schneidet. Wird die Gerade, die den Kreis schneidet, so bewegt, daß sie zur Tangente wird, dann bewegt sich die projizierte Gerade der Ellipse ebenfalls so, daß sie zur Tangente der Ellipse wird. Das, der sinnlichen Intuition entnommene Beispiel wird verallgemeinert und kommt dann im Haupttheorem über die Kegelschnitte zum Ausdruck. Dieser Sprung vom konkreten Beispiel zum allgemeinen Theorem vollzieht sich – so Leibniz – in der geistigen Anschauung bzw. einer rationalen Intuition.

[...] und wenn deshalb die Gerade den Kreis berührt, wird auch die Projektion der Geraden den zugehörigen Kegelschnitt tangieren. Auf diese Weise läßt sich eines der Haupttheoreme über die Kegelschnitte beweisen, ohne Umschweife und Aufwand von Figuren, auch nicht für jeden Kegelschnitt besonders, sondern ganz allgemein, durch bloße geistige Anschauung.³⁹⁰

Das zweite Beispiel bezieht sich auf das Verhältnis von Kreis, Ellipse und Parabel. Der Kreis ist ein Spezialfall der Ellipse in dem Sinne, daß die beiden Brennpunkte der Ellipse beim Kreis zusammenfallen und den Mittelpunkt bilden. Die Ellipse ist ein Spezialfall der Parabel in dem Sinne, daß einer der beiden Brennpunkte kontinuierlich ins Unendliche wandert. Interessant daran ist, daß die sinnliche Intuition Kreis, Ellipse und Parabel als grundsätzlich unterschiedliche Figuren wahrnimmt, d.h. die drei geometrischen Figuren erscheinen als wesensverschieden. Mit den Mitteln der rationalen Intuition ist ihre strukturelle „Verwandtschaft“ durch Grenzfallbetrachtungen einfach zu erkennen.

In den gleichzeitig existierenden Dingen kann es selbst dort Kontinuität geben, wo die sinnliche Anschauung nichts als Sprünge bemerkt: denn viele Dinge erscheinen den Augen als gänzlich unähnlich und zusammenhanglos, die sich trotzdem in ihrem Inneren als völlig gleichartig und einheitlich erweisen würden, wenn es gelänge, sie distinkt zu erkennen. Betrachtet man nur die äußere Gestalt der Parabeln, Ellipsen und Hyperbeln, so wäre man versucht, zu glauben, daß eine ungeheure Kluft zwischen diesen verschiedenen Kurven besteht.³⁹¹

Leibniz unterscheidet die Begriffe „sinnliche Anschauung“ und „geistige Anschauung“ und betont die Leistungsfähigkeit der rationalen Intuition im Hinblick auf das Verständnis abstrakter Strukturen. Diese Leistung kann die sinnliche Intuition gerade nicht erbringen.³⁹²

³⁹⁰ Leibniz 1687, Bd. 4, S. 233

³⁹¹ Leibniz 1702, Bd. 4, S. 263

³⁹² Insbesondere gilt dies für die analytisch-arithmetische Darstellung von geometrischen Figuren. Für Kepler ist es ausgesprochen schwierig, sich von der scheinbar besonders ausgezeichneten kreisförmigen Bahn des Mars zu verabschieden zugunsten einer ellipsenförmigen Bahn. Hätte er die Formeln für Kreise $x^2 + y^2 = r^2$ und Ellipsen $x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1$ gekannt, dann wäre ihm der Zusammenhang $a = b = r$ klar gewesen und dieser Schritt sicher viel leichter gefallen.

Für Leibniz dient das Kontinuitätsprinzip als notwendige Bedingung für die Richtigkeit von Naturgesetzen. Am Beispiel der cartesischen Stoßgesetze erläutert Leibniz, wie es als Prüfstein dienen kann um Fehler zu vermeiden.

Ich bediene mich deshalb dieses Prinzips häufig als einer Art von Prüfstein, mittels dessen sich sogleich und auf den ersten Blick, ohne besondere Untersuchung, die Falschheit und der fehlende Zusammenhang vieler Theorien enthüllen läßt.³⁹³

Durch Nichtbeachtung dieser Beobachtung ist auch Descartes, obwohl ein sehr geistreicher Mann, bei Aufstellung seiner Naturgesetze ein Fehler unterlaufen. [...] Nehmen wir z.B: die erste und zweite Bewegungsregel [...]; ich behaupte, daß sie einander widerstreiten.³⁹⁴

Für Grenzbetrachtungen ist das Kontinuitätsprinzip tatsächlich von großem Nutzen. Als durchgängiges Prinzip der gesamten Natur ist es durch die Quantentheorie in Mißkredit geraten.³⁹⁵

10. Die Leibniz-Clarke-Debatte. Newton findet es offensichtlich wenig einleuchtend, wie Leibniz das Verhältnis des Prinzips des zureichenden Grundes zur Vollkommenheit Gottes versteht. Dies gibt 1715/16 Anlaß zu einer polemischen Debatte, die Newtons Schüler Clarke mit Leibniz führt. Dem Kern nach geht es in dieser Debatte um naturphilosophische Fragen, die im Zusammenhang mit einem religiösen Wildbild beantwortet werden. Die unterschiedlichen metaphysischen Positionen von Leibniz und Clarke bedeuten, daß die Vollkommenheit Gottes und daraus resultierend, die Vollkommenheit der Natur als Schöpfung Gottes verschieden ausbuchstabiert wird. Aus dem umfangreichen Briefwechsel sollen zumindest zwei Fragen herausgegriffen werden: (α) Was ist unter der Vollkommenheit Gottes zu verstehen? Ist es ein Zeichen von Vollkommenheit, wenn Gott nicht in das Weltgeschehen eingreifen muß, weil er alles nach dem Prinzip der prästabilierten Harmonie eingerichtet hat, oder ist es ein Zeichen von Vollkommenheit, wenn Gott gelegentlich das Weltgeschehen neu ordnet? (β) Was ist unter der Vollkommenheit der Natur zu verstehen? Welche Konsequenzen ergeben sich aus dem Vollkommenheitsideal für Grundbegriffe (absoluter Raum, absolute Zeit) und Grundprinzipien (Determinismus)? Die moderne Physik beschäftigt sich zwar nicht mehr mit der Vollkommenheit Gottes, wohl aber mit der Beschaffenheit der Natur und damit auch mit Vollkommenheitsidealen (Symmetrien, Erhaltungssätze, Extremalprinzipien), die durch eine rationale Intuition begründet werden. Ohne solche Annahmen könnte keine Theorie auf den Weg gebracht werden.

³⁹³ Leibniz 1687, Bd. 4, S. 231

³⁹⁴ Leibniz 1687, Bd. 4, S. 235

³⁹⁵ Die Überzeugung, daß die Natur keine Sprünge macht, ist aber noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts unter den Physikern stark verankert. So sehr, daß Max Born die Quanten als „eine hoffnungslose Schweinerei“ bezeichnet und Schrödinger gar bedauert, sich mit der Quantentheorie überhaupt beschäftigt zu haben, „wenn es bei der verdamnten Quantenspringerei bleiben soll“ (vgl. Baumann / Sexl 1987).

In einem ersten Kritikpunkt argumentiert Leibniz gegen die okkasionalistische Auffassung Newtons, wonach Gott gelegentlich korrigierend in sein Werk eingreifen muß. Diese Unterstellung bedeute eine Geringschätzung von Gottes Macht und Weisheit. Für Leibniz ist nur der durchgängige *Determinismus* mit Gottes Vollkommenheit verträglich.

Monsieur Newton und seine Anhänger haben von Gottes Werk eine recht merkwürdige Meinung. Ihrer Meinung nach ist Gott gezwungen, seine Uhr von Zeit zu Zeit aufzuziehen, anderenfalls würde sie stehenbleiben. Er besaß nicht genügend Einsicht, um ihr eine beständige Bewegung zu verleihen. Gottes Maschine ist ihrer Meinung nach sogar so unvollkommen, daß er gezwungen ist, sie von Zeit zu Zeit durch einen außergewöhnlichen Eingriff zu reinigen und sogar zu reparieren, so wie ein Uhrmacher sie repariert, der ja ein um so ungeschickterer Handwerker ist, je öfter er gezwungen ist, sein Werk in Ordnung zu bringen und zu reparieren.³⁹⁶

Clarke hingegen interpretiert ein deterministisches Weltbild als den Versuch, zunächst Gottes Wirken und dann in letzter Konsequenz auch Gottes Existenz überflüssig zu machen. Er hält dagegen, daß Gott auch das Chaos – also Störung im deterministischen Ablauf – geplant haben kann. Aus Gottes Sicht gäbe es dann weder Störungen noch Wunder.

Zum Beispiel wird der gegenwärtige Zustand des Sonnensystems gemäß den gegenwärtigen Bewegungsgesetzen mit der Zeit in Unordnung geraten und danach vielleicht korrigiert oder in eine neue Form gebracht werden müssen. Diese Korrektur ist aber nur eine relative Korrektur, und zwar in bezug auf unser Vorstellungsvermögen. In Wirklichkeit aber und in bezug auf Gott sind der gegenwärtige Zustand, die sich ergebende Unordnung und die darauf erfolgende Erneuerung alle in der gleichen Weise Bestandteile der geplanten Absicht in Gottes ursprünglichem vollkommenen Entwurf.³⁹⁷

Der Sache nach geht es hier also um die Frage, was *Störungen* sind und inwiefern diese auftreten können. Aus der Antwort wird klar, daß für Leibniz eine Störung genau dann vorliegt, wenn die Gesamtenergie des Universums keine *Erhaltungsgröße* ist.

Wenn die aktive Kraft aufgrund der von Gott festgesetzten Naturgesetze im Universum abnehmen sollte, so daß es eines erneuten Anstoßes bedarf, um diese Kraft wiederherzustellen, [...] so bestände diese Störung nicht nur in bezug auf uns, sondern auch in bezug auf Gott.³⁹⁸

In einem zweiten Kritikpunkt betont Leibniz die Wichtigkeit seiner beiden Grundprinzipien – das Prinzip des ausgeschlossenen Widerspruchs und das Prinzip des zureichenden Grundes – für die Naturphilosophie. Clarke akzeptiert zwar in seiner Erwiderung diese beiden Grundprinzipien ausdrücklich, will aber das Prinzip des zureichenden Grundes nur in einem Sinne gelten lassen, der noch Platz läßt für den freien Willen Gottes. Unter der Annahme

³⁹⁶ Leibniz 1715, S. 19f

³⁹⁷ Leibniz 1715, S. 34

³⁹⁸ Leibniz 1715, S. 41

eines absoluten Raumes versucht Clarke nachzuweisen, daß die Materie nur deshalb in einem bestimmten Raumgebiet erschaffen wurde, weil Gott es so wollte. Der Sache nach wäre damit ein absoluter Raum ausgezeichnet, der ohne Bezug auf Dinge und Ereignisse im ontologischen Sinne existiert. Daraufhin beklagt sich Leibniz darüber, daß sein Prinzip des zureichenden Grundes nur dem Wort, nicht aber dem Inhalt nach akzeptiert wird. Das Grundprinzip erscheint ihm mit der Annahme eines absoluten Raumes und einer absoluten Zeit unverträglich. Leibniz geht davon aus, daß die Ordnungsbeziehungen zwischen Gegenständen und Ereignissen Raum und Zeit vollständig charakterisieren. Demzufolge sind zwei Situationen mit gleichen Ordnungsbeziehungen gleichwertig. Die Gleichwertigkeit gleichartig geordneter Gegenstände und Ereignisse führt somit zu ihrer ontologischen Identität. Dieses Argument gilt analog für zeitliche Änderungen von Ordnungsbeziehungen. Demnach sind alle Bewegungen als Relativbewegungen zu interpretieren.³⁹⁹

[...] habe ich mehr als einmal gesagt, daß ich den Raum ebenso wie die Zeit für etwas rein Relatives halte, nämlich für eine Ordnung des Nebeneinanderbestehens, so wie die Zeit eine Ordnung der Aufeinanderfolge ist.⁴⁰⁰

Wäre der Raum ein absolutes Seiendes, so könnte sich auch etwas ereignen, wofür es keinen hinreichenden Grund geben kann, was aber meinem Axiom widerspricht. [...] Der Raum ist etwas vollkommen Homogenes [...]. Hieraus folgt nun aber (wobei angenommen wird, daß der Raum außer der gegenseitigen Ordnung der Körper noch etwas an sich ist), daß es keinen Grund geben kann, warum Gott, die gleiche gegenseitige Lage der Körper beibehaltend, die Körper so und nicht anders in den Raum gesetzt hat. [...]

Wenn nun aber der Raum nichts anderes als diese Ordnung [...] ist [...], so werden sich diese beiden Zustände [...] voneinander überhaupt nicht unterscheiden. [...] In Wirklichkeit aber ist der eine Zustand genau der gleiche wie der andere, da sie vollkommen ununterscheidbar sind.⁴⁰¹

Der Beweis, daß die Annahme eines absoluten Raumes und einer absoluten Zeit mit dem Prinzip des zureichenden Grundes unverträglich ist, führt Leibniz über folgende Argumentationskette: (α) Wenn es einen absoluten Raum und eine absolute Zeit gibt, dann muß die Welt zu einem bestimmten Zeitpunkt und an einem bestimmten Raumpunkt erschaffen worden sein. (β) Es gibt aber keinen zureichenden Grund, warum Gott die Welt nicht zu einem anderen Zeitpunkt und an einem anderen Raumpunkt erschaffen hat. (γ) Wenn Gott keinen zureichenden Grund für seine Wahl hatte, dann hätte er die Welt nicht erschaffen. (δ) Gott hat die Welt aber erschaffen. (ϵ) Daraus folgt, daß es keinen absoluten Raum und keine absolute Zeit gibt.

³⁹⁹ Kant argumentiert gegen eine relationale Raumauffassung mit dem Hinweis auf die Möglichkeit inkongruenter Gegenstände. Die Einwände gegen den absoluten Raum von Newton und den relationalen Raum von Leibniz veranlassen ihn zu seiner Lehre von Raum und Zeit als Anschauungsformen.

⁴⁰⁰ Leibniz 1715, S. 37f

⁴⁰¹ Leibniz 1715, S. 38f

Die weitere Diskussion zwischen Leibniz und Clarke dreht sich um diese und andere physikalische Grundbegriffe und Grundprinzipien; sie wird zunehmend wortreicher, hitziger und bizarrer. Auch wenn es aus moderner Sicht schon beinahe unverständlich erscheint, daß sich im frühen 18. Jahrhundert die Gelehrten darüber gestritten haben, was göttliche Vollkommenheit eigentlich heißen soll, so zeigt die Leibniz-Clarke-Debatte doch unmißverständlich, daß die Grundbegriffe und Grundprinzipien der Physik in einem intuitiv entworfenen Weltbild wurzeln.⁴⁰² Ein Weltbild ist einerseits weder empirisch noch logisch begründbar, andererseits unverzichtbar, weil es erst die Möglichkeit zur Theorienkonstruktion eröffnet. Aus diesem Dilemma gibt es keinen Ausweg – auch dann nicht bzw. schon gar nicht, wenn transzendente Aussagen herangezogen werden. Ein absolutes Fundament der Erkenntnis kann nicht etabliert werden. Descartes und Leibniz wollen sich nicht mit ungesichertem Wissen zufriedengeben und fundieren ihr Wissen in transzendenten Existenzsätzen.

11. Vergleich mit einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie. Der hartnäckige Hang, eine absolute Fundierung des Wissens zu erzwingen, der die gesamte Neuzeit charakterisiert und in der modernen Philosophie nur höchst widerwillig abgelegt wird, erscheint aus evolutionstheoretischer Perspektive durchaus verständlich, da der Mensch geradezu darauf angelegt ist, dogmatisch zu denken. Dieser Aspekt wird von Hume im Zusammenhang mit seiner naturalistischen Erkenntnislehre hervorgehoben, wenn er betont, daß ein rigoroser Skeptizismus zwar aus epistemologischen Gründen angezeigt ist, diese Position aber für einen überlebenswilligen Menschen keine ernsthafte Option darstellt. Kant widerlegt alle Gottesbeweise und zeigt damit, daß die Versuche der Rationalisten, das Wissen in transzendenten Existenzsätzen zu verankern, hinfällig ist. Dennoch glaubt er, mit seiner Lehre von den Formen der Anschauung und den Kategorien des Denkens der epistemologisch unerfreulichen Konsequenz Humes entgehen und doch noch eine absolute Fundierung des Wissens erreichen zu können. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie steht allen diesen Fundierungsversuchen kritisch gegenüber und versteht sich nur im Sinne einer spiralförmigen Entwicklung, die charakterisiert ist durch einen beständigen Wissenszuwachs mit zunehmender innerer Kohärenz.

Obwohl Leibniz mit seiner Naturphilosophie nicht überzeugen kann, hat er doch beeindruckende Entwicklungen auf den Weg gebracht. (i) Im Gegensatz zur aristotelischen Naturphilosophie werden in der neuzeitlichen Naturphilosophie erstmals alle Instrumente der Naturforschung gleichermaßen aufgebaut und die zahlreichen ontologischen und epistemologischen Schranken eingerissen, die in den verschiedenen, sich ausschließenden Leitmetaphern des Aristoteles zum Ausdruck kommen. (ii) Die Instrumente, die zur

⁴⁰² Die Diskussion um ein naturalistisches Verständnis des Menschen verläuft teilweise noch heute in diesem Stil, d.h. das Menschenbild ist häufig überfrachtet von religiös motivierten Überzeugungen, die den Menschen als „Ebenbild Gottes“ verstehen – mit extravaganten Konsequenzen. Die weltanschaulichen Auseinandersetzungen um das Selbstverständnis des Menschen sind dann nicht weniger wortreich, hitzig und bizarr.

Erforschung und Beschreibung der Natur zur Verfügung stehen sind: (α) eine auf logische Konsistenz geprüfte *Fachsprache S*, die alle Grundbegriffe für ein mechanistisches Weltbild gefunden hat; (β) eine *Geometrie F*, deren geometrische Figuren nicht mehr in ein axiologisches System eingebettet sondern gleichberechtigt sind; (γ) *Experimente E*, die sich seit Galilei und Newton auf künstlich hergestellte Phänomene beziehen und Uhren für die Zeitmessung einsetzen und (δ) eine *Arithmetik Z*, die sich im Anschluß an den leibnizsche Infinitesimalkalkül rasant weiter entwickelt und völlig neue mathematische Disziplinen – Algebra und Analysis – auf den Weg bringt. Der *Zahlbegriff* wird erweitert, der *Funktionsbegriff* wird präzisiert und ein *operatives Mathematikverständnis* ersetzt ein figuratives Mathematikverständnis.



Hieran zeichnet sich bereits ab, daß die Naturphilosophie dabei ist, ihr experimentell-technisches und mathematisch-logisches Instrumentarium schrittweise aufzubauen und damit erst die Voraussetzungen schafft, um erfolgreich zu sein. Mit der Einführung mathematischer Symbolen lassen sich abstrakte Kalküle entwickeln, die nicht mehr anschaulich sind im Sinne einer sinnlichen Intuition. Stattdessen wird der Blick auf die Strukturen gerichtet und diese werden durch eine struktur-orientierte, rationale Intuition erfaßt. Damit wird das Tor geöffnet zu einer mathematisch-logischen Erweiterung der Wirklichkeit. Dieser wichtige Sachverhalt ist von Kant übersehen worden. Allerdings muß hier hervorgehoben werden, daß Descartes und Leibniz zwar eine neue Entwicklung in der Mathematik auf den Weg bringen; die Ansätze sind aber erst aus der Retrospektive als wichtige Neuerungen zu begreifen. Diese Entwicklung wird jedenfalls von den Erkenntnislehren des 18. Jahrhunderts noch nicht gewürdigt, d.h. die erfahrungs-konstituierende Funktion der Handlungsfähigkeit bleibt unberücksichtigt und daher verliert die rationale Intuition ihre Bedeutung (vgl. Kapitel 2.2).

Die Kritik Lockes und Humes am Substanz- und Kausalbegriff

Locke (1632 – 1704) verfaßt ein vierteiliges Werk *Versuch über den menschlichen Verstand* und begründet den erkenntnistheoretischen Empirismus. Sein erklärtes Ziel ist es, Ursprung, Wesen, Gewißheit, Umfang und Grenzen der Erkenntnisfähigkeit neu abzustecken und aufzuklären. Damit bringt Locke eine kritische Philosophie auf den Weg, die ihr Augenmerk nicht mehr auf die Erkenntnisgegenstände des Verstandes, sondern auf die Untersuchung des Verstandes selbst richtet. In dieser Tradition stehend, entwickeln dann auch Hume und Kant ihre kritischen Philosophien. Im ersten Teil argumentiert Locke gegen die Lehre von den eingeborenen Ideen. Im zweiten Teil entwickelt er seine eigene *sensualistisch-atomistische Ideenlehre*. Der dritte Teil befaßt sich mit der Funktion der Sprache und im vierten Teil

formuliert er eine *Erkenntnislehre* im Sinne einer Ideenverknüpfung. Lockes Untersuchungsgegenstand ist der Verstand und seine Fähigkeiten; es geht ihm um die Auslotung der Kapazität des Verstandes. Der mögliche Nutzen dieser Untersuchung sieht Locke in einer heilsamen Erkenntnis-Bescheidenheit. Der Grund für die Irrtümer philosophischer Lehren im allgemeinen und der cartesischen Erkenntnislehre im besonderen sieht Locke in einer falschen Weichenstellung der epistemologischen Ausgangsfragen. Seine Kritik beinhaltet demnach zwei Aspekte: Sie betrifft zuallererst die Erkenntnismethode und dann – als Konsequenz – auch die Erkenntnisinhalte. Insbesondere verknüpft er seine Ausführungen mit einer scharfen Kritik am cartesischen Substanzbegriff.

Locke beruft sich auf eine sinnlich-intuitive Erkenntnis als Gegenbegriff zur demonstrativen Erkenntnis. Als charakteristische Merkmale der intuitiven Erkenntnis nennt er: (α) die unmittelbare, mühelose und unbezweifelbare Wahrnehmung der (Nicht-)Übereinstimmung von Vorstellungsinhalten, (β) das Fehlen von vermittelnden Zwischenschritten (Beweise) und (γ) der Bezug auf das konkret Wahrnehmbare durch die Sinne. Beispiele sind qualitative Vergleiche (weiß \neq schwarz), quantitative Vergleiche (zwei \neq drei), logische Vergleiche (das Ganze ist mehr als seine Teile) und der Vergleich geometrischer Figuren (Kreis \neq Dreieck). Der Schnitt zwischen dem intuitiv und dem demonstrativ Erkannten bleibt fest und verändert sich nicht mit dem Erkenntnisfortschritt. Alle wissenschaftlichen Theorien sind demnach unterschiedslos nicht-intuitiv.

1. Lockes Kritik an der cartesischen Erkenntnislehre. Das cartesische Unternehmen, ein sicheres metaphysisches Fundament aller Wissenschaften zu schaffen, ist in den Augen Lockes gescheitert. Der falsche Weg muß aufgegeben werden, die Untersuchungen müssen nochmals von vorn beginnen und zwar auf einem neuen Weg mit grundlegenden Fragen zu den Erkenntnisbedingungen. Mit Blick auf die „großen Meister der philosophischen Baukunst“, sieht sich Locke selbst in der bescheidenen Rolle eines „Hilfsarbeiters, der den Baugrund aufräumt und den Schutt beiseite räumt“, der den Weg zur Erkenntnis versperrt. Der neue Ansatz zielt auf die Klärung der Erkenntnisfähigkeit durch Introspektion. Dies führt zur Verschiebung der Fragestellung: (α) Die cartesische Frage: „Welche Begriffe sind im Verstand?“ wird zur lockeschen Frage: „Wie kommt der Verstand zu den Begriffen?“ (β) Die cartesische Frage: „Welche Erkenntnisse sind gewiß?“ wird zur lockeschen Frage: „Welche Maßstäbe gibt es für die Gewißheit einer Erkenntnis?“ Gewissermaßen nimmt Locke die Fragestellung der Transzendentalphilosophie Kants vorweg, allerdings mit dem wichtigen Unterschied, daß Kant die Fragen unter *logischen Aspekten* behandelt; Locke hingegen unter *ontogenetischen Aspekten*.

Und ich glaube, daß ich mir mit den Gedanken [...] nicht ganz verfehlte Mühe gemacht habe, wenn ich durch diese historische, einfache Methode irgendwelchen Aufschluß über die Art und Weise zu geben imstande bin, wie unser Verstand sich

jene Begriffe von den Dingen, die wir haben, aneignet; [...].⁴⁰³

Wenn wir alles bezweifeln wollen, weil wir nicht alles mit Gewißheit erkennen können, so handeln wir ungefähr ebenso weise wie derjenige, der seine Beine nicht gebrauchen wollte, sondern still saß und zugrunde ging, weil er keine Flügel zum Fliegen hatte. [...]

Ich war nämlich der Meinung, der erste Schritt zur Beantwortung gewisser Fragen [...] bestehe darin, daß wir unseren eigenen Verstand betrachteten, unsere eigenen Kräfte prüften, [...]. Bis das nicht erfolgt sei, fingen wir, so vermutete ich, am verkehrten Ende an und suchten vergeblich Befriedigung in einem sicheren und ungestörten Besitz von Wahrheiten, die für uns von höchster Wichtigkeit seien, da wir unseren Gedanken auf dem unermeßlichen Ozean des Seienden freien Lauf lassen, als wäre jenes grenzenlose Gebiet der natürliche und unzweifelhafte Besitz unseres Verstandes und enthielte nichts, was sich seinen Entscheidungen entziehe und seiner Fassungskraft verschlossen sei.⁴⁰⁴

Das richtige Vorgehen ist für Locke die „historische Methode“, d.h. die Untersuchung muß den Erkenntniserwerb im Hinblick auf die Entwicklung des Menschen vom Kind zum Erwachsenen rekonstruieren. Hier zeigt sich der Neuansatz der Fragestellung, der dann in einer Bescheidenheit des Erkenntnisanspruchs gipfelt. Die Rede vom „sicheren und ungestörten Besitz von Wahrheiten“ richtet sich insbesondere gegen die cartesische Erkenntnislehre mit ihrem Anspruch auf absolute Gewißheit. Nach Locke trauen die Cartesianer der Erkenntnisfähigkeit zuviel zu, wohingegen die Skeptiker die Grenzen der Erkenntnis zu eng ziehen. Die Grenzen der Erkenntnisfähigkeit wurden bislang eher willkürlich gezogen, aber nicht systematisch erforscht. Locke betont erstmals den ontogenetischen Aspekt, insofern er Beobachtungen zur Entwicklung der kognitiven Fähigkeiten bei Kindern anstellt. Er kann aber nicht auf eine wissenschaftlich fundierte Entwicklungspsychologie zurückgreifen und schon gar nicht auf die Ergebnisse der empirischen Neurowissenschaften, daher ist aus der Retrospektive verständlich, daß seine Überlegungen im ungeprüften Alltagsverständnis wurzeln. Mit seinem Ansatz will Locke zuallererst begründen, daß es keine eingeborenen Ideen gibt, daß es keine geben muß und daß es auch keine geben kann. Seine Argumentation ist allerdings wenig überzeugend und wird von Leibniz zu Recht kritisiert.

2. Sensualistisch-atomistische Ideenlehre. Die Gesamtheit aller Bewußtseinsinhalte bezeichnet Locke als Ideen und das Vermögen der Gegenstände, Ideen im Bewußtsein zu erzeugen, nennt er Qualitäten. Locke entwickelt eine sensualistisch-atomistische Ideenlehre und befaßt sich (α) mit dem Ursprung der Ideen in den Sinnen, (β) mit der Zusammensetzung der Ideen, (γ) mit den Operationen des Verstandes und (δ) mit der Einteilung der Ideen nach den Kriterien der Klarheit, Deutlichkeit, Realität und Adäquatheit.

⁴⁰³ Locke 1690a, S. 23

⁴⁰⁴ Locke 1690a, S. 26f

- (i) **Der sensualistische Aspekt:** Bevor der Mensch sinnliche Wahrnehmungen hat, gleicht sein Bewußtsein einem „unbeschriebenen Blatt“. Die Erfahrungen sind die einzige Grundlage jeglicher Erkenntnis. Die Quellen für den Ideenvorrat sind (α) die *Sensationen* im Sinne äußerer Wahrnehmungen, deren Objekte die materiellen Dinge sind und (β) die *Reflexionen* im Sinne innerer Wahrnehmungen, deren Objekte die Operationen des Verstandes sind. Andere Quellen gibt es nicht, d.h. der Verstand kann nicht zu Ideen gelangen, die nicht aus diesen beiden Quellen stammen.
- (ii) **Der atomistische Aspekt:** Locke unterscheidet in seiner Ideenlehre zwischen einfachen und komplexen Ideen. Die *einfachen Ideen* sind eine Folge der Wahrnehmungen; sie bilden das Material für die interne Verarbeitung. Die Ideen der Reflexionen setzen die Ideen der Sensationen zeitlich voraus. Hier handelt es sich um die einfachsten Bewußtseinseinheiten, die nicht zusammengesetzt und daher auch nicht zerlegbar sind. Der Geist bleibt passiv in dem Sinne, da er nicht das Vermögen hat, einfache Ideen zu erfinden oder zu vernichten. Aus den einfachen Ideen werden alle *komplexen Ideen* aufgebaut, zu denen der Mensch befähigt ist.
- (iii) **Die Operationen des Geistes:** Die einfachen Ideen sind das Material, aus dem der Verstand die komplexen Ideen bildet. Die Operationen des Geistes verlaufen in vier Stufen. (α) *Bewußtes Wahrnehmen:* Die bewußte Wahrnehmung ist die Fähigkeit des Verstandes, Bewußtseinsinhalte aufmerksam zu betrachten. (β) *Erinnern:* Das Gedächtnis ist die Fähigkeit des Verstandes, Bewußtseinsinhalte erneut aufleben zu lassen. Der aktiv tätige Geist betrachtet das Erinnernte mit einem gewissen Grad gewollter Aufmerksamkeit. (γ) *Vergleichen / Unterscheiden:* Das Urteilsvermögen ist die Fähigkeit des Verstandes, Ideen zu vergleichen. (δ) *Verbinden / Zusammensetzen:* Komplexe Ideen entstehen aus der Fähigkeit des Verstandes, einfache Ideen zu kombinieren.
- (iv) **Klare und deutliche Ideen:** Eine einfache Idee ist klar, wenn sie dem Bewußtsein gegenwärtig ist. Eine komplexe Idee ist klar, wenn alle einfachen Ideen, aus denen sie zusammengesetzt ist, klar sind und wenn die Relationen zwischen den einfachen Ideen ebenfalls klar sind. Eine klare Idee ist darüber hinaus deutlich, wenn sie durch alle ihre Merkmale bestimmt ist und von anderen Ideen unterschieden werden kann.
- (v) **Reale und adäquate Ideen:** Ideen sind real, wenn ihnen in der Außenwelt etwas entspricht, mit dem sie in einer Ursache-Wirkungs-Relation stehen. Alle einfachen Ideen sind demnach real, da sie durch die Qualitäten der Gegenstände hervorgerufen werden, während sich der Geist passiv verhält. Ideen sind adäquat, wenn sie das zu Repräsentierende vollständig bestimmen. Alle einfachen Ideen sind real und adäquat; für komplexe Ideen trifft dies nicht notwendig zu.

Das wichtigste Beispiel für eine einfache, klare, deutliche, reale und adäquate Idee ist die Zahl. Sie kann aus der Einheit generiert werden, d.h. durch Wiederholen und Verknüpfen von Einheiten können alle Zahlen (potentiell-Unendliche) aufgebaut werden und sie erlaubt es, kleinste quantitative Abweichungen eindeutig festzustellen.⁴⁰⁵

3. Erkenntnis als Ideenverhältnis. Im Anschluß an seine Ideenlehre entwickelt Locke eine Erkenntnislehre. Er unterscheidet „denken“, d.h. Ideen haben und „erkennen“, d.h. wahrnehmen, inwiefern Ideen übereinstimmen oder nicht. Erkenntnis entsteht durch die Feststellung von Übereinstimmung oder Nicht-Übereinstimmung der Ideen untereinander oder einer Idee mit der realen Existenz. Nach Locke gibt es vier verschiedene Arten der (Nicht-)Übereinstimmung von Ideen:

- (i) Die **Identität der Ideen**: Die erste Erkenntnisleistung ist die Feststellung der Gleichheit oder Verschiedenheit von Ideen. Sie stellt das Fundamentalverhältnis unter den Ideen dar und bildet somit die grundlegende Stufe der Erkenntnis, die alle weiteren Stufen bedingt. Beispiele sind: rund \neq viereckig, weiß \neq rot.
- (ii) Die **Relation der Ideen**: Eine zweite Erkenntnisleistung ist die Feststellung der Beziehung zwischen zwei Ideen. Beispiele sind: Zahlenrelationen, Größenrelationen und kausale Strukturen.
- (iii) Die **Koexistenz von Ideen**: Eine weitere Erkenntnisleistung ist die Feststellung von Eigenschaften, die immer zusammen auftreten, bezogen auf denselben Gegenstand. Beispiel: Farbe, Schwere und Ausdehnung eines Körpers.
- (iv) Die **reale Existenz**. Schließlich gibt es noch eine Erkenntnisleistung, welche die (Nicht-)Übereinstimmung von realer Existenz und Idee feststellt. Beispiel: die Nicht-Übereinstimmung der Idee einer Seejungfrau mit ihrer tatsächlichen Existenz.

Der Erkenntnisumfang ist grundsätzlich in doppelter Hinsicht begrenzt: (α) Die Erkenntnis kann den Ideenvorrat nicht übersteigen, d.h. Erkenntnis kann sich niemals auf Gegenstände beziehen, für die keine Ideen vorliegen. (β) Die Erkenntnis ist zusätzlich auf die Wahrnehmung der Ideenverknüpfungen eingeschränkt. Mögliche Ideenverknüpfungen, die nicht wahrgenommen werden, liefern keine Erkenntnisse. Im folgenden unterscheidet Locke drei Erkenntnisarten.

Unser gesamtes Wissen besteht [...] darin, daß der Geist seine eigenen Ideen beobachtet. Die ungleiche Klarheit unseres Wissens scheint mir auf der

⁴⁰⁵ Problematisch ist Lockes Auffassung, daß Begriffe Zeichen für *abstrakte Ideen* sind. Am Beispiel des Dreiecks erläutert Locke die Idee eines Dreiecks, das zugleich stumpfwinklig, rechtwinklig und spitzwinklig sein muß. Die Frage, ob der Geist abstrakte Ideen bilden kann, wird in der Folgezeit heftig bestritten. Kant erledigt das Problem durch die Unterscheidung von *Anschauung* (einzeln, konkret) und *Begriff* (allgemein, abstrakt).

verschiedenen Art zu beruhen, wie der Geist die Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung [...] seiner Ideen wahrnimmt.⁴⁰⁶

Unser Wissen reicht nur so weit, wie wir jene Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung *wahrnehmen* können. Diese Wahrnehmung beruht 1. auf *Intuition*, das heißt auf unmittelbarer Vergleichung zweier beliebiger Ideen, oder 2. auf einer *Schlußfolgerung*, wobei man die Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung zweier Ideen untersucht, indem man andere Ideen zu Hilfe nimmt, oder 3. auf einer *Sensation*, indem die Existenz von einzelnen Dingen wahrgenommen wird. [...]

Somit können wir die folgenden drei Grade des Wissens annehmen: *intuitives*, *demonstratives* und *sensitives*; von jeder dieser drei Arten gibt es wieder verschiedene Grade und Gründe der Anschaulichkeit und Gewißheit.⁴⁰⁷

Gemäß den drei Erkenntnisarten kann der Verstand die (Nicht-)Übereinstimmung von Ideen in unterschiedlicher Weise wahrnehmen: (α) Die erste Art ist die *intuitive Erkenntnis*, bei der der Verstand die (Nicht-)Übereinstimmung einfacher Ideen unmittelbar perzipiert. (β) Die zweite Art ist die *demonstrative Erkenntnis*, bei der der Verstand auf vermittelnde Ideen zurückgreifen muß, um die Relationen zwischen Ideen aufzuzeigen. (γ) Die dritte Art ist die *sensitive Erkenntnis*, hier muß der Verstand die (Nicht-)Übereinstimmung der Ideen mit der Wirklichkeit feststellen.

4. Intuitive Erkenntnis & Gewißheit. Die unterschiedlichen Erkenntnisarten führen zu unterschiedlichen Graden der Gewißheit. Die wichtigste Erkenntnisart ist die *intuitive Erkenntnis*. Das charakteristische Merkmal der intuitiven Erkenntnis sieht Locke in der Unmittelbarkeit der Wahrnehmung hinsichtlich der (Nicht-)Übereinstimmung von Ideen. Es bedarf weder des Beweises, noch der Prüfung; es genügt bereits eine gewöhnliche gedankliche Hinwendung. Die intuitive Erkenntnis ist klar und deutlich; sie erreicht den höchsten Grad der Gewißheit und läßt keine Möglichkeiten für Zweifel.

Beobachten wir einmal unser eigenes Verhalten beim Denken; wir werden dann feststellen, daß der Geist zuweilen die Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung zweier Ideen *unmittelbar durch sie selbst* wahrnimmt, ohne Vermittlung einer dritten. Wir können dies [...] als *intuitives Erkennen* bezeichnen. Hierbei braucht sich nämlich der Geist nicht die Mühe zu machen, einen Beweis zu führen oder eine Prüfung vorzunehmen; er nimmt die Wahrheit vielmehr auf wie das Auge das Licht, einfach, indem er sich ihr zuwendet. Auf diese Weise nimmt der Geist wahr, daß *weiß* nicht *schwarz* ist, daß ein *Kreis* kein *Dreieck*, daß *drei* mehr als *zwei* [...] ist. Derartige Wahrheiten nimmt der Geist auf den ersten Blick wahr, [...] durch die reine Intuition, ohne Vermittlung irgendeiner anderen Idee wahr. Diese Art der Erkenntnis ist die klarste und sicherste, die der menschlichen Unzulänglichkeit möglich ist. Dieser Teil der Erkenntnis ist unwiderstehlich; er drängt sich wie der helle Sonnenschein unmittelbar der Wahrnehmung auf, sobald sich der Geist nur der entsprechenden Richtung zuwendet. Er läßt keinerlei Spielraum für ein Schwanken, Zweifeln oder Prüfen; der Geist ist vielmehr im Nu mit seinem hellen Licht erfüllt.

⁴⁰⁶ Locke 1690b, S. 174

⁴⁰⁷ Locke 1690b, S. 183f

*Auf dieser Intuition beruht die ganze Gewißheit und Augenscheinlichkeit unseres gesamten Wissens; diese Gewißheit erweist sich für jeden als so umfassend, daß er sich eine größere nicht vorstellen [...] kann.*⁴⁰⁸

Ein Vergleich zwischen Locke und Descartes zeigt die Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Einschätzung der intuitiven Erkenntnis. Der Begriff „sinnliche Intuition“ in der Erkenntnislehre von Locke unterscheidet sich grundlegend vom cartesischen Begriff „rationale Intuition“. Für Locke gibt es keine Belehrung der Intuition.

sinnliche Intuition bei Locke	rationale Intuition bei Descartes
	1. Prüfung umfassende Prüfung nötig, Zweifel müssen systematisch beseitigt werden, keine sofortige Zustimmung
unmittelbar und mühelos erfaßbar, keine Vermittlung durch weitere Ideen, umfassende Gewißheit	2. Erkenntnis unmittelbar und mühelos erfaßbar, keine Vermittlung durch weitere Ideen, umfassende Gewißheit

Die zweite Erkenntnisart ist die *demonstrative Erkenntnis*, die sich von der intuitiven Erkenntnis gerade darin unterscheidet, daß die Wahrnehmung der (Nicht-)Übereinstimmung von Ideen nicht mehr in unmittelbarer Weise möglich ist. Es müssen vermittelnde Ideen eingefügt werden. Dadurch kommt eine mögliche Fehlerquelle ins Spiel, die den Gewißheitsgrad der Erkenntnis beeinträchtigt. Die demonstrative Erkenntnis ist zwar durchaus sicher, sie erfordert aber Mühe und besondere Aufmerksamkeit. Die Gewißheit kann nur durch ein stufenweises Vorgehen erreicht werden. Die demonstrative Erkenntnis hat erst am Ende aller Beweisschritte alle Möglichkeiten des Zweifels ausgeräumt.

Der nächste Grad des Wissens besteht darin, daß der Geist die Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung beliebiger Ideen zwar wahrnimmt, jedoch nicht unmittelbar. [...] Der Grund [...] besteht darin, daß er die Ideen [...] nicht in solcher Weise zusammenstellen kann, daß diese Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung zu erkennen ist. In diesem Falle [...], ist er gezwungen, *durch Vermittlung anderer Ideen* [...] die gesuchte Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung zu entdecken. Dieses Verfahren nennen wir *schlußfolgern*. [...]

⁴⁰⁸ Locke 1690b, S. 174f

Solche durch Beweise vermittelte Erkenntnis ist zwar sicher, doch leuchtet sie nicht ganz so klar und deutlich ein und findet auch nicht so schnell Zustimmung wie die intuitive Erkenntnis. Der Geist nimmt zwar bei der Demonstration letzten Endes auch die Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung der betrachteten Ideen wahr, doch geschieht dies nicht ohne Mühe und Aufmerksamkeit; es genügt hier nicht ein einziger flüchtiger Blick, um sie zu erkennen. [...]

Die intuitive Erkenntnis unterscheidet sich auch in folgender Hinsicht von der demonstrativen: Bei der letzteren ist zwar jeder Zweifel beseitigt, nachdem man mit Hilfe der Zwischenideen Übereinstimmung oder Nichtübereinstimmung wahrgenommen hat, jedoch bestand vor der Demonstration ein Zweifel. Bei intuitiver Erkenntnis kann dies einem Geist gar nicht begegnen, wenn sein Wahrnehmungsvermögen ausreicht, die Ideen zu unterscheiden.⁴⁰⁹

intuitive Erkenntnis	demonstrative Erkenntnis
unmittelbar erfaßbar, keine Vermittlung durch weitere Ideen, keine Mühe erforderlich, umfassende Gewißheit, keine Prüfung nötig, zu keinem Zeitpunkt Zweifel möglich, sofortige Zustimmung	stufenweise erfaßbar, Vermittlung durch weitere Ideen, Mühe erforderlich, keine umfassende Gewißheit, Prüfung nötig, Zweifel müssen erst beseitigt werden, keine sofortige Zustimmung

Auch bei der demonstrativen Erkenntnis spielt die intuitive Erkenntnis eine wesentliche Rolle. Ihr fällt nämlich die Aufgabe zu, jeden Zwischenschritt abzusichern.

5. Der Wirklichkeitsbezug & die Kritik am Substanzbegriff. Die Außenwelt wird im Bewußtsein durch verschiedene Arten von Ideen mit unterschiedlichen *Zuordnungs-Relationen* repräsentiert. Allgemein lassen sich die Qualitäten eines Körpers durch eine eindeutige Zuordnungs-Relation charakterisieren: gleichartige Körper erzeugen gleichartige Ideen. Locke diskutiert die Frage, in welcher Zuordnungs-Relation Außenwelt und Ideen zueinander stehen und wie die Außenwelt das Bewußtsein veranlaßt, diese Ideen zu entwickeln. Dazu unterscheidet er primäre und sekundäre Qualitäten. *Sekundäre Qualitäten* erzeugen Farb-, Ton- und Geruchswahrnehmungen. Arithmetische (Zahl), geometrische (Figur) und kinematische (Bewegung) Eigenschaften eines Körpers sind *primäre Qualitäten*, die auch dann dem Körper zugesprochen werden müssen, wenn es sich um ein, den Sinnen nicht mehr zugängliches Materiekorpuskel handelt. Demzufolge könnte eine fortschreitende Teilung eines Körpers diesem zwar seine sekundären Qualitäten, nicht aber seine primären

⁴⁰⁹ Locke 1690b, S. 175ff

Qualitäten rauben. Locke schließt daraus, daß die primären Qualitäten in den Körpern wirklich vorhanden sind.

Um die Frage zu beantworten, wie die Qualitäten sinnlich wahrnehmbarer Körper die Ideen im menschlichen Bewußtsein erzeugen können, geht Locke von einer korpuskularen Struktur der Materie und von der anschaulichen Vorstellung der cartesischen Druck- und Stoßvorgänge aus. Die Körper senden Korpuskel aus und diese lösen Sinneswahrnehmungen aus. Die Korpuskel sind durch eine bestimmte Kombination primärer Qualitäten charakterisiert. Locke schreibt den primären Qualitäten eine reale Existenz zu; d.h. diese Qualitäten sind in den Körpern selbst dann vorhanden, wenn sie nicht wahrgenommen werden können. Mit den sekundären Qualitäten hingegen werden lediglich die Kräfte eines Körpers bezeichnet, Sinneswahrnehmungen hervorzurufen. Demzufolge darf zunächst nur darauf geschlossen werden, daß zu jeder Sinneswahrnehmung eine verursachende Qualität in einem Körper vorhanden ist. Für die primären Qualitäten ist die Zuordnungs-Relation darüber hinaus im Sinne einer *Urbild-Abbild-Relation* zu verstehen. Die Beziehung der Ideen zur Außenwelt ist in Lockes Erkenntnislehre durch drei Aspekte charakterisiert: (α) die korpuskulare Struktur der Materie, (β) das kausale Modell der Wahrnehmung durch eine Zuordnungs-Relation und (γ) die quantitativen Bestimmungsmerkmale der Materie.

Als nächstes haben wir zu betrachten, wie die Körper Ideen in uns erzeugen. Es geschieht offenbar durch einen Impuls, der einzigen für uns denkbaren Weise, wie Körper eine Wirkung ausüben. [...]

Hieraus ergibt sich, [...], daß die Ideen der primären Qualitäten der Körper Ebenbilder der letzteren sind und daß ihre Urbilder in den Körpern selbst real existieren, während die durch die sekundären Qualitäten in uns erzeugten Ideen mit den Körpern überhaupt keine Ähnlichkeit aufweisen. In den Körpern selbst existiert nichts, was unsern Ideen gleiche. Sie sind in den Körpern, die wir nach ihnen benennen, lediglich eine Kraft, jene Sensationen in uns zu erzeugen.⁴¹⁰

Der Substanzbegriff erweist sich für Locke im Rahmen seiner Ideenlehre als besonders problematisch. Die Ideen primärer und sekundärer Qualitäten sind wesentliche Bestandteile der komplexen Ideen von Substanzen. Aber die Ideen von Qualitäten allein vermitteln noch nicht die Vorstellung eines einheitlichen Gegenstandes. Naturerkenntnis beruht aber auf der Beobachtung koexistierender Akzidenzien. Ausgehend von der Feststellung, daß die Sinneswahrnehmungen in bestimmter Weise als Kollektiv auftreten, wird der allgemeine Begriff der Substanz im Sinne eines Trägers von Eigenschaften gebildet. Der Substanzbegriff kann keine einfache Idee sein, da weder die Sensationen noch die Reflexionen eine Substanzvorstellung vermitteln. Die Erfahrung bezeugt zwar die Existenz von Qualitäten als das Vermögen der Substanzen, einfache Ideen durch Sensationen oder Reflexionen hervorzurufen; die Träger dieser Qualitäten bleiben aber unerkennbar. Der Substanzbegriff ist

⁴¹⁰ Locke 1690a, S. 148ff

einerseits problematisch, da ihm keine komplexe Idee zugeordnet werden kann, die auf einfache Ideen zurückführbar ist, andererseits kann aber auf den Substanzbegriff nicht verzichtet werden, da andernfalls die Koexistenz von Akzidenzien nicht vermittelt werden kann. Damit ist für Locke die Grenze der Erkenntnisfähigkeit erreicht. Nach seiner Auffassung – und hier schließt sich später Hume an – ist es nur die Gewohnheit, die den Begriff der Substanz nahelegt.

Wir können uns nämlich [...] nicht vorstellen, wie diese einfachen Ideen für sich bestehen *können*; deshalb gewöhnen wir uns daran, irgendein *Substrat* vorauszusetzen, in dem sie bestehen, aus dem sie hervorgehen. Dies nennen wir deshalb *Substanz*.

Unsere Idee, der wir den *allgemeinen* Namen Substanz geben, ist also nichts anderes als der vorausgesetzte, aber unbekannte Träger der Qualitäten, die wir existieren sehen.⁴¹¹

Wir haben also keine Idee davon, was die Substanz ist, sondern nur eine verworrene und unklare Idee davon, was sie leistet.⁴¹²

Die Substanzen als solche bleiben also unerkennbar. Daraus können unterschiedliche Konsequenzen gezogen werden: (α) Die *Konsequenz von Locke*: Obwohl die Substanzen als solche nicht erkennbar sind und damit außerhalb der Erkenntnisgrenzen liegen, muß der Substanzbegriff dennoch beibehalten werden, da er die Funktion erfüllt, den beharrlichen Komplex sinnlicher Qualitäten zu beschreiben. (β) Die *Konsequenz von Berkeley*: Die Substanzen sind deshalb unerkennbar, weil es sie gar nicht gibt. Die einzige haltbare Position ist der Immaterialismus. (γ) Die *Konsequenz von Leibniz*: Lockes Erkenntnislehre ist unzulänglich, weil sie den Substanzbegriff mit ihrem begrifflichen Instrumentarium nicht erfassen kann, d.h. sie nimmt apriorische Strukturierungen an, ohne dies zuzugeben. Die sensualistische Erkenntnislehre muß durch die Monadenlehre ersetzt werden. (δ) Die *Konsequenz von Kant*: Der Substanzbegriff ist eine Kategorie des Denkens, die a priori im Verstand bereitliegt.

6. Vergleich mit einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie. Es ist das große Verdienst Lockes, den Blick auf den Entstehungszusammenhang des Wissens zu richten und damit eine ontogenetische Perspektive einzubeziehen. Diese Problemstellung hat Kant zu Unrecht abgewiesen; sie wird von einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie wieder aufgegriffen und auf dem Boden der Entwicklungspsychologie beantwortet. Aus der Retrospektive ist aber auch klar, daß Lockes Ideenlehre bereits von ihrem atomistischen Ansatz her verfehlt ist. Die Gestaltpsychologie hebt hervor, daß die Wahrnehmung der Phänomene nicht eine Komposition von einzelnen Sinneseindrücken ist, sondern die Zergliederung des Ganzen in „geformte Teilgebilde“. Obwohl seine Erkenntnislehre also unbefriedigend bleibt, kommt

⁴¹¹ Locke 1690a, S. 366f

⁴¹² Locke 1690a, S. 201

Locke doch das Verdienst zu, das Problem des Substanzbegriffs in voller Schärfe formuliert zu haben. Allerdings hätte Locke mit Blick auf die merkwürdigen Schwierigkeiten mit dem Substanzbegriff durchaus selbst die Unhaltbarkeit seines empiristischen Ansatzes erkennen können. Ungeachtet dessen bleibt die Frage nach dem ontogenetischen Aufbau der Erkenntnis von besonderer Bedeutung und in dieser Sache ist Locke ausdrücklich gegen die Kritik Kants zu verteidigen.

Hume (1711 – 1776) publiziert 1739/40 seine erste Schrift *Ein Traktat über die menschliche Natur* in drei Bänden und verfaßt 1748 sein Werk *Eine Untersuchung über den menschlichen Verstand*. Er will damit seinen ehrgeizigen Plan verwirklichen, durch eine Wissenschaft vom menschlichen Geist allen Wissenschaften ein sicheres Fundament zu geben. Diese Wissenschaft soll eine exakte „Anatomie“ des Erkenntnisvermögens leisten. Paradigmatisch für Hume sind die Gesetzmäßigkeiten der klassischen Physik Newtons. Newton ist es gelungen, durch einige einfache Gesetze alle Bewegungen der Materie im Universum zu beschreiben. Dementsprechend will auch Hume die Verknüpfungen von Vorstellungen durch einige grundlegende Gesetzmäßigkeiten formulieren. Sein Anliegen ist es, mit einem neuartigen Forschungsansatz nach dem methodischen Vorbild der Naturwissenschaften eine neue Grundlage für die Philosophie zu entwickeln. Die Wissenschaft vom menschlichen Geist muß empirisch sein, d.h. die empirische Methode ist für Hume die einzig akzeptable Methode um zu begründeten Erkenntnissen über den Menschen zu gelangen. Damit steht Hume in der Tradition Lockes und in strikter Gegnerschaft zu den Rationalisten. Die Untersuchung des Geistes bedient sich der Introspektion. Die Philosophie soll dann – ausgestattet mit diesem neuen Fundament – die Aufgabe erhalten, die Erkenntnisansprüche der Logik, Mathematik, Naturwissenschaften und Metaphysik neu zu prüfen, ungerechtfertigte Ansprüche zurückzuweisen und gerechtfertigte Ansprüche zu sichern.

1. Das methodische Vorbild der Naturwissenschaften. Hume beginnt im Traktat seine Einleitung mit einer harschen Kritik an den hitzigen Wortgefechten der Gelehrten, die das Versagen der philosophischen Lehren beleuchten. Wie zuvor schon Bacon Descartes und Locke, beklagt auch er die Mängel in den Erkenntnisgrundlagen.

Leicht erkennt ja der Urteilsfähige und Unterrichtete die schwache Grundlage selbst solcher Lehren, welche das größte Ansehen erlangt und die höchsten Ansprüche in bezug auf Schärfe und Tiefe des Denkens erhoben haben. Prinzipien, auf guten Glauben angenommen, lahme Schlußfolgerungen aus denselben, Mangel an Zusammenhang in den Teilen und an Beweiskraft im ganzen sind überall in den Lehren der bedeutendsten Philosophen zu finden und scheinen die Philosophie selbst in Ungnade gebracht zu haben.⁴¹³

⁴¹³ Hume 1739, S. 1f

Der desolate Zustand der Philosophie scheint sich – nach Humes Einschätzung – auch durch die neuzeitlichen Erkenntnislehren von Descartes, Leibniz und Locke nicht gebessert zu haben. Die Problematik philosophischer Lehren betrifft ihre Grundlagen und manifestiert sich an den zahlreichen Kontroversen zwischen Rationalisten und Empiristen. Um Abhilfe zu schaffen wäre ein neues Fundament erforderlich – eine genaue Kenntnis der menschlichen Erkenntnisfähigkeiten. Diese genaue Kenntnis über Umfang, Grenzen und Gewißheit des Erkenntnisvermögens sowie die Beschaffenheit der Vorstellungen und ihre Verknüpfungen können tiefgreifende Auswirkungen auf alle übrigen Wissenschaften haben. Nach Humes Auffassung fehlt es bislang an einer konsequenten Analyse.

Wenn wir daher hier den Anspruch erheben, die Prinzipien der menschlichen Natur klarzulegen, so stellen wir damit zugleich ein vollständiges System der Wissenschaften in Aussicht, das auf einer fast vollständig neuen Grundlage errichtet ist, [...].⁴¹⁴

Mit klaren und von selbst einleuchtenden Prinzipien zu beginnen, mit behutsamen und sicheren Schritten vorzugehen, immer wieder unsere Schlüsse von neuem nachzuprüfen und genau all ihre Folgerungen zu erwägen – sollten wir auch auf diesem Wege nur langsam und wenig in unseren Systembildungen vorwärtskommen – das sind die einzigen Methoden, nach denen wir je die Wahrheit zu erreichen hoffen können und eine angemessene Festigkeit und Gewißheit unserer Begriffsbestimmungen zu gewinnen.⁴¹⁵

Wie zahlreiche Philosophen vor ihm, stellt auch Hume eine Neubegründung der Wissenschaften in Aussicht. Überraschend ist, daß Hume die provozierende These von den „geistigen Fähigkeiten der Tiere“ aufstellt und seine philosophierenden Vorgänger gerade darin kritisiert, daß sie dem menschlichen Geist außerordentliche Eigenschaften zuschreiben um dessen Einzigartigkeit herauszustreichen.

Der gewöhnliche Fehler der Theorien, welche die Philosophen zur Erklärung der Tätigkeiten des Geistes aufgestellt haben, besteht darin, daß sie eine Kompliziertheit und Subtilität des Geistes voraussetzen, die nicht nur die geistige Fähigkeit der Tiere übersteigt, sondern auch schon die der Kinder und des gemeinen Volkes innerhalb unserer eigenen Spezies, obgleich diese doch derselben Gefühlserregungen und Affekte fähig sind, wie Leute mit dem ausgebildetsten Geist und Verstand. Wer solche Subtilitäten voraussetzt, liefert damit einen deutlichen Beweis von der Unrichtigkeit seiner Lehre, [...].⁴¹⁶

Die Aufgabe besteht also darin, durch sorgfältige, genaue und umfassende Beobachtungen die innere Struktur des Geistes nach dem methodischen Vorbild der Naturwissenschaften zu erforschen. Für die Ausführung nimmt Hume eine „höhere Einsicht“ in Anspruch – eine Intuition, die durch Übung geschult werden muß.

⁴¹⁴ Hume 1739, S. 4

⁴¹⁵ Hume 1748, S. 176

⁴¹⁶ Hume 1739, S. 238

Die geistigen Tätigkeiten haben das Merkwürdige an sich, daß sie, obgleich am innerlichsten uns gegenwärtig, doch in Dunkel gehüllt scheinen, sobald sie Gegenstand der Überlegung werden; auch kann das Auge nicht ohne weiteres jene Linien und Grenzen finden, welche sie auseinanderhalten und unterscheiden. Diese Gegenstände sind zu fein, um lange denselben Anblick und dieselbe Lage zu bieten; sie müssen in einem Augenblick erfaßt werden, mit höherer Einsicht, welche Naturgabe ist und sich durch Übung und Überlegung steigert.⁴¹⁷

Die allgemeine Frage nach Ursachen und Wirkungen ist eine Sache der „echten Metaphysik“; die spezielle Frage nach den *letzten* Ursachen hingegen übersteigt die Erkenntnisfähigkeiten und muß folgerichtig ausgeschlossen werden. Spöttisch richtet sich Hume gegen Philosophen – wie Aristoteles, Descartes und Leibniz –, die sich in ihrer Unbescheidenheit angemaßt haben, diese ersten Ursachen in der Natur angeben zu können.

Hieraus läßt sich der Grund entnehmen, warum kein Philosoph, der verständig und bescheiden ist, sich jemals angemaßt hat, die letzte Ursache irgend eines Naturvorgangs anzugeben [...]. Diese letzten Grundkräfte und Prinzipien sind ganz und gar der menschlichen Wißbegierde und Forschung verschlossen. [...] Die vollkommenste Naturwissenschaft schiebt nur unsere Unwissenheit ein wenig weiter zurück, [...].⁴¹⁸

Philosophen, welche die Miene höherer Weisheit und Zuständigkeit aufsetzen, haben schweren Stand, wenn sie fragedurstigen Leuten begegnen, die sie aus jedem Schlupfwinkel vertreiben und schließlich sicher in ein gefährliches Dilemma bringen. [...]

Es muß sicherlich eingeräumt werden, daß die Natur uns in großem Abstand von all ihren Geheimnissen hält und uns nur die Kenntnis weniger oberflächlicher Eigenschaften der Dinge ermöglicht, während sie jene Kräfte und Prinzipien vor uns verbirgt, von denen allein der Einfluß abhängt, den diese Dinge ausüben.⁴¹⁹

Der „echten Metaphysik“ fällt die Rolle einer „anatomisierenden Philosophie“ zu; sie muß die ungerechtfertigten Erkenntnisansprüche zurückweisen und die noch verbleibenden bescheidenen, aber gerechtfertigten Erkenntnisansprüche sichern. Beispiele für metaphysische Begriffe sind „Kraft“, „Energie“ und „Kausalität“. Diese Begriffe gehören zu den Grundlagen der Naturwissenschaften; sie sind daher unverzichtbar.

2. Die sensualistisch-skeptizistische-naturalistische Ideenlehre. Hume beginnt mit der Einteilung der Gesamtheit der Bewußtseinsinhalte in zwei Arten: Eindrücke und Vorstellungen. Die Eindrücke umfassen äußere Wahrnehmungen (Sinneswahrnehmungen) und innere Wahrnehmungen (Affekte, Gefühle), die Vorstellungen umfassen Erinnerungen und Phantasien. Die Unterscheidungskriterien von Eindrücken und Vorstellungen sind Stärke, Lebendigkeit, Eindringlichkeit und Beständigkeit. Dabei unterstellt Hume, daß diese, an sich

⁴¹⁷ Hume 1748, S. 11

⁴¹⁸ Hume 1748, S. 40f

⁴¹⁹ Hume 1748, S. 43

kontinuierlichen Kriterien einen eindeutigen und scharfen Schnitt zur Unterscheidung der Eindrücke einerseits und der Vorstellungen andererseits zulassen. Auf dieser Grundlage entwickelt er eine Assoziations- und Gewohnheitslehre. Damit erhebt Hume den Anspruch, eine Analyse der menschlichen Verstandestätigkeit vorlegen zu können, die es erlaubt, den Streit über metaphysischen Aussagen ein für allemal ein Ende zu bereiten. Wird die Sachhaltigkeit einer bestimmten Vorstellung behauptet, so ist damit die Aufgabe verknüpft, die korrespondierenden Eindrücke aufzuweisen. Gelingt dies nicht, dann ist die behauptete Vorstellung keine klare und deutliche Vorstellung.

Haben wir daher Verdacht, daß ein philosophischer Ausdruck ohne irgend einen Sinn oder eine Vorstellung gebraucht werde, [...] so brauchen wir bloß nachzuforschen, *von welchem Eindruck stammt diese angebliche Vorstellung her?* Und läßt sich durchaus kein solcher aufzeigen, so wird dies zur Bestätigung unseres Verdachts dienen. Indem wir die Vorstellungen in ein so klares Licht stellen, dürfen wir billig hoffen, allem Streit, der über ihre Natur und Wirklichkeit sich erheben könnte, ein Ende zu machen.⁴²⁰

Hume verbindet in seiner Erkenntnislehre sensualistische, atomistische, skeptizistische und naturalistische Elemente.

- (i) **Der sensualistische Aspekt:** Alle Vorstellungen beruhen auf Eindrücken und der Zusammenhang ist im Sinne einer Urbild-Abbild-Relation zu verstehen. Die Eindrücke sind die Urbilder und das Baumaterial der Vorstellungen und die Vorstellungen sind die schwächeren, schattenhaften Abbilder der Eindrücke.
- (ii) **Der atomistische Aspekt:** Jede komplexe Vorstellung kann in einfache Vorstellungen zerlegt und diese wiederum können auf die ihr zugrundeliegenden Eindrücke zurückgeführt werden (Analyse). Umgekehrt können aus Eindrücken durch Zusammensetzung alle möglichen Vorstellungen erzeugt werden (Synthese). Die Vorstellungen sind – in Analogie zu den Naturgesetzen der Newtonschen Physik – gesetzesmäßig verknüpft und lassen sich durch drei Regeln beschreiben: (α) die Ähnlichkeit, (β) der raum-zeitliche Zusammenhang und (γ) die Kausalverbindung.

Die Gesamtheit aller möglichen Aussagen zerfällt in zwei komplementäre Mengen. (α) Die *Verstandesaussagen*: Hier geht es um Sätze, die durch die reine Verstandestätigkeit gefunden werden. Sie sind unabhängig von den wirklichen Gegebenheiten der Welt und sie sind evident. Als Beispiele nennt Hume die Geometrie, Arithmetik und Algebra. (β) Die *Tatsachenaussagen*: Hier geht es um Sätze, die nicht durch die reine Verstandestätigkeit gefunden werden können. Sie sind abhängig von den wirklichen Gegebenheiten der Welt und sie zeichnen sich dadurch aus, daß das Gegenteil grundsätzlich logisch möglich ist. Als Beispiel verweist Hume auf den täglichen Sonnenaufgang, der immer kontingent bleibt.

⁴²⁰ Hume 1748, S. 22

- (iii) **Der skeptizistische Aspekt:** Humes skeptischer Zweifel stellt nachdrücklich die Frage nach der Leistungsfähigkeit des Verstandes und beantwortet diese pessimistisch. In epistemologischer Hinsicht bleiben alle Erkenntnisse prinzipiell unsicher. Der Mensch gerät bei der Anwendung metaphysischer Begriffe und Prinzipien in ein Dilemma. Hume hat diese Schwierigkeit am Kausalprinzip entwickelt. Wird das Kausalprinzip verworfen, dann gibt es keine Ordnung der Phänomene nach Ursache und Wirkung; wird das Kausalprinzip akzeptiert, dann bleibt das so geordnete Wissen unsicher, weil keine empirische Überprüfung und kein logischer Beweis möglich ist.
- (iv) **Der naturalistische Aspekt:** Der radikale Skeptizismus ist für Hume das unbestreitbare Ergebnis der philosophischen Analyse. Es gibt keine logischen oder empirischen Gründe, diese Position zurückzuweisen. Hume vertritt folgerichtig einen strikten Erkenntnis-Pessimismus.

Hume sieht sich in eine Aporie verstrickt: Der Mensch muß als handelndes Wesen Kausal- und Induktionsschlüsse akzeptieren. Der Mensch kann aber als denkendes Wesen Kausal- und Induktionsschlüsse aber nicht empirisch oder logisch begründen. Der radikale Skeptizismus muß abgelehnt werden weil er lebenszerstörend ist. Die Natur zwingt den Menschen zu urteilen, zu entscheiden und zu handeln, obwohl keine völlige Evidenz vorliegt.

3. Die Kritik am Kausal- & Induktionsbegriff. Im Brennpunkt des Interesses steht für Hume die Frage nach der Evidenz des Kausalprinzips und des Induktionsprinzips. Mit Blick auf die Beziehung von Ursache und Wirkung macht Hume eindeutig und ausschließlich die Erfahrung als Quelle der Erkenntnis aus, allerdings nur in dem Sinne, daß eine *regelmäßige Abfolge* von Tatsachen beobachtet werden kann. Hume begründet seine These in drei Schritten: (α) Urteile über Kausalität sind keine analytischen Urteile. Dieses Argument zielt auf den Nachweis, daß weder die Ursache noch die Wirkung aus der Begriffsanalyse gewonnen werden kann; die Verknüpfung ist nicht im Begriff enthalten. Ursache und Wirkung sind völlig verschieden; sie sind nicht durch ein logisches Gesetz verknüpft. Dieser Befund steht im strikten Gegensatz zum leibnizischen Standpunkt, demzufolge das Prinzip des zureichenden Grundes ein analytisches Urteil ist. (β) Urteile über Kausalität sind keine synthetischen Urteile a posteriori. Dieses Argument hebt hervor, daß auch die Sinneswahrnehmungen keine Auskunft geben können über die Verknüpfung von Ursache und Wirkung. Sinnlich gegeben ist immer nur ein zeitliches Nacheinander von Erscheinungen, nicht aber die kausale Verbindung an sich. (γ) Ursache und Wirkung sind grundsätzlich unterschiedliche Ereignisse, d.h. aus der Kenntnis des einen kann keinesfalls die Kenntnis des anderen durch die Tätigkeit des Verstandes erschlossen werden. Es ist immer die Erfahrung, die einen Zusammenhang zwischen Ereignissen nahelegt. Die Erfahrung ist aber nicht so beschaffen, daß sie eine notwendige Verknüpfung zwischen den Ereignissen aufweist. Stattdessen ist es nur eine beständige *Gleichförmigkeit der Natur*, die sich beobachten läßt.

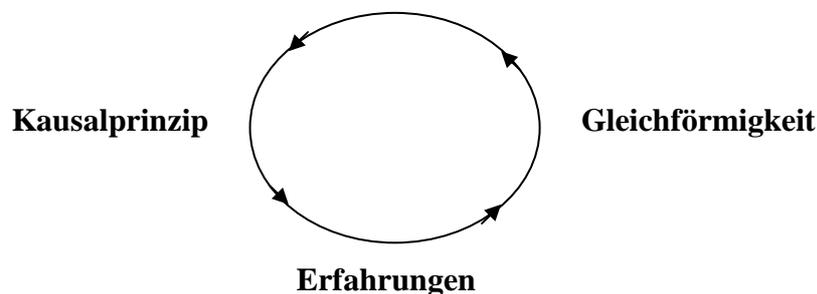
Nach der kritischen Analyse des Kausalprinzips, stellt Hume die Frage nach der Begründung des Induktionsprinzips. Die Anwendung induktiver Schlüsse zeigt sich unter zwei verschiedenen Aspekten: (α) Gemeint ist ein raum-zeitliches Induktionsprinzip, das von einem Kausalzusammenhang an einem Raum-Zeit-Punkt auf einen Kausalzusammenhang an einem anderen Raum-Zeit-Punkt schließt. (β) Gemeint ist ein Induktionsprinzip, das von einem Sachverhalt auf einen anderen gleichartigen Sachverhalt schließt und demnach mit dem starken Kausalprinzip verknüpft ist.

Was die vergangene *Erfahrung* betrifft, so kann nur eingeräumt werden, daß sie uns *unmittelbare* und *gewisse* Belehrung über jene ganz bestimmten Gegenstände und jenen ganz bestimmten Zeitpunkt bietet, die zu ihrer Kenntnisnahme gelangten. Aber warum diese Erfahrung auf die Zukunft ausgedehnt werden sollte und auf andere Gegenstände, die, soviel wir wissen können, nur in der Erscheinung gleichartig sein mögen: dies ist die Hauptfrage, die ich betonen möchte.⁴²¹

Wir sagten, daß alle Begründungen, die das Dasein betreffen, auf der Beziehung von Ursache und Wirkung beruhen, daß unsere Kenntnis dieser Beziehung einzig aus der Erfahrung hergeleitet wird und daß endlich alle unsere Erfahrungsschlüsse von der Voraussetzung ausgehen, daß die Zukunft mit der Vergangenheit gleichförmig sein werde. Wer den Beweis dieser letzteren Voraussetzung durch wahrscheinliche Gründe, d.h. durch Gründe, welche das Dasein betreffen, zu führen versucht, muß sich ersichtlich im Kreise drehen und das für zugestanden nehmen, was gerade der in Frage stehende Punkt ist.⁴²²

Hume erkennt im Versuch einer rationalen Begründung einen Zirkelschluß, der folgende Struktur aufweist: (α) Die Verknüpfung von Tatsachenaussagen beruft sich auf das Kausalprinzip. (β) Das Kausalprinzip wird durch den Verweis auf die Erfahrung begründet. (γ) Die Erfahrung setzt die Gleichförmigkeit der Natur voraus. (δ) Die Gleichförmigkeit der Natur wird aus den Tatsachenaussagen hergeleitet.

Verknüpfung von Tatsachenaussagen



Hume erscheint es aber durchaus einleuchtend, daß das Kausal- und das Induktionsprinzip nicht auf der Verstandestätigkeit beruhen. Diese beiden Prinzipien sind so lebenswichtig, daß die Natur sie nicht an die Verstandestätigkeit gekoppelt haben kann.

⁴²¹ Hume 1748, S. 44

⁴²² Hume 1748, S. 46f

4. Das Prinzip der Gewohnheit. Die Kritik am Kausal- und Induktionsprinzip hat bislang nur eine negative Antwort geliefert. Die Frage bleibt also, auf welcher Grundlage diese Prinzipien tatsächlich begründet werden können. Hier gibt Hume eine naturalistische Antwort.

Die Natur muß wohl für ein anderes Prinzip gesorgt haben, das handlicher ist und in weiterem Umfang nützliche Anwendung gestattet; auch kann eine Tätigkeit von so ungeheurer Tragweite für das Leben, wie die Ableitung von Wirkungen aus Ursachen, dem ungewissen Verfahren von Denkakten und Begründungen nicht anvertraut werden.⁴²³

Dies Prinzip ist *Gewohnheit* oder *Übung*. [...] Ja, diese Hypothese scheint die einzige zu sein, welche das schwierige Problem erklärt, warum wir aus tausend Fällen etwas ableiten, was wir aus *einem* Falle, der in keiner Hinsicht von jenen abweicht, abzuleiten nicht in der Lage waren. Die Vernunft ist eines so verschiedenen Verfahrens nicht fähig. [...] ⁴²⁴

Behaupten wir also, daß ein Gegenstand mit einem anderen verknüpft ist, so meinen wir nur, daß sie in unserem Denken eine Verknüpfung eingegangen sind [...].⁴²⁵

Aus dem Sachverhalt, daß kausale und induktive Schlüsse nicht aus Einzelereignissen gezogen werden können, sondern eine gewisse Anzahl von Wiederholungen benötigen, schließt Hume auf das Prinzip der Gewohnheit als begründende Instanz. Das Kausalprinzip hat demnach zwei Wurzeln: (α) das Gleichförmigkeitsprinzip der Natur und (β) das Gewohnheitsprinzip des Geistes.

Beobachtung	Interpretation
sinnliche Wahrnehmung	Gewohnheit
regelmäßige Abfolge: Korrelation	beständige Verknüpfung: Allgemeinheit & Notwendigkeit
Gleichförmigkeitsprinzip	Gesetzmäßigkeit: Kausalprinzip, Induktionsprinzip

Humes Analyse zieht auch die Grundlagen der Newtonschen Physik in Zweifel. Damit ist gemeint, daß das Kausal- und das Induktionsprinzip zwar unverzichtbar, aber weder empirisch überprüfbar noch logisch beweisbar sind. Stattdessen deutet er diese Prinzipien im

⁴²³ Hume 1748, S. 124

⁴²⁴ Hume 1748, S. 55

⁴²⁵ Hume 1748, S. 91

Sinne naturalistischer Gewohnheiten. Humes Zeitgenossen sehen darin einen skandalösen Angriff gegen die Naturwissenschaften und auch Kant ist mit den von Hume gezogenen Konsequenzen nicht einverstanden.

5. Vergleich mit einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie. Humes tiefgründige Analyse des Kausal- und Induktionsprinzips ist richtungweisend. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie bestätigt ihn in mindestens drei zentralen Aspekten: (α) Das *phylogenetische Argument*: Die Fähigkeit zu kausalen und induktiven Schlüssen sind überlebensrelevante Mechanismen des Wissenserwerbs, die bereits bei höher entwickelten Tieren in einem gewissen Maße vorliegen. Die empirischen Neurowissenschaften klären die neuronalen Bedingungen für diese Fähigkeiten und zeigen den engen Zusammenhang der induktiven Schlüsse mit den spezifischen Kodierungsmechanismen des Gehirns. (β) Das *ontogenetische Argument*: Die Fähigkeit zu kausalen und induktiven Schlüssen wurzeln nicht im Verstand im engen Sinne und treten in der Ontogenese bereits in Erscheinung, lange bevor die Reflexionsfähigkeit einsetzt. Der Verstand im engen Sinne meint dabei die Fähigkeit, logische Schlüsse zu ziehen. (γ) Das *epistemologische Argument*: Den kausalen und induktiven Schlüssen kann weder Allgemeinheit noch Notwendigkeit zugesprochen werden. Der rigorose Skeptizismus ist demnach die einzig haltbare epistemologische Position. Eine absolute Fundierung des Wissens ist prinzipiell ausgeschlossen.

Kants Lehre von den Formen der Anschauung und den Kategorien des Denkens

Für Kant (1724 – 1804) ist die Metaphysik die Wissenschaft von den Grenzen der menschlichen Vernunft. Von den erfolgreichen Entwicklungen in der Logik, der Mathematik und den Naturwissenschaften tief beeindruckt, betrachtet er den anhaltenden Streit um die verschiedenen metaphysischen Positionen als Skandal. Kant studiert die rationalistischen Theorien von Descartes und Leibniz, die empiristischen Theorien von Locke und Hume, sowie die Naturphilosophie Newtons und erkennt die Unvereinbarkeit dieser disparaten Standpunkte. Auf diesem Hintergrund setzt er seine Untersuchungen eine Stufe tiefer an und fragt: „Wie ist Metaphysik als Wissenschaft möglich?“ Seine kritischen Bestimmungen nach Quellen, Umfang, Inhalt und Grenzen einer wissenschaftlichen Metaphysik legt er 1787 in seinem Werk *Kritik der reinen Vernunft* dar. Dieser Ausgabe B sind bereits eine Ausgabe A von 1781 (nach der synthetischen Methode) und die allgemeinverständlichere Schrift *Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik* von 1783 (nach der analytischen Methode) vorausgegangen. In der Metaphysik, sowie in den Theorien der Mathematik und Naturwissenschaft bringt Kant wesentliche Probleme des neuzeitlichen Denkens, die sich bis dahin in teils sich ignorierender, teils sich befehlender Weise entfaltet haben, auf einer höheren Stufe der Reflexion zu einer Lösung durch eine Revolution der Denkart.⁴²⁶

⁴²⁶ Mohr / Willaschek 1998

Kritisch gegenüber dem Erkenntnisanspruch der traditionellen Metaphysik, sucht Kant ein neues Fundament zu schaffen. Er stellt die alte Frage nach der Möglichkeit und den Bedingungen von Erkenntnis neu und beantwortet sie auf originelle Weise. (α) Die zentralen Existenzsätze der traditionellen Metaphysik (Seele, Gott, Welt) werden als dogmatisches Scheinwissen entlarvt. Kant weist nach, daß sie zur Fundierung des Wissens nicht geeignet sind, weil sie Erkenntnisse vortäuschen, die jenseits der Grenzen der Erkenntnis liegen und weil sie daher zwangsläufig zu Trugschlüssen führen. Dennoch kommt Kant zu dem Ergebnis, daß jedes Wissen nicht-empirische Bedingungen hat. (β) Nur das Zusammenwirken von Sinneswahrnehmungen und Verstandestätigkeiten führt zur Erkenntnis. Kant spricht von zwei irreduziblen kognitiven Vermögen, trifft die überaus wichtige Unterscheidung zwischen „Anschauung“ und „Begriff“ und benennt die apriorischen Anteile des Wissens als Formen der Anschauung und den Kategorien des Denkens. (γ) Die Formen der Anschauung und die Kategorien des Denkens sind für Kant allgemein gültig und notwendig wahr; sie liegen *vor* jeder Erkenntnis, sie machen diese erst möglich und sie haben eine wirklichkeitskonstituierende Funktion. Die Phänomene sind nur dadurch empirisch zugänglich, daß bereits gewisse Strukturen, die a priori gegeben sind, zu ihrer Erforschung an diese herangetragen werden. Dabei unterstellt Kant, daß Wissen unproblematisch ist, sofern es sich auf die jeweils gemachten Erfahrungen beschränkt. Damit gerät aus dem Blickfeld, daß alles Wissen in ein „Weltbild“ eingebettet ist und daß auch die Strukturierungsformen mit dem Wissenszuwachs einer Veränderung unterworfen sind. (δ) Den Intuitionsbegriff der Rationalisten lehnt Kant ab; für ihn gibt es nur die sinnliche Anschauung. Mit Kants Lehre von den Formen der Anschauung und den Kategorien des Denkens gehen jedoch wesentliche Aspekte der platonischen und cartesischen Intuitionsbegriffe verloren. Dabei ist zuallererst der Begriff „rationale Intuition“ selbst gemeint, darüber hinaus aber auch die Belehrung der rationalen Intuition. Die Konsequenzen manifestieren sich in einem eingeschränkten Mathematikverständnis (vgl. Kapitel 2.2).

1. Das metaphysische Fundament der Physik. Kants Schrift von 1786 *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* soll das begriffliche und systematische Fundament der Physik legen. Die Physik selbst muß dies nicht leisten. Ihre Aufgabe ist es, die Begriffe und Prinzipien der Materie vorauszusetzen und sich mit ihrer Quantifizierung zu befassen. Der Philosophie hingegen fällt die Aufgabe zu, die metaphysischen Grundlagen zu konstituieren. Die Metaphysik, die also auf das Apriorische zielt und die Physik, die das Aposteriorische erfaßt, ergeben zusammen ein hierarchisch geordnetes, systematisches Ganzes.

Alle Naturphilosophen, welche in ihrem Geschäfte mathematisch verfahren wollten, haben sich daher jederzeit (obschon sich selbst unbewußt) metaphysischer Prinzipien bedient und bedienen müssen, wenn sie sich gleich sonst wider allen Anspruch der Metaphysik auf ihre Wissenschaft feierlich verwahrten. Ohne Zweifel verstanden sie unter der letzteren den Wahn, sich Möglichkeiten nach Belieben auszudenken und mit Begriffen zu spielen, die sich in der Anschauung vielleicht gar

nicht darstellen lassen, und keine andere Beglaubigung ihrer objektiven Realität haben, als daß sie bloß mit sich selbst nicht im Widerspruche stehen. Alle wahre Metaphysik ist aus dem Wesen des Denkungsvermögens selbst genommen, und keineswegs darum erdichtet, weil sie nicht von der Erfahrung entlehnt ist, sondern enthält die reinen Handlungen des Denkens, mithin Begriffe und Grundsätze a priori, welche das Mannigfaltige *empirischer Vorstellungen* allererst in die gesetzmäßige Verbindung bringt, dadurch es *empirische Erkenntnis*, d.i. Erfahrung, werden kann. So konnten also jene mathematische Physiker metaphysischer Prinzipien gar nicht entbehren, und unter diesen auch nicht solcher, welche den Begriff ihres eigentlichen Gegenstandes, nämlich der Materie, a priori zur Anwendung auf äußere Erfahrung tauglich machen, [...]. Darüber aber bloß empirische Grundsätze gelten zu lassen, hielten sie mit Recht der apodiktischen Gewißheit, die sie ihren Naturgesetzen geben wollten, gar nicht gemäß, daher sie solche lieber postulierten, ohne nach ihren Quellen a priori zu forschen.⁴²⁷

Kant beginnt in der Vorrede zur *Kritik der reinen Vernunft* von 1781 mit einer kritischen Sichtung der verschiedenen Positionen auf dem Kampfplatz der Metaphysik. Die verfahrenere Situation der Metaphysik scheint zu lehren, daß sie zwar notwendig, unverzichtbar und unabweisbar, aber zugleich unmöglich und nicht beantwortbar ist. Die Metaphysik führt somit in ein Dilemma: (α) Die Vernunft verlangt, von speziellen Grundsätzen ausgehend, zu immer allgemeineren Grundsätzen aufzusteigen und bis über die Grenzen der Erfahrung hinauszugehen. Es liegt in der *Natur der Vernunft*, die Erkenntnis vervollständigen zu wollen, indem sie zum Bedingten das Unbedingte sucht. Die Metaphysik will gerade nicht auf halbem Wege abbrechen, sondern bis zum vollständigen Ende weiterfragen. Es ist aber die *Tragik der Vernunft*, diese Aufgabe offensichtlich nicht bewältigen zu können. (β) Erfahrungen sind immer endlich, die Extrapolation der Grundsätze über die Erfahrung hinaus ist daher problematisch; dies *kann* nicht nur, dies *muß* geradewegs zu Trugschlüssen führen. Jenseits dieser Grenzen gibt es dann keinen Probestein der Erfahrung mehr; die Erfahrung kann die spekulativen Antworten der Metaphysik weder bestätigen noch widerlegen.

Die menschliche Vernunft hat das besondere Schicksal in einer Gattung ihrer Erkenntnisse: daß sie durch Fragen belästigt wird, die sie nicht abweisen kann; denn sie sind ihr durch die Natur der Vernunft selbst aufgegeben, die sie aber auch nicht beantworten kann; denn sie übersteigen alles Vermögen der menschlichen Vernunft.

Denn irgend eine Metaphysik ist immer in der Welt gewesen, und wird auch wohl ferner, mit ihr aber auch eine Dialektik der reinen Vernunft, [...] darin anzutreffen sein. Es ist also die erste und wichtigste Angelegenheit der Philosophie, einmal für allemal ihr dadurch, daß man die Quelle der Irrtümer verstopft, allen nachteiligen Einfluß zu benehmen.⁴²⁸

Vor dieser Ausgangssituation stehend, schlägt Kant einen völlig neuen Weg vor, der – seiner Auffassung nach – einzige Weg, der noch übrigbleibt. Kant entwirft den architektonischen Plan einer philosophischen Disziplin und bezeichnet diese als *Transzendentalphilosophie*.

⁴²⁷ Kant 1786, S. 9

⁴²⁸ Kant 1781, A XXXI

Ihre Aufgabe ist es, das Vermögen und die Reichweite der menschlichen Vernunft auszuloten und damit alle möglichen Quellen der Irrtümer zu verstopfen. Dabei liefert die *Elementarlehre* das Material (Anschauungen, Begriffe, Schemata, Grundsätze, Ideen) und die *Methodenlehre* den Plan für das Gesamtsystem.

2. Kopernikanische Wende. An die Stelle des Kampfes der verschiedenen Positionen zur Metaphysik soll der „Prozeß vor einen Gerichtshof“ treten, der die Möglichkeiten einer reinen Vernunftkenntnis unparteiisch prüft, die berechtigten Ansprüche bestätigt und die unbegründeten Ansprüche zurückweist. Da eine erfahrungsunabhängige Erkenntnis definitionsgemäß ihren Grund nicht in der Erfahrung haben kann, muß die Möglichkeit einer reinen Vernunftkenntnis durch die reine Vernunft selbst untersucht werden. Es gibt keine *höhere Instanz* als die Vernunft selbst, die kritisch die Fähigkeiten der Vernunft würdigen kann. Die Vernunft nimmt in diesem Prozeß mehrere Rollen ein: Sie ist zugleich Angeklagte, Staatsanwältin, Verteidigerin und Richterin. Damit sitzt die Vernunft über sich selbst zu Gericht; die Selbstprüfung dient der Selbstrechtfertigung und der Selbstbegrenzung.

[...] eine Aufforderung an die Vernunft, das beschwerlichste aller ihrer Geschäfte, nämlich das der Selbsterkenntnis aufs neue zu übernehmen und einen Gerichtshof einzusetzen, der sie bei ihren gerechten Ansprüchen sichere, dagegen aber alle grundlosen Anmaßungen, nicht durch Machtansprüche, sondern nach ihren ewigen und unwandelbaren Gesetzen, abfertigen könne, und dieser ist kein anderer als die *Kritik der reinen Vernunft* selbst.

Ich verstehe aber hierunter nicht eine Kritik der Bücher und Systeme, sondern die des Vernunftvermögens überhaupt, in Ansehung aller Erkenntnisse, zu denen sie, *unabhängig, von aller Erfahrung, streben mag*, mithin die Entscheidung der Möglichkeit oder Unmöglichkeit einer Metaphysik überhaupt und die Bestimmung sowohl der Quellen, als des Umfanges und der Grenzen derselben, alles aber aus Prinzipien.⁴²⁹

Aufgabe der Transzendentalphilosophie ist also die Selbstprüfung der Vernunft. Diese soll das Inventar der reinen Vernunft liefern, d.h. ein System aller Prinzipien der reinen Vernunft, das sich durch zwei Kriterien auszeichnet. (α) *Gewißheit*: Unter Gewißheit versteht Kant eine apodiktische Gewißheit. Wenn das System aller Prinzipien der reinen Vernunft erst einmal erarbeitet ist und vorliegt, dann bleibt – so glaubt Kant – für spätere Generationen nichts weiter zu tun. (β) *Vollständigkeit*: Unter Vollständigkeit versteht Kant die durchgängige Verknüpfung aller Teile der Vernunft nach Art eines Bauwerks. Mit dieser neuen Grundlage will Kant die bisherige Denkart revolutionieren und die Philosophie auf ein vernunftkritisches Fundament stellen. Die Metapher eines Bauwerks bringt eine statische Sichtweise zum Ausdruck, die ohne weitere Begründung eine Unveränderlichkeit der Vernunftprinzipien annimmt und keine Entwicklungsmöglichkeiten zuläßt. Die Transzendentalphilosophie hat demnach den Auftrag, die unveränderliche Leistungsfähigkeit der reinen Vernunft nach

⁴²⁹ Kant 1781, A XI f

Quellen, Umfang, Inhalt und Grenzen mit den Mitteln der Vernunftkritik vollständig und nach allgemeinen Prinzipien zu bestimmen und so das Gebiet für eine wissenschaftliche Metaphysik neu abzustecken. Sie ist genau dann erfolgreich, wenn es ihr gelingt, die Gründe für die Trugschlüsse aufzudecken, in die sich die Vernunft verstrickt, wenn sie das Unbedingte aufsucht.

Ich nenne alle Erkenntnis transzendental, die sich nicht sowohl mit Gegenständen, sondern mit unserer Erkenntnisart von Gegenständen, insofern diese a priori möglich sein soll, überhaupt beschäftigt. Ein System solcher Begriffe würde Transzendental-Philosophie heißen. [...]

Die Transzendental-Philosophie ist die Idee einer Wissenschaft, wozu die Kritik der reinen Vernunft den ganzen Plan architektonisch, d.i. aus Prinzipien, entwerfen soll, mit völliger Gewährleistung der Vollständigkeit und Sicherheit aller Stücke, [...]. Sie ist das System aller Prinzipien der reinen Vernunft.⁴³⁰

Daher kann man von einer solchen Kritik sagen, daß sie niemals zuverlässig sei, wenn sie nicht ganz und bis auf die mindesten Elemente der reinen Vernunft vollendet ist, und daß man von der Sphäre dieses Vermögens entweder alles oder nichts bestimmen und ausmachen müsse.⁴³¹

Nach dem Vorbild der erfolgreichen Wissenschaften – Logik, Geometrie, Mechanik – möchte Kant probeweise auf dem Gebiet der Metaphysik eine Kopernikanische Wende vollziehen. Es bedarf einer „Revolution der Denkart“, die das Verhältnis des erkennenden Subjekts **S** zu dem zu erkennenden Objekt **O** geradezu umdreht: Das Erkenntnisvermögen kann sich nicht nach den Erkenntnisgegenständen richten, sondern die Erkenntnisgegenstände müssen sich nach den epistemischen Leistungen des erkennenden Subjekts richten. Damit ist gemeint, daß die Bedingungen der Erkenntnis der Gegenstände zugleich die Bedingungen der Gegenstände der Erkenntnis sind. Ist erst einmal dieser revolutionäre Ausgangspunkt gefunden, dann kann die Metaphysik – so glaubt Kant – vollständig und endgültig aufgebaut werden.

Bisher nahm man an, alle unsere Erkenntnis müsse sich nach den Gegenständen richten; aber alle Versuche über sie a priori etwas durch Begriffe auszumachen, wodurch unsere Erkenntnis erweitert würde, gingen unter dieser Voraussetzung zu nichte. Man versuche es daher einmal, ob wir nicht in den Aufgaben der Metaphysik damit besser fortkommen, daß wir annehmen, die Gegenstände müssen sich nach unserem Erkenntnis richten, [...].⁴³²

In jenem Versuche, das bisherige Verfahren der Metaphysik umzuändern, und dadurch, daß wir nach dem Beispiele der Geometer und Naturforscher eine gänzliche Revolution mit derselben vornehmen, besteht nun das Geschäft dieser Kritik der reinen spekulativen Vernunft. [...]. Dafür aber hat auch die Metaphysik das seltene Glück, welches keiner anderen Vernunftwissenschaft, die es mit Objekten zu tun hat [...], zuteil werden kann, daß, wenn sie durch diese Kritik in den sicheren Gang einer Wissenschaft gebracht worden, sie das ganze Feld der für sie

⁴³⁰ Kant 1787, B 25ff

⁴³¹ Kant 1783, 10f

⁴³² Kant 1787, B XVI

gehörigen Erkenntnisse völlig befassen und also ihr Werk vollenden [...] kann, weil sie es bloß mit Prinzipien und den Einschränkungen ihres Gebrauchs zu tun hat, welche durch jene selbst bestimmt werden.⁴³³

Kant sagt gerade nicht, daß die Erkenntnis von der empirischen Konstitution des erkennenden Subjekts **S** abhängt, d.h. von den neurologischen, phylogenetischen, ontogenetischen und kulturellen Bedingungen. Stattdessen will er die nicht-empirischen Bedingungen der Erkenntnis untersuchen. Empirische Ergebnisse haben daher in Kants „Gerichtsverfahren“ nichts zu suchen und umgekehrt hat sein „Gerichtsverfahren“ von empirischen Ergebnissen auch nichts zu befürchten. Damit glaubt er, den lang gesuchten Weg gefunden zu haben, der zur ersehnten absoluten Fundierung des Wissens führt.

3. Transzendentalphilosophie. Kant führt wichtige Einsichten der rationalistischen und empiristischen Erkenntnislehren zusammen. Er erkennt, daß die traditionellen Erkenntnislehren schon deshalb scheitern, weil sie nicht zwischen „Anschauung“ und „Begriff“ unterscheiden. Kant spricht von zwei irreduziblen kognitiven Vermögen, die zusammenwirken müssen, damit überhaupt Erkenntnis entstehen kann. Diese beiden kognitiven Vermögen sind Sinnlichkeit und Verstand; sie generieren zwei verschiedene Arten von Vorstellungen: Anschauungen (intuitive Vorstellungen), die eine unmittelbare Evidenz haben und Begriffe (diskursive Vorstellungen), die in logischen Operationen schrittweise verknüpft werden.

Der *Zeit nach* geht also keine Erkenntnis in uns vor der Erfahrung vorher, und mit dieser fängt alle an.

Wenn aber gleich alle unsere Erkenntnis *mit* der Erfahrung anhebt, so entspringt sie darum doch nicht eben alle *aus* der Erfahrung. Denn es könnte wohl sein, daß selbst unsere Erfahrungserkenntnis ein Zusammengesetztes aus dem sei, was wir durch Eindrücke empfangen, und dem, was unser eigenes Erkenntnisvermögen [...] aus sich selbst hergibt, [...].⁴³⁴

Vermittelst der Sinnlichkeit also werden uns Gegenstände *gegeben*, und sie allein liefert uns *Anschauungen*; durch den Verstand aber werden sie *gedacht*, und von ihm entspringen *Begriffe*.⁴³⁵

Ohne Sinnlichkeit würde uns kein Gegenstand gegeben, und ohne Verstand keiner gedacht werden. Gedanken ohne Inhalt sind leer, Anschauungen ohne Begriffe sind blind. [...] Nur daraus, daß sie sich vereinigen, kann Erkenntnis entspringen.⁴³⁶

Die Grundlage der Vernunftanalyse ist die Klassifizierung der Urteile. Vor Kant werden alle Aussagen in Vernunftwahrheiten und Tatsachenwahrheiten eingeteilt. Kant hingegen unterscheidet drei Urteilsarten. (α) *Analytische Urteile a priori*: Analytische Urteile sind

⁴³³ Kant 1787, B XXIIff

⁴³⁴ Kant 1787, B 1f

⁴³⁵ Kant 1787, B 33

⁴³⁶ Kant 1787, B 75

Erläuterungsurteile, die zum Inhalt der Erkenntnis nichts hinzufügen. Sie erläutern im Prädikat nur das, was im Begriff des Subjekts bereits enthalten ist. Alle analytischen Urteile sind Erkenntnisse a priori, d.h. sie gelten vor jeder Erfahrung. Sie beruhen ausschließlich auf dem Prinzip vom ausgeschlossenen Widerspruch. Das erläuternde Prädikat wird bereits im Subjekt mitgedacht, es kann demzufolge nicht ohne Widerspruch verneint werden. Diese Urteile sind allgemein und logisch notwendig; ihre Gültigkeit ist apodiktisch gewiß. Das Gegenteil wäre logisch nicht möglich. (β) *Synthetische Urteile a posteriori*: Synthetische Urteile sind Erweiterungsurteile, die den Inhalt der Erkenntnis vergrößern. Sie fügen dem Begriff des Subjekts etwas Neues hinzu, was noch nicht enthalten ist. Das Urteil ist a posteriori, wenn die Erkenntniserweiterung auf Erfahrung beruht. Diese Urteile sind charakterisiert durch Möglichkeit; ihre Gültigkeit ist nicht apodiktisch gewiß, sondern kontingent. Das Gegenteil wäre logisch möglich. (γ) *Synthetische Urteile a priori*: Diese Art von Urteilen sind Erweiterungsurteile, sie vergrößern demnach den Erkenntnisinhalt. Der Ursprung dieser Erkenntniserweiterung liegt aber gerade nicht in der Erfahrung. Diese Urteile sind allgemein und anschaulich notwendig; ihre Gültigkeit ist apodiktisch gewiß. Im Gegensatz zu Leibniz ist für Kant das Prinzip des zureichenden Grundes nicht analytisch, sondern synthetisch a priori. Wirklicher Erkenntnisfortschritt ist nur von synthetischen Urteilen zu erwarten, nur sie erweitern den Wissensbestand, während analytische Urteile bloß erläutern, was bereits durch Definition in den Begriff hineingelegt ist. Wenn aber synthetische Urteile immer nur a posteriori vorliegen, dann gibt es keinen Erkenntnisfortschritt, dem absolut sichere Geltung zugesprochen werden kann.

analytische Urteile a priori	synthetische Urteile a priori	synthetische Urteile a posteriori
Erläuterungsurteile	Erweiterungsurteile	Erweiterungsurteile
Grundlage: Prinzip des ausgeschlossenen Widerspruchs	Grundlage: Formen der Anschauung, Kategorien des Verstehens	Grundlage: Erfahrung
charakteristische Merkmale: allgemein, logisch-notwendig	charakteristische Merkmale: allgemein, anschaulich-notwendig	charakteristische Merkmale: kontingent

Auf dem Hintergrund dieser Klassifizierung von Urteilen kann die zentrale Frage der Transzendentalphilosophie neu formuliert werden. Für Kant wird die alte Frage „Wie ist

Metaphysik als Wissenschaft möglich?“ zur neuen Frage „Wie sind synthetische Urteile a priori möglich?“ Die Aufgabe der Transzendentalphilosophie besteht darin, das Fundament für die Metaphysik zu bereiten; sie muß die Frage nach der Möglichkeit der synthetischen Urteilen a priori beantworten. Dies ist für Kant eine transzendente Aufgabe, d.h. es sollen die *vor* aller Erfahrung (im logischen, nicht im zeitlichen Sinne) liegenden Bedingungen der Erfahrung aufgedeckt werden.

Die eigentliche Aufgabe der reinen Vernunft ist nun in der Frage enthalten: *Wie sind synthetische Urteile a priori möglich?*⁴³⁷

Auf die Auflösung dieser Aufgabe nun kommt das Stehen oder Fallen der Metaphysik und also ihre Existenz gänzlich an.⁴³⁸

Man kann sagen, daß die ganze Transzendentalphilosophie, die vor aller Metaphysik notwendig vorhergeht, selbst nichts anderes als bloß die vollständige Auflösung der hier vorgelegten Frage sei, [...].⁴³⁹

Gemäß den beiden kognitiven Vermögen verfolgt Kant seine weiteren Untersuchungen unter zwei Apekten: (α) Die *transzendente Ästhetik* befaßt sich mit der Wissenschaft von den Prinzipien der Sinnlichkeit und damit mit den *Anschauungen*. (β) Die *transzendente Logik* befaßt sich mit der Wissenschaft von den Prinzipien des Denkens und damit mit den *Begriffen*. Mit dieser Dichotomie von Sinne und Verstand bewegt sich Kant im Horizont der antiken Erkenntnislehren, die eine kontemplative Naturphilosophie hervorgebracht haben. Dabei handelt es sich um eine Annahme, die vielleicht plausibel erscheint, aber unbegründet bleibt. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie muß prüfen, ob diese Dichotomie berechtigterweise angenommen werden darf, wie sie sich zur Handlungsfähigkeit verhält und wo die erfahrungs-konstituierende Rolle des Experiments zu verorten ist. Im Fortgang seiner Untersuchungen unterscheidet Kant in der transzendentalen Logik eine *transzendente Analytik* von einer *transzendentalen Dialektik* und faßt die beiden Teile in eine Metapher.

Dieses Land aber ist eine Insel, und durch die Natur selbst in unveränderliche Grenzen eingeschlossen. Es ist das Land der Wahrheit [...], umgeben von einem weiten und stürmischen Ozeane, dem eigentlichen Sitze des Scheins, wo manche Nebelbank, und manches bald wegschmelzende Eis neue Länder lügt, und indem es den auf Entdeckungen herumschwärmenden Seefahrer unaufhörlich mit leeren Hoffnungen täuscht, ihn in Abenteuer verflechtet, von denen er niemals ablassen und sie doch niemals zu Ende bringen kann.⁴⁴⁰

Die Begriffe und die Grundsätze der Analytik sind das Land des reinen Verstandes. Dieses Land ist eine Insel, umgeben von einem weiten Ozean, in dem die Ideen (Seele, Gott, Welt) wie Nebelbänke zu finden sind und die zu nicht-aufhebbaren Trugschlüssen führen. Im Kern

⁴³⁷ Kant 1787, B 19

⁴³⁸ Kant 1783, S. 26

⁴³⁹ Kant 1783, S. 29

⁴⁴⁰ Kant 1787, B 294f

führt dies zu einer vernichtenden, weil prinzipiellen Kritik an den metaphysischen Fundierungsversuchen von Descartes und Leibniz.

4. Formen der Anschauung: Raum & Zeit. Kant beginnt seine transzendente Elementarlehre mit der *transzendentalen Ästhetik* und entwickelt eine Theorie der Sinnlichkeit, derzufolge Raum und Zeit apriorische Formen der Anschauung jeder Sinneserfahrung sind. Der Raum, als *Anschauungsform des äußeren Sinns* und die Zeit, als *Anschauungsform des inneren Sinns* sind demnach vor jeder Erfahrung gegeben und befähigen den Menschen, die Welt als geordnetes Ganzes zu erfassen. Sie sind erfahrungsunabhängig, aber erfahrungs-konstitutiv. Damit formuliert Kant eine revolutionäre Einsicht, die besagt, daß die Sinnlichkeit auf nicht-empirische Anteile angewiesen ist. Ausgangspunkt für die neue Sicht sind seine Überlegungen zu inkongruenten Figuren. Kants Auffassung richtet sich gleichermaßen gegen die relationalen Begriffe von Raum und Zeit von Leibniz und die substantiellen Begriffe von Raum und Zeit von Newton und bietet eine neue Antwort auf die alte Frage nach dem Wesen von Raum und Zeit. Falkenburg faßt den Befund folgendermaßen zusammen:

Ab 1768 kann Kant somit aus guten Gründen weder den Begriff eines realen absoluten Raums in Newtons Sinne noch die Auffassung von Raum und Zeit als den realen Ordnungen der Dinge akzeptieren. Die Existenz inkongruenter Gegenstücke ist für ihn ein schlagendes Argument gegen eine ausschließlich relationale Auffassung des Raums: sie überzeugt ihn davon, daß der Raum in irgendeiner Hinsicht absolut sein muß. Andererseits kann er nicht für den absoluten Raum Newtons eintreten, denn Leibniz' Argumente gegen die Realität des absoluten Raums aus dem Briefwechsel mit Clarke verlieren für ihn durch die Einsicht von 1768 nicht an Überzeugungskraft – jedenfalls soweit sie sich nicht auf eine Invarianz der Welt unter Raumspiegelung berufen. Da der Widerspruch in der Theorie der Individuation auftritt, benötigt Kant für den kosmologischen Gebrauch der Geometrie einen Raumbegriff, der schwächer als Newtons Begriff des absoluten Raums ist, aber doch hinreichend stark dafür, die Individuation von Einzeldingen zu ermöglichen. Genau dies leistet sein Konzept des Raums als einer reinen Form der Anschauung von 1770.⁴⁴¹

Kant führt in seiner Untersuchung des Erkenntnisvermögens einen zwei-stufigen Abstraktionsprozeß durch, d.h. er löst aus dem Gesamtkomplex der Erkenntnis zwei Anteile heraus: (α) Zunächst greift er auf die Unterscheidung von Begriffen und Anschauungen zurück und löst diejenige Komponente heraus, die durch den Verstand geprägt wird. (β) Dann unterscheidet er zwischen empirischer und reiner Anschauung und löst diejenige Komponente heraus, die durch die Empfindung zustandekommt. Nach diesen beiden Schritten ist die *reine Anschauung* isoliert. Was von der Natur erfahrbar ist, wird durch die Struktur des Anschauungsvermögens mitbestimmt; die Sinnlichkeit enthält erfahrungsfreie Elemente.

⁴⁴¹ Falkenburg 2000, S. 126

In der Erscheinung nenne ich das, was der Empfindung korrespondiert, die *Materie* derselben, dasjenige aber, welches macht, daß das Mannigfaltige der Erscheinung [...] *geordnet werden kann*, nenne ich die *Form* der Erscheinung. [...]
Ich nenne alle Vorstellungen *rein* [...], in denen nichts, was zur Empfindung gehört, angetroffen wird. [...] Diese reine Form der Sinnlichkeit wird auch selber *reine Anschauung* heißen.⁴⁴²

Kant unterscheidet demnach Sinnlichkeit und Verstand und in den Erscheinungen Materie und Form. Das erkennende Subjekt muß die reinen Formen der Anschauung zum Erkenntnisprozeß beisteuern. Demzufolge liegt die *Materie-Komponente* ausschließlich auf der Seite des zu erkennenden Objekts **O**, während die *Form-Komponente* ausschließlich auf der Seite des erkennenden Subjekts **S** liegt. Wichtig ist, daß Kant hier Aussagen über das erkennende Subjekt **S** trifft, ohne eine Begründung zu geben; er geht offensichtlich davon aus, daß diese Annahmen evident sind. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie muß prüfen, ob dieser zwei-stufige Abstraktionsprozeß zutreffend ist.

Sein Beweisziel erreicht Kant in zwei Schritten: (α) Die *metaphysische Erörterung* zeigt, daß Raum und Zeit Anschauungscharakter haben und (β) die *transzendente Erörterung* begründet, warum Raum und Zeit synthetische Erkenntnisse a priori (Geometrie, Arithmetik) möglich macht. Die Vorstellung von Raum und Zeit können nicht aus den äußeren Erscheinungen durch Erfahrung abgeleitet werden; sie stammen also nicht aus der Erfahrung. Sie müssen an die Erfahrung herangetragen werden; sie liegen jeder äußeren und inneren Anschauung zugrunde. Die Anschauung erfaßt einzelne Gegenstände bzw. innere Zustände, die im Fall der äußeren Wahrnehmung nicht anders als neben, hinter oder über anderen Gegenständen, im Fall der inneren Wahrnehmung nicht anders als vor, mit oder nach anderen inneren Zuständen gegeben sein können. Raum und Zeit sind erfahrungs-konstituierende Ordnungsstrukturen. Die Anschauung ist eine notwendige Bedingung für die Konstitution der Gegenstände; sie liefert den Anwendungsbereich.

Der Raum ist kein empirischer Begriff, der von äußeren Erfahrungen abgezogen worden. [...]

Der Raum ist eine notwendige Vorstellung a priori, die allen äußeren Anschauungen zum Grunde liegt. Man kann sich niemals eine Vorstellung davon machen, daß kein Raum sei, ob man sich gleich ganz wohl denken kann, daß keine Gegenstände darin angetroffen werden. Er wird also als die Bedingung der Möglichkeit der Erscheinungen, und nicht als eine von ihnen abhängende Bestimmung angesehen, und ist eine Vorstellung a priori, die notwendigerweise äußeren Erscheinungen zum Grunde liegt.

Der Raum ist kein diskursiver oder, wie man sagt, allgemeiner Begriff von Verhältnissen der Dinge überhaupt, sondern eine reine Anschauung.⁴⁴³

Der Raum ist nichts anderes, als nur die Form aller Erscheinungen äußerer Sinne,

⁴⁴² Kant 1787, B 34

⁴⁴³ Kant 1787, B 38f

d.i. die subjektive Bedingung der Sinnlichkeit, unter der allein uns äußere Anschauung möglich ist.⁴⁴⁴

Die Zeit ist kein empirischer Begriff, der irgend von einer Erfahrung abgezogen worden. [...]

Die Zeit ist eine notwendige Vorstellung, die allen Anschauungen zum Grunde liegt. Man kann in Ansehung der Erscheinungen überhaupt die Zeit selbst nicht aufheben, ob man zwar ganz wohl die Erscheinungen aus der Zeit wegnehmen kann. Die Zeit ist also a priori gegeben. In ihr allein ist alle Wirklichkeit der Erscheinungen möglich. Diese können insgesamt wegfallen, aber sie selbst (als die allgemeine Möglichkeit) kann nicht aufgehoben werden. [...]

Die Zeit ist kein diskursiver, oder, wie man ihn nennt, allgemeiner Begriff, sondern eine reine Form der sinnlichen Anschauung.⁴⁴⁵

Die Zeit ist nichts anderes, als die Form des inneren Sinnes, d.i. des Anschauens unserer selbst und unseres inneren Zustandes.⁴⁴⁶

Raum und Zeit sind weder Substanz (Newton), noch Akzidens (Descartes), noch Relation (Leibniz), sondern Formen der Anschauung. Kant schließt seine Untersuchungen zu Raum und Zeit mit der These von der empirischen Realität und der transzendentalen Idealität.

5. Probleme der Anschauungen von Raum & Zeit. Mit den Anschauungsformen ergeben sich einige sonderbare Probleme. Wenn Kant mit seinem Untersuchungsergebnis Recht hat, dann hat er nur begründet, daß die nicht-empirischen Anteile der Sinnlichkeit nicht-empirisch sind bezüglich des zu erkennenden Objekts **O**. Sind sie aber auch nicht-empirisch bezüglich des erkennenden Subjekts **S**? Wenn ja, dann müßte eine weitere Begründung folgen, wenn nein, dann wäre zu erwarten, daß sie zuallererst von denjenigen empirischen Wissenschaften zu erforschen sind, die zuständig sind für das erkennende Subjekt **S**. Damit wird aber auf den unverzichtbaren Beitrag der Entwicklungspsychologie und der empirischen Neurowissenschaften verwiesen. Natürlich muß zugestanden werden, daß diese empirischen Wissenschaften im 18. Jahrhundert noch gar nicht existierten, aber aus heutiger Sicht ist wohl kaum zu begründen, warum ihre Ergebnisse unberücksichtigt bleiben sollen, zumal auch Kants Transzendentalphilosophie Annahmen über das erkennende Subjekt **S** voraussetzt, deren Richtigkeit überprüft werden muß.

Ein weiteres Problem bezieht sich auf die Raumanschauung. Was bleibt nach dem zwei-stufigen Abstraktionsprozeß tatsächlich übrig? Wieviel Struktur hat die reine Raumanschauung bei Kant? Eine mögliche Lesart besagt, daß der apriorische Anschauungscharakter des Raumes sich nur auf die drei-dimensionale, kontinuierliche Räumlichkeit bezieht, die eine Strukturierung geometrischer Figuren nach oben / unten, vorne / hinten und rechts / links zuläßt, wobei inkongruente Figuren durch eine intrinsische

⁴⁴⁴ Kant 1787, B 42

⁴⁴⁵ Kant 1787, B 46f

⁴⁴⁶ Kant 1787, B 49

Orientierung unterscheidbar sind. Metrische Strukturen hingegen sind Gegenstand einer konkret formulierten Geometrie und gehören nicht dazu. Der Mensch ist demnach mit einem *drei-dimensionalen, orientierten Bezugssystem* ausgestattet. Der Raum als transzendente Bedingung der Möglichkeit von Erfahrung und der Raum als Gegenstand der Geometrie sind dann streng zu unterscheiden mit der erfreulichen Konsequenz, daß es für Kants Theorie vielleicht keine Probleme mit der Relativitätstheorie gibt.⁴⁴⁷ Falls diese Lesart zutrifft, würde in Kants Theorie zumindest eine schwerwiegende *Erklärungslücke* bleiben, weil nicht einsehbar ist, warum diese speziellen Strukturen – 3-Dimensionalität, Orientierung, Kontinuum – eine Sonderstellung einnehmen sollen, wohingegen die intrinsische Krümmung des Raumes ($\mathbf{K} = 0$, $\mathbf{K} < 0$, $\mathbf{K} > 0$) nicht dazugehört. Diese künstliche Aufteilung erscheint im Zusammenhang mit der neuronalen Kodierung des Raumes weder einsichtig noch begründbar.

Besonders problematisch ist der apriorische Anschauungscharakter der Zeit. Kant unterscheidet begrifflich nicht zwischen einer Zeit, die an die Verfügbarkeit von *Gedächtnisleistungen* gebunden ist und einer Zeit, die an *Bewegungsphänomene* gekoppelt ist. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie wird zu klären haben, inwiefern diese Begriffsunterscheidung epistemologisch relevant ist. Zunächst erscheint es jedoch äußerst fragwürdig, die Zeitanschauung gewissermaßen „als gleichartig“ neben die Raumanschauung zu stellen, zumal die Zeitanschauung die Raumanschauung benötigt, d.h. die Zeitanschauung muß erst verräumlicht und damit veranschaulicht werden, damit sie überhaupt faßbar wird. Auch für Kant ist es offensichtlich, daß die Zeit als Anschauungsform des inneren Sinns wesentlich an die Wahrnehmung von Veränderungen in den Phänomenen geknüpft ist und darüber hinaus darauf angewiesen ist, als Zeitlinie räumlich dargestellt zu werden. Damit nimmt Kant ansatzweise die Untersuchungen von Lakoff und Johnson zur metaphorischen Visualisierung des Zeitbegriffs vorweg, die gezeigt haben, daß die Zeit nur im Rückgriff auf die Konzepte „Raum“, „Bewegung“ oder „Objekt“ faßbar gemacht werden kann. Es ist daher anzunehmen, daß der Zeitbegriff auf diesen fundamentalen Strukturierungsformen beruht und nicht selbst eine Anschauungsform ist.

Also erklärt unser Zeitbegriff die Möglichkeit so vieler synthetischer Erkenntnis a priori, als die allgemeine Bewegungslehre, die nicht wenig fruchtbar ist, darlegt. [...] Und, eben weil diese innere Anschauung keine Gestalt gibt, suchen wir auch diesen Mangel durch Analogien zu ersetzen, und stellen die Zeitfolge durch eine ins Unendliche fortgehende Linie vor, in welcher das Mannigfaltige eine Reihe ausmacht, die nur von einer Dimension ist, und schließen aus den Eigenschaften dieser Linie auf alle Eigenschaften der Zeit, außer dem einigen, daß die Teile der ersteren zugleich, die der letzteren aber jederzeit nacheinander sind.⁴⁴⁸
[...] daß wir die Zeit, die doch gar kein Gegenstand äußerer Anschauung ist, uns

⁴⁴⁷ Falkenburg 2000, S. 99 – 134

⁴⁴⁸ Kant 1787, B 49f

nicht anders vorstellig machen können, als unter dem Bilde einer Linie, sofern wir sie ziehen, ohne welche Darstellungsart wir die Einheit ihrer Abmessung gar nicht erkennen könnten, imgleichen daß wir die Bestimmung der Zeitlänge, oder auch der Zeitstellen für alle inneren Wahrnehmungen, immer von dem hernehmen müssen, was uns äußere Dinge Veränderliches darstellen, [...].⁴⁴⁹

Obwohl die Zeit nicht vorstellbar ist ohne ihre Analogisierung im Raum, bleiben dennoch Eigenschaften der Zeit übrig, die sich gerade nicht verräumlichen lassen: Das *Nacheinander der Zeit* und die *Gerichtetheit der Zeit* sind nicht räumlich darstellbar, d.h. es sind nicht alle Verhältnisse der Zeit räumlich darstellbar.

Ebenfalls kritikwürdig erscheint Kants *Vollständigkeitsthese*, die besagt, (α) daß es genau zwei irreduzible Anschauungsformen gibt und (β) daß eine der Anschauungsformen die Zeit ist und gerade nicht die Bewegung. Beide Aussagen sind problematisch. Auf dem Hintergrund einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie ist der erste Teil der Vollständigkeitsthese neu zu stellen mit dem Ergebnis, daß es vier Anschauungsformen gibt. Der zweite Teil der Vollständigkeitsthese, also die Frage, warum die Zeit eine Form der Anschauung ist, aber nicht die Bewegung, beantwortet Kant mit dem Hinweis, daß zur Bewegung immer ein bewegter Gegenstand gehört.

Hier füge ich noch hinzu, daß der Begriff der Bewegung (als Veränderung des Orts) nur durch und in der Zeitvorstellung möglich ist; daß, wenn diese Vorstellung nicht Anschauung (innere) a priori wäre, kein Begriff, welcher es auch sei, die Möglichkeit einer Veränderung, [...] begreiflich machen könnte.⁴⁵⁰

Daß schließlich die transzendente Ästhetik nicht mehr, als diese zwei Elemente, nämlich Raum und Zeit, enthalten könne, ist daraus klar, weil alle anderen zur Sinnlichkeit gehörigen Begriffe, selbst der der Bewegung, welcher beide Stücke vereinigt, etwas Empirisches voraussetzen. Denn diese setzt die Wahrnehmung von etwas Beweglichem voraus.⁴⁵¹

Teilthese und Argument sind jedoch aus zwei Gründen zu kritisieren: (α) Tatsächlich gilt: Um Bewegung anschaulich zu machen, muß ein Gegenstand bewegt werden. Aber analog gilt auch: Um Raum anschaulich zu machen, muß ein Gegenstand im Raum gegeben sein. Das Argument gegen die Bewegung als Anschauungsform läßt sich dann ummünzen zu einem Argument gegen den Raum als Anschauungsform. (β) Wenn Kant Recht hat mit der Anschauungsform Zeit, wie läßt sich dann ein bewegtes Objekt von einer Sukzession von Standbildern unterscheiden? Hieraus ist zu schließen, daß nicht Raum und Zeit Formen der Anschauung sind, sondern Raum und Bewegung. Dies behauptet die empirisch gestützte Erkenntnistheorie.

⁴⁴⁹ Kant 1787, B 156

⁴⁵⁰ Kant 1787, B 48

⁴⁵¹ Kant 1787, B 58

Ein weiteres ernsthaftes Problem für Kant entsteht mit der Relativitätstheorie, die Raum und Zeit zu einer vier-dimensionalen Raum-Zeit-Struktur verknüpft. Nach Kant scheinen Raum und Zeit nichts miteinander zu tun zu haben. Der Raum als Anschauungsform des äußeren Sinns und die Zeit als Anschauungsform des inneren Sinns sind zwei irreduzible Quellen der Erfahrung. In der Relativitätstheorie hingegen ist der relativistische Zeitbegriff wesentlich an die Lichtgeschwindigkeit geknüpft und damit offensichtlich an ein Bewegungskonzept gebunden (vgl. Kapitel 2.5).

6. Die Kategorien des Denkens. Kant setzt seine transzendente Elementarlehre mit der *transzendentalen Analytik* fort und entwickelt eine Theorie der Verstandestätigkeit, derzufolge die Kategorien apriorische Formen des Denkens sind und zum Erkenntnisprozeß beigesteuert werden. Mit Verstand meint Kant das Vermögen, die Mannigfaltigkeit der in Raum und Zeit gegebenen Sinneseindrücke unter Regeln zu Einheiten zusammenzufassen. Das Vermögen manifestiert sich im Urteil, das typischerweise in der Verbindung von Subjekt und Prädikat zum Ausdruck kommt: **S ist P**. Die Regeln dieser Synthesis stammen nicht aus den Empfindungen, sondern sie verdanken sich dem Vermögen des Verstandes. Damit weist Kant nach, daß der Verstand erfahrungsfreie Elemente enthält. Insbesondere geht es ihm dann darum, die Verstandesbegriffe in systematischer Ordnung aus einem gemeinschaftlichen Prinzip so darzustellen, daß das Verzeichnis der Begriffe vollständig ist und jeder einzelne Begriff seinen spezifischen Platz in diesem System erhält.

Kant führt in seiner weiteren Untersuchung des Erkenntnisvermögens erneut einen zwei-stufigen Abstraktionsprozeß durch, d.h. er löst aus dem Gesamtkomplex der Erkenntnis zwei Anteile heraus: (α) Zunächst greift er auf die Unterscheidung von Begriffe und Anschauungen zurück und löst diejenige Komponente heraus, die durch die Sinnlichkeit geprägt wird. (β) Dann unterscheidet er zwischen empirischen und reinen Begriffen und löst diejenige Komponente heraus, die durch den Bezug auf einen Gegenstand zustandekommt. Nach diesen beiden Schritten sind die *reinen Begriffe* isoliert. Neben den Formen der Anschauung gibt es die Kategorien des Denkens. Sie sind für die Erkenntnis konstitutiv, allgemein und notwendig. Erfahrungen können nur auf dem Hintergrund dieser Kategorien strukturiert werden. Die Kategorien sind in einer Tafel systematisch aufgebaut und – so glaubt Kant – eindeutig, vollständig und schlüssig.

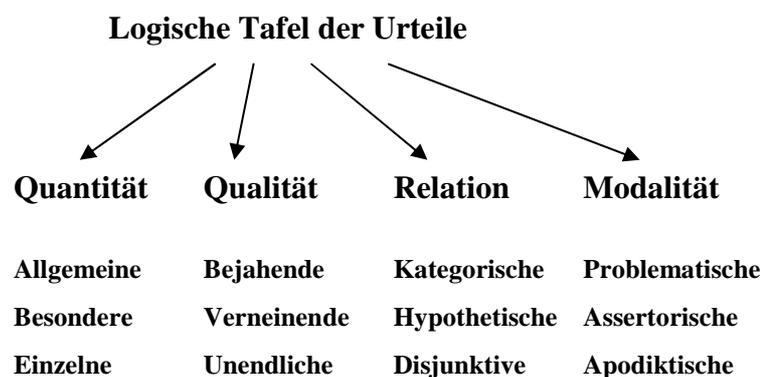
Die Transzendental-Philosophie hat den Vorteil, aber auch die Verbindlichkeit, ihre Begriffe nach einem Prinzip aufzusuchen; weil sie aus dem Verstande, als absoluter Einheit, rein und unvermischt entspringen, und daher selbst nach einem Begriffe, oder Idee, unter sich zusammenhängen müssen.⁴⁵²

Diese Einteilung ist systematisch aus einem gemeinschaftlichen Prinzip, nämlich dem Vermögen zu urteilen, (welches ebensoviel ist, als das Vermögen zu denken,) erzeugt, und nicht rhapsodistisch, aus einer auf gut Glück unternommenen

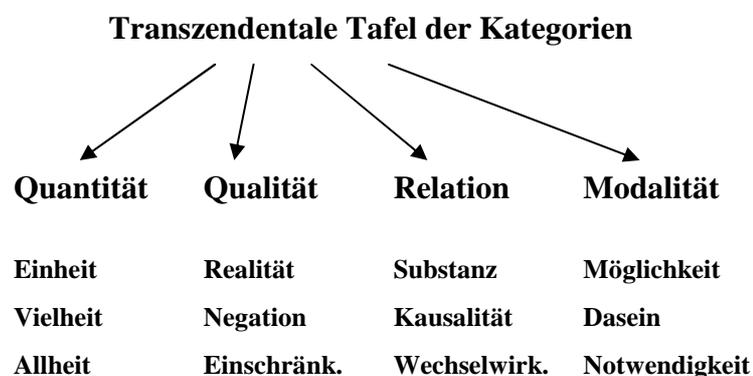
⁴⁵² Kant 1787, B 92

Aufsuchung reiner Begriffe entstanden, von deren Vollzähligkeit man niemals gewiß sein kann, da sie nur durch Induktion geschlossen wird, ohne zu gedenken, daß man noch auf die letztere Art niemals einsieht, warum denn gerade diese und nicht andere Begriffe dem reinen Verstande beiwohnen.⁴⁵³

Sein Beweisziel erreicht Kant in drei Schritten: (α) Die *metaphysische Deduktion* zeigt, wie die Kategorien zu gewinnen sind und welche es gibt, (β) die *transzendente Deduktion* begründet, warum die Kategorien für die Konstitution der Gegenstände unverzichtbar und allgemein gültig sind und (γ) die *Schematismuslehre* bestimmt, wie die Kategorien fallgerecht angewendet werden müssen. Die Konkretisierung der Kategorientafel nimmt Kant nach dem Vorbild der Urteilstafel vor, d.h. die Urteilstafel liefert den Leitfaden für die Systematik der Kategorien. In der Urteilstafel orientiert sich Kant im wesentlichen an der aristotelischen Logik und unterscheidet zwölf verschiedene Urteile. Gemäß seinem systematischen Interesse will er eine vollständige Urteilstafel vorlegen. Kritiker argumentieren, daß die Urteilstafel zwar erläutert, aber keineswegs ausreichend begründet wird.



Kant stellt der formalen eine materiale, dennoch a priori gültige Logik gegenüber und ordnet jedem Urteil eine entsprechende Kategorie zu. Gegenstände der Erfahrung sind demnach immer Gegenstände mit quantitativen, qualitativen, relationalen und modalen Eigenschaften. Wenn aber Kants Urteilstafel problematisch ist, dann trifft dies – als Konsequenz – auch auf seine Kategorientafel zu.



⁴⁵³ Kant 1787, B 106f

Alle Erkenntnis steht unter der Bedingung der Einheit der Apperzeption, d.h. unter einem transzendentalen Subjekt als Ursprung der Kategorien. Das „ich denke“ ist das einheitskonstituierende Element, es liegt demnach jeder Erkenntnis zugrunde, d.h. es ist eine notwendige Bedingung für Erkenntnis.

Das: *Ich denke*, muß alle meine Vorstellungen begleiten *können*; [...]

Ich nenne auch die Einheit derselben die *transzendente* Einheit des Selbstbewußtseins, um die Möglichkeit der Erkenntnis a priori aus ihr zu bezeichnen.⁴⁵⁴

Schließlich bestimmt Kant Reichweite und Grenzen der Kategorien: Erkenntnis ist nur mittels Kategorien möglich; jenseits der Gegenstände möglicher Erfahrung ist der Gebrauch der Kategorien nicht zulässig.

Kategorien sind Begriffe, welche den Erscheinungen, mithin der Natur, als dem Inbegriffe aller Erscheinungen [...], Gesetze a priori vorschreiben.

Denn Gesetze existieren ebensowenig in den Erscheinungen, sondern nur relativ auf das Subjekt, dem die Erscheinungen inhärieren, sofern es Verstand hat, als Erscheinungen nicht an sich existieren, sondern nur relativ auf dasselbe Wesen, sofern es Sinne hat. Dingen an sich selbst würde ihre Gesetzmäßigkeit notwendig, auch außer einem Verstande, der sie erkennt, zukommen. Allein Erscheinungen sind nur Vorstellungen von Dingen, die, nach dem, was sie an sich sein mögen, unerkannt da sind. Als bloße Vorstellungen aber stehen sie unter gar keinem Gesetze der Verknüpfung, als demjenigen, welches das verknüpfende Vermögen vorschreibt.⁴⁵⁵

Aus den Kategorien werden die Grundsätze des reinen Verstandes erschlossen, die „der Natur die Gesetze vorschreiben“.

7. Schematismuslehre & die Grundsätze des reinen Verstandes. Im zweiten Buch der transzendentalen Analytik entwickelt Kant seine *Schematismuslehre*. Hier untersucht er ein drittes Erkenntnisvermögen – die Urteilskraft; dabei geht es um das Vermögen, die Kategorien auf das empirische Material anzuwenden. Diese Aufgabe wird möglich durch eine weitere Klasse von Vorstellungen, den transzendentalen Schemata. Sie sind ein Produkt der Einbildungskraft und vermitteln zwischen den beiden irreduziblen Erkenntnisvermögen der Sinnlichkeit und des Verstandes. Erkenntnis kann nur entstehen, wenn Begriffe sinnlich gemacht werden, d.h. wenn ihnen ihr Gegenstand in der Anschauung beigelegt wird und umgekehrt, wenn Anschauung verständlich gemacht, d.h. unter Begriffe gebracht wird. Es geht demnach um das Verhältnis eines unbestimmten Materials zu seiner bestimmenden Form. Begriffe sind nur mögliche Formen für das Anschauungsmaterial. In der Erkenntnis, soweit sie die Wirklichkeit erfassen soll, kommt es also darauf an, nicht irgendwelche,

⁴⁵⁴ Kant 1787, B 132

⁴⁵⁵ Kant 1787, B 163f

sondern fallgerecht die jeweils richtigen Begriffe anzuwenden. Dies will Kant durch die Schematismuslehre näher bestimmen. Das Schema meint dann, ein *konkretes Verfahren* anzugeben, um sich den Inhalt eines abstrakten Begriffs durch die Konstruktion einer stellvertretenden Vorstellung anschaulich zu machen. Die Schematismuslehre ist aber zu eng konzipiert um Platz zu lassen für ein operatives Mathematikverständnis (vgl. Kapitel 2.2).

Es hat aber die Transzendental-Philosophie das Eigentümliche: daß sie außer der Regel (oder vielmehr der allgemeinen Bedingung zu Regeln), die in dem reinen Begriffe des Verstandes gegeben wird, zugleich a priori den Fall anzeigen kann, worauf sie angewandt werden sollen.⁴⁵⁶

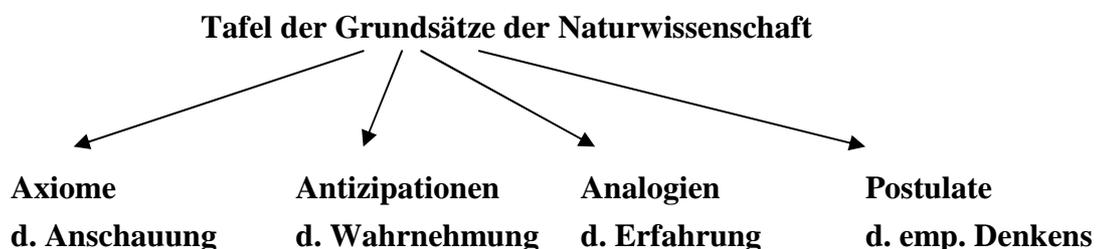
Nun ist klar, daß es ein Drittes geben müsse, was einerseits mit der Kategorie, andererseits mit der Erscheinung in Gleichartigkeit stehen muß und die Anwendung der ersteren auf die letzte möglich macht. [...] Eine solche ist das *transzendente Schema*.⁴⁵⁷

Diese Vorstellung nun von einem allgemeinen Verfahren der Einbildungskraft, einem Begriff sein Bild zu verschaffen, nenne ich das Schema zu diesem Begriffe.⁴⁵⁸

Die *Grundsätze des reinen Verstandes* sind Fundamentalsätze über die Wirklichkeit, die vor aller Erfahrung möglich sind. Sie sind einerseits der Schlußstein der transzendentalen Konstitutionstheorie der Erfahrung und andererseits bereits der Beginn der Metaphysik der Natur, die Kant in den *Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft* von 1786 entwickelt. Die Grundsätze sind die Regeln für den rechtmäßigen Gebrauch der Kategorien, d.h. sie bestimmen die Anwendung der Kategorien unter den Bedingungen der Schemata.

Die Grundsätze möglicher Erfahrung sind nun zugleich allgemeine Gesetze der Natur, welche *a priori* erkannt werden können.⁴⁵⁹

Die Tafel dieser Grundsätze entwickelt Kant nach dem Vorbild der Kategorientafel, d.h. die vier Klassen von Kategorien liefern den Leitfaden für die Systematik der Grundsätze möglicher Erfahrung. Diese Grundsätze stellen die höchsten, nicht weiter ableitbaren Regeln a priori dar, denen die transzendente Urteilskraft bei der Anwendung der Kategorien auf die Erscheinungen folgt.



⁴⁵⁶ Kant 1787, B 174

⁴⁵⁷ Kant 1787, B 177

⁴⁵⁸ Kant 1787, B 179f

⁴⁵⁹ Kant 1783, S. 62

Kant glaubt, daß aus den Kategorien diejenigen Grundsätze erschlossen werden können, die der Natur die Gesetze vorschreiben. (i) Die ersten beiden Grundsätze – die Axiome der Anschauung und die Antizipationen der Wahrnehmung – sind konstitutive Grundsätze; sie beschreiben den mathematischen Gebrauch der Kategorien und sie sind intuitiv gewiß. Insbesondere sollen sie die Berechtigung und sogar Notwendigkeit der Mathematisierung der Naturwissenschaft und allgemeine Meß- und Beobachtungsverfahren begründen. (ii) Die letzten beiden Grundsätze – die drei Analogien der Erfahrung und die drei Postulate des empirischen Denkens überhaupt – sind regulative Grundsätze; sie beschreiben den dynamischen Gebrauch der Kategorien und sie sind diskursiv gewiß. In den drei Analogien der Erfahrung werden diese Gesetzmäßigkeiten genauer bestimmt durch den Zusammenhang der Substanz mit den drei verschiedenen Zeitmodis: Beharrlichkeit, Folge und zugleichsein.

Das Prinzip derselben ist: *Erfahrung ist nur durch die Vorstellung einer notwendigen Verknüpfung der Wahrnehmungen möglich.*⁴⁶⁰

Grundsatz von der Beharrlichkeit der Substanz

*Bei allem Wechsel der Erscheinungen beharrt die Substanz, und das Quantum derselben wird in der Natur weder vermehrt noch vermindert.*⁴⁶¹

Grundsatz der Zeitfolge nach dem Gesetze der Kausalität

*Alle Veränderungen geschehen nach dem Gesetze der Verknüpfung der Ursache und Wirkung.*⁴⁶²

Grundsatz des zugleichseins, nach dem Gesetze der Wechselwirkung [...]

*Alle Substanzen, sofern sie im Raume als zugleich wahrgenommen werden können, sind in durchgängiger Wechselwirkung.*⁴⁶³

(α) Der *Grundsatz von der Beharrlichkeit der Substanz* stellt fest, daß vor jeder konkreten Erfahrung bestimmte Größen als invariant vorausgesetzt werden. Hier handelt es sich um Naturgesetze, die sich auf Erhaltungsgrößen beziehen, d.h. es wird vorausgesetzt, daß in jeder physikalischen Erfahrung Erhaltungsgrößen existieren. Kant versucht nicht – wie Descartes und Leibniz – die Existenz von Erhaltungssätzen mit göttlicher Vollkommenheit in Verbindung zu bringen; stattdessen knüpft er diese an einen Zeitmodus. (β) Der *Grundsatz der Zeitfolge nach dem Gesetze der Kausalität* stellt fest, daß vor jeder konkreten Erfahrung Ereignisse in der Zeit als Ursache und Wirkung verbunden werden. Die Grundsätze besagen demnach, daß in der Natur Invarianten existieren und daß jedem Ereignis eine Ursache zugrundeliegt. Die Grundsätze konkretisieren aber nicht, welche Größe invariant ist und welche Ursache es ist, die zu einem bestimmten Ereignis gehört. Dies ist Aufgabe der Physik und führt zu synthetischen Urteilen a posteriori. Durch spätere Erfahrungen könnten durchaus die einmal gefundenen Aussagen als modifizierungsbedürftig erscheinen; dann würde aber die

⁴⁶⁰ Kant 1787, B 218

⁴⁶¹ Kant 1787, B 224

⁴⁶² Kant 1787, B 232

⁴⁶³ Kant 1787, B 256

Anwendung der Substanz- und Kausalkategorie nicht verhindert werden, sondern nur verschoben. Die Grundsätze des reinen Verstandes enthalten eben nur das Schema zur möglichen Erfahrung.

Der Verstand gibt a priori der Erfahrung überhaupt nur die Regel, nach den subjektiven und formalen Bedingungen, sowohl der Sinnlichkeit als der Apperzeption, welche sie allein möglich machen. Andere Formen der Anschauung, (als Raum und Zeit,) imgleichen andere Formen des Verstandes, (als die diskursive des Denkens, oder der Erkenntnis durch Begriffe,) ob sie gleich möglich wären, können wir uns doch auf keinerleiweise erdenken und faßlich machen, [...].⁴⁶⁴

Für Kant sind die Formen der Anschauung, die Kategorien des Denkens und die Grundsätze des reinen Verstandes die apriorischen Rahmenbedingungen von Erkenntnis überhaupt. Andere Erkenntnisse sind prinzipiell nicht möglich. Zu fragen bleibt, ob eine Mathematik in analytisch-algebraischer Formulierung und eine Naturerkenntnis, die sich auf diese Mathematik beruft, mit der Transzendentalphilosophie Kants verträglich ist.

8. Transzendente Ideen. Obwohl Kant die Erkenntnisansprüche der traditionellen Metaphysik bestreitet, anerkennt er dennoch das metaphysische Interesse der Vernunft. Was die traditionelle Metaphysik für theoretische Grundsätze hält, sind nach Kant Postulate der praktischen Vernunft; sie sind keine Erkenntnisgegenstände, sondern Grundlagen der Moral. Kant unterscheidet einen dreifachen Gebrauch der Kategorien: (α) der *immanente* Gebrauch der Kategorien, d.h. die Anwendung innerhalb des Erfahrungsbereichs; (β) der *transzendente* Gebrauch der Kategorien, die Anwendung außerhalb des Erfahrungsbereichs und (γ) der *transzendentale* Gebrauch der Kategorien, d.h. die Anwendung die erst die systematische Einheit der Erfahrung stiftet. Der rechtmäßige Gebrauch der Kategorien beschränkt sich demnach auf die Phänomene. Die transzendente Dialektik klärt den unrechtmäßige Gebrauch der Kategorien, der zu einem nicht-legitimen Erkenntnisanspruch führt. Die Vernunft verfolgt das Interesse, zum Bedingten das Unbedingte aufzusuchen. Vernunft meint dabei das Vermögen, Begriffe unter Regeln zusammenzufassen. Das Unbedingte ist aber nur im Sinne einer transzendentalen Idee zu verstehen, die eine systematische Einheit der Erfahrung leistet. Kants transzendente Ideen des Unbedingten, lassen sich zwar denken, aber gerade nicht erkennen.

Ich mußte also das *Wissen* aufheben, um zum *Glauben* Platz zu bekommen, [...].⁴⁶⁵

Alle unsere Erkenntnis hebt von den Sinnen an, geht von da zum Verstande, und endigt bei der Vernunft, über welche nichts Höheres in uns angetroffen wird, der Stoff der Anschauung zu bearbeiten und unter die höchste Einheit des Denkens zu bringen.⁴⁶⁶

⁴⁶⁴ Kant 1787, B 283

⁴⁶⁵ Kant 1787, B XXX

⁴⁶⁶ Kant 1787, B 355

Der Verstand mag ein Vermögen der Einheit der Erscheinungen vermittelt der Regeln sein, so ist die Vernunft das Vermögen der Einheit der Verstandesregeln unter Prinzipien.⁴⁶⁷

Nach Kant gibt es drei Ideen: (α) *Seele*: Die absolute Einheit des Subjekts als Gegenstand der rationalen Psychologie. (β) *Welt*: Die Totalität der Dinge in Raum und Zeit als Gegenstand der transzendentalen Kosmologie. (γ) *Gott*: Die absolute Einheit der Bedingung aller Gegenstände des Denkens überhaupt als Gegenstand der natürlichen Theologie. Kant schreibt den Ideen nur eine methodologische, nicht aber eine ontologische Bedeutung zu. Der Mensch verwickelt sich in widerspenstige Probleme (Paralogismen, Antinomien, Ideale), wenn er diese systematische Einheit der Erfahrung in den Ideen denken will. Dabei handelt es sich um transzendente Täuschungen, die der Natur der Vernunft selbst entspringen und die nicht beseitigt, sondern nur eingesehen werden können. Das Ergebnis der transzendentalen Untersuchungen hat eine destruktive Konsequenz: Die traditionelle Metaphysik muß scheitern, insofern sie transzendente Aussagen im ontologischen Sinne machen will.

9. Transzendentalphilosophie versus empirisch gestützte Erkenntnistheorie. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie beschäftigt sich mit Fragen der *Entstehung*, der *Dynamik* und der *Begründung* von Wissen. Kant unterscheidet ausdrücklich die *Entstehungsfrage*, die mit empirischen Mitteln zu beantworten ist von der *Geltungsfrage*, die mit logischen Mitteln zu beantworten ist und behauptet, (α) daß der transzendente Zugang dem empirischen Zugang logisch vorgeordnet, (β) daß ein empirischer Zugang zur Erkenntnistheorie prinzipiell ausgeschlossen und (γ) daß ein transzendentaler Zugang der einzig mögliche ist. Nach Kants Auffassung kann und muß es in einer Erkenntnistheorie um die transzendentalen Bedingungen der Erkenntnis gehen. Sie geben im Unterschied zu den empirischen Bedingungen (neurologisch, phylogenetisch, ontogenetisch) an, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit das zu erkennende Objekt **O** überhaupt erst als solches erkennbar wird. Demzufolge sind Geltungsfragen *vor* den Entstehungsfragen zu beantworten und der transzendente Zugang ist grundsätzlich immun gegen eine, mit empirischen Mitteln geführte Kritik.

Um alles Bisherige in einen Begriff zusammenzufassen, ist zuvörderst nötig, die Leser zu erinnern, daß hier nicht von dem Entstehen der Erfahrung die Rede sei, sondern von dem, was in ihr liegt. Das erstere gehört zur empirischen Psychologie und würde selbst auch da ohne das zweite, welches zur Kritik der Erkenntnis und besonders des Verstandes gehört, niemals gehörig entwickelt werden können.⁴⁶⁸

Ich nenne daher die Erklärung der Art, wie sich Begriffe a priori auf Gegenstände beziehen können, die *transzendente Deduktion* derselben, und unterscheide sie von der empirischen Deduktion, welche die Art anzeigt, wie ein Begriff durch Erfahrung und Reflexion über dieselben erworben worden, und daher nicht die

⁴⁶⁷ Kant 1787, B 359

⁴⁶⁸ Kant 1783, S. 60

Rechtmäßigkeit, sondern das Faktum betrifft, wodurch der Besitz entsprungen.

Wir haben jetzt schon zweierlei Begriffe von ganz verschiedener Art, [...] nämlich, die Begriffe des Raumes und der Zeit, als Formen der Sinnlichkeit, und die Kategorien als Begriffe des Verstandes. Von ihnen eine empirische Deduktion versuchen wollen, würde ganz vergebliche Arbeit sein; weil eben darin das Unterscheidende ihrer Natur liegt, daß sie sich auf ihre Gegenstände beziehen, ohne etwas zu deren Vorstellung aus der Erfahrung entlehnt zu haben. Wenn also eine Deduktion derselben nötig ist, so wird sie jederzeit transzendental sein müssen.⁴⁶⁹

Kant setzt sich kritisch mit dem ontogenetischen Zugang Lockes auseinander und lehnt diesen strikt ab als ein eitler Versuch, der nur offenbart, daß Locke die Fragestellung gründlich mißverstanden hat.

Indessen kann man von diesen Begriffen, [...] doch die Gelegenheitsursachen ihrer Erzeugung in der Erfahrung aufsuchen, wo alsdann die Eindrücke der Sinne den ersten Anlaß geben, die ganze Erkenntniskraft in Ansehung ihrer zu eröffnen, und Erfahrung zustande zu bringen, die zwei sehr ungleichartige Elemente erhält, nämlich eine *Materie* zur Erkenntnis aus den Sinnen und eine gewisse *Form*, sie zu ordnen, aus dem inneren Quell des reinen Anschauens und Denkens, die, bei Gelegenheit der ersteren, zuerst in Ausübung gebracht werden, und Begriffe hervorbringen. [...]

Es ist also klar, daß von diesen allein es eine transzendente Deduktion und keineswegs eine empirische geben könne, und daß letztere, in Ansehung der reinen Begriffe a priori, nichts als eitle Versuche sind, womit sich nur derjenige beschäftigen kann, welcher die ganz eigentümliche Natur dieser Erkenntnisse nicht begriffen hat.⁴⁷⁰

Hat Kant mit dieser grundsätzlichen Kritik Recht? Wenn ja, dann müßte die Entscheidung zugunsten einer Transzendentalphilosophie und gegen eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie ausfallen. Zunächst scheint es tatsächlich evident: Die empirische Frage „Wie entsteht Wissen und wie verändert sich Wissen?“ setzt voraus, daß die logische Frage „Was ist Wissen?“ bereits geklärt ist. Aus dieser Problematik folgt aber keineswegs schon zwingend die Akzeptanz der *Transzendentalphilosophie Kants*. Schließlich ließe sich folgende Argumentationsstrategie gegen Kant vertreten, ohne daß auf empirische Aussagen zurückgegriffen werden muß: (α) Kant macht in seiner Transzendentalphilosophie T_K implizite Annahmen, die er nicht weiter hinterfragt und nicht weiter begründet. (β) Mit anderen impliziten Annahmen könnte ein Sortiment alternativer Transzendentalphilosophien T_1 , T_2 , T_3 , ... entworfen werden. (γ) Kant müßte demnach alle möglichen Transzendentalphilosophien ausarbeiten und zeigen, daß alle Alternativen aus logischen Gründen ausgeschlossen sind und nur seine eigene Transzendentalphilosophie T_K Bestand hat. Er müßte es also schaffen, für seine Transzendentalphilosophie einen Existenz- und Eindeutigkeitssatz zu finden.

⁴⁶⁹ Kant 1787, B 117f

⁴⁷⁰ Kant 1787, B 118f

Kants Transzendentalphilosophie hängt tatsächlich wesentlich von impliziten Annahmen ab.

- (i) Die *impliziten Annahmen über das zu erkennende Objekt O*: Kant trifft Annahmen über die Beschaffenheit der Natur. Diese Annahmen sind wesentlich geprägt durch die Newtonsche Physik, die – aus der Retrospektive betrachtet – adäquat ist für die Behandlung mesokosmischer Probleme. Unausgesprochen ist in Kants Transzendentalphilosophie aber die Annahme verborgen, daß die Naturgesetze in allen Bereichen strukturell gleich beschaffen sind und zwar deshalb, weil der Mensch der Natur die Gesetze vorschreibt und weil ihm nur *diese* speziellen Formen der Anschauung und Kategorien des Denkens zur Verfügung stehen. Andere Arten von Erkenntnissen kann es prinzipiell nicht geben. Ungeachtet empirischer Sachverhalte, müßte Kant für diese weitreichende Annahme logische Gründe haben.
- (ii) Die *impliziten Annahmen über das erkennende Subjekt S*: Kant setzt Sprache voraus und stellt eine Kategorientafel auf, die sich an der Urteilstafel orientiert. Die logische Verbindung von Subjekt und Prädikat, die typischerweise in **S ist P** zum Ausdruck kommt, soll ein apriorisches Vermögen des Verstandes sein, das keine empirischen Anteile aufweist. Die Form-Komponente, die jeder Erkenntnis zugrundeliegt, entspringt *ausschließlich* der „inneren Quelle“ des erkennenden Subjekts und ist unveränderlich. Kant hält diese Annahme für evident; er gibt aber keine Begründung. Der Sache nach geht es um ein „Menschenbild“, das wesentlich geprägt ist von der traditionellen Philosophie, die ein autonomes, erkennendes Subjekt annimmt, das den empirischen Gegebenheiten gewissermaßen enthoben ist. Kant schreibt diesem autonomen Subjekt zwar keinen ontologischen Status zu; er spricht von einem transzendentalen Subjekt und versteht es im Sinne einer regulativen Idee.

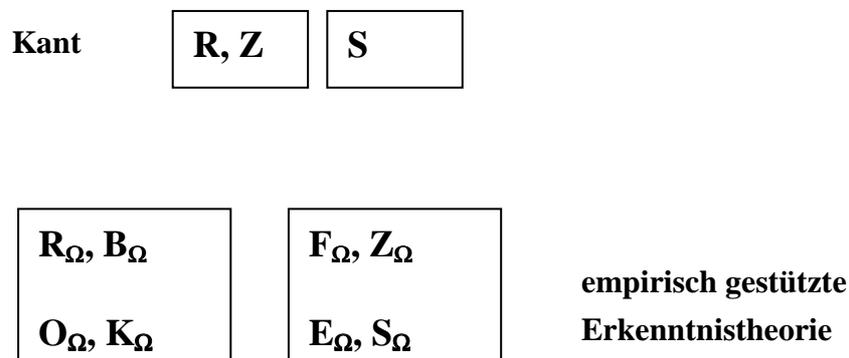
Woher hat Kant sein Wissen, das in den Annahmen zum Ausdruck kommt und wie sicher sind diese Annahmen? Auch für seinen transzendentalen Zugang muß Kant – wenngleich er dies nicht zugibt – von empirischen Annahmen ausgehen. Die Frage der Entstehung kann daher gar nicht ausgeklammert werden, oder anders gesagt: die Geltungsfrage kann erst dann aufgeworfen und beantwortet werden, wenn für die Entstehungsfrage eine – wenn auch nur vorläufige – Antwort vorliegt. Insbesondere darf eine Transzendentalphilosophie – wenn sie Adäquatheit beanspruchen will – in ihren empirischen Konsequenzen dem empirischen Befund nicht widersprechen. Die Möglichkeiten von Erkenntnis sind aber neurologisch bedingt, diese sind durch die phylogenetische und ontogenetische Auseinandersetzung mit den empirischen Verhältnissen erworben und durch die Plastizität des Gehirns einer ständigen Veränderung unterworfen. Erkenntnistheorie muß sich gleichermaßen mit den Aspekten der Genesis und der Geltung befassen; insbesondere muß sie ihre eigenen Voraussetzungen explizit machen.

10. Vergleich mit einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie muß die problematischen Annahmen, die Kant ohne weitere Begründung auf dem Hintergrund der philosophischen Tradition macht, aufdecken und kritisch reflektieren. Dabei kommt sie zu anderen Ergebnissen:

- (i) Der zentrale Gedanke der Transzendentalphilosophie betrifft das Verhältnis des erkennenden Subjekts **S** zu dem zu erkennenden Objekt **O**, das mit Kants kopernikanischer Wende grundlegend neu bestimmt ist. Dennoch steht Kant gewissermaßen unverändert in der antiken Tradition, die Erkenntnis mit den Fähigkeiten zur Sinneswahrnehmung und Verstandestätigkeit in Verbindung bringt. Kant beginnt daher seine Untersuchungen mit der Dichotomie von *Sinne und Verstand*, ohne dies näher zu begründen. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie hingegen verweist zusätzlich auf die Handlungsfähigkeit und bezieht deren erfahrungs-konstituierende Funktion mit ein. Einen überaus wichtigen Teil der Erkenntnis bezieht der Mensch aus seiner Fähigkeit zur *Handlung* und damit seiner Fähigkeit zum *Experiment* und zu einem *operativen Mathematikverständnis*.
- (ii) Kant führt seine Untersuchungen fort mit der Dichotomie von *Materie und Form*. Dabei nimmt er an, daß die Materie-Komponente der Erkenntnis ausschließlich auf der Seite des zu erkennenden Objekts **O** und die Form-Komponente der Erkenntnis ausschließlich auf der Seite des erkennenden Subjekts **S** liegt. Eine Begründung für diese strikte Trennung gibt Kant nicht, aber seine Annahme führt ihn zu weitreichenden Konsequenzen: Wenn die Form-Komponente keine Anteile von der Objektseite hat, dann ist sie auf der Subjektseite unveränderlich. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie sieht diese Annahme und ihre Konsequenzen durch die empirischen Neurowissenschaften klar widerlegt. Am Beispiel der Raumschauung und der Prototypenbildung von Objekten läßt sich besonders gut erkennen, daß das Gehirn als *Struktur-Detektor* arbeitet, d.h. Strukturen des zu erkennenden Objekts **O** werden immer dann kodiert, wenn tatsächlich Strukturen und ein geeignetes sensorisches Rezeptorsystem vorhanden sind.
- (iii) Kant geht von der impliziten Annahme aus, daß die Vernunftkenntnis gewissermaßen *statisch* ist. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie anerkennt Kants zentralen Gedanken einer „Revolution der Denkart“, fügt aber einen *dynamischen Aspekt* hinzu und bestreitet, daß es im strengen Sinne erfahrungsunabhängige Bedingungen der Möglichkeit von Erkenntnis geben kann. Dabei greift sie auf zwei Argumente zurück: (α) das *ontogenetische Argument*, das den Aufbau der Vernunftkenntnis in Abhängigkeit von der jeweils erreichten Entwicklungsstufe verfolgt und (β) das *wissenschaftstheoretische Argument*, das die Veränderung der Vernunftkenntnis im Zusammenhang mit den Paradigmenwechseln

in den Wissenschaften verfolgt. Theorienkonstruktionen setzen sehr wohl kategoriale Rahmenbedingungen menschlicher Erkenntnis voraus, die sich jedoch durch Lernprozesse verändern. Das *absolute Apriori* Kants kann nur noch im Sinne eines *relativen Aprioris* interpretiert werden.

Im Hinblick auf die Formen der Anschauung und Kategorien des Denkens kommt eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie zu anderen Resultaten und setzt stattdessen ihre *Strukturierungsformen*. Kant deutet alle Phänomene als Phänomene in Raum **R** und Zeit **Z**. Des Weiteren werden die Phänomene durch die sprachliche Formulierung **S**, die zwölf Kategorien zur Verfügung hat, konstituiert, wobei die Fähigkeit zur Sinnlichkeit und zur Sprache des erkennenden Subjekts vorausgesetzt ist. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie sieht den Sachverhalt anders und interpretiert alle Phänomene nach Maßgabe von Raum **R_Ω**, Bewegung **B_Ω**, Objekt **O_Ω** und Kausalität **K_Ω**. Diese Vorstellungen haben alle Anschauungscharakter. Dabei ist die Fähigkeit zur Sinnlichkeit, Beweglichkeit, Sprache und Handlung vorausgesetzt. Zusätzlich verfügt das erkennende Subjekt über die Möglichkeit, spezielle Instrumente zur Erforschung und Beschreibung der Natur aufzubauen. Dazu gehören Sprache **S_Ω**, Geometrie **F_Ω**, Arithmetik **Z_Ω** und Experiment **E_Ω**.



Diese Strukturierungsformen berücksichtigen ausdrücklich die Einsichten der empirischen Neurowissenschaften, die nachweisen, daß die neuronale Kodierung von Raum, Bewegung, Objekt und Kausalität in speziellen Kortex-Arealen erfolgt.

- (i) Der Raum **R_Ω** ordnet nicht nur die Gegenstände als oben / unten, vorne / hinten und rechts / links, sondern er besitzt immer diejenigen *Strukturen*, die das erkennende Subjekt in Abhängigkeit von seiner Entwicklungsstufe **Ω** mitdenkt. Insbesondere hat der Raum die Eigenschaften: (α) drei-dimensional, (β) orientiert und (γ) die intrinsische Krümmung **K = 0**. Die Strukturierung ist dabei nicht zwingend im Sinne einer expliziten und sprachlichen Formulierung zu verstehen, sondern zeigt sich auch als erwartungs- und verhaltensrelevante Strukturierung.

- (ii) Die Bewegung \mathbf{B}_Ω tritt an die Stelle der Zeitanschauung. Kant unterscheidet begrifflich nicht zwischen einer Zeit, die an die Verfügbarkeit von *Gedächtnisleistungen* gebunden ist und einer Zeit, die an *Bewegungsphänomene* gekoppelt ist. Die Zeit als Anschauung des inneren Sinns kann sich nur auf die Gedächtnisleistung beziehen. Kants Lehre von der Zeitanschauung wird durch den neuronalen und ontogenetischen Befund in Zweifel gezogen. Die neuronale Kodierung von Raum und Zeit sind völlig unterschiedlich. (α) Für die Kodierung des Raumes und der Bewegung werden spezielle Kortex-Areale zur Verfügung gestellt; für die Zeit ist dies nicht der Fall. Das Gedächtnis kann Zeit nicht repräsentieren, ohne Rückgriff auf bereits wahrgenommene Veränderungen in den Phänomenen. (β) Auf der ersten Stufe der ontogenetischen Reifung wird die Raum- und Bewegungsvorstellung konstituiert, aber offensichtlich *keine* Zeitvorstellung. Die Zeitvorstellung ist sehr komplex und beinhaltet mehrere Konzepte, die erst auf der dritten Stufe konstituiert werden. Der Grund liegt darin, daß die Zeitvorstellung einen anschaulichen und einen operativen Aspekt hat. Der operative Aspekt berücksichtigt die Koordination von verschiedenen Bewegungen und führt dann zum Begriff der Gleichzeitigkeit. Hieran schließt sich dann auch die Feststellung, daß ein Zeitbegriff, der nur das sukzessive Moment enthält, unvollständig und ungeeignet ist, um auf dieser Grundlage den Zahlbegriff zu formulieren.
- (iii) Für Kant sind Substanz und Kausalität begriffliche Formen, d.h. die Synthesis von Wahrnehmungen der Zeitmodis Beharrlichkeit und Folge sind an die Verfügbarkeit von Sprache gebunden; sie kommen in kategorischen und hypothetischen Urteilen zum Ausdruck. Das Objekt \mathbf{O}_Ω und die Kausalität \mathbf{K}_Ω kommen aber als weitere Strukturierungsformen hinzu, d.h. die Konstitution eines Objekts aus Sinnesdaten und die Einbindung der Objekte in kausale Strukturen ist primär nicht-begrifflich und daher auch bei höheren Tieren zu finden. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie unterscheidet sich insbesondere in diesem Aspekt von der Transzendentalphilosophie Kants. Es ist zwar richtig, daß sich nur auf der Grundlage bestimmter neuronaler Bedingungen des erkennenden Subjekts das zu erkennende Objekt konstituiert; diese Grundlage ist aber gerade nicht primär begrifflich, d.h. die Strukturierung nach Objekt und Kausalität ist nicht zwingend an Begriffe gekoppelt. Darüber hinaus klärt die Gestaltpsychologie die Frage nach der Objektconstitution weiter auf, indem sie hervorhebt, daß das Objekt nicht durch die Synthesis von Wahrnehmungen zustandekommt, sondern durch die Zerlegung der Gesamtheit in geformte Teilgebilde.

Die speziellen Probleme mit Raum und Zeit und die Verknüpfungen mit Geometrie und Arithmetik werden im Zusammenhang mit einem operativen Mathematikverständnis nochmals aufgegriffen und vertieft (vgl. Kapitel 2.2).

Die Kritik der Analytischen Wissenschaftstheorie

Die Transzendentalphilosophie Kants ist eng mit der aristotelischen Logik und der euklidischen Geometrie verknüpft und auf die Newtonsche Physik zugeschnitten. Insbesondere schließt sein Werk *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* direkt an das Hauptwerk Newtons von 1687 an und erklärt die von Newton getroffenen Aussagen über die faktische Beschaffenheit der Natur für apodiktisch gewiß. Kants anschauungsnotwendige Bedingungen der Möglichkeit von Erkenntnis in der Naturwissenschaft kollidiert später mit den Aussagen der Relativitätstheorie und der Quantentheorie. Dieser Sachverhalt führt zu unterschiedlichen Reaktionen:

- (i) Die **Immunsierungsbemühungen und Revisionsstrategien**: Der Neukantianismus der Marburger Schule (Cohen, Natorp, Cassierer) diskutiert die Frage, wie die synthetischen Urteile a priori genau zu verstehen sind. Cohen versucht den Nachweis zu führen, daß Kants reine Anschauungsformen Raum und Zeit mit Einsteins operational definierten Meßgrößen nichts zu tun und daher von der Relativitätstheorie nichts zu befürchten haben. Cassierer hingegen will die apriorischen Anteile der Erfahrung nur im Sinne relativer Aprioris verstehen.
- (ii) Die **vernichtende Kritik**: Die Analytische Wissenschaftstheorie, wie sie mit dem Logischen Empirismus (Schlick, Carnap, Kraft, Hahn) auf den Weg gebracht wird, vertritt eine ablehnende Position. Sie sieht die völlige Abkehr vom metaphysischen Apriorismus Kants als einzigen sinnvollen Ausweg aus der Krise. Hier geht es nicht um die Frage, wie die synthetischen Urteile a priori zu deuten sind, sondern deren Existenz wird rigoros geleugnet.

Die Analytische Wissenschaftstheorie hat sich besonders kritisch, polemisch und ablehnend mit den Begriffen „Metaphysik“, „Intuition“ und „Evidenz“ auseinandergesetzt und Kants Transzendentalphilosophie verworfen. Aus der Fülle ihrer Argumente sollen einige zentrale Aspekte herausgegriffen und diskutiert werden.

1. Kritik an der Metaphysik. Der Logische Empirismus entsteht Anfang der 20er Jahre in Wien aus Unzufriedenheit mit den *metaphysischen* Inhalten der traditionellen Philosophie und der Auseinandersetzung mit der Relativitätstheorie und der frühen Quantentheorie. Dieser Kreis von Wissenschaftlern und Philosophen, der sich durch eine gemeinsame methodologische Grundhaltung auszeichnet, tritt mit dem Anspruch auf, eine Wende in der Philosophie einzuleiten. 1895 wird ein Lehrstuhl für Philosophie der induktiven Wissenschaften errichtet, dessen erste Inhaber Mach, Boltzmann und Stöhr sind. 1922 folgt Schlick, der die Tradition einer empiristischen Philosophie fortsetzt. Um ihn bildet sich jener Wiener Kreis, dem das Verdienst zukommt, die moderne Wissenschaftstheorie begründet zu haben. Die radikale Kritik an der bestehenden Philosophie führt zu einem neuen *Philosophieverständnis* und demzufolge zu einem Katalog von Forderungen: (α) Die

Philosophie müsse bescheidener in ihrer Zielsetzung, strenger in ihrer Beweisführung und überprüfbarer in ihren Aussagen werden. (β) Die Philosophie müsse sich auf die syntaktische und semantische Analyse einzelwissenschaftlicher Aussagen, sowie die Klärung methodischer und inhaltlicher wissenschaftlicher Theorienbildungen beschränken. (γ) Die Philosophie in ihrer traditionellen Form müsse durch eine Wissenschaftslogik abgelöst werden. Der Versuch, diese wissenschaftsphilosophischen Forderungen zu konkretisieren, manifestieren sich im *Programm* des Logischen Empirismus. Sie analysieren die Ursachen des einzelwissenschaftlichen Erkenntniszuwachses, suchen die Gründe für die widerstreitenden philosophischen Positionen, leiten daraus Konsequenzen für das wissenschaftliche Denken in der Philosophie ab und beginnen mit der Entwicklung der modernen empiristisch orientierten Wissenschaftstheorie.

Charakteristisch für den Logischen Empirismus ist eine rigorose Ablehnung jeglicher Metaphysik. Dabei ist der Begriff „Metaphysik“ in einem sehr weiten Sinne zu verstehen, so daß darunter nicht nur die Aussagen über transzendente Gegenstände zu verstehen sind, sondern jede Philosophie, die den Anspruch erhebt, auf apriorischem Wege zu Wirklichkeitsbehauptungen zu gelangen. Damit wird deutlich, daß sowohl die Annahme einer vollkommenen Substanz im cartesischen Sinne als auch die apriorischen Formen der Anschauung und Kategorien des Verstehens Kants in das Schußfeld der Kritik geraten. Die Konsequenzen für die Philosophie sind durchaus drastisch: Wenn dieser ablehnende Standpunkt zutreffend ist, dann gibt es überhaupt keine genuin philosophischen Wirklichkeitssaussagen. Die Philosophie hat keine Möglichkeit – neben den empirischen Wissenschaften –, fundierte und begründbare Aussagen über die Wirklichkeit zu treffen.

Nach meiner Ansicht [...] ist die Philosophie nicht eine selbständige Wissenschaft, die den Einzeldisziplinen nebenzuordnen oder überzuordnen wäre, sondern die Philosophie steckt in allen Wissenschaften als deren wahre Seele, kraft deren sie überhaupt erst Wissenschaften werden. [...] Philosophie ist nichts anderes als das System dieser Prinzipien, welches das System aller Erkenntnisse verästelnd durchsetzt und ihm dadurch Halt gibt; sie ist daher in allen Wissenschaften beheimatet, und ich bin überzeugt, daß man zur Philosophie nicht anders gelangen kann, als indem man sie in ihrer Heimat aufsucht.⁴⁷¹

Die empiristisch orientierte Wissenschaftstheorie versteht unter Metaphysik grundsätzlich alle Aussagen, die der Empirie nicht zugänglich sind. Ihre *Ziele* sind demnach von zweifacher Art: (α) Sie versucht, eine scharfe Grenze zwischen Empirie und Metaphysik zu ziehen und (β) sie will die Metaphysik aus Wissenschaft und Philosophie eliminieren. In beiden Zielsetzungen sind ihre Bemühungen gescheitert. Das Metaphysikverständnis der empiristisch orientierten Wissenschaftstheorie steht auch in einem eigentümlichen Gegensatz zu den revolutionären Entwicklungen in der Physik, in deren Verlauf die klassische Physik durch die

⁴⁷¹ Schlick 1925, S. v

Relativitätstheorie einerseits und durch die Quantentheorie andererseits abgelöst wird: Sucht die Analytische Wissenschaftstheorie alle metaphysikverdächtigen Elemente rigoros zu eliminieren, so macht die moderne physikalische Theorienbildung diese metaphysischen Elemente zum Gegenstand empirischer Untersuchungen.

2. Kritik an der intuitiven Erkenntnis. Die empiristisch orientierte Wissenschaftstheorie versucht eine scharfe Trennung vorzunehmen zwischen Erfahrung und Logik einerseits und Metaphysik andererseits. Auf diesem Hintergrund leugnet sie die Notwendigkeit der *Intuition* für den Erkenntnisprozeß und bemüht sich, die intuitive Erkenntnis völlig aus den Wissenschaften zu vertreiben. Die Kritik ist teilweise berechtigt, da die intuitive Erkenntnis die ihr zugeschriebene *Unfehlbarkeitsleistung* tatsächlich nicht erbringen kann. Die Kritik ist aber da unberechtigt, wo sie der intuitiven Erkenntnis den Status einer Erkenntnisart grundsätzlich abspricht. Die Analytische Wissenschaftstheorie ist in ihrer Kritik zu einseitig, wenn sie versucht, der intuitiven Erkenntnis jegliche Funktion zu nehmen. Hier steht sie in einem klaren Gegensatz zu den Ergebnissen der empirischen Neurowissenschaften und der theoretischen Neuroinformatik, die klar begründen, daß alle kognitiven Leistungen zuallererst ihre Wurzeln in einer intuitiven Strukturierung haben.

In seinem Werk *Allgemeine Erkenntnislehre* von 1925 hat sich Schlick kritisch mit den Problemen der intuitiven Erkenntnis auseinandergesetzt.

In der Tat ist die Mehrzahl der Philosophen davon überzeugt, daß Anschauung uns unmittelbar Erkenntnis liefert; ja in den stärksten philosophischen Strömungen der Gegenwart herrscht die Meinung, daß *allein* die Anschauung, die Intuition wahre Erkenntnis sei, daß die mit Begriffen arbeitende Methode der Wissenschaft nur ein Surrogat geben könne, nicht echte Erkenntnis des Wesens der Dinge.⁴⁷²

Die „stärksten philosophischen Strömungen“, die der Intuition und Evidenz eine besonders herausragende Funktion zuschreiben, sind die Philosophien von Brentano und Husserl. Schlick unterscheidet im folgenden die Begriffe „Kennen“ und „Erkennen“.

Alles Erkennen ist ein Wiedererkennen oder Wiederfinden. Und alles Wiederfinden ist ein Gleichsetzen dessen, *was* erkannt wird, mit dem, *als was* es erkannt wird.⁴⁷³

Für ihn ist Erkenntnis eine drei-gliedrige Relation; die Intuition hingegen ist nur eine zwei-gliedrige Relation und daher überhaupt keine Erkenntnis:

S kennt (intuitiv) O

S erkennt (diskursiv) O als Y

⁴⁷² Schlick 1925, S. 75

⁴⁷³ Schlick 1925, S. 14

Für Schlick ist Erkennen immer an eine sprachliche Formulierung **Y** gebunden.

[...] hat man also nicht volles Recht, zu sagen: Anschauung ist Erkenntnis? [...]

Nun möchte man vielleicht sagen, es handle sich bloß um eine Frage der Terminologie: es stehe doch frei, auch die Intuition oder Anschauung mit dem Namen Erkenntnis zu belegen; man unterscheide dann eben zwei Arten des Erkennens, das begriffliche, diskursive und das anschauliche, intuitive. Aber die Propheten der Intuition leiten das Recht, auch ihr den Namen Erkenntnis zu geben, davon ab, daß sie meinen, die unmittelbare Anschauung leiste gerade *das* in vollkommener Weise, was auch die symbolisierende Erkenntnis mit dem unzureichenden Mittel des Begriffes zu leisten trachte.

Hierin irren sie sich jedoch sehr. Anschauung und begriffliche Erkenntnis streben keineswegs nach dem gleichen Ziel, sie gehen vielmehr nach entgegengesetzten Richtungen auseinander. Zum Erkennen gehören stets zwei Glieder: etwas, *das* erkannt wird, und dasjenige, *als was es* erkannt wird. Bei der Anschauung hingegen setzen wir nicht zwei Gegenstände zueinander in Beziehung, sondern stehen nur einem einzigen, eben angeschauten, gegenüber. Es handelt sich also um einen wesentlich verschiedenen Prozeß; die Intuition hat mit der Erkenntnis gar keine Ähnlichkeit. [...] Intuition ist bloßes Erleben, Erkennen aber ist etwas ganz anderes, ist mehr. Intuitive Erkenntnis ist eine *contradictio in adiecto*. [...]

Und damit ist der große Fehler aufgedeckt, den die Intuitionsphilosophen begehen: sie verwechseln Kennen mit Erkennen.⁴⁷⁴

Kurzum: das bloße *Bekanntwerden* mit gewissen Gegebenheiten, die bloße Intuition davon ist ein Erleben, nicht aber ein Erkennen dieser Gegebenheiten, [...].⁴⁷⁵

Im folgenden setzt Schlick Kennen mit einer unverarbeiteten Wahrnehmung gleich und betont zu Recht, daß diese überhaupt nicht vorkommt. Konsequenterweise geht er dann auf die interpretierte Wahrnehmung ein, d.h. die non-verbale Erkenntnis, bestätigt ihre Möglichkeit und wertet sie dann aber als primitive Erkenntnis ab, da sie für die Wissenschaft belanglos sei. Obwohl er die begrifflich, diskursive Erkenntnis scharf abgrenzt gegen das anschaulich, intuitive Kennen, gibt er doch zu, daß Tiere primitive Erkenntnisse besitzen. Demnach scheint die Erkenntnis doch nicht an eine sprachliche Formulierung gebunden zu sein.

Die reine, unverarbeitete Wahrnehmung (Empfindung) ist ein bloßes Kennen; [...]. Nun kommen aber isolierte reine Wahrnehmungen bekanntlich im entwickelten Bewußtsein so gut wie gar nicht vor, [...]. So werden etwa die Schwarz-Weiß-Empfindungen beim Blick auf das vor mir liegende Papier ohne weiteres zur Wahrnehmung von Schriftzeichen. Hier haben wir natürlich eine Erkenntnis, wenn auch primitivster Art, vor uns, [...]. Will man diese Erkenntnis, solange sie noch nicht in (vorgestellte oder gesprochene) Worte gefaßt ist, von der sprachlich formulierten dadurch unterscheiden, daß man die erstere als „intuitiv“ bezeichnet, so läßt sich dagegen natürlich nichts einwenden; [...].⁴⁷⁶

Wir müssen annehmen, daß jedes Tier, das Bewußtsein besitzt, auch zu Akten des

⁴⁷⁴ Schlick 1925, S. 75f

⁴⁷⁵ Schlick 1925, S. 85

⁴⁷⁶ Schlick 1925, S. 80f

Wiedererkennens befähigt ist. Es muß die Beute als Beute, den Feind als Feind auffassen, sonst kann es sein Verhalten der Umwelt nicht anpassen und muß zugrunde gehen. Hier liegt also sicherlich wenigstens die primitivste Art des Erkennens vor, [...].⁴⁷⁷

Wie sind Schlicks Ausführungen zu beurteilen? Der Sache nach spricht Schlick von zwei verschiedenen Intuitionsbegriffen: (α) Das Konzept der Intuition (**intuitiv₁**) als bloßes Kennen ist tatsächlich unhaltbar, weil die Gestaltpsychologie nachweist, daß jede Wahrnehmung immer im Sinne einer interpretierten Wahrnehmung zu verstehen und damit als eine drei-stellige Relation aufzufassen ist. (β) Das Konzept der Intuition (**intuitiv₂**) als primitives Erkennen ist aber ebenfalls unhaltbar, weil die Geringschätzung der Intuition als primitive Erkenntnis den neurologischen Verhältnissen nicht gerecht wird.

S kennt (intuitiv₁) O

S erkennt (intuitiv₂) O als X

S erkennt (diskursiv) O als Y

Schlicks Analyse des Intuitionsbegriffs ist demnach in Frage zu stellen. Gemäß der Gestaltpsychologie geht das Ganzheitliche dem Partiellen voraus und die Wahrnehmung ist immer schon strukturiert. Gemäß der Genetischen Erkenntnistheorie hebt die Erkenntnis nicht mit einzelnen Sinneseindrücken an, sondern mit der senso-motorischen Aktivität. Die empirischen Neurowissenschaften sagen, daß die Klassifizierung von Objekten und Prozessen keineswegs ein primär symbolvermittelter Prozeß ist, sondern eine Folge der Gehirnarbeit. Erwartungs- und verhaltensrelevante Erkenntnisse sind auch Erkenntnisse und spielen in den impliziten Annahmen zur Natur eine wichtige Rolle. Schlicks Sichtweise wird also von einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie ganz klar widerlegt. Er hat zwar Recht, wenn er die Zuschreibung der Unfehlbarkeitsleistung der Intuition bestreitet, er hat aber Unrecht, wenn er die Intuition als zwei-gliedrige Relation auffaßt und ihr den Status einer Erkenntnisart verwehrt und er hat ebenfalls Unrecht, wenn er die Intuition als primitive, nicht-relevante Erkenntnis abwertet. Der tiefere Grund für die Auffassung Schlicks liegt darin, daß er Wissen nur als *begrifflich formuliertes Wissen* akzeptiert. Dem liegt ein Menschenbild zugrunde, das den Menschen als symbolverarbeitendes Wesen betrachtet und damit der traditionellen Computer-Metapher nahesteht. Die empirischen Neurowissenschaften und die theoretischen Neuroinformatik belegen hingegen, daß die symbolvermittelte Erkenntnis immer nur „auf dem Rücken“ der intuitiven Erkenntnis zustandekommen kann.

Die Frage nach der intuitiven Erkenntnis führt noch auf einen weiteren wichtigen Aspekt. Carnap räumt ein, daß der zündende Funke und die schöpferische Idee – also die Intuition –

⁴⁷⁷ Schlick 1925, S. 87

bei Erfindungen, Problemlösungen und Entscheidungsprozesse ein grundlegendes Element darstellt. Reichenbach unterscheidet zwischen dem *Entdeckungszusammenhang* einer Theorie und ihrem *Rechtfertigungszusammenhang*. In der Folgezeit wird diese Unterscheidung übernommen – mit drastischen Konsequenzen für die Intuition: (α) Die empiristisch orientierte Wissenschaftstheorie anerkennt, daß die Intuition in der Wissenschaft *faktisch* eine große Rolle spielt. In seinem Werk *Der logische Aufbau der Welt* verweist Carnap auf die zentrale Rolle der Intuition im Entdeckungszusammenhang einer wissenschaftlichen Theorie. (β) Die empiristisch orientierte Wissenschaftstheorie will den Wissensbegriff aber nur unter dem Blickwinkel des *Rechtfertigungszusammenhangs* analysieren; den Entdeckungszusammenhang von Wissen wird als nicht analysierbar bzw. als irrelevant eingestuft oder als Sache der Psychologen abgetan.

Das „Gegebene“ liegt im Bewußtsein niemals als bloßes, unverarbeitetes Material vor, sondern immer schon in mehr oder weniger verwickelten Bindungen und Gestaltungen. Die Erkenntnissynthese, die Verarbeitung des Gegebenen zu Gebilden, zu Vorstellungen der Dinge, der „Wirklichkeit“, geschieht meist unabsichtlich, nicht nach bewußten Verfahren. [...]

Auch in der Wissenschaft geschieht die Verarbeitung, Gegenstandsbildung und Erkennung meist intuitiv und nicht in der rationalen Form logischer Schlüsse. [...]

Daß diese Erkenntnissynthese, nämlich die Gegenstandsbildung und die Erkennung oder Einordnung der Arten, intuitiv geschieht, hat den Vorzug der Leichtigkeit, Schnelligkeit und Evidenz. Aber die intuitive Erkennung [...] kann nur deshalb für weitere wissenschaftliche Verarbeitung verwertet werden, weil es möglich ist, die Kennzeichen [...] auch ausdrücklich anzugeben, mit der Wahrnehmung zu vergleichen und so die *Intuition rational zu rechtfertigen*.

*Das Konstitutionssystem ist eine rationale Nachkonstruktion des gesamten, in der Erkenntnis vorwiegend intuitiv vollzogenen Aufbaues der Wirklichkeit.*⁴⁷⁸

Die Erkenntnislehre sucht einen Erkenntnisbegriff und Erkenntnisverfahren, die als *Norm* zu dienen haben, an denen die Ansprüche, Erkenntnis zu sein, gemessen und entschieden werden können.⁴⁷⁹

Diese Einschränkung der Fragestellung ist unberechtigt. Erkenntnislehren müssen scheitern, wenn sie nur Geltungsfragen berücksichtigen, Fragen zur Genese und Dynamik des Wissens explizit ausklammern und stattdessen auf ein nicht-bewußtes, ungeprüftes und unreflektiertes Alltagsverständnis von der Arbeitsweise des Gehirns zurückgreifen. Erkenntnistheorien sollten zuallererst Entstehungsfragen in den Katalog epistemologisch relevanter Fragen einbeziehen und auf dem Boden empirischer Wissenschaften beantworten. Geltungsfragen müssen als nachgeordnet eingestuft werden. Die Frage nach dem Lernprozeß und dem Wissenserwerb ist also gerade nicht ausschließlich ein Fall für den Psychologen, sondern immer auch ein Fall für den Philosophen. Auch Mainzer sieht Bedarf an einer neurowissenschaftlich orientierten Wissenschaftstheorie.

⁴⁷⁸ Carnap 1928, S. 138f

⁴⁷⁹ Kraft 1960, S. 23 – 31

Der kreative Aspekt wissenschaftlicher Arbeit [...] wurde von der traditionellen Wissenschaftstheorie als „psychologisch“ (Frege, Carnap, Popper), „irrational“ (Reichenbach) und keiner methodischen Analyse fähig ausgeklammert. Man spricht hier häufig vom „Entdeckungszusammenhang“ (context of discovery). Die Wissenschaftstheorie hat sich nach dieser Auffassung auf die Rechtfertigung vorgegebener Behauptungen und Theorien (context of justification) zu beschränken, da nur für sie verbindliche Regeln angegeben werden können: [...].⁴⁸⁰

Menschliche Gehirne arbeiten häufig anders, als sich das Logik und Wissenschaftstheorie lange Zeit vorgestellt haben. Diese Methoden kennenzulernen, ihre Grundlagen, Leistungen und Grenzen zu untersuchen – das ist Aufgabe einer neurophilosophischen Wissenschaftstheorie.⁴⁸¹

Zusammengefaßt bedeutet dies: Die Analytische Wissenschaftstheorie ist in ihrer Kritik zu rigoros, (α) wenn sie die intuitive Erkenntnis als Erkenntnisart ablehnt, (β) wenn sie der intuitiven Erkenntnis jegliche wissenschaftstheoretisch relevante Funktion absprechen will, (γ) wenn sie nur am Rechtfertigungszusammenhang einer Theorie interessiert ist und den Entstehungszusammenhang einer Theorie als nicht analysierbar bzw. als irrelevant einstuft und (δ) wenn sie alle Fragen zu einem adäquaten Wirklichkeitsverständnis für metaphysisch und damit sinnlos erklärt.

3. Kritik am Evidenzbegriff. Schlick befaßt sich ausführlich mit der Frage nach dem Evidenzbegriff und seine Argumente gegen eine absolute Evidenz sind stichhaltig. Die Begründung einer *absoluten, objektiven Evidenz* sieht sich unweigerlich in einen unendlichen Begründungsregreß verfangen. Die empiristisch orientierte Wissenschaftstheorie übt berechnete Kritik an der Metaphysik, insofern sie damit zuallererst die transzendente Fundierung der Erkenntnis meint, wie sie von Descartes und Leibniz angestrebt wird. Es ist ihr großes Verdienst, klar erkannt zu haben, daß ein absolut gesichertes Wissen über die Natur nicht zu erlangen ist. Die damit verknüpfte Kritik am Evidenzkonzept im cartesischen oder leibnizschen Sinne wird durch eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie ausdrücklich bestätigt.

Wir haben die Anrufung der Evidenz als höchste Instanz und letzte Zuflucht wiederholt als verkehrt und untunlich abgelehnt. [...]

Der Evidenztheoretiker, der triumphierend behauptet, daß man von einer Tatsache doch erst sprechen könne, wenn es *evident* sei, daß wirklich eine Tatsache vorliege, kann leicht mit seinen eigenen Waffen geschlagen werden. Denn das Bestehen von Evidenz wäre ja auch nur schlechthin Tatsache. Im Sinne der Evidenzlehre müßte man dann weiter fragen: Woher weiß ich, daß Evidenz vorliegt? Ist es evident? Und wenn ja, so muß ich wieder forschen: Was versichert mir dessen? Eine Evidenz dritter Ordnung? Und so fort in infinitum.

⁴⁸⁰ Mainzer 1995, S. 674; Der Entdeckungszusammenhang einer physikalischen Theorie gilt auch vielen Physikern als wissenschaftlich nicht analysierbar und daher als uninteressant für die Physik selbst. Dies bringt Genz pointiert zum Ausdruck: „Welche Wege einen Forscher zu seiner Entdeckung leiten, bleibt seine Privatsache.“ (Genz 2002, S. 232)

⁴⁸¹ Mainzer 1995, S. 742

Gewiß geschieht die Feststellung der Wahrheit durch irgendwelche Bewußtseinsdaten, die man schließlich als Evidenz bezeichnen mag, unmöglich aber läßt sich die Lehre aufrecht erhalten, daß es ein spezifisches unreduzierbares Evidenzerlebnis gebe, dessen Vorhandensein das ausreichende Kriterium und untrügliche Kennzeichen der Wahrheit ausmache. Dies wird erwiesen durch die Erfahrungstatsache, daß ein Evidenzerlebnis sich auch bei notorisch falschen Urteilen einstellt. [...] Man denke etwa an die Systeme großer Metaphysiker, wie Descartes und Spinoza, die zum großen Teil aus falschen Urteilen bestehen, ihren Urhebern aber doch als die sichersten aller Wahrheiten galten.

Die Verteidiger der Evidenzlehre behaupten natürlich, daß in diesem Falle nicht die richtige, die echte Evidenz erlebt wurde, es handele sich vielmehr um eine Gewißheit „ohne Evidenz“. Diese Behauptung aber verwickelt sich in einen unaufhebbaren Widerspruch. Entweder nämlich, die echte Evidenz wird von der unechten [...] als wesensverschieden erlebt, dann werden beide also gar nicht miteinander verwechselt; Evidenztäuschungen kommen dann gar nicht vor, [...]. Oder aber es besteht kein unmittelbarer Unterschied zwischen den beiden Erlebnissen. Dann ist damit gesagt, daß es nur auf indirektem Wege, also durch nachträgliche Untersuchung möglich ist zu entscheiden, ob Gewißheit mit Evidenz oder Gewißheit ohne Evidenz vorgelegen hat.⁴⁸²

Mit seiner Kritik richtet sich Schlick erneut in besonderer Weise gegen die Philosophien von Brentano und Husserl, für die der Evidenzbegriff eine grundlegende, wenngleich völlig überzogene Funktion im Erkenntnisprozeß übernimmt. Mit der Fokussierung auf diese speziellen Intuitions- und Evidenzkonzepte bleibt dann offen, inwiefern mit der Kritik nicht auch Aspekte „über Bord“ gehen, die für eine Erkenntnistheorie unverzichtbar sind. Hier wird besonders deutlich, daß der Gedanke einer *Belehrung der Intuition* im platonischen und cartesischen Sinne bereits verloren gegangen ist und daß völlig ungeklärt bleibt, daß das Versagen der cartesischen Intuitions- und Evidenzlehre hauptsächlich in einem unzureichenden Instrumentarium der Belehrung besteht, d.h. eine Belehrung, die sich noch nicht auf hinreichend aufgebaute Kontrollinstanzen stützen kann. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie spricht von einer *subjektiven Evidenz* und grenzt diese ab gegen eine *objektive Evidenz*, die sich grundsätzlich nur auf eine belehrte Intuition berufen kann und die alle zur Verfügung stehenden Kontrollinstanzen (Experiment, Logik, Mathematik) systematisch eingesetzt hat. Darüber hinaus läßt sie die objektive Evidenz auch nur in einem *relativen* Sinne gelten (vgl. Kapitel 2.3).

4. Kritik an Kants Transzendentalphilosophie. Die empiristisch orientierte Wissenschaftstheorie lehnt Kants Transzendentalphilosophie aus grundsätzlichen Erwägungen ab. Ausführlich läßt sich diese Ablehnung in Schlicks Schriften studieren. Schlick leugnet die Möglichkeit von synthetischen Urteile a priori; er argumentiert gegen Kants Lehre von den Formen der Anschauung und den Kategorien des Denkens. Er baut seine Argumentationslinie in vier Schritten auf: (α) Zunächst argumentiert Schlick gegen die

⁴⁸² Schlick 1925, S. 136f

Möglichkeit *synthetischer Urteile a priori*. Die von Kant vorgebrachten Beispiele sind der euklidischen Geometrie entnommen. Nach Schlick sind aber die mathematischen Sätze ausschließlich analytische Urteile und haben keinen Wirklichkeitsbezug. Im folgenden unterscheidet Schlick zwischen einer reinen Geometrie, die nur aus Begriffen folgt und daher analytisch ist und einer angewandten Geometrie, die den physikalisch realisierten Raum beschreibt und synthetisch a posteriori ist. Darüber hinaus behauptet Schlick, daß der euklidische Raum ein begriffliches Konstrukt ist, der nichts zu tun hat mit den nicht-euklidischen Anschauungsräumen der verschiedenen Sinne (optischer Raum, Tastraum, Bewegungsraum).

Die Mathematik ist es, auf welche Kant und seine Anhänger in erster Linie hinweisen, wenn sie das Vorkommen synthetischer Urteile a priori behaupten. [...] Es ist möglich – so wurde am Beispiel der Geometrie ausgeführt –, von jedem anschaulichen Inhalt der mathematischen Begriffe abzusehen, indem man sie durch implizite Definitionen definiert; und die neuere Mathematik erkannte diese Art der Einführung und Bestimmung der Grundbegriffe nicht nur als möglich, sondern sah sich *gezwungen*, diesen Weg einzuschlagen, [...]. In diesem Sinne wären hiernach die geometrischen Urteile natürlich a priori, aber gar nicht synthetisch.⁴⁸³

(β) Des weiteren verschärft Schlick sein Argument, indem er die *Irrtumsanfälligkeit* der Anschauung herausstreicht. Beispiele für das Versagen der Anschauung entnimmt Schlick der Funktionentheorie. Die Anschauung scheint die Annahme nahelegen, daß es keine Kurven gibt, die in in jedem Punkt stetig, aber in keinem Punkt differenzierbar sind. Weierstraß hat diese Vermutung widerlegt.

Es kommt nämlich vor, daß gewisse vermeintliche Einsichten, die man der reinen Anschauung zuschreiben müßte, durch die mathematische Analyse überhaupt als *falsch* erwiesen werden. Und das ist natürlich verhängnisvoll für die Lehre, denn eine notwendige Form des Anschauens kann nicht trügerisch sein: es handelt sich ja gerade darum, ihre Richtigkeit, ihre Geltung zu erklären. [...] Hier läßt uns also die Anschauung im Stich.⁴⁸⁴

(γ) Anschließend wendet sich Schlick der Frage nach der Verankerung der Arithmetik in der Zeitanschauung zu und weist diese Verknüpfung entschieden ab. Dem liegt die Einsicht zugrunde, daß Kants Raum- und Zeitkonzept grundsätzlich verfehlt ist, mit der Konsequenz, daß es keine synthetischen Urteile a priori geben kann.

Durch die Architektur seines Systems verführt, hat Kant daran gedacht, daß die Zeitanschauung für die Arithmetik eine analoge Rolle spielen möchte, wie die Raumansehung für die Geometrie, aber mit Recht hat er diesen Gedanken nicht weiter verfolgt, denn er ist natürlich ganz unhaltbar. Freilich bedürfen wir zum

⁴⁸³ Schlick 1925, S. 320

⁴⁸⁴ Schlick 1925, S. 323f

Zählen der Zeit, aber es wäre eine arge Verwechslung des psychologischen mit dem erkenntnistheoretischen Standpunkte, wenn man daraus irgendeine nähere Beziehung des Zahlbegriffes zur Zeit ableiten wollte. [...]

Kants Lehre, daß die arithmetischen Sätze den Grund ihrer Gültigkeit in der Anschauung hätten, muß auf jeden Fall abgelehnt werden.⁴⁸⁵

Es sind nämlich wohl auseinander zu halten das subjektive Erlebnis der zeitlichen Sukzession und die objektive Zeitbestimmung. Das erstere ist ein unmittelbar Gegebenes, Anschauliches, die letztere ist eine rein begriffliche Ordnung.

Kant hat bei der Zeit (und ebenso beim Raume) nicht deutlich unterschieden zwischen anschaulichem Erlebnis und begrifflicher Ordnung, sondern beides hoffnungslos miteinander vermengt und verwechselt.⁴⁸⁶

Raum und Zeit sind nicht apriorische Anschauungsformen in dem Sinne, daß sie synthetische, schlechthin allgemeingültige Urteile möglich machen. Die räumlichen und zeitlichen Grundurteile der exakten Wissenschaften, an deren synthetischem und apriorischen Charakter Kant von vornherein nicht zweifelte, haben diesen Charakter in Wahrheit gar nicht.⁴⁸⁷

(δ) In einem letzten Schritt argumentiert Schlick zu Recht gegen die Kategorien des Denkens; er verwirft einerseits die *wirklichkeits-konstituierende Funktion*, die ihnen Kant zuschreibt und kritisiert andererseits die *begriffliche Konstitution* der Objekte.

Wir sehen, das Denken mit seinen Urteilen und Begriffen [...] besitzt keine Form, die es der Wirklichkeit aufzwingen könnte. Wenn man also mit Kant an eine solche Möglichkeit glaubt, [...] dann muß man offenbar unter „Begriff“ etwas anderes, man muß darunter *mehr* verstehen als ein bloßes Zeichen; man muß meinen, daß unsere Urteile den Tatsachen nicht bloß zugeordnet sind, sondern sie in gewissem Sinne selbst erst *erzeugen* [...].

Für Kant sind die Begriffe gleichsam Realitäten im Bewußtsein; er rechnet sie neben den Anschauungen zu den „Vorstellungen“. Da können sie natürlich ganz andere Funktionen erfüllen, als bloße Zeichen vermögen; durch sie allein, meint Kant, ist es möglich, „etwas als einen Gegenstand zu erkennen“, während ohne ihre Voraussetzung „nichts als Objekt der Erfahrung möglich ist“. [...] Nun bedeutet ein Objekt, ein Gegenstand, immer einen Komplex von Beziehungen und diese Beziehungen sind nach Kants Lehre nicht schlechthin gegeben, vorgefunden, sondern auf das Konto des Denkens, der Urteile und Begriffe, zu setzen. Nach kritizistischer Ansicht werden also die Relationen im Urteil erst gestiftet, während es gemäß unserem Erkenntnisbegriff den ohnedies bestehenden Relationen nur zugeordnet wird.⁴⁸⁸

Schlick schließt mit einer vernichtenden Kritik an Kants Transzendentalphilosophie. Der Sache nach kritisiert er Kants ungeprüfte Annahme, daß die Form-Komponente ausschließlich auf der Seite des erkennenden Subjekts **S** liegt.

⁴⁸⁵ Schlick 1925, S. 326f

⁴⁸⁶ Schlick 1925, S. 224f

⁴⁸⁷ Schlick 1925, S. 228f

⁴⁸⁸ Schlick 1925, S. 330f

Das Denken schafft niemals die Beziehungen der Wirklichkeit, es hat keine Form, die es ihr aufprägen könnte, und die Wirklichkeit läßt sich keine aufprägen, denn sie ist selbst schon geformt. Da auch keine reine Anschauung ihr strenge Gesetze vorschreibt, so wissen wir nun: Die Wirklichkeit erhält Form und Gesetz nicht erst durch das Bewußtsein, [...]. Nun bestand aber die letzte und einzige Möglichkeit strenger allgemeingültiger Wirklichkeitserkenntnis darin, daß das Bewußtsein der Natur ihre Gesetze diktiert. Da diese Möglichkeit entschwunden ist, so sind wir jeder Hoffnung beraubt, im Erkennen des Wirklichen zu absoluter Sicherheit zu gelangen.⁴⁸⁹

Die Analytische Wissenschaftstheorie hat Recht, wenn sie betont, (α) daß absolut gesichertes Wissen über die Natur nicht zu erlangen ist, (β) daß die intuitive Erkenntnis die ihr zugeschriebene Unfehlbarkeitsleistung nicht erbringen kann (γ) wenn sie wichtige Aspekte von Kants Anschauungs- und Kategorienlehre in Zweifel zieht. Sie hat aber Unrecht, wenn sie die *intuitive Erkenntnis* im allgemeinen und die *rationale Intuition* im besonderen völlig verwirft. Im folgenden Kapitel wird es insbesondere wichtig sein, die Mathematik genauer zu beleuchten, den Wandel im Mathematikverständnis zu klären und dann en detail herauszuarbeiten, inwiefern gerade die Mathematik nach Kant in besonderer Weise auf die intuitive Erkenntnis zurückgreifen muß.

⁴⁸⁹ Schlick 1925, S. 352f

2.2 Der Wandel der intuitiven Erkenntnis im Mathematik- und Naturverständnis

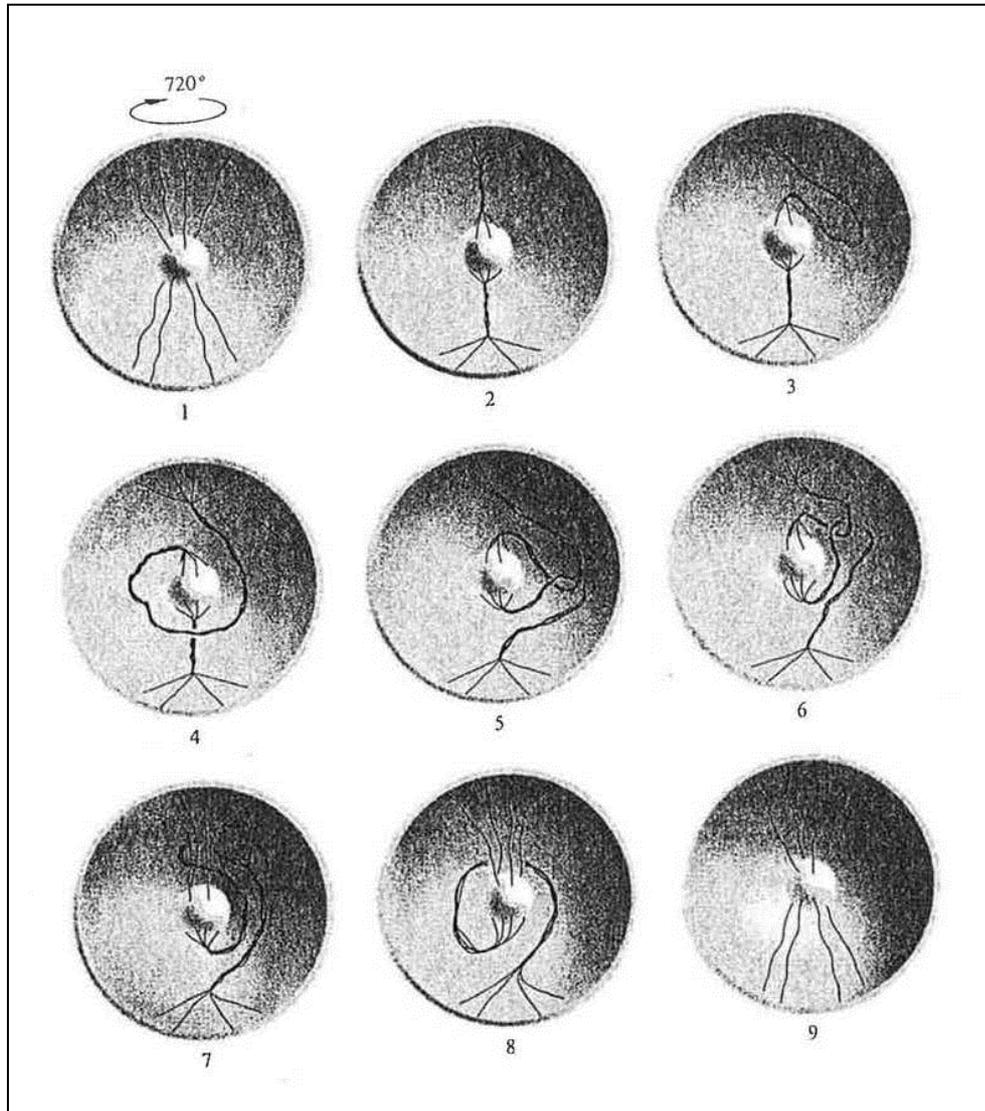
Die Physik greift auf ein umfangreiches mathematisches Instrumentarium zurück um die Strukturen der Natur zu begreifen und zu beschreiben. Damit ist die Physik wesentlich abhängig von einem adäquaten Mathematikverständnis. Dieses Verständnis ist seit den Anfängen eines eher rezeptartigen geometrischen und arithmetischen Vorgehens in der Antike einem tiefgreifenden Wandel unterworfen, der im Anschluß an Descartes und Leibniz von einem figurativen zu einem *operativen Mathematikverständnis* geführt hat. Die neue Mathematik rechnet nicht mehr mit konkreten Zahlen, sondern mit Zahlzeichen nach Regeln, die nur Bezug nehmen auf die spezifischen Strukturen des Zahlzeichensystems. Dieser Wandel wird insbesondere von Piaget hervorgehoben.

Man hat oft festgestellt, daß sich der gesunde Menschenverstand [...] in bezug auf die Eigenart oder das Objekt ihrer Wissenschaft von einem Jahrhundert zum andern einzigartig wandelte. Nichts ist in dieser Hinsicht interessanter als der fundamentale Gegensatz, der die mathematische Konzeption der Griechen von der modernen trennt, [...]. Dieser Gegensatz könnte gut aus der ungenügenden Kenntnis der Bedeutung der Operationen herrühren, die die griechische Konzeption der Mathematik charakterisierte, und aus der Bewußtwerdung des operativen Mechanismus des Denkens seit dem 17. Jh. Wenn diese These zutreffen würde, wäre die Geschichte der mathematischen Wissenschaften der Griechen das interessanteste Beispiel der erkenntnistheoretischen Erfahrung: die Erfahrung eines Denkens, das konstruierte, obwohl es seine Konstruktivität verleugnete, und das dann mangels dieser Kenntnis seiner eigenen Stärke zu konstruieren aufhörte.⁴⁹⁰

Das operative Mathematikverständnis geht über die bloße Konstruktion von geometrischen Figuren hinaus und ist grundlegend verknüpft mit der Fähigkeit zur Handlung und reflektiert die *Strukturen*, denen diese Handlungen unterworfen sind. Wiederholung, Kombination und Reversibilität bestimmter Handlungen genügen Strukturgesetzen, die mathematisch beschreibbar sind – z.B. Gruppenstrukturen. Eine Visualisierung der Gruppeneigenschaften gelingt dann nicht mehr auf der Grundlage der statischen Anschauung, sondern muß wesentlich die Handlung miteinbeziehen. Exemplarisch läßt sich dies an der Visualisierung des Spins eines Elektrons verdeutlichen. Der Spin ist eine genuin quantentheoretische Eigenschaft, die kein klassisches Analogon besitzt. Klassische Objekte kehren bei einer Drehung um 360° in ihre Ausgangsposition zurück. Mathematisch formuliert bedeutet dies, sie sind invariant unter der Drehgruppe $\mathbf{SO}(3)$. Spin-1/2-Teilchen hingegen kehren erst bei einer Drehung um 720° in ihre Ausgangsposition zurück; sie sind invariant unter der Drehgruppe $\mathbf{SU}(2)$. Diese quantentheoretische Eigenschaft kann an einem komplexen klassischen Objekt mit einer inneren Struktur – eine kleine Kugel, die an zwei Bündeln von Schnüren in einer Hohlkugel hängt – visualisiert werden. Die statische Anschauung lehrt aber

⁴⁹⁰ Piaget 1975e, S. 259f

gerade nicht, daß dieses Objekt nur bei einer Drehung um 720° in seine Ausgangsposition zurückkehrt, aber nicht bereits bei einer Drehung um 360° . Zur Visualisierung dieses Sachverhalts ist die konkrete Handlung erforderlich – also eine dynamische Anschauung.⁴⁹¹

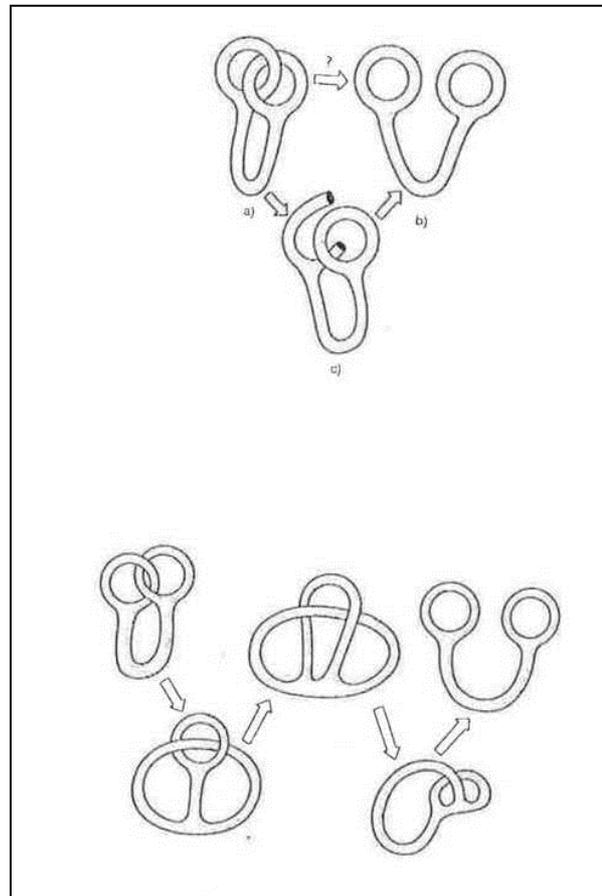


Figur 2.1

Ganz ähnlich verhält es sich mit topologischen Problemen. Die Topologie untersucht diejenigen Eigenschaften geometrischer Objekte, die bei stetigen Deformationen invariant bleiben. Hier handelt es sich um topologische Abbildungen, d.h. Operationen, bei der das jeweilige Objekt gebogen, gedehnt, zusammengedrückt oder verdreht wird. Das Objekt soll vollkommen elastisch sein und alle Kombinationen dieser Verformungen unbeschadet überstehen. Grundlegende Bedingung ist allerdings, daß diejenigen Punkte, die *vor* der Verformung benachbart waren, auch *nach* der Verformung benachbart bleiben. Ist es möglich,

⁴⁹¹ Misner / Thorne / Wheeler 1973, S. 1149

das Objekt a) in das Objekt b) zu überführen, ohne – wie in Objekt c) gezeigt –, die Ringe zu zerschneiden, d.h. sind die Objekte a) und b) topologisch äquivalent unter Verformung. Durch eine Folge von Verformungen gelingt dies tatsächlich.⁴⁹²



Figur 2.2

In diesem Kapitel soll es zunächst um den Wandel im Mathematikverständnis gehen und – damit korreliert – um die Frage nach der Intuition: Im einzelnen geht es um (α) das figurative Mathematikverständnis der Pythagoreer, (β) das operative Mathematikverständnis, das mit Descartes und Leibniz beginnt und das im 19. Jahrhundert – mit dem Ausbau eines effektiven Instrumentariums – das neue mathematische Fundament legt für die Beschreibung einer technisch zunehmend erweiterten Wirklichkeit, (γ) das eingeschränkte Mathematikverständnis Kants, (δ) die Kritik an und die Abkehr von den Gewißheitsansprüchen der Anschauung in den Arbeiten zur Geometrie von Helmholtz und zur Mechanik von Hertz. Des weiteren geht es um die Funktionen und Grenzen der intuitiven Erkenntnis für das Mathematikverständnis (ϵ) von Poincaré als Vordenker des Intuitionismus und (ζ) von Hilbert als Vertreter des Formalismus.

⁴⁹² Devlin 1990, S. 261, 295

Das figurative Mathematikverständnis der Pythagoreer

Die intuitive Erkenntnis – sowohl im Sinne einer sinnlichen Intuition als auch im Sinne einer rationalen Intuition – spielt der Sache nach bereits bei den Pythagoreern⁴⁹³ eine zentrale und mehrfache Rolle, auch wenn der Begriff „intuitive Erkenntnis“ noch nicht explizit ins Spiel kommt, weil keine ausgearbeitete Erkenntnislehre vorliegt. Bereits die frühen Pythagoreer erkennen die Gesetzlichkeit und Ordnung der Natur, betonen die Bedeutung der Mathematik für die Naturbeschreibung und treten so in eine neue Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit, die nicht mehr ausschließlich vom Mythos, sondern zunehmend vom Logos bestimmt ist. Charakteristisch für ihre Lehren ist eine im Mythos wurzelnde Verehrung der Zahl (arithmos). Der Kosmos ist für die Pythagoreer ein durchgängig nach mathematischen Prinzipien konstruiertes Ordnungssystem. Sie glauben, daß der Kosmos nach Zahlen geordnet und nach einem geometrischen Muster angelegt ist. Die Pythagoreer haben insbesondere zwei große Leistungen erbracht, die weit über das babylonische und ägyptische Wissen hinausführen. (α) Das *neue Mathematikverständnis*: Anstatt der rezeptartigen Musteraufgaben zur Behandlung konkreter arithmetischer und geometrischer Probleme werden grundlegende Axiome aufgestellt und allgemeine Sätze bewiesen. (β) Das *neue Astronomieverständnis*: Anstatt einem, dem unmittelbaren Augenschein verpflichteten kosmologischen Modell werden verschiedene konkurrierende Modelle (geozentrisches Modell von Eudoxos von Knidos, heliozentrisches Modell von Aristarch von Samos) entwickelt, die gekennzeichnet sind durch eine zunehmende Abkehr vom unmittelbaren Augenschein, erzwungen durch Fragen, die nur um den Preis einer immer abstrakter werdenden Kosmosvorstellung beantwortet werden können.

1. Erkenntnislehre & mathematisches Naturverständnis. Die Pythagoreer haben ein, am Zahlbegriff orientiertes Naturverständnis. Dieses geht auf Pythagoras von Samos (570 – 497 v. Chr.) zurück, einen griechischen Philosophen, Mathematiker und Gründer einer Gemeinschaft mit wissenschaftlichen und religiösen Zielen, der einer der wichtigsten Vertreter der vorsokratischen Philosophie ist. Sein Wissen betrachtet er als Geheimwissen, die Weitergabe an Unbefugte ist strikt untersagt, dennoch sind grundlegende Elemente seiner Lehre für die später formulierten Erkenntnislehren und Naturphilosophien richtungweisend. (α) Die *Lehre von der Unsterblichkeit und Wanderung der Seele*: Die Präexistenz der Seele erhält bei Platon in der Lehre von der Wiedererinnerung des Wissens eine epistemologische Bedeutung. Dieser Gedanke wird in der cartesischen Philosophie aufgegriffen und umgeformt zur Lehre von den eingepprägten Ideen. (β) Die *Lehre von der Einheit von Erkenntnis und praktischer Lebensführung*: Ein moralisch gutes Leben und die seelische Reinheit (askesis) gelten als Vorbedingungen für die Erlangung von theoretischem Wissen (mathesis). Der Gedanke, daß das erkennende Subjekt spezifischen Bedingungen genügen muß, um überhaupt Erkenntnisse gewinnen zu können, wird ein wichtiges Element der platonischen und

⁴⁹³ Waerden 1979

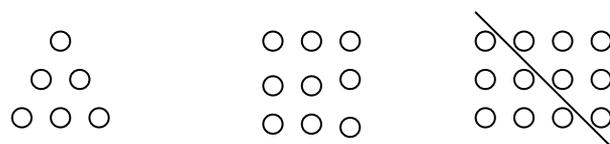
cartesischen Erkenntnislehre. Dort handelt es sich dann um eine mathematisch-philosophische Schulung des Verstandes. (γ) Die *Lehre von der Ontologie der Zahlen*: Die Wirklichkeit besteht aus Zahlen und ist nach Zahlenverhältnissen geordnet. Diese Lehre ist auch zentraler Bestandteil der platonischen Ideenlehre und erfährt in der mathematisch-experimentellen Methode von Galilei eine wichtige Weiterentwicklung. Die experimentelle Physik erhält dort die Aufgabe, Phänomene zu erzeugen, die klassifiziert und damit zum Gegenstand der mathematischen Physik gemacht werden können. (δ) Die *Lehre von der musikalisch-mathematischen Harmonie der Sphären*: Jeder Planet erzeugt durch seine Bewegung einen speziellen Ton; zusammen bilden die Töne eine wohlgeordnete Tonleiter. Es besteht demnach ein enger Zusammenhang zwischen den Planetenabständen und den symphonischen Zusammenklängen der Musik. Für die Pythagoreer besteht eine Einheit zwischen dem irdischen und dem himmlischen Bereich, die sich in den arithmetischen Strukturen manifestiert. Die irdische Musik wird als eine Nachbildung der himmlischen Harmonie gedacht. Um diese Zusammenhänge erforschen zu können, stellen die Pythagoreer auch Experimente mit gespannten Saiten an, wobei sie die Saitenlänge variieren. Obwohl Platon diese ersten experimentellen Ansätze mißbilligend kommentiert, übernimmt er den Gedanken der Nachbildung (*mimesis*) und entwickelt ihn weiter in seiner Lehre von der Teilhabe (*methexis*) der sinnlich-erfahrbarbaren Dinge an den gedanklich-erfaßbaren Ideen.

2. Programm einer universellen Arithmetik & der Zahlbegriff. Pythagoras wird der Spruch „alles ist Zahl“ zugeschrieben. Von Archytas von Tarent (428 – 365 v. Chr.) wird das ehrgeizige Programm einer *universellen Arithmetik* auf den Weg gebracht. Die Überzeugung von der Zahl als das Wesen der Dinge stützt sich insbesondere auf den Sachverhalt, daß so unterschiedliche Gegenstände wie (α) die Figuren der Geometrie, (β) die Tonintervalle in der Harmonik und (γ) die Bewegungen der Himmelskörper in der Astronomie durch Zahlenverhältnisse erfaßt werden können. Die Zahl erhält so einen paradigmatischen Charakter. Mit der Idee der Ordnung hängt die Idee eines axiomatischen Aufbaus der Wissenschaften zusammen. Die Pythagoreer sind dann auch die ersten, die Ansätze axiomatischer Formulierungen entwickeln und vier Wissenschaften systematisch begründen: Arithmetik, Geometrie, Harmonik und Astronomie. Dabei berufen sie sich ausdrücklich auf die metaphysischen Prinzipien der „Schönheit“, „Einfachheit“ und „Vollkommenheit“.

Ihre zahlentheoretischen Studien führen die Pythagoreer zu der Auffassung, daß die positiven, ganzen Zahlen die eigentlichen Bausteine alles Seienden sind. Diese Annahme und damit die Tragfähigkeit des Programms einer universellen Arithmetik wird jedoch durch die Entdeckung der *Inkommensurabilität* schwer erschüttert. Die Pythagoreer haben einen sehr eingeschränkten Zahlbegriff: (α) Die Eins wird nicht als Zahl gedeutet, sondern als Ursprung der Zahl, d.h. die Eins ist eine Einheit (*monas*), die die Zahlen generiert. (β) Negative Zahlen und die Null sind den Pythagoreern unbekannt. (γ) Rationale Zahlen deuten sie nicht als Zahlen, sondern als Zahlenverhältnisse. (δ) Irrationalen Zahlen betrachten sie ebenfalls nicht

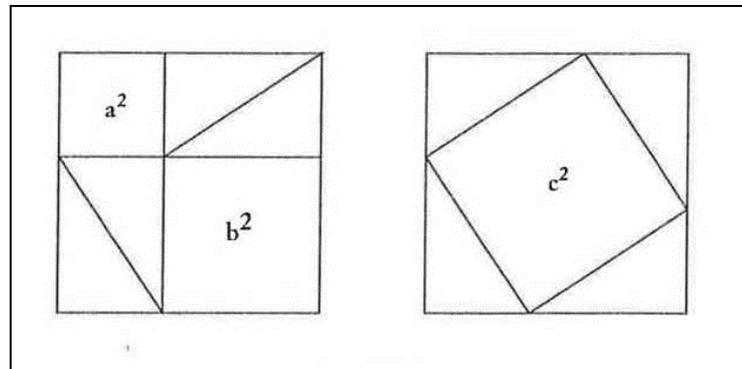
als Zahlen, zumal sie erkennen, daß sich diese nicht einmal als Zahlenverhältnisse darstellen lassen. Trotz dieser begrifflichen Einschränkungen gelangen die Pythagoreer zu wichtigen Einsichten in die charakteristischen Merkmale spezieller Klassen von Zahlen (gerade / ungerade Zahlen, teilbare / nicht-teilbare Zahlen, Primzahlen). Eudoxos von Knidos (395 – 342 v. Chr.) formuliert eine umfassende Zahlentheorie und eine Proportionenlehre. Für die Pythagoreer bleibt es aber ein unverständliches Kuriosum, daß die Diagonale des Einheits-Quadrats $d = \sqrt{2}$ und der Umfang des Einheits-Kreises $U = 2\pi$ geometrisch betrachtet nichts Auffälliges darstellen, arithmetisch gesehen aber keine „akzeptablen Zahlen“ sind. Jedem arithmetischen Zahlenverhältnis entspricht zwar ein geometrisches Streckenverhältnis, aber die Umkehrung gilt nicht. Dieser Sachverhalt führt zur *ersten Grundlagenkrise der Mathematik* und beendet das, so hoffnungsvoll begonnene und vielversprechende Programm einer universellen Arithmetik. Die Arithmetik verliert ihre Vorrangstellung; stattdessen wird eine geometrische Darstellung der Zahlen und Zahlenverhältnisse zum Vorbild für die gesamte Naturphilosophie.

3. Der figurative Zahlbegriff & die sinnliche Intuition in der Arithmetik. Der Zahlbegriff wird in der Antike im Sinne eines figurativen Zahlbegriffs aufgefaßt. Damit ist ein Zahlbegriff gemeint, der – im Gegensatz zu einem operativen Zahlbegriff – an eine anschauliche Konstruktion geknüpft ist. Hierzu finden die Pythagoreer zwei Möglichkeiten, die Ergebnisse ihrer arithmetischen Untersuchungen sinnlich-intuitiv zu gewinnen und darzustellen: (α) Die *Darstellung durch geometrische Strecken*: Die Zahlen werden als geometrische Strecken aufgefaßt. Eine Zahl a bedeutet demnach eine Strecke; das Produkt von zwei Zahlen ab verweist auf eine Fläche; das Produkt von drei Zahlen abc bezieht sich auf einen Körper; das Produkt von vier Zahlen $abcd$ läßt sich geometrisch nicht konstruieren, existiert demzufolge nicht und kommt daher in den mathematischen Abhandlungen nicht vor. (β) Die *Darstellung durch „Rechensteinchen“*: Die ganzen Zahlen werden als Anordnungen von Einheitspunkten zu speziellen Punktfigurationen intuitiv faßlich gemacht – also als ausgedehnte, konkrete Gegenstände, die bei Rechenoperationen zusammengefügt und getrennt werden können. Zahlenverhältnisse lassen sich als Schnitte durch Punktfigurationen veranschaulichen. Die arithmetischen Erkenntnisse werden somit dem direkten Augenschein zugänglich gemacht und der anschaulichen Darstellungsweise wird eine wirklichkeits-konstituierende Funktion zugesprochen. Negative Zahlen und die Null bleiben unbekannt; sie sind weder durch Punktfigurationen noch durch geometrische Strecken darstellbar.



Der Zahlbegriff ist ein geometrisch fundierter, figurativer Begriff und gerade kein operativer Zahlbegriff. Hätten die Pythagoreer bereits über den operativen Aspekt des Zahlbegriffs verfügt, dann hätten sie die Notwendigkeit erkannt, den Zahlenbereich schrittweise zu erweitern, bis die arithmetischen Operationen (Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division) abgeschlossen sind. Diesen weitreichenden Schritt haben sie jedoch nicht vollzogen. Das pythagoreische Mathematikverständnis bezieht sich daher nur auf den figurativen Aspekt mathematischer Strukturen.⁴⁹⁴

4. Die sinnliche Intuition in der Geometrie & die impliziten Annahmen. Die Pythagoreer formulieren den berühmten „Satz des Pythagoras“ $a^2 + b^2 = c^2$ und beweisen ihn auf der Grundlage einer anschaulichen geometrischen Konstruktion durch die Verschiebung von Dreiecken. Gegeben sei ein rechtwinkliges Dreieck mit den beiden Katheten a und b , sowie der Hypothenuse c . Gefragt wird nach der Beziehung zwischen den Katheten und der Hypothenuse. Der Beweis läßt sich unmittelbar ablesen: Das linke Quadrat besteht aus den beiden Kathetenquadraten a^2 und b^2 , sowie vier rechtwinkligen Dreiecken, die kongruent zum gegebenen sind. Das rechte Quadrat besteht aus dem Hypothenusenquadrat c^2 , sowie vier rechtwinkligen Dreiecken, die kongruent zum gegebenen sind. Die vier Dreiecke der linken Figur sind deckungsgleich mit den vier Dreiecken der rechten Figur. Werden in beiden Figuren die jeweiligen Dreiecke weggenommen, dann ergibt sich die gesuchte Beziehung.



Figur 2.3

Das Beweisverfahren setzt ganz auf die sinnliche Intuition. In den Überlegungen ist allerdings eine *versteckte Voraussetzung* enthalten: Für den Beweis der allgemeinen Gültigkeit wird die Möglichkeit einer gestalttreuen Verschiebung von Figuren und die Feststellung ihrer Kongruenz vorausgesetzt. Diese Annahme ist in einem euklidischen Raum gerechtfertigt; in

⁴⁹⁴ Das Mathematikverständnis Platons ist ebenfalls nicht-operativ, wenngleich auch aus anderen Gründen. Für ihn geht es darum, die mathematischen Entitäten, denen eine *transzendente Wirklichkeit* zukommt, zu entdecken und gerade nicht zu erfinden. Platon erscheint es völlig absurd, die Einheit zu teilen und damit die rationalen Zahlen im Sinne von Zahlen zu begründen. Dies schließt also aus, daß der Zahlenbereich erweitert wird, d.h. daß Zahlen konstruiert werden um arithmetische Operationen abzuschließen. Die freie Konstruktion mathematischer Entitäten kann Platon nur als Spiel mit leeren Begriffen verstehen. Auch Aristoteles versperrt nachhaltig den Weg zu einem operativen Mathematikverständnis. Auf dem Hintergrund seiner *Inkommensurabilitätsthese* muß ihm die Null im Sinne einer Zahl als nicht akzeptabel erscheinen (vgl. Kapitel 2.1).

beliebigen Räumen können geometrische Figuren nicht ohne Änderung ihrer Gestalt im Raum verschoben und zur Deckung gebracht werden. Euklid (um 300 v. Chr.) setzt in seinem Werk *Elemente* zwar nicht mehr auf die Verschiebung von Figuren, sondern beweist den „Satz des Pythagoras“ durch Konstruktion. Dabei setzt er Konstruktionspostulate voraus, um die konkrete Konstruierbarkeit und damit den Wirklichkeitsbezug zu sichern. Die Einsicht, daß der sinnlich-intuitiv gewonnene Beweis eine implizite Annahme enthält, setzt sich mit den Arbeiten von Gauß, Bolyai, Lobatschewsky und Riemann durch und entfaltet in der Relativitätstheorie ihre physikalische Relevanz.

5. Die rationale Intuition in der Astronomie & die Abkehr vom Augenschein. Der Beginn der Astronomie in der Antike weist eine Abfolge kosmologischer Modelle der Pythagoreer⁴⁹⁵ auf, die charakterisiert sind durch eine zunehmende Abkehr vom unmittelbaren Augenschein und damit von der sinnlichen Intuition. Es gibt (i) ein vor-pythagoreisches Modell, (ii) ein früh-pythagoreisches Modell und (iii) zwei konkurrierende spät-pythagoreische Modelle. Unter den späten Pythagoreern kristallisieren sich zwei unterschiedliche Richtungen heraus: (α) Der *geozentrische Kosmos*: Der einflußreichste Verfechter der Lehre eines geozentrischen Kosmos ist Eudoxos von Knidos. Ihm schließen sich Platon und Aristoteles an. Die ausgefeilteste und einflußreichste Variante entwickelt später Ptolemäus. (β) Der *heliocentrische Kosmos*: Für einen nicht-geozentrischen Kosmos argumentieren Philolaos von Kroton und Aristarch von Samos. Bei Aristarch ist es die Sonne, die den privilegierten Platz im Zentrum des Kosmos einnimmt. Auf ihn beruft sich später Kopernikus.

Das vor-pythagoreische Modell über den Kosmos hat sich aus den astrologischen Vorstellungen der Babylonier und Ägypter entwickelt. Der Augenschein zeigt eine flache, kreisförmige Erde, über die sich der Himmel wie eine Halbkugel wölbt und an dessen Innenseite die Sterne angeheftet sind. Dieses Weltbild entspricht der unmittelbaren Innen-Perspektive, d.h. dem irdischen Standpunkt eines menschlichen Beobachters. Es führt jedoch zu eigenartigen Problemen. (α) Das seltsame Verhalten der Sonne, die abends im Westen verschwindet und morgens im Osten wieder auftaucht, erscheint in diesem Weltbild durchaus unbegreiflich und somit klärungsbedürftig. (β) Die Extrapolation der Alltagserfahrung, derzufolge jeder Gegenstand nach unten fällt bis er eine feste Unterlage erreicht hat, auf den kosmologischen Bereich, führt zur Frage nach dem Fundament der Erde. Das vor-pythagoreische Modell kann keine der beiden Fragen beantworten. Alle Versuche, ein Fundament zu benennen, führen in einen unendlichen Regreß, aus dem dann die Pythagoreer mit der Idee einer kugelförmigen Erde im Zentrum des Kosmos einen genialen Ausweg finden. Nicht die Konfrontation mit widerspenstigen Beobachtungsdaten, sondern die Extrapolation der Alltagserfahrung in einen Bereich außerhalb des sinnlich zugänglichen Bereichs führt zu neuen Einsichten.

⁴⁹⁵ Ekschmitt 1989

Bereits deutlich abgerückt vom unmittelbaren Augenschein ist das Modell der frühen Pythagoreer. Mit ihnen setzt sich die – religiös motivierte – Vorstellung durch, daß die Erde eine Kugelgestalt besitzt. Aus demselben Grunde glauben sie auch, daß der ganze Kosmos Kugelgestalt hat und daß „unten“ und „oben“ relative Konzepte sind, bezogen auf den Mittelpunkt des Kosmos. Das früh-pythagoreische Modell besitzt bemerkenswerte Eigenschaften: (α) Die Annahme einer Kugelgestalt beruht auf metaphysischen *Vollkommenheitsidealen*, die durch den Verweis auf die rationale Intuition evident erscheinen. (β) Die Kugelgestalt wird erst dann erkennbar, wenn eine *Außen-Perspektive* eingenommen wird. Die Außen-Perspektive läßt sich nur gedanklich einnehmen. (γ) Die Kugelgestalt der Erde führt zu der kontra-intuitiven Annahme möglicher Gegenfüßler, die – in der alten Sprechweise des vor-pythagoreischen Modells – an den Füßen aufgehängt sind und mit dem Kopf in den Weltraum hinaushängen. (δ) Das alte Weltbild, das sich zuvor gemäß der sinnlichen Intuition ergeben hat, läßt sich wieder gewinnen, wenn die kugelförmige Erde nur innerhalb eines kleinen Ausschnitts betrachtet wird. Die Innen-Perspektive ist äquivalent zu einem Ausschnitt der Außen-Perspektive. (ϵ) Wichtiges Hilfsmittel für die Darstellung der Außen-Perspektive ist die Geometrie. Sie bietet eine Möglichkeit, um die neuen Verhältnisse anschaulich und damit einsichtig zu machen. Das früh-pythagoreische Modell kann die Frage nach dem Verbleib der Sonne zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang und die Frage nach dem Fundament der Erde problemlos bewältigen. Dieses Modell weist daher im Vergleich zum vor-pythagoreischen Modell eine erheblich höhere Erklärungsleistung auf und setzt sich folgerichtig auch durch.

Die weitere Abfolge der kosmologischen Modelle der späten Pythagoreer ist mit einer stetigen Abkehr vom unmittelbaren Augenschein und einer Hinwendung zu abstrakten *Symmetrieprinzipien* verbunden. Die Vollkommenheit manifestiert sich demnach in Symmetrien, die in ausgezeichneten geometrischen Figuren (Kreise, Kugeln) verwirklicht sind. Die Pythagoreer berufen sich dabei implizit auf eine rationale Intuition, die in der Folgezeit – neben der sinnlichen Intuition – eine zunehmend wichtigere Rolle spielt und die in der Hierarchie der intuitiven Erkenntnisarten eine *höhere Evidenz* beansprucht. Besonders bemerkenswert ist das heliozentrische Modell von Aristarch von Samos (310 – 230 v. Chr.). Es setzt einen weiteren, wesentlich tiefgreifenderen Perspektivenwechsel voraus, der den kinematischen Aspekt erfaßt. Dieser erneute Perspektivenwechsel schließt die Vorstellung ein, daß der Mensch nicht im Zentrum des Kosmos ruht, sondern sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit auf einer Kreisbahn um die Sonne bewegt. Dies bedeutet eine weitere Abkehr vom unmittelbaren Augenschein, zumal der Bewegungszustand als besonders kontra-intuitiv erscheint.

6. Die rationale Intuition & das axiologische System. Für die Pythagoreer sind Zahlen und Figuren hierarchisch geordnet und mit göttlichen Attributen verknüpft. Die Begründung beruft sich dabei implizit auf eine rationale Intuition, die Vollkommenheitsideale erfassen

kann. Damit wird ein *axiologisches System* etabliert, das beinahe zweitausend Jahre lang die Naturbeschreibung beherrscht, bis Galilei das „Adelsregister“ geometrischer Figuren abschafft. Dem axiologischen System wird eine wirklichkeits-konstituierende Funktion zugesprochen. Dies hängt mit der Überzeugung zusammen, daß in der Natur die vollkommenste Variante immer auch realisiert ist. In der Geometrie sind Kreise und Kugeln vollkommener als reguläre Polygone und Polyeder und diese wiederum vollkommener als beliebige geometrische Figuren. Hier sind es die hohen Symmetrien, die das axiologische System bestimmen. Daher sind die Arbeiten zur Stereometrie des Theaitetos von Athen (415 – 368 v. Chr.) auf die regelmäßigen Polyeder gerichtet, die später von Platon bis hin zu Kepler die Naturbeschreibung beeinflussen.

Besonders eigenartig erscheint die Rolle des axiologischen Systems in der Astronomie: Die Pythagoreer haben zwar einerseits schon früh die „flache Erde“ durch eine „kugelförmige Erde“ ersetzt, aber andererseits nie die „kreisförmigen Bahnen“ zugunsten „ellipsenförmiger Bahnen“ aufgegeben. Dies ist insofern eigenartig, da die Abstraktionsleistung im ersten Fall wesentlich höher ist als im zweiten Fall. Der Übergang von einem Kreis zu einer Ellipse erscheint nur als geringfügige Modifikation im Vergleich zum Übergang von einer Ebene zu einer Kugel. In diesem Fall zeigt sich deutlich, wie wirksam die hohe Symmetrie von Kreis und Kugel das naturphilosophische Denken bestimmt. Zu Beginn der naturphilosophischen Entwicklung wird das axiologische System mit göttlichen Vollkommenheitsattributen in Verbindung gebracht und die selbstbewußte Überzeugung ausgesprochen, daß der Mensch teilhat an der göttlichen Vernunft und so Strukturen der Wirklichkeit erfassen kann. Die Gestaltpsychologie hingegen legt eine weitaus bescheidenere Deutung nahe. Kognitive Systeme sind tatsächlich mit einem axiologischen System ausgestattet, d.h. symmetrische Figuren werden eindeutig bevorzugt und geringfügige Abweichungen von der Symmetrie werden häufig ignoriert. Diese Strategie ist zwar überlebensadäquat, weil sie aus informationstheoretischen Gründen ökonomischer ist, aber eine genauere Überprüfung ergibt die prinzipielle Irrtumsanfälligkeit des axiologischen Systems.

Das operative Mathematikverständnis im Anschluß an Descartes und Leibniz

In der Neuzeit vollzieht sich ein tiefgreifender Wandel von einem figurativen Mathematikverständnis mit einer synthetisch-geometrischen Darstellung, wie es im Werk Euklids *Elemente* dargelegt ist, hin zu einem operativen Mathematikverständnis mit einer analytisch-arithmetischen Darstellung, wie es im Buch Lagranges *Analytische Mechanik* zum Ausdruck kommt. Das besondere Kennzeichen der synthetischen Darstellung ist die konkrete Konstruktion geometrischer Figuren, wohingegen das besondere Kennzeichen der analytischen Darstellung die *Abgeschlossenheit der Operationen* ist. Das Neuartige liegt darin, daß eine systematische Begründung aus der Beziehung der Symbole untereinander gegeben wird und nicht mehr aus den Bezügen zur vorausgesetzten geometrischen oder arithmetischen Wirklichkeit. Den ersten Impuls zur Entfaltung einer operativen Sichtweise

erhält die Mathematik durch die zunehmende Akzeptanz der Null und der negativen Zahlen als „akzeptable Zahlen“, sowie die Übernahme eines Positionssystems, das die Inder erfunden und die Araber in ihren Algorithmen verwendet haben. Dabei sind die Verständnisschwierigkeiten für den aristotelisch geschulten Gelehrten des 14. und 15. Jahrhunderts bemerkenswert, die sich mit der Einführung der Null und der negativen Zahlen auf tun. (α) Zunächst empfindet er es als höchst widersinnig, für das *Nichts* ein Zeichen einzuführen und den Wert der anderen Ziffern (1, 10, 100) als abhängig von diesem Nichts zu begreifen. (β) Ferner verbindet er die positiven, ganzen Zahlen mit dem *Substanzbegriff*. Gauss und Piaget bringen diesen wichtigen Aspekt nachdrücklich zum Ausdruck.

Positive und negative Zahlen können nur da eine Anwendung finden, wo das Gezählte ein Entgegengesetztes hat, was mit ihm vereinigt gedacht der Vernichtung gleichzustellen ist. Genau besehen findet diese Voraussetzung nur da statt, wo nicht Substanzen (für sich denkbare Gegenstände), sondern Relationen zwischen je zweien Gegenständen das Gezählte sind.⁴⁹⁶

Kurz, die negative Zahl attestiert – mehr noch als die positive Zahl – die operative Natur der Zahlen: man kann von den Objekten nicht ihre Abwesenheit abstrahieren [...]. Die negative Zahl erscheint somit als Modellfall einer Abstraktion von den Operationen und nicht von den Objekten, [...].⁴⁹⁷

Zu Beginn des 16. Jahrhunderts erreicht die Auseinandersetzung zwischen Gegnern und Anhängern des fremdartigen Ziffernsystems ihren Höhepunkt. Langsam bildet sich eine spezifische Symbolik heraus, die zunächst nur die Funktion einer abkürzenden Schreibweise für die aufwendige rhetorische Beschreibung algebraischer Probleme aufweist, später aber zunehmend eine eigenständige Bedeutung erhält. Die Betonung dieser Eigenständigkeit bereitet den Übergang zur *symbolischen Algebra* vor. Diese abstrakte Algebra ist dann nicht nur auf Zahlenprobleme anwendbar; sie ist auch geeignet, geometrische Konstruktionsaufgaben zu lösen, Klassen von Kurven zu studieren und Naturvorgänge zu untersuchen. Vieta (1540 – 1603) und Descartes (1596 – 1650) sind die Väter der symbolischen Algebra. Sie formulieren jeweils ihre eigene Variante. Für einige Zeit koexistieren daher zwei algebraische Stile innerhalb der Mathematik, später setzt sich die cartesische Variante durch. Mit Descartes und Leibniz (1642 – 1716) vollzieht sich dann der Übergang von einem figurativen zu einem operativen Mathematikverständnis.⁴⁹⁸

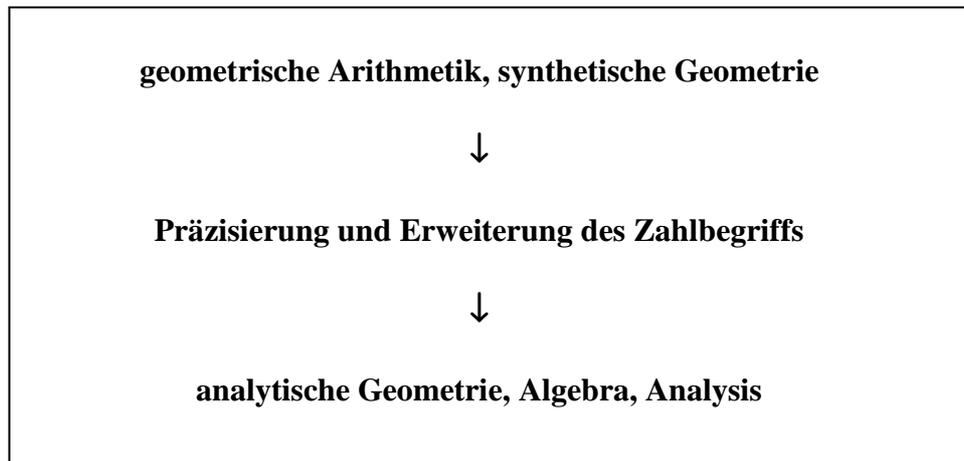
1. Vietas Symbolisierung & Descartes Programm einer *mathesis universalis*. Den ersten Schritt unternimmt Vieta, indem er für einige Operationen Symbole (Addition: „+“, Subtraktion: „-“) einführt. Damit wird der Weg eröffnet für eine Mathematik, die nur noch unter Berufung auf eine struktur-orientierte, rationale Intuition begreifbar ist. Den

⁴⁹⁶ Gauss 1831, S. 215

⁴⁹⁷ Piaget 1975e, S. 113f

⁴⁹⁸ Scholz 1990, S. 184 – 234

entscheidenden weiteren Schritt auf diesem Weg unternimmt Descartes mit seinem neuen Programm einer *mathesis universalis*. Der Kerngedanke dieses Programms besteht darin, daß (α) die Naturwissenschaft im Sinne einer *mathematisierten Wissenschaft* und (β) die Mathematik im Sinne einer *arithmetisierten Mathematik* zu verstehen ist. Um dieses Programm einzulösen, ist die Erweiterung des Zahlbereichs und der Aufbau eines leistungsfähigen Instrumentariums erforderlich.



Das cartesische Programm will das naturphilosophische Denken auf dem Boden einer neuen Mathematik etablieren. Bereits in seiner Frühschrift skizziert Descartes diesen zentralen Gedanken und greift dazu auf das pythagoreische Programm zurück. Die klassischen Wissenschaften der Antike – Arithmetik, Geometrie, Astronomie und Harmonik – unterliegen ein und denselben Ordnungsstrukturen.

[...] wurde mir schließlich deutlich, daß nur all das, worin Ordnung oder Maß untersucht wird, zur Mathematik gehört, und es nicht darauf ankommt, ob ein solches Maß in Zahlen, Figuren, Sternen, Tönen oder einem anderen beliebigen Gegenstand zu suchen ist, und daß es demnach eine allgemeine Wissenschaft geben müsse, die all das entwickelt, was bezüglich Ordnung und Maß, noch ohne einem besondern Gegenstand zugesprochen zu sein, zum Problem gemacht werden kann, und daß sie mit einem gar nicht weit hergeholt, sondern schon gewohnten und in Gebrauch befindlichen Namen „Mathesis Universalis“ bezeichnet wird, [...].⁴⁹⁹

Das hiermit aufgestellte Ideal einer Mathematisierung der Naturphilosophie bildet ein *Arbeitsprogramm*, für deren Ausführung erst noch eine neue, wesentlich leistungsfähigere Mathematik entwickelt werden muß. Naturphilosophische Resultate sollen dann durch eine gründliche Analyse der Fundamentalbegriffe (ausgedehnte Substanz, vollkommene Substanz), durch eine Ableitung aus metaphysischen Prinzipien (Erhaltung des Materiequantums, Erhaltung des Bewegungsquantums) und durch algebraische Rechnungen gewonnen werden.

⁴⁹⁹ Descartes 1628, S. 88

Für Descartes ist die Naturphilosophie eine mathematische Wissenschaft und zwar unter mindestens drei Aspekten: (α) Die Naturphilosophie muß sich am Exaktheitsideal der Mathematik orientieren. Erkenntnisgegenstand ist nur das, was quantifizierbar ist. (β) Die Wirkursachen der Natur sind nur dann erkennbar, wenn sie mit geometrischen oder kinematischen Begriffen beschreibbar sind. Dies ist eine Absage an die okkulten Kräfte der Scholastik. (γ) Der menschliche Geist muß die Naturerkenntnis aus sich selbst heraus erzeugen, wie er dies auch in der Mathematik tut. Dies führt im Idealfall zur gleichen Evidenz der Erkenntnisse wie die arithmetischen und geometrischen Beweise. Descartes bringt mit diesen Gedanken ein sehr erfolgreiches Arbeitsprogramm auf den Weg.

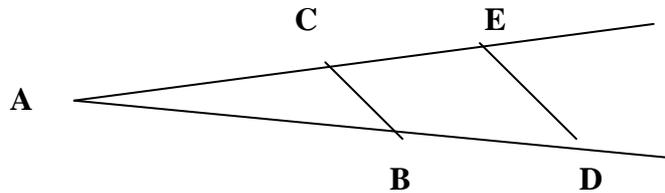
2. Der operative Zahlbegriff & die Verbindung von Algebra und Geometrie. Descartes leistet einen wichtigen Beitrag zur Emanzipierung des Zahlbegriffs von der Geometrie.

Und gleichwie sich die gesamte Arithmetik nur aus vier oder fünf Operationen zusammensetzt, nämlich aus den Operationen der Addition, der Subtraktion, der Multiplikation, der Division und des Ausziehens von Wurzeln, [...] so hat man auch in der Geometrie, um die gesuchten Linien so umzuformen, daß sie auf Bekanntes führen, nichts anderes zu tun, als andere Linien ihnen hinzuzufügen oder von ihnen abzuziehen; oder aber, wenn eine solche gegeben ist, die ich [...] die Einheit nennen werde, und die gewöhnlich ganz nach Belieben angenommen werden kann, und man noch zwei andere hat, eine vierte Linie zu finden, die sich zu einer dieser beiden verhält, wie die andere zur Einheit, was dasselbe ist, wie die Multiplikation; [...]. Oftmals aber ist es gar nicht nötig, diese Linien so aufs Papier zu zeichnen, sondern es genügt, sie jede einzeln mit einem Buchstaben zu bezeichnen. – So nenne ich [...] die eine a , die andere b und schreibe $a + b$; und $a - b$, um b von a abzuziehen; und ab , um sie miteinander zu multiplizieren; und a/b , um a durch b zu dividieren; [...]. Hierbei ist zu bemerken, daß ich unter a^2 oder b^3 oder dergleichen gewöhnlich nur einfache Linien verstehe, und daß ich nur, um mich der in der Algebra gebrauchten Bezeichnungen zu bedienen, dieselben als Quadrate, Kuben usw. benenne.⁵⁰⁰

Die traditionelle Interpretation der Multiplikation von Längen führt zu einem Dimensionssprung, d.h. das Produkt zweier Längen ergibt eine Fläche. Diese dimensionale Interpretation verlangt die Homogenität der algebraischen Formeln, d.h. es dürfen nur dimensionsgleiche Größen addiert bzw. subtrahiert werden. Während in der Antike a , b und c als Strecken, ab als Flächen und abc als Körper gedeutet werden, interpretiert Descartes a , b , c , ab und abc als Zahlenwerte einer einzigen Einheit. Descartes wählt eine beliebige Strecke zwischen den Punkten A und B als Einheitsstrecke $AB = 1$ und erhält als Produkt der Strecken $a = AD$ und $b = AC$ die vierte Proportionale $ab = AE$. In diesem Sinne können dann Strecken nicht nur addiert und subtrahiert, sondern auch multipliziert und dividiert werden. Gemäß der cartesischen Interpretation lassen sich Dimensionssprünge vermeiden: die Multiplikation von zwei Längen ist ebenfalls eine Länge. Dies ist ein wichtiger Schritt hin zu einem operativen Mathematikverständnis, dem der Kerngedanke der abgeschlossenen

⁵⁰⁰ Descartes 1637b, S. 1ff

Operationen zugrundeliegt und zwar deshalb, weil die Multiplikation als eine algebraische Operation verstanden wird, die nicht aus der gewählten Dimension hinausführt.

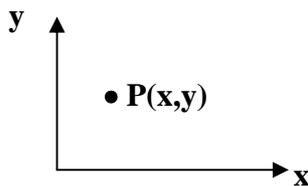


$$1 : a = b : ab$$

Die Algebra besteht darin, Gleichungen aufzustellen und umzuformen. Ihre Leistungsfähigkeit beruht darauf, daß die gesuchte Größe in symbolischer Schreibweise als Variable x in die Gleichung eingefügt wird. Dieser Kunstgriff erlaubt es, die Gleichung nach x aufzulösen und damit die unbekannte Größe durch ihre Beziehungen zu den bekannten Größen explizit zu bestimmen.

Soll nun irgendein Problem gelöst werden, so betrachtet man es zuvörderst als bereits vollendet und führt für alle Linien, die für die Konstruktion nötig erscheinen, sowohl für die unbekanntes als auch für die anderen Bezeichnungen ein. Dann hat man, ohne zwischen bekannten und unbekanntes Linien irgendein Unterschied zu machen, in der Reihenfolge, die die Art der gegenseitigen Abhängigkeiten dieser Linien am natürlichsten hervortreten läßt, die Schwierigkeit der Aufgabe zu durchforschen, bis man ein Mittel gefunden hat, um eine und dieselbe Größe auf zwei verschiedene Arten darzustellen; dies gibt dann eine Gleichung, weil die den beiden Darstellungsarten entsprechenden Ausdrücke einander gleich sind.⁵⁰¹

Descartes verbindet Geometrie und Algebra und wird so zum Wegbereiter einer analytischen Geometrie. Kerngedanke ist die Darstellung eines Punktes durch ein Zahlenpaar (x,y) im kartesischen Koordinatensystem



Die analytische Geometrie meint die Verwendung von Koordinaten zur zahlenmäßigen Erfassung geometrischer Objekte und ihrer Lage und die Übersetzung geometrischer Beziehungen in algebraische Relationen. Konnte die Antike lediglich die Eigenschaften einzelner Kurven durch geometrische Konstruktionen bestimmen, so gestattet die neue Methode die systematische Zusammenfassung von Kurven in Gruppen mit denselben Eigenschaften und deren Behandlung durch Rechenmethoden der Algebra.

⁵⁰¹ Descartes 1637b, S.

3. Der Funktionsbegriff, das Stetigkeitsprinzip und der Infinitesimalkalkül von Leibniz.

Weitere wichtige Anstöße auf dem langen Weg von einer synthetischen Darstellung hin zu einer analytischen Darstellung der Mathematik und damit für die Weiterentwicklung einer operativ verstandenen Mathematik kommen von Leibniz. Das neue Instrumentarium ist der *Infinitesimalkalkül*. Dieser Kalkül benötigt die Fundamentalbegriffe „Funktion“, „Stetigkeit“ und „Grenzwert“, sowie – zusätzlich zu den algebraischen Operationen – noch die beiden inversen Operationen der Differentiation und der Integration. Für die neuen Operationen führt Leibniz die Symbole „ dx “ und „ $\int dx$ “ ein und bestimmt die Rechenregeln. Mit dem Funktionsbegriff $f(x)$ läßt sich nun erstmals exakt die Veränderung einer Größe in Abhängigkeit von einer anderen Größe erfassen und damit die aristotelischen Argumente für die Inadäquatheit der Mathematik im Zusammenhang mit physikalischen Problemen entkräften. Das Kontinuitätsprinzip, das Leibniz als metaphysisches Grundprinzip in seine Substanzontologie einbaut, wird gewissermaßen zum universell gültigen Grundsatz der Mathematik und der Physik. Diese Überzeugung kommt in seinem berühmten Ausspruch „die Natur macht keine Sprünge“ zum Ausdruck. Damit hält Leibniz einen Probestein in der Hand, der eine wirkungsvolle Kontrollinstanz für die Überprüfung von hypothetisch aufgestellten Naturgesetzen ergibt.

Ich bediene mich deshalb dieses Prinzips häufig als einer Art von Prüfstein, mittels dessen sich sogleich und auf den ersten Blick, ohne besondere Untersuchung, die Falschheit und der fehlende Zusammenhang vieler Theorien enthüllen läßt.⁵⁰²

Mit dem neugeschaffenen Instrument des Infinitesimalkalküls läßt sich die Newtonsche Physik im Lagrange-Formalismus durch ein *Extremalprinzip*

$$0 = \delta W = \delta \int L dt$$

formulieren. Diese Formulierung beschreibt ein mechanisches System durch eine Lagrange-Funktion

$$L(q_i, dq_i/dt)$$

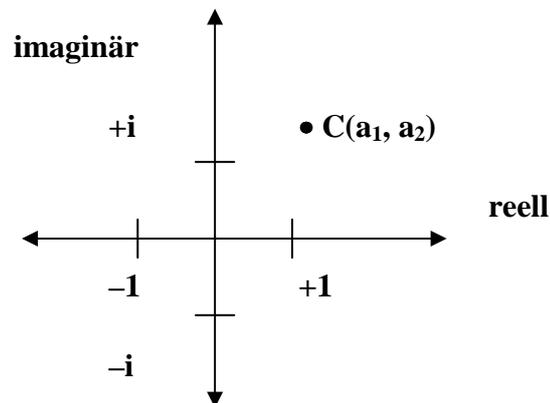
mit generalisierten Lagekoordinaten q_i und ihren zugehörigen Geschwindigkeitskoordinaten dq_i/dt . Die Bewegungsgleichungen sind dann Differentialgleichungen, die sich aus der Variation der Wirkungsfunktion W ergeben. Mit dem überwältigenden Erfolg der Newtonschen Physik werden später alle physikalischen Phänomenbereiche durch Extremalprinzipien beschrieben.

4. Die Erweiterung des Zahlbereichs und die Legitimierung komplexer Zahlen. Einen interessanten Einblick in den Wandel des Zahlbegriffs gibt ein kurzer Abriss der Entwicklung

⁵⁰² Leibniz 1702, S. 231

und Interpretation der komplexen Zahlen. Um 1545 wird erstmals von Cardano eine Aufgabe behandelt, die zu ihrer Lösung die Einführung komplexer Zahlen benötigt. Auch Descartes erwähnt 1637 in der *Geometrie* die imaginären Zahlen. Aber noch Euler bezeichnet 1770 in der *Algebra* die imaginären Zahlen als „unmögliche Zahlen“. Bis dahin wird das Rechnen mit imaginären Zahlen als bloßes Buchstabenrechnen ohne anschauliche Interpretation angesehen. Entitäten der Mathematik sind nur dann legitimiert, wenn ihnen eine anschauliche Interpretation gegeben werden kann. Damit die imaginären Zahlen als rechtmäßige Bewohner im Zahlenparadies interpretiert werden dürfen, müssen sie drei Kriterien genügen: sie müssen (α) widerspruchsfrei, (β) nützlich und (γ) anschaulich sein. Für die Legitimierung reicht es gerade nicht aus, daß sie nützlich und widerspruchsfrei sind.⁵⁰³

Den ersten Schritt auf dem Weg zur Legitimation der komplexen Zahlen vollzieht Euler 1777, indem er das Symbols i einführt mit $i = \sqrt{-1}$ als Lösung der Gleichung $x^2 + 1 = 0$. In einem zweiten Schritt gelingt Gauss 1831 eine geometrische Deutung der komplexen Zahlen als Vektor in einem zwei-dimensionalen Raum. Erst mit dieser anschaulichen Interpretation scheint die ontologische Legitimierung erbracht.



Im Gegenteil ist die Arithmetik der komplexen Zahlen der anschaulichsten Versinnlichung fähig. [...]

So wie die absoluten ganzen Zahlen durch eine in einer geraden Linie unter gleichen Entfernungen geordnete Reihe von Punkten dargestellt werden, in der der Anfangspunkt die Zahl 0, der nächste die Zahl 1 usw. vertritt; und so wie dann zur Darstellung der negativen Zahlen nur eine unbegrenzte Verlängerung dieser Reihe auf der entgegengesetzten Seite des Anfangspunkts erforderlich ist: so bedarf es zur Darstellung der komplexen ganzen Zahlen nur des Zusatzes, daß jene Reihe als in einer bestimmten unbegrenzten Ebene befindlich angesehen, und parallel mit ihr auf beiden Seiten eine unbeschränkte Anzahl ähnlicher Reihen in gleichen Abständen voneinander angenommen werde, so daß wir anstatt einer Reihe von Punkten ein System von Punkten vor uns haben, die sich auf eine zweifache Art in Reihen von

⁵⁰³ Scholz 1990, S. 293 – 323

Reihen ordnen lassen, und zur Bildung einer Einteilung der ganzen Ebene in lauter gleiche Quadrate dienen. Der nächste Punkt bei 0 in der ersten Nebenreihe auf der einen Seite der Reihe, welche die reellen Zahlen repräsentiert, bezieht sich dann auf die Zahl i , so wie der nächste Punkt bei 0 in der ersten Nebenreihe auf der anderen Seite auf $-i$ usw. [...]

Hier ist also die Nachweisbarkeit einer anschaulichen Bedeutung von $\sqrt{-1}$ vollkommen gerechtfertigt, und mehr bedarf es nicht, um diese Grösse in das Gebiet der Gegenstände der Arithmetik zuzulassen.⁵⁰⁴

Den letzten Schritt vollzieht Hamilton 1833, indem er eine arithmetische Deutung für das Zahlenpaar $(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2)$ angibt, für die spezielle Rechenregeln gelten.

$$(\mathbf{a}_1 + i\mathbf{a}_2) + (\mathbf{b}_1 + i\mathbf{b}_2) = (\mathbf{a}_1 + \mathbf{b}_1) + i(\mathbf{a}_2 + \mathbf{b}_2)$$

Die schrittweise Erweiterung des Zahlbegriffs seit der Antike beruht auf der Auffassung, daß der Zahlbereich konstituiert wird durch die Abschließbarkeit der Operationen und die widerspruchsfreie Festlegung seiner Rechenregeln. Damit ist ein operatives Mathematikverständnis verknüpft, das dem *Permanenzprinzip von Hankel* genügt. Dieses verlangt, daß die im eingeschränkten Zahlbereich gültigen Rechenregeln auch im erweiterten Zahlbereich gelten sollen. Der Sache nach geht es also um das wichtige Theorem, daß jeder Körper einen algebraisch abgeschlossenen Oberkörper besitzt. Ein Körper \mathbf{K} heißt algebraisch abgeschlossen, wenn jedes nicht-konstante Polynom aus $\mathbf{K}[\mathbf{x}]$ eine Nullstelle in \mathbf{K} hat. Die reellen Zahlen $(\mathbf{R}, +, \bullet)$ bilden zwar einen Körper, aber keinen algebraisch abgeschlossenen Körper, weil das Polynom $\mathbf{x}^2 + 1$ keine reellwertige Nullstelle hat. Der dazugehörige Oberkörper sind die komplexen Zahlen. Der Fundamentalsatz der Algebra bringt dies zum Ausdruck: Die komplexen Zahlen $(\mathbf{C}, +, \bullet)$ sind ein algebraisch abgeschlossener Körper.

5. Der Gruppenbegriff. Einer der vielseitigsten und fruchtbarsten Grundbegriffe der Mathematik ist der Begriff „Gruppe“, der von Galois 1831 in seinem später berühmt gewordenen Werk *Über die Bedingungen der Auflösbarkeit von Gleichungen durch Radikale* eingeführt wird, aber zunächst unbeachtet bleibt, bis Liouville 1843 endlich die Bedeutung des zuvor abgelehnten Manuskripts würdigt. Jordan leistet einen grundlegenden Beitrag zu einer systematisch aufgebauten Gruppentheorie und schreibt 1870 das erste Buch über die Gruppentheorie, das bereits die wichtigsten Grundbegriffe aufweist. Einen entscheidenden Schritt hin zu einem abstrakten Gruppenbegriff unternimmt Cayley 1878. In der Folgezeit emanzipiert sich das Gruppenkonzept völlig von dem spezifischen Problemkontext, in dem es erstmals formuliert wird und entwickelt sich zu einem eigenständigen Forschungsgebiet. Mit dem Gruppenbegriff wird der Aufbau eines leistungsfähigen Instrumentariums ermöglicht, das einerseits Strukturen einfacher und durchsichtiger erscheinen läßt und andererseits Ansätze zu Verallgemeinerungen und Modifikationen bietet.

⁵⁰⁴ Gauss 1831, S. 214ff

Ein Paar (G, \otimes) ist eine Gruppe, wenn gilt: Gegeben sei eine nicht-leere Menge G mit den Elementen $(a, b, c \dots)$ und eine Abbildung \otimes mit $G \times G \rightarrow G$ und $(a, b) \rightarrow a \otimes b$, sowie den drei Gesetzen:⁵⁰⁵

Assoziativgesetz: $\forall a, b, c \quad (a \otimes b) \otimes c = a \otimes (b \otimes c)$

neutrales Element: $\exists e \forall a \quad a \otimes e = a$

inverses Element: $\forall a \exists a^{-1} \quad a \otimes a^{-1} = e$

Dieser bahnbrechende Wandel von einem figurativen hin zu einem operativen Mathematikverständnis⁵⁰⁶ kommt insbesondere im *Erlanger Programm* von Klein 1872 bei der gruppentheoretischen Behandlung geometrischer Probleme deutlich zum Ausdruck:

Streifen wir jetzt das mathematisch unwesentliche sinnliche Bild ab und erblicken im Raume nur eine mehrfach ausgedehnte Mannigfaltigkeit, [...]. Nach Analogie mit den räumlichen Transformationen reden wir von Transformationen der Mannigfaltigkeit; auch sie bilden *Gruppen*. Nur ist nicht mehr, wie im Raume, eine Gruppe vor den übrigen durch ihre Bedeutung ausgezeichnet; jede Gruppe ist mit jeder anderen gleichberechtigt. Als Verallgemeinerung der Geometrie entsteht so das folgende umfassende Problem:

Es ist eine Mannigfaltigkeit und in derselben eine Transformationsgruppe gegeben.

Man entwickle die auf die Gruppe bezügliche Invariantentheorie.⁵⁰⁷

Der Kerngedanke besteht also gerade darin, einzusehen, daß geometrische Eigenschaften invariant sind gegenüber bestimmten Transformationen, die eine Gruppenstruktur aufweisen. Die Geometrie wird demnach zum Spezialfall gruppentheoretischer Untersuchungen. Der

⁵⁰⁵ Der Gruppenbegriff ist mit einer struktur-orientierten rationalen Intuition erfaßbar. Dies wird im folgenden Kommentar zur Geschichte des Gruppenbegriffs zum Ausdruck gebracht: „Diese Geschichte handelt davon, wie aus einem Interesse an konkreten Problemen ein selbständiges Interesse an den Techniken hervorging, die bei der Erforschung dieser Probleme verwendet wurden. In gewissem Sinne besteht dieser Übergang aus einem Abstraktionsprozeß, bei dem eine allgemeine Struktur, zum Beispiel eine Gruppe, aus einem konkreten Problemkontext [...] herausgelöst wurde. Es ist aber nicht sicher, daß diese Veränderung die Mathematik notwendigerweise von der täglichen Erfahrung oder der Intuition abgerückt hat. Es könnte sogar sein, daß die sich ergebenden Änderungen im Schullehrplan unserer Zeit eine gegenläufige Konsequenz mit sich bringen, insofern sich die neuen Strukturen bis zu einem gewissen Grade einfacher verstehen lassen als die alten Probleme, aus denen sie entstanden sind.“ (Scholz 1990, S. 300)

⁵⁰⁶ Nagel sieht die Anfänge eines neuen Mathematikverständnisses bereits in den Schriften des Nikolaus Cusanus. Er bezeichnet das antike Verständnis als *Substanzdenken* im Gegensatz zum neuzeitlichen *Strukturdenken* und schreibt: „Der Unterschied zwischen Substanzdenken und Strukturdenken kann nicht radikal genug aufgefaßt werden. Während für das Substanzdenken die Dinge, insofern sie Substanzen sind, die Wahrheit ihres Seins aus sich selbst, das heißt aus ihrem Wesen beziehen, werden sie für das Strukturdenken das, was sie in Wahrheit sind, erst durch die Gesamtheit ihrer Beziehungen zu anderen Dingen. Das Substanzdenken glaubt deshalb, die Wahrheit eines Dings durch bloßen Hinblick auf sein Wesen ohne Rücksicht auf ein anderes gewinnen zu können, während das Strukturdenken ein Einzelding zum Zwecke des Erkenntnisvollzugs erst in eine Vielzahl von Relationen mit anderen Dingen bringen muß. Die Erkenntnisweise des Substanzdenkens kommt daher mit passiver Schau, mit *theoria*, aus, während das Strukturdenken aktives Tun, *praxis*, voraussetzt.“ (Nagel 1984, S. 7)

⁵⁰⁷ Klein 1872, in: Becker, S. 198f

Zusammenhang zwischen Gruppenstrukturen und Invarianzeigenschaften eröffnet dann auch die Möglichkeit, die Erhaltungssätze in der Physik nicht länger als Ausdruck göttlicher Vollkommenheit, d.h. als metaphysische Prinzipien deuten zu müssen, sondern als *mathematische Prinzipien der Abgeschlossenheit von Strukturen* auffassen zu können. Die weitere Entwicklung in der Mathematik kommentiert Scholz folgendermaßen:

Nun war der Weg frei für eine grundlegende Umformulierung der Mathematik. Der jahrhundertelange Prozeß der Umbildung mathematischer Begriffe und der Anspruch auf eigene Existenz unabhängig von den Naturwissenschaften hatte zu neuen Objektbereichen der Mathematik geführt: zu den neuen Geometrien, zur Präzisierung der Infinitesimalrechnung und zu ersten Definitionen der reellen Zahlen (Dedekind, Cantor, Weierstraß u.a.) und schließlich auch zur Erschaffung völlig neuartiger Gebilde, wie Gruppen, Ringen und Körpern.⁵⁰⁸

Eine Erkenntnistheorie muß diese grundlegenden Umformulierungen der Mathematik berücksichtigen. Im folgenden wird für die These argumentiert, daß Kants Transzendentalphilosophie prinzipiell nicht verträglich ist mit einem operativen Mathematikverständnis.

Kants eingeschränktes Mathematikverständnis

Kant (1724 – 1804) entwickelt in seiner Transzendentalphilosophie die Lehre von den Anschauungsformen Raum und Zeit. Den Raum verknüpft er mit der euklidischen Geometrie und die Zeit verbindet er mit einer elementaren Arithmetik. Insbesondere aus der Verbindung von Zahl und Zeit ergeben sich wichtige Konsequenzen: (α) *Erste Konsequenz*: Kant verfügt nur über einen verkürzten Zahlbegriff, da der Zeitbegriff lediglich die Sukzession in der Zeit enthält. (β) *Zweite Konsequenz*: Dies führt zu einem verkürzten Mathematikverständnis, das an die konkrete Konstruktion in der sinnlichen Anschauung gebunden ist, aber gerade keine Abgeschlossenheit der Operationen beinhaltet. (γ) *Dritte Konsequenz*: Dies läßt schließlich den Begriff der rationalen Intuition als überflüssig erscheinen. Im Anschluß an Kant haben sowohl Philosophen als auch Mathematiker und Physiker seine Transzendentalphilosophie als Bezugspunkt gewählt, an dem sie sich teils kritisch und teils zustimmend orientierten. Die Mathematik entwickelt sich zwar keineswegs nach den engen Vorgaben Kants, zumal die Untersuchung von Gruppenstrukturen – insbesondere auch in ihrer Anwendung auf physikalische Fragestellungen – ein immer größeres Interesse finden, aber die epistemologische Begrifflichkeit von der Anschaulichkeit im engen Sinne wird dennoch an die Form der Anschauung des Raumes gekoppelt. Der damit verbundene konzeptionelle Bruch soll im folgenden en detail ausgeführt werden. Insbesondere fallen in einer figurativ verstandenen Mathematik Anschaulichkeit und Wirklichkeitsbezug zusammen, in einer operativ verstandenen Mathematik hingegen ist dies gerade nicht der Fall.

⁵⁰⁸ Scholz 1990, S. 403

1. Der sichere „Gang einer Wissenschaft“. In der Vorrede zur zweiten Auflage der *Kritik der reinen Vernunft* von 1787 behandelt Kant die Frage, welche Disziplinen bereits den „sicheren Gang einer Wissenschaft“ eingeschlagen haben und aus welchen Gründen sie erfolgreich sind. Die Geometrie tritt bereits in der Antike als Wissenschaft auf – und zwar als Folge einer „Revolution der Denkart“. Diese Revolution beinhaltet einen Perspektivenwechsel, der wegführt von einer passiven Sicht der Geometrie hin zu einer aktiven Sicht der Geometrie durch die *konkrete Konstruktion* geometrischer Figuren. Die Geometrie ist die Anwendung von Begriffen auf den Raum als Form der Anschauung des äußeren Sinns.

[...] dem ging ein Licht auf; denn er fand, daß er nicht dem, was er in der Figur sah, oder auch dem bloßen Begriffe derselben nachspüren und gleichsam davon ihre Eigenschaften ablernen, sondern durch das, was er nach Begriffen selbst a priori hineindachte und darstellte (durch Konstruktion), hervorbringen müsse, und daß er, um sicher etwas a priori zu wissen, er der Sache nichts beilegen müsse, als was aus dem notwendig folgte, was er seinem Begriffe gemäß selbst in sie gelegt hat.⁵⁰⁹

Kant hebt hier – völlig zu Recht – den äußerst wichtigen Punkt der Konstruktion geometrischer Figuren heraus: Er sieht den Grund für die Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit der Geometrie darin, daß diese sich auf Konstruktionen in der Anschauung stützen. Kant betrachtet jedoch nur die synthetische Geometrie, wie sie von Euklid formuliert wurde, aber gerade nicht die analytische Geometrie, wie sie Descartes und Leibniz auf den Weg gebracht haben. Entsprechend macht Kant als charakteristisches Merkmal für die Geometrie die Konstruktion der Figur im Raum aus.⁵¹⁰ Analog dazu ist für Kant das charakteristische Merkmal für die Arithmetik die Konstruktion der Zahl in der Zeit. Damit will Kant der in der traditionellen Philosophie weit verbreiteten Auffassung entgegenreten, daß die Mathematik vorwiegend oder ausschließlich analytischen Charakters sei. Wie der vorausgehende historische Abriss zur Mathematik bereits gezeigt hat, ist die Konstruktion aber keineswegs das *einzig*e charakteristische Merkmal; die Abgeschlossenheit des Zahlbegriffs unter algebraischen Operationen muß als weiteres grundlegendes Merkmal hinzukommen.

2. Die Möglichkeit der reinen Mathematik. Kant stellt die Frage: Wie ist reine Mathematik möglich? Die Sätze der Geometrie und der Arithmetik sind – so Kant – synthetische Urteile a priori. Diese Auffassung steht in einem strikten Gegensatz zu den Einsichten der traditionellen Philosophie. Kant muß demnach den Beweis für seine ungewöhnliche Behauptung erbringen. Synthetische Urteile a priori sind Erweiterungsurteile, die allgemein gültig und notwendig wahr sind. Mathematische Sätze genügen diesen Kriterien der Allgemeinheit und Notwendigkeit und sind demnach apriorische Urteile. Kant muß dann noch beweisen, daß mathematische Sätze keine analytischen Sätze sind.

⁵⁰⁹ Kant 1787, B XII

⁵¹⁰ Ende 1973, S. 21 – 30

Mathematische Urteile sind insgesamt synthetisch. [...]

Zuvörderst muß bemerkt werden: daß eigentliche mathematische Sätze jederzeit Urteile a priori und nicht empirisch sind, weil sie Notwendigkeit bei sich führen, welche aus Erfahrung nicht abgenommen werden kann.⁵¹¹

Das Wesentliche und Unterscheidende der reinen *mathematischen* Erkenntnis von aller anderen Erkenntnis a priori ist, daß sie durchaus *nicht aus Begriffen*, sondern jederzeit nur durch die Konstruktion der Begriffe vor sich gehen muß.⁵¹²

In einem ersten Beweisschritt führt Kant den Nachweis für die *Arithmetik*. An dem einfachen Beispiel der Summe von **5** und **7** legt Kant dar, daß die **12** als Ergebnis nicht in den einzelnen Begriffen enthalten ist. Die Summenbildung ist – so Kant – nicht im Sinne eines Erläuterungsurteils aufzufassen, sondern sie kann nur im Sinne eines Erweiterungsurteils verstanden werden. Um die Summe bilden zu können, muß diese in der Zeit als Form der Anschauung des inneren Sinns konstruiert werden.

Man muß über diese Begriffe hinausgehen, indem man die Anschauung zu Hilfe nimmt, die einem von beiden korrespondiert, etwa seine fünf Finger, oder [...] fünf Punkte, und so nach und nach die Einheiten der in der Anschauung gegebenen Fünf zu dem Begriffe der Sieben hinzutut. [...] da es dann klar einleuchtet, daß, wir [...] ohne die Anschauung zu Hilfe zu nehmen, vermittels der bloßen Zergliederung unserer Begriffe die Summe niemals finden könnten.⁵¹³

In einem zweiten Beweisschritt führt Kant den Nachweis für die *Geometrie*. Am Beispiel der geraden Linie zwischen zwei Punkten macht Kant klar, daß die Aussage, derzufolge die gerade Linie die kürzeste aller Verbindungen ist, nicht im Begriff der Geradlinigkeit enthalten ist. Um die Geradlinigkeit feststellen zu können, muß eine gerade Linie im Raum als Form der Anschauung des äußeren Sinns konstruiert werden.

Ebensowenig ist irgendein Grundsatz der reinen Geometrie analytisch. Daß die gerade Linie zwischen zwei Punkten die kürzeste sei, ist ein synthetischer Satz. Denn mein Begriff vom *Geraden* enthält nichts von Größe, sondern nur eine Qualität. Der Begriff des Kürzesten kommt also gänzlich hinzu und kann durch keine Zergliederung aus dem Begriffe der geraden Linie gezogen werden. Anschauung muß also hier zu Hilfe genommen werden, vermittelst deren allein die Synthesis möglich ist.⁵¹⁴

Das Charakteristische der Mathematik besteht demnach darin, daß sie zwar einerseits nicht auf Erfahrungen angewiesen ist, daß sie aber andererseits alle ihre Begriffe in der Anschauung konstruieren muß. Raum und Zeit sind für Kant die formalen Bedingungen der Sinnlichkeit. Nach Maßgabe seiner *Schematismuslehre* ist ein konkretes Verfahren

⁵¹¹ Kant 1787, B 14

⁵¹² Kant 1783, S. 18

⁵¹³ Kant 1787, B 15f

⁵¹⁴ Kant 1787, B 16

anzugeben, um sich den Inhalt eines abstrakten Begriffs durch die Konstruktion einer stellvertretenden Vorstellung anschaulich zu machen.

Wir finden aber, daß alle mathematische Erkenntnis dieses Eigentümliche haben, daß sie ihren Begriff vorher *in der Anschauung* und zwar a priori, mithin einer solchen, die nicht empirisch, sondern reine Anschauung ist, darstellen müsse, [...] daher ihre Urteile jederzeit *intuitiv* sind, [...].⁵¹⁵

Also ist es nur die Form der sinnlichen Anschauung, dadurch wir *a priori* Dinge anschauen können, wodurch wir aber auch die Objekte nur erkennen, wie sie uns (unseren Sinnen) *erscheinen* können, nicht, wie sie an sich sein mögen; und diese Voraussetzung ist schlechterdings notwendig, wenn synthetische Sätze *a priori* als möglich eingeräumt oder, im Falle sie wirklich angetroffen werden, ihre Möglichkeit begriffen und zum voraus bestimmt werden soll.

Nun sind Raum und Zeit diejenigen Anschauungen, welche die reine Mathematik allen ihren Erkenntnissen und Urteilen, die zugleich als apodiktisch und notwendig auftreten, zum Grunde liegt; [...].⁵¹⁶

In der Folgezeit haben Mathematiker (Frege, Russell) den synthetischen und Physiker (Helmholtz, Einstein) den apriorischen Charakter der Geometrie bestritten. Der scheinbare Widerspruch verschwindet, wenn berücksichtigt wird, daß Mathematiker sich in ihrer Kritik auf die *reine Geometrie* beziehen; Physiker hingegen die *angewandte Geometrie* meinen. Der Sache nach ist eine begriffliche Unterscheidung zu treffen zwischen dem psychologischen Raum, dem physikalischen Raum und dem mathematischen Raum. Kant hingegen spricht immer nur von *einem* Raum, der außerdem an eine Geometrie gekoppelt ist, die eine Anwendung auf die Natur erlaubt. Die Verhältnisse sind aber mit der mathematischen Grundlegendiskussion des 20. Jahrhunderts noch verwirrender geworden. Mit dem Scheitern des Logizismus und dem Entstehen des Intuitionismus (Brouwer) und des Konstruktivismus (Lorenzen) wird die Frage nach dem analytischen oder synthetischen Charakter der Mathematik wieder kontrovers beantwortet.⁵¹⁷

3. Die wirklichkeits-konstituierende Funktion der Raumanschauung. Die Formen der Anschauung und die Kategorien des Denkens sind für Kant allgemein gültig und notwendig wahr; sie liegen *vor* jeder Erkenntnis und machen diese erst möglich. Sie haben gewissermaßen eine wirklichkeits-konstituierende Funktion, d.h. nur *die* Wirklichkeit ist erfahrbar, die durch die Begriffe gedacht und in der Anschauung konstruiert werden kann. Die Axiome der Geometrie sind zwar keine Erfahrungstatsachen, sie lassen sich aber dennoch auf die Wirklichkeit anwenden.

So werden auch alle geometrischen Grundsätze, [...] niemals aus allgemeinen Begriffen [...], sondern aus der Anschauung und zwar apriori mit apodiktischer

⁵¹⁵ Kant 1783, S. 32

⁵¹⁶ Kant 1783, S. 34f

⁵¹⁷ Höffe 1996, S. 61ff

Gewißheit abgeleitet. [...]

Geometrie ist eine Wissenschaft, welche die Eigenschaften des Raumes synthetisch und doch a priori bestimmt.⁵¹⁸

Es wird allemal ein bemerkenswertes Phänomen in der Geschichte der Philosophie bleiben, daß es eine Zeit gegeben hat, da selbst Mathematiker, die zugleich Philosophen waren, zwar nicht an der Richtigkeit ihrer geometrischen Sätze, sofern sie bloß den Raum betrafen, aber an der objektiven Gültigkeit und Anwendung dieses Begriffs selbst und aller geometrischen Bestimmungen desselben auf Natur zu zweifeln anfangen; [...]. Sie erkannten nicht, daß dieser Raum in Gedanken den physischen, d.i. die Ausdehnung der Materie selbst möglich mache; [...]. [...] da der Raum, wie ihn sich der Geometer denkt, ganz genau die Form der sinnlichen Anschauung ist, die wir a priori in uns finden und die den Grund der Möglichkeit aller äußeren Erscheinungen (ihrer Form nach) enthält, diese notwendig und auf das präziseste mit den Sätzen des Geometers [...] zusammen stimmen müssen.⁵¹⁹

Behauptet hier Kant, daß der Anschauungsraum (psychologischer Raum) mit dem geometrischen Raum (mathematischer Raum) koinzidiert und daß das, was durch Ordnungsstrukturen erfahrbar ist, durch das Anschauungsvermögen festgelegt wird? Kant-Interpreten sind sich darin keineswegs einig. Eine mögliche Lesart besagt, daß Kant die euklidische Geometrie durch die Anschauung des äußeren Sinns ausgezeichnet sieht. Zentral ist hier der Begriff der Notwendigkeit. Kant verbindet mit den synthetischen Urteilen a priori nicht die *logische Notwendigkeit*, sondern die *anschauliche Notwendigkeit*. Als Konsequenz folgt, daß es nur den Raum in der Wirklichkeit geben kann, den die Anschauung liefert. Damit ist für Kant die euklidische Geometrie zwar nicht logisch, wohl aber anschaulich notwendig und daher in der Wirklichkeit realisiert. Umgekehrt bedeutet dies: Nicht-euklidische Geometrien sind zwar widerspruchsfrei denkbar, aber nicht anschaulich vorstellbar und daher nicht in der Wirklichkeit realisiert. In dieser Lesart fallen dann offensichtlich *Anschaulichkeit* und *Wirklichkeitsbezug* zusammen. Es ist klar, daß mit der Antwort auf diese Frage Kants gesamte Transzendentalphilosophie auf dem Spiel steht. Bindet Kant tatsächlich seine Transzendentalphilosophie an die euklidische Geometrie und die newtonsche Physik, dann erscheint sie im Hinblick auf die moderne physikalischen Theorien als hoffnungslos veraltet.⁵²⁰

Am Beispiel des Dreiecks lassen sich die Unterschiede in den Positionen von Leibniz und Kant gut verdeutlichen. Kant weist die relationale Raumauffassung von Leibniz zurück mit

⁵¹⁸ Kant 1787, B 40

⁵¹⁹ Kant 1783, S. 40f

⁵²⁰ Falkenburg verfolgt die Strategie, Kants Konzept der Anschauung von einer speziellen Raum-Zeit-Theorie zu lösen, die an die euklidische Geometrie und an eine finitistische Arithmetik gebunden ist und stattdessen die epistemischen Funktionen (Anschauung dient dazu, Wahrnehmungsinhalte durch Ordnungsbeziehungen zu strukturieren) und semantischen Funktionen (Anschauung dient dazu, reine Verstandesbegriffe zu schematisieren) hervorzuheben, um so einen allgemeinen Begriff der Anschauung zu gewinnen, der für die moderne Wissenschaftstheorie fruchtbar gemacht werden kann (vgl. Falkenburg 2004).

dem Hinweis auf die Existenz inkongruenter Figuren. Gemäß seiner Schematismuslehre reicht es gerade nicht, die Konstruktionsvorschrift für eine Hand anzugeben; es muß darüber hinaus noch gesagt werden, ob es eine rechte oder linke Hand sein soll. Analog dazu – so läßt sich argumentieren –, muß die Konstruktionsvorschrift für ein Dreieck eine Angabe dazu enthalten, auf welcher Grundfläche das Dreieck konstruiert werden soll. In Abhängigkeit von der intrinsischen Krümmung \mathbf{K} des Raumes ändert sich die Winkelsumme im Dreieck. Für Kant ist ein geometrischer Satz synthetisch a priori. Der geometrische Begriff, auf den er sich bezieht muß in der Raumanschauung konstruierbar sein. Kant würde sicher zugeben, (α) daß ein Dreieck problemlos in einem zwei-dimensionalen Raum mit $\mathbf{K} = 0$, $\mathbf{K} > 0$, oder $\mathbf{K} < 0$ konstruiert werden kann – beispielsweise als Dreieck auf einer Ebene, einer Kugel, einem Sattel – und (β) daß die Winkelsumme dieses Dreiecks von der Krümmung \mathbf{K} abhängt. Eine drei-dimensionale Figur hingegen läßt sich aber in einem drei-dimensionalen, gekrümmten Raum gerade nicht konstruieren. Ein nicht-euklidischer Raum ist daher für Kant zwar logisch möglich, aber anschaulich ausgeschlossen. Die Konstruktionsmöglichkeiten von Teilaspekten ist nicht ausreichend, weil der ganze Gegenstand in der Raumanschauung gegeben sein muß. Einen Ausweg aus dieser konzeptionellen Beschränkung wäre zu erwarten, wenn anstatt der Raumanschauung die Zeitanschauung in den Blick genommen wird. Hier aber wird sich noch zeigen, daß diese ein ungeeignetes Konzept darstellt.

Leibniz		Kant	
Dreieck: $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$ analytischer Satz		Dreieck: $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$ synthetischer Satz a priori	
euklidische Geometrie: logisch notwendig	nicht-euklidische Geometrie: logisch ausgeschlossen	euklidische Geometrie: logisch möglich, anschaulich notwendig	nicht-euklidische Geometrie: logisch möglich, anschaulich ausgeschlossen
Existenz einer geometrischen Figur: Konstruktionsprozeß (sichert Widerspruchsfreiheit) (α) synthetisch-geometrischer Konstruktionsprozeß (β) analytisch-arithmetischer Konstruktionsprozeß		Existenz einer geometrischen Figur: Widerspruchsfreiheit: negatives Kriterium Konstruktionsprozeß: positives Kriterium (α) Konstruierbarkeit in der Raumanschauung: Geometrie (β) Konstruierbarkeit in der Zeitanschauung: Arithmetik	

Für Leibniz ist ein mathematischer Satz analytisch und damit wird ein nicht-euklidischer Raum aus logischen Gründen ausgeschlossen. Damit sieht es vordergründig so aus, als wäre diese Auffassung noch restriktiver als die Kants. Tatsächlich liegt die eigentliche Stärke der leibnizschen Sichtweise aber im Konstruktionsprozeß. Dieser ist nicht an die Anschauung gebunden; er kann auch analytisch-arithmetischer Art sein und er soll lediglich die Widerspruchsfreiheit sichern. Daraus folgt: obwohl Leibniz einen nicht-euklidischen Raum aus logischen Gründen ausschließt, würde er seine Position sicher aufgeben, wenn ihm die Konstruktion einer drei-dimensionalen Figur in einem drei-dimensionalen, gekrümmten Raum mit den Mitteln der analytischen Geometrie vorgelegt werden würde. Demzufolge ist seine Position zwar zunächst restriktiver als die Kants, besitzt aber das *Potential* zur Weiterentwicklung in Richtung eines operativen Mathematikverständnisses. In dieser Studie sollen aber die Deutungsprobleme im Hinblick auf die Raumanschauung nicht weiterverfolgt werden. Stattdessen richtet sich die Kritik an Kant auf das Problem der Zeitanschauung, die Verkürzung des Zahlbegriffs und das fehlende operative Mathematikverständnis.⁵²¹

4. Erste Konsequenz: der eingeschränkte Zahlbegriff. Kant bringt die Raumanschauung mit der Geometrie in Verbindung; die Zeitanschauung verknüpft er mit der Arithmetik. Die Bindung des Zahlbegriffs an die Zeit als Anschauungsform des inneren Sinns erlaubt aber nur ein eingeschränktes Mathematikverständnis. Dies liegt daran, daß Kant einen Zeitbegriff im Sinne einer figurativen Zeit zugrundelegt. Die Erweiterung zu einem operativen Zeitbegriff führt jedoch zwangsläufig über den Bewegungsbegriff.

Geometrie legt die reine Anschauung des Raumes zu Grunde. Arithmetik bringt selbst ihre Zahlbegriffe durch sukzessive Hinzusetzung der Einheiten in der Zeit zustande, [...]. Beide Vorstellungen aber sind bloß Anschauungen; denn, wenn man von den empirischen Anschauungen der Körper und ihrer Veränderungen (Bewegungen) alles Empirische, nämlich was zur Empfindung gehört, wegläßt, so bleiben noch Raum und Zeit übrig, [...].⁵²²

Das reine *Schema* der *Größe* aber (*quantitatis*), als eines Begriffs des Verstandes, ist die *Zahl*, welche eine Vorstellung ist, die die sukzessive Addition von Einem zu Einem (gleichartigen) zusammenfaßt. Also ist die Zahl nichts anderes, als die Einheit der Synthesis des Mannigfaltigen einer gleichartigen Anschauung überhaupt, dadurch, daß ich die Zeit selbst in der Apprehension der Anschauung erzeuge.⁵²³

Mit Kants Zeitanschauung werden wichtige Aspekte des Zahlbegriffs richtig erfaßt, aber nicht alle: (α) die Einheit, (β) die Sukzession und (γ) die Addition. Der wesentliche Aspekt der Reversibilität der Operationen kann aber gerade nicht in den Blick genommen werden, weil

⁵²¹ In der Kant-Forschung ist es umstritten, warum Kant für die Geometrie die Intuition benötigt. Kontrovers ist dabei die Frage, inwiefern die Gründe in der aristotelischen Logik liegen (Carson 1997, Friedman 1999, Majer 2004).

⁵²² Kant 1783, 35

⁵²³ Kant 1787, B 182

die Zeit nur in einer Richtung fließt (Zeitpfeil) und damit keine reversible Operation ist. Kant ist gerade darin nicht zuzustimmen, wenn er behauptet, daß von der empirischen Anschauung eines bewegten Körpers nur noch Raum und Zeit übrigbleibt, sofern alles abgezogen wird, was zur Empfindung gehört. Die *Gruppenstruktur*, der die Bewegung genügt, ist weder Teil der Zeitanschauung noch der Empfindung. Die enge Verknüpfung von Zahl und Zeit muß daher aufgegeben werden zugunsten einer Theorie der Mathematik, die an die Bewegung bzw. Handlung anknüpft. Nur diese Verknüpfung kann den wichtigen Aspekt der *Abgeschlossenheit unter Strukturgesetzen* erfassen. Die mathematische Erkenntnis ist für Kant Vernunftkenntnis aus der Konstruktion aus Begriffen; sie betrachtet das Allgemeine im Besonderen. Was aber heißt es konkret, einen Begriff in der Anschauung zu konstruieren? Darüber gibt Kant in der *transzendentalen Methodenlehre* Auskunft. Er unterscheidet zwei verschiedene Konstruktionsweisen: die *ostensive Konstruktion* der Geometrie und die *symbolische Konstruktion* der Arithmetik. Für beide Konstruktionsweisen gilt: Die Konstruktion eines Begriffs ist die Erzeugung einer einzelnen Vorstellung durch ein konkretes Bild, das im Sinne eines Schemas zu verstehen ist und dem Allgemeingültigkeit zukommt.

Einen Begriff aber *konstruieren*, heißt: die ihm korrespondierende Anschauung a priori darstellen. Zur Konstruktion eines Begriffs wird also eine *nicht empirische* Anschauung erfordert, die folglich, als Anschauung, ein *einzelnes* Objekt ist, aber nichtsdestoweniger, als die Konstruktion eines Begriffs (einer allgemeinen Vorstellung), Allgemeingültigkeit für alle möglichen Anschauungen, die unter denselben Begriff gehören, in der Vorstellung ausdrücken muß.⁵²⁴

Die Mathematik aber konstruiert nicht bloß Größen (*quanta*), wie in der Geometrie, sondern auch die bloße Größe (*quantitatem*), wie in der Buchstabenrechnung, wobei sie von der Beschaffenheit des Gegenstandes, der nach einem solchen Größenbegriff gedacht werden soll, gänzlich abstrahiert. Sie wählt sich alsdann eine gewisse Bezeichnung aller Konstruktionen von Größen überhaupt (Zahlen, als der Addition, Subtraktion usw.), Ausziehung der Wurzel, und, nachdem sie den allgemeinen Begriff der Größen nach den verschiedenen Verhältnissen derselben auch bezeichnet hat, so stellt sie alle Behandlung, die durch die Größe erzeugt und verändert wird, nach gewissen allgemeinen Regeln in der Anschauung dar; wo eine Größe durch die andere dividiert werden soll, setzt sie beider ihre Charaktere nach der bezeichnenden Form der Division zusammen usw., und gelangt also vermittelt einer symbolischen Konstruktion ebensogut, wie die Geometrie nach einer ostensiven oder geometrischen (der Gegenstände selbst) dahin, wohin die diskursive Erkenntnis vermittelt bloßer Begriffe niemals gelangen konnte.⁵²⁵

Die Mathematik hat es mit Definitionen, Axiomen und Beweisen zu tun, weil sie ihre Begriffe in der Anschauung konstruiert. Dies ist charakteristisch für beiden Konstruktionsweisen. Demzufolge macht die Konstruktion in der Anschauung der Zeit das Wesen der Algebra aus, andere charakteristische Merkmale sind nach Kant offensichtlich nicht in Betracht zu ziehen.

⁵²⁴ Kant 1787, B 741

⁵²⁵ Kant 1787, B 745

Die Mathematik dagegen ist der Axiomen fähig, weil sie vermittels der Konstruktion der Begriffe in der Anschauung des Gegenstandes die Prädikate desselben a priori und unmittelbar verknüpfen kann, [...].⁵²⁶

Selbst das Verfahren der Algebra mit ihren Gleichungen, aus denen sie durch Reduktion die Wahrheit zusamt dem Beweise hervorbringt, ist zwar keine geometrische, aber doch charakteristische Konstruktion, in welcher man an den Zeichen die Begriffe, vornehmlich von dem Verhältnisse der Größen, in der Anschauung darlegt, und, ohne einmal auf das Heuristische zu sehen, alle Schlüsse vor Fehlern dadurch sichert, daß jeder derselben vor Augen gestellt wird.⁵²⁷

Mit dieser Charakterisierung des Zahlbegriffs erfaßt Kant aber nur den figurativen Aspekt; die Abgeschlossenheit der Rechenoperationen muß als weiteres charakteristisches Merkmal hinzugefügt werden um auch den operativen Aspekt zu gewinnen. Der figurative Zahlbegriff ist zu strukturarm um dies leisten zu können. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie interpretiert daher den operativen Zahlbegriff als denjenigen Begriff, der die Möglichkeit zu synthetischen Urteilen a priori mit sich führt. Er genügt den von Kant genannten Kriterien: die Konstruktion liefert Erweiterungsurteile und die Abgeschlossenheit der Rechenoperationen liefert die Notwendigkeit und Allgemeinheit.

5. Zweite Konsequenz: das eingeschränkte Mathematikverständnis. Auffällig an Kants Schriften ist, daß die Mathematik zuallererst im Sinne der Geometrie verstanden wird, d.h. mathematische Beispiele werden hauptsächlich der Geometrie entnommen. Wann immer von Zahlen die Rede ist, werden einfache und konkrete Beispiele der Arithmetik angeführt, wie die Überlegungen zur Summenbildung $7 + 5 = 12$ zeigt. Abstrakte algebraische und analytische Gleichungen kommen praktisch nicht vor. Insbesondere hat Kant offensichtlich ein äußerst unzutreffendes Bild von den verzwickten Schwierigkeiten der Mathematik seiner Zeit. Er sagt von ihr:

[...] weil sich in ihr keine falschen Behauptungen verbergen und unsichtbar machen können, indem die Beweise jederzeit an dem Faden der reinen Anschauung, und zwar durch jederzeit evidente Synthesis fortgehen müssen.⁵²⁸

Mathematische Definitionen können niemals irren.⁵²⁹

Im Hinblick auf die zweite Grundlagenkrise der Mathematik, die mit dem Infinitesimalkalkül von Leibniz ausbricht und noch von Bolzano heftig beklagt wird, erscheint Kants Vertrauen in die Mathematik eher naiv, zumal die Probleme hauptsächlich darin bestehen, daß die Begriffe zunächst in der sinnlichen Anschauung des Raumes konstruiert werden und damit zu inneren Widersprüchen führen. Kant scheint die Bedeutung einer operativ verstandenen

⁵²⁶ Kant 1787, B 760

⁵²⁷ Kant 1787, B 762

⁵²⁸ Kant 1787, B 452

⁵²⁹ Kant 1787, B 759

Mathematik nicht erkannt zu haben. Seine Lehre von den Formen der Anschauung ist verknüpft mit der euklidischen Geometrie und einer elementaren Arithmetik und bezieht sich auf Newtons Physik in synthetischer Darstellung von 1687. Kant ignoriert die Werke von Euler *Mechanik oder die Wissenschaft von der Bewegung analytisch dargelegt* von 1736 und von Lagrange *Analytische Mechanik* von 1788. Scheibe hat diesen Mangel in Kants Philosophie deutlich betont:

[...] Kant really only refers to the ancient stock of mathematics, i.e. to elementary geometry and arithmetic, and that he leaves without comment those novel parts of mathematics which at his time were highly esteemed and widely applied such as the infinitesimal calculus, the theory of infinite series, and the theory of differential equations. Moreover, the neighboring sciences of mathematics which are relevant for Kant's purposes, such as logic and physics, have in the meantime experienced a similarly significant transformation as mathematics itself.⁵³⁰

Koriako hat diesen Sachverhalt in seinem materialreichen Buch zu *Kants Philosophie der Mathematik* ebenfalls hervorgehoben:

Kant war kein Mathematiker und hat die Entwicklung der zeitgenössischen Mathematik sicher nur am Rande verfolgt.⁵³¹

[...] nichts deutet darauf hin, daß Kant über ein fachlich adäquates Verständnis mathematischer Probleme verfügte.⁵³²

Mathematische Erkenntnis ist zu einem ganz erheblichen Teil unanschauliche Erkenntnis – Erkenntnis, die sich aus dem regelgeleiteten Prozeß symbolischer Transformationen speist. Jeder Versuch, diese symbolischen Prozesse als „anschauliche“ zu interpretieren scheint dem Geist des Mathematischen zu widersprechen. [...] Aber die symbolische Konstruktion ist von gänzlich anderer Natur und nicht etwa eine Unterart der Gattung „anschauliche Erkenntnisse“. Nichts charakterisiert Mathematik besser als die Formel, sie sei die Wissenschaft von der Ersetzung der Anschauung durch das Zeichen. Der Raum liegt der Erkenntnis des Kreises auf andere Weise zugrunde, als der Erkenntnis der Formel $x^2 + y^2 = r^2$, die doch ebenfalls eine Repräsentation des Kreises ist. Wer diese Differenz nicht beachtet, der scheint keine befriedigende Theorie algebraischer Erkenntnis zu geben.⁵³³

Ergänzend muß an dieser Stelle noch hinzugefügt werden, daß Kant auch die Bedeutung des *Experiments* nicht hinreichend gewürdigt hat. Bemerkenswert ist, daß er für das Experiment in seiner Theorie der Erfahrung keinen systematischen Ort vorgesehen hat. Darauf verweist Wind in seiner Schrift *Das Experiment und die Metaphysik* und begründet die Notwendigkeit einer Theorie des Experiments:

⁵³⁰ Scheibe 2000, S. 518

⁵³¹ Koriako 1999, S. 3

⁵³² Koriako 1999, S. 9

⁵³³ Koriako 1999, S. 5

*In Kants Aufbau der Erfahrung hat das Experiment überhaupt keinen logischen Ort. Genau an derjenigen Stellen, an der für den Forscher die Erprobung eines Gedankens durch Experimente einsetzt, steht bei Kant die „Realität der Empfindung“, die die kategoriale Formung niemals erproben, sondern immer nur erdulden kann. Dieser Auffassung galt es eine Theorie des Experiments entgegenzusetzen, die gerade die Rückwirkung der Erfahrung auf die kategoriale Formung verständlich macht, – eine Theorie, die erklärt, daß es durchaus kein Widersinn ist, wenn die Voraussetzungen, die Erfahrung „allererst möglich machen“, selbst wieder durch Erfahrung bestätigt oder widerlegt werden können.*⁵³⁴

Demzufolge ist Kants Transzendentalphilosophie unter zwei Aspekten defizitär. (α) Durch das experimentell-technische Instrumentarium kann die Wirklichkeit grundlegend erweitert werden. Nur das Experiment kann die fremdartigen Phänomene aufdecken, die außerhalb des Mesokosmos herrschen. (β) Durch das logisch-mathematische Instrumentarium kann die Wirklichkeit ebenfalls grundlegend erweitert werden. Eine operativ verstandene Mathematik eröffnet den Zugang zu einer Wirklichkeit, die jenseits der Formen der Anschauung und der Kategorien des Denkens im Sinne Kants liegt. Beide Instrumentarien sind untrennbar verknüpft mit der Fähigkeit zur Handlung. Wenn also eine Erkenntnistheorie von Anfang an diesen wichtigen Aspekt unberücksichtigt läßt, dann muß sie zwangsläufig defizitär bleiben.

6. Dritte Konsequenz: der Verzicht auf die rationale Intuition. Das eingeschränkte Mathematikverständnis Kants hat Konsequenzen für seine Analyse des Erkenntnisprozesses. Die rationale Intuition, die wesentlich formale Strukturen erfaßt, die gerade nicht in der sinnlichen Intuition gegeben sind, wird von Kant nicht benötigt und folgerichtig abgewiesen; darüber hinaus ist dann auch keine Belehrung der rationalen Intuition vorgesehen. Umgekehrt bedeutet dies: (i) Ein adäquates Mathematikverständnis muß nicht nur auf eine *phänomenorientierte, sinnliche Intuition*, sondern auch auf eine *strukturorientierte, rationale Intuition* zurückgreifen. (ii) Eine phänomenorientierte, sinnliche Intuition beinhaltet insbesondere zwei Aspekte: (α) eine *statische Anschauung*, gestützt auf die Sinneswahrnehmungen und bezogen auf starre Körper und (β) eine *dynamische Anschauung*, gestützt auf die Handlungsfähigkeit und bezogen auf starre und deformierbare Körper. (iii) Die dynamische Anschauung rekurriert in besonderer Weise auf die Fähigkeit zur *Handlung* und reflektiert die Strukturgesetze konkreter Handlungen. Damit zielt sie auf diejenigen Wissensinhalte, die – aus der Sicht der Genetischen Erkenntnistheorie – in der konkret-operationalen Phase zu lernen sind. Die Abstraktion von den konkreten Handlungen ist dann mit einer strukturorientierten, rationalen Intuition zu leisten. Die dynamische Anschauung wird damit zu einer wichtigen Zwischenstation auf dem Weg zu einer belehrten rationalen Intuition. In diesem Lichte erscheint Kants statische Anschauung als besonders restriktives Konzept. Dies ist eine direkte Konsequenz der, aus der Antike stammenden Sichtweise, die der Handlungsfähigkeit nicht die ihr zukommende Bedeutung für den Erkenntnisprozeß zubilligt.

⁵³⁴ Wind 1934, S. 66

Kants Transzendentalphilosophie	empirisch gestützte Erkenntnistheorie
Sinne / Verstand	Sinne / Handlung / Verstand
figuratives Mathematikverständnis: <u>ein</u> charakteristisches Merkmal (α) Konstruktion	operatives Mathematikverständnis: <u>zwei</u> charakteristische Merkmale (α) Konstruktion (β) Abgeschlossenheit der Operationen <u>math.:</u> Gruppenstrukturen <u>phys.:</u> Invarianzen, Erhaltungssätze
(α) Konstruktion wird erfaßt durch sinnliche Intuition / Anschauung (β) rationale Intuition ist nicht erforderlich	(α) Konstruktion wird erfaßt durch sinnliche Intuition / Anschauung (β) Abgeschlossenheit wird erfaßt durch rationale Intuition

Mit dieser Diskussion ist klar, daß die struktur-orientierte, rationale Intuition wieder einen festen Platz in einer Erkenntnistheorie bekommen muß. Im folgen soll nachgewiesen werden, daß Mathematiker und Physiker immer wieder von einer Intuition oder sinnverwandten Begriffen sprechen, die im Sinne einer rationalen Intuition zu verstehen sind.

Helmholtz und Hertz: Die Anschauung in Geometrie und Mechanik

Im Anschluß an Kant wird von Mathematikern und Physikern unter dem Begriff „Anschauung“ die reinen Formen der Anschauung Raum und Zeit als Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung verstanden. Als „anschaulich nach Kant“ gilt dann die Anschauung des Raumes, d.h. das, was gemäß der Schematismuslehre von Kant in synthetischer Darstellung beschreibbar ist. Der Sache nach ist damit eine sinnliche Intuition gemeint. Hermann von Helmholtz (1821 – 1894) hat in seinen Schriften *Über die Tatsachen, die der Geometrie zugrunde liegen* von 1868, *Über den Ursprung und die Bedeutung der geometrischen Axiome* von 1870 und *Die Tatsachen in der Wahrnehmung* von 1878 seine erkenntnistheoretischen Überlegungen zum Verhältnis von Anschaulichkeit und Wirklichkeitsbezug in der Geometrie dargestellt. Helmholtz sieht sich veranlaßt, die Funktionen und Grenzen der Anschauung kritisch zu prüfen und den Begriff „anschaulich“ zu modifizieren. Der Sache nach geht es ihm dann um eine *rationale Intuition* und ihre *Belehrung*, die dazu führt, daß auch nicht-euklidische Geometrien als „anschaulich nach Helmholtz“ gelten können.

1. Die Funktionen & Grenzen der Anschauung in der Geometrie. Helmholtz fragt auf dem Hintergrund der neueren Untersuchungen zur Geometrie von Gauß, Bolyai, Lobatschewsky und Riemann auf dem Boden einer analytischen Darstellung, inwiefern Kants Auffassung, derzufolge die geometrischen Axiome synthetische Urteile a priori sind, zutreffend ist. Helmholtz stimmt Kant darin zu, daß geometrische Sätze allgemein, notwendig und auf die Wirklichkeit anwendbar sind. Die Geometrie baut auf Axiomen auf, die nicht weiter beweisbar sind und deren Richtigkeit intuitiv einsichtig erscheinen. Helmholtz will die geometrischen Axiome aber unter zwei Aspekten genauer untersuchen: (α) die logische Möglichkeit, ein anderes System geometrischer Axiome festzusetzen und (β) das Verhältnis der geometrischen Axiome zur Wirklichkeit.⁵³⁵

Aber in jenen ersten Elementen werden einige Sätze aufgestellt, von denen die Geometrie selbst erklärt, daß sie sie nicht beweisen könne; daß sie nur darauf rechnen müsse, jeder, der den Sinn dieser Sätze verstehe, werde ihre Richtigkeit zugeben. Das sind die sogenannten Axiome der Geometrie.⁵³⁶

Die größte Schwierigkeit in diesen Untersuchungen bestand und besteht immer darin, daß sich mit den logischen Begriffsentwicklungen gar zu leicht Ergebnisse der alltäglichen Erfahrung als scheinbare Denknöwendigkeiten vermischten, solange die einzige Methode der Geometrie die von *Euklid* gelehrt Methode der Anschauung war.⁵³⁷

Helmholtz stellt die *analytische Darstellung* der Geometrie der *synthetischen Darstellung* gegenüber und erörtert an diesen beiden prinzipiell unterschiedlichen Darstellungsarten die Funktionen und Grenzen der Anschauung. (α) Die synthetische Darstellung wurzelt in der Anschauung des Raumes; sie ist daher anschaulich und sie erscheint evident. Sie ist immer der Ausgangspunkt für die ersten Ansätze einer Theorienkonstruktion. Sie ist aber trügerisch, weil sie implizite und damit *ungeprüfte Vorannahmen* beinhalten kann. (β) Die analytische Darstellung verzichtet auf die Anschauung des Raumes; sie ist abstrakt und unanschaulich, sie ist aber logisch konsistent und sie kann die Rolle einer Kontrollinstanz für die synthetische Darstellung übernehmen. (γ) Die analytische Darstellung eröffnet neue Möglichkeiten, *modifizierte Axiome* zu postulieren, die nicht mehr der unmittelbaren Anschaulichkeit und der Einsichtigkeit verpflichtet sind um dann die Konsequenzen dieser Modifikationen zu studieren. Die neuen Axiome sind nur durch eine *belehrte Intuition* einsichtig. (δ) Die synthetische Darstellung kann in einer verallgemeinerten Geometrie zumindest Teilausschnitte einer Veranschaulichung zugänglich machen. Damit verbleibt ihr noch immer die Funktion der *Anschaulichkeit*, der Wirklichkeitsbezug muß jedoch aufgegeben werden.

⁵³⁵ Helmholtz versäumt es, in seinen Ausführungen eine klare begriffliche Unterscheidung zwischen logisch-notwendig und anschaulich-notwendig zu treffen. Kant beharrt keineswegs auf einer logischen Notwendigkeit der euklidischen Axiome, wohl aber auf einer anschaulichen Notwendigkeit.

⁵³⁶ Helmholtz 1870, S. 17

⁵³⁷ Helmholtz 1870, S. 18

Die *analytische* Behandlung der Frage, wodurch sich der Raum unterscheidet von anderen abmeßbaren, mehrfach ausgedehnten und kontinuierlichen Größen, empfiehlt sich in diesem Falle gerade durch den Umstand, daß sie der Anschaulichkeit ermangelt, und deshalb den auf diesem Gebiete so schwer zu vermeidenden Täuschungen durch die besondere Begrenztheit unserer Anschauungen nicht ausgesetzt ist. Daneben hat sie den Vorteil, die Möglichkeit folgerichtiger Durchführung eines abweichenden Systems von Axiomen leicht vollständig überblicken zu lassen.⁵³⁸

Im folgenden sollen die wichtigsten Aspekte in detail erörtert werden.

2. Implizite Vorannahmen. Das Problem einer Axiomatisierung, die sich auf die synthetische Darstellung stützt, liegt in der Gefahr – so befürchtet Helmholtz –, daß alltägliche Erfahrungen zu Denknöwendigkeiten erklärt werden. Die Anschauung und die Evidenz der Axiome der euklidischen Geometrie ist wesentlich auf der Möglichkeit der Konstruktion von Figuren begründet.

Beweglichkeit ↔ Kongruenz ↔ Konstruktion

Die Konstruktion der Figuren macht Gebrauch von der Eigenschaft der Kongruenz. Von Kongruenz kann aber nur dann gesprochen werden, wenn die gestalttreue Beweglichkeit der Figuren im Raum vorausgesetzt werden darf. Es ist aber zu fragen, inwiefern ohne Einschränkung der Allgemeinheit Figuren gestalttreu im Raum bewegt werden können. Die synthetische Darstellung geht hier offensichtlich von impliziten Vorannahmen aus, deren Zulässigkeit durch eine geeignete Kontrollinstanz überprüft werden muß.

Der wohlgeschulte Geometer fragt bei jeder Hilfslinie, die er für irgendeinen Beweis zieht, ob es auch immer möglich sein wird eine Linie von der verlangten Art zu ziehen. Bekanntlich spielen die Konstruktionsaufgaben in dem Systeme der Geometrie eine wesentliche Rolle. [...] Die Grundlage aller Beweise in der euklidischen Methode ist der Nachweis der Kongruenz der betreffenden Linie, Winkel, ebenen Figuren, Körper usw. Um die Kongruenz anschaulich zu machen, stellt man sich vor, daß die betreffenden geometrischen Gebilde zueinander hinbewegt werden, natürlich ohne ihre Form und Dimensionen zu verändern. [...] Wenn wir aber Denknöwendigkeiten auf diese Annahme freier Beweglichkeit fester Raumgebilde mit unveränderter Form nach jeder Stelle des Raumes hin bauen wollen, so müssen wir die Frage aufwerfen, ob diese Annahme keine logisch unerwiesene Voraussetzung einschließt.⁵³⁹

Die analytische Darstellung muß keine Voraussetzungen über die Möglichkeit der Bewegung von Figuren und die Feststellung ihrer Kongruenz treffen. Sie ordnet jedem Punkt des Raumes drei Zahlen in einem Koordinatensystem zu. Die Beziehungen zwischen räumlichen

⁵³⁸ Helmholtz 1868, S. 59

⁵³⁹ Helmholtz 1870, S. 18

Gebilden werden dadurch zu Beziehungen zwischen Zahlen. Die Einführung von Koordinatensystemen erlaubt die Verallgemeinerung des Raumbegriffs.

Nun haben wir aber noch einen anderen Weg zur wissenschaftlichen Behandlung der Geometrie. Es sind nämlich alle uns bekannten Raumverhältnisse meßbar, das heißt, sie können auf Bestimmung von Größen (von Linienlängen, Winkeln, Flächen, Volumina) zurückgeführt werden. Eben deshalb können die Aufgaben der Geometrie auch dadurch gelöst werden, daß man die Rechenmethoden aufsucht, mittels deren man die unbekanntes Raumgrößen aus den bekannten herzuleiten hat. Dies geschieht in der *analytischen Geometrie*, [...].⁵⁴⁰

Die spezifischen Probleme, die durch die Unzulänglichkeit der synthetischen Darstellung entstehen, können durch den Einsatz der analytischen Darstellung vermieden werden. Die analytische Darstellung stellt somit eine Kontrollinstanz dar, die die Grenzen der Anschauung dingfest macht.

3. Veranschaulichung in zwei-dimensionalen Räumen. Die analytische Darstellung eröffnet den Weg zu modifizierten Axiomen und führt auf nicht-euklidische Geometrien. In diesem Zusammenhang behält die Anschauung des Raumes dann nur noch die Funktion, Teilaspekte zu veranschaulichen. Beispielsweise können die Verhältnisse eines nicht-euklidischen, zwei-dimensionalen Raumes veranschaulicht werden. Die neuen Einsichten lassen sich an zwei-dimensionalen Wesen klären. Diesen Flächenwesen ist mit der synthetischen Darstellung nur ein euklidischer Raum zugänglich. Die Anwendung der analytischen Darstellung hingegen könnte sie aber darüber belehren, daß sie in einem nicht-euklidischen Raum leben.

- (i) ***Flächenwesen, die auf einer Ebene leben.*** Die Winkelsumme in einem Dreieck beträgt 180° . Es gibt zwischen zwei Punkten genau eine geodätische Linie. Es gibt durch einen Punkt genau eine Linie, die parallel zu einer gegebenen geraden Linie ist. Die Ebene könnte unbegrenzt und unendlich ausgedehnt sein. An verschiedenen Orten der Oberfläche können Dreiecke konstruiert werden, die kongruent sind.
- (ii) ***Flächenwesen, die auf einer Kugel leben.*** Die Winkelsumme in einem Dreieck ist größer als 180° . Wenn zwei gegebene Punkte die Endpunkte eines Durchmessers der Kugel sind, dann gibt es unendlich viele geodätische Linien zwischen den beiden Punkten. Es gibt keine parallelen Linien. Die Kugel ist unbegrenzt, aber endlich ausgedehnt. An verschiedenen Orten der Oberfläche können Dreiecke konstruiert werden, die kongruent sind.
- (iii) ***Flächenwesen, die auf einem „Ei“ leben.*** Die Winkelsumme in einem Dreieck ist größer als 180° . An verschiedenen Stellen der Oberfläche können keine Dreiecke

⁵⁴⁰ Helmholtz 1870, S. 25

konstruiert werden, die kongruent sind. Die Winkelsumme am spitzen Ende des Eies ist verschieden von der Winkelsumme am stumpfen Ende des Eies. Ein Dreieck kann demnach auf einem Ei nicht ohne Änderung seiner Form verschoben werden.

Allgemein kann auf einer beliebig gekrümmten Oberfläche ein geometrisches Gebilde nicht ohne Gestaltänderung von einem Raumpunkt zu einem anderen bewegt werden. Ist dies dennoch der Fall, dann hat die gekrümmte Oberfläche besondere geometrische Eigenschaften. Um diesen Sachverhalt begrifflich zu fassen, hat Gauß das *Krümmungsmaß* einer Fläche eingeführt. Es handelt sich dabei um eine innere Eigenschaft der zwei-dimensionalen Fläche, die ohne Einbettung in einen drei-dimensionalen Raum formulierbar ist. Analog läßt sich das Krümmungsmaß als innere Eigenschaft eines drei-dimensionalen Raumes ohne Einbettung in einen vier-dimensionalen Raum formulieren. Das Krümmungsmaß gibt also eine von der Anschauung unabhängige Charakterisierung des Raumes. Das Parallelenaxiom ist demnach charakteristisch für die euklidische Geometrie. Wird auf das Axiom verzichtet, dann kann eine andere widerspruchsfreie Geometrie aufgebaut werden.

Es ist klar, daß die Wesen auf der Kugel bei denselben logischen Fähigkeiten doch ein ganz anderes System geometrischer Axiome aufstellen müßten, als die Wesen auf der Ebene, und als wir selbst in unserem Raume von drei Dimensionen. [...]

Daraus folgt weiter, daß es eine besondere geometrische Eigenschaft einer Fläche ist, wenn sich in ihr liegende Figuren, ohne Veränderung ihrer sämtlichen längs der Fläche gemessenen Linie und Winkel frei verschieben lassen, und daß dies nicht auf jeder Art von Fläche der Fall sein wird.⁵⁴¹

Wenn nun dieses Krümmungsmaß des Raumes überall den Wert Null hat, entspricht ein solcher Raum überall den Axiomen des *Euklid*. Wir können ihn in diesem Falle einen *ebenen Raum* nennen, im Gegensatz zu anderen analytisch konstruierbaren Räumen, die man gekrümmte nennen könnte, weil ihr Krümmungsmaß einen von Null verschiedenen Wert hat. [...].

Ist das Krümmungsmaß positiv, so erhalten wir den *sphärischen* Raum, in welchem die geradesten Linien in sich zurücklaufen, und in welchem es keine Parallelen gibt. Ein negatives konstantes Krümmungsmaß dagegen gibt den *pseudosphärischen* Raum, in welchem die geradesten Linien in das Unendliche auslaufen, [...].⁵⁴²

Für drei-dimensionale Wesen, deren Sinneswahrnehmungen an den drei-dimensionalen Raum angepaßt sind, ist es also möglich, sich die Verhältnisse in unterschiedlichen zwei-dimensionalen Räumen anschaulich vorzustellen. Hierzu muß lediglich die Anschauung des Raumes auf eine geringere Dimension eingeschränkt werden. Es ist aber nicht möglich, sich die Verhältnisse in unterschiedlichen drei-dimensionalen Räumen anschaulich vorzustellen. Insbesondere heißt dies, daß der Anschauung nicht die ganze Wirklichkeit zugänglich ist, sondern bestenfalls Teilausschnitte. Die synthetische Darstellung übernimmt dann nur noch die Funktion der Veranschaulichung von Teilausschnitten. Die Untersuchung der Verhältnisse

⁵⁴¹ Helmholtz 1870, S. 21

⁵⁴² Helmholtz 1870, S. 27

auf allgemein gekrümmten zwei-dimensionalen Flächen betrachtet von einem dreidimensionalen Raum aus, erlaubt es, die impliziten Annahmen auch in der Anschauung zu klären. Dies zeigt, daß die Anschauung bestenfalls dann eine wirklichkeits-konstituierende Funktion erfüllen kann, wenn der Sachverhalt von einer Außen-Perspektive beurteilt werden kann.

4. Zeichen versus Bilder & Wirklichkeitsbezug. Die Anschauung kann den Wirklichkeitsbezug nicht begründen. In seiner Schrift *Die Tatsachen in der Wahrnehmung* von 1878 untersucht Helmholtz erneut den Zusammenhang von Anschauung und Wirklichkeit. Sinneswahrnehmungen sind im Sinne von *Zeichen* und gerade nicht im Sinne von Bildern zu verstehen. Die Wirklichkeit wirkt auf das menschliche Wahrnehmungsvermögen nicht im Sinne einer Urbild – Abbild – Relation, die auf Gleichheit mit dem abgebildeten Gegenstand zielt, sondern im Sinne einer Zuordnung von Zeichen, die lediglich Beziehungen wirklichkeitsgetreu wiedergeben.

Das Grundproblem, welches jene Zeit an den Anfang aller Wissenschaft stellte, war das der Erkenntnistheorie: „Was ist Wahrheit in unserem Anschauen und Denken? In welchem Sinne entsprechen unsere Vorstellungen der Wirklichkeit?“⁵⁴³

Unsere Empfindungen sind eben Wirkungen, welche durch äußere Ursachen in unseren Organen hervorgebracht werden, und wie eine solche Wirkung sich äußert, hängt natürlich wesentlich von der Art des Apparates ab, auf den gewirkt wird. Insofern die Qualität unserer Empfindung uns von der Eigentümlichkeit der äußeren Einwirkung, durch welche sie erregt wird, eine Nachricht gibt, kann sie als ein *Zeichen* derselben gelten, aber nicht als ein *Abbild*. Denn vom Bilde verlangt man irgend eine Art der Gleichheit mit dem abgebildeten Gegenstande, [...]. Ein Zeichen aber braucht gar keine Art der Ähnlichkeit mit dem zu haben, dessen Zeichen es ist. Die Beziehung zwischen beiden beschränkt sich darauf, daß das gleiche Objekt, unter gleichen Umständen zur Einwirkung kommend, das gleiche Zeichen hervorruft, und daß also ungleiche Zeichen immer ungleicher Einwirkung entsprechen.⁵⁴⁴

Nach Helmholtz sind es also gerade die *Strukturen*, die das erkennende Subjekt **S** erfaßt und diese Strukturen sind Teil des zu erkennenden Objekts **O**. Diese Auffassung steht im strikten Gegensatz zu Kants Position, derzufolge die Materie-Komponente ausschließlich auf der Seite des zu erkennenden Objekts **O** und die Form-Komponente ausschließlich auf der Seite des erkennenden Subjekts **S** liegt. Für Helmholtz hingegen ist der Wirklichkeitsbezug nur in mathematischen Relationen zu finden, d.h. mathematische Strukturen werden abgebildet. Dieser Sachverhalt wird später von Hertz zu einem Konzept der „Hertzschen Bilder“ ausformuliert. Für Helmholtz gibt dieser Sachverhalt zunächst nur den Anlaß, den Begriff „anschaulich“ zu modifizieren.

⁵⁴³ Helmholtz 1878, S. 149

⁵⁴⁴ Helmholtz 1878, S. 153

5. Die Belehrung der Anschauung. Helmholtz findet es wichtig, den Begriff der Anschauung bzw. der Anschaulichkeit neu zu fassen. Dabei benutzt er Kants Begriff „Raum als Anschauungsform“ und erweitert ihn, indem er den Raum strukturell anreichert, d.h. die Struktur des Raumes erschöpft sich nicht darin, ein drei-dimensionales Bezugssystem mit Orientierungssinn als Bedingung der Möglichkeit von Erfahrung auszuzeichnen, sondern der Raum verfügt über eine intrinsische Krümmung, die nicht zwingend euklidisch sein muß. Ein solchermaßen erweiterter „Raum als Anschauungsform“ erfordert eine Schulung in Mathematik. Aus seinen Überlegungen zieht Helmholtz folgende, gegen Kant gerichteten Schlüsse: (α) Eine nicht-euklidische Geometrie ist nicht nur begrifflich faßbar, sondern auch der Anschauung zugänglich, d.h. eine verallgemeinerte Geometrie ist als „anschaulich nach Helmholtz“. (β) Diese modifizierte Anschauung kann demnach die euklidische Geometrie nicht vor alternativen Geometrien auszeichnen.

Ich verlange für den Beweis der Anschaulichkeit nur, daß für jede Beobachtungsweise bestimmt und unzweideutig die entstehenden Sinneseindrücke anzugeben seien, nötigenfalls unter Benutzung der wissenschaftlichen Kenntnis ihrer Gesetze, aus denen, wenigstens für den Kenner dieser Gesetze, hervorgehen würde, daß das betreffende Ding oder anzuschauende Verhältnis tatsächlich vorhanden sei. Die Aufgabe, sich die Raumverhältnisse in metamathematischen Räumen vorzustellen, erfordert in der Tat einige Übung im Verständnis analytischer Methoden, perspektivischer Konstruktionen und optischer Erscheinungen.

Dies aber widerspricht dem älteren Begriff der Anschauung, welcher nur das als durch Anschauung gegeben anerkennt, dessen Vorstellung ohne Besinnen und Mühe sogleich mit dem sinnlichen Eindruck zum Bewußtsein kommt. Diese Leichtigkeit, Schnelligkeit, blitzähnliche Evidenz, mit der wir [...] vieles [...] wahrnehmen, haben unsere Versuche, mathematische Räume vorzustellen, in der Tat nicht.⁵⁴⁵

Wenn aber Räume anderer Art in dem angegebenen Sinne vorstellbar sind, so wäre damit auch widerlegt, daß die Axiome der Geometrie notwendige Folgen einer a priori gegebenen transzendentalen Form unserer Anschauungen im *Kantschen* Sinne seien.⁵⁴⁶

Mit dieser Idee greift Helmholtz der Sache nach auf die platonische und cartesische *Belehrung der Intuition* zurück, wobei die Belehrung mit den speziellen Mitteln der analytischen Darstellung erfolgt. Dies setzt ein operatives Mathematikverständnis voraus.

6. Die „Hertzchen Bilder“. Heinrich Hertz (1857 – 1894) entdeckt die elektromagnetischen Wellen, interpretiert das elektromagnetische Feld als ontologisch eigenständige Entität und etabliert die Elektrodynamik als selbständige physikalische Disziplin. In seiner Einleitung zu seiner Schrift *Die Prinzipien der Mechanik* legt er seine erkenntnistheoretischen Überlegungen zum Wirklichkeitsbezug in der Mechanik dar. Um physikalische Phänomene theoretisch erfassen zu können, entwickelt Hertz sein Konzept der „Hertzchen Bilder“, d.h.

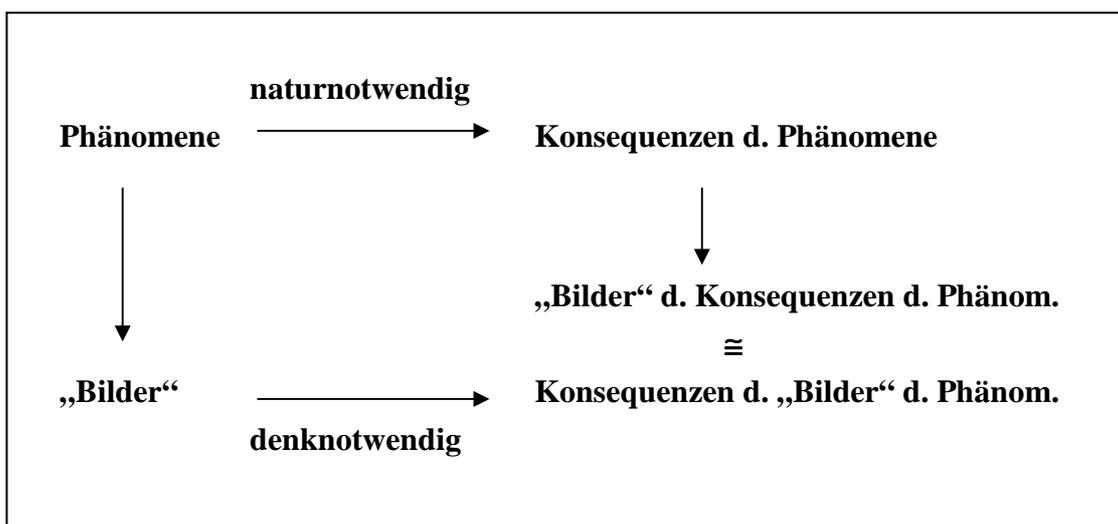
⁵⁴⁵ Helmholtz 1878, S. 161

⁵⁴⁶ Helmholtz 1870, S. 31

es müssen Modelle entworfen werden, an denen die Konsequenzen der Phänomene studiert werden können.

Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, daß die denknöwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnöwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände.⁵⁴⁷

Dieses Konzept der „Hertzschen Bilder“ muß einem bestimmten *Grundsatzkriterium* genügen: die denknöwendigen Folgen der Bilder müssen die Bilder der naturnöwendigen Folgen sein.



Auffällig ist die Abgeschlossenheit der Argumentationsfigur; sie sichert die *innere Kohärenz*. Das Grundsatzkriterium sichert aber darüber hinaus auch den *Wirklichkeitsbezug*, der prinzipiell nur struktureller Art sein kann (vgl. Kapitel 2.4.).

Damit diese Forderung überhaupt erfüllbar ist, müssen gewisse Übereinstimmungen vorhanden sein zwischen der Natur und unserem Geiste. [...]

Die Bilder, von welchen wir reden, sind unsere Vorstellungen von den Dingen; sie haben mit den Dingen die *eine* wesentliche Übereinstimmung, welche in der Erfüllung der genannten Forderung liegt, aber es ist für ihren Zweck nicht nötig, daß sie irgend eine weitere Übereinstimmung mit den Dingen haben.⁵⁴⁸

Die Abbildung zwischen Phänomen und Bild ist nicht bijektiv; zu jedem Phänomen kann es mehrere adäquate Bilder geben. Die Möglichkeit, adäquate Bilder zu entwerfen, ist dennoch nicht beliebig, sondern eingeschränkt durch zusätzliche Bedingungen. Bilder müssen zumindest drei Kriterien erfüllen. (α) Das *Kriterium der Zulässigkeit*: Diese Forderung bezieht sich auf die logische Konsistenz der Bilder. Logisch unverträgliche Bilder dürfen

⁵⁴⁷ Hertz 1894, S. 67

⁵⁴⁸ Hertz 1894, S. 67

nicht verwendet werden (Kontrolle durch die Logik). (β) Das *Kriterium der Richtigkeit*: Diese Forderung bezieht sich auf die Übereinstimmung ihrer wesentlichen Beziehungen mit den Beziehungen der Objekte, d.h. die Referenz der mathematischen Struktur. Die Bilder müssen zumindest eine partielle Struktur-Isomorphie aufweisen (Kontrolle durch Empirie). (γ) Das *Kriterium der Zweckmäßigkeit*: Diese Forderung bezieht sich auf die Anzahl der wesentlichen Beziehung, die das Bild wiedergeben kann. Die Bilder sollten eine multiple, partielle Struktur-Isomorphie aufweisen (Optimierung der Adäquatheit).

Als unzulässig sollten wir von vornherein solche Bilder bezeichnen, welche schon einen Widerspruch gegen die Gesetze unseres Denkens in sich tragen, [...]. Unrichtig nennen wir zulässige Bilder dann, wenn ihre wesentlichen Beziehungen den Beziehungen der äußeren Dinge widersprechen, [...]. Von zwei Bildern desselben Gegenstandes wird dasjenige das zweckmäßigere sein, welches mehr wesentliche Beziehungen des Gegenstandes widerspiegelt als das andere, [...].

Wir verlangen von den letzteren, daß sie uns klar zum Bewußtsein führe, welche Eigenschaften den Bildern zugelegt seien um der Zuverlässigkeit willen, welche um der Richtigkeit willen, welche um der Zweckmäßigkeit willen. [...] Was den Bildern beigelegt wurde um der Zweckmäßigkeit willen, ist enthalten in den Bezeichnungen, Definitionen, Abkürzungen, [...]. Was den Bildern zukommt um ihrer Richtigkeit willen, ist enthalten in den Erfahrungstatsachen, [...]. Was den Bildern zukommt, damit sie zulässig seien, ist gegeben durch die Eigenschaften unseres Geistes.⁵⁴⁹

Das Konzept der „Hertzchen Bilder“ und die fundamentale Relation der denknöwendigen Folgen der Bilder die mit den Bildern der naturnöwendigen Folgen übereinstimmen, wird nachdrücklich von den empirischen Neurowissenschaften gestützt. Die Besonderheiten der Informationskodierung zeigen, daß das Gehirn im Sinne eines Struktur-Detektors arbeitet.

Poincarés Begriff der Intuition in der Mathematik

In seinem Buch *Der Wert der Wissenschaft* analysiert Poincaré (1853 – 1912) im ersten Kapitel *Anschauung und Logik in der Mathematik* Begriff, Funktionen und Grenzen der Intuition in der Mathematik. Im Streit um die Grundlagen der Mathematik, der zwischen den Vertretern des Logizismus, Intuitionismus und Formalismus ausgetragen wird, gilt Poincaré als Vordenker des Intuitionismus.

1. Die verschiedenen Begriffe der Intuition. Poincaré unterscheidet zunächst zwei grundverschiedene methodische Vorgehensweisen: (α) die *Methode der Analytiker*, die sich von der Logik leiten läßt und Schritt für Schritt vorgeht und (β) die *Methode der Geometer*, die sich der Anschauung bedient und „mit einem Schlag große Eroberungen macht, die aber nicht immer zuverlässig sind“. Poincaré streicht jedoch zu Recht heraus, daß auch die analytische Methode nicht allein auf Logik beruht, sondern der Intuition bedarf. Die Intuition ist aus seiner Sicht das Werkzeug der *Erfindung*.

⁵⁴⁹ Hertz 1894, S. 68f

ir glauben, in unseren Schlußfolgerungen die Anschauung nicht mehr zu Hilfe zu rufen. Die Philosophen sagen uns, daß dies eine Einbildung sei. Die reine Logik führe uns stets nur zu Wiederholungen, sie könne nichts Neues schaffen, aus ihr allein könne keine Wissenschaft hervorgehen.

Die Philosophen haben in einer Beziehung recht; zur Arithmetik sowohl als zur Geometrie oder zu irgend einer Wissenschaft braucht es noch etwas anderes als die reine Logik. Dies andere zu bezeichnen steht uns nur das Wort *Intuition* zur Verfügung; aber wieviel verschiedene Begriffe liegen in diesem einen Wort.⁵⁵⁰

Poincaré spricht von verschiedenen Arten der Anschauung bzw. Intuition und gibt Beispiele aus Logik, Geometrie und Arithmetik: Die Grundbegriffe werden in der Anschauung gebildet; die Axiome gelten als intuitiv einsichtig und die Methoden werden durch den Verweis auf die Intuition begründet. Seine wichtigsten Begriffe sind: (α) die Anschauung durch die Sinne und die Einbildungskraft (an anderen Textstellen spricht Poincaré von Intuition der Wahrnehmung bzw. sinnlicher Anschauung), (β) die Anschauung oder „Intuition der reinen Zahlen“ und (γ) die vollständige Induktion, die auf dem abstrakten Zahlbegriff beruht und den Grenzübergang vom Endlichen zum Unendlichen einschließt.⁵⁵¹

Wir haben also mehrere Arten von Anschauung, erstens die Berufung auf die Sinne und die Einbildungskraft, dann die Verallgemeinerung durch Induktion, die den experimentellen Wissenschaften sozusagen nachgebildet wird; wir haben endlich die Anschauung der reinen Zahlen, [...] die allein die wahre mathematische Schlußfolgerung erzeugen kann. [...]

Demnach gibt es [...] nichts als Vernunftschlüsse oder die Berufung auf diese Intuition der reinen Zahlen, die einzige, die uns nicht täuschen kann.⁵⁵²

Der erste Begriff meint eine *phänomen-orientierte, sinnliche Intuition*, die sich auf konkrete geometrische Figuren bezieht. Der zweite Begriff meint eine *struktur-orientierte, rationale Intuition*, die auf einen abstrakten Zahlbegriff zielt. Dieser Zahlbegriff ist all seinen Bezügen zu konkreten raum-zeitlichen Phänomenen enthoben und daher nur als ideales Konstrukt zu begreifen. Der dritte Begriff meint ebenfalls die struktur-orientierte, rationale Intuition, insofern die vollständige Induktion auf dem abstrakten Zahlbegriff beruht. Darüber hinaus beinhaltet diese Variante noch einen methodischen Aspekt.

2. Die Rolle der Intuition im Methodenideal. In aller Deutlichkeit weist Poincaré auf die unverzichtbare Rolle der Intuition hin – und zwar sowohl auf die Funktionen als auch auf die Grenzen im Zusammenhang mit der Theorienkonstruktion einerseits und dem Theorienverständnis andererseits. Hier ist es zuallererst die „Einheit des Beweises“, das ganzheitliche Erfassen eines Sachverhaltes, das es ermöglicht, schon „von weitem das Ziel zu sehen“ um den „Weg zu wählen“. Die intuitive Einsicht in die Einheit des Beweises befähigt

⁵⁵⁰ Poincaré 1906, S. 15

⁵⁵¹ Folina 1994, 417 – 434

⁵⁵² Poincaré 1906, S. 16

den Forscher, von den unzähligen, möglichen logischen Schlüssen diejenigen auszuwählen, die dann den gesamten Beweis ergeben. Wer in einem mathematischen Beweis nur die einzelnen Teilschritte kennt, aber nicht die Einheit des Beweises, der gleicht – so schreibt Poincaré pointiert – einem Naturforscher, der einen Elefanten nur unter dem Mikroskop betrachtet. Die intuitive Einsicht in die Einheit des Beweises liefert also zunächst die Richtschnur für das Auffinden des Beweisgangs und dann aber auch das Verständnis für den Beweisgang.

Der Logiker zerlegt sozusagen jeden Beweis in eine sehr große Zahl Elementaroperationen. Wenn man alle diese Operationen, eine nach der anderen, prüft und gefunden hat, daß jede von ihnen fehlerlos ist, wird man dann glauben, den wahren Sinn des Beweises verstanden zu haben? [...]

Offenbar nicht; wir besäßen noch nicht die volle Wirklichkeit; das gewisse Etwas, das die Einheit des Beweises ausmacht, würde uns ganz entgangen sein.⁵⁵³

Das beweist uns, daß die Logik nicht genügt, daß die demonstrative Wissenschaft nicht die ganze Wissenschaft ist, und daß die Intuition ihre Rolle als Ergänzung [...] beibehalten muß.⁵⁵⁴

Wir brauchen eine Gabe, die uns von weitem das Ziel sehen läßt, und diese Gabe ist die Intuition. Sie ist dem Forscher nötig, um seinen Weg zu wählen, sie ist dem nicht weniger nötig, der seine Straße zieht und wissen möchte, warum er sie gewählt hat.⁵⁵⁵

Die Intuition erfüllt daher eine doppelte Funktion: einerseits ist sie erforderlich für das *Erfinden* und andererseits ist sie erforderlich für das *Verstehen*.

3. Die Rolle der Intuition für die Begriffsbildung. Eine weitere grundlegende Funktion der Intuition besteht darin, daß sie die ersten Anleitungen zu den Begriffsbildungen liefert. Die Grundbegriffe werden demnach zuerst sinnlich-intuitiv gebildet, müssen dann aber durch mathematische Methoden schrittweise verfeinert werden. Das Ergebnis ist eine strenge Definition, die strenge Schlußfolgerungen zuläßt.

Sehr rasch hat man eingesehen, daß die Strenge nicht in die Schlußfolgerungen eingehen konnte, wenn man sie nicht zuvor durch die Definitionen einführte.

Lange Zeit waren die Gegenstände, mit denen die Mathematiker sich beschäftigen, zum größten Teil schlecht definiert; man glaubte sie zu kennen, weil man sie sich mit den Sinnen oder der Einbildungskraft vorstellte; aber man hatte nur ein rohes Bild, keine genaue Idee, auf die man eine Schlußfolgerung hätte gründen können.⁵⁵⁶

Die Anschauung kann uns nicht die Strenge [...] geben, [...].⁵⁵⁷

⁵⁵³ Poincaré 1906, S. 19

⁵⁵⁴ Poincaré 1906, S. 18

⁵⁵⁵ Poincaré 1906, S. 20

⁵⁵⁶ Poincaré 1906, S. 14

⁵⁵⁷ Poincaré 1906, S. 12

Der Grund für die mangelnde Sicherheit der sinnlichen Intuition liegt darin, daß diese auf den Sinnen oder der Einbildungskraft beruht und damit „nur ein rohes Bild“ und gerade „keine genaue Idee“ liefern kann. Die Frage, wie mathematische Grundbegriffe gebildet werden können, ist dabei nicht mehr mit dem bloßen Verweis auf die geometrische Konstruktion im Sinne Kants zu beantworten. Die diesbezüglichen Untersuchungen müssen subtiler werden, weil die sinnliche Intuition auf Widersprüche führen kann. Dies zeigt ihre Grenzen auf.

4. Beispiel: Kontinuumsbegriff. Exemplarisch sollen am Beispiel des *Kontinuumsbegriffs* Funktionen und Grenzen der Intuition aufgezeigt werden. Der erste Entwurf zur Begriffsbildung hält sich eng an die sinnliche Intuition. Dazu betrachtet Poincaré eine Reihe von Wahrnehmungen, die beispielsweise durch verschiedene Gewichte **A**, **B** und **C** erzeugt werden. Sind die Gewichtsunterschiede zwischen **A** und **B** und zwischen **B** und **C** genügend klein, dann sind sie möglicherweise nicht mehr wahrnehmbar, obwohl das Gewicht **A** vom Gewicht **C** durchaus unterscheidbar bleibt. Sofern also nur die Wahrnehmung berücksichtigt wird, wäre der Sachverhalt durch folgende Formel auszudrücken: $A = B, B = C, A \neq C$. Dieses Vorgehen führt nach den Gesetzen der Logik in einen Widerspruch und zeigt die Korrekturbedürftigkeit der sinnlichen Intuition. Selbst dann, wenn die grobe Sinneswahrnehmung durch Meßgeräte verfeinert wird, tritt irgendwann der Widerspruch erneut auf.

Das ist aber absolut unverträglich mit dem Prinzip des Widerspruchs, und die Notwendigkeit, diesen Mißklang zu beseitigen, hat uns dazu geführt, das mathematische Kontinuum zu erfinden. Man wird also zu dem Schlusse genötigt, daß dieser Begriff in allen seinen Teilen durch den Verstand geschaffen ist, aber daß die Erfahrung uns dazu Veranlassung gegeben hat. [...]

Trotz der Anwendung der vollkommensten Methoden werden die groben Resultate unserer Erfahrung immer den Charakter des physikalischen Kontinuums an sich tragen mit dem Widerspruche, der davon unzertrennlich ist. Wir werden dem nur entgehen, indem wir ohne Aufhören neue Glieder zwischen die schon unterschiedenen hineinschieben, und diese Operation muß bis ins Unendliche fortgesetzt werden.⁵⁵⁸

Die sinnliche Intuition kann nur einen Teilaspekt der Wirklichkeit liefern, und zwar diesen Teilaspekt, der sich auf das Endliche bezieht. Die sinnliche Intuition findet demzufolge ihre Grenzen gerade dort, wo sie sich in Widersprüche verwickelt. Dies erfordert also Kontroll- und Korrekturmechanismen, um die Widersprüche grundsätzlich auflösen zu können.

Der Verstand hat die Fähigkeit, Symbole zu schaffen, und dadurch konstruiert er das mathematische Kontinuum, welches nichts anderes ist als ein besonderes System von Symbolen. Seine Macht wird nur begrenzt durch die Notwendigkeit, Widersprüche zu vermeiden; aber der Verstand macht von dieser Fähigkeit nur Gebrauch, wenn die Erfahrung ihm dazu Veranlassung gibt.

⁵⁵⁸ Poincaré 1902, S. 23f

In unserem Falle liegt diese Veranlassung in der Vorstellung des physikalischen Kontinuums, wie sie aus den groben Erfahrungen der Sinne abgeleitet wird. Aber diese Vorstellung führt zu einer Reihe von Widersprüchen, die man schrittweise beseitigen muß.⁵⁵⁹

Am Beispiel des Kontinuumsbegriffs zeigen sich drei Sachverhalte: (α) Die Begriffsbildung bedarf der phänomen-orientierten, sinnlichen Intuition. (β) Es können Widersprüche auftreten und dann müssen mit mathematischen Methoden die intuitiven Begriffsbildungen durch strenge Definitionen ersetzt werden. (γ) Diesen Definitionen liegt der Übergang vom Endlichen zum Unendlichen zugrunde, die durch den Verweis auf die struktur-orientierte, rationale Intuition begründet wird.

5. Beispiel: vollständige Induktion. Poincaré betont, daß die Intuition der reinen Zahlen die *vollständige Induktion* begründet. Sie leistet den Übergang vom Endlichen zum Unendlichen. Die vollständige Induktion ist für Poincaré das Paradebeispiel eines synthetischen Urteils a priori. Für jede endliche Zahl kann der Lehrsatz durch ein analytisches Verfahren verifiziert werden. Der allgemeine Lehrsatz besteht aber in einer unendlichen Anzahl von Syllogismen. Die Gültigkeit der vollständigen Induktion kann daher niemals durch Logik und Erfahrung bewiesen werden. Der Sprung aber vom Endlichen zum Unendlichen bedarf der Überzeugung, daß die unendliche Wiederholung ein und desselben Schrittes widerspruchsfrei und damit möglich ist. Diese Überzeugung wurzelt in der rationalen Intuition.

Man stellt zuerst den Lehrsatz für $n = 1$ auf; man beweist darauf, daß er für n richtig ist, wenn er für $n - 1$ stimmt, und man schlußfolgert daraus, daß er für alle ganzen Zahlen gilt. [...]

Die Haupteigenschaft des rekurrierenden Verfahrens besteht darin, daß es, sozusagen in einer einzigen Formel zusammengedrängt, eine unendliche Anzahl von Syllogismen enthält. [...]

Und wenn wir auch noch so weit in dieser Weise fortschreiten würden, so könnten wir uns doch niemals bis zu dem allgemeinen Lehrsatz erheben, der für alle Zahlen anwendbar bleibt und welcher allein Gegenstand der Wissenschaft ist. Um dahin zu gelangen, bedürfte es einer unendlichen Anzahl von Syllogismen; es müßte ein Abgrund übersprungen werden, welchen die Geduld des Analytikers, der auf die formale Logik als einzige Quelle beschränkt ist, niemals ausfüllen könnte. [...]

[...] um zu dem kleinsten Lehrsatz zu gelangen, kann er nicht das rekurrierende Verfahren entbehren, weil dies ein Werkzeug ist, welches uns gestattet, vom Endlichen zum Unendlichen fortzuschreiten. [...]

Dieses Gesetz, welches dem analytischen Beweise ebenso unzugänglich ist wie der Erfahrung, gibt den eigentlichen Typus des synthetischen Urteils a priori.⁵⁶⁰

Wie zuvor schon Kant, so stellt auch Poincaré die Frage nach der Möglichkeit von Mathematik. Die Mathematik besitzt zwei charakteristische Merkmale: (α) Sie zeichnet sich

⁵⁵⁹ Poincaré 1902, S. 27

⁵⁶⁰ Poincaré 1902, S. 9 – 13

durch Allgemeinheit und Notwendigkeit ihrer Aussagen aus. (β) Sie zeichnet sich durch eine Erweiterung des Wissens aus. Mit Blick auf diese beiden Merkmale kann die Mathematik weder als analytisch a priori noch als synthetisch a posteriori eingeschätzt werden. Poincaré stimmt darin mit Kant überein, daß auch er der *Konstruktion* eine wichtige Bedeutung beimißt, die der Mathematik erst zum sicheren Gang einer Wissenschaft verhilft. Er glaubt aber – im Gegensatz zu Kant –, daß dieses Merkmal zwar notwendig aber nicht hinreichend ist und daher durch ein weiteres Merkmal ergänzt werden muß.

Die Mathematik kommt also „durch Konstruktionen“ vorwärts, sie „konstruiert“ immer verwickeltere Kombinationen. Indem sie dann durch die Analyse dieser Kombinationen, die man als selbständige Gesamtheiten bezeichnen könnte, zu ihren ursprünglichen Elementen zurückkehrt, wird sie sich der gegenseitigen Beziehungen dieser Elemente bewußt und leitet daraus die Beziehungen zwischen diesen Gesamtheiten selbst ab. [...]

Man hat mit Recht diesem Prozesse der Konstruktion eine große Wichtigkeit beigelegt, und man hat darin die notwendige und hinreichende Bedingung für die Fortschritte der exakten Wissenschaften erkennen wollen.

Notwendig? ohne Zweifel; aber hinreichend? nein! [...]

Wir können uns nur durch die mathematische Induktion erheben, denn sie allein kann uns etwas Neues lehren. Ohne die Hilfe dieser Induktion, welche in gewissem Sinne von der physikalischen Induktion verschieden, aber fruchtbar wie diese ist, würde die Konstruktion nicht im stande sein, eine Wissenschaft aufzubauen.⁵⁶¹

Für Poincaré stellt sich demnach die Frage, welche Merkmale die Mathematik zum sicheren Gang einer Wissenschaft verhelfen, differenzierter als für Kant: (α) Sofern es um die euklidische Geometrie geht, genügt die *Konstruktion* und damit die Berufung auf eine *phänomen-orientierte, sinnliche Intuition*. (β) Sobald es aber um die Mathematik (Arithmetik, Algebra, Analysis) geht, benötigt die Wissenschaft neben der Konstruktion von Zahlenbeziehungen noch die *vollständige Induktion* und damit auch eine *struktur-orientierte, rationale Intuition*. Die Arithmetik kann auf die mathematische Induktion nicht verzichten. Im Unterschied zur Geometrie, die sowohl euklidische als auch nicht-euklidische Geometrien zuläßt, kann in der Arithmetik keine Alternative formuliert werden, die ohne mathematische Induktion auskommt.

Hilberts Begriff der Anschauung in der Mathematik

In einer Sammlung von Vorlesungen 1919 zum Thema *Natur und mathematisches Erkennen* analysiert Hilbert (1862 – 1943) im ersten Teil *Die übliche Auffassung von der Mathematik und ihre Widerlegung* Begriff, Funktionen und Grenzen der Anschauung in der Mathematik. Ergänzt werden die Ausführungen in seinem Vortrag *Über das Unendliche* von 1926. Auch Hilbert als Vertreter des Formalismus spricht der Intuition eine unverzichtbare Funktion für die Mathematik zu.

⁵⁶¹ Poincaré 1902, S. 15ff

1. Die Anschauung in der Mathematik. Hilbert beginnt seine Vorlesung mit dem explizit vorgetragenen Anspruch, erkenntnistheoretische Fragen aus mathematischer Perspektive zu behandeln. Dieser Anspruch ist deshalb bemerkenswert, weil er gerade den zentralen Gedanken zum Ausdruck bringt, daß eine erfolgreiche Erkenntnistheorie entscheidend auf einem adäquaten Mathematikverständnis beruht.

[...], daß es eine der höchsten Aufgaben für die Philosophie ist, die Fragen zu untersuchen, wie Wissen zustandekommt, was Wissen ist und bezweckt. [...] Meine Vorlesung soll also eine Art Vorbereitung für eine Erkenntnistheorie bilden. Dazu bedarf es, daß wir Kenntnis nehmen von den verschiedenen Sorten der Erkenntnis, sowohl von den scheinbar trivialsten Wahrheiten wie von den jüngsten Ergebnissen wissenschaftlicher Forschung. Entscheidend für die Berücksichtigung der einzelnen Tatsachen soll für uns sein, inwieweit sie beitragen zur Gewinnung einer befriedigenden Einsicht in das Wesen der Erkenntnis selbst.⁵⁶²

Die Ansicht, daß die Mathematik nur eine Ansammlung von Definitionen, Axiomen und Beweisen sei, hält Hilbert für unzutreffend. Wäre dies so, dann wäre die Mathematik in einem Maße der willkürlichen Begriffsbildung ausgesetzt, daß völlig unverständlich bliebe, weshalb sie so gut auf die Wirklichkeit paßt. Hilbert verwirft diese Ansicht als unzutreffend und macht drei Einwände geltend, denenzufolge nicht allein das logische Schließen der Mathematik zugrundeliege, sondern auch die Intuition im Spiel ist.

- (i) Die **Begriffsbildung**: Der erste Einwand bezieht sich auf die Bildung der Grundbegriffe. Diese werden zunächst in der Anschauung gebildet. Sie können aber zu Widersprüchen oder Unvollständigkeiten führen und müssen dann mit mathematischen Methoden präzisiert werden. Dabei muß die Korrektur der Begriffsbildung wesentlich auf die Instrumente einer operativ verstandenen Mathematik zurückgreifen.
- (ii) Die **Axiomatisierung**: Der zweite Einwand hebt hervor, daß die Mathematik von bestimmten Axiomen ausgehen muß, deren Wahl zunächst der Anschauung verpflichtet ist. Auch hier ist zuallererst die Frage nach der Widerspruchsfreiheit zu stellen und darüber hinaus die weitere Frage nach der Tragfähigkeit der Axiome. Ein Mangel in der Tragfähigkeit erzwingt eine „Tieferlegung der Fundamente“.
- (iii) Die **Schlußfolgerungen**: Der letzte Einwand verweist darauf, daß mathematische Schlußfolgerungen versteckte Vorannahmen beinhalten können, die explizit gemacht, überprüft und gegebenenfalls modifiziert werden müssen.

Im folgenden sollen die Funktionen und Grenzen der Anschauung an speziellen Beispielen diskutiert werden.

⁵⁶² Hilbert 1919, S. 3

2. Beispiel: Kontinuumsbegriff. Wie zuvor Poincaré, verdeutlicht auch Hilbert seine Position am Beispiel des mathematischen Kontinuums. Dabei geht seine Argumentation aber einen wichtigen Schritt weiter.

Wäre die dargelegte Ansicht zutreffend, so müßte die Mathematik nichts anderes als eine Anhäufung von übereinander getürmten logischen Schlüssen sein. Es müßte ein wahlloses Aneinanderreihen von Folgerungen stattfinden, bei welchem das logische Schließen allein die treibende Kraft wäre. Von einer solchen Willkür ist aber tatsächlich keine Rede; vielmehr zeigt sich, daß die Begriffsbildungen in der Mathematik beständig durch Anschauung und Erfahrung geleitet werden, so daß im großen und ganzen die Mathematik ein willkürfreies, geschlossenes Gebilde darstellt.⁵⁶³

Zu dieser Lenkung von außen her, welche die Mathematik erfährt, kommt nun aber noch eine innere Tendenz der Mathematik zur Systematik, [...].

Es handelt sich dabei um den Gesichtspunkt der *Vollständigkeit* des Zahlensystems. Ein System von Dingen, zwischen denen gewisse Relationen bestehen, heißt mit Bezug auf bestimmte Eigenschaften dieser Relationen ein vollständiges, wenn es bei Aufrechterhaltung dieser Eigenschaften keiner Erweiterung mehr fähig ist.⁵⁶⁴

Der Anschauung kommt eine heuristische Funktion für die Begriffsbildung zu.

- (i) Zunächst wird das Kontinuum 1. Art eingeführt. Dieses wird arithmetisch repräsentiert durch die rationalen Zahlen \mathbf{Q} . Dieser Zahlbereich ist aber kein vollständiges System. Eine Erweiterung des Zahlbereichs durch Dedekindsche Schnitte ist möglich.
- (ii) Damit ist das Kontinuum 2. Art eingeführt. Dieses wird arithmetisch repräsentiert durch die reellen Zahlen \mathbf{R} . Dieser Zahlbereich ist ein vollständiges System. Dennoch stellt sich die Frage, ob es möglich ist, weitere Zahlen einzufügen um so eine erneute Erweiterung des Zahlbereichs zu erreichen. Tatsächlich ist es logisch möglich, eine Zahl $\boldsymbol{\varepsilon}$ zu definieren, für die gilt: $\boldsymbol{\varepsilon} > \mathbf{0}$ und $\boldsymbol{\varepsilon} < \mathbf{1/n}$ für $\mathbf{n} \in \mathbf{N}^+$ und die aus dem Kontinuum 2. Art hinausführt. Durch eine geeignete Definition weiterer Zahlen läßt sich der Zahlbereich wiederum erweitern.
- (iii) Damit ist das Kontinuum 3. Art eingeführt. Dieser Zahlbereich beinhaltet die Konsequenz, daß das archimedische Meßbarkeitsaxiom seine Gültigkeit verliert. Der Verzicht auf das Meßbarkeitsaxiom führt aber dazu, daß dieser Zahlbereich kein vollständiges System ist und auch nicht mehr zu einem neuen System erweitert werden kann, das dem Vollständigkeitsaxiom genügt.

Für einen Zahlbereich, der speziell auf die Anwendbarkeit auf physikalische Phänomene zugeschnitten ist, sind zwei Axiome grundlegend: (α) das Vollständigkeitsaxiom und (β) das

⁵⁶³ Hilbert 1919, S. 5

⁵⁶⁴ Hilbert 1919, S. 11f

Meßbarkeitsaxiom. Das Meßbarkeitsaxiom ist durch den empirischen Befund motiviert, das Vollständigkeitsaxiom hingegen durch systematische Überlegungen.

Dieses Archimedische Postulat ist bei dem Kontinuum dritter Art nicht erfüllt. [...] Nun werden wir aber diese Forderung ohne zwingenden Anlaß nicht preisgeben. Und ein solcher Anlaß liegt in unserer Erfahrung auch gar nicht vor, vielmehr besteht die bemerkenswerte Tatsache, daß alle Abstände in der Natur miteinander zahlenmäßig vergleichbar sind. Die größten astronomischen Entfernungen sowie die kleinsten Abstände, wie wir sie bei den Atomen und Elektronen finden, lassen sich alle durch Vielfache und Bruchteile eines Zentimeters ausdrücken. Daher ist das Kontinuum dritter Art, [...] für den Zweck der mathematischen Auffassung des Stetigen abzulehnen, [...].⁵⁶⁵

Die Erweiterung des Zahlbereichs und der damit verknüpfte Kontinuumbegriff werden zwar von der Anschauung angeregt und von der Erfahrung geleitet, erschöpfen sich aber nicht darin. Es muß eine innere Systematik hinzukommen, die das Vollständigkeitsaxiom zum Ausdruck bringt. Der Zahlbegriff kann also gerade nicht auf die Zeitanschauung gegründet werden.

3. Beispiel: axiomatische Methode der Geometrie. Die Geometrie muß bestimmte Grundannahmen voraussetzen, um auf dieser Grundlage Sätze und Beweise aufstellen zu können. Hilbert bestreitet, daß der Grund für den Erfolg und die Sicherheit der mathematischen Wissenschaft darin zu sehen ist, daß sie nur ganz einleuchtende Annahmen zugrundelegt, über die gar nicht gestritten werden kann. Dabei verweist er auf die Entwicklungen in der Geometrie und Physik seit Kant.

Der Gesichtspunkt des Einleuchtenden hat nämlich das Mißliche, daß keine volle Einhelligkeit darüber besteht, was als selbstverständlich zu gelten hat. Oftmals ist ein Fortschritt unserer Erkenntnis gerade dadurch zustande gekommen, daß man sich davon überzeugt hat, daß etwas, was man für selbstverständlich hielt, in Wahrheit nicht selbstverständlich ist. In den Voraussetzungen, die als unmittelbar einleuchtend erscheinen, sind mitunter Vorurteile enthalten, und die Überwindung eines solchen Vorurteils kann einen wichtigen Fortschritt für die Wissenschaft bedeuten. In der Betonung dieses Gedankens geht ein neuerer Philosoph so weit, daß er die Maxime aufstellt: „Beargwöhne jeden Satz als falsch, der dir evident, denknotwendig und unbezweifelbar erscheint.“⁵⁶⁶

Der Aufbau der axiomatischen Methode hat sich in vier Stufen vollzogen: (α) Zunächst wird die Geometrie in „Rezeptform“ betrieben. Sie dient hauptsächlich dazu, konkrete Aufgaben der Baukunst und der Landvermessung zu bewältigen. Daher werden Einzelfälle im Sinne von Musteraufgaben behandelt. (β) Mit den Pythagoreern beginnt der axiomatische Aufbau der Geometrie. Sie findet ihren vorläufigen Abschluß mit der Axiomatisierung der Geometrie

⁵⁶⁵ Hilbert 1919, S. 11

⁵⁶⁶ Hilbert 1919, S. 16

nach Euklid. Grundbegriffe werden durch explizite, anschauliche Definitionen eingeführt, Konstruktionspostulate sichern die Existenz geometrischer Figuren und unmittelbar einleuchtende Axiome bilden den Ausgangspunkt für den gesamten Aufbau einer synthetisch formulierten Geometrie. (γ) Die widerspenstigen Fragen nach dem Parallelenaxiom geben den Anstoß, Axiome versuchsweise zu modifizieren und die damit verknüpften Konsequenzen zu studieren. Dies führt zur Konstruktion nicht-euklidischer Geometrien mit den Mitteln der analytischen Darstellung. (δ) In einem abschließenden Schritt wird die axiomatische Methode von Hilbert dahingehend modifiziert, daß implizite Definitionen von Grundbegriffen zugrundegelegt werden, die nur noch durch einen allgemeinen Kalkül bestimmt sind. Für die Konkretisierung ist eine Interpretation des Kalküls erforderlich.

Hierzu ist es nötig, die Voraussetzungen deutlich herauszuarbeiten, und überall genau zu unterscheiden, was Annahme und was logische Folgerung ist. Dadurch gewinnt man insbesondere Klarheit über alle unbewußt gemachten Voraussetzungen, und man erkennt die Tragweite der verschiedenen Annahmen, so daß man übersehen kann, was für Modifikationen sich ergeben, falls eine oder die andere von diesen Annahmen aufgehoben werden muß. Dies ist die *regressive Aufgabe* der Mathematik.⁵⁶⁷

Die Konstruktionspostulate zur Sicherung der Existenz geometrischer Figuren sind nicht mehr vorgesehen; die Widerspruchsfreiheit und die Fruchtbarkeit ist ausreichend für die Existenzannahmen der Mathematik. Grundbegriffe und Axiome sind nicht mehr an die Anschauung gebunden. Hilbert nennt es die *regressive Aufgabe* der Mathematik, die unausgesprochenen Voraussetzungen herauszuarbeiten.

4. Beispiel: Das Unendliche & die Einführung idealer Elemente. Für Hilbert sind die wichtigsten Probleme der mathematischen Grundlagen mit dem *Unendlichkeitsbegriff* verknüpft. Dieser Begriff entzieht sich gerade der Anschauung, die sich immer nur auf das Endliche beziehen kann. Allerdings spricht der empirische Befund auch dafür, daß das Unendliche in der Wirklichkeit überhaupt nicht in Erscheinung tritt.

Das Unendliche hat wie keine andere Frage von jeher so tief das *Gemüt* der Menschen bewegt; das Unendliche hat wie kaum eine andere *Idee* auf den Verstand so anregend und fruchtbar gewirkt; das Unendliche ist aber auch wie kein anderer *Begriff* so der *Aufklärung* bedürftig.⁵⁶⁸

Die Endlichkeit des Wirklichen haben wir nun in zwei Richtungen festgestellt: nach dem Unendlichkleinen und dem Unendlichgroßen. Dennoch könnte es sehr wohl zutreffen, daß das Unendliche *in unserem Denken* einen wohlberechtigten Platz hat und die Rolle eines unentbehrlichen Begriffs einnimmt.⁵⁶⁹

⁵⁶⁷ Hilbert 1919, S. 17f

⁵⁶⁸ Hilbert 1926, S. 181

⁵⁶⁹ Hilbert 1926, S. 183

Die Zulässigkeit bestimmter Schlußverfahren bleiben auf dem Gebiet des Infinitesimalkalküls lange Zeit höchst umstritten. Der Grund liegt darin, daß Widersprüche auftreten, wenn allzu sorglos mathematische Sätze, die im endlichen Bereich gelten auf das Unendliche übertragen werden.

Es war eine grundlegende Erkenntnis, daß viele für das Endliche gültigen Sätze, z.B. der Teil ist kleiner als das Ganze, Existenz des Minimums und des Maximums, Vertauschbarkeit der Reihenfolge der Summanden oder Faktoren, nicht unmittelbar auf das Unendliche übertragen werden dürfen.⁵⁷⁰

Für eine operativ verstandene Mathematik ist die Einführung *idealer Elemente* von zentraler Bedeutung. Dieses Verfahren beinhaltet die Konsequenz, daß mathematische Strukturen einfacher, übersichtlicher und damit durch eine struktur-orientierte, rationale Intuition erfaßbar werden.

Eine völlig andere, ganz eigenartige Deutung und prinzipielle Erfassung des Unendlichkeitsbegriffes lernen wir an der Hand der so überaus wichtigen und fruchtbaren Methode *der idealen Elemente* kennen.⁵⁷¹

Dieses Verfahren der Einführung idealer Elemente ist eine der wichtigsten mathematischen Methoden, deren Anwendung sich bis in die höchsten Teile der Mathematik immer wiederholt. Genau genommen besteht das Verfahren darin, daß man von einem ursprünglichen System, welches sich in Hinsicht auf gewisse zu behandelnde Fragen kompliziert verhält, zu einem neuen System übergeht, bei welchem sich jene Verhältnisse einfacher gestalten und welches außerdem die Eigenschaft hat, ein Teilsystem zu enthalten, daß mit dem ursprünglichen System isomorph ist [...]. Und der Vorteil dabei ist, daß die Ausführung der Beweise nun innerhalb des neuen Systems geschieht, wo alles viel übersichtlicher wird.⁵⁷²

Es gibt nämlich eine Bedingung, eine einzige, aber auch absolut notwendige, an die die Anwendung der Methode der idealen Elemente geknüpft ist, und diese ist der *Nachweis der Widerspruchsfreiheit*: die Erweiterung durch Zufügung von Idealen ist nämlich nur dann statthaft, wenn dadurch also die Beziehungen, die sich bei Elimination der idealen Gebilde für die alten Gebilde herausstellen, stets im alten Bereiche gültig sind.⁵⁷³

Die Unanschaulichkeit von Unendlichkeiten läßt sich besonders gut illustrieren an Hilberts Hotel (vgl. Kapitel 2.4).

⁵⁷⁰ Hilbert 1926, S. 184

⁵⁷¹ Hilbert 1926, S. 183f

⁵⁷² Hilbert 1919, S. 90f

⁵⁷³ Hilbert 1926, S. 197

2.3 Der Begriff „intuitive Erkenntnis“

Der Begriff „intuitive Erkenntnis“ ist in der philosophischen Tradition abhängig von vorausliegenden epistemologischen Positionen und entsprechend uneinheitlich. Der fehlende Konsens hinsichtlich der Begriffsbestimmung bleibt unbefriedigend und es erscheint daher sinnvoll, einen neuen Intuitionsbegriff auf einem empirisch gestützten epistemologischen Fundament zu formulieren. Die Gründe dafür liegen darin, daß den traditionellen Erkenntnislehren mehrfaches Versagen vorgeworfen werden muß: (α) sie übersehen relevante Fragen (phylogenetische, ontogenetische und kulturell bedingte Aspekte des Erkenntnisprozesses), (β) sie versuchen Scheinprobleme zu lösen (vollkommenes Wissen, letzte Begründungen), (γ) sie liefern widersprüchliche Lösungen für grundlegende Probleme (Existenz / Nicht-Existenz angeborener Ideen) und (δ) sie geben systematische Begründungen (Kategorien des Denkens aus Urteilstafel) anstatt empirische Begründungen.

Der neu explizierte Begriff „intuitive Erkenntnis“ ist dann – so ist hervorzuheben – nicht im Sinne eines in der Philosophie oder in der Physik explizit artikulierten Begriffs zu verstehen. Der Kerngedanke besteht hingegen darin, einen neuen Intuitionsbegriff maßzuschneidern und seine Fruchtbarkeit und Unverzichtbarkeit im Hinblick auf die Theorienkonstruktion einerseits und das Theorienverständnis andererseits zu begründen. (α) Zunächst geht es um eine Analyse des *Erkenntnisprozesses* und das – für den Menschen charakteristische – kognitive Vermögen, Phänomene auf mehrfache Weise strukturieren zu können. (β) Auf dieser Grundlage wird der Begriff der *intuitiven Strukturierung* als *drei-komponentiger* Begriff expliziert und als *Begriffskontinuum* gedeutet. (γ) Des weiteren wird der *Evidenzbegriff* untersucht, der in den traditionellen Erkenntnislehren für die Rechtfertigung des Erkenntnisanspruchs eine unverzichtbare, aber auch umstrittene Rolle spielt. Erst das Zusammenwirken von intuitiver Strukturierung und objektiver Evidenz führt zur intuitiven Erkenntnis. (δ) Abschließend soll das *Verhältnis der ontogenetischen zur wissenschaftstheoretischen Perspektive* der intuitiven Erkenntnis analysiert und das Analogie-Argument diskutiert werden.

Der Erkenntnisprozeß

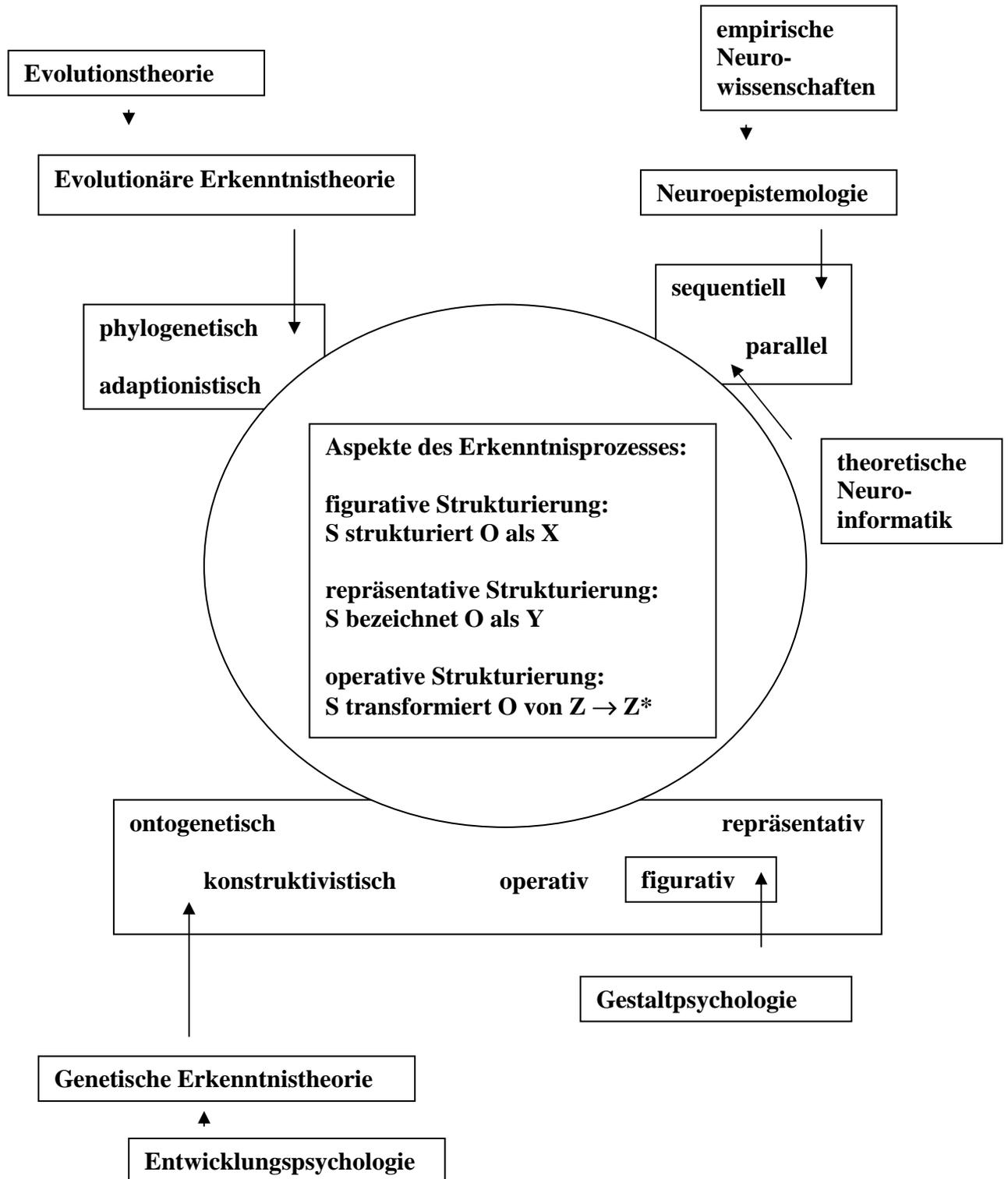
Die Analyse des Erkenntnisprozesses beinhaltet drei Aspekte: (α) die Angabe der ontologischen, epistemologischen und methodologischen *Grundthesen* und *Postulate*, auf deren Grundlage die Erörterung vorgenommen wird, (β) die Bestimmung der Erkenntnis als Ergebnis einer Strukturierung, die zwar auf mehrfache Weise möglich ist, aber dennoch nicht beliebig ist, sondern eingeschränkt wird durch *constraint-Bedingungen* (neurologisch, phylogenetisch, ontogenetisch, kulturell bedingt) und (γ) die Erörterung verschiedener Aspekte der Strukturierungsleistungen (figurativ, repräsentativ, operativ) und die Konkretisierung und Begründung der *Strukturierungsformen*.

Für die Explikation des Begriffs „intuitive Erkenntnis“ werden vier *Grundthesen* zugrundegelegt, die sich aus dem ersten Teil dieser Studie ergeben haben:

- (i) **1. Grundthese:** Die Analyse des Erkenntnisprozesses ist abhängig von der vorausliegenden epistemologischen Grundposition. Das Fundament sollte eine *empirisch gestützte Erkenntnistheorie* sein. Diese entsteht aus einem konstruktiven Zusammenwirken verschiedener empirischer Disziplinen mit philosophischen Reflexionen. Das Instrumentarium zur Analyse des Erkenntnisprozesses wird auf dieser Grundlage neu entwickelt.
- (ii) **2. Grundthese:** Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie führt die bereits gut formulierten Ansätze der *Evolutionären Erkenntnistheorie* und der *Genetischen Erkenntnistheorie* zusammen und ergänzt bzw. modifiziert sie durch die Ergebnisse der *Gestaltpsychologie*, sowie der *empirischen Neurowissenschaften* und der *theoretischen Neuroinformatik*. Das Zusammenspiel verschiedener empirischer Disziplinen erhöht die Glaubwürdigkeit einzelner Aussagen: Wird eine Aussage von verschiedenen, voneinander unabhängigen empirischen Disziplinen belegt, dann kann diese Aussage als gut begründet gelten.
- (iii) **3. Grundthese:** Erkenntnis ist immer das Ergebnis einer Strukturierungsleistung. Jeder Strukturierung liegen bestimmte *Strukturierungsformen* zugrunde. Diese sind die Bedingungen der Möglichkeit von Erkenntnis. Ihre *Konkretisierung* und *Dynamik* unterscheidet sich in wesentlichen Aspekten von Kants Formen der Anschauung und Kategorien des Denkens. Sie werden empirisch begründet – insbesondere auf der Grundlage der Entwicklungspsychologie und der Neurowissenschaften – und gerade nicht aus systematischen Überlegungen zur aristotelischen Logik abgeleitet; sie unterliegen mit dem Erkenntnisfortschritt einer permanenten Entwicklung.
- (iv) **4. Grundthese:** Für die Explikation des Intuitionsbegriffs ist zwischen einer *mesokosmischen* und einer *wissenschaftlichen* Strukturierung zu unterscheiden. Die wissenschaftliche Strukturierung hat einen Teil der mesokosmischen Strukturierung mit den Mitteln ihrer Kontrollinstanzen (Logik, Mathematik, Experiment) kritisch geprüft und modifiziert; sie enthält dennoch „Restbestände“ der mesokosmischen Strukturierung.

Der Erkenntnisprozeß soll auf dem Hintergrund grundlegender *ontologischer, epistemologischer und methodologischer Postulate* expliziert werden, die das erkennende Subjekt **S**, das zu erkennende Objekt **O** und die Beziehung zwischen **S** und **O** betreffen. Diese Postulate dienen dazu, alle jene philosophischen Positionen auszusondern, die die Formulierung einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie prinzipiell ausschließen.

Empirisch gestützte Erkenntnistheorie



Zu diesen „fruchtlosen“ philosophischen Positionen gehören (α) der Solipsismus, (β) der Immaterialismus, (γ) der radikale Konstruktivismus, (δ) der Kreationismus, (ϵ) der Vitalismus und (ζ) eine anthropomorphe Teleologie. Sie sind gerade dadurch charakterisiert, daß sie entweder überhaupt keine **S–O**-Beziehung etablieren oder zumindest keine interaktiv geschlossene **S–O**-Beziehung, weil sie übernatürliche Wirkmechanismen benötigen, die einer wissenschaftlichen Untersuchung und Überprüfung prinzipiell nicht zugänglich sind. Wird die Notwendigkeit dieser Selbstbeschränkung zurückgewiesen, dann ist nicht mehr einzusehen, wie auch den hemmungslosesten Spekulationen noch Einhalt geboten werden kann.

- (i) Das **Realitätspostulat**: Es existiert eine Wirklichkeit **O** im ontologischen Sinne und zwar unabhängig von der Existenz kognitiver Systeme **S**, die diese Wirklichkeit wahrnehmen und erforschen können. Wird das Realitätspostulat abgelehnt, dann bleibt unklar, woran empirische Theorien – also auch Entwicklungspsychologie, Evolutionstheorie und empirische Neurowissenschaften – überhaupt scheitern können.
- (ii) Das **Strukturpostulat**: Die Wirklichkeit **O** ist strukturiert, die Phänomene sind hochgradig redundant und nach Naturgesetzen bestimmt. Diese Ordnungsstrukturen sind real, objektiv und notwendige Bedingungen für die Möglichkeit von Erkenntnis. Dabei bleibt offen, ob die Strukturen eindeutig zuweisbar sind oder nicht. Wird das Strukturpostulat abgelehnt und wäre demnach die Wirklichkeit ausschließlich chaotisch, dann müßte gesagt werden, (α) wie eine Wirklichkeit ohne Strukturen zu verstehen sein soll, (β) wie Erkenntnis neurologisch zustandekommt und (γ) wie es überhaupt kognitive Systeme **S** geben kann.
- (iii) Das **Postulat des Fremdpsychischen**: Es existieren verschiedene kognitive Systeme **S** (Katzen, Affen, Menschen), die ein unterschiedlich hoch entwickeltes Bewußtsein (Aufmerksamkeits-Bewußtsein, Ich-Bewußtsein, Reflexions-Bewußtsein) haben. Wird das Postulat des Fremdpsychischen abgelehnt, dann könnte nur noch auf das, allein der Introspektion zugängliche eigene Bewußtsein verwiesen werden. Die Ergebnisse der Evolutionstheorie, der Entwicklungspsychologie und der empirischen Neurowissenschaften wären dann irrelevant.
- (iv) Das **Interaktionspostulat**: Die Sinnesorgane eines kognitiven Systems **S** und die Wirklichkeit **O** treten in eine Interaktion. Ein großer Teil des sensorischen Input wird ausgefiltert; ein kleiner Teil wird sinnesspezifisch verarbeitet, d.h. bewertet, geordnet, strukturiert, durch gehirneigene Vorgaben ergänzt und dann als Information über die Wirklichkeit interpretiert und für ein überlebensadäquates Handeln verfügbar gehalten. Wird das Interaktionspostulat abgelehnt, dann zerfallen **S** und **O** in zwei getrennte Entitäten und die Vorzüge, die mit der Annahme des Realitätspostulats und des Strukturpostulats verbunden sind, gehen wieder verloren.

- (v) Das *Naturalismuspostulat (ontologisch)*: Jedes kognitive System **S** ist ein Teil der Natur und damit zuallererst ein Erkenntnisgegenstand der empirischen Wissenschaften. Gehirnläsionen und die damit verknüpften Funktionsstörungen kognitiver Fähigkeiten sind ein Indiz dafür, daß ausnahmslos alle kognitiven Leistungen an ein materielles Substrat gebunden sind. Insbesondere sind mentale Phänomene funktionale Zustände des Gehirns; sie werden durch physische Zustände komplexer Systeme realisiert. Damit wird ein Substanz-Dualismus (Gehirn – Geist) ausgeschlossen, demzufolge eine ontologisch selbständige immaterielle Substanz existiert, die für die kognitiven Fähigkeiten zuständig sein soll. Dabei bleibt aber offen, ob die kognitiven Fähigkeiten innerhalb eines Eigenschafts-Dualismus (physisch – mental) oder eher im Sinne monistischer Theorien zu verstehen sind.⁵⁷⁴
- (vi) Das *Naturalismuspostulat (epistemologisch)*: Alle Tatsachen bezüglich des zu erkennenden Objekts **O** und des erkennenden Subjekts **S** werden als prinzipiell analysierbar und erklärbar angesehen. Insbesondere ist auch der Wissenserwerb ein natürlicher Prozeß, der wesentlich auf den neuronalen Strukturen des Gehirns beruht. Die gehirninternen Verarbeitungsmechanismen der kognitiven Systeme sind prinzipiell mit den Mitteln der empirischen Wissenschaften zu erklären. Damit ist eine Absage an kreationistische, vitalistische und teleologische Theorien, die auf übernatürliche, dem Verstand unzugängliche und unverständliche Wirkmechanismen verweisen, d.h. eine heuristische Ignorabimusthese soll abgewiesen werden.
- (vii) Das *Naturalismuspostulat (methodologisch)*: Die Untersuchung des Gehirns gibt Auskunft über die Mechanismen des Wissenserwerbs. Das menschliche Gehirn als Gegenstand der empirischen Forschung ist aber äußerst problematisch. Da der direkte Eingriff ethisch nicht vertretbar ist, müssen verschiedene indirekte Verfahren eingesetzt werden. Einige wichtige Möglichkeiten sind (α) der Einsatz von nicht-invasiven, bildgebenden Verfahren; (β) die Beobachtungen von Funktionsstörungen an Menschen mit Gehirnerkrankungen oder Gehirnverletzungen; (γ) die Sezierung der Gehirne verstorbener Menschen; (δ) die Untersuchungen an anderen kognitiven Systemen (Katzen, Affen), die ein unterschiedlich hoch entwickeltes Bewußtsein haben und (ϵ) die Simulationen kognitiver Leistungen an neuronalen Netzen.⁵⁷⁵

⁵⁷⁴ Singer 2002; Walter gibt eine Liste von *prinzipiell* möglichen Relationen zwischen Gehirn und mentalen Prozessen an. Demzufolge könnten einige mentale Prozesse sein: (α) prinzipiell nicht erklärbar; (β) Prozesse einer mentalen Substanz; (γ) eins-zu-eins mit Gehirnprozessen korreliert; (δ) emergente Prozesse; (ϵ) auf physischen Prozessen supervenierend; (ζ) auf Gehirnprozessen mereologisch supervenierend; (η) typidentisch mit Gehirnprozessen; (θ) tokenidentisch mit Gehirnprozessen; (ι) abstrakte Beschreibung von Gehirnprozessen oder (κ) sprachliche Interpretationskonstrukte (vgl. Walter 1997, S. 167).

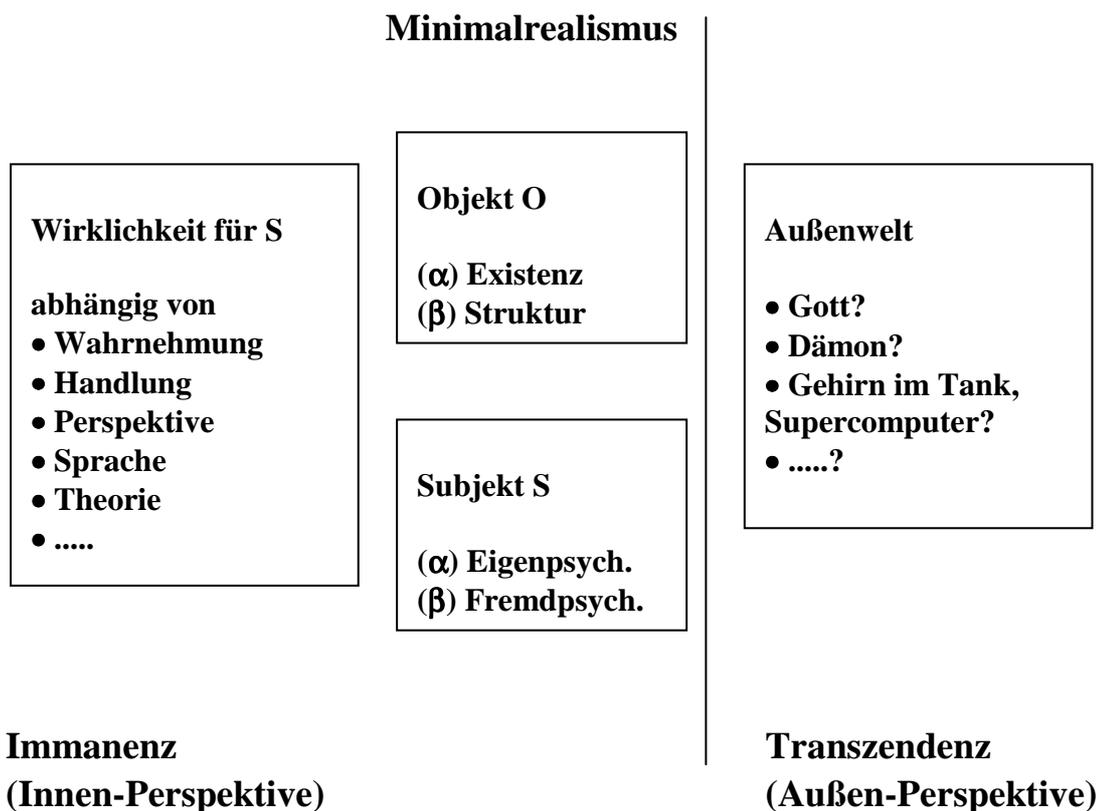
⁵⁷⁵ Die beiden letztgenannten Verfahren beinhalten einen *methodologischen Reduktionismus*, der besagt, daß relevante Aussagen zur Erkenntnistheorie bereits an einfacheren Modellen (Tiere, neuronale Netze) gewonnen werden können. Die Grundprinzipien der Verarbeitung und Kodierung von Informationen sind für alle

- (viii) Das **Konstruktionspostulat**: Der Mensch als hoch entwickeltes kognitives System konstruiert nach Maßgabe seiner jeweiligen ontogenetischen Reifung und kulturellen Entfaltung seine spezifische Wirklichkeit immer wieder neu und anders. Dabei werden die Strukturierungsformen nicht einfach an die Wirklichkeit herangetragen, sondern sie werden gewissermaßen „in ständiger Rücksprache mit der Wirklichkeit“ aufgebaut. Die Konstruktion der Wirklichkeit ist demnach nicht beliebig, sondern eingeschränkt durch constraint-Bedingungen: (α) Das kognitive System **S** unterliegt den strukturellen und funktionalen Bedingungen seiner Gehirn-Architektur. (β) Das kognitive System **S** extrahiert und kodiert beim Wissenserwerb die allgemeinen Strukturen des zu erkennenden Objekts **O**. Das kognitive System ist ein Struktur-Detektor der Wirklichkeit.
- (ix) Das **Kohärenzpostulat**: Die Anpassung der subjektiven Strukturen an die objektiven Strukturen der Wirklichkeit ist im Sinne einer inneren Kohärenz der subjektiven Strukturen zu verstehen, die als epistemologische Notwendigkeit (subjektive Evidenz) erfahren wird und dann vorliegt, wenn zwischen den sich ergänzenden Mechanismen der Assimilation und Akkomodation eine Äquilibration besteht. Der Prozeß des Erkenntniserwerbs wurzelt im selbstorganisierenden Lernen des erkennenden Subjekts **S** und manifestiert sich im fortwährenden Aufbau neuer kognitiver Strukturen. Dabei gibt es zwei wesentliche Aspekte: (α) die Segregation in verschiedene Substrukturen und (β) die Integration in neue Gesamtstrukturen. Das Ergebnis des Erkenntniserwerbs ist dann eine etablierte Harmonie zwischen Denken und Wirklichkeit.
- (x) Das **Wissenspostulat I**: Erkenntnis liegt auch dann vor, wenn das Wissen zwar non-verbal, aber erwartungs- und verhaltensrelevant ist. Wissen als Ergebnis von Lernprozessen ist in den Synapsengewichten gespeichert und dabei keinesfalls zwingend auf eine symbolisch-sprachliche Repräsentation angewiesen, sondern meint zuallererst die Kodierung prototypischer Objekte und Prozesse. Der Grundbegriff „Wissen“ der Erkenntnistheorie sollte sich nicht auf propositionales Wissen allein beschränken, sondern um eine weitere epistemologisch relevante Form des Wissens erweitert werden. Wird das Wissenspostulat abgelehnt, dann können die impliziten Annahmen, die als constraint-Bedingungen auch in empirischen Wissenschaften wirksam sind, nicht in den Blick genommen werden.

kognitiven Systeme gleich. Höhere epistemische Leistungen dürften demzufolge als Ausbau und Variation bereits bestehender Mechanismen zu verstehen sein. Der Simulation kognitiver Fähigkeiten an neuronalen Netzen liegt der Kerngedanke einer *Analogie* zugrunde. Diese Hypothese besagt, daß an neuronalen Netzen festgestellt werden kann, inwiefern bestimmte Systemeigenschaften im Prinzip ausreichen um eine bestimmte kognitive Leistung zu simulieren, d.h. verhält sich das neuronale Netz in den Simulationsexperimenten im Prinzip wie ein Gehirn, dann ist der Gedanke naheliegend, daß ähnliche Mechanismen vorliegen. Grundlage der Analogiehypothese ist das seit Galilei vorherrschende Wissenschaftsverständnis, demzufolge ein natürliches Phänomen dann als gut verstanden gelten kann, wenn es möglich ist, das Phänomen bzw. Teilaspekte des Phänomens experimentell herzustellen bzw. nachzubilden.

- (xi) Das **Wissenspostulat II**: Wissen liegt in zweifacher Form vor: (α) Das implizite, prozedurale Wissen, das in der Fähigkeit zur Sinnlichkeit, Beweglichkeit und Handlung des erkennenden Subjekts wurzelt und erwartungs- und verhaltensrelevant ist, sowie (β) das explizite, deklarative Wissen, das auf der Fähigkeit zur Symbol-, Sprach- und Schriftbildung des erkennenden Subjekts beruht.

Hier geht es zunächst nur um eine *Spezielle Erkenntnistheorie* im Sinne Piagets, d.h. um eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie, die bestimmte Postulate als epistemologisches Bezugssystem voraussetzt – in Übereinstimmung mit den Annahmen der empirischen Wissenschaften. Eine *Allgemeine Erkenntnistheorie* im Sinne Piagets müßte diese Postulate nochmals kritisch reflektieren, wobei die einzelnen Postulate in einem unterschiedlichen Maß modifikationsfähig sind. (α) Die Postulate (i) bis (iv) *dürfen nicht* aufgegeben werden um die Formulierung einer Erkenntnistheorie nicht grundlegend zu gefährden. Umgekehrt gewendet bedeutet dies: wenn diese vier Postulate abgelehnt werden, dann ist nicht mehr einzusehen, wie überhaupt eine Erkenntnistheorie sinnvoll formuliert werden kann.



Diese Postulate sind Aussagen einer Metatheorie und sie sind erforderlich um sich nicht in elementare Widersprüche zu verstricken. Sie etablieren die **S-O**-Relation und sie sind aus der Perspektive eines externen Standpunktes aufgestellt, der natürlich nur im Sinne eines

gedanklichen Konstrukts eingenommen werden kann. Sie beschreiben einen Minimalrealismus, der vermutlich auch bei einem eventuellen Wechsel des epistemologischen Bezugssystems beibehalten werden müßte. Auf der Subjektseite nimmt der hier postulierte Minimalrealismus die Existenz des *Eigenpsychischen* und des *Fremdpsychischen* an. Auf der Objektseite wird vorausgesetzt, daß eine Wirklichkeit **O** *existiert* und daß sie *strukturiert* ist, auch wenn es für sie keinen epistemischen Zugang gibt. Die Wirklichkeit **O** besitzt potentiell viele mögliche Strukturen. Die für das erkennende Subjekt **S** sich manifestierende Wirklichkeit wird durch die spezifischen Bedingungen, denen **S** unterliegt, mitbedingt. Dabei ist sowohl der Extremfall der beliebigen Strukturierungsmöglichkeiten auszuschließen als auch der Extremfall einer einzigen Strukturierungsmöglichkeit. Dies verdeutlicht sich insbesondere im Scheitern wissenschaftlicher Theorien. (β) Die Postulate (v) bis (vii) *sollten nur* dann aufgegeben werden, wenn der ontologische, epistemologische oder methodologische Teil der Naturalismusthese nachweislich nicht weit genug trägt.⁵⁷⁶ Das wäre insbesondere dann der Fall, wenn in einer weiter entwickelten empirisch gestützten Erkenntnistheorie prinzipielle Erklärungslücken auftreten. *Erklärungslückenargumente* im Zusammenhang mit speziellen Fragen zum menschlichen Bewußtsein werden derzeit kontrovers diskutiert, ohne daß die drohenden Konsequenzen für die Naturalismusthese schon absehbar wären.⁵⁷⁷ (γ) Die Postulate (viii) bis (x) *können möglicherweise* modifiziert werden, sofern sich herausstellen sollte, daß grundlegende Ergebnisse der Entwicklungspsychologie und der empirischen Neurowissenschaften bislang falsch interpretiert wurden. Dabei ist klar, daß jede wissenschaftliche Theorie einen bestimmten *Interpretationsspielraum* im Hinblick auf ihre Ergebnisse einschließt und es bleibt klärungsbedürftig, ob und inwieweit der verbleibende Interpretationsspielraum die Postulate (viii) bis (x) betrifft.

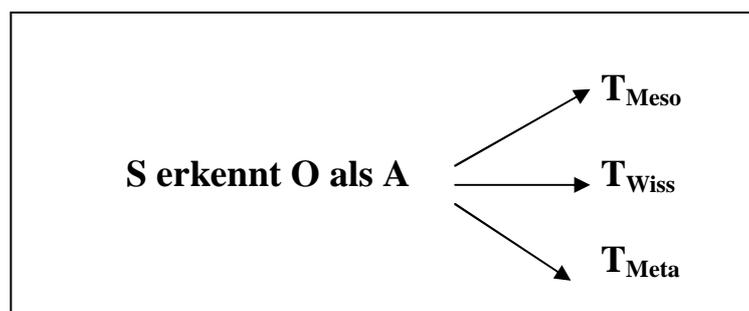
Anschließend soll das Verhältnis der Postulate (i) bis (iv) zu Kants Transzendentalphilosophie angesprochen werden. Im Hinblick auf die konstituierenden Elemente des Minimalrealismus besteht eine gewisse Parallele zu Kants *transzendentalen Ideen des Unbedingten*, die sich zwar denken, aber nicht erkennen lassen: (α) Die absolute Einheit des denkenden Subjekts als Gegenstand der transzendentalen Psychologie entspricht dem erkennenden Subjekt **S** – als eigenpsychisches Subjekt und als fremdpsychisches Subjekt. (β) Die absolute Einheit der Reihe der Bedingungen der Erscheinung als Gegenstand der transzendentalen Kosmologie entspricht dem zu erkennenden Objekt **O**. Im Gegensatz zu Kant wird dem Objekt aber nicht

⁵⁷⁶ Möglicherweise ist eine ontologische Naturalismusthese zu modifizieren, falls wissenschaftliche Forschungen zu Reinkarnations-Erlebnissen oder Nah-Tod-Erlebnissen positive Ergebnisse liefern sollten, die dann – als mögliche Konsequenz – eine Rückkehr zu einem Substanz-Dualismus erzwingen. Ist dies der Fall, dann könnte auch die epistemologische und methodologische Naturalismusthese modifizierungsbedürftig sein. Die wissenschaftlichen Untersuchungen scheinen bislang noch nicht in diese Richtung zu zeigen.

⁵⁷⁷ Hauptsächlich geht es bei den vermuteten Erklärungslücken um drei Problemgebiete, die eng miteinander verknüpft sind: (α) das Auftreten eines Ich-Bewußtseins als neue Systemeigenschaft des Gehirns, (β) der privilegierte Zugang zu den eigenpsychischen Zuständen durch die Introspektion (Erste-Person-Perspektive) und (γ) das Verhältnis von neuronalen und mentalen Zuständen. (vgl. Roth 2001, S. 205)

nur die Existenz, sondern auch potentiell viele mögliche Strukturen zugeschrieben. Das erkennende Subjekt **S** ist dann gewissermaßen ein Struktur-Detektor. (γ) Die absolute Einheit der Bedingung aller Gegenstände des Denkens überhaupt als Gegenstand der transzendentalen Theologie entspricht der Interaktion zwischen dem erkennenden Subjekt **S** und dem zu erkennenden Objekt **O**. Kant schreibt seinen transzendentalen Ideen nur eine methodologische, nicht aber eine ontologische Bedeutung zu. Im Zusammenhang mit der hier entwickelten *Speziellen Erkenntnistheorie* handelt es sich hingegen um realistisch gedeutete Konstituenten, die als kausalen Grund für eine, dem erkennenden Subjekt **S** zugängliche Wirklichkeit gelten können. Der Sache nach werden die Begriffe „Objekt“ und „Kausalität“, die zunächst nur auf der Ebene mesokosmischer oder wissenschaftlicher Strukturierungen Referenz besitzen und damit verfügbar sind, auf einer metatheoretischen Ebene verwendet. Im Rahmen einer *Allgemeinen Erkenntnistheorie* muß die Zulässigkeit und Widerspruchsfreiheit dieses Verfahren kritisch hinterfragt werden. Hier eröffnet sich ein Problemfeld, das genuin philosophisch ist.

Was ist Erkenntnis? Der erste Teil der Studie hat gezeigt, daß der Erkenntnisprozeß unter unterschiedlichen Aspekten erörtert werden muß, damit ein adäquates Verständnis möglich ist. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie begreift Erkenntnis einerseits als einen Prozeß und andererseits als ein Ergebnis. Jeder Erkenntnisprozeß ist ein interpretierender Akt, der von bereits gemachten Erfahrungen, Erwartungen, Vorurteilen, Überzeugungen und Vorlieben beeinflusst wird. Erkenntnis ist eine drei-gliedrige Relation, die verschiedenen Strukturierungsebenen zugeordnet werden kann:



Das erkennende Subjekt **S** erkennt das zu erkennende Objekt **O** als ein strukturiertes Ganzes **A**. Das Verständnis der Erkenntnisbedingungen wird einerseits von der Relativitätstheorie, der Quantentheorie und der Chaostheorie – bezogen auf das zu erkennende Objekt **O** – und andererseits von der Evolutionstheorie, der Entwicklungspsychologie, der Gestaltpsychologie und den empirischen Neurowissenschaften – bezogen auf das erkennende Subjekt **S** – tiefgreifend revolutioniert. Wissen im Sinne des *Wissenspostulats* entsteht durch die Anpassung der subjektiven Strukturen an die objektiven Strukturen der Wirklichkeit nach Maßgabe des *Konstruktionspostulats* und des *Kohärenzpostulats*, d.h. die Strukturierung hat jeweils eine Komponente, die auf das Erkenntnisobjekt zurückverweist und eine weitere

Komponente, die durch das erkennende Subjekt bedingt ist und vom Erkenntnisapparat, von den Erkenntnisfähigkeiten und von der jeweiligen Erkenntnisstufe abhängt. Die subjektiven Strukturen werden wesentlich von der phylogenetischen Entwicklung, der ontogenetischen Reifung und der kulturellen Entfaltung bestimmt. Die Erkenntnistheorie ist dann zuallererst im Sinne einer *constraint-Theorie* zu verstehen. Die adäquate philosophische Frage ist also nicht die Frage nach dem absolut wahren Wissen, sondern die Frage nach den einschränkenden Bedingungen für die völlige Beliebigkeit der Strukturierungsleistung. Die drei-gliedrige Relation soll im folgenden näher bestimmt werden:

- (i) Das **erkennende Subjekt S**: Im Laufe der Evolution entsteht durch die Mechanismen Mutation, genetische Rekombination und Selektion eine Hierarchie kognitiver Systeme $S_1, S_2, S_3, \dots S_M$ (Katze, Affe, Mensch), die auf jeder höheren Stufe neue Systemeigenschaften (genetische Fixierung, Lernfähigkeit, Handlungs- und Sprachfähigkeit, Vermögen zur Reflexion) zur Besetzung unterschiedlicher kognitiver Nischen ausbildet. In der Ontogenese durchläuft der Mensch vom Baby bis zum Erwachsenen drei verschiedene Entwicklungsstufen: (α) die senso-motorische Stufe S_{M1} , (β) die symbolisch-sprachliche Stufe S_{M2} und (γ) die operationale Stufe S_{M3} , in deren Abfolge sich die kognitiven Fähigkeiten schrittweise aufbauen. Die Unterschiede zwischen den kognitiven Systemen manifestieren sich in der Gehirn-Architektur, d.h. insbesondere durch eine enorme Zunahme und eine komplizierte Verschaltung von Inter-Neuronen beim Menschen. Das erkennende Subjekt muß bestimmten notwendigen Bedingungen genügen, damit Erkenntnis möglich ist. Hierzu gehört aus phylogenetischer Perspektive die Sprach- und Handlungsfähigkeit. Des weiteren ist die Kodierung der Informationen zu nennen, die wesentlich nach den Kriterien der Ähnlichkeit, Häufigkeit und Relevanz erfolgt. Demzufolge ist das erkennende Subjekt gewissermaßen ein Struktur-Detektor. Darüber hinaus ist die Plastizität der neuronalen Verschaltung hervorzuheben. Dies meint die selbstorganisierende Veränderung der Synapsengewichte im Lernprozeß, wie dies prinzipiell in Kohonen-Netzwerken simuliert werden kann. Die spezielle Architektur der Neuronenverbände – insbesondere die Verschaltung der senso-motorischen Neuronen mit mehreren Schichten von Inter-Neuronen – ermöglicht es dem erkennenden Subjekt, Phänomene zu klassifizieren, fehlende Informationen sinnvoll zu ergänzen und Prototypen von Objekten und Prozessen zu bilden.
- (ii) Das **zu erkennende Objekt O**: Nach dem Realitäts- und dem Strukturpostulat existiert eine, nach Naturgesetzen strukturierte Wirklichkeit O_0 , und zwar unabhängig von der Existenz kognitiver Systeme, die diese Wirklichkeit wahrnehmen und erforschen können. Nach dem Postulat des Fremdpsychischen existieren verschiedene kognitive Systeme, die jeweils einen für sie charakteristischen Ausschnitt der Wirklichkeit $O_1, O_2, O_3, \dots O_M$ erfassen und nach den Gesetzmäßigkeiten ihrer kognitiven Fähigkeiten

konstituieren können. Die jeweiligen Ausschnitte der Wirklichkeit unterscheiden sich sowohl quantitativ (die Größe des Ausschnitts) als auch qualitativ (die strukturelle Beschaffenheit des Ausschnitts). In den drei Entwicklungsstufen der Ontogenese konstruiert der Mensch eine Abfolge von Wirklichkeiten O_{M1} , O_{M2} , O_{M3} , nach Maßgabe der kognitiven Fähigkeiten, die er bereits aufgebaut hat. Derjenige Ausschnitt, der dem vorwissenschaftlichen Menschen senso-motorisch zugänglich ist, ist der Mesokosmos O_{Meso} . Als Folge der kulturellen Entfaltung des Menschen wird die Wirklichkeit sukzessive durch die Technik zu einem erweiterten Mesokosmos O_{Meso1} , O_{Meso2} , O_{Meso3} verändert, d.h. der Mesokosmos eines Steinzeit-Menschen unterscheidet sich grundlegend vom Mesokosmos des Aristoteles und dieser wiederum unterscheidet sich vom Mesokosmos eines Menschen des 21. Jahrhunderts. Darüber hinaus verfügt der naturwissenschaftlich geschulte Mensch über eine zusätzliche Erweiterung seines Ausschnitts der Wirklichkeit (Mikrokosmos \leftarrow Mesokosmos \rightarrow Makrokosmos). Dieser erweiterte Wirklichkeitsbereich O_{Wiss} ist experimentell-technisch erschlossen und logisch-mathematisch formalisiert; er genügt strukturell neuartigen Gesetzen, die nicht mehr anschaulich sind. Gemäß den Ergebnissen der empirischen Neurowissenschaften muß das zu erkennende Objekt bestimmten notwendigen Bedingungen genügen, damit für das erkennende Subjekt Erkenntnis möglich ist. Hierzu gehören die Strukturiertheit und Redundanz der Phänomene.

- (iii) Die **Strukturierung A**: Wenig entwickelte kognitive Systeme verfügen nur über eine genetisch fixierte Strukturierungsmöglichkeit. Höher entwickelte kognitive Systeme hingegen sind in einem jeweils für ihre Art charakteristischen Ausmaß lern- und bewußtseinsfähig. Durch Lernprozesse erwerben sie die Fähigkeit, Sinneswahrnehmungen zu strukturieren um ein überlebensadäquates Handeln zu ermöglichen. Diese Strukturierungsmöglichkeiten A_1 , A_2 , A_3 , ... der nicht-menschlichen kognitiven Systeme sind intuitiv, eindeutig und festgelegt. Im Unterschied dazu verfügt der Mensch über verschiedene Möglichkeiten der Strukturierung. Grundlegend für dieses kognitive Vermögen sind die Fähigkeiten zur Handlung und Sprache, die ungewöhnlich lange andauernde ontogenetische Reifung und der lebenslange Verbleib in einem jugendlichen Zustand, der charakterisiert ist durch Neugier und Lernbereitschaft (Neotenie). In den drei Entwicklungsstufen der Ontogenese wird gemäß den Mechanismen der Assimilation und Akkomodation eine Abfolge subjektiver Strukturen A_{M1} , A_{M2} , A_{M3} aufgebaut. Jede folgende Stufe rekonstruiert die vorhergehende auf einer abstrakteren Ebene und vervollständigt bereits begonnene Strukturierungsansätze. Die Strukturierungsmöglichkeiten unterliegen bestimmten constraint-Bedingungen, die zwar eine völlige Beliebigkeit einschränken, aber dennoch einen großen Spielraum belassen: (α) Die Simulation an neuronalen Netzen zeigt, daß die Fähigkeit zur Strukturierung wesentlich von der Architektur und Verschaltung der Neuronenverbände bestimmt wird. (β) Die

Evolutionäre Erkenntnistheorie hebt hervor, daß aus der Menge der Strukturierungsmöglichkeiten, die überlebensrelevanten, aber inadäquaten ausgesondert und verworfen werden. (γ) Die Gestaltpsychologie und die Genetische Erkenntnistheorie sehen die Menge der Strukturierungsmöglichkeiten durch Strukturierungsgesetze eingeschränkt, wobei die Gestaltpsychologie den statischen, auf die visuelle Wahrnehmung bezogenen Aspekt betont und die Genetische Erkenntnistheorie den dynamischen, auf die menschliche Handlung bezogenen Aspekt hervorhebt.

Welche Möglichkeiten der Strukturierungen hat der Mensch? Strukturierungen sind auf drei verschiedenen Ebenen möglich: (α) die *mesokosmischen Strukturierungen*, (β) die *wissenschaftlichen Strukturierungen* und (γ) die *metatheoretischen Strukturierungen*. Der Mesokosmos ist derjenige Ausschnitt der Wirklichkeit, auf den der Mensch durch die phylogenetische Entwicklung, die ontogenetische Reifung und die kulturelle Standardausbildung geprägt ist, d.h. der dem Menschen direkt durch Sinne und Verstand wahrnehmend und handelnd zugänglich ist. Die Grenzen des Mesokosmos lassen sich nicht exakt bestimmen, da der Begriff prinzipiell anthropozentrisch ist und damit in mehrfacher Weise Spielräume einschließt. Einerseits meint dies einen individuellen Spielraum, der mit der individuellen Entwicklung zusammenhängt und andererseits einen kulturellen Spielraum, der wesentlich von der Veränderung der Lebenswelt durch Wissenschaft und Technik abhängt und den Mesokosmos erweitert. Ausgeschlossen sind jedoch immer besonders kleine Systeme, besonders große Systeme, Systemeigenschaften, für die keine Sinnesorgane verfügbar sind, stark vernetzte Systeme mit komplizierten Kausalstrukturen und Systeme mit komplizierter Zeitentwicklung. Darüber hinaus verfügt der naturwissenschaftlich geschulte Mensch über die Strukturierung eines erweiterten Wirklichkeitsbereichs, der mathematisch-experimentell erschlossen ist und strukturell neuartigen Gesetzen genügt. Die Gesamtheit der Strukturierungsmöglichkeiten auf der *Objektebene* werden somit in zwei Klassen eingeteilt, die sich in ihren Strukturmerkmalen grundlegend unterscheiden. Darüber hinaus gibt es noch die *Metaebene*, die in besonderer Weise von den Fähigkeiten zur Reflexion Gebrauch macht und die den verbleibenden Spielraum für Strukturierungsalternativen reflektiert.⁵⁷⁸

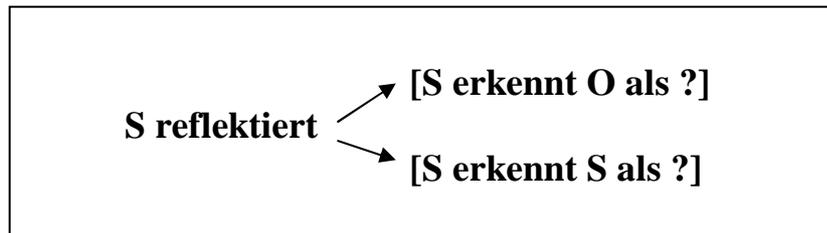
- (i) Die *mesokosmische Strukturierung* $T_{Meso} = \{T_{Meso1}, T_{Meso2}, T_{Meso3} \dots\}$: Diese Strukturierung meint die Alltagserfahrung eines erweiterten Mesokosmos in Abhängigkeit vom technischen Stand. Sofern sie sich begrifflich äußert, ist sie in Alltagsbegriffen gehalten. Die mesokosmische Strukturierung ist überlebensadäquat, erwartungs- und verhaltensrelevant, phänomen-orientiert, widerspruchstolerant und

⁵⁷⁸ Zur Veranschaulichung könnte die Analogie zum Autokauf hilfreich sein. Autos müssen mit einer minimalen Standardausstattung ausgerüstet sein, damit sie überhaupt fahrtauglich sind. Darüber hinaus gibt es je nach den Vorlieben des Autobesitzers verschiedene Luxusausstattungen. Die Fähigkeit zur mesokosmischen Strukturierung entspricht der „Standardausstattung“, die den Menschen zu einer überlebensadäquaten Handlung befähigt. Die Fähigkeit zur wissenschaftlichen Strukturierung wäre demnach im Sinne einer „Luxusausstattung“ zu begreifen.

einem naiven Realismus verpflichtet. Sie ist nur konstitutiv für einen Teil der, dem Menschen möglichen Erkenntnis. Sie hat sich in der Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit herausgebildet und ist an den Mesokosmos angepaßt. Außerhalb des Mesokosmos muß diese Strukturierung nicht notwendig adäquat sein. Die mesokosmische Strukturierung stützt sich auf einen vorwiegend unkritischen Gebrauch von sprachlichen Mitteln, induktiven Schlüssen und Verallgemeinerungen, sowie einfachen algorithmischen Rechenverfahren. Sie beschränkt sich auf Alltagslogik und Alltagsmathematik. Sie ist nur erfolgs-orientiert d.h. sie zielt lediglich darauf ab, ein gewünschtes Ziel erfolgreich zu erreichen und sie zielt gerade nicht darauf ab, widerspruchsfreies und wahres Wissen zu erwerben.

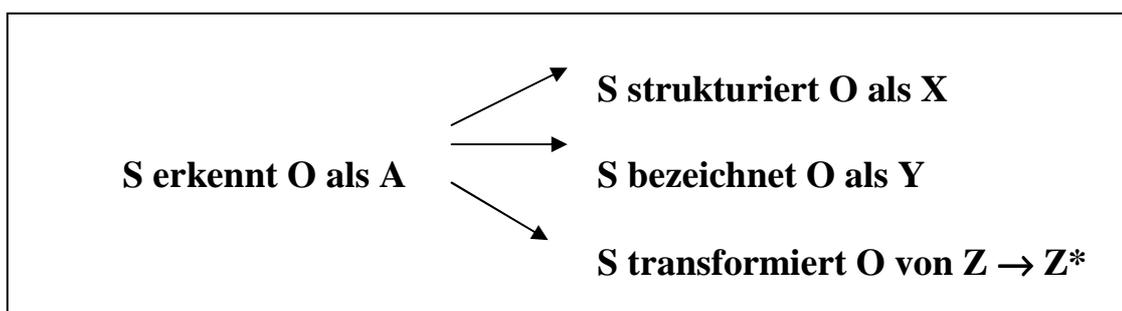
- (ii) Die *wissenschaftliche Strukturierung* $T_{Wiss} = \{T_{Wiss1}, T_{Wiss2}, T_{Wiss3} \dots\}$: Diese Strukturierung bedient sich wissenschaftlicher Begriffe und Prinzipien, mathematischer Formalismen und methodischer Verfahren. Sie ist struktur-orientiert, einer kritischen Realismus-Variante verpflichtet und sie beruft sich auf Kontrollinstanzen (Logik, Experiment, Mathematik). Die Theorien sind (teilweise) nach der axiomatischen Methode aufgebaut. Die Abfolge von Theorien ist jedoch nicht einfach nur als Möglichkeit von Strukturierungsalternativen zu verstehen, sondern in einem noch näher zu präzisierenden Sinne mit einem Erkenntnisfortschritt verknüpft. Die wissenschaftliche Strukturierung strebt nach Widerspruchsfreiheit und Wahrheit.
- (iii) Die *metatheoretische Strukturierung* $T_{Meta} = \{T_{Meta1}, T_{Meta2}, T_{Meta3} \dots\}$: Diese Strukturierung reflektiert den Erkenntnisprozeß auf der metatheoretischen Ebene. Sie beginnt mit einer Speziellen Erkenntnistheorie, die auf speziellen, explizit formulierten Postulaten als einem möglichen Bezugssystem aufbaut. Der Geltungsanspruch der Speziellen Genetischen Erkenntnistheorie hängt dabei entscheidend von der Geltung, der Tragfähigkeit und der Tragweite dieses speziellen Bezugssystems ab. Dies zu klären geht über den Aufgabenbereich der empirischen Wissenschaften hinaus; es ist die genuine Aufgabe der Philosophie. Die metatheoretische Strukturierung schreitet fort zu Allgemeinen Erkenntnistheorien, indem sie diese speziellen Postulate einer tiefergehenden Reflexion unterzieht und gegebenenfalls modifiziert. Damit wird ein kritisches Verständnis des Bezugssystems erreicht und die Einsicht gewonnen, daß auch eine Erkenntnistheorie nur über Assimilationsinstrumente verfügt, die die Wirklichkeit nie an sich erkennen lassen. Vom Standpunkt einer Allgemeinen Erkenntnistheorie existiert also kein Mittel, um das Problem der Grenzen zwischen Objekt und Subjekt mit Sicherheit zu lösen, wenn erst einmal das Bezugssystem aufgegeben ist, auf das sich die Spezielle Erkenntnistheorie stützt. Die metatheoretische Strukturierung ist einem gemäßigten Konstruktivismus verpflichtet und zielt auf die Kohärenz ihrer Erkenntnisse.

Das spezielle Vermögen zur Reflexion betrifft zum einen die Objektseite und zum anderen die Subjektseite (Selbstreflexion).

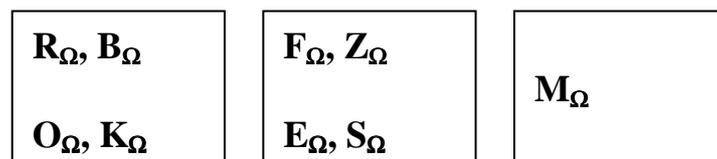


Wie ist das Verhältnis von mesokosmischer Strukturierung zur wissenschaftlicher Strukturierung? Die mesokosmische Strukturierung ist eine notwendige Bedingung für die wissenschaftliche Strukturierung; sie ist dies in doppelter Hinsicht. (α) Die *Theorienkonstruktion*: Die mesokosmische Strukturierung bildet den Ausgangspunkt für erste wissenschaftliche Strukturierungen. Alle naturwissenschaftlichen Theorien beginnen zunächst mit Konzeptionen, die fest im Alltagsverständnis wurzeln. (β) Das *Theorienverständnis*: Die Wissenschaft muß zum Verständnis ihrer abstrakten Theorien wieder die Anbindung an die mesokosmische Strukturierung herstellen. Wissenschaftliche Strukturierung bedeutet, daß Teile der mesokosmischen Strukturierung durch die von der scientific community akzeptierten Kontrollinstanzen (Logik, Experiment, Mathematik) einer kritischen Prüfung unterzogen und gegebenenfalls modifiziert werden. Umgekehrt ist aber auch klar, daß nie der gesamte Bestand der mesokosmischen Strukturierung auf den Prüfstand gestellt werden kann; es bleiben auch in wissenschaftlichen Theorien „Restbestände“ der mesokosmischen Strukturierung übrig. Der wissenschaftliche Erkenntnisfortschritt zielt dann auf die Verkleinerung dieser ungeprüften „Restbestände“.

In einem weiteren Schritt werden die *Strukturierungsformen* konkretisiert und begründet. Die allgemeine Strukturierung A ist in einer differenzierteren Analyse des Erkenntnisprozesses gemäß den Einsichten der Evolutionären Erkenntnistheorie und der Genetischen Erkenntnistheorie unter drei speziellen Aspekten zu erörtern:



Tiere verfügen über senso-motorische Fähigkeiten; Menschen zeichnen sich darüber hinaus noch durch Sprach- und Handlungsfähigkeit aus, sowie das Vermögen zur Reflexion. Dies schlägt sich im Erkenntnisprozeß nieder in der besonderen Fähigkeiten, *Strukturierungsalternativen* zu entwickeln. Die Weiterführung der Analyse kann – so die Genetische Erkenntnistheorie – nachweisen, (α) daß jede Strukturierung nach Maßgabe bestimmter Strukturierungsformen erfolgt, (β) daß diese Strukturierungsformen während der Phase des Architektur-Lernens aufgebaut werden und (γ) daß die Strukturierungsformen im Zusammenhang mit dem Struktur-Lernen der extensionalen, intensionalen und strukturellen Anreicherung unterliegen. Der letztgenannte Aspekt hängt eng zusammen mit der Neotenie, die sich insbesondere durch Neugier und Lernbereitschaft auszeichnet. Die speziellen Strukturierungsformen, die in der ontogenetischen Reifung und der kulturellen Standardausbildung aufgebaut werden und zur mesokosmischen Strukturierung führen, liegen auch den wissenschaftlichen Strukturierungen zugrunde – wengleich auch in strukturell modifizierter und erweiterter Form. Im Unterschied zu Kants Transzendentalphilosophie sind die Strukturierungsformen der Genetischen Erkenntnistheorie dann aber gerade nicht aus systematischen Überlegungen zur aristotelischen Logik abzuleiten, sondern aus empirischen Untersuchungen zum Entwicklungsprozeß zu gewinnen. Dabei unterliegen sie der strukturellen Veränderung nach Maßgabe der bereits erreichten Entwicklungsstufe. Die verschiedenen Strukturierungsformen können in einem *Strukturierungsschema* zusammengefaßt werden, wobei der Index Ω darauf hinweisen soll, daß die Konkretisierung von der jeweiligen Entwicklungsstufe abhängt.



figurative

repräsentative

operative

Strukturierungsleistung

Die einzelnen Strukturierungen X , Y und $Z \rightarrow Z^*$ der Relationen und die verschiedenen Strukturierungsformen R_Ω , B_Ω , O_Ω , K_Ω , F_Ω , Z_Ω , E_Ω , S_Ω und M_Ω , die ihnen zugrundeliegen, sollen im folgenden näher bestimmt werden:

- (i) Die *figurative Strukturierungsleistung X*: Diese Strukturierungsleistung ist eine Strukturierung der direkten Wahrnehmung, d.h. eine Strukturierung statischer und dynamischer Phänomene im drei-dimensionalen Raum und gemäß der Prototypenbildung von Objekten und Prozessen. Sie wird in der ontogenetischen

Reifung bereits während der ersten Stufe (senso-motorische Stufe) aufgebaut und auf den höheren Entwicklungsstufen durch spezifische Strukturen angereichert. Auch Tiere verfügen in unterschiedlicher Weise über Fähigkeiten zur figurativen Strukturierungsleistung. Die Ergebnisse der Gestaltpsychologie zeigen, (α) daß jede visuelle Wahrnehmung im Sinne einer ganzheitlich, strukturierten Wahrnehmung zu verstehen ist, (β) daß fehlende Informationen spekulativ ergänzt werden, um die Strukturierung sinnvoll zu machen, (γ) daß die Strukturierung nach Maßgabe zuvor gemachter Erfahrungen vorgenommen wird, (δ) daß die Strukturierung fehleranfällig ist und daher geeigneter Kontrollinstanzen bedarf und (ϵ) daß die räumliche Strukturierung bestimmten, hierarchisch geordneten figurativen Strukturierungsgesetzen („gute Gestalt“) unterliegt. Das Ergebnis der mesokosmischen Strukturierung ist dann eine non-verbale, aber erwartungs- und verhaltensrelevante Verfügung über die Begriffe „Objekt“, „Raum“, „Bewegung“ und „Kausalität“. Diese Sichtweise wird nachdrücklich durch die empirischen Neurowissenschaften gestützt: Raum und Bewegung werden in speziellen Kortex-Arealen kodiert und die Prototypenbildung von Objekten und Prozessen wird durch die spezielle Schichtenstruktur der Neuronen bewerkstelligt. Ein spezieller Teil des temporalen Kortex kodiert die Ortsveränderung eines Objekts als Bewegung. Ist dieses Kortex-Areal geschädigt, dann können nur noch Sequenzen von Standbildern wahrgenommen werden. Eine explizite Zeitkodierung gibt es nicht, d.h. es gibt keine temporalen Karten.

Die figurative Strukturierungsleistung **X** bezieht sich auf die Strukturierungsformen **R Ω** , **B Ω** , **O Ω** und **K Ω** . Die Strukturierung der Phänomene nach Maßgabe von Raum und Bewegung (koexistierende und sukzessive Anordnung der Objekte und Prozesse) und das Wissen um die Strukturmerkmale des Raumes (Dimensionalität, Topologie, Metrik), über die das erkennende Subjekt in Abhängigkeit von seiner Entwicklungsstufe **Ω** verfügt, werden mit **R Ω** und **B Ω** bezeichnet.⁵⁷⁹ Die non-verbale, aber erwartungs- und verhaltensrelevante Prototypenbildung von Objekten (Substanz) und Prozessen (Kausalität), ihre Strukturierung nach figurativen Strukturierungsgesetzen und das Wissen um Invarianzbeziehungen, über die das erkennende Subjekt in Abhängigkeit von seiner Entwicklungsstufe **Ω** verfügt, werden mit **O Ω** und **K Ω** bezeichnet. In den empirischen Wissenschaften drückt sich die figurative Strukturierung in den metaphysischen Annahmen über die Beschaffenheit der Natur aus, die häufig nicht-bewußt und unausgesprochen in eine Theorienkonstruktion eingehen und dort als constraint-Bedingungen wirksam werden. Insbesondere geht es dabei um metaphysische Vollkommenheitsideale bzw. Erhaltungsgrößen (vgl. Kapitel 2.4).

⁵⁷⁹ Das Zeitkonzept wird erst auf der zweiten Stufe (symbolisch-sprachlichen Stufe) im Sinne einer anschaulichen Zeit konstituiert; dies bezieht sich aber lediglich auf die Sukzession von Bewegungszuständen. Erst im Zusammenhang mit der dritten Stufe (operationale Stufe) wird dann ein abstraktes Zeitkonzept gebildet mit einer Ordnungsstruktur und einer Metrik, das auch den Vergleich mehrerer Bewegungen und damit ein Gleichzeitigkeitskonzept ermöglicht (vgl. Kapitel 1.3).

- (ii) Die **repräsentative Strukturierungsleistung Y**: Die Symbolbildung ermöglicht die Ablösung des Denkens von konkreten Wahrnehmungen und Handlungen. Die Repräsentation ist auf mehrfache Weise möglich und erlaubt es, die Aufmerksamkeit auf diejenigen Aspekte zu fokussieren, die als besonders relevant bewertet werden. Umgekehrt ist damit auch die Möglichkeit verbunden, von Aspekten zu abstrahieren, die als irrelevant gelten. Mit der Verwendung von Symbolen ist eine Reduktion von Komplexität und die Einnahme verschiedener Perspektiven möglich. Handlung und Sprache besitzen einen intensionalen Charakter und erlauben so die Herstellung vielfältiger Bezüge zur Wirklichkeit. Diese Strukturierungsleistung wird in der ontogenetischen Reifung ab der zweiten Stufe (symbolisch-sprachliche Stufe) aufgebaut und auf den höheren Entwicklungsstufen ständig qualitativ und quantitativ erweitert. In der mesokosmischen Strukturierung sind vier Grundformen der repräsentativen Strukturierungsleistungen zu unterscheiden: (α) die rituelle Repräsentation (Symbolspiele mit Spielzeug), (β) die verbale Repräsentation (Alltagssprache), (γ) die geometrische Repräsentation (zwei-dimensionale & drei-dimensionale Figuren) und (δ) die arithmetische Repräsentation (rationale Zahlen).

Die repräsentative Strukturierungsleistung **Y** bezieht sich auf die Strukturierungsformen **F $_{\Omega}$** , **Z $_{\Omega}$** , **E $_{\Omega}$** und **S $_{\Omega}$** . Die rituelle Repräsentation und die verbale Repräsentation, über die das erkennende Subjekt in Abhängigkeit von seiner Entwicklungsstufe **Ω** verfügt, werden mit **E $_{\Omega}$** und **S $_{\Omega}$** bezeichnet. Die geometrische Repräsentation und die arithmetische Repräsentation, über die das erkennende Subjekt in Abhängigkeit von seiner Entwicklungsstufe **Ω** verfügt, werden mit **F $_{\Omega}$** und **Z $_{\Omega}$** bezeichnet. Die empirischen Wissenschaften entwickeln systematisch alle repräsentativen Strukturierungsleistungen der mesokosmischen Strukturierung weiter und verfügen damit über ein effektives Instrumentarium zur Erforschung der Natur.

rituelle Repräsentation → Laborexperiment

verbale Repräsentation → Fachsprache

geometrische Repräsentation → synthetisch-geometrische Darstellung

arithmetische Repräsentation → analytisch-arithmetische Darstellung

Die Weiterentwicklung dieses Instrumentariums in wissenschaftlicher Absicht soll nachfolgend etwas genauer erörtert werden: (α) Die rituelle Repräsentation kommt bereits im Symbolspiel des Kindes zum Ausdruck, wenn es Spielzeug als „Stellvertreter“ einsetzt, um konkrete Handlungen aus Alltagssituationen auszuprobieren und wird im Laborexperiment fortentwickelt. Auch hier werden „Stellvertreter“ eingesetzt um Objekte, ihre Bestandteile, Eigenschaften und Strukturen zu erforschen. An die Stelle der tatsächlichen Natur-Objekte treten Labor-Objekte. Der Wissenschaftler abstrahiert von allen Unterschieden zwischen

Natur-Objekten und Labor-Objekten und benutzt die, ihm wesentlich erscheinenden Merkmale als Grundlage seiner Experimentiertätigkeit. Der Kerngedanke besteht darin, Phänomene unter Laborbedingungen herzustellen, die idealisierbar, regularisierbar, reproduzierbar und auf kontrollierbare Weise variierbar sind. (β) Die verbale Repräsentation beginnt mit der Alltagssprache und wird zu einer Fachsprache weiterentwickelt. Fachsprachen ermöglichen es, von der Individualität der Objekte bzw. Prozesse zu abstrahieren und spezielle Perspektiven und Intentionen zu betonen. Fachsprachen und Popularisierungen der Fachsprachen erleichtern – im Gegensatz zur strengen mathematischen Formelsprache – den interdisziplinären Dialog. (γ) Die geometrischen Repräsentationen im Sinne zweidimensionaler Figuren (Zeichnungen) und drei-dimensionaler Figuren (Klötzchen-Bauwerke) dienen dem Kind zur Erschließung neuer Strukturen des Raumes und ermöglichen eine strukturell erweiterte Raumanschauung. In der Entstehungszeit der Naturphilosophie spielt die synthetisch-geometrische Darstellung eine paradigmatische Rolle, bevor sie im 19. Jahrhundert zunehmend durch die analytisch-arithmetische Darstellung verdrängt wird. In einer didaktisch orientierten Vermittlung wissenschaftlicher Ergebnisse wird noch immer vorwiegend eine synthetisch-geometrische Darstellung gewählt. Diese Darstellungsart greift auf die einfache Raumanschauung zurück und ist daher anschauungsnäher und verständlicher als eine analytische Darstellung. Die synthetisch-geometrische Darstellung wissenschaftlicher Ergebnisse meint beispielsweise eine Darstellung der Geometrie bzw. der Mechanik durch die Konstruktion geometrischer Figuren, wie sie etwa bei Euklid und Newton vorliegt. (δ) Das Kind beginnt mit einem elementaren, anschaulichen Zahlbegriff, indem es lernt, kleine Quantitäten zu unterscheiden. Mit dem zunehmenden Verständnis für Erhaltungsgrößen erarbeitet sich das Kind eine tiefere Einsicht in komplexere mathematische Strukturen im Sinne einer Anwendung operativer Verfahren. Diese Entwicklung ist eingebettet in die kulturelle Standardausbildung. Die analytisch-arithmetische Darstellung wissenschaftlicher Ergebnisse zielt beispielsweise auf eine Darstellung der Geometrie bzw. der Mechanik durch die Feststellung von Zahlenverhältnissen und die Anwendung algebraischer und analytischer Methoden. Der weitere Ausbau dieses Instrumentariums macht dann ausgiebigen Gebrauch von der operativen Strukturierungsleistung.

- (iii) Die *operative Strukturierungsleistung* $Z \rightarrow Z^*$: Diese Strukturierungsleistung wird in der ontogenetischen Reifung hauptsächlich während der dritten Stufe (operationale Stufe) und damit während der kulturellen Standardausbildung aufgebaut und auf den höheren Entwicklungsstufen durch spezifische Strukturen angereichert. Die Strukturierung beschreibt Erkenntnisse, insofern diese sich auf die Strukturen von konkreten Handlungen beziehen. Die Möglichkeit der Wiederholung, der Kombination, der Koordination und der Reversibilität (Inversion, Reziprozität) von Zustandstransformationen zeigt, daß Zustandsänderungen ebenfalls bestimmten Strukturierungsgesetzen im Sinne operativer Strukturgesetze (Gruppenstrukturen, Ordnungsstrukturen) unterliegen. Im Zusammenhang mit der dritten Stufe wird – in

zwei Schritten – ein abstraktes Zahlkonzept aufgebaut: (α) In einem ersten Schritt wird die arithmetische Zahleinheit auf der Grundlage einer Stück-für-Stück-Korrespondenz mit einer ordinalen und einer kardinalen Struktur gebildet. (β) In einem zweiten Schritt werden Zahlzeichen festgelegt, die den Aufbau der arithmetischen Repräsentation weiterführen. Der Umgang mit den Zahlzeichen erfolgt nach Regeln, die nur noch Bezug nehmen auf die spezifischen Strukturen des Zahlzeichensystems. Auf der Grundlage der Sprach- und Handlungsfähigkeit entstehen die ersten elementaren logischen und algorithmischen Strukturierungsansätze, wie sie bereits in der mesokosmischen Strukturierung vorliegen (Alltagslogik, Alltagsmathematik).

Die Strukturierungsleistung, die auf der Analyse operativer Transformationen von $\mathbf{Z} \rightarrow \mathbf{Z}^*$ beruht, bezieht sich auf die Strukturierungsformen \mathbf{M}_Ω . Die Grundbegriffe und Axiome logischer Beziehungen (Identitätsprinzip, Prinzip des ausgeschlossenen Widerspruchs) bzw. einfacher algorithmischer Verfahren über die das erkennende Subjekt in Abhängigkeit von seiner Entwicklungsstufe Ω verfügt, werden mit \mathbf{M}_Ω bezeichnet. In der ontogenetischen Entwicklung ist der entscheidende Schritt während der dritten Stufe der Übergang von einer konkret-operationalen Phase, die Strukturen nur dann verstehen kann, wenn sie an konkreten Objekten geknüpft sind, hin zu einer formal-operationalen Phase, die abstrakte Strukturen begreift. Psychologische Untersuchungen stellen fest, daß dieser Übergang nur unzureichend vollzogen wird mit der Folge, daß abstrakte Strukturen als schwer verständlich bewertet werden. Die Gründe sind nach dem drei-stufigen Modell von Faucher unmittelbar einleuchtend. Dieses Modell besagt, daß der Wissenserwerb eines Kindes nicht mehr durch die konkrete Auseinandersetzung mit eigenen Erfahrungen geleitet wird, sondern wesentlich durch die Standardausbildung bestimmt ist. Ab der späten Kindheit kommen zunehmend die Belehrungen durch Autoritäten – Eltern, Lehrer – hinzu, deren Aussagen weitgehend ungeprüft geglaubt und übernommen werden. Der Unterricht an den Schulen ist noch immer vorwiegend an einer *statischen Anschaulichkeit* (gestützt auf die Sinneswahrnehmungen, bezogen auf starre Körper) orientiert und offensichtlich viel zu wenig an einer *dynamischen Anschaulichkeit* (gestützt auf die Handlungsfähigkeit, bezogen auf starre & deformierbare Körper) interessiert. Die wissenschaftliche Strukturierung verfeinert die operativen Transformationen des Alltags und führt sie im Experiment fort, erweitert den Zahlbegriff, präzisiert und systematisiert die Begriffe der Theorie und baut ein umfangreiches logisches und mathematisches Instrumentarium auf (Expertenlogik, Expertenmathematik). Mit den Mitteln des Experiments, der Logik und der Mathematik können systematisch Strukturgesetze aufgefunden werden. Des weiteren eröffnet sich damit auch die Möglichkeit, metaphysisch begründete Erhaltungssätze mathematisch zu formulieren. Insbesondere wird in der Wissenschaft der Unendlichkeitsbegriff wichtig (mathematisches Kontinuum, vollständige Induktion), der sich einer Veranschaulichung grundsätzlich entzieht und nur noch durch den Rückgriff auf einen abstrakten Rechenkalkül handhabbar ist. Grundlage ist das von Descartes

und Leibniz auf den Weg gebrachte neue operative Mathematikverständnis von der Abgeschlossenheit mathematischer Operationen.

Abschließend ist noch genauer herauszuarbeiten, welche Vorzüge mit den repräsentativen Strukturierungsleistungen verbunden sind, deren Fundamente bereits auf der zweiten Stufe gelegt und die von den Wissenschaften systematisch zu immer effektiveren Instrumenten aufgebaut werden. Der Kerngedanke ist: Die Erforschung des Gegenstandsbereichs wird ersetzt durch die Erforschung der verschiedenen Repräsentationen des Gegenstandsbereichs.



- (i) Die *Techniken der Erkenntniserweiterung*: Die Instrumente der repräsentativen Strukturierungsleistung zielen darauf, das Wissen zu erweitern. (α) Die Repräsentationen werden nicht nur im Sinne der Kommunikation über Wissen, sondern auch als Medien des Denkens eingesetzt. In dieser Funktion sind die Instrumente unersetzbare Mittel der Erkenntniserweiterung und der Beweisführung. (β) Die Repräsentationen werden zu selbständigen Erkenntnisgegenständen und damit unabhängig gegenüber den Gegenständen ihrer Referenz. (γ) Die neuen Erkenntnisgegenstände sind symbolisch konstituiert. (δ) Die Frage nach dem Wirklichkeitsbezug muß im Zusammenhang mit einer Erkenntnis- und Irrtumslehre geklärt werden.
- (ii) Die *Reduktion der Komplexität*: Die Instrumente zielen darauf, die Komplexität der natürlichen Phänomene zu reduzieren, indem sie sich auf bestimmte Aspekte beschränken. (α) Die Sprache erreicht die Reduktion der Komplexität dadurch, daß von allen irrelevanten Aspekten abstrahiert werden kann. (β) Das Experiment erreicht die Reduktion der Komplexität dadurch, daß einzelne Parameter auf kontrollierbare Weise variierbar sind. (γ) Die Mathematik erreicht die Reduktion der Komplexität dadurch, daß sie sich nur auf den quantitativen Aspekt der „Zahl“ bezieht.
- (iii) Die *Außen-Perspektive des Wissens*: Besonders wichtig sind die mathematischen Instrumente. Sie zielen darauf, fragmentarisches Wissen zu vervollständigen und damit zu einer Außen-Perspektive zu gelangen. (α) Die Geometrie erreicht dies durch die Konstruktion von Figuren, die gewissermaßen die Einnahme einer geometrische Außen-Perspektive ermöglichen. (β) Die Arithmetik erreicht dies dadurch, daß sie ideale Elemente einführt, durch die Anwendung der Regeln des Kalküls den Übergang vom Endlichen zum Unendlichen vollzieht und damit ebenfalls die Einnahme einer arithmetischen Außen-Perspektive ermöglicht.

- (iv) Die **Kontrollinstanzen**: Die Möglichkeit zum Irrtum ergibt sich durch die mangelnde Widerspruchsfreiheit oder durch den fehlenden Wirklichkeitsbezug. (α) Die Widerspruchsfreiheit wird systematisch durch mathematisch-logische Methoden (Theoretische Physik) überprüft und (β) der Wirklichkeitsbezug wird systematisch durch experimentell-technische Methoden (Experimentelle Physik) hergestellt. Die Möglichkeit zum Irrtum wird insbesondere dadurch eingeschränkt, wenn die Instrumente sich gegenseitig kontrollieren. Hierin besteht eine gewisse Analogie zu den Sinnestäuschungen. Optische Täuschungen – beispielsweise der gebrochene Stab im Wasser – können durch Wahrnehmungen des Tastsinns aufgelöst werden. Ähnlich verhält es sich mit Irrtümern der Strukturierungsleistungen. Sie können durch den methodischen Einsatz aller Instrumente zumindest teilweise beseitigt werden. Irrtümer, die durch die genannten Instrumente nicht beseitigt werden können, lassen sich prinzipiell nicht erfassen.

Die Möglichkeiten des Wissenserwerbs hängen entscheidend von der Verfügbarkeit dieser vier Instrumente der repräsentativen Strukturierungsleistung ab.

Intuitive Strukturierung als drei-komponentiges Begriffskontinuum

Im folgenden soll der Begriff „intuitive Strukturierung“ im Rückgriff auf die traditionellen Erkenntnislehren, die Evolutionäre Erkenntnistheorie, die Genetische Erkenntnistheorie, die Gestaltpsychologie und die empirischen Neurowissenschaften bestimmt werden. Insbesondere sind vier Aspekte wichtig: (α) die Unterscheidung zwischen einer *parallelen* und einer *sequentiellen* Informationsverarbeitung und die Identifizierung der parallelen Informationsverarbeitung mit der intuitiven Strukturierung und die sequentielle Informationsverarbeitung mit der diskursiven Strukturierung, (β) die Explikation der Intuition im Sinne eines *drei-komponentigen Begriffs* (phänomen-orientierte, sinnliche Intuition; symbol-orientierte, rationale Intuition; struktur-orientierte, rationale Intuition) und das Verhältnis zu den Begriffsvarianten der traditionellen Erkenntnislehren, (γ) die Unterscheidung zwischen einer *unbelehrten* und einer *belehrten Intuition*, sowie die charakteristischen Merkmale der verschiedenen Belehrungsvorgänge und (δ) die Formulierung der Intuition im Sinne eines *Begriffskontinuums*.

Die traditionellen Erkenntnislehren nehmen charakteristischerweise eine Zweiteilung der Erkenntnisarten vor und unterscheiden zwischen einer intuitiven Erkenntnis und dem dazugehörigen Gegenbegriff, der in Abhängigkeit von der jeweils zugrundeliegenden Methodenlehre expliziert wird. Die Ergebnisse der empirischen Neurowissenschaften und die Kognitionspsychologie bestätigen die Zweiteilung gehirninterner Verarbeitungsmechanismen. Die beiden Mechanismen werden dann in den Begriffen „parallele Informationsverarbeitung“ und „sequentielle Informationsverarbeitung“ formuliert bzw. in einer „dual process theory“ analysiert.

- (i) Die **parallele Informationsverarbeitung**: Sie erfaßt das zu erkennende Objekt schlaglichtartig und ganzheitlich und integriert es in einen Gesamtkontext. Sie reduziert den sensorischen Input auf die wesentlichen Merkmale, vernetzt diese Merkmale und kodiert sie als Muster. Sie ist als unmittelbare Einsicht gegeben. Dies ist in dem Sinne gemeint, daß zur Einsicht keine methodische Ableitung erforderlich ist. Sie vervollständigt fehlende oder unzureichende Informationen um die Strukturierung sinnvoll zu machen. Sie stellt jede Information in ein Beziehungsgeflecht zu anderen kodierten Informationen. Stets vorhandene Erkenntnislücken werden spekulativ geschlossen; Weltbilder werden vervollständigt. Dabei geht es immer auch um den Wesenskern des zu erkennenden Objekts, der nur dann in der Vordergrund rücken kann, wenn das Ganze erfaßt wird. Die parallele Informationsverarbeitung bleibt in ihrer Strukturierungsleistung wesentlich spekulativ. Die Bewertung nach ästhetischen (schön) und axiologischen (vollkommen) Kriterien ist ihr zuzurechnen. Sie ist an Beispielen trainiert und ihr Vorgehen ist induktiv. Sie kodiert Prototypen von Objekten und Prozessen. Sie extrahiert Merkmale im sensorischen Input gemäß den Kriterien der Ähnlichkeit, Häufigkeit und Relevanz. Sie ist überwiegend nicht-bewußt, d.h. sie erfolgt automatisch. Sie benötigt nur ein geringes Maß an Aufmerksamkeits-Bewußtsein, aber insbesondere kein Reflexions-Bewußtsein. Sie erscheint nur dann belehrbar, wenn der sensorische Input keinen Sinn ergibt. Ansonsten erscheint sie unbelehrbar und zwar auch dann, wenn ihre Fehlerhaftigkeit durch Kontrollinstanzen aufgedeckt wird. Sie verfügt über kein Zeitbewußtsein, sondern lediglich über ein kurzes Zeitfenster, in dem eine Information „online“ gehalten wird. Typisch für eine parallele Informationsverarbeitung ist die Strukturierung im Raum und die Verarbeitung von Bildern (geometrische Figuren). Im Zusammenhang mit der Sprache kodiert sie den semantischen Aspekt im Sinne einer impliziten Wissensrepräsentation, die erwartungs- und verhaltensrelevant wirksam ist. Die mentalen Zustände des Wissens, die ein kognitives System einnehmen kann, lassen sich durch eine Gebirgsmetapher veranschaulichen, d.h. das gesamte Wissen entspricht den Punkten auf der Oberfläche eines Gebirges. Beziehungen zwischen verschiedenen Konzepten sind implizit gespeichert durch den gesamten Gebirgszug. Jedes neu hinzukommende Konzept wird automatisch in das bereits bestehende Gebirge eingliedert, d.h. der Kontext, in dem das Konzept steht, wird dabei automatisch festgehalten. Die parallele Informationsverarbeitung ist die Grundlage für das schöpferische Potential eines kognitiven Systems.
- (ii) Die **sequentielle Informationsverarbeitung**: Sie wurzelt in der parallelen Informationsverarbeitung und fügt ihr ein sukzessives Element hinzu. Die Aufmerksamkeit ist dabei auf das Einzelne fokussiert. Der Mensch verfügt über eine explizite Wissensrepräsentation, die in symbolisch-sprachlicher Formulierung vorliegt und die auf der impliziten Wissensrepräsentation aufbaut: In einem ersten Schritt gibt

der sensorische Input Anlaß zu einer Konzeptualisierung und in einem zweiten Schritt kommt es zu einer symbolischen Formulierung der Konzepte. Die sequentielle Informationsverarbeitung kann explizite Regeln anwenden und deduktiv vorgehen, d.h. sie leistet eine nach Regeln geleitete Symbolverarbeitung. Sie ist bewußt, d.h. sie erfordert eine konzentrierte Aufmerksamkeit. Sie benötigt also ein hohes Maß an Aufmerksamkeits-Bewußtsein und insbesondere ein Reflexions-Bewußtsein. Sie ist zeitbewußt in dem Sinne, daß sie dynamische Abläufe durch geometrische Modelle (kulturabhängig: linear, kreisförmig) vergegenwärtigen und in sprachlichen Metaphern fassen kann. Typisch für eine sequentielle Informationsverarbeitung sind logische Ableitungen und die Ausführung algorithmischer Verfahren. Grundlegend ist die sequentielle Informationsverarbeitung für alle bewußten Lernprozesse (Hypothesentest) und Prüfverfahren (Widerspruchsfreiheit). Teilweise lassen sich Leistungen der sequentiellen Informationsverarbeitung durch symbolverarbeitende Computer-Programme simulieren.

Die wichtigsten Strukturmerkmale dieser beiden gehirninternen Verarbeitungsmechanismen sind im folgenden einander gegenübergestellt:

sequentielle Informationsverarbeitung	parallele Informationsverarbeitung
sukzessiv, einzeln, unvollständig isoliert, beziehungslos (unverknüpft, unzusammenhängend) neutral Symbolverarbeitung (Logik) Algorithmus (Zahlenoperationen) regel-basiert, deduktiv, programmiert bewußt, aufmerksam zeitbewußt (dynamisch) widerspruchsfrei	schlaglichtartig, ganzheitlich, ergänzend, assoziativ, kontextbezogen (verknüpft, zusammenhängend) bewertend (ästhetisch, axiologisch) Prototypenbildung (Objekte, Prozesse) Raum (Bilder, geometrische Figuren) beispiel-basiert, induktiv, trainiert nicht-bewußt, automatisch zeitlos (statisch) widerspruchstolerant schöpferisches Potential (kreativ, sinnstiftend)

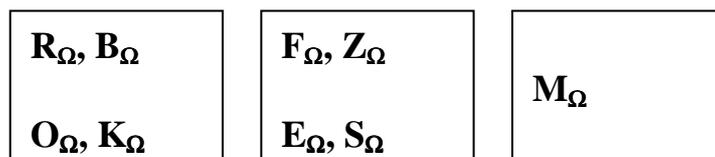
Mit Blick auf die spezifizierten *Strukturmerkmale* ist die intuitive Strukturierung mit der parallelen Informationsverarbeitung und die sequentielle Informationsverarbeitung mit der diskursiven Strukturierung zu identifizieren.

parallele Informationsverarbeitung \leftrightarrow intuitive Strukturierung

sequentielle Informationsverarbeitung \leftrightarrow diskursive Strukturierung

Im strikten Gegensatz zur Sichtweise einer sprachanalytischen Philosophie wird hier in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der empirischen Neurowissenschaften und der theoretischen Neuroinformatik für die These argumentiert, daß die intuitive Strukturierung das Fundament jeglicher Erkenntnis darstellt und die diskursive Strukturierung ausschließlich auf dieser Grundlage aufbauen kann. Diese Unterscheidung der beiden gehirninternen Verarbeitungsmechanismen wird durch die „dual process theory“ von Evans und Stanovich gestützt. Dieses Modell legt den Gedanken nahe, (α) daß die mesokosmische Strukturierung hauptsächlich durch ein Informationsverarbeitungssystem (System 1) geleistet wird, das intuitiv, automatisch, widerspruchstolerant, vorwiegend nicht-bewußt und wissens-basiert arbeitet und (β) daß die wissenschaftliche Strukturierung sich zusätzlich eines weiteren Informationsverarbeitungssystems (System 2) bedient, das kontrolliert, bewußt, widerspruchsfrei, regel-basiert und logik-basiert arbeitet, das im hohen Maße durch Kultur und Bildung befördert wird und das im System 1 fest verankert ist. Der zuletzt genannte Aspekt betont insbesondere den Sachverhalt, daß das System 2 maßgeblich von System 1 beeinflusst wird und daß auch die wissenschaftliche Strukturierung sich nicht vollständig von diesem Einfluß befreien kann.

Durch die intuitive Strukturierung wird das zu erkennende Objekt **O** nach Maßgabe der bereits aufgebauten *Strukturierungsformen* vom erkennenden Subjekt **S** strukturiert. Demzufolge weist die Intuition drei Komponenten auf.



**phänom.-orientierte,
sinnliche Intuition**

**symbol-orientierte,
rationale Intuition**

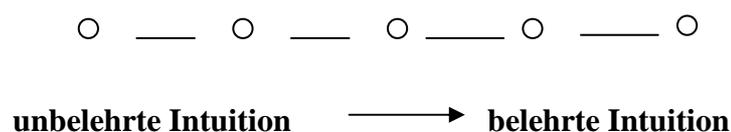
**struktur-orientierte,
rationale Intuition**

Die Empiristen argumentieren zugunsten einer phänomen-orientierten, sinnlichen Intuition. Die Rationalisten hingegen gehen von einer rationalen Intuition aus, die sich entweder auf begriffliche oder mathematische Strukturen bezieht und die während des Lernprozesses einer Veränderung durch die Belehrung unterliegt. Hier ist dann eine symbol-orientierte, rationale Intuition gemeint. Darüber hinaus wird in dieser Studie für eine struktur-orientierte, rationale Intuition argumentiert, die speziell die Abgeschlossenheit von mathematischen Strukturen

(Gruppenstrukturen) erfaßt. In den traditionellen Erkenntnislehren kommt diese besondere Form der rationalen Intuition nicht vor und zwar deshalb, weil das Wissen um die Wichtigkeit abgeschlossener mathematischer Strukturen erst seit dem 19. Jahrhundert mit dem Ausbau einer operativ verstandenen Mathematik und im Zusammenhang mit der Einführung der speziellen mathematischen Begriffe „Gruppe“, „archimedisch geordneter Körper“ und „aktual-Unendliches“ verfügbar ist. Zu diesem Zeitpunkt ist die symbol-orientierte, rationale Intuition der Rationalisten aufgrund des damit verknüpften überzogenen Erkenntnisanspruchs bereits in Verruf geraten und durch Kants Transzendentalphilosophie scheinbar überflüssig geworden. Damit wird allerdings die rationale Intuition zu Unrecht verworfen. Das Verhältnis zwischen den Strukturierungsformen einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie und Kants Lehre von den Formen der Anschauungen und den Kategorien des Denkens läßt sich folgendermaßen spezifizieren: (α) Die Phänomene sind nicht Phänomene in Raum & Zeit, sondern Phänomene nach Maßgabe von Raum & Bewegung & Objekt & Kausalität. (β) Die Begriffsbildung ist nur eine Möglichkeit, Repräsentationen zu bilden; weitere Möglichkeiten sind die synthetisch-geometrischen und analytisch-arithmetischen Darstellungen, sowie die stellvertretende Darstellung im Experiment. (γ) Im Zusammenhang mit der Mathematik betont Kant einen wichtigen Aspekt: die Konstruktion in der Anschauung. Neben dem Vermögen der Sinnlichkeit ist aber das Vermögen zur Handlung von zentraler Bedeutung. Erst mit diesem Vermögen eröffnet sich der Blick auf die Abgeschlossenheit mathematischer Strukturen. Insofern fehlt Kants Mathematikverständnis ein zweiter wichtiger Aspekt.

Im folgenden soll die Frage nach der Belehrung der Intuition behandelt werden. Dazu ist zunächst eine Unterscheidung zu treffen zwischen einer *unbelehrten Intuition* und einer *belehrten Intuition*. Diese Unterscheidung geht der Sache nach auf Platons Sokratische Methode zurück und wird dort am Beispiel eines *geometrischen Problems* erörtert. Die Belehrung der Intuition ist durch die Anwendung der Hebammenkunst gesichert. Das Ergebnis ist eine – so Platon – wiedererinnerte, widerspruchsfreie Erkenntnis. Bei Descartes wird die Belehrung der Intuition am Beispiel eines *begrifflichen Problems* unter der Metapher einer Perlenkette besprochen.

Lernprozeß / Prüfverfahren:



In dieser Metapher bringt Descartes die Zweiteilung der Erkenntnis durch die Begriffe „intuitiv“ und „deduktiv“ zum Ausdruck und deutet dabei die intuitive Erkenntnis als Grundlage jeglicher Erkenntnis. Gemäß dieser Metapher begreift die intuitive Erkenntnis jede

einzelne Perle; die deduktive Erkenntnis hingegen liefert die einzelnen Verbindungen zwischen den Perlen. Die einzelne Perle steht für einen Begriff bzw. eine Aussage. Nach Descartes beginnt Erkenntnis immer mit einer, zunächst unbelehrten Intuition (Alltagsverständnis), die im Zuge eines Lernprozesses oder Prüfverfahrens dann zu einer belehrten Intuition wird. Ist der Lernprozeß oder das Prüfverfahren abgeschlossen, dann wird die gesicherte, widerspruchsfreie Erkenntnis durch eine belehrte Intuition (Wissenschaftsverständnis) erfaßt.

Diese Sichtweise wird von der Gestaltpsychologie ausdrücklich gestützt und von den empirischen Neurowissenschaften zusätzlich bestätigt, indem diese den neuronalen Mechanismus aufklären. Die Informationsverarbeitung erscheint als Kommunikation zwischen verschiedenen Kortex-Arealen und erfolgt immer in zwei Richtungen als *bottom-up-Prozeß* und als *top-down-Prozeß*. Der sensorische Input bzw. der bereits niederstufig verarbeitete Input wird an höhere Stufen zur Verarbeitung weitergeleitet. Gehirneigenes Strukturwissen höherer Stufen wird zur Strukturierung des sensorischen Input hinzugefügt; in den höheren Kortex-Arealen findet die Hypothesenbildung statt. Die als plausibel erscheinende Hypothese wird überprüft und akzeptiert oder verworfen und dann modifiziert. Am Ende des Erkennungsprozesses hat sich die plausibelste Hypothese herausgebildet und durchgesetzt. Am Beispiel der figurativen Strukturierung eines sensorischen Input, dem nicht unmittelbar ein Sinn zugeordnet werden kann, weil er fragmentarisch ist und daher erst spekulativ zu einem sinnhaltigen Ganzen ergänzt werden muß, kann der kettenartige Ablauf des Erkenntnisprozesses verdeutlicht werden. Die Belehrung der Intuition bezieht sich auf ein sensorisches, begriffliches oder strukturelles Problem und folgt offensichtlich einem einheitlichen neuronalen Mechanismus:

- (i) Die **unbelehrte Intuition**: Die Frage wird intuitiv beantwortet und die vorgeschlagene Hypothese H_1 wird überprüft. Ist die Überprüfung nicht zufriedenstellend, dann wird die Hypothese H_1 zurückgewiesen und intuitiv eine neue Hypothese H_2 vorgeschlagen.
- (ii) Die **Belehrung der Intuition**: Hier setzt ein Ping-Pong-Prozeß ein, der solange fortgesetzt wird, bis eine Hypothese H_n gefunden wird, deren Überprüfung zufriedenstellend ausfällt. Dieser Prozeß der wiederholten Hypothesenbildung $H_1, H_2, \dots H_n$ ist offensichtlich ein sequentieller Prozeß; das akzeptierte Ergebnis des Prüfprozesses aber ist dann die intuitive Hypothese H_n . Dies beschreibt die Lernphase in Bezug auf das spezielle Problem.
- (iii) Die **belehrte Intuition**: Wird die Frage zu einem etwas späteren Zeitpunkt erneut gestellt, dann wird sofort die intuitive Hypothese H_n vorgeschlagen. Dies beschreibt die Reproduktionsphase in Bezug auf das spezielle Problem. Bei erneuter Präsentation der Frage gelingt es gerade nicht mehr, die Hypothese H_n *nicht* sofort vorzuschlagen.

Einige Besonderheiten müssen dabei hervorgehoben werden: (α) Die ersten beiden Stufen können in der *Lernphase* nicht übersprungen werden. (β) Die ersten beiden Stufen können in der *Reproduktionsphase* nicht wiederholt werden – zumindest dann nicht, wenn der Lerninhalt nicht in der Zwischenzeit vergessen wurde. (γ) Die Belehrung der rationalen Intuition unterscheidet sich in einigen charakteristischen Merkmalen von der Belehrung der sinnlichen Intuition.

- (i) Die **Belehrung der sinnlichen Intuition**: Der Übergang von einer unbelehrten zu einer belehrten, sinnlichen Intuition meint hier die *Sinnstiftung* des sensorischen Input als notwendige Voraussetzung für überlebensadäquates Handeln. Diese Belehrung erfolgt automatisch und meist nicht-bewußt. Das Ergebnis ist eine Strukturierung nach Maßgabe der Strukturierungsformen \mathbf{R}_Ω , \mathbf{B}_Ω , \mathbf{O}_Ω und \mathbf{K}_Ω .⁵⁸⁰
- (ii) Die **Belehrung der rationalen Intuition**: Der Übergang von einer unbelehrten zu einer belehrten, rationalen Intuition meint hier die Überprüfung auf *Widerspruchsfreiheit* als notwendige Voraussetzung für Begründungen. Diese Belehrung erfolgt bewußt und ist nur nach entsprechender logisch-mathematischer Schulung möglich. Das Ergebnis ist daher eine Strukturierung nach Maßgabe der Regeln der Logik und Mathematik.

Die Evolutionäre Erkenntnistheorie und die Genetische Erkenntnistheorie eröffnen eine *dynamische Sicht* auf die Strukturierungsformen. Diese sind nicht statisch – wie Kant meint –, sondern mit dem wissenschaftlichen Fortschritt einer ständigen Veränderung unterworfen – dargestellt durch eine Abfolge von Strukturierungsschemas –, d.h. die Konkretisierung hängt von der bereits erarbeiteten Entwicklungsstufe Ω ab. Die Erweiterung der mesokosmischen Erkenntnis hin zu einer wissenschaftlichen Erkenntnis erfolgt unter zwei Aspekten: (α) Die *experimentell-technische Erweiterung der Wirklichkeit*: Durch technische Methoden können „Sinnesprothesen“ geschaffen werden, die die Einschränkung auf mittlere Dimensionen aufweichen (Mikroskop, Teleskop) bzw. die andere Phänomenbereiche (elektromagnetische Phänomene) der Wirklichkeit erschließen. (β) Die *logisch-mathematische Erweiterung der Wirklichkeit*: Durch die Entwicklung von Strukturwissenschaften (Logik, Mathematik, Systemtheorie) können neuartige Strukturen der Wirklichkeit (funktionale Abhängigkeiten, netzartige Kausalstrukturen, nicht-lineare Zeitentwicklungen) analysiert werden.

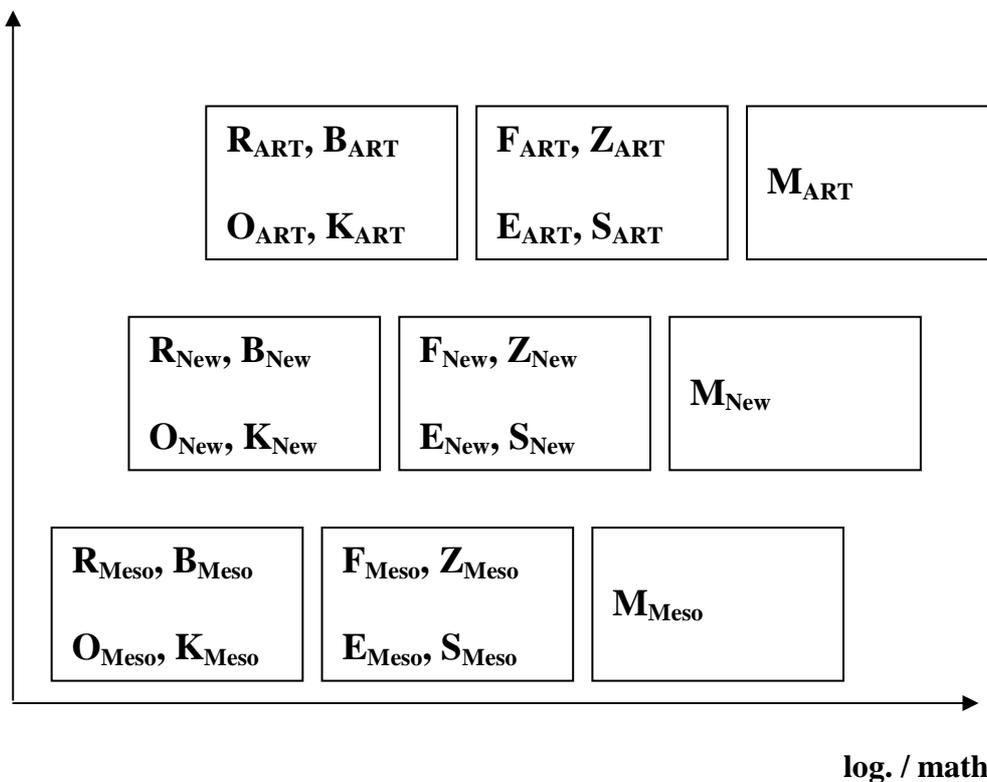
Die Ablösung einer *abgeschlossenen Theorie* im Heisenbergschen Sinne durch eine andere beinhaltet im allgemeinen den Übergang von einem Strukturierungsschema zu einem anderen. Diese Übergänge sind mit einem *Kuhnschen Paradigmenwechsel* verknüpft, d.h. es kommt zu

⁵⁸⁰ Die Gestaltpsychologie weist nach, daß die Intuition einer figurativen Strukturierung nur bedingt belehrbar ist und zwar genau dann, wenn ein Zwang dazu besteht, weil dem sensorische Input andernfalls kein Sinn zugeschrieben werden kann. Die Belehrung der Intuition erfolgt insbesondere im Falle eines fragmentarischen Input. Im Falle optischer Täuschungen hingegen besteht der Zwang zur Belehrung der Intuition nicht, weil die figurative Strukturierung durchaus sinnvoll, wenngleich auch unzutreffend ist.

einer Neustrukturierung des Wissensbestandes auf der Grundlage neu formulierter Grundbegriffe und Prinzipien. Die Allgemeine Relativitätstheorie hat den Raum- und Zeitbegriff wesentlich modifiziert und miteinander verkoppelt. Darüber hinaus deutet sie die Materie als Energieform und gibt die Annahme einer unzerstörbaren und unveränderbaren Materie auf. Die Quantentheorie hat den Substanz- und Kausalbegriff, sowie die Gültigkeit der zwei-wertigen Logik nachhaltig in Frage gestellt. Gemeinsam ist beiden Theorien das Auftreten kontra-intuitiver Konsequenzen, die mit Größen zusammenhängen, die einen Grenzcharakter (Lichtgeschwindigkeit, Wirkungsquantum) haben.

mesokosmische Strukturierung → **wissenschaftliche Strukturierung**

exp. / techn.



Das Diagramm verdeutlicht den stufenartigen Erkenntnisfortschritt am einfachen Beispiel von drei Strukturierungsalternativen:⁵⁸¹

- (i) Die *mesokosmische Strukturierung* (Index $\Omega = \text{Meso}$): Hier geht es um spezielle Strukturierungsformen, die der Alltagserfahrung zugrundeliegen: (α) die räumlichen Strukturierungen in einem drei-dimensionalen, physikalischen Raum mit topologischen und metrischen Eigenschaften, die erwartungs- und verhaltensrelevant sind; (β) die prototypischen Strukturierungen als konkrete Objekte mit permanenten Eigenschaften, die einfachen, linearen Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen

⁵⁸¹ Eine differenzierte Untersuchung findet sich im 7-Stufen-Modell (vgl. Kapitel 2.5).

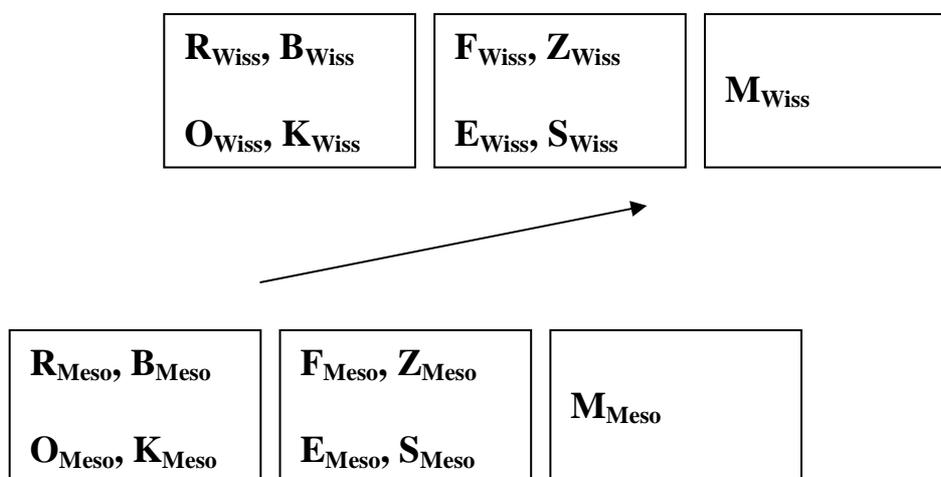
unterliegen; (γ) die unscharfen Begriffsbildungen im Sinne der Fuzzy-Logik; (δ) die quantitativen Strukturierungen unter Verwendung eines arithmetischen, aber vorwiegend phänomen-orientierten Zahlbegriffs (rationale Zahlen) und (ϵ) die logischen Ableitungen, die sich auf wenn-dann-Beziehungen (modus ponens), einfache Inklusionsbeziehungen von konkreten Mengen und einfachen Transitivitätsbeziehungen von konkreten Reihen beschränken, sowie algorithmische Verfahren, die sich auf elementare Zahlenmanipulationen (Addition, Multiplikation) beziehen.

- (ii) Die *Strukturierung gemäß der Newtonschen Physik* (Index $\Omega = \text{New}$): Hier geht es um Strukturierungsformen, die der Newtonschen Physik zugrundeliegen: (α) die räumlichen Strukturierungen in einem drei-dimensionalen, mathematischen Raum mit euklidischer Struktur, die Annahme einer universellen Zeit; (β) die prototypischen Strukturierungen (Abstraktion von individuellen Eigenschaften) als idealisierte Objekte (Punktmassen) mit permanenten Eigenschaften, die linearen Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen gemäß dem starken Kausalprinzip unterliegen; (γ) die Verwendung einer verbalen Fachsprache (Impuls, Kraft, Energie), die zwar die unscharfe Begrifflichkeit der natürlichen Sprache ersetzt, aber dennoch eng an den anschauungsnahen Begriffen der mesokosmischen Strukturierung bleibt; (δ) die quantitativen Strukturierungen unter Verwendung eines erweiterten, abstrakten Zahlbegriffs (reelle Zahlen) und eines Funktionsbegriffs, der insbesondere die Formalisierung dynamischer Aspekte zuläßt (Differentialgleichungen) und (ϵ) der axiomatische Aufbau in synthetisch-geometrischer Darstellung auf der Grundlage einer zwei-wertigen Logik. Systematischer Einsatz der Logik, des Experiments und der Mathematik als Kontrollinstanzen.
- (iii) Die *Strukturierung gemäß der Allgemeinen Relativitätstheorie* (Index $\Omega = \text{ART}$): Hier geht es um Strukturierungsformen, die der Allgemeinen Relativitätstheorie zugrundeliegen: (α) die raum-zeitlichen Strukturierungen in einer vier-dimensionalen, gekrümmten Raum-Zeit-Struktur, die abhängig ist von der speziellen Materieverteilung im Universum; (β) die prototypischen Strukturierungen (Abstraktion von individuellen Eigenschaften) als idealisierte Objekte (Punktmassen) mit permanenten Eigenschaften, die linearen Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen gemäß dem starken Kausalprinzip unterliegen, aber eingeschränkt sind durch die Lichtkegel-Struktur; (γ) die Verwendung einer verbalen Fachsprache (Energie-Impuls-Tensor, Einstein-Gleichung), die wegführt von den anschauungsnahen Begriffen der mesokosmischen Strukturierung; (δ) die quantitativen Strukturierungen unter Verwendung eines stark erweiterten, abstrakten Zahlbegriffs (komplexe Zahlen) und eines Funktionsbegriffs und (ϵ) der axiomatische Aufbau in analytisch-arithmetischer Darstellung auf der Grundlage einer zwei-wertigen Logik.

Der Erkenntnisfortschritt, der mit immer neuen Theorienkonstruktionen verbunden ist, ist mit einer dynamischen Entwicklung der Strukturierungsformen verknüpft; diese geht einher mit einer Belehrung der rationalen Intuition. Der Begriff „intuitive Strukturierung“ wird so zu einem Kontinuum und die Belehrung bedeutet: Abkehr von einer phänomen-orientierten, sinnlich-intuitiven Strukturierung und die Verschiebung hin zu einer struktur-orientierten, rational-intuitiven Strukturierung.⁵⁸²

Belehrung der intuitiven Strukturierung im Theorienwandel

struktur-orientierte, rationale Intuition



phänomen-orientierte, sinnliche Intuition

Axiomatisch aufgebaute Theorien können demnach nur durch den Verweis auf eine struktur-orientierte, rational-intuitive Erkenntnis entworfen und verstanden werden. Dabei ist zweierlei unmittelbar einsichtig: (α) Die struktur-orientierte, rational-intuitive Erkenntnis bedarf einer speziellen logisch-mathematischen Schulung, d.h. es handelt sich um eine belehrte Intuition. (β) Die struktur-orientierte, rational-intuitive Erkenntnis erfasst die Grundbegriffe und Axiome einer Theorie. Die rationale Intuition entfaltet ihre Wirksamkeit auf der Strukturebene; die kontra-intuitiven Konsequenzen der Theorie auf der Phänomenebene bleiben bestehen.

⁵⁸² Auch Urchs spricht von unbelehrter und belehrter Intuition: „Wissenschaftliche Intuition spielt nicht selten eine ganz entscheidende Rolle bei der Ausrichtung der wissenschaftlichen Forschung. [...] Aber es geht [...] um „wissenschaftliche“ Intuition. Was gebraucht wird, ist die im wissenschaftlichen Alltag geschärfte, belehrte Intuition, die *docta intuitio*. Die belehrte Intuition steht als Intuition zweiter Stufe über der Alltagssituation und stimmt mit dieser mitunter keineswegs überein. Beispielsweise haben sich erfahrene Mengentheoretiker in jahrelanger Beschäftigung mit dem mathematischen Gegenstand zuverlässige Intuitionen erworben. [...] Die beim jahrelangen Rechnen ausgebildete, belehrte Intuition hilft, fruchtbare Begriffsbildungen vorzunehmen, aussichtsreiche Hypothesen zu formulieren. Zu solchen Leistungen ist die belehrte Intuition der Mengentheoretiker gerade deshalb in der Lage, weil sie den behandelten Forschungsgegenstand annähernd richtig erfassen kann. Die Alltagsintuition kann das nicht.“ (Urchs 2002, S. 244f)

Der Evidenzbegriff

In der Geschichte der Philosophie bezeichnet der Begriff „Evidenz“ die zentrale, aber umstrittene Instanz einer offenkundigen, unmittelbar einleuchtenden Bezeugung wahrer Erkenntnisse und damit verknüpft die Legitimation von Aussagen. Der Begriff der Evidenz steht in einem engen Zusammenhang zum Begriff der Gewißheit, wobei das Verhältnis der beiden Begriffe mehrdeutig bleibt: (α) Gelegentlich wird die Evidenz als objektiver Grund für eine nur subjektive Gewißheit aufgefaßt, aber (β) mitunter wird die Evidenz als subjektive Faßlichkeit dessen angesehen, was objektiv gewiß sein soll. Schon hier wird klar, daß es eine umstrittene Frage ist, ob dem Evidenzbegriff eine *objektive Funktion* oder nur eine *subjektive Funktion* zukommt. Darüber hinaus ist der Evidenzbegriff abhängig vom vorausliegenden Intuitionsbegriff. Wie der Intuitionsbegriff, wird daher auch der Evidenzbegriff nicht einheitlich gebraucht.

Eine grundlegende epistemologische Bedeutung gewinnt der Evidenzbegriff vor allem bei Descartes. Hier wird der Begriff „Evidenz“ zum Leitbegriff eines neuzeitlichen Wissenschaftsprogramms. Im cartesischen Denken nimmt die rationale Evidenz die Rolle eines ausgezeichneten *Wahrheitskriteriums* auf dem Hintergrund einer Korrespondenztheorie ein. Der Evidenzbegriff hat hier folgende Strukturmerkmale: (α) Evidente Sachverhalte beziehen sich auf Vorstellungsinhalte, die klar und deutlich sind, d.h. Begriffe, die sich von anderen Begriffen klar unterscheiden lassen und deren einzelne Strukturmerkmale deutlich erkennbar sind. (β) Aussagen erscheinen evident, wenn sie gemäß der analytisch-synthetischen Methode gewonnen und wenn sie die Feuerprobe des methodischen Zweifels unbeschadet überstanden haben. (γ) Die Evidenz ist ein subjektives Überzeugungsbewußtsein, das sich dann einstellt, wenn das erkennende Subjekt hinreichend mathematisch und philosophisch geschult ist und das zu erkennende Objekt mit größter Aufmerksamkeit einer ausführlichen gedanklichen Analyse unterzogen wird. Die Evidenz des Erkannten beruht demnach wesentlich auf einer belehrten Intuition. (δ) Die Evidenz bezieht sich demnach auf das Ergebnis eines umfassenden Prüfungsverfahrens, das so eindeutig ausfällt, daß keine andere Lösung vernünftig und damit kein weiterer vernünftiger Zweifel möglich erscheint. Dahinter verbirgt sich der Kerngedanke, daß Begründungsketten – wenn sie nicht in einen unendlichen Regreß oder in einen logischen Zirkel führen sollen – nur durch den Verweis auf angeborene Ideen abgeschlossen werden können. (ϵ) Das subjektive Überzeugungsbewußtsein (subjektive Funktion der Evidenz) wird insofern zur objektiven Gewißheit (objektive Funktion der Evidenz), als die Existenz einer vollkommenen Substanz als Garant der Wahrheit angenommen werden darf bzw. muß. Damit hat die Begründung der objektiven Gewißheit transzendente Wurzeln. Leibniz will stattdessen das Wahrheitskriterium an das Prinzip vom ausgeschlossenen Widerspruch binden. Kant verweist dann aber zu Recht darauf, daß dieses Prinzip notwendig aber nicht hinreichend ist – also nur im Sinne eines „negativen Probersteins“ zur Geltung kommen kann.

Traditionelle Erkenntnislehren haben ein Rechtfertigungsverständnis von Theorien, das wesentlich auf der epistemischen Autonomie des erkennenden Subjekts beruht. Demzufolge kann der Mensch immer schon a priori beurteilen, ob sein Wissen tatsächlich gerechtfertigt ist oder nicht. Das traditionelle Paradigma beruht hauptsächlich auf neun Thesen, die in den Erkenntnislehren in verschiedenen Spielarten auftreten. Grundmann faßt dies folgendermaßen zusammen:

Traditionelle Rechtfertigungstheorien beruhen auf einer Reihe von unterschiedlichen Dogmen [...]: dem methodologischen Apriorismus, dem Anti-Psychologismus, dem epistemologischen Internalismus, dem Individualismus, dem Anti-Reduktionismus, dem Anti-Kontextualismus, dem Inferenzialismus, dem Doxastizismus und dem psychosemantischen Internalismus.⁵⁸³

Die modernen erkenntnistheoretischen Diskussionen haben die Thesen der traditionellen Erkenntnislehren nachhaltig erschüttert, ohne daß sie allerdings zu einem Konsens gefunden hätten. Eines der Probleme besteht dabei darin, daß der Rechtfertigungsbegriff (deduktiver Begründungsbegriff, komputationeller Begründungsbegriff, kausaler Begründungsbegriff, Begründungsbegriff im Sinne einer positiven Relevanz) heftig umstritten ist.⁵⁸⁴ Ein weiteres Problem hängt mit der Frage nach der Struktur der Rechtfertigung zusammen. Hier stehen insbesondere die Thesen kohärenztheoretischer und kontextualistischer Positionen auf dem Prüfstand.

Diese Studie wirbt für die Etablierung eines neuen *Paradigmas*, das die traditionellen Thesen grundsätzlich in Frage stellt. Eine Auseinandersetzung mit dem *Rechtfertigungsproblem* der modernen analytischen Erkenntnistheorien übersteigt aber den Rahmen dieser Studie. Diese will zuallererst zur Beantwortung der *Entstehungsfrage* beitragen; die *Geltungsfrage*, die als nachgeordnet angesehen wird, muß hier ausgeklammert bleiben.⁵⁸⁵ Im folgenden soll nur auf einen Aspekt eingegangen werden. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie ermöglicht einen neuen Blick auf den Evidenzbegriff. Zunächst sind drei Bedeutungen zu unterscheiden: (α) Die phänomen-orientierte, sinnliche Intuition ist mit einer sinnlichen Evidenz im Sinne einer *Evidenz des Augenscheins* verknüpft. (β) Die symbol-orientierte, rationale Intuition ist mit einer rationalen Evidenz im Sinne einer *Evidenz des Wesentlichen* verknüpft. (γ) Die struktur-orientierte, rationale Intuition ist mit einer rationalen Evidenz im Sinne einer *Evidenz mathematischer Strukturen* verknüpft.

⁵⁸³ Grundmann 2001, S. 19

⁵⁸⁴ Spohn 2001

⁵⁸⁵ Auch wenn der methodologische Apriorismus zurückgewiesen wird, so soll doch nochmals betont werden, daß hier keineswegs eine radikale Variante vertreten wird, derzufolge eine Erkenntnistheorie alle normativen Aspekte einbüßt und zu einem ausschließlich wissenschaftlichen Unternehmen wird. Diese Studie beginnt zwar mit den Postulaten eines ontologischen, epistemologischen und methodologischen Naturalismus; sie will aber diese Postulate nicht dogmatisch verteidigen. Sie läßt ausdrücklich die Modifikation dieser Postulate zu, sofern sich dies als notwendig erweist.

- (i) Die ***Gestaltpsychologie***: Hier geht es um die figurative Strukturierung von Phänomenen. Eine subjektive Evidenz wird erreicht, wenn die Strukturierung sinnvoll erscheint. Das Evidenzerlebnis bleibt aus, wenn keine sinnvolle Strukturierung erreicht wird. Dies ist beispielsweise immer dann der Fall, wenn der sensorische Input zu fragmentarisch ist um ihn zu einer sinnvollen Strukturierung zu ergänzen. Besonders bemerkenswert ist das ausbleibende Evidenzerlebnis, wenn es sich um unmögliche Figuren (Escher) handelt. Hier gelingt die Strukturierung nur partiell, aber nie vollständig. Dies ruft mitunter ein starkes Unbehagen hervor.

- (ii) Die ***Genetische Erkenntnistheorie***: Hier wird die Evidenz als Gleichgewichtszustand begriffen. Aussagen erscheinen evident, wenn sie nach Maßgabe der komplementären Mechanismen der Assimilation und Akkomodation zu einem Äquilibrationszustand geführt haben. Die Anpassung der subjektiven Strukturen an die objektiven Strukturen ist dann im Sinne einer inneren Kohärenz der subjektiven Strukturen zu verstehen, die als epistemologische Notwendigkeit erfahren wird. Jede Erkenntnis kann aber nur relativ zu der bereits erreichten Entwicklungsstufe beurteilt werden. Wie Putnam betont, scheint eine epistemologische Notwendigkeit insbesondere dann vorzuliegen, wenn keine Alternativen verfügbar sind. Beispiele aus der Geschichte der Wissenschaft sind die euklidische Geometrie und die aristotelische Logik. In beiden Fällen wird eine absolute Evidenz der jeweils zugrundeliegenden Axiome behauptet, bis Alternativen entwickelt werden, die zeigen, daß die ursprüngliche Behauptung abzuschwächen ist zu einer relativen Evidenz.

- (iii) Die ***theoretische Neuroinformatik***: Evidente Sachverhalte beziehen sich auf kodierte Prototypen. Diese entsprechen den Attraktor-Zuständen in Hopfield-Netzen. Objekte, die dem kodierten Prototyp sehr nahe kommen, rufen ein Evidenzgefühl hervor; Grenzfälle hingegen verhindern das Evidenzgefühl. Die subjektive Evidenz ist ein Überzeugungsbewußtsein, das sich dann einstellt, wenn das erkennende Subjekt hinreichend geschult ist, d.h. wenn durch Training Prototypen bzw. Attraktorzustände aufgebaut sind und wenn das zu erkennende Objekt mit einer gewissen Aufmerksamkeit betrachtet wird. Die Evidenz meint also das Ergebnis einer visuellen oder gedanklichen Betrachtung, die so eindeutig ausfällt, daß ein stabiler Attraktorzustand eingenommen werden kann. Die Annahme einer adäquaten Strukturierung ist im Sinne eines subjektiven Überzeugungsbewußtsein zu verstehen, das als Evidenz bezeichnet wird.

In einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie wird mit dem *Wissenspostulat* für einen erweiterten Wissensbegriff argumentiert, der sich vom traditionellen Wissensbegriff in wichtigen Aspekten unterscheidet. Üblicherweise wird **q** genau dann als Wissen bezeichnet,

wenn die folgenden notwendigen und hinreichenden Bedingungen erfüllt sind:⁵⁸⁶ (α) q ist eine sprachlich formulierte Aussage, (β) q ist wahr, (γ) das erkennende Subjekt S ist davon überzeugt, daß q wahr ist und (δ) das erkennende Subjekt S hat gute Gründe für die Überzeugung, daß q wahr ist. Neben dem sprachlich formulierten, *expliziten* Wissen gibt es ein *implizites* Wissen, das erwartungs- und verhaltensrelevant ist. An die Stelle der traditionellen Bedingungen für Wissen sollen daher folgende, teilweise erweiterte und teilweise abgeschwächte Bedingungen gelten:

- (i) A ist das Ergebnis einer figurativen, repräsentativen oder operativen Strukturierungsleistung.
- (ii) Das erkennende Subjekt S hat die Strukturierung A als Ergebnis der Äquilibration im Sinne einer inneren Kohärenz gemäß den komplementären Mechanismen der Assimilation und Akkomodation, in Abhängigkeit von seiner individuellen Entwicklungsstufe geleistet und den verfügbaren Kontrollmechanismen (Experiment, Logik, Mathematik) unterzogen. Für figurative Strukturierungsleistung reduziert sich der Kontrollmechanismus auf die Sinnstiftung des sensorischen Input.
- (iii) Das erkennende Subjekt S erfährt A als Ergebnis der Anpassung der subjektiven Strukturen an die objektiven Strukturen der Wirklichkeit im Sinne einer epistemologischen Notwendigkeit und ist davon überzeugt, daß A evident ist im Sinne eines subjektiven Überzeugungsbewußtsein (subjektive Evidenz). Die Untersuchungen der Entwicklungspsychologie belegen, daß insbesondere die völlige Aneignung einer Invarianzvorstellung von einem Gefühl der Notwendigkeit begleitet ist.⁵⁸⁷
- (iv) Insofern das Wissen explizit – insbesondere mathematisch formuliert – ist, kann das erkennende Subjekt S Gründe angeben, warum A evident ist. Zu diesen Gründen gehört die Widerspruchsfreiheit und die begründete Einsicht, warum – mit Blick auf die allgemein akzeptierten Kontrollmechanismen – alternative Strukturierungen A^* als nicht-adäquat ausgeschlossen werden dürfen und müssen. Dies kann dann im Sinne einer objektiven Evidenz gedeutet werden, d.h. eine objektive Evidenz besteht genau dann, wenn es keine weiteren Kontrollmechanismen gibt, die für eine Prüfung der erreichten Evidenz zur Verfügung stehen. Aber auch in diesen Fällen ist die objektive Evidenz nicht absolut, sondern bleibt relativ, insofern nicht ausgeschlossen werden kann, daß zu einem späteren Zeitpunkt alternative Strukturierungen A^* bzw. neue Kontrollmechanismen entwickelt werden.

⁵⁸⁶ Alternative Bedingungen formulieren Ayer 1956 und Chisholm 1957. In diesem Zusammenhang steht das Gettier-Problem, das die Frage nach den notwendigen und hinreichenden Bedingungen für Wissen kritisch hinterfragt (vgl. Grundmann 2001).

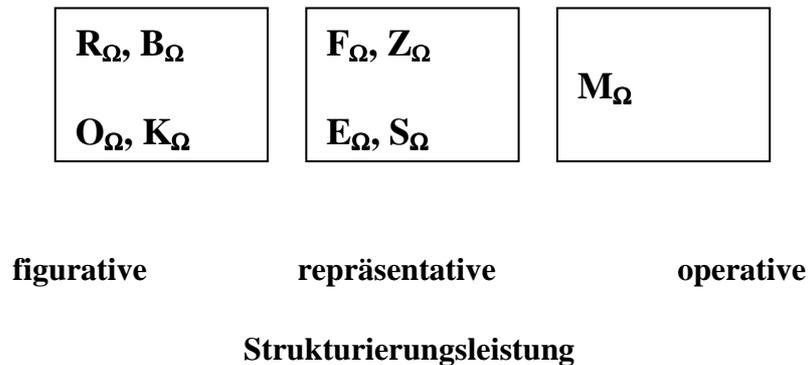
⁵⁸⁷ Diese Überzeugung kann durch sprachliche Formulierungen oder durch entsprechende Erwartungen bzw. Verhaltensweisen zum Ausdruck kommen.

figurative Strukturierung	repräsentative Strukturierung	operative Strukturierung
non-verbal, erwartungs- und verhaltensrelevant	Fuzzy-Begriffe, physikalische Begriffe	mathematische Begriffe, abgeschlossene Strukturen
widerspruchstolerant, überlebensadäquat	Wahrheitskontinuum	widerspruchsfrei (wahr / falsch)
subjektive Evidenz, Evidenz des Augenscheins	subjektive Evidenz, Evidenz des Wesentlichen	objektive Evidenz, Evidenz mathematischer Strukturen

Die subjektive Funktion der Evidenz hängt wesentlich mit der Anschaulichkeit der Erkenntnis zusammen. Bis hin zu Kant gelten die Sätze der euklidischen Geometrie deshalb als evident, weil sie auf der Konstruierbarkeit der Figuren beruhen. Es bleibt dann die Frage: Kann auch eine objektive Funktion der Evidenz begründet werden? Die Antwort einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie lautet: Ja, aber in einem sehr eingeschränkten Sinne, der den Wirklichkeitsbezug spezifiziert (vgl. Kapitel 2.4). Die objektive Evidenz ist keine absolute Evidenz, sondern bleibt immer eine relative Evidenz. Um eine absolute objektive Evidenz zu begründen wäre ein vollständiges aporetisches Verfahren nötig: (α) In einem ersten Schritt müßten alle nur möglichen Alternativen A_1, A_2, A_3, \dots erkannt und formuliert werden. Dies ist für empirische Sachverhalte prinzipiell nicht möglich, weil die menschliche Erkenntnisfähigkeit fragmentarisch ist und bleibt. (β) In einem zweiten Schritt müßten alle Alternativen – bis auf eine einzige A_n – mit absoluter Begründung ausgeschlossen werden können. Dies ist prinzipiell nicht möglich, weil sich hier sofort ein unendlicher Begründungsregreß auftut. (γ) In einem letzten Schritt müßte nachgewiesen werden, daß mit einer operativ verstandenen Mathematik nicht nur eine Kontrollinstanz zur Verfügung steht, die alle anderen Kontrollinstanzen an objektiver Evidenz übertrifft, die der Mensch aufgebaut hat, sondern, daß auch prinzipiell keine bessere Kontrollinstanz möglich ist. Dies ist prinzipiell unmöglich, da alle Kontrollinstanzen von Menschen entwickelt werden und damit von seiner kognitiven Ausstattung abhängig sind. Im folgenden ist die intuitive Erkenntnis als eine intuitive Strukturierung zu verstehen, die geprüft ist mit den Mitteln wissenschaftlicher Kontrollinstanzen (Experiment, Logik, Mathematik) und daher als objektiv evident gelten kann im zuvor genannten eingeschränkten Sinne.

Das Verhältnis der ontogenetischen zur wissenschaftstheoretischen Perspektive

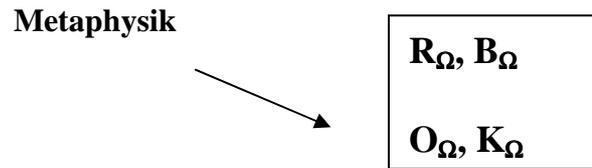
Der Erkenntnisprozeß kann unter zwei Perspektiven betrachtet werden: (i) die *ontogenetische Perspektive*, die den Aufbau der Strukturierungsformen im Zusammenhang mit dem Architektur-Lernen beschreibt und (ii) die *wissenschaftstheoretische Perspektive*, die die Modifikation der Strukturierungsformen im Zusammenhang mit dem Struktur-Lernen beschreibt. Hier soll es um die Frage gehen, in welchem Verhältnis die beiden Perspektiven zueinander stehen. Die Genetische Erkenntnistheorie analysiert zuallererst den Aufbau mesokosmischer Strukturierungen T_{Meso} und beschreibt diese als einer dreifache Strukturierungsleistung. Darüber hinaus erhebt sie aber auch den Anspruch, durch *Analogie-Argumente* zur Klärung der Entwicklung wissenschaftlicher Strukturierungen T_{Wiss} beitragen zu können. Mit diesen Analogie-Argumenten wird die Brücke geschlagen von den mesokosmischen Strukturierungen zu den wissenschaftlichen Strukturierungen.



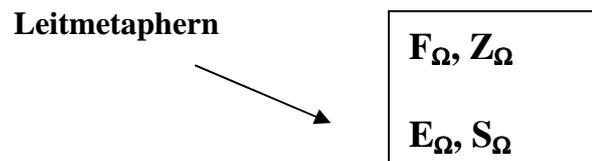
Wissenschaftstheoretisch lassen sich im Aufbau der wissenschaftlichen Strukturierung drei verschiedene Theorieteile identifizieren:

- Metaphysik**
(Raum, Zeit, Substanz, Kausalität)
- Leitmetaphern**
(Laborexperiment, Fachsprache,
synthetisch-geometrische Darstellung, analytisch-arithmetische Darstellung)
- Methodenideale**
(Logik, Mathematik)

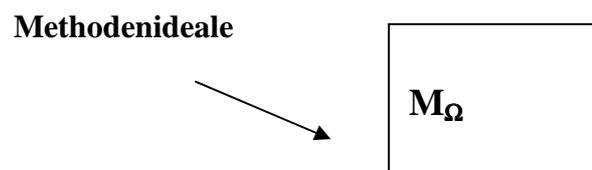
Das Verhältnis der ontogenetischen zur wissenschaftstheoretischen Perspektive, das ausführlich in Kapitel 2.4 behandelt wird, ergibt sich folgendermaßen: Die Genetische Erkenntnistheorie liefert die Strukturierungsformen, die in einem Strukturierungsschema zusammengefaßt sind und deren Konkretisierung von der ontogenetischen bzw. kulturellen Entwicklungsstufe Ω abhängt.



Die *Metaphysik* zielt hauptsächlich auf die *figurative* Strukturierungsleistung. Dies ist die Strukturierung der Phänomene nach Maßgabe von Raum und Bewegung (koexistierende und sukzessive Anordnung der Objekte und Prozesse), das Wissen um die Strukturmerkmale des Raumes (Dimensionalität, Topologie, Metrik), die non-verbale, aber erwartungs- und verhaltensrelevante Prototypenbildung von Objekten (Substanz) und Prozessen (Kausalität), ihre Strukturierung nach figurativen Strukturierungsgesetzen und das Wissen um Invarianzbeziehungen. Metaphysische Annahmen über die Beschaffenheit der Natur sind teilweise explizit formulierte und teilweise nicht-bewußt und unausgesprochen und damit implizit bleibende hypothetische Strukturierungen des empirischen Gegenstandsbereichs.



Die *Leitmetaphern* zielen hauptsächlich auf die *repräsentative* Strukturierungsleistung. Dies ist die Strukturierung eines experimentell-technisch erweiterten Phänomenbereichs und die Darstellung dieser Strukturierung durch Fachsprache, Geometrie (Figur) und Arithmetik (Zahl). Damit verbunden ist die Fähigkeit einer perspektivischen, intentionalen Repräsentation der Wirklichkeit, d.h. es werden wesentliche Merkmale des Gegenstandsbereichs extrahiert und in Leitmetaphern (produkt-orientiert, chiffre-orientiert) formuliert.



Die *Methodenideale* und die *Kontrollinstanzen* zielen hauptsächlich auf die *operative* Strukturierungsleistung. Hier wird das logisch-mathematische Instrumentarium angesprochen,

das als methodisches Rüstzeug für die Erforschung und Beschreibung der Natur eingesetzt wird. Grundlegend ist ein operatives Mathematikverständnis, das insbesondere die Abgeschlossenheit mathematischer Operationen in den Blick nimmt.

In der Begründung des *Analogie-Arguments* zwischen mesokosmischer Strukturierung und wissenschaftlicher Strukturierung geht es hauptsächlich um drei Aspekte: (α) Die Entwicklung wissenschaftlicher Theorien zur Natur verläuft in *abgeschlossenen Stufen*. Die erste Stufe meint die kontemplative Naturbetrachtung der aristotelischen Physik, die ihre Ergebnisse in einer qualitativen Sprache zum Ausdruck bringt. Die zweite Stufe meint den Sachverhalt, daß bestimmte Disziplinen (Geometrie, Mechanik) den Gang einer Wissenschaft einschlagen, indem sie – im Sinne Kants – geometrische Figuren konstruieren bzw. Phänomene experimentell herstellen. Die dritte Stufe wird erreicht, wenn ein operatives Mathematikverständnis in die Naturbeschreibung einfließt und eine analytisch-arithmetische Darstellung der Ergebnisse möglich wird. Das charakteristische Merkmal der abgeschlossenen Stufen besteht darin, daß am Endpunkt der Entwicklung ein Äquilibriumszustand erreicht wird. Eine Erweiterung des Erkenntniserwerbs verlangt dann nicht vorrangig ein *Mehr an Erfahrung*, sondern hauptsächlich eine andere *Art von Erfahrung*. (β) Die *Strukturierungsformen* verändern sich nicht nur während der ontogenetischen Entwicklung, sondern auch im Laufe der wissenschaftlichen Entwicklung. Dies wird durch die Paradigma-Theorie von Kuhn bestätigt, die hervorhebt, daß jeder Paradigma-Wechsel verbunden ist mit einem Neuaufbau einer Theorie auf einem modifizierten begrifflichen und strukturellen Fundament. Die damit verknüpfte Bedeutungsverschiebung von Begriffen berücksichtigt die Kontextabhängigkeit der Begriffe. (γ) Bemerkenswert ist weiter, daß die Parallelisierung von Ontogenese und Wissenschaftsgeschichte gerade nicht immer gelingt. Die faktischen Entwicklungen in der Geometrie und der theoretischen Neuroinformatik erscheinen als Anomalien des Analogie-Arguments und bleiben auf den ersten Blick kontra-intuitiv. Die Thesen von den *genetischen Paradoxien der Geometrie und der Kognition* versuchen eine Erklärung zu geben für die gegenläufigen Entwicklungen in der Geometrie (ontogenetisch: Wissen um topologische Strukturen – Wissen um metrische Strukturen; wissenschaftlich: Formulierung einer metrischen Geometrie – Formulierung einer topologischen Geometrie) und in der theoretischen Neuroinformatik (ontogenetisch: Aufbau senso-motorischer Fähigkeiten – Entfaltung logisch-mathematischer Fähigkeiten; wissenschaftlich: Simulation logisch-mathematischer Fähigkeiten an von-Neumann-Rechnern – Simulation von Mustererkennung, Mustervervollständigung an neuronalen Netzen). Die Erklärung dieser Paradoxien greift zurück auf die Funktionen und Grenzen der jeweils zugrundeliegenden Leitmetaphern und ermöglichen so eine Erklärung auf einer tieferen Ebene.

2.4 Funktionen und Grenzen der intuitiven Erkenntnis

Zahlreiche Physiker schreiben der intuitiven Erkenntnis eine unverzichtbare Funktion zu. In welchen Zusammenhängen einer Theorie (Konstruktion, Verständnis, Rechtfertigung) spielt die intuitive Erkenntnis eine Rolle? Was leistet sie? Hier soll für die These argumentiert werden, daß der intuitiven Erkenntnis eine heuristische Funktion für die *Theorienkonstruktion* und eine sinnstiftende Funktion für das *Theorienverständnis* zukommt. Im Rechtfertigungszusammenhang einer Theorie kann die intuitive Erkenntnis aber nur eine sehr eingeschränkte Funktion übernehmen. Dies liegt an der ganzheitlichen Strukturierung der intuitiven Erkenntnis und dem damit verbundenen wesentlich spekulativen Charakter. Die intuitive Erkenntnis übernimmt für die Theorienkonstruktion folgende Funktionen: (α) Sie liefert eine plausible Begründung für die Metaphysik, d.h. sie klärt, welche Grundbegriffe, Strukturprinzipien und Vollkommenheitsideale die Naturbeschreibung leiten. (β) Sie schlägt verschiedene Leitmetaphern vor, unter denen das Naturverständnis zustandekommen kann. Sie ermöglicht damit gewissermaßen eine Außen-Perspektive und sie macht die spezielle Wahl dieser Metaphern einsichtig. (γ) Sie begründet die Methodenideale, die die Erforschung und Beschreibung der Naturphänomene ermöglichen und entscheidet über die Zulässigkeit von Kontrollinstanzen.

Theorienkonstruktion: Metaphysik, Leitmetaphern, Methodenideale

1. Intuitive Begründung der metaphysischen Vorannahmen über die Natur:

Grundbegriffe, Strukturprinzipien, Vollkommenheitsideale

Verschiebung: sinnliche Intuition → rationale Intuition

2. Intuitive Begründung der verschiedenen Leitmetaphern:

Extraktion eines charakteristischen Merkmals, Außen-Perspektive

Leitmetaphern: natur-orientiert, chiffre-orientiert, produkt-orientiert

(Maschine: mechanisch, thermodynamisch, informationsverarbeitend)

Patchwork-Leitmetapher

Verschiebung: sinnliche Intuition → rationale Intuition

3. Intuitive Begründung der verschiedenen Methodenideale:

induktiv-deduktiv, experimentell-mathematisch,

analytisch-synthetisch, systemtheoretisch-kybernetisch

Reduktion von Komplexität: Abstraktionen & Idealisierungen, das Unendliche

Kontrollinstanzen (Logik, Experiment, Mathematik)

Die intuitive Erkenntnis übernimmt für das Theorienverständnis zwei Funktionen: (α) Die phänomen-orientierte, sinnliche Intuition leistet eine Veranschaulichung des abstrakten Formalismus und (β) die struktur-orientierte, rationale Intuition stellt den Bezug zur Wirklichkeit her.

Theorienverständnis: Anschaulichkeit, Wirklichkeitsbezug
1. Veranschaulichung durch Verschiebung innerhalb des Strukturierungsschemas: spezielle Darstellungen (Geometrisierung, Mechanisierung) statische Anschaulichkeit & dynamische Anschaulichkeit
2. Veranschaulichung durch Rückgriff auf ein einfacheres Strukturierungsschema: Analogisierung (einfachere Metaphysik)
3. Veranschaulichung durch Rückgriff auf ein „fremdes“ Strukturierungsschema: Metaphorisierung (z.B.: Psychologie, Biologie)
4. Wirklichkeitsbezug: „Hertzsche Bilder“ & „Vollmersche Projektionen“, Kombination der Modelle

Moderne physikalische Theorien – Relativitätstheorie, Quantentheorie, Chaostheorie – gelten als schwer verständlich, ihre Ergebnisse sind kontra-intuitiv. Das Verständnis physikalischer Theorien hängt eng mit der Intuition zusammen; ihre Rolle bleibt dabei höchst unklar: einerseits scheint sie für den Erkenntnisprozeß grundlegend, andererseits scheint sie mitunter ein adäquates Verständnis geradezu zu verhindern. Wo versagt die intuitive Erkenntnis? Wo und inwiefern steht sie mitunter einer Erkenntnis eher im Wege? Dieser Sachverhalt führt zur Frage nach den Grenzen der intuitiven Erkenntnis. Für die Theorienkonstruktion ergeben sich folgende Grenzen: (α) Die Begründung der Metaphysik stützt sich zunächst auf plausible Annahmen in der phänomen-orientierten, sinnlichen Intuition. Hieraus entstehen vielschichtige und schwerwiegende Probleme der Eindeutigkeit, der Widerspruchsfreiheit, der Adäquatheit und der Bewußtmachung. (β) Die Leitmetapher verengt den Blick auf die Natur. Sie ist immer nur partiell adäquat, d.h. sie besitzt immer auch einen nicht-intendierten Teil und unterstellt Eigenschaften und Strukturen, die nicht adäquat sein müssen. Sie ist abhängig vom verfügbaren Instrumentarium und hier insbesondere vom experimentell-technischen und logisch-mathematischen Stand der Forschung. Darüber hinaus bedroht die Pluralität der Leitmetaphern die Einheit der Naturbeschreibung. (γ) Die Begründungen der Methodenideale und der Kontrollinstanzen sind abhängig von der speziellen Wahl der Metaphysik und den Leitmetaphern.

Theorienkonstruktion: Metaphysik, Leitmetaphern, Methodenideale

**1. Probleme der Begründung der metaphysischen Vorannahmen über die Natur:
Eindeutigkeit, Bewußtmachung, Adäquatheit, Widerspruchsfreiheit**

**2. Probleme der Begründung der Leitmetaphern:
Verengung des Blickwinkels,
Adäquatheit der nicht-intendierten Teile der Metapher,
Abhängigkeit vom verfügbaren Instrumentarium,
bedrohte Einheit der Naturbeschreibung**

**3. Probleme der Begründung der Methodenideale:
Problem der Abstraktionen & Idealisierungen
Abhängigkeit von Metaphysik & Leitmetaphern,
Problem der spiralförmigen Struktur des Wissenserwerbs**

Für das Theorienverständnis ergeben sich folgende Grenzen der intuitiven Erkenntnis: (α) Die Möglichkeit der Veranschaulichung ist eingeschränkt, weil nur noch eine Veranschaulichung von Teilaspekten möglich ist. (β) Der Wirklichkeitsbezug läßt sich nur partiell herstellen.

Theorienverständnis: Anschaulichkeit, Wirklichkeitsbezug

1. Einschränkung der Veranschaulichung:

Raum-Zeit-Struktur

(Reduktion der Raum-Dimension, Beschänkung auf eine einzige Eigenschaft)

2. Einschränkung der Veranschaulichung:

Materie-Eigenschaften, Kausal-Strukturen

(„unmögliche Bilder“, inkompatible Teilaspekte, Grenzen der Metaphorisierung)

3. Wirklichkeitsbezug:

partielle Adäquatheit des kombinierten Modells

Nach diesem ersten Überblick werden die Funktionen und Grenzen der intuitiven Erkenntnis en detail analysiert.

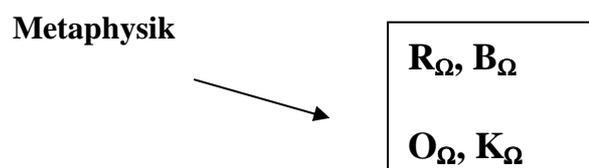
Metaphysik

1. These: Hier soll für die These argumentiert werden, daß die intuitive Erkenntnis unverzichtbar ist für die Formulierung und Begründung der Metaphysik in der Theorienkonstruktion: Die Intuition strukturiert den Gegenstandsbereich und stellt die Grundbegriffe, Strukturprinzipien und Vollkommenheitsideale bereit, die dann die Erforschung und Beschreibung der Naturphänomene leisten. Darüber hinaus gibt sie plausible Begründungen für ihre Wahl, soweit die begriffliche und strukturelle Basis einer Theorie überhaupt hinreichend reflektiert wird. Hierzu betont Fetz:

Eine Wissenschaft ohne vorwissenschaftliche Annahmen erscheint gar nicht denkbar, da jeder wissenschaftlichen und speziell naturwissenschaftlichen Methodik die Idee einer Naturordnung, einer vorherrschenden Kausalitätsform, kurz Leitvorstellungen über den zu untersuchenden Objektbereich zugrundeliegen, die sich nie als solche verifizieren lassen.⁵⁸⁸

Alle naturwissenschaftlichen Theorien beginnen mit Konzeptionen, die fest in den vorwiegend phänomen-orientierten, sinnlich-intuitiven Vorstellungen der mesokosmischen Strukturierung wurzeln; diese werden zunächst als evident akzeptiert und sind noch ungeprüft. Es gibt keine empirische Wissenschaft, die ohne solche Ansätze Theorien auf den Weg bringen könnte.

2. Begriff: Was bedeutet der Begriff „Metaphysik“? Die Metaphysik in der Physik meint eine hypothetische Strukturierung des empirischen Gegenstandsbereichs, d.h. allgemeine Vorannahmen über die Beschaffenheit der Natur und allgemeine theorie-übergreifende Elemente zur Naturbeschreibung. Darunter sind Begriffe, Entitäten, Prinzipien und Strukturen zu verstehen, die bereits auf einer Vorstufe zur eigentlichen Theorienbildung als grundlegende Vorentscheidungen festgelegt und als evident akzeptiert werden, obwohl sie teilweise nicht-bewußt, ungeprüft und daher vorläufig sind. Zu diesen theorie-übergreifenden Elementen gehören zuallererst die Begriffe „Raum“, „Bewegung“, „Substanz“ und „Kausalität“, aber auch Einheits-, Einfachheits- und Vollkommenheitsideale.



Die Physik muß versuchsweise allgemeine Annahmen über die Natur als Grundlage der Theorienkonstruktion formulieren um die chaotische Fülle von Einzelphänomenen zu

⁵⁸⁸ Fetz 1988, S. 51

systematisieren. Die Frage kann daher nicht sein, *ob* metaphysische Annahmen gemacht werden müssen; die Frage kann nur sein, *welche* dies sein können, wie sie zu formulieren sind und mit welchen Plausibilitätsargumenten sie begründet werden. Die metaphysischen Elemente in der Physik bilden das Fundament physikalischer Theorien – ein Fundament, das zwar nicht beansprucht, allgemein gültig und notwendig wahr zu sein, das aber beansprucht, eine hinreichend adäquate Beschreibung von Objekten und Prozessen in der Natur zu liefern. Die metaphysischen Annahmen sind stets vorläufig, revidierbar und der Veränderung im Theorienwandel unterworfen. Dennoch liefern sie eine wirklichkeitsgetreue Beschreibung der Natur, wobei der *Wirklichkeitsbegriff* selbst auf dem Prüfstand steht und zum Forschungsgegenstand wird. Insbesondere behauptet die Metaphysik aber nicht, einen Zugang zum Übersinnlichen zu erschließen; sie reicht nirgends über die Erfahrung hinaus.⁵⁸⁹

3. Beispiele & Eigenschaften: Die metaphysischen Elemente der Naturbeschreibung lassen sich durch folgenden *Eigenschaftenkatalog* charakterisieren: (i) Die metaphysischen Elemente leiten die Heuristik der Theorienbildung. Ohne sie könnte ein theoretischer Ansatz gar nicht erst auf den Weg gebracht werden. Ein instruktives Beispiel dafür liefern die antiken kosmologischen Modelle. Das charakteristische metaphysische Element ist der Gedanke von der Vollkommenheit kreisförmiger Bewegungen. (ii) Die metaphysischen Elemente können formalisiert werden und legen dann Klassen von Theorien fest. In diesem Sinne sind physikalische Theorien als Spezialfälle dieser Theorienklassen zu verstehen, wie beispielsweise die klassische Mechanik aus der Klasse der deterministischen Theorien und die kinetische Gastheorie aus der Klasse der atomistischen Theorien. (iii) Die metaphysischen Elemente lassen sich weder empirisch noch logisch begründen. Aber sie schließen die Lücken, die durch die Unterbestimmtheit der Theorien entstehen. Ihre Annahme ist daher unverzichtbar. Ihre Adäquatheit kann nicht bewiesen, sondern bestenfalls im Sinne vernünftiger Überzeugungen plausibel gemacht werden. (iv) Die metaphysischen Elemente sind hinsichtlich ihrer Adäquatheit indirekt experimentell überprüfbar. Dies ist in dem Sinne zu verstehen, daß es in vielen Fällen möglich ist, Experimente zu entwickeln, die zwischen diesen Klassen von Theorien entscheiden können, ohne daß bereits eine weitergehende Festlegung auf eine spezifische Formulierung nötig ist. Wichtiges Beispiel ist das Experiment von Aspect, das die Gültigkeit der Bellschen Ungleichung testet und damit die Frage nach den allgemeinen Lokalitätsbedingungen beantwortet. Durch dieses Experiment wird eine ganze Klasse von Theorien mit ausschließlich lokal gekoppelten Größen ausgeschlossen. (v) Die metaphysischen Elemente sind im Theorienwandel und mit dem Erkenntnisfortschritt der Veränderung unterworfen. Eine adäquate Metaphysik will von vornherein auf den Anspruch der Endgültigkeit und Abgeschlossenheit des Wissens verzichten; sie will sich als vorläufig, offen und revidierbar verstehen. Damit bekennt sich die Metaphysik ausdrücklich zu ihrem Entwurfcharakter und weist jeden Anspruch auf apodiktische Gewißheit zurück.

⁵⁸⁹ Huber 2000, S. 120 – 129

4. Die Funktionen der intuitiven Begründung: Wie wird die Metaphysik durch die intuitive Erkenntnis begründet und wie leistet dies die Intuition?

- (i) Die *figurative Strukturierung des Phänomenbereichs*: Naturbeschreibung beginnt mit der visuellen Wahrnehmung der Einzelphänomene. Im Gegensatz zu den traditionellen Erkenntnislehren lehrt die Gestaltpsychologie, daß die Wahrnehmung der Phänomene nicht eine Komposition von einzelnen Sinneseindrücken ist, sondern die Zergliederung des Ganzen in „geformte Teilgebilde“. (α) Bereits der einfachste visuelle Wahrnehmungsakt ist nicht als bloßes Registrieren von Sinnesdaten zu verstehen, sondern als eine Konstruktion des erkennenden Subjekts. (β) Phänomene werden schlaglichtartig und ganzheitlich wahrgenommen, nicht-bewußt und ungeprüft nach Maßgabe der erarbeiteten Strukturierungsformen strukturiert und in das bereits etablierte Weltbild integriert. Fehlende und unzulängliche Informationen werden vervollständigt. (γ) Sowohl die mesokosmischen als auch die wissenschaftlichen Strukturierungen sind vereinfachte „Abbilder“ eines Ausschnitts der Wirklichkeit. Vereinfachungen werden vorgenommen, um die Komplexität der Wirklichkeit zu reduzieren. Dabei sollen wesentliche Merkmale der Wirklichkeit erhalten bleiben, d.h. gerade nicht der Vereinfachung zum Opfer fallen. Die Unterscheidung, was wesentlich und was nicht wesentlich ist, kann nicht empirisch oder logisch begründet werden. (δ) Der Wahrnehmung wird zuallererst eine Bedeutung zugeschrieben, die eine Einbettung in den bekannten Kontext erlaubt. Auch wissenschaftliche Phänomene werden nicht isoliert gedeutet, sondern stehen immer im Zusammenhang mit dem bereits etablierten Weltbild.
- (ii) Die *Empiriegeladenheit und Theoriegeladenheit der Theorienkonstruktion*: Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie beschreibt den Erkenntnisprozeß unter zwei komplementären Aspekten: die Empiriegeladenheit der Hypothesen und die Theoriegeladenheit der Beobachtung. (α) Die Gestaltpsychologie formuliert den erfahrungsbedingten Aspekt, der sich in der Vervollständigung fehlender Informationen manifestiert nach Maßgabe der zuvor gemachten Erfahrungen und den erfahrungsunabhängigen Aspekt, der sich in besonders wirksamen Gestaltungsgesetzen manifestiert. (β) Die Genetische Erkenntnistheorie beschreibt die beiden komplementären Aspekte durch die Mechanismen der Assimilation und der Akkomodation. Die Assimilation meint die Interpretation der Wirklichkeit nach Maßgabe bereits aufgebauter Konzepte und Strukturen und beschreibt demnach die Theoriegeladenheit der Erkenntnis. Auch bei der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit verbiegt und verzerrt der Forscher das jeweilige Phänomen gewissermaßen um es verstehen zu können. Die Akkomodation beinhaltet die Neuorganisation des Denkens, falls sich die spezifischen Eigenschaften der Wirklichkeit mit den vorhandenen Strukturen nicht hinreichend verstehen lassen.

Sie beschreibt demnach die Empiriegeladenheit der Erkenntnis. Beide Mechanismen wirken zusammen und sorgen dafür, daß mit dem Erkenntnisfortschritt die Widersprüche im Gedankensystem zunehmend ausgemerzt werden. Der Gleichgewichtszustand manifestiert sich dann in der inneren Kohärenz der Erkenntnis. (γ) Die Gehirnforschung beschreibt die beiden Aspekte als zwei komplementäre, gehirneigene Verarbeitungsvorgänge (Ping-Pong-Prinzip): Der sensorische Input wird zunächst an höhere Kortex-Areale zur intuitiven Hypothesenbildung weitergeleitet (bottom-up-Prozeß) und dann werden die vorgeschlagenen Hypothesen an niedrigere Kortex-Areale zurückgeführt (top-down-Prozeß) und geprüft, ob sie mit dem sensorischen Input hinreichend konsistent sind. Verläuft die Konsistenzprüfung nicht erfolgreich, ist eine neue Hypothesenbildung wiederum auf der Grundlage intuitiver Einsicht erforderlich. Dabei ist zu betonen, daß auch in der wissenschaftlichen Strukturierung keine empirisch oder logisch begründete Hypothesenbildung vorliegt.

- (iii) Die *Vereinfachung und Vervollständigung in der Theorienkonstruktion*: Die Strukturierung der Einzelphänomene ist einerseits vereinfachend und andererseits vervollständigend. (α) In jeder Wahrnehmung wird ein Teil des sensorischen Input als wichtig bewertet und bildet dann die Figur; der komplementäre Teil wird als unwichtig bewertet, tritt in den Hintergrund und wird ignoriert (Figur-Hintergrund). In der Wissenschaft entspricht dies der Aufspaltung der wirklichen Phänomene in einen Teil, der als Effekt gedeutet und in einen Teil, der als vernachlässigbare Störung bewertet wird. Das idealisierte Phänomen ist dann stark vereinfacht und gilt als eigentlicher Erkenntnisgegenstand. (β) Unzureichende oder fehlende Informationen werden spekulativ vervollständigt um die intuitive Strukturierung sinnvoll zu machen. Auf der Ebene der wissenschaftlichen Theorienkonstruktion fließen erwartungs- und verhaltensrelevante metaphysische Annahmen über die Beschaffenheit der Natur ein, die häufig unausgesprochen eingehen. Demzufolge enthält die Naturbeschreibung immer auch stillschweigende Annahmen, die bestimmte Lösungsmöglichkeiten für die Naturbeschreibung nahelegen und andere ausschließen.
- (iv) Die *impliziten Annahmen*: Das Ergebnis der wissenschaftlichen Strukturierung ist eine teilweise begrifflich formulierte und teilweise non-verbale, aber dennoch erwartungs- und verhaltensrelevante Verfügung über die Begriffe „Raum“, „Bewegung“, „Objekt“ und „Kausalität“. Die Metaphysik umfaßt somit auch einen teilweise unartikuliert und nicht-bewußt bleibenden Teil der Annahmen der Naturbeschreibung; diese intuitiven Annahmen legen aber immer bestimmte Lösungsmöglichkeiten für die Naturbeschreibung nahe und schließen andere aus. Sie haben die Funktion von constraint-Bedingungen. Häufig besitzen sie den Rang epistemologischer Notwendigkeiten aus Mangel an Alternativen im Sinne Putnams. (α) Ein naturphilosophisch sehr wirksames Beispiel findet sich in Platons Mythos vom

Demiurgen, dessen Schöpfungswerk gerade darin besteht, das Chaos vollständig in Ordnung zu überführen. Implizit ist die metaphysische Annahme enthalten, daß Ordnung vollkommener ist als Chaos. Insbesondere die Chaostheorie zeigt unmißverständlich, daß eine den platonischen Vollkommenheitsidealen verpflichtete Natursicht zumindest einseitig ist. (β) Ein weiteres naturphilosophisch sehr wirksames Beispiel ist das leibnizsche Kontinuitätsprinzip, demzufolge die Natur keine Sprünge macht. Dieser expliziten Annahme liegt die implizite Annahme zugrunde, daß die Mathematik, die zu seiner Zeit nur mit stetigen Funktionen vertraut ist, bereits hinreichend ist für die gesamte Naturbeschreibung, d.h. die Verfügbarkeit des mathematischen Instrumentariums wirkt als constraint-Bedingung.

- (v) Die **Vollkommenheitsideale**: Die figurative Strukturierung unterliegt bestimmten Gestaltgesetzen, die sich auch in der wissenschaftlichen Strukturierung bemerkbar machen, obgleich ihr Einfluß durch die Verschiebung – weg von der Phänomen-Ebene der mesokosmischen Strukturierung hin zur Struktur-Ebene der wissenschaftlichen Strukturierung – zunehmend schwächer wird. (α) Figurative Strukturierungen werden nach den Gesetzen der „guten Gestalt“ vorgenommen. Wichtige Kriterien hierfür sind: Einfachheit, Einheitlichkeit, Regelmäßigkeit, Symmetrie, Kontinuität, Geschlossenheit, Harmonie, Kohärenz und Schönheit. Invarianzen und Symmetrien sind besonders wirksame Gestaltgesetze. Einfache und symmetrische Figuren lassen sich besser vergleichen, klarer beschreiben und sind eher einer mathematischen Formulierung zugänglich. (β) Die speziellen Einfachheits- und Symmetrieannahmen, die in der antiken und neuzeitlichen Naturphilosophie eine grundlegende Rolle spielen und die vorwiegend mit dem Verweis auf die göttliche Vollkommenheit begründet werden, wurzeln hauptsächlich in den figurativen Strukturierungsgesetzen der Wahrnehmung. (γ) In der Natur zeigen sich meist geringfügigen Abweichungen von der Ordnung und den Vollkommenheitsidealen. Wichtiges Beispiel ist die Symmetriebrechung.
- (vi) Die **Verschiebung der intuitiven Strukturierung**: Der erste Entwurf einer Strukturierung des Phänomenbereichs ist die mesokosmische Strukturierung T_{Meso} ; er wird geleitet von einer noch unreflektierten phänomen-orientierten, sinnlichen Intuition. Ergeben sich aus diesem Entwurf widersprüchliche Konsequenzen, dann muß die Strukturierung zunehmend reflektierter werden. Es kommt zur Konstruktion wissenschaftlicher Theorien T_{Wiss1} , T_{Wiss2} , T_{Wiss3} , Die Intuition verschiebt sich zunehmend von einer phänomen-orientierten, sinnlichen Intuition hin zu einer struktur-orientierten, rationalen Intuition. Die intuitive Strukturierung bezieht sich dann nicht mehr auf die sinnlich wahrnehmbaren Wirkungen, sondern auf die, nur rational erfaßbaren Ursachen. Dies zeigt sich beispielhaft am Wandel der Einfachheitsideale: (α) Die pythagoreischen Himmelskörper beschreiben

hochsymmetrische Kreisbahnen, die noch gewissermaßen der sinnlichen Intuition zugänglich sind. Die keplerschen Planetenbahnen hingegen genügen einem Energieerhaltungssatz (Summe der kinetischen und potentiellen Energie), der nur mehr von der rationalen Intuition erfaßt werden kann. (β) Ein weiteres wichtiges Beispiel zeigt sich beim Übergang von der Newtonschen Physik zur Relativitätstheorie. Mittelstaedt gibt die klassische Mechanik in einer gruppentheoretischen Formulierung an, die die Hypothese einer absoluten und universellen Zeit $H(Z)$ explizit voraussetzt. Der Verzicht auf $H(Z)$ führt dann unmittelbar zur relativistischen Mechanik. Dies bedeutet, daß die klassische Mechanik im Vergleich zur relativistischen Mechanik auf weniger einfachen Annahmen über die Natur beruht. Die Vereinfachung der relativistischen Mechanik zeigt sich aber gerade nicht auf der Phänomen-Ebene, sondern auf der Struktur-Ebene und ist nur mit einer rationalen Intuition erfaßbar.⁵⁹⁰

5. Die Grenzen der intuitiven Begründung: Die Begründung metaphysischer Annahmen kann nur durch den Verweis auf die intuitive Erkenntnis erfolgen. Die phänomen-orientierte, sinnliche Intuition ist an den Augenschein geknüpft und unterliegt daher der Zwangsläufigkeit und Fehleranfälligkeit. Sie ist zwar prinzipiell nicht veränderbar, dennoch kann ihre Fehlerhaftigkeit durch geeignete Kontrollinstanzen (Experiment, Mathematik) nachgewiesen werden. Die intuitive Begründung der Metaphysik wirft schwerwiegende Probleme auf, die mit der prinzipiellen Fehlerhaftigkeit und Korrekturbedürftigkeit der metaphysischen Annahmen zusammenhängen: (α) die Eindeutigkeit, (β) die Bewußtmachung, (γ) die Adäquatheit und (δ) die Widerspruchsfreiheit.

- (i) Das **Problem der Eindeutigkeit:** Das Eindeutigkeitsproblem ist in der Philosophie, in der Wissenschaftstheorie und in der Physik unter jeweils unterschiedlichen Akzentsetzungen formuliert worden. (α) Hanson und Kuhn haben das Eindeutigkeitsproblem als eine Disambiguierung der Strukturierung formuliert. Der Phänomenbereich kann auf mehrfache Weise – im Sinne eines Gestalt-switch – gedeutet werden. Es besteht demnach eine Analogie zwischen den Umklappfiguren der Gestaltpsychologie und dem Kuhnschen Paradigmenwechsel in der Wissenschaft. Bei Umklappfiguren können Teile der Figur ihre spezifische Rolle, die sie für das Gesamtsystem spielen, ändern. In Analogie dazu wird auch ein und dasselbe Phänomen in verschiedenen paradigmatischen Zusammenhängen unterschiedlich gedeutet. Es sind alternative Strukturierungen durch eine andere Wahl der Begriffe und Prinzipien möglich. Die Strukturierung ist nicht eindeutig, da es immer möglich ist, mit anderen Begriffen und Prinzipien eine andere Strukturierung zu erreichen. Die Ergänzung fehlender Informationen ist stets auf mehrfache Weise möglich. Ihre

⁵⁹⁰ Mittelstaedt 2004

Beliebigkeit mag durch plausible Argumente reduziert werden können; sie bleibt dennoch spekulativ. (β) Die Unterbestimmtheit der Theorie, die in der Duhem-Quine-These zum Ausdruck gebracht wird, besagt, daß der empirische Befund mit mehreren logisch unverträglichen Theorien beschrieben werden kann. Die empirische Datenbasis und die logischen Regeln lassen eine physikalische Theorie unterbestimmt. Die Gesamtheit aller prinzipiell möglichen Beobachtungen legt eine Theorie nicht eindeutig fest, sondern eröffnet einen gewissen, obgleich eingeschränkten Spielraum für die Modifikation von Theorien. Demnach gibt es keine reinen Tatsachen, die als objektive Instanzen der Wahrheit gelten können.

- (ii) Das **Problem der Bewußtmachung**: Intuitive Strukturierungen können Annahmen beinhalten, die zwar nicht bewußt getroffen werden, aber dennoch die Funktion von constraint-Bedingungen übernehmen. Obwohl sie implizit bleiben, sind sie äußerst wirksam, weil sie das Spektrum möglicher Lösungen einschränken. Die Gestaltpsychologie hat diesen Sachverhalt aufgedeckt, beispielsweise wenn es um die Aufgabe geht, **3 x 3** Punkte durch vier gerade Striche zu verbinden, ohne dabei den Bleistift vom Papier abzuheben. Die Aufgabe läßt sich lösen, indem die Kontur der Figur überschritten wird. Häufig wird die Lösung deshalb nicht gefunden, weil fälschlicherweise – nicht-bewußt und unausgesprochen – angenommen wird, daß dies nicht erlaubt sei. Wird diese unausgesprochene Annahme aufgegeben, nimmt das Verständnis des Problems plötzlich eine ganz andere Struktur an und die Lösung ist augenscheinlich. Poincaré hat auf das Problem der nicht-bewußten Hypothesenbildung ausdrücklich hingewiesen.

Der feste Vorsatz, sich dem Experimente unterzuordnen, genügt nicht; es gibt trotzdem gefährliche Hypothesen; das sind vorerst und hauptsächlich diejenigen, welche stillschweigend und unbewußt gemacht werden.⁵⁹¹

- (iii) Das **Problem der Adäquatheit**: In jeder Theorie sind versteckte Annahmen und unausgesprochene Voraussetzungen enthalten, deren Adäquatheit erst überprüft werden muß. Die sinnliche Intuition zeichnet die Axiome der euklidischen Geometrie aus. Die euklidische Geometrie geht von unausgesprochenen Voraussetzungen aus. Die geometrischen Beweise mittels der Konstruktion von Figuren setzen die gestalttreue Beweglichkeit der Figuren im Raum und die Feststellung ihrer Kongruenz voraus. Die Verhältnisse in allgemein gekrümmten Räumen zeigen, daß diese fraglos unterstellten Annahmen nur für Räume mit einem konstanten Krümmungsmaß zutreffend sind. Erst eine analytisch formulierte Geometrie kann diesen Sachverhalt aufdecken, indem sie intrinsische Größen definiert, die geeignet sind, die Raumverhältnisse durch Zahlenverhältnisse zu beschreiben. Hilbert nennt es die

⁵⁹¹ Poincaré 1902, S. 153

regressive Aufgabe der Mathematik, die unausgesprochenen Voraussetzungen herauszuarbeiten. Sofern sich der Erkenntnisfortschritt auf die Tieferlegung der Fundamente im Sinne Hilberts bezieht, meint dies die Präzisierung und strukturelle Anreicherung der Begriffe und Axiome einer wissenschaftlichen Theorie. Hierin enthalten sind stets Übergänge vom Endlichen zum Unendlichen, deren Möglichkeit weder empirisch noch logisch zwingend begründet werden kann. Sie wird nur durch den Verweis auf eine rationale Intuition, die sich auf abstrakte Strukturen bezieht, einsichtig.

- (iv) Das **Problem der Widerspruchsfreiheit**: Metaphysische Annahmen werden intuitiv getroffen; sie unterliegen zunächst nicht der Logik, sie sind demnach nicht auf Widerspruchsfreiheit geprüft. Poincaré und Hilbert haben – am Beispiel des Kontinuumsbegriffs – hervorgehoben, daß die Begriffe zunächst in einer phänomenorientierten, sinnlichen Intuition konstruiert werden. Ihre genauere Untersuchung kann ergeben, daß sie zu logischen Widersprüchen führen. Die sinnliche Intuition liefert demnach nur Anleitungen zu den Begriffsbildungen. Die Begriffe werden zuerst intuitiv gebildet, müssen dann aber durch mathematische Methoden schrittweise verfeinert werden. Das Ergebnis ist dann eine strenge Definition, die strenge Schlußfolgerungen zuläßt. Die Frage, wie mathematische und physikalische Begriffe entwickelt werden können, ist dabei nicht mehr mit dem bloßen Verweis auf die konkrete Konstruktion zu beantworten. Die diesbezüglichen Untersuchungen müssen subtiler werden, weil die sinnliche Intuition auf Widersprüche führen kann.

Die Metaphysik bestimmt die Leitmetaphern, unter denen Natur begriffen wird.

Leitmetaphern

1. These: Hier soll für die These argumentiert werden, daß die intuitive Erkenntnis unverzichtbar ist für die Formulierung und Begründung der Leitmetaphern in der Theorienkonstruktion: Die Intuition extrahiert wesentliche Merkmale des Gegenstandsbereichs, formuliert diese in verschiedenen Leitmetaphern und gibt eine plausible Begründung für die Wahl dieser Leitmetaphern. Damit wird gewissermaßen eine Außen-Perspektive eröffnet, die dem Verständnis der Naturphänomene dient.

2. Begriff: Was ist unter dem Begriff „Metapher“ zu verstehen? Kern einer Metapher ist eine Analogie, d.h. eine Entsprechung zweier Verhältnisse, eine vergleichsvermittelte Bedeutungsübertragung. Die Metapher sagt etwas, was in wörtlicher Bedeutung nur schwer gesagt werden kann; sie macht am Vergleichsgegenstand ein charakteristisches Merkmal sichtbar, das ohne sie nicht gesehen werden kann. Bei einer Metapher ist zu unterscheiden zwischen dem primären Gegenstand **A**, dem eine neue Bedeutung verliehen wird und dem sekundären Gegenstand **B**, der als Vorlage für die Metapher dient und von dem die neue Bedeutung übernommen wird. Der primäre Gegenstand **A** ist in der Physik die gesamte Natur

bzw. Teilbereiche der Natur und diese ist dem Menschen zuallererst durch sein Vermögen zur figurativen Strukturierung zugänglich. Der sekundäre Gegenstand **B** nimmt Bezug auf die repräsentative Strukturierung. Die Metapher ist erst dann bestimmt, wenn der Zusammenhang von **A** und **B** spezifiziert ist.

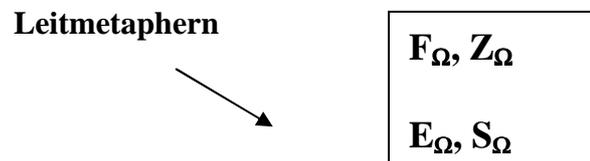


Metaphern können in unterschiedlichen Varianten auftreten:

- (i) Die **natur-orientierte Leitmetapher**: Wenn die Natur selbst die Metapher liefert, dann bedeutet dies, daß aus der Gesamtheit der Merkmale spekulativ ein spezielles Merkmal herausgegriffen, sprachlich formuliert und dieses dann als, die gesamte Natur charakterisierendes Wesensmerkmal gedeutet wird. Diese Leitmetapher bedient sich der Abstraktion und erzielt eine weitreichende Reduktion der Komplexität.
- (ii) Die **produkt-orientierte Leitmetapher**: Als Metapher eignet sich in besonderer Weise ein vom Menschen selbst geschaffenes Produkt. Die Metapher stammt dann aus einem vertrauten und bekannten Bereich und ist in diesem Fall durch eine bestimmte Ansammlung von gut verstandenen Merkmalen charakterisiert, die als Filter dienen können, durch den hindurch der primäre Gegenstand gesehen wird. Die Metapher impliziert denotwendige (Logik) und naturnotwendige (Naturgesetze) Konsequenzen, die auch im primären Gegenstand als gültig unterstellt werden. Je adäquater die Metapher ist, desto zutreffender wird die Zuschreibung sein.
- (iii) Die **chiffre-orientierte Leitmetapher**: Als besonders fruchtbar erweist sich die Auffassung von der mathematischen Struktur der Natur, die bereits bei Pythagoras in der Metapher „alles ist Zahl“ zum Ausdruck kommt. Galilei formuliert die Metapher vom „Buch der Natur, das in mathematischer Sprache geschrieben ist“. Hier geht es für den „Leser“ darum, den Code zu finden, der es ihm ermöglicht, die Geheimnisse der Natur zu entziffern. Die Mathematik – als Arithmetik oder als Geometrie – ist also gewissermaßen die „Muttersprache“ der Natur und liegt für den Menschen in chiffrierter Form vor.

Die Alltagssprache ist charakterisiert durch einen ausgiebigen Gebrauch von Metaphern. Die Verwendung von Metaphern wird möglich durch das menschliche Vermögen, verschiedene Arten von repräsentativen Strukturierungen zu bilden. Die Wissenschaft entwickelt systematisch diese Strukturierungsleistungen weiter, die bereits in der ontogenetischen Reifung aufgebaut werden und gewinnt dadurch ein effektives Instrumentarium zur

Erforschung und Beschreibung der Natur: (α) die Fachsprache **S**, (β) das Laborexperiment **E**, (γ) die synthetisch-geometrische Darstellung **F** und (δ) die analytisch-arithmetische Darstellung **Z**.



Mit der Fähigkeit zur repräsentativen Strukturierung ist die Möglichkeit einer Verschiebung der Strukturierungsleistung verbunden. Dies führt dazu, daß nicht zuallererst die Strukturierung der Naturphänomene im Zentrum der Aufmerksamkeit steht, sondern die Strukturierung der experimentell hergestellten Phänomene im Labor (Experimentelle Physik) und ihre synthetisch-geometrische bzw. analytisch-arithmetische Darstellung (Theoretische Physik). Wie hängen die Leitmetaphern mit den einzelnen repräsentativen Strukturierungen zusammen?

- (i) **Die Leitmetaphern und die Fachsprache S_{Ω} :** Sowohl in den empirischen Wissenschaften als auch in der Philosophie wird nur sprachlich formuliertes Wissen ernst genommen. Damit verknüpft ist die Auffassung, daß die Natur überhaupt begrifflich und mit den Mitteln der Logik (Widerspruchsfreiheit) und Semantik adäquat beschreibbar ist. Die Metapher ist erst dann hinreichend spezifiziert, wenn sowohl die Logik (zwei-wertige Logik, mehr-wertige Logik etc.) als auch die Wahrheitstheorie (Korrespondenztheorie, Kohärenztheorie etc.) benannt sind.
- (ii) **Die Leitmetaphern und das Laborexperiment E_{Ω} :** Die Fähigkeit zum Handeln und damit auch zum Experimentieren ist eine notwendige Vorbedingung zur Formulierung von produkt-orientierten Metaphern. Diese speziellen Metaphern eröffnen die Möglichkeit, von der Innen-Perspektive (der Mensch ist selbst ein Teil der Natur) zu einer Außen-Perspektive (der Mensch stellt das geschaffene Produkt vor sich) zu wechseln. Eine produkt-orientierte Metapher ist in besonderer Weise mit der experimentell-technischen Erweiterung des Mesokosmos verknüpft.
- (iii) **Die Leitmetaphern und die synthetisch-geometrische Darstellung F_{Ω} :** In der frühen Naturphilosophie erweist sich die synthetisch-geometrische Darstellung, deren Beweise auf der Konstruktion von geometrischen Figuren mit Zirkel und Lineal beruhen, als besonders wichtig. Frühe Konkretisierungen der Metapher beziehen sich vorwiegend auf Kreise, spätere Konkretisierungen schließen andere einfache geometrische Figuren (Ellipse, Parabel) ein. Die synthetisch-geometrische Darstellung

ist direkt an die Raumschauung gebunden. Sie dient in der modernen Physik hauptsächlich der Veranschaulichung von Sachverhalten.

- (iv) **Die Leitmetaphern und die analytisch-arithmetische Darstellung Z_{Ω}** : Die analytisch-arithmetische Darstellung, deren Beweise über die Angabe von Zahlenverhältnissen geführt werden, wird hauptsächlich zur Prüfung der Widerspruchsfreiheit herangezogen.

Da die Naturwissenschaften alle repräsentativen Strukturierungen **S, E, F, Z** als Instrumente der Erforschung und Beschreibung der Naturphänomene einsetzen, müssen alle dazugehörigen Leitmetaphern spezifiziert werden.

3. Beispiele & Eigenschaften: Die Erforschung und Beschreibung der Natur gelingt nur durch das Ineinandergreifen verschiedener Leitmetaphern. Während die chiffre-orientierte Leitmetapher bereits von Pythagoras formuliert wird und seitdem ihre Gültigkeit behält und weiter ausgebaut wird, kommt es in der Geschichte der Naturphilosophie in der Wahl der anderen Leitmetaphern zu zwei grundlegenden Veränderungen:

- (i) Die **produkt-orientierte Leitmetapher**: Der erste Wandel in der Wahl der Leitmetapher ereignet sich im frühen 17. Jahrhundert mit dem Übergang von der aristotelisch-scholastischen Naturphilosophie zur galileisch-cartesischen Naturphilosophie. In der Antike wird die Natur als beseelter Organismus betrachtet, dessen charakteristisches Merkmal die Veränderung ist. Das Wesen der Natur ist ein immanentes Bewegungsprinzip. Charakteristisches Merkmal der aristotelischen Naturphilosophie ist die Einteilung der Phänomene in die astronomischen Phänomene des himmlischen Bereichs, die natürlichen Phänomene des irdischen Bereichs und die künstlichen Phänomene des irdischen Bereichs und – als Konsequenz – die strikte Trennung der entsprechenden Disziplinen Astronomie, Physik und Technik, die unter verschiedenen Leitmetaphern stehen. Die aristotelisch-scholastische Naturphilosophie wird unter einer natur-orientierten Leitmetapher begriffen, die sich nur auf sprachanalytische Mittel stützen kann. Die Abkehr von der antiken Naturauffassung bringt eine grundlegende Änderung der Leitmetapher mit sich, verbunden mit einem Perspektivenwechsel, der bis heute bestimmend und fruchtbar ist. Die Natur wird erstmals unter einer produkt-orientierten Leitmetapher begriffen – eine Leitmetapher, die sich auf ein vom Menschen geschaffenes Produkt bezieht und dessen charakteristisches Merkmal die Zerlegbarkeit und Zusammensetzbarkeit ist. In Analogie dazu besteht die Natur aus einzelnen Bestandteilen und das Ganze ist nichts anderes als die Summe dieser Teile. Die Konkretisierung des Produkts ändert sich mit dem jeweiligen technischen Stand der Entwicklung. Im 17. Jahrhundert ist die Leitmetapher eine mechanische Maschine (Uhr); im 19. Jahrhundert wird die Natur als thermodynamische Maschine (Dampfmaschine) betrachtet und im 20. Jahrhundert ist

es die informationsverarbeitende Maschine (von-Neumann-Rechner). Die bemerkenswerten Vorteile produkt-orientierter Leitmetaphern gegenüber natur-orientierten Leitmetaphern liegen (α) in der menschlichen Konstruktion, (β) in der Möglichkeit zur systematischen Variation der spezifischen Parameter des jeweiligen Produkts, (γ) in der Verwendung mathematischer Mittel zur Lösung von Problemen und (δ) im Wechsel von einer Innen-Perspektive zu einer Außen-Perspektive. Die Vorteile sind naheliegend und überzeugend: Wenn der Mensch selbst der Konstrukteur eines Produkts ist, dann ist mit dem Konstruktionsvorgang und der systematischen Variation der spezifischen Parameter zwangsläufig ein genaues Wissen um das Konstruktionsergebnis verbunden. Mathematische Lösungen sind widerspruchsfrei, d.h. quantitative Aussagen sind eindeutiger und sicherer als qualitative Aussagen.

- (ii) Die *Patchwork-Leitmetapher*: Der zweite Wandel in der Wahl der Leitmetapher vollzieht sich im 20. Jahrhundert, als tiefgreifende wissenschaftliche Revolutionen im Kuhnschen Sinne stattfinden, die den Blick auf die Natur einschneidend verändern. Hier sind es vor allem die Relativitätstheorie, die Quantentheorie, die Kybernetik und die Chaostheorie (bezogen auf das zu erkennende Objekt **O**) und die Evolutionstheorie, die Entwicklungspsychologie und die empirischen Neurowissenschaften (bezogen auf das erkennende Subjekt **S**). Mit der Erforschung und dem Ausbau dieser Disziplinen geht die Überzeugung von der Adäquatheit und die bis dahin postulierte Einheitlichkeit der Leitmetapher zunehmend verloren und es kommt zu einer Proliferation von Leitmetaphern. (α) In der Physik herrscht neben der alten mesokosmischen Leitmetapher einer zerlegbaren Maschine eine neue mikrokosmische Leitmetapher des Spiels vor – erzwungen durch die merkwürdigen Verhältnisse des quantentheoretischen Meßprozesses, die eine einfache Zerlegung in Meßapparat und Meßobjekt nicht mehr zulassen. (β) Kybernetische Vorgänge beschreiben verschiedenartige rückgekoppelte Kausalstrukturen. Die Begriffe und Strukturen der Kybernetik finden zunehmend Anwendung in zahlreichen anderen Wissenschaften (Biologie, Psychologie, Soziologie). Insbesondere wird hier klar, daß das charakteristische Merkmal der Natur nicht bloß die einzelnen Bestandteile, sondern auch die funktionalen und strukturellen Zusammenhänge dieser Bestandteile erfassen muß. (γ) Die Evolutionstheorie, die Entwicklungstheorie und die empirischen Neurowissenschaften sind wissenschaftliche Disziplinen, die typischerweise dynamische Entwicklungen in den Blick nehmen. Leitmetaphern, deren Wesensmerkmal statisch bleibt, können grundlegende Aspekte der Natur gar nicht erst zum Ausdruck bringen. (δ) Die empirischen Neurowissenschaften bestätigen die Wichtigkeit funktionaler, struktureller und dynamischer Merkmale und zeigen, daß die Betrachtung mehrerer interagierender Metaphern (parallele & sequentielle Informationsverarbeitung) erforderlich ist.

Der zweite Wandel in der Wahl der Leitmetaphern führt schließlich zu bemerkenswerten Einsichten: (α) Nur durch mehrere koexistierende bzw. interagierende produkt-orientierte Leitmetaphern läßt sich eine adäquate Sicht der Natur erreichen. (β) Nur die Verschränkung produkt-orientierter Metaphern mit natur-orientierten Metaphern befördern im besonderen Maße die Heuristik der Theorienkonstruktion. Ein richtungweisendes Beispiel bieten die empirischen Neurowissenschaften: Einerseits werden kognitive Fähigkeiten zunehmend an neuronalen Netzen simuliert und andererseits werden neuronale Netze, Expertensysteme und Roboter nach der Vorlage des menschlichen Gehirns gebaut.

4. Die Funktionen der intuitiven Begründung: Wie lassen sich die Leitmetaphern durch die intuitive Erkenntnis begründen und wie leistet dies die Intuition?

- (i) Das *intuitive Erfassung der Wesensmerkmale*: Die Metaphern der empirischen Naturwissenschaften sollen die charakteristischen Wesensmerkmale der Natur zum Ausdruck bringen. Das Wissen um Wesensmerkmale setzt die kognitive Fähigkeit voraus, die Gesamtheit der Merkmale einzuteilen in essentielle und nich-essentielle Merkmale; dies ist eine charakteristische Leistung der Intuition. Demzufolge kann das Wesensmerkmal der Natur nur durch Intuition erfaßt werden. Umgekehrt bedeutet dies: Eine Metapher kann weder empirisch begründet noch logisch bewiesen werden und bleibt damit in letzter Konsequenz immer spekulativ.
- (ii) Die *Möglichkeit der Außen-Perspektive*: Die wichtigste Funktion von produkt-orientierten Metaphern liegt in der Möglichkeit zum Perspektivenwechsel. Der Forscher betrachtet das geschaffene Produkt aus einer Außen-Perspektive und kann damit gewissermaßen – soweit die Metapher trägt – auch eine Außen-Perspektive einnehmen im Hinblick auf die Natur. Die Außen-Perspektive verhindert gerade die charakteristischen Verzerrungen der Innen-Perspektive und erlaubt einen ganzheitlichen Blick auf den jeweiligen Erkenntnisgegenstand, d.h. die Wahl der Außen-Perspektive befördert den intuitiven Zugang zum Wissen.
- (iii) Die *Verschiebung von einer sinnlichen Intuition zu einer rationalen Intuition*: Die natur-orientierte Metapher der Antike zielt auf eine vorwiegend phänomen-orientierte, sinnliche Intuition. Im Mittelpunkt steht das Merkmal der Bewegung. Bewegungsvorgänge werden direkt neuronal kodiert. Die produkt-orientierte Metapher hingegen ist eine Analogie, die eine vergleichsvermittelte Bedeutungsübertragung angibt, die bezogen ist auf ein geschaffenes Produkt. Bereits die Uhr als historisch früheste produkt-orientierte Metapher ist nur noch als abstrakter Zusammenhang zwischen dem primären und sekundären Gegenstand zu deuten. Die Natur – als gigantisches Räderwerk gedeutet – kann nur durch eine struktur-orientierte, rationale Intuition erfaßt werden. Jede spätere produkt-orientierte Metapher wird immer abstrakter und ihr Wirklichkeitsbezug immer indirekter.

5. Die Grenzen der intuitiven Begründung: Die Wahl von Leitmetaphern und ihre intuitive Begründung schließt in mehrfacher Weise problematische Aspekte ein:

- (i) Die *Verengung des Blickwinkels*: Jede Metapher bringt eine Verengung des Blickwinkels mit sich, da der Blick auf die Natur durch die spezielle Wahl bestimmt wird und diese eine stark reduzierte Komplexität aufweist. Dies gilt im besonderen Maße für produkt-orientierte Metaphern. Sie funktionieren wie Filter; alles was ausgefiltert wird, gerät damit außerhalb des Blickfeldes.⁵⁹²
- (ii) Die *Adäquatheit der nicht-intendierten Teile der Metapher*: Eine Metapher weist immer einen intendierten Bedeutungsgehalt auf, der die Analogie zwischen dem primären und dem sekundären Gegenstand herstellt. Darüber hinaus beinhaltet sie noch einen nicht-intendierten Teil, der meist nicht-bewußt, aber implizit mitgedacht wird und die Heuristik der Theorienkonstruktion mitbestimmt. Dies liegt an der Kontextabhängigkeit, unter der Metaphern gedacht werden. Dabei bleibt unhinterfragt, ob dieser Teil der Metapher adäquat ist oder nicht.
- (iii) Die *Abhängigkeit vom verfügbaren Instrumentarium*: Die Konkretisierung einer produkt-orientierten Metapher ist abhängig vom experimentell-technischen Stand einerseits und vom logisch-mathematischen Stand andererseits. Die Wahl der Metapher ist (α) mit dem Erkenntnisfortschritt der Veränderung und (β) durch den Vorrat an möglichen Metaphern bzw. den Mangel an weiteren Alternativen einer Einschränkung unterworfen. Letzteres bedeutet, daß technisch noch nicht realisierte Produkte auch nicht als mögliche Metaphern fungieren können. Die Natur wird verkürzt auf das, was der Mensch bereits kann.
- (iv) Die *bedrohte Einheit der Naturbeschreibung*: Durch die Patchwork-Leitmetaphern ist die Einheit der Naturbeschreibung bedroht und die axiomatische Methode kann sie bislang auch nicht wieder herstellen. Besonders betroffen ist die Einheit von Mesokosmos und Mikrokosmos. Der klassische Gegenstandsbereich folgt der Metapher einer Maschine und die Quantentheorie der Metapher eines Spiels. Sofern die Metaphern inkompatibel sind, erscheint keine Einheit der Naturbeschreibung möglich.

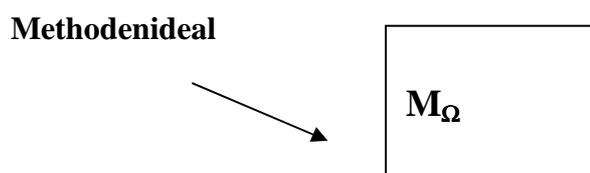
Die Metaphysik und die Leitmetaphern bestimmen die Methodenideale, die für die Erfassung der Naturphänomene entwickelt werden.

⁵⁹² Abraham Maslow bringt diese Verengung des Blickwinkels pointiert zum Ausdruck, wenn er feststellt: „Wenn das einzige Werkzeug ein Hammer ist, dann gibt es in der Welt nur noch Nägel.“

Methodenideale und Kontrollinstanzen

1. These: Hier soll für die These argumentiert werden, daß die intuitive Erkenntnis unverzichtbar ist für die Formulierung und Begründung der Methodenideale in der Theorienkonstruktion: Die Intuition etabliert einen systematischen Weg zum Erkenntniserwerb und formuliert dies in verschiedenen Methodenidealen. Darüber hinaus gibt sie – in Abhängigkeit von Metaphysik und Leitmetaphern – eine plausible Begründung für die Wahl der Methodenideale und die Zulässigkeit bzw. den Ausschluß von Kontrollinstanzen.

2. Begriff: Methodisches Vorgehen ist charakteristisch für die Naturwissenschaft. Die Methode ist ein planmäßiges, systematisches und sukzessives Vorgehen (α) zur Erweiterung des Wissens (Theorienkonstruktion), (β) zur Begründung des Wissens (Theorienrechtfertigung) und (γ) zur Darstellung des Wissens (Theorienverständnis). Die Abgeschlossenheit der Methode spielt eine zentrale Rolle. Damit ist gemeint, daß die jeweiligen Methodenideale immer aus komplementären Methodenteilen bestehen, die eine geschlossene Argumentationsstruktur ermöglichen. Hier ergibt sich dann der Zusammenhang zur Mathematik, die ebenfalls durch die Abgeschlossenheit ihrer Strukturen charakterisiert ist.



Die Metaphysik und die Leitmetaphern schränken die Wahl der Methodenideale ein und legen bestimmte Kontrollinstanzen nahe, d.h. es besteht eine enge Verflechtung der Methodenideale mit den metaphysischen Annahmen und den Leitmetaphern einerseits und mit den Kontrollinstanzen andererseits.

3. Beispiele & Eigenschaften: Die Erforschung und Beschreibung der Natur gelingt nur durch das Ineinandergreifen verschiedener Methodenideale. Die Methodologie der Naturwissenschaften kann sich zunehmend aus einem immer umfangreicheren und vielfältigeren Methodeninventar bedienen. Historisch betrachtet, wird dieses Methodeninventar in Abhängigkeit von der Metaphysik und den Leitmetaphern schrittweise aufgebaut, erweitert und modifiziert.

- (i) Die *mathematische Methode der Pythagoreer*: Das erste Methodenideal wird von den Pythagoreern etabliert. (α) Diese Methode meint zum einen die arithmetische Methode, die auf der Analyse von Zahlenverhältnissen beruht und zum anderen die geometrische Methode, die auf die Konstruktion von geometrischen Figuren zielt. Die Methode ist aber eingeschränkt durch ein nur figuratives Mathematikverständnis, d.h.

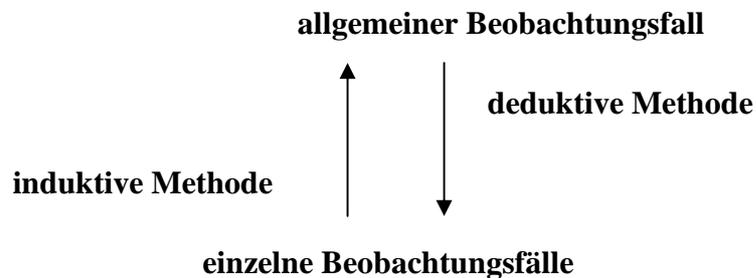
es fehlt der operative Aspekt und damit der Gedanke der Abgeschlossenheit von Strukturen. (β) Das Naturverständnis der mathematischen Methode setzt die metaphysische Annahme voraus, daß das Naturgeschehen ein durchgängig nach mathematischen Prinzipien konstruiertes Ordnungssystem ist. (γ) Die Natur wird ausschließlich unter einer chiffre-orientierten Leitmetapher „alles ist Zahl“ begriffen. (δ) Bereits in den Anfängen der Naturphilosophie übernimmt die figurative Mathematik die Rolle einer Kontrollinstanz für die Beobachtung.

Früh-pythagoreische Anfänge einer experimentellen Methode fallen Platons Polemik gegen eine Erforschung der sinnlich wahrnehmbaren Phänomene zum Opfer. Die Anwendung der mathematische Methode bleibt auf die Astronomie beschränkt. Die pythagoreische Sicht kann sich in der Antike nicht genügend gegen Aristoteles durchsetzen. Aristoteles lehnt die Mathematik als Instrumentarium zur Erforschung und Beschreibung der irdischen Phänomene ab und verweist darauf, daß der permante Wandel der Phänomene nicht adäquat durch die unveränderlichen Zahlen erfaßt werden kann, sondern nur durch Strukturbetrachtungen, die einer qualitativen Logik genügen.

- (ii) Die *induktiv-deduktive Methode des Aristoteles*: Das zweite Methodenideal wird von Aristoteles etabliert. (α) Die aristotelische Methode besteht aus zwei komplementären Methodenteilen. Von einer bestimmten Anzahl von besonders aussagekräftigen einzelnen Beobachtungsfällen wird durch Induktion und Abstraktion von allen unwesentlichen Eigenschaften auf den allgemeinen Beobachtungsfall geschlossen. Mit diesem ersten Methodenteil werden diejenigen Prinzipien gesucht, die im zweiten Methodenteil als Prämissen dienen können, um die Konklusionen mit den Mitteln der Deduktion abzuleiten. Diese ersten Prinzipien müssen aus der Naturbeobachtung durch intuitive Einsicht in das Wesentliche erschlossen werden, das sich als das Allgemeine im Einzelnen konkretisiert. (β) Das Naturverständnis der induktiv-deduktiven Methode beruht auf der metaphysischen Annahme, daß das Naturgeschehen ein ganzheitlicher Systemzusammenhang ist. (γ) Die Natur wird unter einer natur-orientierten Leitmetapher begriffen. Dies ist die Metapher eines beseelten Organismus, dessen Wesensmerkmal ein immanentes Prinzip der Veränderung bzw. der Bewegung ist. Ein technisch veränderter Mesokosmos gehört gerade nicht zur Natur, sondern wird der Natur ausdrücklich entgegengesetzt. Diese Auffassung läßt nur eine kontemplative, begriffsanalytische Naturbetrachtung zu, die sich auf den Augenschein verläßt. (δ) Die zulässigen Kontrollinstanzen für die Beobachtung sind nur qualitative Begriffs- und Strukturanalysen, die sich hier auf eine Fachsprache beziehen.

Produkt-orientierte Leitmetaphern werden abgelehnt und daher bleiben experimentelle Methoden ausdrücklich ausgeschlossen. Die mathematische Methode ist für die Beschreibung

der Phänomene des irdischen Bereichs ausgeschlossen und für für die Beschreibung der Phänomene des himmlischen Bereichs eingeschränkt auf konzentrische Kreisbewegungen. Dennoch bringt das induktiv-deduktive Methodenideal den wichtigen neuen Aspekt der Abgeschlossenheit der Argumentationsstruktur ins Spiel.



Die Übertragung dieses Methodenideals auf Experiment und Mathematik liefert den entscheidenden Beitrag für den kometenhaften Aufstieg der Naturwissenschaften in der Neuzeit.

- (iii) Die *analytisch-synthetische Methode Galileis*: Das dritte Methodenideal wird von Galilei etabliert. Es verbindet zwei Methodenideale: die experimentell-mathematische Methoden zusammen mit der induktiv-deduktiven Methode. (α) Die galileische Methode besteht ebenfalls aus komplementären Methodenteilen. Ausgangspunkt ist die Beobachtung einiger aussagekräftiger Phänomene. In einem resolutiven Methodenschritt werden die Phänomene analysiert. Es werden versuchsweise Definitionen und Axiome aufgestellt. Aus den Definitionen und Axiomen werden durch mathematische Beweise mögliche Konsequenzen abgeleitet. In einem kompositiven Methodenschritt erfolgt die Probe. In Experimenten wird geprüft, inwiefern die abgeleiteten Konsequenzen mit den bereits gemachten Beobachtungen übereinstimmen und neue Beobachtungen antizipieren. (β) Das Naturverständnis der analytisch-synthetischen Methode beruht auf der metaphysischen Annahme, daß das Naturgeschehen in einzelne Bestandteile zerlegt und wieder zusammengesetzt werden darf, ohne daß dabei wesentliche Grundzüge der Natur verloren gehen. Demzufolge ist das Ganze nichts anderes als die Summe seiner Teile. (γ) Die Natur wird erstmals unter der produkt-orientierten Leitmetapher einer Maschine begriffen, die gemäß einer chiffre-orientierten Leitmetapher mit dem Instrumentarium der Mathematik verstanden werden kann. (δ) Die zulässigen Kontrollinstanzen für die Beobachtung sind Logik, Experiment und Mathematik.

Die analytisch-synthetische Methode beruht darauf, daß die Natur im Experiment so zu präparieren ist, daß sie einer mathematischen Beschreibung zugänglich wird. Genauer besagt dies: Nicht die Beobachtung – also der bloße Augenschein – gibt Auskunft über die Natur, sondern das systematisch durchgeführte Experiment. Dazu müssen die Phänomene besonderen Bedingungen ausgesetzt sein, um die Naturgesetze überhaupt erst erkennbar zu

Die Naturwissenschaften des 20. Jahrhunderts haben ihr Methodeninventar nochmals entscheidend erweitern müssen. Zur analytisch-synthetischen Methode kommen systemtheoretisch-kybernetische Methoden hinzu. Diese Methode berücksichtigt, daß die Natur wesentlich Systemcharakter hat, der die Anwendbarkeit der analytisch-synthetischen Methode erheblich einschränkt. Systeme sind komplex, vernetzt, dynamisch und intransparent. (α) Die Komplexität bedeutet die Abhängigkeit des Systems von vielen verschiedenen, voneinander abhängigen Variablen. Die unabhängige Variation einzelner Variablen und die Beschreibung durch lineare Kausalstrukturen ist dann nicht mehr möglich. (β) Die Vernetzung verweist auf das unterschiedlich geartete Zusammenspiel dieser Variablen. Es liegen Regelkreise vor und die Variablen können sich gegenseitig dämpfen oder verstärken. Dabei handelt es sich um chaotische Systeme, die nicht mehr dem starken Kausalprinzip genügen. (γ) Die Dynamik meint die eigenständige, zeitliche Entwicklung eines Systems, die auch dann stattfindet, wenn keine Einwirkung von außen vorliegt und die im Hinblick auf experimentelle Untersuchungen einen Zeitdruck erzeugt. (δ) Die Intransparenz bedeutet, daß keineswegs alle Variablen bekannt sind, die systemrelevant sind. Die strukturellen und funktionalen Eigenschaften eines Systems können sich wesentlich, d.h. qualitativ, von denen seiner einzelnen Teile unterscheiden. Wenn sich Strukturen zu immer komplexeren Strukturen zusammenschließen, dann können sich Hierarchien neuer Organisationsstufen (Prinzip der strukturellen Metamorphosen) bilden.

- (iv) Die *systemtheoretisch-kybernetische Methoden*: Ein weiteres Methodenideal mit neuartigen Prinzipien wird im 20. Jahrhundert durch eine Vielzahl neuer wissenschaftlicher Disziplinen etabliert. (α) Nach dieser Methode wird ein System als Regelkreis beschrieben, das grundlegend charakterisiert ist durch positive und negative Rückkopplungen, Schwellenwerte, Regelgrößen, Zeitverzögerungen und netzartige Kausalstrukturen. Positive Rückkopplungen bringen das System zum Laufen und negative Rückkopplungen halten das System stabil, fehlertolerant und robust. (β) Das Naturverständnis der systemtheoretisch-kybernetischen Methode beruht auf der metaphysischen Annahme, daß die Natur nicht aus einer Ansammlung isolierter Einzelobjekte besteht, sondern ein interagierendes System darstellt. Ein System kann Eigenschaften aufweisen, die keinem Untersystem – auch nicht in Vorstufen – zukommen. Des weiteren wird verstanden, wie das Naturgeschehen durch Lernprozesse, Selbstorganisation und Selbstregulation gesteuert ist. (γ) Die Natur wird auch weiterhin unter produkt-orientierten Leitmetaphern begriffen. Es handelt sich aber nicht länger um isolierte Produkte, sondern um offene Systeme in einer komplexen Umgebung, mit der sie in einem permanenten Austausch von Ressourcen stehen. (δ) Die zulässigen Kontrollinstanzen für die Beobachtung sind Experimente, Logik und Mathematik.

Läßt sich die analytisch-synthetische Methode mit einem gewöhnlichen Schachspiel vergleichen, dann ist die systemtheoretisch-kybernetische Methode mit einem modifizierten Schachspiel zu vergleichen:

[...] so können wir sagen, daß ein Akteur in einer komplexen Handlungssituation einem Schachspieler gleicht, der mit einem Schachspiel spielen muß, welches sehr viele (etwa: einige Dutzend) Figuren aufweist, die mit Gummifäden aneinanderhängen, so daß es ihm unmöglich ist, nur *eine* Figur zu bewegen. Außerdem bewegen sich seine und des Gegners Figuren auch von allein, nach Regeln, die er nicht genau kennt oder über die er falsche Annahmen hat. Und obendrein befindet sich ein Teil der eigenen und der fremden Figuren im Nebel und ist nicht oder nur ungenau zu erkennen.⁵⁹³

Die Leistungsfähigkeit der modernen Naturwissenschaft wird hauptsächlich dadurch befördert, daß sie nicht nur ein umfangreiches Methodeninventar zur Verfügung hat, sondern durch das Ineinandergreifen verschiedener Methodenideale erst in den Stand versetzt wird, systematisch neues Wissen zu erwerben und dieses dann exakt zu begründen.

4. Die Funktionen der intuitiven Begründung: Wie werden die Methodenideale und die Kontrollinstanzen durch die intuitive Erkenntnis begründet und wie leistet dies die Intuition?

- (i) Die **Reduktion von Komplexität**: Die Wissenschaft kann nur dann erfolgreich sein, wenn sie die Komplexität der Naturphänomene drastisch reduziert. Demzufolge sind Abstraktionen und Idealisierungen erforderlich; ihre Konkretisierung und Zulässigkeit wird im Rückgriff auf eine rationale Intuition begründet. Abstraktion meint, daß eine Eigenschaft, die sich an einem konkreten Objekt zeigt, zum Gegenstand der Betrachtung gemacht und daß dabei von allen anderen Eigenschaften des Objektes abgesehen werden darf. Idealisierung geht darüber hinaus und reinigt die zu betrachtende Eigenschaft von ihrem sinnlich wahrnehmbaren Gehalt, d.h. die Idealisierung beseitigt die Realisierungsmängel der Eigenschaft. Unter diesen idealen Verhältnissen sind idealisierte Strukturen – beispielsweise die Parabelbahn in der galileischen Wurftheorie – und idealisierte Gegenstände – beispielsweise die Punktmassen in der Newtonschen Gravitationstheorie – gemeint.
- (ii) Das **Unendliche**: Der Übergang vom Endlichen zum Unendlichen wird durch die rationale Intuition geleistet. (α) *Vollständige Induktion*: In der Mathematik gehört die vollständige Induktion zu den wichtigsten Beweisverfahren. (β) *Untersuchungen von Grenzfällen*: Galilei und Leibniz haben Grenzbetrachtungen für die Überprüfung von Naturgesetzen angestellt und damit nachgewiesen, daß die aristotelischen Bewegungsgesetze und die cartesischen Stoßgesetze bereits aus logischen Gründen unhaltbar sind. Der Argumentation liegt jeweils ein Kontinuitätsprinzip zugrunde,

⁵⁹³ Dörner 1989, S. 66

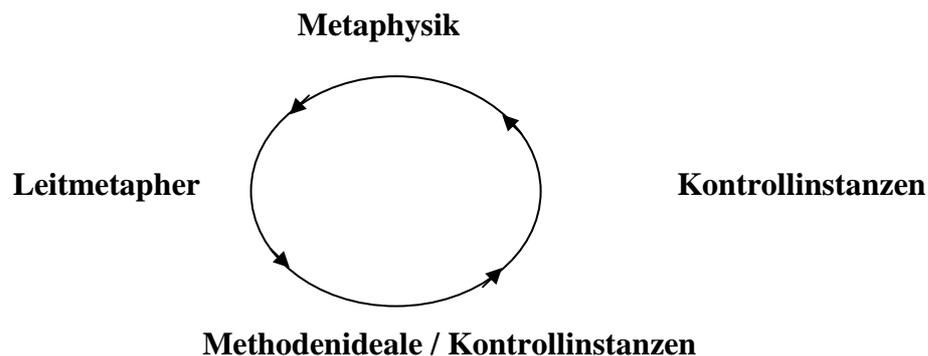
dessen Begründung aber in unterschiedlicher Weise in der Intuition erfolgt. Galilei beruft sich auf den kontinuierlichen Übergang vom Medium zum Vakuum und Leibniz verweist auf die kontinuierliche Angleichung von Massen und Geschwindigkeiten. (γ) *Einführung idealer Elemente*: Nach Hilbert benötigt die Mathematik die Einführung idealer Elemente um die Abgeschlossenheit mathematischer Operationen zu gewährleisten.

- (iii) Die *intuitive Begründung der Kontrollinstanzen*: Die Zulässigkeit eines Methodenideals und seine Kontrollinstanzen hängt wesentlich von zwei Fragen ab, die mit Verweis auf eine intuitive Naturauffassung beantwortet werden: (α) Haben die experimentell erzeugten Phänomene überhaupt noch etwas mit der Natur zu tun? Können die Versuchsergebnisse als Naturbeschreibung gelten? (β) Ist die Mathematik auf die Naturphänomene anwendbar? Es ist keineswegs ausgemacht, daß die Fragen positiv beantwortet werden müssen. Schließlich läßt sich dagegen halten, daß die Experimente den Erfahrungsbereich in einer Weise erweitern und verändern, den die Natur nicht vorgesehen hat. Dies hätte die Konsequenz, daß experimentelle Ergebnisse zwar etwas über künstlich hergestellte Phänomene aussagen, aber keine Naturerkenntnis liefern. Auch die Frage nach der Anwendbarkeit der Mathematik auf das Naturgeschehen kann negativ beantwortet werden. Die Anwendbarkeit mathematischer Formalismen hängt entscheidend davon ab, ob die Naturphänomene zerlegt werden dürfen in Effekte (ideale Verhältnisse) und Störungen. Dies ist aber bestenfalls dann adäquat, wenn das starke Kausalprinzip gilt, demzufolge aus ähnlichen Ursachen ähnliche Wirkungen folgen. Wenn stattdessen die vernachlässigte Störung das Ergebnis völlig verändert, dann stößt die mathematisch-experimentelle Methode an ihre Grenzen. Dies ist eine grundlegende Einsicht der Chaostheorie.

5. Die Grenzen der intuitiven Begründung: Die Wahl der Methodenideale und ihre intuitive Begründung schließt in mehrfacher Weise problematische Aspekte ein:

- (i) Das *Problem der Abstraktionen & Idealisierungen*: Die Naturwissenschaften suchen Naturgesetze für ideale Verhältnisse. Unter idealen Verhältnissen sind idealisierte Strukturen und idealisierte Gegenstände gemeint. Die Störungen fangen dann alle Abweichungen von diesen idealen Verhältnissen auf. Dahinter steht die platonisch inspirierte Überzeugung, daß mit den idealen Naturgesetzen das Wesentliche gesagt ist. Abbilder der Wirklichkeit schließen Idealisierungen ein; diese sind jedoch grundsätzlich in mehrfacher Weise möglich. Beispielsweise können Kurven zwischen zwei Punkten **A** und **B** idealisiert werden durch (α) eine Geodäte (kürzeste Verbindung) oder (β) eine Koch-Kurve (längste Verbindung). Die Wirklichkeit legt durchaus nicht immer die Idealisierung durch Geodäten nahe. Küstenlinien beispielsweise lassen sich adäquater mit Koch-Kurven idealisieren.

- (ii) Die **Abhängigkeit von der Metaphysik & Leitmetaphern**: Die Methodenideale hängen wesentlich von der Metaphysik und den Leitmetaphern ab. Mit einer anderen Metaphysik und einer neuen Leitmetapher ändern sich auch die Methodenideale. Demzufolge schafft sich die Wissenschaft ihr Methodeninventar in Abhängigkeit von ihrem jeweiligen Wissensstand selbst.
- (iii) Das **Problem der spiralförmigen Struktur des Wissenserwerbs**: Die Methodenideale hängen einerseits von der Metaphysik und der Leitmetapher ab und begründen andererseits die Kontrollinstanzen. Die Kontrollinstanzen sollen aber ihrerseits die Theorienkonstruktion rechtfertigen. Damit scheinen die Naturwissenschaften auf den ersten Blick in eine zirkuläre Begründungsstruktur zu geraten. Genauer betrachtet ist dies jedoch deshalb nicht der Fall, weil der Erkenntnisfortschritt eine spiralförmige Struktur aufweist. Dennoch bleibt das Problem, daß der Versuch, eine Außen-Perspektive einzunehmen, gerade deshalb nicht vollständig gelingen kann, weil die Naturwissenschaften aus der Abhängigkeit von Metaphysik, Leitmetapher, Methodenideale und Kontrollinstanzen nicht aussteigen können.



Der platonische Traum, demzufolge in einer Wesensschau alle Faktoren – Vorurteile, Sinnestäuschungen, perspektivische Verzerrungen –, die die Erkenntnis beeinflussen, abgelegt werden können, läßt sich nicht verwirklichen. Auch der cartesische Traum, demzufolge für die Naturerkenntnis eine absolute Fundierung in transzendenten Existenzsätzen möglich ist, muß aus prinzipiellen Gründen scheitern.

Statische und dynamische Anschaulichkeit

1. These: Alle wissenschaftlichen Theorien T_{Wiss} bedürfen einer Deutung ihrer Begriffe und Strukturen, die ein anschauliches Verständnis dessen ermöglichen soll, was der Formalismus besagt. Physikalische Theorien gelten als unanschaulich, weil sie sich einer Fachsprache mit einer abstrakten Begriffsbildung, Idealisierungen und Übergängen vom Endlichen zum Unendlichen bedienen, ihre Ergebnisse in mathematischen Formeln darstellen und zur Überprüfung ihrer Aussagen künstlich erzeugte Phänomene durch Experimente und den Einsatz technischer Hilfsmittel heranziehen. Im Zuge der Erweiterung der Erkenntnis durch experimentell-technische Methoden einerseits und logisch-mathematische Methoden

andererseits geht zunehmend die Anschaulichkeit verloren. Dann müssen Darstellungsmittel gefunden werden, die es ermöglichen, die verloren gegangene Anschaulichkeit zumindest partiell zurückzugewinnen. Dabei muß der Begriff der Anschaulichkeit, der sich zunächst nur auf eine statische Anschaulichkeit (gestützt auf die Sinneswahrnehmungen, bezogen auf starre Körper) bezieht, ergänzt werden durch eine dynamische Anschaulichkeit (gestützt auf die Handlungsfähigkeit, bezogen auf starre & deformierbare Körper). Die Grenzen der Anschaulichkeit können durch die systematische Einbeziehung der Möglichkeiten einer dynamischen Anschaulichkeit entscheidend erweitert werden.

2. Begriff: Was ist unter dem Begriff „Veranschaulichung“ bzw. „Anschaulichkeit“ zu verstehen? Im Anschluß an Kant sprechen Mathematiker und Physiker von einem anschaulichen Sachverhalt in einem engeren Sinne, wenn dieser sich in einer synthetisch-geometrischen Darstellung angeben läßt. Diese Veranschaulichung von Sachverhalten bezieht sich auf den Raum als Anschauungsform. In einem weiteren Sinne gilt das als anschaulich, was sich mit der Begriffsstruktur der klassischen Mechanik beschreiben läßt. Diese Veranschaulichung von Sachverhalten bezieht sich auf die Anschauungsformen Raum und Zeit, sowie die Kategorien Substanz und Kausalität.

Mit Blick auf die spezifischen Schwierigkeiten moderner Theorienkonstruktionen der Physik ist der Begriff „Anschaulichkeit“ erneut zu überdenken. Zunächst soll ein Vorschlag Vollmers diskutiert werden. Vollmer gibt versuchsweise drei verschiedene Explikationen des Begriffs „anschaulich“ und unterscheidet: (α) anschaulich \cong mesokosmisch, (β) anschaulich \cong transformierbar und (γ) anschaulich \cong projizierbar.

Eine Struktur ist anschaulich genau dann, wenn

1. sie alltäglich erlebt wird, also eine mesokosmische Struktur ist (Erlebbarkeit);
2. man sie in eine Struktur der mittleren Dimension (des Mesokosmos) transformieren kann (Transformierbarkeit);
3. man sich die Erfahrungen vorstellen kann, die man mit (in) dieser Struktur machen würde (Projizierbarkeit).⁵⁹⁴

Die erste Explikation erscheint ihm zu eng, weil dann gewissermaßen alle naturwissenschaftlichen Theorien unanschaulich wären. Dies ist sicher nicht zutreffend – die aristotelische Naturphilosophie des irdischen Bereichs ist durchaus anschaulich und damit ein Gegenbeispiel. Die dritte Explikation hingegen erscheint ihm zu weit, weil dann gar keine naturwissenschaftliche Theorie unanschaulich wäre – schließlich müssen alle Theorien ihre Aussagen in irgend einer Weise auf die Erfahrungsebene projizieren. Damit würde der Begriff aber jegliche Erklärungskraft verlieren. Daher bevorzugt Vollmer die zweite Explikation, welche die Menge der wissenschaftlichen Theorien in zwei komplementäre, nicht-leere Mengen teilt.

⁵⁹⁴ Vollmer 1988b, S. 113

Eine Struktur heißt anschaulich (oder vorstellbar) genau dann, wenn es möglich ist, sie durch eine reguläre Transformation einer oder mehrerer ihrer Grundparameter in eine Struktur der mittleren Dimensionen (des Mesokosmos) zu verwandeln.⁵⁹⁵

Der Vorzug dieser Explikation liegt darin, daß der Begriff „anschaulich“ durch die Angabe der regulären Transformation eine präzise Bedeutung erhält. Ihr Nachteil besteht aber darin, daß die Menge der wissenschaftlichen Theorien in zwei komplementäre Teilmengen (anschaulich, nicht-anschaulich) geteilt wird. Dabei kann gerade nicht berücksichtigt werden, daß wissenschaftliche Theorien in unterschiedlicher Weise anschaulich oder nicht-anschaulich sein können und worauf sich die Anschaulichkeit genau bezieht.

Es erscheint daher angebracht, verschiedene Grade intuitiv-einsichtiger Theorien zu unterscheiden. Zunächst soll ein grob-körniges *3-Stufen-Modell* vorgeschlagen werden, das im folgenden Kapitel zu einem fein-körnigen *7-Stufen-Modell* erweitert wird:

direkt-intuitiv indirekt-intuitiv nicht-intuitiv

Der Begriff „Veranschaulichung“ bzw. „Anschaulichkeit“ einer wissenschaftlichen Theorie T_{Wiss} ist zuallererst abhängig vom jeweiligen erkennenden Subjekt S , d.h. vom Stand der belehrten Intuition und bezieht sich dann auf die beiden Spezialfälle S_{Wiss} und S_{Meso} :

- (i) Das *allgemeine Verhältnis zu S*: Die Strukturierung des zu erkennenden Objekts O wird immer gemäß derjenigen Strukturierungsformen vorgenommen, die das erkennende Subjekt S bereits erarbeitet hat. Die Möglichkeit, einen Sachverhalt problemlos in das bereits erarbeitete Strukturierungsschema einfügen zu können, bewirkt das subjektive Gefühl der Evidenz. Damit wird verständlich, daß die Newtonsche Physik für einen Aristoteliker in einem völlig anderen Sinne unanschaulich ist als die Relativitätstheorie und die Quantentheorie für einen Newtonianer unanschaulich erscheinen und zwar deshalb, weil sich beide auf unterschiedliche Strukturierungsformen beziehen.
- (ii) Das *spezielle Verhältnis zu S_{Wiss}* : Eine wissenschaftliche Theorie T_{Wiss} ist für eine Mitglied S_{Wiss} der scientific community genau dann intuitiv-einsichtig, wenn die Strukturierung des zu erkennenden Objekts O gemäß derjenigen Strukturierungsformen vorgenommen werden kann, die bereits aufgebaut und verstanden sind. Die intuitive Einsichtigkeit wird sich dabei immer weniger auf eine phänomen-orientierte, sinnliche Intuition beziehen. Stattdessen wird sie sich zugunsten einer struktur-orientierten, rationalen Intuition verschieben und damit auf die intuitive Einsichtigkeit von Definitionen, Axiomen und Prinzipien abzielen. Eine physikalische Theorie gilt dann als intuitiv einsichtig, wenn sie in Übereinstimmung

⁵⁹⁵ Vollmer 1988b, S. 111

mit den, von der scientific community akzeptierten metaphysischen Grundlagen steht. Der Maßstab davon, was als anschaulich gilt, ist unmittelbar mit der Metaphysik, den Leitmetaphern und den Methodenidealen verknüpft und verändert sich in Abhängigkeit von der Belehrung der rationalen Intuition. Die Relativitätstheorie und die Quantentheorie gelten deshalb als unanschaulich, weil sie in Konflikt mit einer, an der klassischen Physik orientierten Metaphysik und deren Leitmetapher geraten.

- (iii) Das *spezielle Verhältnis zu S_{Meso}* : Eine wissenschaftliche Theorie T_{Wiss} kann für ein S_{Meso} , das nur über eine mesokosmische Strukturierungsleistung verfügt, unterschiedliche Grade der Anschaulichkeit aufweisen und ist in einem unterschiedlichen Maße der Veranschaulichung fähig: (α) direkt-intuitive Theorien (Veranschaulichung: nicht nötig), (β) indirekt-intuitive Theorien (Veranschaulichung: nötig und möglich) und (γ) nicht-intuitive Theorien (Veranschaulichung: nötig, aber nur partiell möglich). Insbesondere für die Didaktik des Physik-Unterrichts ist zu betonen, daß die Anschaulichkeit eines physikalischen Sachverhalts von der Konkretisierung des Strukturierungsschemas des Schülers abhängt.

Das entscheidende Kriterium für die Frage nach den verschiedenen Graden der Anschaulichkeit liefert demnach das Strukturierungsschema.

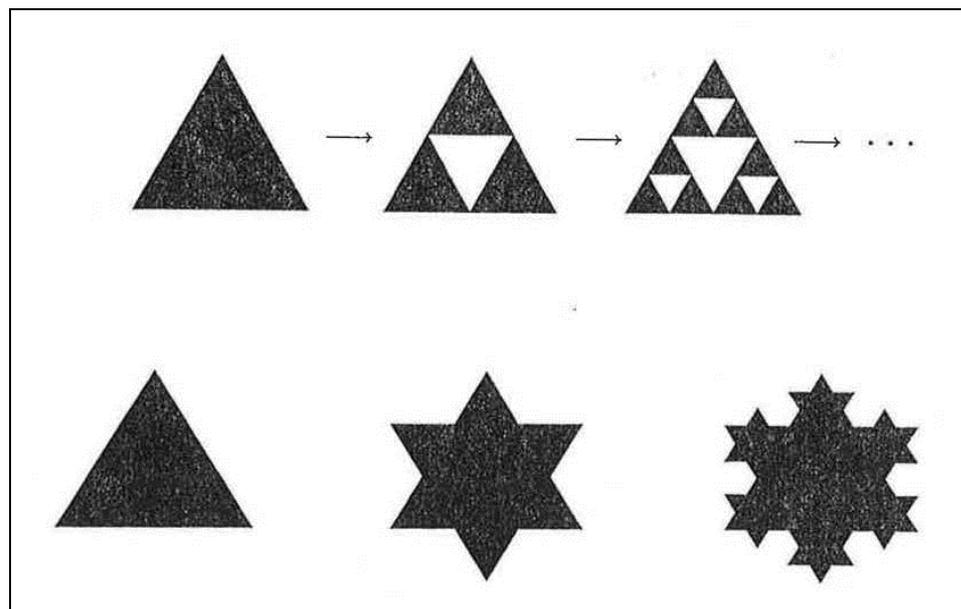
3. Beispiele & Eigenschaften: Warum gelten mathematische, physikalische und biologische Theorien meist als unanschaulich? Wodurch geht die Anschaulichkeit verloren und welche Sachverhalte bedürfen der Veranschaulichung? Besonders zu veranschaulichen sind Raum-Zeit-Strukturen, dynamische Prozesse, Materie-Eigenschaften, komplexe & fehlende Kausal-Strukturen, Struktur-Eigenschaften fraktaler Geometrien, Struktur-Eigenschaften statischer & dynamischer Topologien, allgemeine Perpektiven & beliebige Bezugssysteme, Strukturwechsel durch Phasensprünge, hierarchische Systeme und Grenzbetrachtungen & unendliche Mengen. Die folgende Liste soll zehn besonders wichtige Beispiele für unanschauliche Sachverhalte aufzählen und die Gründe für die Unanschaulichkeit angeben, wobei der Grad der Unanschaulichkeit unterschiedlich zu bewerten ist.

- (i) ***Raum-Zeit-Strukturen:*** Anschaulich sind Raum-Zeit-Phänomene, die im Bereich des sinnlich Wahrnehmbaren liegen. Anders verhält es sich mit Vorgängen, die den Mesokosmos übersteigen. Der Grund liegt darin, daß der Mensch auf mittlere Dimensionen festgelegt ist, dazu gehört ein bestimmtes Zeitfenster und ein bestimmter Raumausschnitt. Mikrophysikalische und astronomische Phänomene gehen weit über diesen Rahmen hinaus. Besonders unanschaulich sind die Raum-Zeit-Strukturen der Relativitätstheorie, d.h. Vorgänge, die Grenzen beinhalten, die im Alltagsverständnis wegen der Einschränkung auf mittlere Dimensionen nicht auftreten. Die Lichtgeschwindigkeit c als Grenzgeschwindigkeit und als Konsequenz das Additionstheorem der Geschwindigkeiten sind kontra-intuitiv.

- (ii) **Dynamische Prozesse:** Anschaulich sind nur der Status quo und lineare Entwicklungen. Nicht-lineare, exponentielle oder hyperbolische Entwicklungen (Bevölkerungsexplosion) sind unanschaulich. Der Grund liegt darin, daß die intuitive Strukturierung zeitlos ist. Erst die sequentielle Informationsverarbeitung ermöglicht den Zugang zu einem Zeitkonzept. Um dynamische Prozesse anschaulich zu machen, muß der dynamische Aspekt geometrisiert werden. Des weiteren sind Phänomene anschaulich, die sich auf nicht-relativistische Geschwindigkeiten mit $\mathbf{v} = \mathbf{0}$ bzw. $\mathbf{v} \ll c$ beziehen; sehr große Geschwindigkeiten hingegen führen zu besonders unanschaulichen Konsequenzen. Längenkontraktion und Zeitdilatation (Zwillingspaar-Paradoxon) gelten als kontra-intuitiv. Ebenfalls besonders unanschaulich erscheint die quantentheoretische Unschärferelation, die eine Aufgabe des klassischen Bahnbegriffs für mikroskopische Teilchen verlangt.
- (iii) **Materie-Eigenschaften:** Unanschaulich sind alle abstrakten Begriffsbildungen, Idealisierungen und Übergänge vom Endlichen zum Unendlichen, die sich auf Materie-Eigenschaften beziehen. Hierzu gehören bereits die Begriffe der Newtonschen Physik: „Punktmasse“, „Vakuum“, „freier Fall“ und „Gravitationspotential“. Der Grund liegt darin, daß im Formalismus nicht nur von allen sekundären Qualitäten abstrahiert wird, sondern darüber hinaus die primären Qualitäten teilweise idealisiert werden. Eine ausdehnungslose, punktförmige Masse \mathbf{m}_E im Vakuum, die im Newtonschen Gravitationsgesetz $\mathbf{F} = \mathbf{G} \mathbf{m}_P \mathbf{m}_E / \mathbf{r}^2$ für die Erde steht, ist unanschaulich und für eine aristotelische und cartesische Naturauffassung sogar denkunmöglich. Besonders unanschaulich sind Materie-Strukturen der Quantentheorie, da sie den Elementarteilchen – als Folge des Wirkungsquantums \hbar – inkompatible oder andersartige Eigenschaften zusprechen. Dabei geht es um Vorgänge, die Grenzen beinhalten, die im Alltagsverständnis nicht auftreten. (Welle-Teilchen-Dualismus, Tunnel-Effekt). Des weiteren sind die Aussagen zur unendlichen Dichte kollabierter Materie in Schwarzen Löchern kontra-intuitiv, aber auch die Aussagen der Quarktheorie zum Quark-Confinement, demzufolge die Quarks in der Materie gefangen sind und prinzipiell nicht herausgelöst werden können.
- (iv) **Komplexe & fehlende Kausal-Strukturen:** Rückkopplungseffekte, lange Ursache-Wirkungs-Ketten (Fernwirkungen) vernetzte Ursache-Wirkungs-Ketten (Nebenwirkungen) sind unanschaulich. Sie bedürfen der Veranschaulichung durch Regelkreise der Kybernetik bzw. graphische Veranschaulichungen von Kausal-Netzen, wobei die Vielfalt der Rückkopplungsarten (positive Rückkopplungen, negative Rückkopplungen, Störungen, verschachtelte Regelkreise) durch unterschiedliche Verbindungen symbolisiert werden können und damit einer rationalen Intuition zugänglich sind. Des weiteren ist die Verletzung des starken Kausalprinzips unanschaulich, demzufolge aus ähnlichen Ursachen völlig

unterschiedliche Wirkungen folgen, wie dies von der Chaostheorie beschrieben wird. Besonders kontra-intuitiv ist das Fehlen von Ursachen bei radioaktiven Zerfällen, wie dies die Quantentheorie behauptet.

- (v) **Struktur-Eigenschaften fraktaler Geometrien:** Die euklidische Geometrie geht von einfachen Figuren (Dreiecke, Kreise, Ellipsen, Kugeln) aus, die eine ganzzahlige Dimension **dim = 1, 2, 3** aufweisen. Objekte der Natur (Küstenlinie einer Insel, Farnblatt, Wolke, Gehirn) hingegen sind vielfach so beschaffen, daß sie nicht adäquat durch diese einfachen Figuren repräsentiert werden können. Für ihre Darstellung ist die fraktale Geometrie mit gebrochenen Dimensionen zuständig. Beispielsweise haben Sierpinski-Dreiecke und geschlossene Koch-Kurven (Schneeflocke) völlig neuartige, unanschauliche Eigenschaften: (α) Sie können nicht konstruiert, sondern nur durch Algorithmen sukzessive generiert werden. (β) Ihre Flächen haben zwar einen endlichen Inhalt, aber immer einen unendlichen Umfang. (γ) Die Dimension ist nicht ganzzahlig. Für das Sierpinski-Dreieck gilt **dim = ln 3/2 = 1,5850** und für die geschlossene Koch-Kurve **dim = ln 4/3 = 1,2618**.⁵⁹⁶



Figur 2.4

- (vi) **Struktur-Eigenschaften statischer & dynamischer Topologien:** Dynamische Topologien untersuchen diejenigen Eigenschaften geometrischer Objekte, die bei stetigen Deformationen invariant bleiben. Hier handelt es sich um topologische Abbildungen, d.h. Operationen, bei der das jeweilige Objekt gebogen, gedehnt,

⁵⁹⁶ Zeitler / Pagon 2000, S. 19, 29

zusammengedrückt oder verdreht wird. Das Objekt soll vollkommen elastisch sein und alle Kombinationen dieser Verformungen unbeschadet überstehen. Grundlegende Bedingung ist allerdings, daß diejenigen Punkte, die *vor* der Verformung benachbart waren, auch nach der Verformung benachbart bleiben. Die Struktur-Eigenschaften dynamischer Topologien sind unanschaulich. Dies wird bereits deutlich am Beispiel des Ringe-Rätsels. Der Grund liegt darin, daß die Anschaulichkeit sich einerseits hauptsächlich auf starre Körper bezieht und andererseits auf die Wahrnehmung eines Zustandes und nicht auf die Transformation des Zustandes durch Handlung. Dynamische Topologien müssen – wie alle dynamischen Prozesse – auf die sequentielle Informationsverarbeitung zurückgreifen. Aber auch statische Topologien können besonders unanschaulich sein. Hier sind es insbesondere die topologischen Eigenschaften des Raumes (Wurmlöcher), wie sie in den verschiedenen Theorien der Schwarzen Löcher vorkommen. Ihre dynamische Veränderlichkeit führt noch weiter fort von der Anschaulichkeit.

- (vii) **Allgemeine Perspektiven & beliebige Bezugssysteme:** Anschaulich sind Begriffe, die im Alltagsverständnis im Sinne absoluter Konzepte aufgefaßt werden. Dazu gehören die Begriffe „oben“ und „unten“, die durch die Schwerkraft bestimmt sind. Gegenfüßler sind dann unanschaulich, da sie zur Veranschaulichung eine geometrische Darstellung erfordern. Ebenfalls anschaulich sind Vorgänge, deren Beobachtung eine egozentrische Perspektive beinhaltet. Die Innen-Perspektive zeichnet ein spezielles Bezugssystem aus; die Außen-Perspektive hingegen ist unanschaulich. Ein Perspektivenwechsel, d.h. die Abkehr von der egozentrischen Perspektive bringt eine Verminderung der Anschaulichkeit mit sich. Besonders unanschaulich sind Phänomene, die im Zusammenhang mit beliebig bewegten Bezugssystemen auftreten.
- (viii) **Strukturwechsel durch Phasensprünge:** Anschaulich erscheint die Möglichkeit, Strukturen über den direkt sinnlich zugänglichen Phänomenbereich hinaus zu extrapolieren. Phasensprünge sind anschaulich, sofern sie sich auf die vertrauten Phasen fest ← flüssig → gasförmig (Wasser) beziehen. Unanschaulich hingegen sind Phasensprünge, die zu andersartigen Strukturen (normal-leitend → supra-leitend) führen.
- (ix) **Hierarchische Systeme:** Anschaulich sind einfache Bausteine, Verbindungen und Strukturen eines Systems. Unanschaulich ist die Emergenz neuer Strukturen als Folge zunehmender Komplexität von Systemen. Beispielsweise ist das Gehirn ein System von Neuronen, das neuronale Signale weiterleitet, die dem einfachen Prinzip der Neutralität des neuronalen Codes genügen. Dennoch erlaubt die Komplexität des Systems völlig neuartige Strukturen.

- (x) **Grenzbetrachtungen & unendliche Mengen:** Anschaulich sind immer nur endliche Mengen. Unanschaulich sind Grenzbetrachtungen⁵⁹⁷ und unendliche Mengen insbesondere dann, wenn die vertrauten Eigenschaften endlicher Mengen nicht mehr gelten und stattdessen ganz neue Eigenschaften auftreten. Dies gilt beispielsweise für die Teile-Ganzes-Beziehung, derzufolge eine endliche Menge immer mehr Elemente besitzt als alle ihre echten Teilmengen. Diese Beziehung läßt sich nicht auf unendliche Mengen übertragen, d.h. die Menge der ganzen Zahlen und die Teilmenge der geraden Zahlen haben dieselbe Mächtigkeit.⁵⁹⁸

4. Möglichkeiten der Veranschaulichung: Wozu dient eine Veranschaulichung? Wie kann ein Sachverhalt veranschaulicht werden? Welche Darstellungsmittel sind erforderlich? Anschaulichkeit ist kein logisches Kriterium (Widerspruchsfreiheit von Theorien) und kein semantisches Kriterium (Wirklichkeitsbezug von Theorien), sondern ein didaktisches Kriterium (Verständnis von Theorien). Das traditionelle Vorgehen zur Veranschaulichung verfolgt meist zwei Wege: (α) Die Ergebnisse werden durch *Elementarisierung* einsichtig gemacht, d.h. die Ergebnisse werden soweit vereinfacht, daß nur noch wenige Eigenschaften bzw. Strukturen übrig bleiben. (β) Die Ergebnisse werden durch *Visualisierung* verdeutlicht, d.h. die Ergebnisse werden verräumlicht und geometrisch dargestellt. Beide Wege sind zur Veranschaulichung indirekt-intuitiver Theorien gut geeignet. Es ist aber charakteristisch für die nicht-intuitiven Theorien mit ihren gänzlich andersartigen Strukturen, daß diese beiden Wege der Veranschaulichung nicht in zufriedenstellender Weise gelingen.

- (i) Die **Veranschaulichung von direkt-intuitiven Theorien:** Alle direkt-intuitiven Theorien sind anschaulich. Diese Theorien beziehen sich bereits auf ein mesokosmisches Strukturierungsschema: der Bezug auf sekundäre Qualitäten, ein mittleres Raum- und Zeitfenster, kleine Geschwindigkeiten, starre Körper, lineare Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge und eine egozentrische Perspektive. Die einzige Form der Repräsentation, die verwendet wird, ist die verbale Repräsentation, d.h. eine einfache Fachsprache, die nur der Klassifizierung von Phänomenen dient.

Eine Veranschaulichung ist nicht nötig.

⁵⁹⁷ Grenzfallbetrachtungen scheinen höhere kognitive Leistungen zu sein. Ein Hund wird erfolgreich darauf dressiert, beim Anblick eines *Kreises* mit dem Schwanz zu wedeln und beim Anblick einer *Ellipse* mit der Pfote zu kratzen. Als die Ellipse kontinuierlich in einen Kreis überführt wird, wird der Hund immer ratloser und weiß offensichtlich nicht mehr, was er tun soll. Hätte der Hund gleichzeitig mit der Pfote gekratzt und mit dem Schwanz gewedelt, dann hätte er gezeigt, daß er den Kreis als degenerierte Ellipse erkennt.

⁵⁹⁸ Die Unanschaulichkeit von Unendlichkeiten läßt sich besonders gut an *Hilberts Hotel* illustrieren. Hier geht es um ein Hotel, das eine unendliche Anzahl von Zimmern besitzt, die durch die Zahlen **1, 2, 3, ...** durchnummeriert sind. Alle Zimmer sind belegt und trotzdem kann ein später Gast noch untergebracht werden, ohne daß ein anderer Gast hinausgeworfen wird. Dazu wird jeder der bereits anwesenden Gäste gebeten, ein Zimmer weiter zu ziehen, d.h. der Gast aus Zimmer **n** erhält jetzt Zimmer **n + 1**. Der späte Gast bekommt das freigewordene Zimmer **1**. Dieses skurrile Beispiel macht deutlich, daß die unbelehrte Intuition an endlichen Fällen orientiert bleibt (vgl. Devlin 1990, S. 57)

- (ii) Die **Veranschaulichung von indirekt-intuitiven Theorien**: Indirekt-intuitive Theorien bedürfen einer Veranschaulichung. Die Hauptmerkmale der Veranschaulichung sind die Reduktion der Komplexität und der Übergang von der Innen-Perspektive zu einer Außen-Perspektive. Die wichtigsten Darstellungen sind die geometrische Darstellung und ihre Erweiterung zu einer geometrisch-mechanischen Darstellung: (α) Die *geometrische Darstellung* abstrahiert von allen sekundären Qualitäten; sie beinhaltet verhältnistreue oder nicht-verhältnistreue Maßstabsänderungen; sie ermöglicht den Wechsel von der Innen- zur Außen-Perspektive und damit die Wahl eines beliebigen Bezugssystems. Sie macht Bewegungsabläufe sichtbar durch ihre Verräumlichung; sie dient der geometrischen Visualisierung der Zeit. Ein einfacher Fall bezieht sich auf Maßstabsveränderungen. Astronomische Phänomene müssen einer Verkleinerung des Maßstabs (Planetenmodelle) unterworfen werden und mikrophysikalische Phänomene bedürfen einer Vergrößerung des Maßstabs (Rutherfordsches Atommodell). Astronomische und mikrophysikalische Phänomene gelten dann als indirekt-intuitiv einsichtig, wenn sie zur Veranschaulichung durch eine reguläre Transformation auf das mesokosmische Raum-Zeit-Fenster projiziert werden können. (β) Die *geometrisch-mechanische Darstellung* ermöglicht zusätzlich die geometrische Visualisierung gerichteter Größen (Bewegung, Kausalität). Diese Veranschaulichung setzt sich zusammen aus der geometrischen Darstellung und der Visualisierung kausaler Verhältnisse. Die Masse wird durch einen Punkt und Geschwindigkeit und Kraft werden durch einen Vektor veranschaulicht. Damit lassen sich Zug und Druck simulieren. Funktionale Abhängigkeiten werden graphisch dargestellt.

Eine Veranschaulichung ist nötig und möglich; sie gelingt durch eine Verschiebung der Strukturierungsleistung innerhalb des bereits aufgebauten Strukturierungsschemas. Die fehlende intuitive Strukturierung im Phänomenbereich wird ersetzt durch eine intuitive Strukturierung auf der Ebene einer geeignet gewählten Repräsentation.

**Veranschaulichung durch Verschiebung innerhalb
des Strukturierungsschemas von S_{Ω} nach F_{Ω}**



Die Anschaulichkeit von Sachverhalten bezieht sich zunächst vorwiegend auf eine statische Anschaulichkeit (gestützt auf die Sinneswahrnehmungen, bezogen auf starre Körper), sie muß erweitert werden durch eine dynamische Anschaulichkeit (gestützt auf die

Handlungsfähigkeit, bezogen auf starre & deformierbare Körper). Damit lassen sich auch dynamische Prozesse veranschaulichen. Computer-Spiele bieten gute Möglichkeiten der Veranschaulichung.⁵⁹⁹

- (iii) Die *Veranschaulichung von nicht-intuitiven Theorien durch Analogisierung*: Nicht-intuitive Theorien beziehen sich auf spezielle Phänomene, die erst durch den Einsatz technischer Mittel erzeugt und mathematischer Formalismen beschrieben werden können; sie bedürfen im besonderen Maße einer Veranschaulichung. Die diesbezüglichen Möglichkeiten sind aber stark eingeschränkt. (α) Eine Möglichkeit der Veranschaulichung von Phänomenen der Relativitätstheorie besteht in der *Reduktion der Raum-Dimension*. Die Relativitätstheorie zeigt im Rahmen ihres mathematischen Formalismus, daß die Raum-Zeit-Struktur ein vier-dimensionaler Riemann-Raum ist. Die Einschränkung auf eine raumartige Hyperfläche führt auf einen gekrümmten drei-dimensionalen Raum. Der Newtonianer findet die Relativitätstheorie deshalb nicht-intuitiv, weil seine Strukturierungsformen einen drei-dimensionalen euklidischen Raum beinhalten. Es müßten konkrete Figuren in einem gekrümmten Raum konstruiert werden um die neuartigen geometrischen Verhältnisse der Relativitätstheorie in einer geometrischen Darstellung zu veranschaulichen. Hier sind offensichtlich die Grenzen eines sinnlich-intuitiven Theorienverständnisses erreicht. Wie bereits Helmholtz gezeigt hat, behält in diesem Fall die sinnliche Intuition dennoch eine wichtige Funktion. Die Untersuchungen der Verhältnisse auf allgemein gekrümmten zwei-dimensionalen Flächen – betrachtet von einem drei-dimensionalen Raum aus – erlauben es, die neuen Strukturen auch in der Anschauung zu klären. Die Reduktion auf zwei Raum-Dimensionen ermöglicht eine Außen-Perspektive, die zumindest eine Veranschaulichung im Sinne eines Teilmodells zuläßt. Die Veranschaulichung ist aber durch die Reduktion der Raum-Dimension nur noch partiell möglich. (β) Eine weitere Möglichkeit der Veranschaulichung von mathematisch antizipierten Phänomenen der Relativitätstheorie besteht in der *partiellen Veranschaulichung von Teilaspekten*. Besonders schwer einsichtig sind die physikalischen Verhältnisse in der Nähe Schwarzer Löcher. Durch eine geeignete Koordinatenwahl können jeweils einzelne Aspekte veranschaulicht werden. Wird beispielsweise die Schwarzschild-Lösung in Kruskal-Koordinaten beschrieben, die speziell an die Lichtkegel-Struktur angepaßt sind, dann lassen sich die zeitartigen Weltlinien besonders gut verfolgen. Die Einführung von Penrose-Diagrammen ermöglicht es, die kausalen Verhältnisse zu klassifizieren. Im Vergleich zur Kerr-Lösung wird schließlich deutlich, daß die Raum-Zeit-Eigenschaften in einem hohen Maße von den Eigenschaften der Materie abhängen, die durch die Parameter Masse, Ladung und Drehimpuls charakterisiert sind. Die Veranschaulichung beschränkt sich

⁵⁹⁹ Papert 1982

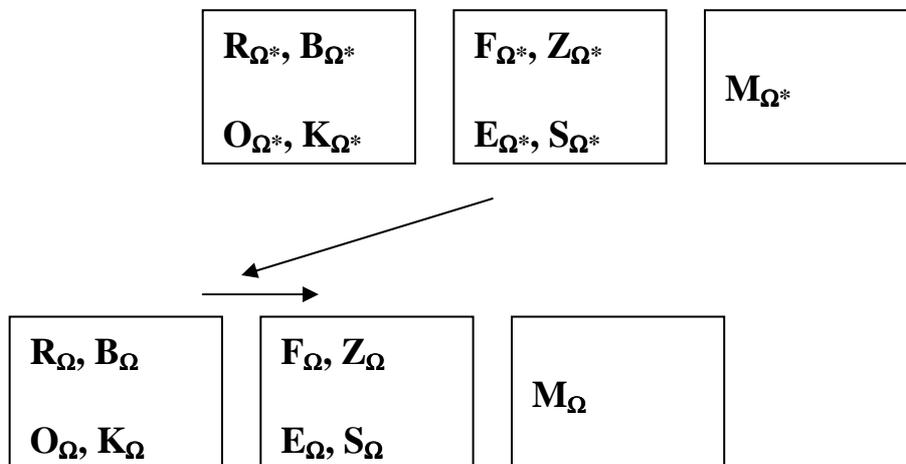
hier ausschließlich auf die Eigenschaft des kausalen Zusammenhangs, alle anderen Eigenschaften werden nicht erfaßt. Die Veranschaulichung ist demnach nur noch partiell möglich. (γ) Eine Möglichkeit der Veranschaulichung von Phänomenen der Quantentheorie besteht in der *partiellen Veranschaulichung von inkompatiblen Teilaspekten* – bezogen auf eine einfachere Metaphysik. Hierzu gehört Bohrs Komplementaritätsprinzip, demzufolge für die Beschreibung der Phänomene immer die Verwendung komplementärer Begriffe erforderlich ist, obwohl innerhalb eines einzelnen Meßprozesses keine komplementären Eigenschaften eines Meßobjekts gemessen werden können. Die komplementären Begriffe sind der Sprache der klassischen Physik entnommen; sie sollen die Anbindung an die Anschauung leisten.

Eine Veranschaulichung ist im hohen Maße nötig, aber nur durch Analogisierung möglich, d.h. die Veranschaulichungen gelingen nur noch mit den Mitteln einer partiellen Analogisierung der Strukturierungsleistung durch den Rückgriff auf ein einfacheres Strukturierungsschema. Dabei wird die Vertrautheit mit den Strukturierungen eines anderen Bereichs vorausgesetzt. Die Analogisierung hat dann die Form:

**Im Bereich Ω^* gilt Strukturierung X^* ,
wie im Bereich Ω Strukturierung X gilt.**

Für jede Eigenschaft oder Struktur ist eine Veranschaulichung durch eine Analogie nötig. Inkompatible Eigenschaften lassen sich in einigen Fällen auch durch unmögliche Bilder veranschaulichen.

**Veranschaulichung durch Rückgriff auf ein
einfacheres Strukturierungsschema mit einer einfacheren Metaphysik**



Die Quantentheorie ist charakterisiert durch das Auftreten inkompatibler Eigenschaften. Die Veranschaulichung gelingt dann nur noch eingeschränkt oder gar nicht mehr auf der Grundlage klassischer physikalischer Analogien. Werden hingegen andere Bereiche (z.B. Psychologie, Biologie) einbezogen, denen völlig andersartige Idealisierungen zugrundeliegen, dann können auch Metaphern betrachtet werden, die einzelne Aspekte einsichtig machen.

- (iv) Die *Veranschaulichung von nicht-intuitiven Theorien durch Metaphorisierung*: Eine weitere Möglichkeit der Veranschaulichung von Phänomenen der Quantentheorie besteht in der Metaphorisierung. Die Quantenphysik ist holistisch und steht strukturell der Biologie und der Psychologie näher als der klassischen Physik, die eine Physik der einzelnen Objekte ist. Um die Veranschaulichung durch Metaphorisierung zu erreichen, wird die Vertrautheit mit den Strukturierungen nicht-physikalischer Bereiche vorausgesetzt. (α) Wie läßt sich die holistische Eigenschaft der Messung veranschaulichen, d.h. die Nicht-Zerlegbarkeit in Meßapparat und Meßobjekt? Umittelbar einsichtig ist die Metaphorisierung durch ein Lebewesen, d.h. die Nicht-Zerlegbarkeit eines lebendigen Organismus ohne irreversible Zerstörung. (β) Wie läßt sich die Nicht-Vertauschbarkeit von Orts- und Impulsmessung veranschaulichen? Der Verweis auf die Feststellung von zwei Objekt-Eigenschaften, wie dies in der klassischen Physik geschieht, hilft hier nicht weiter. Sofort einsichtig hingegen ist die Metaphorisierung durch Handlungen, die sich häufig durch Nicht-Vertauschbarkeit auszeichnen.⁶⁰⁰

Eine Veranschaulichung ist im hohen Maße nötig, aber nur durch Metaphorisierung möglich, d.h. die Veranschaulichungen gelingen nur noch durch den Rückgriff auf ein disziplin-„fremdes“ Strukturierungsschema. Da es sich um eine Übertragung auf einen völlig anderen Bereich handelt, ist die Angabe der Grenzen und Reichweite der Metaphorisierung besonders wichtig. Allgemein bedeutet dies, daß nicht-intuitive physikalische Phänomene der Quantentheorie nicht allein mit den Mitteln der Analogisierung durch physikalische Phänomene der klassischen Physik veranschaulicht werden müssen, sondern daß auch auf nicht-physikalische Phänomene zurückgegriffen werden darf und muß, die dem Alltagsverständnis zugänglich sind. Auch in diesem Fall zeigt sich, daß die Anschaulichkeit von Sachverhalten, die sich zunächst vorwiegend auf eine statische Anschaulichkeit (gestützt auf die Sinneswahrnehmungen, bezogen auf starre Körper) bezieht, erweitert werden muß durch eine dynamische Anschaulichkeit (gestützt auf die Handlungsfähigkeit, bezogen auf starre & deformierbare Körper).

⁶⁰⁰ Jedes Kind lernt, daß es bei der sinnlichen Wahrnehmung eines Apfels nicht darauf ankommt, ob zuerst „grün“ und dann „rund“ oder umgekehrt festgestellt wird, daß es aber entscheidend auf die Reihenfolge von zwei Handlungen „nach-rechts-und-links-sehen“ und „Straße-überqueren“ ankommen kann.

Wirklichkeitsbezug

1. These: Hier soll für die These argumentiert werden, daß die intuitive Erkenntnis nur einen geringen Beitrag leisten kann zum Wirklichkeitsbezug und damit eine stark eingeschränkte Rolle spielt im Rechtfertigungszusammenhang einer Theorie. Im Zuge der Erweiterung der mesokosmischen Erkenntnis durch experimentell-technische Methoden einerseits und logisch-mathematische Methoden andererseits wird die Frage nach dem Wirklichkeitsbezug immer problematischer.

2. Begriff: Was ist unter dem Begriff „Wirklichkeit“ zu verstehen? Welcher Wirklichkeitsbegriff ist adäquat? In den empirischen Wissenschaften werden unterschiedliche Wirklichkeitsauffassungen vertreten, d.h. die Anbindung der Theorien an die Wirklichkeit wird verschieden ausbuchstabiert. Die verschiedenen Sichtweisen von dem, was Wirklichkeit ist, sind teilweise diametral verschieden. Dies liegt daran, daß auch der Wirklichkeitsbegriff zunächst in der Intuition gefaßt und dann einer kritischen Prüfung unterzogen wird, wenn sich seine Inkonsistenz herausstellt. (α) Der *Wirklichkeitsbegriff phänomenalistisch gesinnter Physiker*: Für Mach ist die Wirklichkeit *in* den Phänomenen; der abstrakte Formalismus der Physik führt aus seiner Sicht von der Wirklichkeit fort. (β) Der *Wirklichkeitsbegriff rationalistisch gesinnter Physiker*: Für Planck hingegen ist die Wirklichkeit *hinter* den Phänomenen. Das physikalische Weltbild entfernt sich mit seinen abstrakten Struktur immer weiter von der Sinnenwelt, so daß es seinen anschaulichen, ursprünglich ganz anthropomorph gefärbten Charakter immer mehr einbüßt. Die Sinnesempfindungen werden demzufolge zunehmend aus dem physikalischen Weltbild ausgeschaltet. Für Planck führt der abstrakte Formalismus der Physik zur Wirklichkeit hin.

[...] daß die mit der fortschreitenden Vervollkommnung zugleich fortschreitende Abkehr des physikalischen Weltbildes von der Sinnenwelt nichts anderes bedeutet als eine fortschreitende Annäherung an die reale Welt. [...] Die Physik würde unter allen Wissenschaften eine Ausnahme bilden, wenn sich nicht auch bei ihr das Gesetz bewährte, daß die weittragendsten, wertvollsten Resultate der Forschung stets nur auf dem Wege nach dem prinzipiell unerreichbaren Ziel einer Erkenntnis der realen Wirklichkeit zu gewinnen sind.⁶⁰¹

(γ) Der *Wirklichkeitsbegriff der Systemtheoretiker*: Für Vester ist die Wirklichkeit in den „unsichtbaren Fäden hinter den Dingen“ zu finden.

Was wir [...] brauchen, ist eine neue Sicht der Wirklichkeit: die Einsicht, daß vieles zusammenhängt, was wir getrennt sehen, daß die sie verbindenden unsichtbaren Fäden hinter den Dingen für das Geschehen in der Welt oft wichtiger sind als die Dinge selbst.⁶⁰²

⁶⁰¹ Planck 1929, S. 210

⁶⁰² Vester 2000, S. 9

(δ) Der *Wirklichkeitsbegriff der Neurowissenschaftler*: Für Roth ist die Wirklichkeit ein Konstrukt des Gehirns.

Das Gehirn trifft die Unterscheidungen über den Wirklichkeitscharakter erlebter Zustände aufgrund bestimmter Kriterien, von denen keines völlig verlässlich arbeitet. Es tut dies in *selbstreferentieller* Weise; es hat nur seine eigenen Informationen einschließlich seines Vorwissens zur Verfügung [...].⁶⁰³

Ein adäquater Wirklichkeitsbegriff kann sich nur auf *Strukturen* beziehen, aber er muß darüber hinaus eine handlungs-dynamische Komponente erhalten. Dies verweist auf Experiment und Mathematik.

3. Das Primat der Handlung für den Wirklichkeitsbezug. Die Genetische Erkenntnistheorie betont, daß das Zusammenspiel figurativer, repräsentativer und operativer Strukturierungsleistungen für die wissenschaftlichen Theorien charakteristisch ist. Sie erkennt, daß die mesokosmischen Strukturierungen hauptsächlich figurativer Art und die wissenschaftlichen Strukturierungen vorwiegend operativer Art sind. Demzufolge sind die strukturellen Gemeinsamkeiten und Unterschiede der figurativen und operativen Strukturierungsleistungen im Hinblick auf ihren Wirklichkeitsbezug zu analysieren. Gemeinsam ist beiden, daß sie *Beziehungsgeflechte* angeben. Die Genetische Erkenntnistheorie kann den zentralen Unterschied der beiden Strukturierungsleistungen benennen: (α) Die *figurativen Beziehungen sind deformierend*. Die Deformationen, die beispielsweise im Zusammenhang mit der „guten Gestalt“ von der Gestaltpsychologie aufgedeckt werden, machen den problematischen Teil des Wirklichkeitsbezugs in der Erkenntnis aus. (β) Die *operativen Beziehungen sind nicht-deformierend*. Die mathematischen Beziehungen führen zu beständigen Gleichgewichtszuständen zwischen Assimilation und Akkomodation und werden daher weder durch die Weiterentwicklung in Zweifel gezogen noch durch Erfahrungen widerlegt. Sie machen also den unproblematischen Teil des Wirklichkeitsbezugs in der Erkenntnis aus.

Woher kommt diese permanente Übereinstimmung zwischen den logisch-mathematischen Operationen und den Transformationen der Wirklichkeit, [...]; und wie kommt es, daß in noch zahlreicheren Fällen der mathematische Rahmen die aktuelle Realität übersteigt und erst im nachhinein mit neuen Erfahrungen ausgefüllt werden kann?⁶⁰⁴

Piaget fragt nach den Gründen dafür, daß die operativen Beziehungen den Wirklichkeitsbezug leisten und die Wirklichkeit sogar übersteigen. Er gibt eine Antwort auf diese beiden Fragen durch den Verweis auf das Zusammenspiel von Assimilation und Akkomodation, das sich an den transformierenden Handlungen ausrichtet, die wesentlich schöpferisch sind.

⁶⁰³ Roth 1996, S. 324

⁶⁰⁴ Piaget 1975e, S. 331

Das mathematische Denken ist fruchtbar, weil es eine Assimilation der Wirklichkeit an die allgemeinen Koordinationen der Handlungen darstellt und im wesentlichen operativ ist.⁶⁰⁵

Die Hypothese einer Assimilation der Realität an die Operationen, die aus den Handlungen hervorgehen, scheint uns auf eine vierte Lösung zu führen, die darin besteht, die mathematischen Beziehungen weder dem Subjekt allein zuzuordnen (Apriorismus) noch dem Objekt allein (Empirismus), noch einer aktuellen Wechselwirkung zwischen dem Subjekt und dem außerhalb des Subjekts befindlichen Objekt, sondern einer Wechselwirkung zwischen dem Subjekt und den Objekten, die aber im Innern des Subjekts stattfindet. [...]

Dies ist der Grund, weshalb diese Koordination immer mit der Wirklichkeit übereinstimmen, aus denen sie hervorgegangen sind.⁶⁰⁶

[...] wenn diese Koordination die auf die Realität ausgeübten Handlungen untereinander verknüpft, entnimmt sie ihre Elemente nicht den physikalischen Objekten.⁶⁰⁷

Die logisch-mathematischen Strukturen hängen demnach nicht nur davon ab, welche Transformationen die Objekte der Wirklichkeit zulassen, sondern auch davon, welche Transformationen das Subjekt nach Maßgabe seiner Handlungsfähigkeiten ausüben kann. Dies verdeutlicht den überaus engen Zusammenhang von Experiment, Mathematik und Erkenntnis. Darüber hinaus besagt es aber noch mehr: Eine andere Wirklichkeit bedingt nicht nur eine andere Mathematik, sondern auch andere Handlungsfähigkeiten des Subjekts. Die Analyse der Strukturen der Handlungsfähigkeiten ermöglicht das Übersteigen der Wirklichkeit.⁶⁰⁸

Die logisch-mathematischen Kenntnisse sind deshalb einzigartig: Einerseits stellen sie die Assimilation der Objekte an die Koordination der Handlungen des Subjekts dar, andererseits aber eine permanente Akkomodation an diese Objekte, da die Koordination der subjektiven Handlungen allgemeine Handlungen sind, die mit den beliebigen Transformationen des Universums konvergieren, aus denen der lebendige Körper mit seinen koordinierenden Assimilationsgesetzen hervorgeht.⁶⁰⁹

Hier liegen die Vorteile einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie im Vergleich zu den traditionellen Ansätzen: Die traditionellen Erkenntnislehren rücken die Sinneswahrnehmungen und die sprachlichen Formulierungen in das Zentrum ihrer Analyse. Dabei übersehen sie die prinzipiell erkenntnis-konstituierende Rolle, die der Handlung und – als Konsequenz – dem Experiment und einer operativ verstandenen Mathematik zukommen.

⁶⁰⁵ Piaget 1975e, S. 321

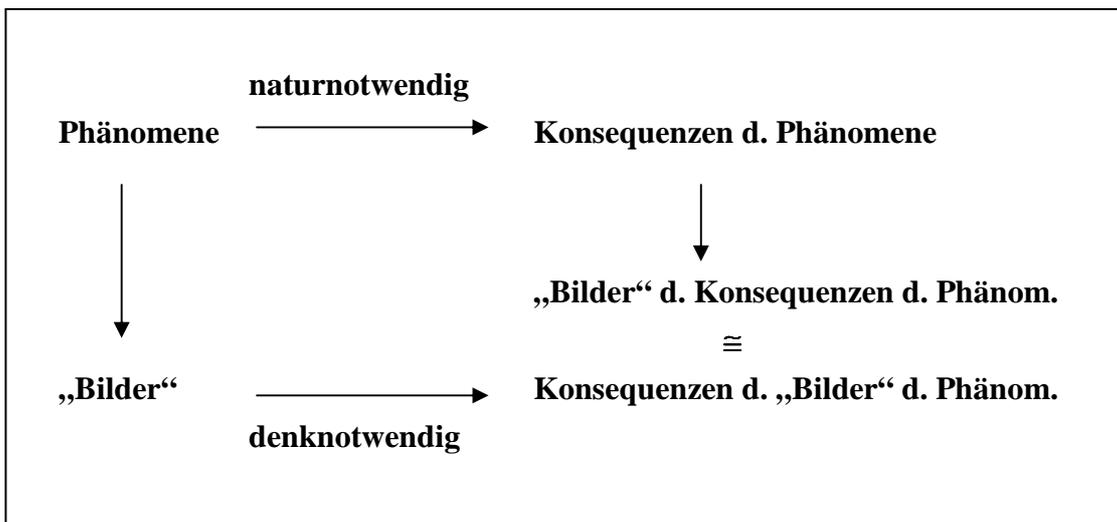
⁶⁰⁶ Piaget 1975e, S. 323

⁶⁰⁷ Piaget 1975e, S. 329

⁶⁰⁸ In einer Natur, die keine festen Gegenstände enthält, würden möglicherweise keine kognitiven Systeme existieren, die einen Zahlbegriff formulieren könnten.

⁶⁰⁹ Piaget 1975e, S. 336

4. Die „Hertzchen Bilder“ & die „Vollmerschen Projektionen“. Hertz hat wissenschaftliche Theorien als „Bilder“ gedeutet. Ein Hertzches Bild ist ein vereinfachtes Abbild eines Ausschnitts der Wirklichkeit. Sie müssen einem Grundsatzkriterium genügen: Die denotwendigen Folgen der Bilder müssen die Bilder der naturnotwendigen Folgen der Objekte sein. Dem liegt die problematische Annahme einer prästabilierten Harmonie zwischen den naturnotwendigen Strukturen der Wirklichkeit und den denotwendigen Strukturen des menschlichen Verstandes zugrunde. Richtig und unverzichtbar ist aber die Abgeschlossenheit der Argumentationsfigur. Sie sichert zunächst die innere Kohärenz und dann auch den Wirklichkeitsbezug, der prinzipiell nur struktureller Art sein kann.



Die Abbildung zwischen Phänomen und Bild ist nicht bijektiv; zu jedem Phänomen kann es mehrere Bilder **B₁**, **B₂**, **B₃** ... geben. Die Möglichkeit, Bilder zu entwerfen wird durch zusätzliche Bedingungen zwar eingeschränkt, aber nicht aufgehoben. Diese zusätzlichen Bedingungen können durch das Projektionsmodell von Vollmer weiter spezifiziert werden.

Vollmer beschreibt das Verhältnis von Wirklichkeit und Erkennbarkeit der Wirklichkeit im Sinne eines Projektionsmodells. Ein Ausschnitt der Wirklichkeit (Objekt) wird mittels eines Projektionsmechanismus auf den Projektionsschirm (Erkenntnisapparat) projiziert und erzeugt dort ein Projektionsbild, das im Vergleich zum wirklichen Objekt informationsärmer ist. Der umgekehrte Vorgang meint dann die Rekonstruktion des wirklichen Objekts aus den bekannten Bestimmungsstücken (Projektionsmechanismus, Projektionsschirm, Projektionsbild). Das so rekonstruierte Objekt bleibt hypothetisch, da im Rekonstruktionsprozeß die durch die Projektion verlorengegangene Information ergänzt werden muß. Zwischen dem wirklichen Objekt und dem rekonstruierten Objekt besteht – nach Vollmer – zumindest eine partielle Isomorphie.

5. Die Kombination der Modelle. Die Modelle von Hertz und Vollmer erfassen wichtige Aspekte des Wirklichkeitsbezugs; sie bleiben aber einseitig und müssen in Abhängigkeit von

der jeweils vorliegenden Theorie in unterschiedlicher Weise miteinander kombiniert werden. Darüber hinaus ist der Wirklichkeitsbegriff selbst im Sinne der Genetischen Erkenntnistheorie zu verstehen. Die Spezifizierung der Kombination korreliert mit der Einteilung der wissenschaftlichen Theorien in direkt-intuitive, indirekt-intuitive und nicht-intuitive Theorien.

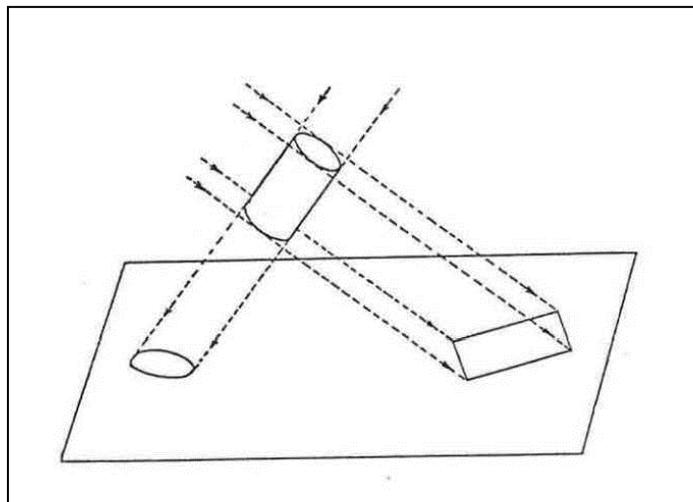
- (i) Der **Wirklichkeitsbezug von direkt-intuitiven Theorien**: Direkt-intuitive Theorien versuchen den Wirklichkeitsbezug ausschließlich mit dem Modell der „Hertzchen Bilder“ herzustellen. Der Zusammenhang von Phänomen und Bild ist in diesem Spezialfall unmittelbar einsichtig; die Abgeschlossenheit der Argumentationsfigur soll die innere Kohärenz sichern. Die aristotelische Naturphilosophie ist ein Beispiel für eine direkt-intuitive Theorie. Sie konstruiert ein „verbales Bild“, das sich sehr eng an die Alltagssprache anlehnt; die innere Kohärenz soll – nach Aristoteles – durch logische Begriffsanalysen gewährleistet werden. Der Wirklichkeitsbezug gelingt jedoch nur unvollkommen, weil die Sprache ein prinzipiell inadäquates Instrument dafür ist.
- (ii) Der **Wirklichkeitsbezug von indirekt-intuitiven Theorien**: Indirekt-intuitive Theorien benötigen für die Herstellung des Wirklichkeitsbezugs ein kombiniertes Modell aus den „Hertzchen Bildern“ und den „Vollmerschen Projektionen“. Die Abgeschlossenheit der Argumentationsfigur sichert auch hier die innere Kohärenz, aber der Zusammenhang von Phänomen und Bild ist nicht mehr unmittelbar einsichtig, sondern muß durch die Projektionen erst gestiftet werden. Die Newtonsche Physik ist ein Beispiel für eine indirekt-intuitive Theorie. Sie konstruiert ein „geometrisches Bild“; die innere Kohärenz wird durch Experiment und Mathematik gewährleistet. Der Wirklichkeitsbezug gelingt auch hier nicht vollständig, weil metaphysische Begriffe – absoluter Raum, absolute Zeit – eingehen.
- (iii) Der **Wirklichkeitsbezug von nicht-intuitiven Theorien**: Nicht-intuitive Theorien benötigen ein kombiniertes Modell aus den „Hertzchen Bildern“ und den „Vollmerschen Projektionen“; sie können damit aber nur noch einen partiellen Wirklichkeitsbezug herstellen, indem sie inkompatible, aber dennoch widerspruchsfreie Teilaspekte durch verschiedene Projektionen darstellen. Die Quantentheorie ist ein Beispiel für eine nicht-intuitive Theorie. Sie konstruiert ein „arithmetisches Bild“.

Am Beispiel des Welle-Teilchen-Dualismus erläutert Vollmer den Wirklichkeitsbezug inkompatibler Teilaspekte. Dazu projiziert er gedanklich einen Zylinder in zwei verschiedene Richtungen und erhält als Projektionsbilder eine Ellipse und ein Parallelogramm.

Die dabei entstehenden Bilder, Aspekte, Projektionen (Ellipse oder Parallelogramm) sind auf ihrer „Ebene“ inkommensurabel, unvereinbar, widersprüchlich; und doch

sehen wir ein, daß das eigentliche Objekt widerspruchsfrei ist. Die Unvereinbarkeit der Aspekte besteht also nur auf der Ebene der Erscheinungen; sie allein rechtfertigt noch nicht die Behauptung, daß das Urbild nicht ein einziges, einheitliches und widerspruchsfreies sein könne.

Die Quantenphysik kennt aber nicht zwei Substanzen, Welle einerseits, Teilchen andererseits; für sie sind Elektronen vielmehr *einheitliche* Systeme, die durch physikalisch interpretierte mathematische Gleichungen *einheitlich* beschrieben werden und je nach der experimentellen „Falle“, in die wir sie locken, verschiedene Aspekte zeigen. Wellen- und Teilcheneigenschaften sind also nur *Projektionen* der Eigenschaften des Elektrons auf verschiedene experimentelle „Ebenen“. Die „wahre“ Natur des Elektrons ist dabei zwar unanschaulich [...], aber nicht unerkennbar.⁶¹⁰

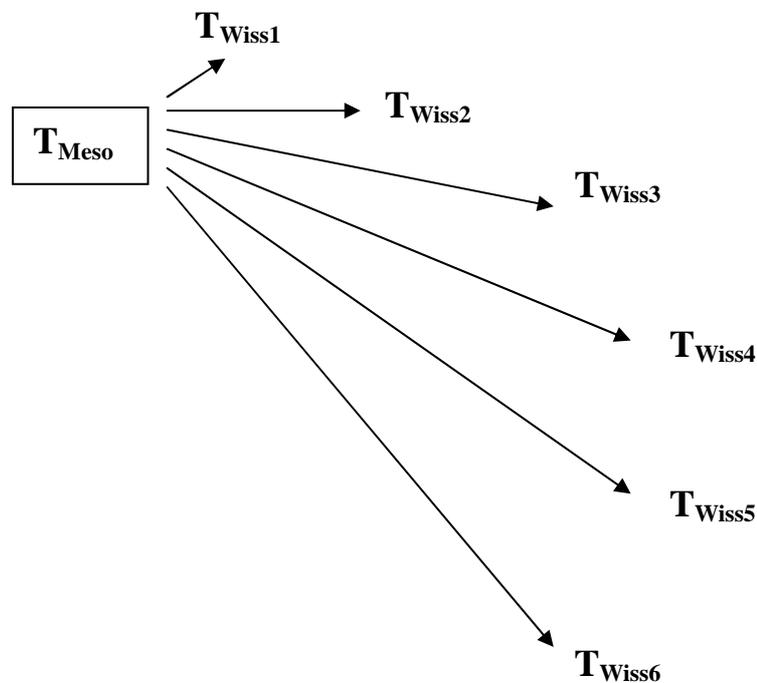


Figur 2.5

⁶¹⁰ Vollmer 1988b, S. 90ff

2.5 Das 7-Stufen-Modell intuitiver Theorien

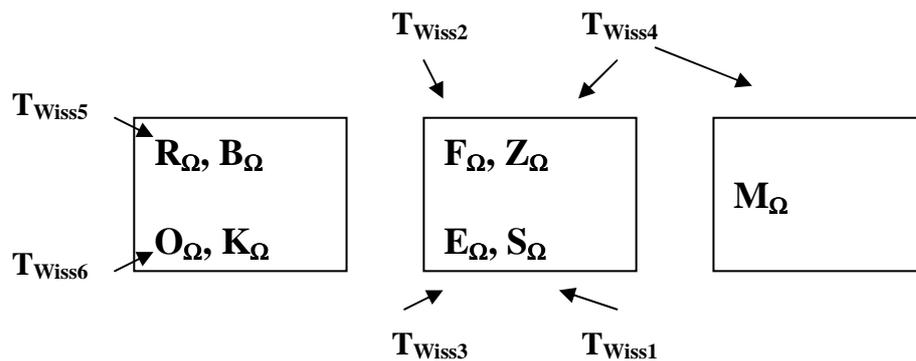
Wie soll ein Naturphilosoph zu Naturerkenntnissen gelangen, wenn er noch nicht über Logik, Mathematik und Experimente verfügt? In dieser Situation fehlen ihm nicht nur die Begriffe und die Strukturen, nach denen Naturphänomene verstanden werden können, es fehlen ihm auch die „richtigen Fragen“ und die „richtigen Methoden“. Es fehlen ihm also genau die Grundlagen, auf die ein moderner Naturwissenschaftler ganz selbstverständlich zurückgreifen kann. Was aber kann dem antiken Naturphilosophen stattdessen als Ausgangspunkt dienen? Er kann Beobachtungen machen, Spekulationen aufstellen und die mythischen Weltmodelle seiner Vorfahren zu Rate ziehen. Über mehr verfügt er zunächst nicht. Er muß sich dann auf den langen und mühevollen Weg begeben, ein Instrumentarium zu entwickeln, das geeignet ist, die komplexen Phänomene der Natur zu beschreiben. Insbesondere die ersten Schritte dieses Weges werden weitgehend einer *phänomen-orientierten, sinnlichen Intuition* verpflichtet sein, wenn es darum geht, die Komplexität der Phänomene so zu reduzieren, um Strukturen überhaupt erst erkennbar zu machen. Im weiteren Verlauf dieses Weges wird eine *struktur-orientierte, rationale Intuition* zunehmend wichtiger werden. In einem kurzen Abriß werden einige wichtige Aspekte der Naturphilosophie skizziert, sofern sie für die Rolle der intuitiven Erkenntnis von zentraler Bedeutung sind. Im folgenden soll ein *7-Stufen-Modell* vorgeschlagen werden, das verschiedene Grade intuitiver Theorien unterscheidet.



Dabei geht es um eine Abkehr von den intuitiven, qualitativen Beschreibungen der Naturphänomene hin zu den quantitativen Naturgesetzen einer idealisierten Natur, deren Phänomene erst experimentell erzeugt und dann einer mathematischen Beschreibung

zugänglich gemacht werden müssen. Diese Entwicklung bringt einen Zug der Unanschaulichkeit in die Naturphilosophie. Hier wird das Modell einer Abstufung intuitiver Theorien vorgeschlagen, das es ermöglichen soll, den *Wandel* im Maßstab dessen aufzuzeigen, was als intuitiv einsichtig gelten kann. Die Aufgabe besteht demnach darin, in der historischen Abfolge der physikalischen Theorienkonstruktionen eine Theorienfolge aufzuzeigen, die einen absteigenden Grad an Anschaulichkeit erkennen läßt und en detail angibt, wo genau und wodurch die Anschaulichkeit verloren geht.

Die Theorien werden eingeteilt in (i) mesokosmische Strukturierungen T_{Meso} , (ii) direkt-intuitive Theorien T_{Wiss1} , (iii) indirekt-intuitive Theorien T_{Wiss2} , (iv) indirekt-intuitive, empirisch-erweiterte Theorien T_{Wiss3} , (v) indirekt-intuitive, analytisch-formalisierte Theorien T_{Wiss4} , (vi) nicht-intuitive Raum-Zeit-Theorien T_{Wiss5} und (vii) nicht-intuitive Materie-Theorien T_{Wiss6} . Dabei wird en detail herausgearbeitet und begründet, wie die wissenschaftlichen Theorien mit den Strukturierungsformen verknüpft sind.



Der Wandel der Maßstäbe soll zum einen verständlich machen, daß und inwiefern die Newtonsche Physik für einen Aristoteliker unanschaulich ist und in welchem völlig anderen Sinne die Relativitätstheorie und die Quantentheorie für einen Newtonianer unanschaulich erscheinen. Der Wandel der Maßstäbe soll zum anderen auch verständlich machen, daß und in welcher Weise die axiomatische Methode mit der struktur-orientierten, rationalen Intuition der Rationalisten verknüpft ist. Insbesondere wird einsichtig, daß die großen Grundlagen-Debatten (Leibniz-Clarke-Debatte, Boltzmann-Mach-Debatte, Einstein-Bohr-Debatte) immer auch als Auseinandersetzungen um die intuitive Einsichtigkeit einer Theorie zu lesen sind.

Mesokosmische Strukturierung T_{Meso}

Die vorwissenschaftlichen Auseinandersetzungen mit den Naturphänomenen sind charakterisiert durch mesokosmische Strukturierungen T_{Meso} . Diese bedienen sich einer phänomen-orientierten, sinnlichen Intuition und wurzeln in einer mythischen Sicht von der Welt und der Stellung des Menschen in dieser Welt.

Charakterisierung. Die ersten Ansätze einer Auseinandersetzung mit der Natur gehen vom unmittelbaren Augenschein aus, sie ordnen alle mesokosmischen Phänomene im Raum und strukturieren sie nach den mesokosmischen Strukturierungsformen. Sie beinhalten als speziellen Blickwinkel die egozentrische Position (Innen-Perspektive) des erkennenden Subjekts. Die mesokosmische Strukturierung ist vorwiegend nicht-bewußt und unreflektiert; sie ist nicht primär auf Wissenserwerb, sondern auf überlebensadäquates Handeln angelegt und sie manifestiert sich daher zuallererst auf der senso-motorischen Ebene in erwartungs- und verhaltensrelevanter Form. Darüber hinaus formuliert sie Beobachtungen in intuitiv gefaßten, qualitativen Begriffen und Prinzipien, die dem Alltagsverständnis entnommen sind und die nicht auf logische Widerspruchsfreiheit hin geprüft sind.

$$\begin{array}{c} \mathbf{R}_{\text{Meso}}, \mathbf{B}_{\text{Meso}} \\ \mathbf{O}_{\text{Meso}}, \mathbf{K}_{\text{Meso}} \end{array}$$

Die mesokosmische Strukturierung ist anschaulich; sie bedarf daher keiner weiteren Veranschaulichung. Diese Naturbeschreibung bleibt deskriptiv, es kann daher nicht zu Konflikten mit der Beobachtung kommen und sie ist einem naiven Realismus verpflichtet. Der Wirklichkeitsbezug ist unmittelbar gegeben und als Wirklichkeit gilt das, was in den Sinneswahrnehmungen unmittelbar zum Ausdruck kommt. Überlebensrelevante Sachverhalte werden in direkt einsichtige, lineare Ursache-Wirkungs-Verhältnisse eingebettet, d.h. der vorwissenschaftliche Mensch überträgt kausale Mechanismen, die er selbst auslösen kann, sinngemäß auf analoge Sachverhalte. Dies erfolgt weitgehend adäquat, weil andernfalls das Überleben akut gefährdet wäre. Damit wird klar, daß überlebensrelevantes Handeln immer überlebensadäquates Handeln sein muß und daß jeder mögliche Irrtum unter „Todesstrafe“ steht. Für Sachverhalte hingegen, die nicht überlebensrelevant sind, können gefahrlos kausale Strukturen in mystischen Zusammenhängen gesucht werden. Es kann dann die Existenz einer transzendenten Welt angenommen werden, die auf die immanente Welt kausal einwirkt, wobei die kausalen Strukturen gerade nicht den Charakter von Naturgesetzen haben. Weltbild und Menschenbild sind vorwiegend religiös bestimmt. Dabei wird eine unreflektierte, mythische Intuition bemüht, die vorgibt, Aussagen über einen transzendenten Bereich machen zu können, wobei die Konkretisierung der Inhalte zumeist persönlichen oder kulturellen Vorlieben entspringt.

Beispiele. Ein erstes wichtiges Beispiel ist die *Alltagserfahrung* des Menschen in *vorwissenschaftlicher Zeit* im Umgang mit den Naturphänomenen. Diese bezieht sich auf \mathbf{O}_{Meso} . Bei kausalen Strukturen soll es sich um personifizierbare Ursachen handeln, denen – je nach religiöser Ausgestaltung – mehr oder weniger willkürliche und bösertige Absichten im Umgang mit den Menschen unterstellt wird. Eine Einwirkung auf die transzendente Welt wird

durch Opfer und Gebet zumindest versucht und häufig auch als erfolgreich interpretiert. Kontrollinstanzen zur Überprüfung dieser waghalsigen Spekulationen sind nicht vorgesehen und Gegenindizien werden als irrelevant abgewiesen oder „gewaltsam zurechtgebogen“. Logische und mathematische Konsistenzüberlegungen fehlen weitgehend, zumal ein geeignetes Instrumentarium auch noch nicht zur Verfügung steht. Wo diese einfachen Antworten nicht mehr als zufriedenstellend bewertet werden, kommt es zur wissenschaftlichen Theorienkonstruktion.

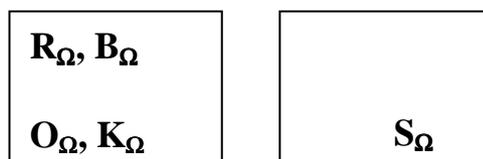
Ein weiteres wichtiges Beispiel ist die *Alltagserfahrung* des Menschen in *wissenschaftlicher Zeit* im Umgang mit den Naturphänomenen. Diese bezieht sich auf O_{Meso1} , O_{Meso2} , O_{Meso3} ..., d.h. auf einen erweiterten Mesokosmos in Abhängigkeit vom experimentell-technischen Stand. Elemente aus Fachsprachen werden im Hinblick auf den Gebrauch technischer Erzeugnisse benutzt. Logik und Mathematik gehören zu den eher unbeliebten Schulfächern und werden nur gelernt soweit dies der Lehrplan vorschreibt. Nach Abschluß der Schulbildung beschränken sich die mathematischen Fertigkeiten häufig auf die Anwendung auf einfache Alltagsprobleme, sofern dies nicht auch noch dem Taschenrechner überlassen bleibt. Wissenschaftliche Ergebnisse werden bestenfalls im Umgang mit technischen Erzeugnissen rezipiert, als Korrektiv für religiöse Spekulationen werden sie kaum beachtet und noch weniger akzeptiert. Besonders offensichtlich ist dies beim traditionellen Menschenbild, das gegenwärtig von den empirischen Neurowissenschaften nachhaltig infrage gestellt wird. Weiterhin wird die Existenz einer transzendenten Welt angenommen, die auf die immanente Welt kausal einwirkt. Damit kann das menschliche Bedürfnis nach dem Weiterfragen über das in der Erfahrung Gegebene auf einfache Weise zufriedengestellt werden.

Probleme. Der wissensdurstige Mensch beginnt damit, Fragen an die Natur zu stellen und sucht nach Antworten, die sich nicht mehr mit dem bloßen Verweis auf die Wirksamkeit einer spekulativ erschlossenen transzendenten Welt begnügen. Die Fragen führen zu ersten Hypothesen, die es ermöglichen sollen, die chaotische Fülle von Naturphänomenen systematisch zu ordnen und auf einige wenige Entitäten und Ursachen zurückzuführen. Damit werden hauptsächlich drei Probleme aufgeworfen: (α) Es steht die metaphysische Annahme zur Diskussion, ob Naturphänomene einem göttlichen Willen unterstellt sind oder ob sie ausnahmslos Naturgesetzen unterliegen, die dem menschlichen Erkenntnisvermögen zugänglich sind. (β) Die mesokosmische Begriffsstruktur erweist sich als nicht adäquat, d.h. es muß eine spezielle Fachsprache entwickelt und etabliert werden. (γ) Es wird eine abstrakte Struktur hinter den Phänomenen postuliert, die nicht sinnlich erfahrbar ist und die sich in den Begriffen „Einheit“, „Einfachheit“ „Vollkommenheit“ ausdrücken läßt. Damit müssen Kontrollinstanzen eingeführt werden um leeren Spekulationen vorzubeugen.

Direkt-intuitive Theorien T_{Wiss1}

Die Aussagen der Naturphilosophie treten zunehmend an die Stelle mythischer Überlieferungen, die bis dahin das Wesen der Natur und die Entstehung des Kosmos zu erklären suchten. Die ersten wissenschaftlichen Theorienkonstruktionen bleiben direkt-intuitive Theorien T_{Wiss1} , die weiterhin auf eine phänomen-orientierte, sinnliche Intuition zurückgreifen. Sie zeichnen sich aus durch den Übergang vom Mythos zum Logos. Kausale Strukturen werden nicht mehr vorwiegend mit transzendenten Wesen in Verbindung gebracht, sondern als Ausdruck von Naturgesetzen interpretiert.

Charakterisierung. Diese Theorien gehen vom unmittelbaren Augenschein aus, sie ordnen alle Phänomene räumlich und zeitlich und strukturieren sie nach den mesokosmischen Strukturierungsformen. Sie beinhalten als speziellen Blickwinkel die egozentrische Position (Innen-Perspektive) des erkennenden Subjekts. Direkt-intuitive Theorien sind bewußt und reflektiert, sie stützen sich auf ein umfangreiches Beobachtungsmaterial, sie sind auf Wissenserwerb und nicht mehr nur auf überlebensadäquates Handeln angelegt und sie manifestieren sich vorwiegend auf der sprachlichen Ebene. Sie formulieren Beobachtungen in intuitiv gefaßten und begründeten, qualitativen Begriffen und Prinzipien, die zwar dem Alltagsverständnis entnommen sind, aber nach einer eingehenden Begriffsanalyse eine differenziertere Klassifizierung aufweisen. Es wird eine eigenständige Fachsprache entwickelt, die es ermöglicht, die Naturphänomene in ein Gesamtsystem einzugliedern. Die Naturbeschreibung kommt noch ohne Experimente aus und setzt kein mathematisches Instrumentarium ein.



Direkt-intuitive, Theorien sind anschaulich; sie bedürfen daher keiner weiteren Veranschaulichung. Die Naturbeschreibung bleibt weitgehend deskriptiv, es kann daher nicht zu Konflikten mit der Beobachtung kommen und sie ist noch weitgehend einem naiven Realismus verpflichtet. Der Wirklichkeitsbezug ist direkt gegeben und als Wirklichkeit gilt das, was in den Sinneswahrnehmungen unmittelbar zum Ausdruck kommt.

Beispiele. Ein wichtiges Beispiel für eine direkt-intuitive Theorie ist die *aristotelische Bewegungslehre* des sublunaren Bereichs; die ihrerseits eingebettet ist in eine, allerdings bereits indirekt-intuitive Theorie der Bewegung des supralunaren Bereichs. Diese Bewegungslehre gründet auf einer sehr differenzierten Fachsprache: vier Elementbegriffe (Feuer, Luft, Wasser, Erde), vier Veränderungsbegriffe (substantiell, qualitativ, quantitativ, Ortsbewegung) und vier Ursachenbegriffe (Materie, Form, kausale Ursache, teleologische

Ursache). Grundprinzip der Bewegungslehre ist die, der Alltagserfahrung entnommene Überzeugung, daß zur Aufrechterhaltung einer Bewegung eine kausale Ursache erforderlich ist und daß jeder Bewegungsvorgang beendet ist, sobald der natürliche Ort erreicht wird. Besondere Erklärungsprobleme eröffnen sich für Aristoteles durch die Wurfbewegung. Die kausale Ursache dafür, daß sich ein geworfener Gegenstand weiterbewegt, vermutet Aristoteles im Medium. Luft und Wasser haben eine doppelte Funktion: einerseits leisten sie Widerstand, andererseits sind sie die Medien, die Bewegung erst ermöglichen. Demzufolge wird beim Wurf der Bewegungsanstoß durch den Werfer auf das umgebende Medium übertragen. Damit bleibt klärungsbedürftig, warum es nicht möglich ist – unter Beibehaltung des Ergebnisses –, den Bewegungsanstoß von Anfang an auf das Medium zu übertragen. Die *Impetuslehre* der Spätscholastik ist ein weiteres Beispiel für eine direkt-intuitive Theorie, die sich im wesentlichen nur dadurch von der aristotelischen Bewegungslehre unterscheidet, daß sie den Träger des Bewegungsanstoßes vom Medium in den geworfenen Gegenstand verlegt.⁶¹¹

Weitere wichtige Beispiele sind die *phänomenologischen Gesetze*, die immer zu Beginn einer neu entstehenden wissenschaftlichen Disziplin (Wärmelehre, Optik, Akustik, Mechanik) auftreten. Diese Disziplinen beginnen damit, unmittelbare Beobachtungen zusammenzufassen und in einer Ansammlung von gesetzmäßigen Zusammenhängen (Ausdehnung erwärmter Körper, geradlinige Ausbreitung des Lichtes, Hebelgesetze etc.) zu formulieren. Auf dieser frühen Stufe ist die Theorienkonstruktion noch vorwiegend den sekundären Qualitäten verhaftet, d.h. dies sind die ersten physikalischen Gesetze, die in einfacher Weise an die Sinneswahrnehmungen anknüpfen und das Beobachtungsmaterial systematisieren, von dem aus die eigentliche theoretische Fragestellung erst einsetzen kann. Die verschiedenen Disziplinen stehen noch unverbunden nebeneinander und ihre Einteilung orientiert sich am sensorischen Rezeptorsystem des Menschen.

Probleme. Wenn der wissensdurstige Mensch mehr wissen will, dann bekommen direkt-intuitive Theorien zahlreiche Probleme. Diese Probleme können verschiedene Gründe haben: (α) Sinnestäuschungen machen deutlich, daß sowohl die mesokosmische Strukturierung als auch direkt-intuitive Theorien gelegentlich inadäquat sind. Täuschungen in einem sensorischen Rezeptorsystem werden durch Kontrollen mit anderen sensorischen Rezeptorsystemen aufgedeckt. Beispielsweise kann die optische Täuschung, die einem zur Hälfte in Wasser getauchten, geknickten Stab zugrundeliegt, durch Überprüfung mit dem Tastsinn entlarvt werden. (β) Extrapolationen der Beobachtungen in andere Maßstabbereiche oder in andere Phänomenbereiche – Bereiche, die den sinnlich wahrnehmbaren Mesokosmos übersteigen, – können zu eigentümlichen Problemen führen. Beispielsweise führt die Extrapolation der Erfahrung, derzufolge jeder Gegenstand nach unten fällt bis er eine feste

⁶¹¹ Huber 2002

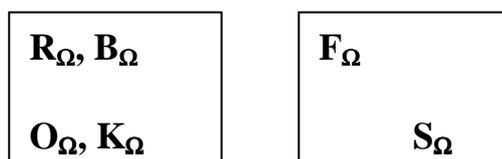
Unterlage erreicht hat, in der Antike zur Frage nach dem Fundament der Erde. Die versuchsweise gegebenen Antworten münden in einen unendlichen Regreß, aus dem die Pythagoreer einen genialen Ausweg finden. Für sie ist klar, daß die Erde und der Kosmos Kugelgestalt haben. (γ) Die aristotelische Bewegungslehre, derzufolge die Fallgeschwindigkeit eines Körpers proportional zu seinem Gewicht sein soll, ist aus logischen Gründen unmöglich, wie später Galilei mit den Mitteln der Grenzfallbetrachtung beweist. Er löst das Problem durch idealisierte Naturgesetze, die ein neues Begriffssystem voraussetzen. Dies ist der Beginn indirekt-intuitiver Theorienkonstruktionen.

Indirekt-intuitive Theorien $T_{\text{Wiss}2}$

Die folgenden wissenschaftlichen Theorienkonstruktionen verschieben sich immer mehr zu indirekt-intuitiven Theorien $T_{\text{Wiss}2}$ mit den Konsequenzen, (α) daß zunehmend auf eine struktur-orientierte, rationale Intuition zurückgegriffen werden muß, die eine Belehrung einschließt und (β) daß ein immer höherer Bedarf an Veranschaulichungen entsteht. Diese Veranschaulichungen werden durch geometrische bzw. geometrisch-mechanische Darstellungen geleistet. Die Natur wird als durchgängig nach mathematischen Prinzipien konstruiertes Ordnungssystem begriffen, dennoch bleiben die Naturbeschreibungen noch immer unmittelbar mit dem jeweiligen Verständnis göttlicher Vollkommenheit verknüpft, d.h. die angenommenen Attribute eines göttlichen Wesens bestimmen weiterhin die metaphysischen Vorannahmen über die Natur.

Charakterisierung. Die neuen Theorien rücken zunehmend vom unmittelbaren Augenschein ab, weil es zu Konflikten im zuvor angeführten Sinne kommt. Die Modifikationen sind auf mehrfache Weise möglich; es kommt zur Theorienproliferation. Um die Beliebigkeit der Modifikationsmöglichkeiten aber zu minimieren, werden metaphysische Annahmen über die Natur angestellt, deren Gültigkeit durch den Verweis auf eine struktur-orientierte, rationale Intuition begründet wird. Die Theorienkonstruktion führt zur Weiterentwicklung der Fachsprache, d.h. zur Modifikation der alten Begriffe (absolute Begriffe \rightarrow relative Begriffe), zur Formulierung von neuen Begriffen und Prinzipien, zu axiologischen und teleologischen Annahmen und zu Überlegungen, die den Übergang vom Endlichen zum Unendlichen betreffen. Mit dem axiomatischen Aufbau der Geometrie wird erstmals ein neues Instrument geschaffen um die Natur zu erforschen und zu beschreiben. Die Naturgesetze zielen dann auf die Frage nach den mathematischen Gesetzmäßigkeiten und klammern konsequent die Frage nach dem Wesen der Dinge aus. Diese Neubestimmung des Erkenntnisziels ist mit einem weitreichenden Perspektivenwechsel in der Fragestellung verknüpft und führt somit zum Verzicht auf eine spekulative Einsicht in die inneren Zusammenhänge zugunsten einer abstrakten, geometrischen Beschreibung der Naturvorgänge. Die Analyse der Phänomene ist nicht mehr qualitativ, sondern quantitativ. Als Konsequenz werden sekundäre Qualitäten von der Naturbeschreibung ausgeschlossen und stattdessen das Naturgeschehen durchgängig geometrisch gedeutet. Raum (euklidischer Raum) und Zeit (universelle Zeit) bilden ein drei-

bzw. ein-dimensionales, mathematisches Kontinuum. Einheits-, Einfachheits- und Vollkommenheitsideale sind nicht mehr nur auf die Phänomen-Ebene bezogen, sondern werden zunehmend auf die Struktur-Ebene verschoben. Die Theorien extrapolieren auf beliebige Dimensionen (Mikrokosmos \leftarrow Mesokosmos \rightarrow Makrokosmos).



Die indirekt-intuitiven Theorien bedürfen der Veranschaulichung durch geometrische Modelle. Diese ermöglichen die Einnahme einer beliebigen Perspektive (Innen-Perspektive \rightarrow Außen-Perspektive). Die Abkehr von der Innen-Perspektive hin zu einer Außen-Perspektive erlaubt gewissermaßen einen ganzheitlichen, intuitiven Blick auf die Naturphänomene. Mit Blick auf dynamische Probleme erweisen sich die geometrischen Darstellungen als besonders leistungsfähig durch die Einführung von Vektordarstellungen und die damit mögliche Erweiterung auf geometrisch-mechanische Darstellungen.

Beispiele. Beispiele für indirekt-intuitive Theorien liefern die Abfolge der *kosmologischen Modelle* (früh-pythagoreisch, Eudoxos, Ptolemäus, Kopernikus, Kepler, Descartes, Newton) mit ihren geometrischen Darstellungen.⁶¹² Die Abfolge der kosmologischen Modelle ist mit einer stetigen Abkehr vom unmittelbaren Augenschein und einer Hinwendung zu immer abstrakteren Symmetrieprinzipien verbunden. Die Vollkommenheit manifestiert sich in Symmetrien, die in ausgezeichneten geometrischen Figuren – Kreis und Kugel – verwirklicht sind. Die Pythagoreer berufen sich der Sache nach auf eine rationale Intuition, die in der Folgezeit – neben der sinnlichen Intuition – eine zunehmend wichtigere Rolle spielt und die in der Hierarchie der intuitiven Erkenntnisarten eine höhere Evidenz beansprucht. Die Abfolge der kosmologischen Modelle sind hauptsächlich metaphysischen Überlegungen verpflichtet; sie wird nur teilweise durch den jeweils verfügbaren empirischen Befund erzwungen. Die Beobachtungsdatenmenge kann mit den optischen Beobachtungsinstrumenten (Teleskop) bis Newton nur unspektakulär erweitert werden. Die verschiedenen Modelle sind daher hauptsächlich Ausdruck einer sich ändernden Sicht hinsichtlich begrifflicher und axiologischer Annahmen über die Natur. Darüber hinaus spielt aber auch das jeweilige Mathematikverständnis und der Stand der Geometrie als Instrument der Erkenntnis eine wesentliche Rolle. (i) Die *frühen Pythagoreer* bauen ein einfaches geometrisches Modell aus Kreisen (Bahn der Himmelskörper) und Kugeln (Erde, Himmelskörper, Kosmos). Diese symmetrischen Figuren entsprechen in besonderer Weise den Vollkommenheitsidealen. In der Folgezeit geraten diese metaphysischen Annahmen in Konflikt mit dem empirischen Befund.

⁶¹² Huber 2002

Die Beobachtungen zeigen, daß die Himmelskörper keineswegs perfekte Kreisbewegungen mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ausführen. (ii) *Eudoxos von Knidos* modifiziert das Modell und erlaubt die Superposition konzentrischer Kreise d.h. jedem Himmelskörper werden mehrere konzentrische, rotierende Sphären zugeordnet, deren Rotationsachsen nicht zusammenfallen und die verschieden orientiert sind. Damit lassen sich gewisse Anomalien der Bahnbewegungen erklären. (iii) *Ptolemäus* erweitert das Superpositionsprinzip auf nicht-konzentrische Kreise und entwirft ein kompliziertes Epizykel-Exzenter-Modell. Die zunehmende Verfeinerung der Beobachtungsdaten vergrößert die Diskrepanz zwischen den theoretisch berechneten und den tatsächlich beobachteten Positionen der Himmelskörper. Dies führt in der Folgezeit zu zahlreichen Reparaturversuchen, die das Modell immer komplizierter werden lassen. Die Modifikationen des ursprünglichen Modells sind schließlich so umfangreich und weitreichend, daß das ptolemäische Epizykel-Exzenter-Modell eine gigantische Sphärenakrobatik beschreibt und dabei jede Schlichtheit und Einfachheit einbüßt. (iv) *Kopernikus* nimmt einen tiefgreifenden Perspektivenwechsel vor und ersetzt das geozentrische Modell durch ein heliozentrisches Modell. Er sieht sich aus metaphysischen Überlegungen dazu veranlaßt, der Sonne den privilegierten Platz im Zentrum des Kosmos zuzuweisen. Die kopernikanische Wende ist demnach gerade nicht durch den empirischen Befund motiviert, sondern durch eine neue Sicht auf die Vollkommenheitsideale der Antike. (v) *Kepler* übernimmt die Idee von der Sonne im Zentrum des Kosmos; er entdeckt die ellipsenförmigen Bahnen der Himmelskörper und formuliert drei Planetengesetze. Damit bricht er mit dem traditionsreichen Vollkommenheitsideal der kreisförmigen Bewegungsbahn. Unterstützt wird die neue Sicht, die im ersten Planetengesetz zum Ausdruck kommt, durch einen Wandel im Mathematikverständnis. Kepler studiert die Kegelschnittlehre des Apollonius von Perga, derzufolge Kreise und Ellipsen spezielle Kegelschnitte sind. Besonders richtungweisend ist aber Keplers Versuch, eine dynamische Erklärung für die Planetenbewegungen zu finden. An die Stelle eines geometrischen Modells will er ein physikalisches Modell setzen, das die ungleichförmigen Ellipsenbahnen mit der Kraftwirkung der Sonne auf die Planeten in Verbindung bringt. Das zweite Planetengesetz ist ein Flächensatz, demzufolge ein Himmelskörper in gleichen Zeiten gleiche Flächen überstreicht. Aus moderner Sicht bedeutet dies ein Energieerhaltungssatz, d.h. die Summe aus potentieller und kinetischer Energie bleibt erhalten. Damit bereitet Kepler den Weg vor zur Formulierung abstrakter Erhaltungssätze, die später an die Stelle der anschaulichen geometrischen Symmetrieeigenschaften treten. (vi) *Descartes* behauptet die Unendlichkeit des Universums und begründet seine Hypothese mit der Vollkommenheit Gottes. Auf dieser Grundlage entwickelt er eine neue Theorie der Fixsterne. Die Fixsterne befinden sich – im Gegensatz zur antiken Annahme eines endlichen Kosmos – nicht auf einer Kugelschale, sondern sie sind annähernd homogen im Raum verteilt. Diese Idee ermöglicht es ihm, die Sonne ebenfalls als ein Fixstern aufzufassen. (vii) *Newton* greift den cartesischen Gedanken eines unendlichen Universums auf, übernimmt von Kepler die drei Planetengesetze, sowie den fundamentalen

Gedanken von der Kraftwirkung der Sonne auf die Planeten und formuliert ein Gravitationsgesetz, das die Vereinheitlichung von Planetenbewegungen und Fallbewegungen erlaubt. Die Gravitationskraft \mathbf{F} zwischen zwei Planeten ist dem Produkt der beiden Massen \mathbf{m}_1 und \mathbf{m}_2 proportional und dem Quadrat der Entfernung \mathbf{r} zwischen den Schwerpunkten der beiden Massen umgekehrt proportional

$$\mathbf{F} = \mathbf{G} \mathbf{m}_1 \mathbf{m}_2 / \mathbf{r}^2$$

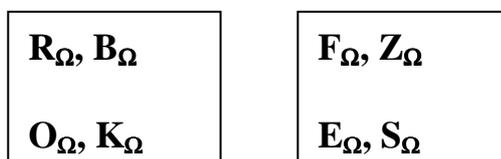
Newton versteht das Gesetz der Erdbeschleunigung \mathbf{g} für einen fallenden Körper \mathbf{m}

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} \mathbf{g}$$

$$\mathbf{g} = \mathbf{G} \mathbf{m}_E / \mathbf{r}_E^2$$

als Spezialfall des Gravitationsgesetzes mit der Masse der Erde \mathbf{m}_E und dem Erdradius \mathbf{r}_E . Die Gleichung für die Erdbeschleunigung \mathbf{g} verdeutlicht, warum alle Körper – unabhängig von ihrer Masse – gleich schnell fallen.

Weitere wichtige Beispiele für indirekt-intuitive Theorien sind die verschiedenen *physikalischen Modelle* (von Galilei bis Newton) mit ihren geometrisch-mechanischen Darstellungen.⁶¹³ Am Beispiel der *Physik Galileis* soll aufgezeigt werden, daß einerseits immer mehr Eigenschaften auftreten, die charakteristisch sind für indirekt-intuitive Theorien und daß andererseits das Fundament gelegt wird für eine völlig neue Naturauffassung. Das Neuartige des galileischen Denkens über die Natur ist der Sachverhalt, daß die bisherige Naturbeschreibung durch zwei Forderungen ergänzt wird: (1) die Forderung nach einer systematischen Durchführung von Experimenten (empirisch-induktive Methode) und (2) die Forderung nach einer mathematischen Formulierung (mathematisch-deduktive Methode). Mit Galilei wird erstmals eine systematisch messende, umfassend experimentierende und mathematisch formulierende Naturbeobachtung etabliert.



Wahre Naturphilosophie besteht demnach in der Verbindung von Experimenten und mathematischem Denken. Theorien müssen sich logischer, experimenteller und mathematischer Kontrollinstanzen unterziehen; der bloße Verweis auf den Augenschein genügt nicht mehr.

⁶¹³ Huber 2002; Huber 2004

Der Begriff „Naturgesetze“ erfährt beim Übergang von der aristotelischen zur galileischen Naturphilosophie einen tiefgreifenden Wandel. Nach Galilei sind sie durch folgende Merkmale charakterisiert: (i) Die Naturgesetze werden durch die direkten Beobachtungen gerade nicht bestätigt, sondern sie beziehen sich auf idealisierte Verhältnisse, die auf idealisierten Begriffen begründet sind. Dazu gehören die Begriffe „Atom“ und „Vakuum“ und eine wesentlich neuartige Einschätzung der Bewegung als Zustand, die zu ihrer Aufrechterhaltung keine Ursache benötigt. Dies führt auf das schwierige Gebiet der Zulässigkeit von *Idealisierungen* und die Frage, wie die Bedeutung von *Störfaktoren* einzuschätzen ist. Ein wichtiges methodisches Instrument, um diese Störfaktoren zu beurteilen, ist das Gedankenexperiment. (ii) Die Argumente zur Begründung der Naturgesetze laufen teilweise über *Gedankenexperimente*, d.h. es werden nicht etwa die Ergebnisse von tatsächlich ausgeführten Experimenten referiert, sondern es werden die logischen Konsequenzen, die aus den Gedankenexperimenten zu ziehen sind, diskutiert. Die Naturgesetze haben demnach eine logische Komponente; sie können aus logischen Gründen nicht jede beliebige Form annehmen. (iii) Störfaktoren können in den Gedankenexperimenten völlig ausgeblendet und in tatsächlichen Experimenten minimiert werden. Die Versuchsbeschreibung – z.B. die Fallrinne – weist auf drei wichtige Aspekte hin: (α) Das Experiment wird technisch so angelegt, daß Störungen – z.B. Reibungsverluste – möglichst klein bleiben. (β) Das Experiment wird so ausgerichtet, daß alle, als wichtig erkannten Parameter – z.B. Fallstrecke – kontrolliert variiert werden können. (γ) Das Experiment wird genügend oft wiederholt, um Meßfehler – z.B. Fallzeit – zu minimieren. (iv) Galilei verfügt über ein Mathematikverständnis, das sich grundlegend von der antiken Sichtweise unterscheidet. Er spricht davon, daß es kein „Adelsregister“ für geometrische Figuren gibt. Damit wird die intuitive Begründung einer axiologischen Ordnung geometrischer Figuren abgewiesen. (v) Der neue Blick auf die Naturgesetze ist mit einer Änderung der Leitmetapher und der Methodenideale verbunden. Mit dem Beginn einer technischen Ausrichtung der Naturphilosophie im Sinne Galileis wird die Natur unter der Leitmetapher einer Maschine gedeutet. Diese Maschine darf in ihre Bestandteile zerlegt und ihre Einzelteile können unabhängig voneinander untersucht werden. Diese Neubestimmung geht einher mit der Annahme, daß sich verschiedene Bewegungen ungestört überlagern können. Damit ist eine Ausweitung des Superpositionsprinzips verknüpft.

Das vorläufige Ende dieser Entwicklungslinie markiert die *Physik Newtons*, die als weiteres wichtiges Beispiel einer indirekt-intuitiven Theorie zu diskutieren ist. Newton bedient sich der experimentell-mathematischen Methode im Sinne Galileis. Er betont, daß sich die Naturgesetze nur durch Erfahrung erkennen lassen. Dies sind keine evidenten Sätze, sondern induktive Verallgemeinerungen aus Beobachtungen, d.h. die Naturgesetze sind erfahrungsgestützte Prinzipien, die sich durch innere Konsistenz auszeichnen. Newton reformuliert die begrifflichen Grundlagen der Bewegungslehre und definiert die metaphysischen, kinematischen und dynamischen Begriffe „absoluter Raum“, „absolute Zeit“,

„Masse“, „Impuls“, „Trägheit“, „Kraft“ und „Gravitationskraft“ als neue zentrale Schlüsselbegriffe seiner Theorie. Im Sinne einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie werden die Naturphänomene – im Gegensatz zu Kants Anschauungsformen Raum und Zeit – als Phänomene in Raum & Bewegung & Objekt & Kausalität gedeutet. Die Newtonsche Mechanik stützt diese Sicht. Das Bewegungsgesetz $\mathbf{F} = \mathbf{m} \, d^2\mathbf{x} / dt^2$ ist auf den vier Grundgrößen \mathbf{x} , t , \mathbf{m} und \mathbf{F} aufgebaut. Die Grundgrößen sind zwar als mathematische Idealisierungen zu verstehen, sie sind aber unmittelbar an die vier Anschauungsformen \mathbf{R} , \mathbf{B} , \mathbf{O} und \mathbf{K} geknüpft.

$\mathbf{R}_\Omega, \mathbf{B}_\Omega$	Länge \mathbf{x} , Zeit t
$\mathbf{O}_\Omega, \mathbf{K}_\Omega$	Masse \mathbf{m} , Kraft \mathbf{F}

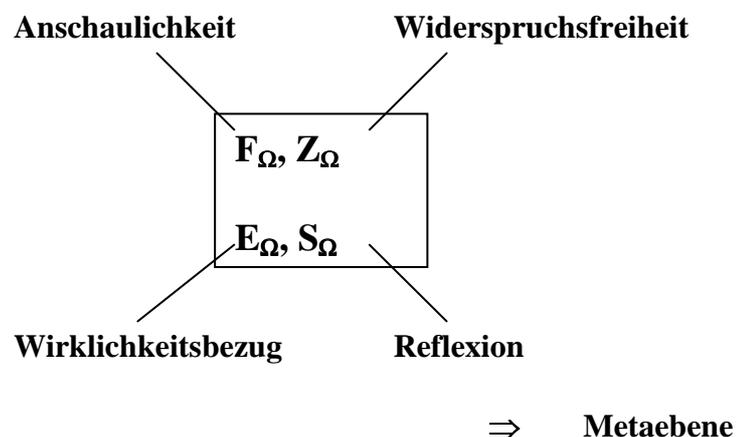
(i) Im Vergleich zu Galilei geht es Newton um neue physikalische Grundbegriffe, wie den Massenbegriff und den Kraftbegriff, sowie die Formulierung des Trägheitsprinzips auf dem Hintergrund eines unendlich ausgedehnten Universums. Galilei begreift zwar die Trägheitsbewegung auch als Zustand, die keine Ursache benötigt, aber sein Bewegungsbegriff führt auf ein kreisförmiges Trägheitsprinzip, das auf der Annahme eines endlich ausgedehnten Kosmos beruht. Nach Newton besitzen materielle Körper eine Masse, die die Eigenschaft hat, träge zu sein, d.h. in ihrem jeweiligen Zustand einer gleichförmig-geradlinigen Bewegung zu verharren, solange keine äußeren Kräfte wirken. (ii) Besonders richtungweisend ist die newtonsche Begriffsstruktur im Vergleich zur cartesischen Wirbeltheorie. Die grundlegenden Mechanismen der cartesischen Bewegungslehre sind Druck und Stoß. Damit hat Descartes eine physikalische Theorie aufgebaut, die hauptsächlich auf der Analyse des Substanzbegriffs beruht. Er entwickelt ein mechanistisches, deterministisches Weltbild, das nur geometrische und kinematische Größen aufweist. Die Existenz unteilbarer Atome und das Vakuum lehnt er ab. Ausdehnung und Bewegung sind die einzigen charakteristischen Größen. Sie genügen Erhaltungssätzen (Erhaltung des Materiequantums & des Bewegungsquantums). Newton hingegen sieht die Materie hauptsächlich durch dynamische Größen (Trägheit, Masse, Kraft) und gerade nicht durch geometrische Größen charakterisiert. Mit diesem Materiebegriff ergibt sich eine völlig neue Sicht, die für Descartes geradezu undenkbar ist: Newton denkt sich die Masse eines Körpers in einem Punkt konzentriert und formuliert die Mechanik der Massenpunkte. Die Idee des Massenpunktes erlaubt es ihm, wirkliche Körper als mathematische Größen in gewöhnlichen Differentialgleichungen zu behandeln. Bemerkenswert ist auch, daß Newton als Beispiele für eingedrückte Kräfte – neben Stoß und Druck – die Zentripetalkräfte nennt. Hier zeigt sich eine weitere Abweichung von der cartesischen Wirbeltheorie. Wenn es ein Vakuum zwischen den Planeten gibt, dann lassen

sich die gravitativen Kräfte nicht mehr auf Stoß und Druck zurückführen. Damit handelt sich Newton aber das Problem der unanschaulichen Fernkräfte ein, das erst mit der Einführung der Feldtheorien zufriedenstellend gelöst wird. Newton hingegen sieht hier einen allgegenwärtigen Gott am Werk, der für die physikalische Realisierung der Fernkräfte sorgt. (iii) Im Unterschied zu Leibniz argumentiert Newton für einen absoluten Raum und eine absolute Zeit. Der absolute Raum ist unendlich, homogen, isotrop, unbeweglich und ohne Beziehung auf äußere Gegenstände. Diese absoluten Größen sind durch Beobachtungen nicht wahrnehmbar. In der Alltagserfahrung haben diese Begriffe daher auch keine Bedeutung; in der Naturwissenschaft – so glaubt Newton – muß aber ein absoluter Bezugsrahmen angenommen werden, damit sinnvollerweise von der „wahren Bewegung“ gesprochen werden kann. Am Begriff des absoluten Raumes und der absoluten Zeit entzündet sich dann in der Folgezeit eine heftige Polemik zwischen Newtons Anhänger Clarke und Leibniz. Ein Teil dieser Auseinandersetzungen dreht sich um die Frage nach der Gültigkeit von Erhaltungssätzen. Unter der Metapher einer Uhr wird erbittert um die Frage gestritten, ob Gott als perfekter Uhrmacher seine Uhr so konstruiert, daß sie ohne sein weiteres Zutun die kosmische Ordnung beibehält und damit einem Energierhaltungssatz genügt (Leibniz) oder ob Gott als Herrscher des Universums seine Uhr gelegentlich reguliert um seine Herrschaft zu verdeutlichen und damit auf einen Energierhaltungssatz verzichten kann (Newton). (iv) Schlußstein der Bewegungslehre ist das mechanistische Weltbild von Laplace (1749 – 1827), das in der Hypothese vom Laplaceschen Dämons zum Ausdruck kommt, demzufolge ein mathematisch hochbegabter Dämon – sofern er alle Naturgesetze, sowie alle Anfangs- und Randbedingungen kennt – die Vergangenheit und Zukunft vollständig berechnen kann.

Probleme. Am Ende dieser Entwicklungslinie steht ein mechanistisches Weltbild. Besondere Probleme ergeben sich aus der intuitiven Begründung der metaphysischen Annahmen. Dabei handelt es sich um teils nicht-bewußte, implizite Annahmen und teils explizite Annahmen aus Mangel an Alternativen. Es gibt zahlreiche „heilige Kühe“, deren Existenzberechtigung unhinterfragt vorausgesetzt wird und die mit den modernen physikalischen Theorien verworfen werden: (1) Die *Raum-Zeit-Struktur*: Die Newtonsche Physik legt einen euklidischen Raum und eine universelle Zeit zugrunde. (2) Der *Massenbegriff*: In der Newtonschen Physik ist die Materie unveränderlich und unzerstörbar, d.h. es gilt ein Massenerhaltungssatz. Sie unterscheidet zwar zwischen träger Masse und schwerer Masse; sie kann die numerische Gleichheit aber nicht erklären. (3) Das *Kontinuitätsprinzip*: Nach Leibniz macht die Natur keine Sprünge. Die Newtonsche Physik beschreibt den Energieerhaltungssatz im Sinne eines kontinuierlichen Prinzips, d.h. die Aufnahme und Abgabe von Energie erfolgt kontinuierlich. (4) Das *starke Kausalprinzip*: Die Newtonsche Physik beschreibt das physikalische Geschehen als Ursache-Wirkungs-Beziehung. Dabei wird das starke Kausalprinzip vorausgesetzt, demzufolge ähnliche Ursachen zu ähnlichen Wirkungen führen. (5) Die *Extrapolation*: Die Newtonsche Physik nimmt an, daß die mechanistischen Naturgesetze beliebig extrapoliert werden dürfen in mikrophysikalische wie

auch in makrophysikalische Phänomenbereiche. (6) Der *Meßprozeß*: Die Newtonsche Physik geht davon aus, daß der Erkenntnisserwerb ohne Störung des zu erkennenden Objekts möglich ist. Obwohl dies nicht explizit formuliert wird, gilt der Mensch dennoch als „Schlüsselloch-Beobachter“.

In der Folgezeit entfalten sich zwei Disziplinen, die sich bisweilen geradezu feindlich gegenüberstehen: (i) die Naturwissenschaft und (ii) die Naturphilosophie. Mit der Newtonschen Physik beginnt die Naturwissenschaft systematisch zwei Instrumente zur Erforschung der Natur aufzubauen, die zur Erschließung immer neuer Phänomenbereiche führt: (α) die experimentell-technische Entwicklungslinie, die zu T_{Wiss3} führen und (β) die mathematisch-logische Entwicklungslinie, die zu T_{Wiss4} führen. Die Naturphilosophie in der Zeit nach Kant hingegen verfolgt weiterhin Konzepte, die zwar durchaus auch befruchtende Wirkungen auf das Naturverständnis haben, die aber die neuen experimentellen und mathematischen Entwicklungen in der Physik aus prinzipiellen Gründen oder zumindest nur unzureichend berücksichtigen. Insbesondere die romantische Naturphilosophie Schellings, die eine zunehmende Entfremdung zwischen Geist und Natur beklagt, greift das mechanistische Weltbild heftig an; sie führt ihrerseits, motiviert durch den Gedanken von der Einheit aller Naturkräfte zu weitreichenden Vereinheitlichungsbestrebungen in der Naturwissenschaft. Ungeachtet der Einwände von Seiten der Naturphilosophie wird aber in der Naturwissenschaft mit T_{Wiss3} und T_{Wiss4} der systematische Aufbau der Instrumente zur Erforschung der Natur vorangebracht.

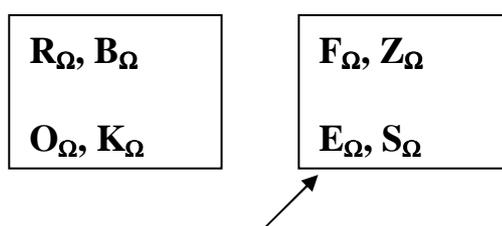


Jedes Instrument erhält eine spezifische und unverzichtbare Aufgabe im Erkenntnisprozeß: (α) Das Experiment sichert den Wirklichkeitsbezug, (β) die analytisch-arithmetische Darstellung dient der Überprüfung der Widerspruchsfreiheit, (γ) die synthetisch-geometrische Darstellung ist ein Hilfsmittel zur Veranschaulichung von Sachverhalten und (δ) die Sprache eröffnet die Möglichkeit zur Reflexion der theoretischen Grundlagen auf einer Metaebene, d.h. die Reflexion bezieht sich auf den Sachverhalt, daß Erkenntnis wesentlich von der Verfügbarkeit der speziellen Instrumente abhängt.

Indirekt-intuitive, empirisch-erweiterte Theorien $T_{\text{Wiss}3}$

Physikalische Theorien zeichnen sich nach Galilei durch eine mathematisch-experimentelle Methode aus. Damit ist zuallererst die Einsicht verbunden, daß nicht die Beobachtung, d.h. das bloße Hinsehen Auskunft gibt über die Naturphänomene, sondern das systematisch durchgeführte Experiment. Die Phänomene müssen unter besonderen Bedingungen herauspräpariert werden, um Naturgesetze überhaupt erst erkennbar zu machen. Damit eröffnet sich die Möglichkeit für eine neue Art der Erkenntnis, die insbesondere die Erweiterung der erfahrbaren Wirklichkeit einschließt. Dies führt zu indirekt-intuitiven, empirisch-erweiterten Theorien $T_{\text{Wiss}3}$, die eine Formulierung der neu erschlossenen Phänomene durch neue Begriffe und Prinzipien erzwingen, die im bisherigen Phänomenbereich nicht vorgesehen sind.

Charakterisierung. Die experimentelle Physik hat die Aufgabe, Phänomene zu erzeugen, die klassifiziert und damit zum Gegenstand der mathematischen Physik gemacht werden können. Galileis mathematisch-experimentelle Methode ist auf die Herstellung spezieller Phänomene angelegt, die (α) idealisierbar, (β) regularisierbar, (γ) reproduzierbare und (δ) auf kontrollierbare Weise variierbar sind. Komplexe Naturvorgänge werden durch die analytisch-synthetische Methode in Komponenten zerlegt, die sich systematisch untersuchen lassen. Die zuvor besprochenen charakteristischen Merkmale der indirekt-intuitiven Theorien bestehen weiterhin. Diese Theorien sind im besonderen Maße einer produkt-orientierten Leitmetapher verpflichtet. Mit dem neuen Methodenideal ist darüber hinaus eine technik-gestützte Erweiterung der erfahrbaren Wirklichkeit verbunden. Dies führt zur Erschließung neuer Phänomenbereiche und damit zu einer Überschreitung des Mesokosmos. Dabei müssen neue Begriffe und Prinzipien eingeführt werden.



experimentell-technische Erweiterung

Die indirekt-intuitiven, empirisch-erweiterten Theorien bedürfen der Veranschaulichung durch geometrisch-mechanische Modelle.

Beispiele. Von den zahlreichen neuen physikalischen Theorien, die im 19. Jahrhundert entwickelt werden, ist als besonders wichtiges Beispiel die *Elektrodynamik* zu nennen.⁶¹⁴

⁶¹⁴ Kuhn 2001

Zunächst werden die direkt beobachtbaren Phänomene zum Licht, zur Magnetostatik und Elektrostatik untersucht und erste phänomenologische Gesetze aufgestellt, wobei die einzelnen Disziplinen noch unverbunden nebeneinander stehen. Dies ist die Stufe der direkt-intuitiven Theorien. Gilbert (1544 – 1603) experimentiert mit Magneten, entdeckt ihren Dipolcharakter und legt das Fundament für die Magnetostatik. In der Optik sind das Brechungsgesetz und das Reflexionsgesetz bekannt. Für das Licht werden zwei konkurrierende Theorien vorgeschlagen, die das besonders widerspenstige Problem der verschiedenen Farben klären sollen: (α) die Teilchentheorie von Newton (1672), die die Farben mit verschiedenen Teilchensorten in Verbindung bringt und (β) die Wellentheorie von Huygens (1678), die die Farbe mit verschiedenen Frequenzen ausstattet. Coulomb (1736 – 1806) experimentiert mit elektrisch leitfähigen Stoffen, entdeckt zwei Arten von elektrischen Ladungen, erforscht die Phänomene der Anziehung, Abstoßung und Entladung, formuliert das Coulomb-Gesetz $\mathbf{F} = f \mathbf{e}_1 \mathbf{e}_2 / r^2$ in Analogie zum Gravitationsgesetz und begründet damit die Elektrostatik. Oersted (1777 – 1851) – ein Anhänger des naturphilosophischen Gedankenguts Schellings – sucht den Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus zu ergründen. Die eigentliche Erweiterung der erfahrbaren Wirklichkeit setzt ein mit den Arbeiten von Faraday (1791 – 1867) und ist mit einer Vereinheitlichung der drei zuvor noch unverbundenen Phänomenbereiche verbunden. Faraday schafft die experimentellen Grundlagen des Elektromagnetismus, der 1864 seinen mathematischen Ausdruck in den partiellen Differentialgleichungen von Maxwell (1831 – 1879) findet. Diese Gleichungen stellen den Zusammenhang her zwischen dem elektrischen Feld \mathbf{E} , dem magnetischen Feld \mathbf{B} , der Ladung ρ und dem Strom \mathbf{j} .

$$\nabla \mathbf{E} = \rho$$

$$\nabla \mathbf{B} = \mathbf{0}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} + \partial \mathbf{B} / \partial t = \mathbf{0}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} - \partial \mathbf{E} / \partial t = \mathbf{j}$$

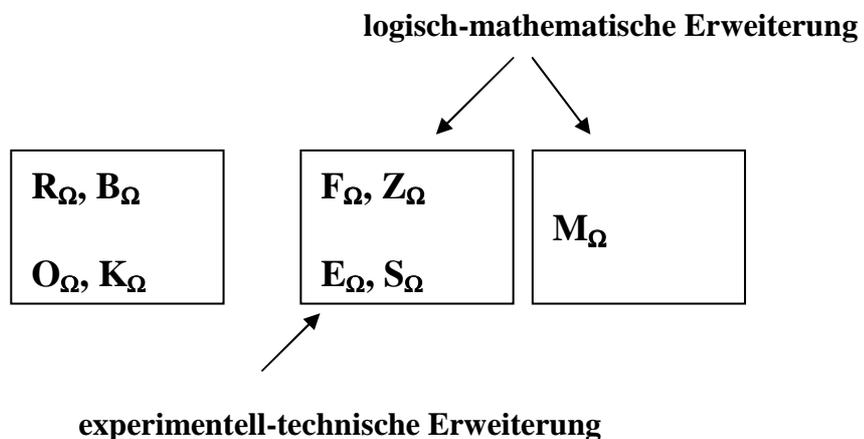
Mit dem neu erschlossenen Phänomenbereich werden neue Grundbegriffe eingeführt, die keine Analogien in der klassischen Mechanik besitzen: (α) Die elektrische Ladung kommt als positive und negative Ladung vor. Sie ist eine gequantelte Größe, die einem Erhaltungssatz genügt. (β) Es gibt nur magnetische Dipole, aber keine magnetischen Monopole, d.h. die Pole eines Magneten können nicht voneinander getrennt werden. (γ) Grundlegend ist der Begriff „elektromagnetisches Feld“. Die Einführung eines Feldkonzepts im Sinne einer eigenständigen ontologischen Entität – neben der Materie – ermöglicht es, Fernwirkungen als Nahwirkungstheorien zu formulieren. Der leere Raum, dem zuvor nur eine geometrische Bedeutung zukommt, wird jetzt als Sitz des elektromagnetischen Feldes angenommen. Zur Veranschaulichung der Feldstärke wird jedem Raumpunkt ein Vektor zugeordnet und das

Feld durch Feldlinienbilder visualisiert. Die elektrischen Feldlinien beginnen und enden an den elektrischen Ladungsträgern und die magnetischen Feldlinien bilden geschlossene Kurven. Mathematisch zeigt sich der wesentliche Unterschied zwischen Feld und Materie darin, daß die Grundgesetze für die Materie die Form von gewöhnlichen Differentialgleichungen haben, wohingegen die Grundgesetze für das Feld in partiellen Differentialgleichungen bestehen.

Indirekt-intuitive, analytisch-formalisierte Theorien T_{Wiss4}

Physikalische Theorien zeichnen sich nach Galilei durch eine mathematisch-experimentelle Methode aus. Damit ist die Einsicht verbunden, daß die Herstellung von Phänomenen die Anwendung der Mathematik auf Naturerscheinungen ermöglicht. Die folgenden wissenschaftlichen Thorienkonstruktionen sind indirekt-intuitive, analytisch-formalisierte Theorien T_{Wiss4} . Sie profitieren von der zunehmenden Entwicklung des mathematischen Instrumentariums; sie sind nur noch mit einer struktur-orientierten, rationalen Intuition erfaßbar.

Charakterisierung. Diese Theorien beruhen auf einem völlig neuen mathematischen Methodenideal, das wesentlich mit einer nicht-geometrischen Formulierung des Zahlbegriffs zusammenhängt und eine enorme Entwicklung eines prinzipiell neuartigen mathematischen Instrumentariums mit sich bringt. Dieses Instrumentarium bedient sich der analytisch-arithmetischen Darstellung. Das Charakteristikum dieser Darstellung ist die Formalisierung der Theorie durch die Verwendung eines abstrakten Zahl- und Funktionsbegriffs, sowie die Berechnungen von Differentialgleichungen. Damit eröffnet sich eine weitere Möglichkeit für eine neue Art der Erkenntnis, die weit über die erfahrbare Wirklichkeit hinausgeht, weil sie wesentlich die Abgeschlossenheit mathematischer Strukturen nutzt und den Unendlichkeitsbegriff einschließt.



Die analytische-arithmetische Darstellung weist im Unterschied zur synthetisch-geometrischen Darstellung einige sehr wertvolle Vorzüge auf: (α) die einfache Überprüfung

der Widerspruchsfreiheit, (β) die Übersichtlichkeit von Invarianzbetrachtungen durch die Formulierung manifest-kovarianter Naturgesetze, (γ) die Vereinheitlichung der Phänomene unter einem gemeinsamen Prinzip, (δ) die bessere Einsicht in implizite Annahmen und das große Potential an Verallgemeinerungsmöglichkeiten und (ϵ) die Eigenständigkeit des abstrakten Kalküls. Der Preis für die Vorteile dieser indirekt-intuitiven, analytisch-formalisierten Theorien liegt in ihrem hohen Bedarf an Veranschaulichungen und die Schwierigkeiten, die damit verbunden sind.

Beispiele. Beispiele für indirekt-intuitive, analytisch-formalisierte Theorien liefern die analytische Geometrie und die analytische Mechanik. Die Naturphilosophie vor Kant entwirft ihre Theorien weitgehend nach der synthetisch-geometrischen Darstellung. Descartes und Leibniz tragen entscheidend dazu bei, daß eine analytisch-arithmetische Darstellung aufgebaut wird. An den folgenden Beispielen zeigen sich zwei wichtige Sachverhalte: (α) Die synthetisch-geometrische Darstellung ist vorherrschend bis zum 19. Jahrhundert. (β) Danach wird sie durch die analytisch-arithmetische Darstellung abgelöst, die insbesondere für die Entwicklung der beiden fundamentalen Theorien – der Allgemeinen Relativitätstheorie und der Quantentheorie – eine richtungweisende Rolle spielt.

Ein erstes wichtiges Beispiel ist die *analytische Geometrie*. (i) Aus einer historischen Perspektive geht es zunächst um die synthetisch-geometrische Darstellung der Geometrie nach Euklid. In dieser Darstellung werden die geometrischen Beweise auf der Konstruktion von geometrischen Figuren mit Zirkel und Lineal aufgebaut. Wie Helmholtz, Poincaré und Hilbert gezeigt haben, beinhalten die Axiome der euklidischen Geometrie implizite Annahmen, die in allgemein gekrümmten Räumen ihre Gültigkeit verlieren. (ii) Eine Alternative ist die analytisch-arithmetische Darstellung der Geometrie nach Descartes. Hier werden Koordinatensysteme eingeführt und die Beweise über die Angabe von Zahlenverhältnissen geführt. Der analytische Ansatz verfügt über ein großes Potential an Verallgemeinerungsmöglichkeiten; er bereitet den Weg vor zur Formulierung nicht-euklidischer Geometrien und damit zur Allgemeinen Relativitätstheorie.

Besonders erfolgreich ist die symbolische Darstellung der *analytischen Mechanik*. Auch hier geht es um unterschiedliche Arten, nach denen sich die Mechanik darstellen läßt. (i) Newton bedient sich vorwiegend der synthetisch-geometrischen Darstellung, indem er Ableitungen aus den Axiomen über die Konstruktion von geometrischen Figuren beweist.⁶¹⁵ (ii) Als frühe analytisch-arithmetische Darstellung setzt sich mit dem neuen Infinitesimalkalkül die

⁶¹⁵ Über Newtons Werk schreibt Kuhn: „Eine besondere Schwierigkeit beim Studium der „Prinzipia“ besteht darin, daß der Erfinder der „Fluxionsrechnung“ auf den ersten Blick von dieser infinitesimalen Methode nicht in der Weise Gebrauch macht, wie man es eigentlich erwartet. Die meisten Probleme werden „more geometrico“ behandelt, weil Newton die Algebra für die „Analysis der Pfuscher“ hielt. Dementsprechend fallen beim ersten Durchblättern komplizierte geometrische Figuren und nicht Differentialquotienten und Integrale ins Auge.“ (Kuhn 2001, S. 215)

Schreibweise als gewöhnliche Differentialgleichungen 1. Ordnung: $\mathbf{F} = \mathbf{m} \, d\mathbf{v}/dt$ bzw. als gewöhnliche Differentialgleichungen 2. Ordnung: $\mathbf{F} = \mathbf{m} \, d^2\mathbf{x}/dt^2$ durch. In dieser Formulierung lassen sich die Invarianzeigenschaften besonders einfach studieren. Das Newtonsche Kraftgesetz ist invariant unter Galilei-Transformationen zwischen zwei Inertialsystemen $\mathbf{x}' = \mathbf{x} - \mathbf{u}t$ und $t' = t$, die sich mit einer konstanten Geschwindigkeit \mathbf{u} gegeneinander bewegen. (iii) Später entwickelt Lagrange (1736 – 1813) eine analytisch-arithmetische Darstellung der Mechanik, indem er generalisierte Lage- und Geschwindigkeitskoordinaten einführt und die Bewegungsgleichungen über ein Wirkungsprinzip berechnet. Die Lagrange-Funktion \mathbf{L} und die Wirkungs-Funktion \mathbf{W} sind gegeben durch

$$\mathbf{W} = \int \mathbf{L}(\mathbf{q}_i, d\mathbf{q}_i/dt) dt$$

Sie genügen dem Wirkungsprinzip

$$\delta \mathbf{W} = \delta \int \mathbf{L}(\mathbf{q}_i, d\mathbf{q}_i/dt) dt = 0$$

Dies führt auf die Lagrange-Gleichungen als Bewegungsgleichungen

$$\partial \mathbf{L} / \partial \mathbf{q}_i - d/dt [\partial \mathbf{L} / \partial (d\mathbf{q}_i/dt)] = 0$$

Die verschiedenen Anwendungsbeispiele verlangen dann nur die Spezifizierung der Lagrange-Funktion. Der Vorteil der Lagrange-Formulierung liegt also darin, daß eine vereinheitlichte Form möglich ist für die Bewegung eines Systems von Massenpunkten und eine große Klasse von äußeren Kräften, die sich aus einem verallgemeinerten Potential herleiten lassen. Darüber hinaus lassen sich auch verschiedene Arten von Nebenbedingungen auf einfache und systematische Weise berücksichtigen. Für alle mechanischen Systeme, deren Bewegungsgleichungen sich als Variationsproblem formulieren lassen, können alle Erhaltungssätze hergeleitet und die zugehörigen Erhaltungsgrößen aufgefunden werden. Insbesondere läßt sich zeigen, daß genau dann n Erhaltungsgrößen existieren, wenn die Bewegungsgleichungen invariant sind gegenüber einer n -parametrischen kontinuierlichen Gruppe von Transformationen des $3 + 1$ -dimensionalen Raum-Zeit-Kontinuums. Dieser Zusammenhang von Erhaltungssätzen und Symmetrieeigenschaften wird durch die Noether-Theorem zum Ausdruck gebracht. (iv) Der Lagrange-Formalismus findet eine wichtige Weiterentwicklung, die auf Hamilton (1805 – 1865) zurückgeht. Die Lagrange-Formulierung der Mechanik wird über eine Legendre-Transformation

$$\mathbf{p}_i = \partial \mathbf{L} / \partial (d\mathbf{q}_i/dt)$$

in eine Hamilton-Formulierung gebracht mit der Hamilton-Funktion

$$\mathbf{H} = \mathbf{p}_i \, d\mathbf{q}_i/dt - \mathbf{L}$$

und den Hamilton-Gleichungen als Bewegungsgleichungen

$$dq_i/dt = \partial H/\partial p_i$$

$$dp_i/dt = -\partial H/\partial q_i$$

(v) In der Hamilton-Formulierung können die kanonisch konjugierten Größen (Ort, Impuls) quantisiert werden. Dies führt unmittelbar zur Quantenmechanik mit den Orts- und Impulsoperatoren, die eine Kommutator-Relation erfüllen.

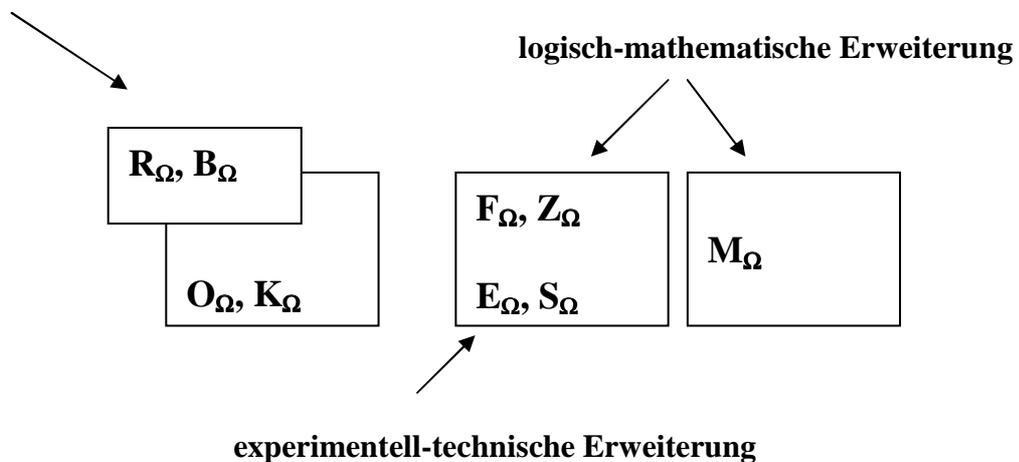
$$[q_k, p_l] = i \hbar \delta_{kl}$$

Mit der Nicht-Vertauschbarkeit der Orts- und Impulsoperatoren ist automatisch die Abhängigkeit der Orts- und Impulsmessungen von der Reihenfolge berücksichtigt.

Nicht-intuitive Raum-Zeit-Theorien T_{Wiss5}

Die weiteren wissenschaftlichen Thorienkonstruktionen führen zu nicht-intuitiven Raum-Zeit-Theorien T_{Wiss5} mit den Konsequenzen, (α) daß die vertrauten Begriffe „Raum“ und „Bewegung“ eine grundlegende Modifikation erfahren und (β) daß mit der neuen Begriffsstruktur kontra-intuitive Phänomene vorliegen. Diese Theorien lassen sich nur noch mit einer struktur-orientierten, rationalen Intuition erfassen, die mathematisch belehrt ist.

Charakterisierung. Diese Theorien beziehen sich auf Phänomene, die außerhalb des Mesokosmos liegen und die völlig neuartige Strukturen aufweisen. Diese Phänomene werden experimentell-technisch erschlossen und logisch-mathematisch formuliert. Die Begriffe und Prinzipien der bisherigen indirekt-intuitiven Theorien erscheinen prinzipiell ungeeignet für die Beschreibung dieser Phänomene.



Die an den mesokosmischen Phänomenen ausgebildeten Begriffe (Länge, Zeit, Gleichzeitigkeit, Geschwindigkeit) dürfen nur noch als Spezialfälle einer allgemeineren

Begriffsstruktur gedeutet werden. Nicht-intuitive Raum-Zeit-Theorien führen daher auf der Phänomen-Ebene zu Konsequenzen, die dem Alltagsverständnis strikt zuwiderlaufen und kontra-intuitiv erscheinen. Eine Analyse dieser Phänomene ist nur noch durch die analytisch-arithmetische Darstellung möglich. Veranschaulichungen gelingen partiell durch Analogisierungen.

Beispiele. Beispiele für nicht-intuitive Raum-Zeit-Theorien sind die *Spezielle Relativitätstheorie* und die *Allgemeine Relativitätstheorie*⁶¹⁶. Charakteristisch für diese beiden Theorien ist das Auftreten kontra-intuitiver Konsequenzen, die mit der Lichtgeschwindigkeit zusammenhängen. Der Grenzcharakter der Lichtgeschwindigkeit kommt in der mesokosmischen Welt nicht vor: zu jeder Geschwindigkeit gibt es eine größere. Der neue Sachverhalt führt zu Konsequenzen auf der Phänomen-Ebene, die nicht mehr vorstellbar sind: die gekrümmte, vier-dimensionale Raum-Zeit-Struktur, das Zwillingspaar-Paradoxon, das modifizierte Additionstheorem der Geschwindigkeiten, topologische Kuriositäten (Wurmlöcher), geschlossene zeitartige Weltlinien etc. Auf der abstrakten Struktur-Ebene der Axiomatik sind die Relativitätstheorien durchaus durch eine belehrte, struktur-orientierte, rationale Intuition einsehbar. Dies gilt insbesondere für die Spezielle Relativitätstheorie, die auf nur zwei Prinzipien aufgebaut ist: das Relativitätsprinzip und die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Die Spezielle Relativitätstheorie fordert demnach, daß die Naturgesetze für alle Inertialsysteme gleich sind. Diese einsichtige Forderung wird in der Allgemeinen Relativitätstheorie zu der Forderung verallgemeinert, daß die Naturgesetze vom Bewegungszustand des Beobachters unabhängig sein sollen. Die damit gemeinte Verallgemeinerungsvorschrift wird durch das Kovarianzprinzip⁶¹⁷ geregelt. Dabei handelt es sich keineswegs um ein physikalisches Prinzip, sondern um eine mathematische Vorschrift, derzufolge in einem speziell-relativistisch formulierten Naturgesetz alle partiellen Ableitungen durch kovariante Ableitungen zu ersetzen sind. Das Kovarianzprinzip ist als mathematische Vorschrift intuitiv einsichtig, sofern es um eine struktur-orientierte, rationale Intuition geht, die hinreichend belehrt ist über die Grundlagen der Differentialgeometrie. Auf der konkreten Phänomen-Ebene sind die Relativitätstheorien gerade deshalb nicht-intuitiv, weil sie in Konflikt geraten mit den Strukturierungsformen, die bereits auf der ersten Stufe der ontogenetischen Reifung aufgebaut werden. Die nicht-intuitiven Verhältnisse können nur noch durch Analogisierungen verdeutlicht werden: (α) Eine partielle Veranschaulichung ist durch Reduktion der Raumdimension (zwei-dimensionale Flächen, Minkowski-Diagramme) möglich. (β) Eine partielle Veranschaulichung ist durch die Beschränkung auf Teilaspekte (Penrose-Diagramme) möglich.

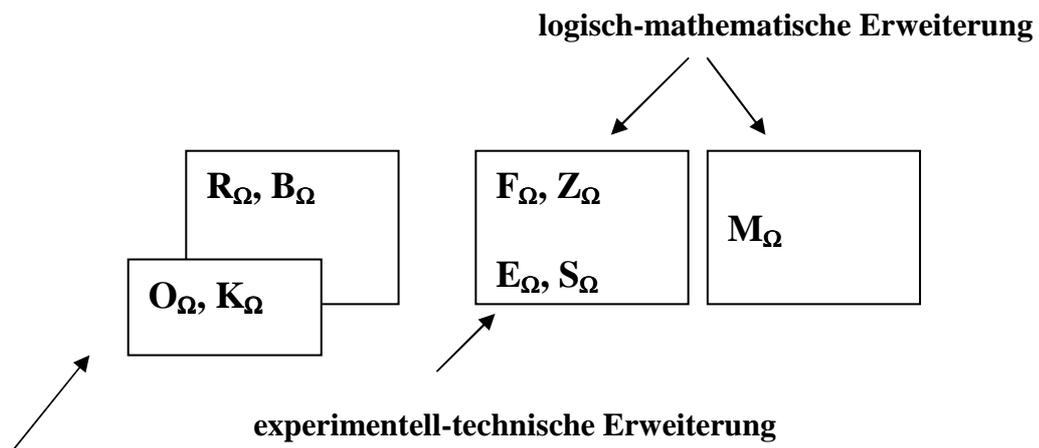
⁶¹⁶ Stephani 1977

⁶¹⁷ Eine alternative Formulierung greift auf das Äquivalenzprinzip zurück, demzufolge lokal prinzipiell nicht unterschieden werden kann zwischen der Wirkung eines Schwerfeldes und einer Beschleunigung. Dem liegt der bemerkenswerte Sachverhalt zugrunde, daß sich die Schwerkraft – im Gegensatz zur elektromagnetischen Kraft – geometrisieren läßt (vgl. Stephani 1977)

Nicht-intuitive Materie-Theorien T_{Wiss6}

Die weiteren wissenschaftlichen Thorienkonstruktionen führen zu besonders merkwürdigen nicht-intuitiven Materie-Theorien T_{Wiss6} mit den Konsequenzen, (α) daß die vertrauten Begriffe „Objekt“ und „Kausalität“ ebenfalls eine grundlegende Modifikation erfahren und (β) daß mit der neuen Begriffsstruktur kontra-intuitive Phänomene vorliegen. Diese Theorien lassen sich – wenn überhaupt – nur mit einer struktur-orientierten, rationalen Intuition erfassen, die mathematisch belehrt ist.

Charakterisierung. Diese Theorien beziehen sich auf Phänomene, die außerhalb des Mesokosmos liegen und die völlig neuartige Strukturen aufweisen. Diese Phänomene werden experimentell-technisch erschlossen und logisch-mathematisch formuliert. Die Begriffe und Prinzipien der bisherigen indirekt-intuitiven Theorien erscheinen prinzipiell ungeeignet für die Beschreibung dieser Phänomene.



Die an den mesokosmischen Phänomenen ausgebildeten Begriffe (Welle, Teilchen) dürfen nur noch als spezielle Projektionen gedeutet werden. Nicht-intuitive Materie-Theorien führen daher auf der Phänomen-Ebene zu Konsequenzen, die dem Alltagsverständnis strikt zuwiderlaufen und kontra-intuitiv erscheinen. Eine Analyse dieser Phänomene ist nur noch durch die analytisch-arithmetische Darstellung möglich. Veranschaulichungen gelingen eingeschränkt durch Metaphorisierungen.

Beispiele. Beispiel für eine nicht-intuitive Materie-Theorie ist die *Quantentheorie*.⁶¹⁸ Charakteristisch für diese Theorie ist das Auftreten kontra-intuitiver Konsequenzen, die mit dem Wirkungsquantum zusammenhängen. Der Grenzcharakter des Wirkungsquantums kommt in der mesokosmischen Welt nicht vor: die Energieübertragung ist in kontinuierlichen

⁶¹⁸ Selleri 1990

Mengen möglich. Der neue Sachverhalt führt zu Konsequenzen auf der Phänomen-Ebene, die nicht mehr vorstellbar sind: der Welle-Teilchen-Dualismus, die Orts-Impuls-Unschärfe, der Tunnel-Effekt etc. Auf der abstrakten Struktur-Ebene der Axiomatik ist die Quantentheorie durchaus durch eine belehrte, struktur-orientierte, rationale Intuition einsehbar. Auf der konkreten Phänomen-Ebene ist die Quantentheorie gerade deshalb nicht-intuitiv, weil sie in Konflikt gerät mit den Strukturierungsformen, die bereits auf der ersten Stufe der ontogenetischen Reifung aufgebaut werden. Die nicht-intuitiven Verhältnisse können bestenfalls noch durch partielle Analogisierungen und Metaphorisierungen verdeutlicht werden: (α) Eine Möglichkeit der Veranschaulichung von Phänomenen der Quantentheorie besteht in der partiellen Veranschaulichung von inkompatiblen Teilaspekten – bezogen auf eine einfachere Metaphysik. Hierzu gehört Bohrs Komplementaritätsprinzip, demzufolge für die Beschreibung der Phänomene immer die Verwendung komplementärer Begriffe, die der Sprache der klassischen Physik entnommen sind, erforderlich ist, obwohl innerhalb eines einzelnen Meßprozesses keine komplementären Eigenschaften eines Meßobjekts gemessen werden können. (β) Eine partielle Veranschaulichung ist durch „unmögliche Bilder“ (Welle-Teilchen-Dualismus) möglich. Die Quantentheorie zeigt im Rahmen ihres mathematischen Formalismus, daß mikrophysikalische Objekte inkompatible Materie-Eigenschaften aufweisen. Die Beurteilung der Inkompatibilität bezieht sich dabei auf die Strukturierungsformen der klassischen Physik. Die inkompatiblen Teilaspekte können entweder durch die „unmöglichen Bilder“ von Escher oder im Rahmen des Projektionsmodells von Vollmer gedeutet werden. (γ) Eine weitere Möglichkeit der Veranschaulichung von Phänomenen der Quantentheorie besteht in der Metaphorisierung. Die Quantenphysik ist holistisch und steht strukturell der Biologie und der Psychologie näher als der klassischen Physik, d.h. die Veranschaulichungen gelingen nur noch durch den Rückgriff auf ein disziplin-„fremdes“ Strukturierungsschema.

Nach 2500 Jahren erfolgreicher wissenschaftlicher Beschäftigung auf dem widerspenstigen Gebiet der Naturphilosophie kann der wissensdurstige Mensch von sich sagen:

„I am still confused, but on a higher level“

Zusammenfassung

Das zentrale philosophische Problem dieser Studie ist die Frage, ob die *intuitive Erkenntnis* im Erkenntnisprozeß eine Rolle spielt oder nicht und – da die Frage bejaht wird – welche Rolle dies sein kann. Seit Menschen über den Erkenntnisprozeß nachdenken, hat die intuitive Erkenntnis ein wechselvolles Schicksal erfahren.

Eine Bestandsaufnahme der bislang vorliegenden Antworten zeigt einen *doppelten Dissens*: (α) In den traditionellen Erkenntnislehren wird die Frage uneinheitlich beantwortet. Sie sprechen der intuitiven Erkenntnis zwar eine konstitutive und damit unverzichtbare Funktion im Erkenntnisprozeß zu, aber dabei bleibt strittig, wie der Begriff zu explizieren und welches Wissen intuitiv erfaßbar ist. (β) Darüber hinaus besteht eine weitere Uneinigkeit zwischen Philosophen, Wissenschaftstheoretikern, Mathematikern und Physikern. Die traditionelle Philosophie traut der intuitiven Erkenntnis die Fundierung des Wissens zu, die Analytische Wissenschaftstheorie verwirft sie als Erkenntnisart und Mathematiker und Physiker halten sie für unverzichtbar für die Theorienkonstruktion und für das Theorienverständnis, sie bleiben aber in ihren Aussagen häufig eher unbestimmt.

Was sind die *philosophischen Gründe* für diesen doppelten Dissens? Aus dem großen Spektrum von Gründen sind insbesondere drei Aspekte zu nennen:

- (i) Wenn Philosophen, Wissenschaftstheoretiker, Mathematiker und Physiker von intuitiver Erkenntnis reden, dann handelt es sich keineswegs immer um denselben Begriff; stattdessen verbergen sich ganz unterschiedliche *Begriffsvarianten* dahinter. Zum einen geht es um eine phänomen-orientierte, sinnliche Intuition der Empiristen, dann geht es um eine begriffs-orientierte, rationale Intuition der Rationalisten und schließlich wird im Anschluß an Kant von der Anschauung gesprochen. Mathematiker und Physiker meinen aber der Sache nach eine struktur-orientierte, rationale Intuition, die im Sinne einer belehrten Intuition zu verstehen ist.
- (ii) Der konstatierte Dissens bezieht sich aber nicht nur auf eine Begriffsverwirrung, sondern verweist auf ein tieferliegendes Problem. Die Analyse des Erkenntnisprozesses und – als Konsequenz – die Bestimmung des Begriffs „intuitive Erkenntnis“ ist insbesondere abhängig von der vorausliegenden *epistemologischen Grundposition*. Die traditionellen Erkenntnislehren geben auf wichtige philosophische Fragen teils unzulängliche, teils inadäquate, teils gegensätzliche, aber jedenfalls immer spekulative Antworten: (α) Sie beschränken sich auf menschliche kognitive

Systeme und sie beziehen sich dabei auf den intelligenten, erwachsenen, gebildeten Europäer. Sie übersehen relevante Fragen (neurologische, phylogenetische und ontogenetische Bedingungen des Erkenntnisprozesses). (β) Sie gehen implizit von der Prämisse aus, daß das Gehirn des Menschen primär auf den Erwerb von widerspruchsfreiem und wahren Wissen angelegt ist. Sie versuchen dann Probleme jenseits der Erkenntnismöglichkeiten zu lösen (vollkommenes Wissen, notwendige Wahrheiten, letzte Begründungen). (γ) Sie geben entgegengesetzte Antworten auf grundlegende Fragen. (Existenz / Nicht-Existenz angeborener Ideen). (δ) Sie geben nur systematische Begründungen (Kants Kategorien des Denkens aus der Urteilstafel) anstatt auch empirische Begründungen.

- (iii) Die traditionellen Erkenntnislehren sind zuallererst *Rechtfertigungstheorien*. Sie lassen sich charakterisieren durch das *Paradigma der epistemischen Autonomie* des erkennenden Subjekts. Dabei geht es um den Gedanken, daß das erkennende Subjekt a priori beurteilen kann, ob sein vermeintliches Wissen als tatsächlich gerechtfertigtes Wissen gedeutet werden kann oder nicht. Der Entstehungszusammenhang von Wissen wird dann als philosophisch irrelevant eingestuft. Alle Erkenntnislehren – empiristische, rationalistische, idealistische – nehmen immer schon Bezug auf Beobachtungsmaterial, wie es sich der alltäglichen Erfahrung entnehmen läßt um Aussagen über den Aufbau der Erkenntnis formulieren zu können. Sie müssen aber scheitern, wenn sie nur Geltungsfragen thematisieren, Fragen zur Genese und Dynamik des Wissens explizit ausklammern und stattdessen auf ein nicht-bewußtes, ungeprüftes und unreflektiertes Alltagsverständnis vom Wissenserwerb zurückgreifen. Die Frage nach dem Lernprozeß und dem Wissenserwerb ist immer auch ein Fall für den Philosophen.

Welche *Konsequenzen* könnten und sollten aus der Kritik an den traditionellen Erkenntnislehren gezogen werden? In dieser Studie wird das Ideal von der epistemischen Autonomie des erkennenden Subjekts kritisiert, für einen *Paradigmenwechsel* argumentiert und eine *empirisch gestützte Erkenntnistheorie* vorgeschlagen. Diese neue Erkenntnistheorie interpretiert das Erkenntnisproblem als ein teils empirisches, teils philosophisches Problem; sie entsteht folgerichtig aus einem konstruktiven Zusammenwirken verschiedener empirischer Disziplinen und traditionellen philosophischen Reflexionen im Sinne einer spiralförmigen Entwicklung. Das Instrumentarium zur Analyse des Erkenntnisprozesses wird auf dieser Grundlage neu entwickelt und die Frage nach der *intuitiven Erkenntnis* neu beantwortet.

Aus dem Versagen der traditionellen Erkenntnislehren ergeben sich tiefgreifende *Aufgaben* für eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie. (α) Sie bezieht zuallererst Entstehungsfragen in den Katalog epistemologisch relevanter Fragen ein und beantwortet diese auf dem Boden empirischer Disziplinen. Sie geht von der Prämisse aus, daß die empirischen Konsequenzen

einer Erkenntnistheorie den gut bestätigten Ergebnissen empirischer Disziplinen nicht widersprechen dürfen. (β) Sie zeigt, daß der Blick auf die neurologischen, phylogenetischen und ontogenetischen Bedingungen wichtige Einsichten in den Erkenntnisprozeß liefert. (γ) Sie begründet, warum die Frage nach dem vollkommenen Wissen, den notwendigen Wahrheiten und den letzten Begründungen Scheinprobleme sind und untersucht, welche Funktionen die intuitive Erkenntnis tatsächlich im Erkenntnisprozeß übernehmen kann. (δ) Sie analysiert die verschiedenen Varianten des Begriffs „intuitive Erkenntnis“ und weist nach, daß jede Begriffsvariante zwar unverzichtbar ist, aber einseitig bleibt. Insbesondere hebt sie die Bedeutung einer struktur-orientierten, rationalen Intuition und ihre Belehrung hervor.

Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie muß sich gegen zahlreiche *Kritiker* verteidigen. In dieser Studie soll es aber nicht um die Auseinandersetzung mit den verschiedenen kritischen Einwänden gehen, d.h. die Entscheidung darüber, inwiefern prinzipielle Vorbehalte gegen eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie tatsächlich berechtigt sind oder nicht, wird hier nicht diskutiert. Stattdessen wird folgende Frage gestellt und beantwortet: *Wenn eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie eine sinnvolle Option ist, (α) zu welchen neuen und ganz anderen Ergebnissen kommt sie dann, (β) wie verhält sich dies zu den Einsichten der traditionellen Erkenntnislehren und (γ) worin besteht ihre besondere Erklärungsleistung?* Diese Studie schlägt demnach einen Weg ein, der die zuvor geforderten Konsequenzen einlösen will. Die Überprüfung von Geltungsfragen wird folgerichtig als nachgeordnet eingestuft (In dieser Studie können sie nicht behandelt werden).

Im *ersten Teil* dieser Studie wird für eine *empirisch gestützte Erkenntnistheorie* im Sinne einer *constraint-Theorie* geworben und ihre Grundzüge entwickelt, d.h. es wird eine Analyse des Erkenntnisprozesses vorgeschlagen, die wichtige Einsichten empirischer Disziplinen berücksichtigt. Das Verständnis der Bedingungen für Erkenntnis wird von der Relativitätstheorie, der Quantentheorie und der Chaostheorie – bezogen auf das zu erkennende Objekt **O** – und von der Evolutionstheorie, der Entwicklungspsychologie, der Gestaltpsychologie, den empirischen Neurowissenschaften und der theoretischen Neuroinformatik – bezogen auf das erkennende Subjekt **S** – tiefgreifend revolutioniert.

Im *zweiten Teil* dieser Studie wird ein neuer *Begriff* „intuitive Erkenntnis“ vorgeschlagen und auf der Grundlage der zuvor entworfenen empirisch gestützten Erkenntnistheorie expliziert. Dabei werden wichtige Aspekte dieses Begriffs, die von den rationalistisch orientierten Erkenntnislehren erfaßt werden, mit Kants Lehre von den Formen der Anschauung aber wieder verlorengelassen, erneut integriert. Anschließend werden *Funktionen* und *Grenzen* der intuitiven Erkenntnis in den exakten Wissenschaften analysiert und ein *7-Stufen-Modell* entworfen, das den Wandel der Maßstäbe in der Wissenschaftsentwicklung für das, was als eine intuitiv-einsichtige Theorie gelten kann, nachzeichnet.

Elemente einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie

Der erste Teil der Studie entwickelt die Grundzüge einer *empirisch gestützten Erkenntnistheorie* im Sinne einer *constraint-Theorie*. Demzufolge werden diejenigen constraint-Bedingungen benannt, die den Spielraum für die Beliebigkeit der *Strukturierungsalternativen* immer weiter einschränken.

1. Grundrelation der Erkenntnis. Erkenntnis ist eine drei-gliedrige Relation: Das erkennende Subjekt **S** erkennt das zu erkennende Objekt **O** als ein strukturiertes Ganzes **A**.

S erkennt O als A

Erkenntnis entsteht durch das Zusammenspiel von objektiven und subjektiven Strukturen, d.h. die Strukturierung **A** hat eine Komponente, die auf das zu erkennende Objekt **O** zurückverweist und eine Komponente, die durch das erkennende Subjekt **S** bedingt ist und die wesentlich von der neuronalen Beschaffenheit, der phylogenetischen Entwicklung, der ontogenetischen Reifung und der kulturellen Entfaltung bestimmt ist.

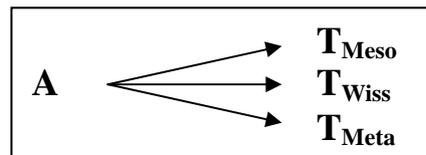
2. Erkenntnistheorie als constraint-Theorie. Erkenntnis ist immer das Ergebnis einer Strukturierung **A**, die zwar auf mehrfache Weise möglich, aber dennoch nicht völlig beliebig ist, sondern eingeschränkt wird durch *constraint-Bedingungen* (neurologische & phylogenetische & ontogenetische & kulturelle Bedingungen). Der Kerngedanke dieser Studie ist, eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie zu konzipieren, die im Sinne einer *constraint-Theorie* zu verstehen ist, wobei die Konkretisierung der constraint-Bedingungen den gut begründeten Ergebnissen verschiedener Disziplinen entstammen. Diese speziellen Disziplinen sind: (α) die Evolutionstheorie, (β) die Entwicklungspsychologie, (γ) die Gestaltpsychologie, (δ) die empirischen Neurowissenschaften und (ϵ) die theoretische Neuroinformatik. Jede dieser Disziplinen eröffnet ihre ganz spezifische Perspektive auf das Erkenntnisproblem. Es ist die genuine Aufgabe der Philosophie, alle Perspektiven zusammenzuführen, zu vernetzen und auf ihre innere Konsistenz hin zu überprüfen.

Der *methodische Vorteil* dieses Vorgehens ist offensichtlich: (α) Das Zusammenspiel verschiedener Disziplinen erhöht die Glaubwürdigkeit ihrer Aussagen, d.h. wird eine Aussage zum Erkenntnisprozeß von verschiedenen, voneinander unabhängigen Disziplinen belegt, dann kann diese als gut begründet gelten. (β) Einseitigkeiten und Lücken der jeweiligen Perspektiven, überzogene Ansprüche im Hinblick auf die Erklärungsleistung einzelner Disziplinen und unzutreffende Deutung des empirischen Befundes können durch die anderen Disziplinen korrigiert bzw. vervollständigt werden. (γ) Eine constraint-Theorie ist prinzipiell offen für alle Disziplinen, die weitere constraint-Bedingungen benennen können. Die besondere Strategie dieser Studie besteht also gerade darin, die menschliche Fähigkeit zu

Erkenntnis und *Irrtum* – als Realisierung möglicher Strukturierungsleistungen – gleichermaßen in den Blick zu nehmen und diejenigen Bedingungen zu konkretisieren, die den Spielraum für mögliche Strukturierungen einschränken. Auf diesem neu bestimmten Hintergrund verschiebt sich – im Vergleich zu den traditionellen Erkenntnislehren – die epistemologische Fragestellung grundlegend: Die adäquate philosophische Frage ist nicht mehr die Frage nach der absoluten Fundierung des Wissens, sondern die Frage nach den constraint-Bedingungen für die Beliebigkeit der Strukturierungsleistungen. Durch diesen Perspektivenwechsel in der Fragestellung wird der traditionelle „Stolperstein“ der intuitiven Erkenntnis bereits vom Ansatz her aus dem Weg geräumt.

3. Bedingungen an O und S. Die zuvor genannten Disziplinen entfalten ihre jeweiligen Theorien auf dem Hintergrund zahlreicher Postulate, die zuallererst die grundlegende **S–O**-Beziehung etablieren. Diese Postulate bilden ein spezielles epistemologisches Bezugssystem; sie sind unverzichtbar, weil ohne sie die Begriffsstruktur der Theorien keine Referenz hätten. Eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie muß diese Postulate explizit formulieren, kritisch reflektieren und festhalten, welche philosophisch möglichen Positionen mit ihrer Annahme bereits ausgeschlossen werden. Es handelt sich um folgende Postulate: (α) Das zu erkennende Objekt **O** muß existieren (Realitätspostulat) und in geeigneter Weise strukturiert sein (Strukturpostulat), damit – wie die empirischen Neurowissenschaften nachweisen – überhaupt kognitive Systeme existieren können. (β) Das erkennende Subjekt **S** existiert als Eigenpsychisches und Fremdpsychisches (Postulat des Fremdpsychischen). (γ) Das kognitive System **S** und die Wirklichkeit **O** treten in eine Interaktion. Ein großer Teil des sensorischen Input wird ausgefiltert; ein kleiner Teil wird sinnesspezifisch verarbeitet, d.h. bewertet, geordnet, strukturiert, durch gehirneigene Vorgaben ergänzt und dann als Information über die Wirklichkeit interpretiert und für ein überlebensadäquates Handeln verfügbar gehalten (Interaktionspostulat). (δ) Hinsichtlich des Menschenbildes wird – insbesondere motiviert durch die Ergebnisse der empirischen Neurowissenschaften – ein drei-stufiges Naturalismuspostulat vorausgesetzt. Diese These besagt, daß der Mensch als kognitives System ein Teil der Natur ist (ontologisches Naturalismuspostulat), als Erkenntnisgegenstand der empirischen Wissenschaften zu verstehen ist (epistemologisches Naturalismuspostulat) und mit deren empirischen Methoden erforscht werden muß und darf (methodologisches Naturalismuspostulat). (ϵ) Der Mensch konstruiert nach Maßgabe seiner jeweiligen ontogenetischen Reifung und kulturellen Entfaltung seine spezifische Wirklichkeit immer wieder neu und anders. Dabei werden die Konstruktionen gewissermaßen „in ständiger Rücksprache mit der Wirklichkeit“ aufgebaut (Konstruktionspostulat). (ζ) Die Anpassung der subjektiven Strukturen an die objektiven Strukturen der Wirklichkeit ist im Sinne einer inneren Kohärenz der subjektiven Strukturen zu verstehen – wie die Entwicklungspsychologie nachweist –, die als epistemologische Notwendigkeit (subjektive Evidenz) erfahren wird und dann vorliegt, wenn zwischen den sich ergänzenden Mechanismen der Assimilation und Akkomodation eine Äquilibration besteht (Kohärenzpostulat).

4. Klassifizierung der Strukturierungsalternativen. Der Mensch ist – im Gegensatz zum Tier – zu *Strukturierungsalternativen* befähigt und kann so mehrfache Bezüge zur Wirklichkeit herstellen. Dies manifestiert sich dann insbesondere auch in der Fähigkeit, unterschiedliche wissenschaftliche Theorienkonstruktionen zu entwerfen. Die wichtigsten Klassen von Strukturierungsalternativen sind (α) die mesokosmischen Strukturierungen T_{Meso} , (β) die wissenschaftlichen Strukturierungen T_{Wiss} und (γ) die metatheoretischen Strukturierungen T_{Meta} .



- (i) Der Mesokosmos ist derjenige Ausschnitt der Wirklichkeit, auf den der Mensch durch die phylogenetische Entwicklung, die ontogenetische Reifung und die kulturelle Standardausbildung geprägt ist. Die mesokosmische Strukturierung T_{Meso} meint dann die Alltagserfahrung. Sie ist überlebensadäquat, erwartungs- und verhaltensrelevant, phänomen-orientiert, widerspruchstolerant und einem naiven Realismus verpflichtet. Sie hat sich in der konkreten Auseinandersetzung mit der Wirklichkeit herausgebildet und ist an den Mesokosmos angepaßt. Sie beschränkt sich auf Alltagslogik und Alltagsmathematik. Sie ist nur erfolgs-orientiert d.h. sie zielt lediglich darauf ab, ein gewünschtes Ziel erfolgreich zu erreichen und sie zielt gerade nicht darauf ab, widerspruchsfreies und wahres Wissen zu erwerben. Sie bildet den Ausgangspunkt für erste wissenschaftliche Strukturierungen.
- (ii) Darüber hinaus verfügt der naturwissenschaftlich geschulte Mensch über das Wissen um einen erweiterten Wirklichkeitsbereich, der mathematisch-experimentell erschlossen ist und strukturell neuartigen Naturgesetzen genügt. Die wissenschaftliche Strukturierung T_{Wiss} bedient sich wissenschaftlicher Begriffe und Prinzipien, mathematischer Formalismen und methodischer Verfahren. Sie entwickelt eine Expertenlogik und eine Expertenmathematik. Sie ist struktur-orientiert, einer kritischen Realismus-Variante verpflichtet und sie beruft sich auf Kontrollinstanzen (Logik, Experiment, Mathematik). Sie strebt nach Widerspruchsfreiheit und Wahrheit. Sie hat zwar einen Teil der mesokosmischen Strukturierung mit den Mitteln ihrer Kontrollinstanzen kritisch geprüft und modifiziert, sie enthält dennoch „Restbestände“ der mesokosmischen Strukturierung.
- (iii) Die metatheoretische Strukturierung T_{Meta} hinterfragt den Erkenntnisprozeß, d.h. sie reflektiert die Ergebnisse der wissenschaftlichen Strukturierungen. Sie lotet den verbleibenden Spielraum für Strukturierungsalternativen aus und gewinnt ein

kritisches Verständnis dafür, daß auch eine empirisch gestützte Erkenntnistheorie immer von dem speziellen Instrumentarium abhängt, das ihr zur Verfügung steht. Die metatheoretische Strukturierung ist einem gemäßigten Konstruktivismus verpflichtet und zielt auf die Kohärenz ihrer Erkenntnisse.

Die drei Klassen von Strukturierungsalternativen unterscheiden sich insbesondere in ihrem Wirklichkeitsverständnis.

5. Erkenntnisquellen. Erkenntnis ist immer das Ergebnis einer Strukturierungsleistung. Das Strukturierungsvermögen wurzelt in drei speziellen Fähigkeiten, die dem Menschen zum Erkenntniserwerb zur Verfügung stehen: (α) Sinnlichkeit & Beweglichkeit, (β) Sprache & Reflexionsfähigkeit und (γ) Handlung & Reflexionsfähigkeit. Der Vergleich der unterschiedlichen kognitiven Systeme zeigt, daß der Unterschied zu höher entwickelten Tieren darin besteht, daß der Mensch zum einen die Fähigkeit zur Sprache und zum anderen die Fähigkeit zur Handlung erworben hat.

Die Fähigkeit zur *Handlung* ist eine fundamentale Bedingung der Möglichkeit von Erkenntnis. Die Evolutionstheorie spricht hier von einem Schlüsselereignis im Zusammenhang mit der Aufrichtung des Frühmenschen zum Zwei-Füßler und die Entwicklungspsychologie hebt nachdrücklich die Bedeutung der Handlung für ein adäquates Mathematikverständnis hervor. Von besonderem Interesse sind Handlungen als Zustandstransformationen, die bestimmten Strukturgesetzen unterliegen. Damit sind diejenigen Handlungen gemeint, die wiederholbar, generalisierbar, kombinierbar und reversibel sind. Die Strukturgesetze lassen sich mathematisch beschreiben, wobei sich gerade die Abgeschlossenheit der Strukturen als charakteristisches Merkmal erweist. Besonders wichtige Beispiele sind Gruppenstrukturen. Auf diesem Hintergrund wird einsichtig, daß die Wurzeln des mathematischen Denkens nicht allein in der Sprache und in einer statischen Anschauung zu suchen sind, sondern in den Strukturgesetzen, die den konkreten Handlungen zugrundeliegen. Als Konsequenz eröffnet dies die Möglichkeit zu einem prinzipiell neuen Mathematikverständnis – und zwar zu einem operativen Mathematikverständnis in einer analytisch-algebraischen Formulierung im Gegensatz zu einem nur figurativen Mathematikverständnis in einer synthetisch-geometrischen Formulierung. Dies ist die Grundlage für den fundamentalen Wechsel im Mathematikverständnis, der den Unterschied zwischen antiker und moderner Mathematik charakterisiert.

Für die Konzipierung einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie ergibt sich eine folgenreiche Konsequenz: Das Erkenntnisvermögen ist keineswegs auf die Sinneswahrnehmungen und eine, auf Sprache bezogene Verstandestätigkeit beschränkt, wie dies die traditionellen Erkenntnislehren behaupten. Stattdessen muß auch die Handlungsfähigkeit in den Blick genommen werden – und zwar unter zwei Aspekten: (α) Das Experiment muß in der Erkenntnistheorie einen systematischen Ort erhalten und (β) die

Mathematik muß im Sinne einer operativen Mathematik berücksichtigt werden. Mit Galilei hat zwar die experimentell-mathematische Naturwissenschaft ihren Siegeszug angetreten, aber in den neuzeitlichen Erkenntnislehren wird dies – und damit die Handlung – im Zusammenhang mit der Möglichkeit einer *neuen Art* von Erkenntnis nicht angemessen gewürdigt. Auch in Kants Transzendentalphilosophie sind diese beiden Aspekte nicht verankert. Mit seiner Dichotomie von Sinne und Verstand bewegt sich Kant noch immer im Horizont der antiken Erkenntnislehren, die nur über ein figuratives Mathematikerverständnis verfügen und eine kontemplative Naturphilosophie hervorbringen, wobei sie die Ergebnisse von Handlungen als widernatürlich, als Artefakte auffassen.

6. Einteilung des Strukturierungsvermögens. Die Entwicklungspsychologie begreift die ontogenetische Reifung des Menschen als stufenartigen Prozeß, der zwei miteinander korrelierte Seiten aufweist: den Aufbau der Intelligenz und die Konstruktion der Wirklichkeit. Sie unterscheidet drei aufeinander folgende Entwicklungsstufen: (α) die *sensomotorische Stufe*, (β) die *symbolisch-sprachliche Stufe* und (γ) die *operationale Stufe*. Gemäß den zuvor genannten Erkenntnisquellen läßt sich das Strukturierungsvermögen einteilen in eine figurative Strukturierungsleistung, die bereits während der sensomotorischen Stufe aufgebaut wird, eine repräsentative Strukturierungsleistung, die charakteristisch ist für die symbolisch-sprachliche Stufe und eine operative Strukturierungsleistung, die sich während der operationalen Stufe manifestiert. Allen Strukturierungsleistungen liegen die komplementären Mechanismen der Assimilation und Akkomodation zugrunde. *Assimilation* bedeutet, daß ein kognitives System die Wirklichkeit nach Maßgabe seiner bereits aufgebauten Konzepte und Strukturen interpretiert, d.h. die Assimilation beschreibt den Transfer eines alten Schemas in einen neuen Kontext. *Akkomodation* bedeutet, daß ein kognitives System seine Wissensbasis schrittweise erweitert nach Maßgabe neuer Erfahrungen. Spezifische Eigenschaften der Wirklichkeit, die sich mit den vorhandenen Strukturen nicht hinreichend verstehen lassen, erzwingen eine Neuorganisation des Denkens. Strukturen der Wirklichkeit werden extrahiert und führen zu einer Veränderung, indem sie strukturbildend wirken.

- (i) Die *figurative Strukturierungsleistung* läßt sich in der Formel „S strukturiert O als X“ darstellen. Sie ist eine Strukturierung der visuellen Wahrnehmung, d.h. eine Strukturierung statischer und dynamischer Phänomene im drei-dimensionalen Raum und gemäß der Prototypenbildung von Objekten und kausalen Prozessen. Sie ist an die Fähigkeit von Sinnlichkeit & Beweglichkeit gebunden. Diese Strukturierungsleistung wird in der ontogenetischen Reifung bereits während der sensomotorischen Stufe aufgebaut und auf den höheren Entwicklungsstufen durch spezifische Strukturen angereichert. Die Ergebnisse der Gestaltpsychologie zeigen, (α) daß jede visuelle Wahrnehmung immer im Sinne einer ganzheitlich strukturierten Wahrnehmung zu verstehen ist, (β) daß fehlende Informationen spekulativ ergänzt werden, um die Strukturierung sinnvoll zu machen, (γ) daß die Strukturierung nach Maßgabe zuvor

gemachter Erfahrungen vorgenommen wird, (δ) daß die Strukturierung fehleranfällig ist und daher geeigneter Kontrollinstanzen bedarf und (ϵ) daß die räumliche Strukturierung bestimmten, hierarchisch geordneten figurativen Strukturierungsgesetzen („gute Gestalt“) unterliegt.

S strukturiert O als X

- (ii) Die *repräsentative Strukturierungsleistung* läßt sich in der Formel „S bezeichnet O als Y“ darstellen. Sie verwendet Symbole und ermöglicht damit die Ablösung des Denkens von konkreten Wahrnehmungen und Handlungen. Sie erlaubt die Aufmerksamkeit auf wenige Aspekte zu fokussieren, die als besonders relevant bewertet werden bzw. von Aspekten zu abstrahieren, die als irrelevant gelten können. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, die Komplexität der Phänomene zu reduzieren und verschiedene Perspektiven einzunehmen. Sie ist an die Fähigkeit von Sprache & Handlung gebunden. Diese Strukturierungsleistung wird in der ontogenetischen Reifung ab der symbolisch-sprachlichen Stufe aufgebaut und auf den höheren Entwicklungsstufen ständig qualitativ und quantitativ erweitert.

S bezeichnet O als Y

- (iii) Die *operative Strukturierungsleistung* läßt sich in der Formel „S transformiert O von Z in Z*“ darstellen. Sie beschreibt Erkenntnisse, sofern diese sich auf die Struktur von Handlungen beziehen. Die Möglichkeit der Wiederholung, der Kombination, der Koordination und der Reversibilität (Inversion, Reziprozität) von Zustandstransformationen zeigt, daß Zustandsänderungen ebenfalls bestimmten Strukturierungsgesetzen im Sinne operativer Strukturgesetze (Gruppenstrukturen, Ordnungsstrukturen) unterliegen. Diese Strukturierungsleistung wird in der ontogenetischen Reifung hauptsächlich während der operationalen Stufe im Rahmen der kulturellen Standardausbildung aufgebaut und auf den höheren Entwicklungsstufen durch spezifische Strukturen angereichert.

S transformiert O von Z \rightarrow Z*

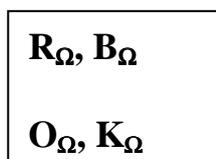
Die Entwicklungspsychologie betont die qualitativen Unterschiede zwischen den verschiedenen Entwicklungsstufen und hebt hervor, daß Wissen nicht passiv aufgenommen, sondern *aktiv konstruiert* wird. Dabei ist bemerkenswert, daß der Übergang von der konkret-

operationalen Phase, in der konkrete Handlungsstrukturen erfaßt werden, zur formal-operationalen Phase, in der die Abstraktion von den konkreten Handlungsstrukturen erfolgen soll, nur unzureichend vollzogen wird.

7. Konkretisierung & Dynamik der Strukturierungsformen. Der Mensch konstruiert seine spezifische Wirklichkeit immer wieder neu und anders. Jeder Strukturierung liegen bestimmte *Strukturierungsformen* zugrunde. Diese sind die Bedingungen der Möglichkeit von Erkenntnis, die in einer gewissen Analogie zu Kants Formen der Anschauung und Kategorien des Denkens stehen. Im Unterschied zu Kants rein systematischer Begründung werden sie weitgehend empirisch erschlossen – insbesondere auf der Grundlage der Entwicklungspsychologie und der empirischen Neurowissenschaften. Die Weiterführung der Analyse des Erkenntnisprozesses zeigt dann, (α) daß jede Strukturierung nach Maßgabe bestimmter Strukturierungsformen erfolgt, (β) daß diese Strukturierungsformen während der Phase des Architektur-Lernens (Lernprozeß der ontogenetischen Reifung) aufgebaut werden und (γ) daß die Strukturierungsformen im Zusammenhang mit dem Struktur-Lernen (Lernprozeß der kulturellen Entfaltung) der extensionalen, intensionalen und strukturellen Anreicherung unterliegen, d.h. sie sind mit dem Lernprozeß veränderbar. Damit sind sie weder allgemein und notwendig, noch wirklichkeits-konstituierend. Die Anpassung der subjektiven Strukturen an die objektiven Strukturen der Wirklichkeit ist nur noch im Sinne einer inneren Kohärenz der subjektiven Strukturen zu verstehen, die als epistemologische Notwendigkeit (subjektive Evidenz) erfahren wird und dann vorliegt, wenn zwischen den sich ergänzenden Mechanismen der Assimilation und Akkomodation eine Äquilibration besteht. Die Leistung des erkennenden Subjekts besteht also gerade nicht darin, im Erkenntnisprozeß a priori vorgegebene Strukturierungsformen einfach anzuwenden – wie Kant meint –, sondern darin, diese Strukturierungsformen selbst aufzubauen und mit dem Erkenntnisfortschritt ständig umzubauen. Der Prozeß des Erkenntniserwerbs wurzelt in den Fähigkeiten zum selbstorganisierenden Lernen des erkennenden Subjekts und das Ergebnis des Erkenntniserwerbs ist dann eine etablierte Harmonie zwischen Denken und Wirklichkeit. Die speziellen Strukturierungsformen, die in der ontogenetischen Reifung und der kulturellen Standardausbildung aufgebaut werden und zur mesokosmischen Strukturierung führen, liegen auch den wissenschaftlichen Strukturierungen zugrunde – wenngleich auch in strukturell modifizierter und erweiterter Form.

Der *figurativen Strukturierung* liegt eine non-verbale, aber erwartungs- und verhaltensrelevante Verfügung über die Strukturierungsformen „Raum R_{Ω} “, „Bewegung B_{Ω} “, „Objekt O_{Ω} “ und „Kausalität K_{Ω} “ in Abhängigkeit von der bereits erreichten Entwicklungsstufe Ω zugrunde. Im Unterschied zu Kant haben außer dem Raum auch Bewegung, Objekt und Kausalität Anschauungscharakter, die zeit aber nicht. Diese neue Sichtweise folgt aus den Ergebnissen der Entwicklungspsychologie und wird nachdrücklich durch die empirischen Neurowissenschaften als Konsequenzen der spezifischen Gehirn-

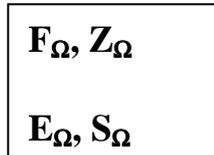
Architektur und der Kodierungs- und Verrechnungsmechanismen gestützt: (α) Die Ortswahrnehmung von Objekten wird im parietalen Kortex kodiert. Der *Raum* \mathbf{R}_Ω besitzt immer diejenigen Strukturen, die das erkennende Subjekt auf dem Hintergrund seiner bisher gemachten Erfahrungen mitdenkt (drei-dimensional, orientiert und die intrinsische Krümmung $\mathbf{K} = \mathbf{0}$). (β) Ein spezieller Teil des temporalen Kortex kodiert die Ortsveränderung eines Objekts als *Bewegung* \mathbf{B}_Ω . Ist dieses Kortex-Areal geschädigt, dann können nur noch Sequenzen von Standbildern wahrgenommen werden. (γ) Das *Objekt* \mathbf{O}_Ω und die *Kausalität* \mathbf{K}_Ω kommen als weitere Strukturierungsformen hinzu, d.h. die Konstitution eines Objekts aus Sinnesdaten und die Einbindung der Objekte in kausale Strukturen ist primär nicht-begrifflich und auch bei höheren Tieren zu finden. Die Prototypenbildung von Objekten und Prozessen wird durch die spezielle Schichtenstruktur der Neuronen (Zwischen-Schichten, Kontext-Schichten) bewerkstelligt. Für Kant sind Substanz und Kausalität begriffliche Formen, d.h. die Synthesis von Wahrnehmungen der Zeitmodis Beharrlichkeit und Folge sind an die Verfügbarkeit von Sprache gebunden; sie kommen in kategorischen und hypothetischen Urteilen zum Ausdruck. Es ist zwar richtig, daß sich nur auf der Grundlage bestimmter neuronaler Bedingungen des erkennenden Subjekts das zu erkennende Objekt konstituiert; diese Grundlage ist aber gerade nicht primär begrifflich, d.h. die Strukturierung nach Objekt und Kausalität ist nicht zwingend an Begriffe gekoppelt. (δ) Für die Kodierung des Raumes und der Bewegung werden spezielle Kortex-Areale zur Verfügung gestellt; eine explizite Kodierung der *Zeit* gibt es aber nicht. Die Bewegung \mathbf{B}_Ω tritt an die Stelle der Zeitanschauung Kants. Kant unterscheidet begrifflich nicht zwischen einer Zeit, die an die Verfügbarkeit von Gedächtnisleistungen gebunden ist und einer Zeit, die an Bewegungsphänomene gekoppelt ist. Das Gedächtnis kann Zeit nicht repräsentieren, ohne Rückgriff auf bereits wahrgenommene Veränderungen in den Phänomenen.



Die figurative Strukturierung steht immer am Anfang der Naturwissenschaft und bildet die Grundlage jeder Erkenntnis. Auf der Ebene wissenschaftlicher Theorienkonstruktion fließen erwartungs- und verhaltensrelevante Annahmen über die Wirklichkeit ein, die häufig nicht-bewußt und unausgesprochen eingehen. Demzufolge enthält die Naturbeschreibung verborgene Annahmen, die bestimmte Lösungsmöglichkeiten nahelegen und andere ausschließen.

Der *repräsentativen Strukturierung* liegt die Verfügung über vier weitere Strukturierungsformen zugrunde: die rituelle Repräsentation „exploratives Spiel \mathbf{E}_Ω “, die verbale Repräsentation „Sprache \mathbf{S}_Ω “, die geometrische Repräsentation „Figur \mathbf{F}_Ω “ und die

arithmetische Repräsentation „Zahl Z_{Ω} “ in Abhängigkeit von der bereits erreichten Entwicklungsstufe Ω . Der Kerngedanke ist: Die Erforschung des Gegenstandsbereichs wird ersetzt durch die Erforschung der verschiedenen Repräsentationen des Gegenstandsbereichs.



Die Konkretisierung dieser vier Grundformen folgt aus den Ergebnissen der Entwicklungspsychologie. Die wissenschaftlichen Strukturierungen entwickeln systematisch alle repräsentativen Strukturierungsleistungen der mesokosmischen Strukturierung weiter und verfügen damit über ein effektives Instrumentarium zur Erforschung der Natur. (α) Die *rituelle Repräsentation* E_{Ω} kommt bereits im Symbolspiel des Kindes zum Ausdruck, wenn es Spielzeug als „Stellvertreter“ einsetzt; sie wird im *Laborexperiment* der empirischen Wissenschaften fortentwickelt. Auch hier werden „Stellvertreter“ eingesetzt um Objekte, ihre Bestandteile, Eigenschaften und Strukturen zu erforschen. An die Stelle der tatsächlichen Natur-Objekte treten Labor-Objekte. Der Wissenschaftler abstrahiert von allen Unterschieden zwischen Natur-Objekten und Labor-Objekten und benutzt die ihm wesentlich erscheinenden Merkmale als Grundlage seiner Experimentiertätigkeit. (β) Die *verbale Repräsentation* S_{Ω} beginnt mit der Alltagssprache und wird zu speziellen *Fachsprachen* der Wissenschaften weiterentwickelt. Diese ermöglichen es, von der Individualität der Objekte bzw. Prozesse zu abstrahieren und spezielle Perspektiven und Intentionen zu betonen. (γ) Die *geometrischen Repräsentationen* F_{Ω} im Sinne zwei-dimensionaler Figuren (Zeichnungen) und drei-dimensionaler Figuren (Klötzchen-Bauwerke) dienen dem Kind zur Erschließung neuer Strukturen des Raumes und ermöglichen eine strukturell erweiterte Raumanschauung. In der Entstehungszeit der Naturphilosophie spielt die *synthetisch-geometrische Darstellung* eine paradigmatische Rolle, bevor sie im 19. Jahrhundert zunehmend durch die analytisch-arithmetische Darstellung verdrängt wird. Die erste Darstellungsart greift auf die statische Anschauung des Raumes zurück und ist daher verständlicher als eine analytisch-arithmetische Darstellung. (δ) Die *arithmetische Repräsentation* Z_{Ω} beginnt für das Kind mit einem elementaren, anschaulichen Zahlbegriff, wenn es lernt, kleine Quantitäten zu unterscheiden. Mit dem zunehmenden Verständnis für Invarianzen erarbeitet sich das Kind eine tiefere Einsicht in komplexere mathematische Strukturen im Sinne einer Anwendung operativer Verfahren. Diese Entwicklung ist eingebettet in die kulturelle Standardausbildung. Die *analytisch-arithmetische Darstellung* wissenschaftlicher Ergebnisse erlaubt einen besonders ergiebigen Ausbau dieses Instrumentariums, der allerdings wesentlich von der operativen Strukturierung Gebrauch macht. Experiment, Fachsprache, Geometrie und Arithmetik haben den Charakter spezieller Instrumentarien zur Erweiterung des Wissens. Die Möglichkeiten des Wissenserwerbs hängen daher entscheidend vom Ausbau und der Verfügbarkeit dieser

vier Instrumente der repräsentativen Strukturierungsleistung ab. Die Repräsentationen werden zu selbständigen Erkenntnisgegenständen und damit unabhängig von den Gegenständen ihrer Referenz. Sie sind Medien des Denkens, die einer beständigen Veränderung unterworfen sind. Mit diesem Instrumentarium können neue Wirklichkeitsbereiche erschlossen werden.

Das Ergebnis der *operativen Strukturierung* bezieht sich auf (α) die Ausführung transformierender Handlungen, (β) die Fähigkeit, von der Konkretisierung dieser Strukturen zu abstrahieren und (γ) die Einsicht in die Strukturgesetze dieser transformierenden Handlungen. Auf der Grundlage der Sprach- und Handlungsfähigkeit entstehen die ersten elementaren logischen und algorithmischen Strukturierungsansätze, wie sie bereits in der mesokosmischen Strukturierung vorliegen (Alltagslogik, Alltagsmathematik).



Die wissenschaftlichen Strukturierungen verfeinern die operativen Transformationen des Alltags, erweitern den Zahlbegriff, präzisieren und systematisieren die Begriffe der Theorie und bauen ein umfangreiches mathematisches Instrumentarium auf (Expertenlogik, Expertenmathematik). Insbesondere werden in der Wissenschaft Grenzübergänge und der Unendlichkeitsbegriff wichtig (mathematisches Kontinuum, vollständige Induktion), die nur noch durch den Rückgriff auf abstrakte Rechenregeln handhabbar sind. Die philosophische Relevanz liegt in der Möglichkeit, die Wirklichkeit durch die Anwendung einer operativ verstandenen Mathematik zu erweitern und damit eine Wirklichkeit erfahrbar zu machen, die nicht an Kants Formen der Anschauung und Kategorien des Denkens gebunden ist.

8. Erweiterung des Wissensbegriffs. Aus der bisherigen Analyse des Erkenntnisprozesses ist die grundlegende Konsequenz zu ziehen, daß sich in einer empirisch gestützten Erkenntnistheorie der Grundbegriff „Wissen“ nicht auf propositionales Wissen allein beschränkt, sondern um eine weitere epistemologisch relevante Form des Wissens erweitert werden muß. Die traditionelle Position besagt, daß nur dies als Wissen gelten kann, was in begrifflicher Formulierung zur Verfügung steht und damit explizit Gegenstand inferentieller Methoden ist. Wissen liegt aber in zweifacher Form vor: (α) Das implizite, prozedurale Wissen, das in der Fähigkeit zur Sinnlichkeit, Beweglichkeit und Handlung des erkennenden Subjekts wurzelt und erwartungs- und verhaltensrelevant ist, sowie (β) das explizite, deklarative Wissen, das auf der Fähigkeit zur Symbol-, Sprach- und Schriftbildung des erkennenden Subjekts beruht, aber immer auch in einem „Weltbild“ verankert ist.

Aus den Ergebnissen der Entwicklungspsychologie und der empirischen Neurowissenschaften ist zu lernen, daß Erkenntnis auch dann vorliegt, wenn das Wissen zwar non-verbal, aber

erwartungs- und verhaltensrelevant ist. Wissen ist in den Synapsengewichten gespeichert und dabei keinesfalls zwingend auf eine symbolisch-sprachliche Repräsentation angewiesen, sondern meint zuallererst die Kodierung nach Maßgabe der Strukturierungsformen Raum, Bewegung, Objekte und Kausalität im Sinne einer Prototypenbildung. Diese kognitiven Fähigkeiten gibt es vor und unabhängig von jeder Sprache. Der Grund liegt darin, daß die Kategorisierung nicht primär durch verbale Belehrung vermittelt, sondern zuallererst senso-motorisch an konkreten Beispielen und Präzedenzfällen erfahren wird. Es besteht die Tendenz, Erscheinungen spontan zusammenzufassen, auf die ein ähnliches Verhalten paßt. Die erwartungs- und verhaltensrelevanten senso-motorischen Erkenntnisse werden auf der Sprachebene nur teilweise rekonstruiert. Der wichtige Sachverhalt, demzufolge bei einer hinreichenden Strukturiertheit der Wirklichkeit und einer geeignet komplexen Architektur des Gehirns – völlig unabhängig von der Verfügbarkeit einer Sprache – automatisch und nicht-bewußt bereits eine Prototypenbildung erfolgt, wird bestätigt durch die Simulation kognitiver Fähigkeiten an neuronalen Netzen und durch die Untersuchungen an Aphasie-Patienten.

Darüber hinaus muß sprachlich formuliertes Wissen immer als kontextabhängiges Wissen interpretiert werden. Die Untersuchungen der theoretischen Neuroinformatik zum Problem der Wissensrepräsentation belegen, daß Wissen immer in ein „Weltbild“ eingebettet ist. Dieser Sachverhalt kann durch eine Gebirgsmetapher veranschaulicht werden. Die mentalen Zustände des Wissens, die ein kognitives System einnehmen kann, lassen sich durch eine Gebirgsgang darstellen, d.h. das gesamte Wissen entspricht den Punkten auf der Oberfläche eines Gebirges. Beziehungen zwischen verschiedenen Konzepten sind implizit gespeichert durch den gesamten Gebirgsgang. Jedes neu hinzukommende Konzept wird automatisch in das bereits bestehende Gebirge eingegliedert, d.h. der Kontext, in dem das Konzept steht, wird dabei automatisch festgehalten. Der implizite Teil der Wissensrepräsentation ist wesentlich intuitiv, d.h. nicht-bewußt und widerspruchstolerant. Inkonsistenzen müssen über diskursive Verfahren erst aufgedeckt werden.

Die Erweiterung des Wissensbegriffs ist deshalb wichtig, weil auf der Ebene der wissenschaftlichen Theorienkonstruktion ebenfalls erwartungs- und verhaltensrelevante Annahmen über die Wirklichkeit einfließen können, die keineswegs immer verbal verfügbar sind. Wird die Erweiterung des Wissensbegriffs abgelehnt, dann können die impliziten Annahmen, die als constraint-Bedingungen auch in empirischen Wissenschaften wirksam sind, nicht in den Blick genommen werden. Es sind demnach auch Wissensaspekte zu integrieren, die als teilweise nicht-bewußt bleibende metaphysische Annahmen über die Natur in wissenschaftliche Theorienkonstruktionen eingehen. Die Fruchtbarkeit dieses erweiterten Wissensbegriff besteht also gerade darin, daß es in der Retrospektive gelingt, die impliziten Anteile der intuitiven Strukturierung in den empirischen Wissenschaften durch den Verweis auf erwartungs- und verhaltensrelevantes Wissen dingfest zu machen.

Intuitive Erkenntnis

Der zweite Teil der Studie expliziert den Begriff „*intuitive Erkenntnis*“ – jedoch nicht im Sinne einer philosophischen Begriffsanalyse, sondern im Rückgriff auf die Ergebnisse der empirischen Neurowissenschaften und der theoretischen Neuroinformatik. Des weiteren werden die *Funktionen* und *Grenzen* der intuitiven Erkenntnis in den exakten Wissenschaften bestimmt und ein *7-Stufen-Modell intuitiver Theorien* entworfen.

1. Doppel-Paradigma IP & CRI. Die *theoretische Neuroinformatik* entwirft Modelle zur Simulierung menschlicher Intelligenz, deren Adäquatheit durch die Untersuchung von spezifischen Gehirnläsionen partiell überprüfbar ist. Dabei geht es um ein tieferes Verständnis der Mechanismen der *Informationskodierung* und der *Informationsverarbeitung*. Bereits an einfachen neuronalen Netzen – Hopfield-Netze, Kohonen-Netze, Rumelhart-Netze und Elman-Netze – lassen sich Grundzüge des Lernprozesses studieren und dabei klären, in welcher Weise elementare kognitive Fähigkeiten mit speziellen Netz-Architekturen zusammenhängen. Dabei kommt die theoretische Neuroinformatik zu bemerkenswerten Ergebnissen, die eine große philosophische Relevanz aufweisen: (α) Das menschliche Erkenntnisvermögen verfügt offensichtlich über zwei strukturell unterschiedliche Informationsverarbeitungssysteme (parallele & sequentielle Informationsverarbeitung), die sich näherungsweise mit dem *Doppel-Paradigma* „Intuitive Processor“ **IP** und „Conscious Rule Interpreter“ **CRI** beschreiben lassen. (β) Das klassische Paradigma der Symbolverarbeitung ist daher um eine weitere Komponente zu ergänzen, weil gerade elementare kognitive Leistungen einer Modellierung durch symbolverarbeitende Mechanismen nicht oder nur sehr schwer zugänglich sind. Hierzu gehören induktive Schlüsse, Musterklassifizierungen, Mustervervollständigungen, Assoziationen, Analogien, Abstraktionen, Generalisierungen, Bewertungen, Bedeutungszuschreibungen und Prototypenbildungen von Objekten und kausalen Prozessen. (γ) Das neue Doppel-Paradigma dreht die gewohnte Sichtweise geradezu um: Nicht die bewußten, symbolischen, algorithmischen Leistungen sind der Ausgangspunkt für Intelligenz, sondern die nicht-bewußten, assoziativen und ganzheitlichen Leistungen. Erst die höchste Ebene in der Kognition kann die bewußten, symbolischen und regel-basierten Leistungen hervorbringen. Diese müssen aber in die intuitiven, sub-symbolischen Grundmechanismen eingebettet werden. (δ) Wenn das Doppel-Paradigma **IP & CRI** näherungsweise als ein adäquates Paradigma für menschliche Intelligenz gelten kann, dann folgt daraus die epistemologisch wichtige Konsequenz, daß die intuitive Strukturierung wieder einen festen Platz in der Erkenntnistheorie einnehmen muß.

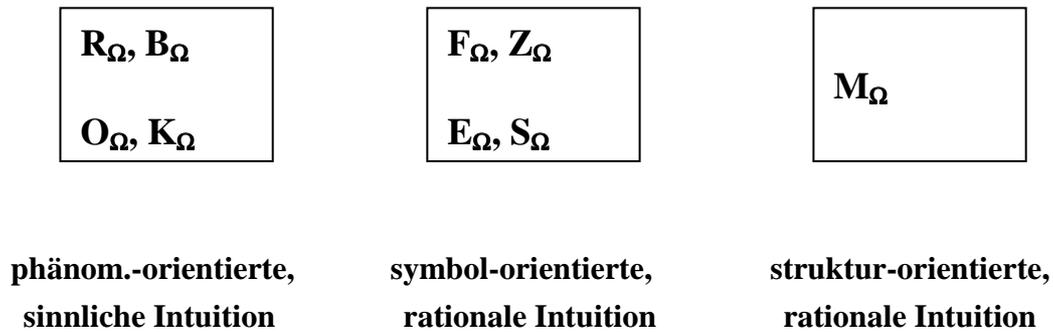
Völlig unabhängig von der theoretischen Neuroinformatik erfährt die Hypothese von den beiden unterschiedlichen Informationsverarbeitungssystemen eine wichtige Unterstützung durch die *Kognitionspsychologie* im Zusammenhang mit der „dual process theory“. Dieses

Modell legt den Gedanken nahe, (α) daß die mesokosmische Strukturierung hauptsächlich durch ein Informationsverarbeitungssystem (System 1) geleistet wird, das intuitiv, automatisch, widerspruchstolerant, vorwiegend nicht-bewußt und wissens-basiert arbeitet und (β) daß die wissenschaftliche Strukturierung sich zusätzlich eines weiteren Informationsverarbeitungssystems (System 2) bedient, das kontrolliert, bewußt, widerspruchsfrei, regel-basiert und logik-basiert arbeitet, das im hohen Maße durch Kultur und Bildung befördert wird und das im System 1 fest verwurzelt ist.

2. Intuitive Strukturierung. Die Intuition ist hauptsächlich darauf angelegt, den gesamten Erkenntnisgegenstand schlaglichtartig zu erfassen und in einen Gesamtkontext zu integrieren. Stets vorhandene Erkenntnislücken werden spekulativ geschlossen und „Weltbilder“ werden vervollständigt. Hierin liegt dann auch das *schöpferische Potential* der Intuition einerseits und ihre *Irrtumsanfälligkeit* andererseits. Daraus ist die Konsequenz zu ziehen, vorerst nur den bescheidenen Begriff „intuitive Strukturierung“ anstatt „intuitive Erkenntnis“ zu verwenden, d.h. zunächst noch keinen Wahrheitsanspruch zu erheben.

Die *Strukturmerkmale* werden hauptsächlich von der Gestaltpsychologie dingfest gemacht. Sie analysiert die figurative Strukturierung und liefert damit den Prototyp einer intuitiven Strukturierung. Darüber hinaus präzisieren die empirischen Neurowissenschaften die Strukturmerkmale, indem sie die neuronalen Mechanismen aufklären. Der Begriff „intuitive Strukturierung“ ist dann folgendermaßen zu explizieren: Die intuitive Strukturierung meint ein kognitives Vermögen, das hauptsächlich darauf angelegt ist, das zu erkennende Objekt schlaglichtartig und ganzheitlich zu erfassen und in einen als sinnvoll gedeuteten Gesamtkontext zu integrieren. Sie reduziert den sensorischen Input auf die wesentlichen Merkmale, vernetzt diese Merkmale und kodiert sie als Muster. Sie vervollständigt fehlende oder unzureichende Informationen um die Strukturierung sinnvoll zu machen. Sie stellt jede Information in ein Beziehungsgeflecht zu anderen kodierten Informationen. Dabei geht es immer um die Wesensmerkmale des zu erkennenden Objekts, die nur dann in der Vordergrund rücken, wenn das Ganze erfaßt wird. Die intuitive Strukturierung bleibt in ihrer Strukturierungsleistung wesentlich spekulativ. Die Bewertung nach ästhetischen Kriterien (schön) und axiologischen Kriterien (vollkommen) ist ihr zuzurechnen. Sie ist an Beispielen trainiert und ihr Vorgehen ist induktiv. Sie kodiert Prototypen von Objekten und Prozessen. Sie extrahiert Merkmale im sensorischen Input gemäß den Kriterien der Ähnlichkeit, Häufigkeit und Relevanz. Sie ist überwiegend nicht-bewußt, d.h. sie erfolgt automatisch. Sie benötigt nur ein geringes Maß an Aufmerksamkeits-Bewußtsein, aber insbesondere kein Reflexions-Bewußtsein. Sie verfügt über kein Zeitbewußtsein, sondern nur über ein kurzes Zeitfenster, in dem eine Information „online“ gehalten wird. Typisch für sie ist die Strukturierung im Raum und die Verarbeitung von Bildern (geometrische Figuren). Im Zusammenhang mit der Sprache kodiert sie den semantischen Aspekt im Sinne einer impliziten Wissensrepräsentation, die erwartungs- und verhaltensrelevant wirksam ist.

3. Belehrung der Intuition. Durch die intuitive Strukturierung wird das zu erkennende Objekt **O** nach Maßgabe der bereits aufgebauten *Strukturierungsformen* vom erkennenden Subjekt **S** strukturiert. Demzufolge weist die Intuition drei Komponenten auf, die sich auf die jeweiligen Strukturierungsformen beziehen.



Von großer philosophischer Relevanz ist der Aspekt der *Belehrung* der Intuition. Die Gestaltpsychologie kann in der figurativen Strukturierung eine Belehrung der phänomenorientierten, sinnlichen Intuition ausmachen – und zwar genau dann, wenn dem sensorischen Input nicht unmittelbar ein Sinn zugeordnet werden kann, weil er fragmentarisch ist und daher erst spekulativ zu einem sinnhaltigen Ganzen ergänzt werden muß. Die Entwicklungspsychologie weist für alle Strukturierungsleistungen eine Belehrung nach, die sie mit den komplementären Mechanismen der Assimilation und Akkomodation beschreibt. Diese Sichtweise wird von den empirischen Neurowissenschaften zusätzlich gestützt, indem diese den neuronalen Mechanismus aufklärt. Die Informationsverarbeitung erscheint als Kommunikation zwischen verschiedenen Kortex-Arealen und erfolgt immer in zwei Richtungen als *bottom-up-Prozeß* und als *top-down-Prozeß*. Der sensorische Input bzw. der bereits niederstufig verarbeitete Input wird an höhere Stufen zur Verarbeitung weitergeleitet. Gehirneigenes Strukturwissen höherer Stufen wird zur Strukturierung des sensorischen Input hinzugefügt; in den höheren Kortex-Arealen findet die Hypothesenbildung statt. Die als plausibel erscheinende Hypothese wird überprüft und akzeptiert oder verworfen und dann modifiziert. Am Ende des Erkennungsprozesses hat sich die plausibelste Hypothese herausgebildet und durchgesetzt (Ping-Pong-Prozeß). Die Belehrung bezieht sich auf eine phänomenorientierte, sinnliche Intuition (sensorisches Problem), eine symbolorientierte, rationale Intuition (begriffliches Problem) und eine strukturorientierte, rationale Intuition (strukturelles Problem). Sie folgt offensichtlich immer einem einheitlichen neuronalen Mechanismus.

- (i) Die *unbelehrte Intuition*: Die Frage wird intuitiv beantwortet und die vorgeschlagene Hypothese **H₁** wird überprüft. Ist die Überprüfung nicht zufriedenstellend, dann wird die Hypothese **H₁** zurückgewiesen und intuitiv eine neue Hypothese **H₂** vorgeschlagen.

- (ii) Die *Belehrung der Intuition*: Es kommt zu einem Ping-Pong-Prozeß, der solange fortgesetzt wird, bis eine Hypothese H_n gefunden wird, deren Überprüfung zufriedenstellend ausfällt. Dieser Prozeß der wiederholten Hypothesenbildung H_1, H_2, \dots, H_n ist offensichtlich ein sequentieller Prozeß; das akzeptierte Ergebnis des Prüfprozesses aber ist dann die intuitive Hypothese H_n . Der Ping-Pong-Prozeß kann in der Lernphase nicht übersprungen werden.
- (iii) Die *belehrte Intuition*: Wird die Frage zu einem etwas späteren Zeitpunkt erneut gestellt, dann wird sofort die intuitive Hypothese H_n vorgeschlagen. Bei erneuter Präsentation der Frage gelingt es also gerade nicht mehr, die Hypothese H_n nicht sofort vorzuschlagen. Der Ping-Pong-Prozeß kann in der Reproduktionsphase nicht wiederholt werden – falls der Lerninhalt nicht zwischenzeitlich vergessen wird. Auf der neuronalen Ebene manifestiert sich dieser Sachverhalt gerade dadurch, daß die Ergebnisse der Lernprozesse durch synaptische Veränderungen festgehalten werden.

Die Belehrung der rationalen Intuition unterscheidet sich in charakteristischer Weise von der Belehrung der sinnlichen Intuition. Der Übergang von einer unbelehrten zu einer belehrten sinnlichen Intuition meint hier die *Sinnstiftung* des sensorischen Input als notwendige Voraussetzung für überlebensadäquates Handeln. Diese Belehrung erfolgt automatisch und meist nicht-bewußt. Der Übergang von einer unbelehrten zu einer belehrten rationalen Intuition meint hier die Überprüfung auf *Widerspruchsfreiheit* als notwendige Voraussetzung für Begründungen. Diese Belehrung erfolgt bewußt und gemäß den komplementären Mechanismen der Assimilation und Akkomodation; sie ist nur nach entsprechender logisch-mathematischer Schulung möglich.

4. Subjektive & objektive Evidenz. Nach der Klärung der wichtigsten constraint-Bedingungen zum Wissenserwerb lassen sich Geltungsfragen stellen. Traditionell werden diese mit dem Evidenzbegriff in Verbindung gebracht. Zunächst sind drei Bedeutungen zu unterscheiden: (α) Die phänomen-orientierte, sinnliche Intuition ist mit einer *Evidenz des Augenscheins* verknüpft; (β) die symbol-orientierte, rationale Intuition ist mit einer *Evidenz des Wesentlichen* gekoppelt und (γ) die struktur-orientierte, rationale Intuition führt auf eine *Evidenz mathematischer Strukturen*. Die Evidenz des Augenscheins und die Evidenz des Wesentlichen sind subjektiv im Sinne eines persönlichen Evidenzerlebnisses zu verstehen, nur die Evidenz mathematischer Strukturen kann als relative, objektive Evidenz gelten.

Üblicherweise wird q genau dann als evidenten Wissen bezeichnet, wenn die folgenden notwendigen und hinreichenden Bedingungen erfüllt sind: (α) q ist eine sprachlich formulierte Aussage, (β) q ist wahr, (γ) das erkennende Subjekt S ist davon überzeugt, daß q wahr ist und (δ) das erkennende Subjekt S hat gute Gründe für die Überzeugung, daß q wahr ist. An die Stelle der traditionellen Bedingungen für evidenten Wissen sollen nun folgende, teilweise erweiterte und teilweise abgeschwächte Bedingungen gelten:

- (i) **A** ist das Ergebnis einer figurativen, repräsentativen oder operativen Strukturierungsleistung.
- (ii) Das erkennende Subjekt **S** hat die Strukturierung **A** als Ergebnis der Äquilibration im Sinne einer inneren Kohärenz gemäß den komplementären Mechanismen der Assimilation und Akkomodation, in Abhängigkeit von seiner individuellen Entwicklungsstufe geleistet und den verfügbaren Kontrollmechanismen (Experiment, Logik, Mathematik) unterzogen.
- (iii) Das erkennende Subjekt **S** erfährt **A** als Ergebnis der Anpassung der subjektiven Strukturen an die objektiven Strukturen der Wirklichkeit im Sinne einer epistemologischen Notwendigkeit aus Mangel an Alternativen und ist davon überzeugt, daß **A** evident ist im Sinne eines subjektiven Überzeugungsbewußtsein (subjektive Evidenz).
- (iv) Insofern das Wissen explizit – insbesondere mathematisch formuliert – ist, kann das erkennende Subjekt **S** Gründe angeben, warum **A** evident ist. Zu diesen Gründen gehört die Widerspruchsfreiheit und die begründete Einsicht, warum – mit Blick auf die allgemein akzeptierten Kontrollmechanismen – alternative Strukturierungen **A*** als nicht-adäquat ausgeschlossen werden dürfen und müssen. Dies kann dann im Sinne einer objektiven Evidenz gedeutet werden.

Eine objektive Evidenz besteht demnach genau dann, wenn es keine weiteren Kontrollmechanismen gibt, die für eine Prüfung der erreichten Evidenz zur Verfügung stehen. Aber auch in diesen Fällen ist die objektive Evidenz nicht absolut, sondern bleibt relativ, insofern nicht ausgeschlossen werden kann, daß zu einem späteren Zeitpunkt alternative Strukturierungen **A*** bzw. neue Kontrollmechanismen entwickelt werden. Die relative, objektive Evidenz sichert dann den Übergang von dem bescheideneren Begriff „intuitive Strukturierung“ zum anspruchsvolleren Begriff „intuitive Erkenntnis“. Eine absolute Fundierung des Wissens wäre an eine absolute, objektive Evidenz gekoppelt und ist daher nicht zu haben.

5. Begriffsvarianten der traditionellen Erkenntnislehren. Die Intuition hat in den traditionellen Erkenntnislehren ein wechselvolles Schicksal erfahren. Einige Aspekte sind besonders hervorzuheben. Platon und Descartes kennen mehrere Begriffsvarianten. Platon spricht zunächst von einer sinnlichen Intuition, die auf die wahrnehmbaren Phänomene gerichtet ist und den klärungsbedürftigen Sachverhalt durch eine bildliche Vorstellung vergegenwärtigt. Sie ist irrtumsanfällig, dennoch kommt ihr eine Katalysator-Funktion für den Wissenserwerb zu. Darüber hinaus hebt er die Bedeutung einer rationalen Intuition hervor, die sich auf mathematische Strukturen bezieht und die während des Lernprozesses einer Veränderung unterliegt. Der Sache nach unterscheidet er zwischen einer unbelehrten

Intuition und einer belehrten Intuition, wobei die Belehrung ausgelöst wird durch die Feststellung von Inkonsistenzen im vermeintlichen evidenten Wissen. Das Ergebnis der Konsistenzprüfung wird durch die belehrte rationale Intuition erfaßt. Auch die Intuition im cartesischen Sinne meint gerade nicht eine unbelehrte Intuition, sondern die ausführlich und sorgfältig belehrte Intuition eines mathematisch geschulten Verstandes, die keinen begründeten Zweifel mehr zuläßt. Sie entfaltet ein schöpferisches Potential und ermöglicht so, neues Wissen zu erwerben. Hier muß der klärungsbedürftige Sachverhalt in einem aufwendigen Prüfverfahren gründlich untersucht werden. Nach dem erfolgreichen Abschluß der Prüfung wird der Sachverhalt durch die rationale Intuition erfaßt und kann als evidente Erkenntnis gelten, wenn die innere Kohärenz der gedanklichen Leistung gewissenhaft festgestellt ist. Platon und Descartes erfassen damit – ungeachtet anderer, teilweise höchst problematischer Aspekte – den dynamischen Aspekt der Intuition prinzipiell zutreffend. Mit dem Niedergang der rationalistischen Philosophien und ihren überzogenen Ansprüchen einer absoluten Fundierung des Wissens gerät die Intuition zunehmend in Verruf und die Belehrung der Intuition aus dem Blickfeld. Kant lehnt den Intuitionsbegriff der Rationalisten scharf ab; für ihn gibt es nur die sinnliche Anschauung. Mit Kants Lehre von den Formen der Anschauung und den Kategorien des Denkens gehen jedoch wesentliche Aspekte der platonischen und cartesischen Intuitionsbegriffe verloren. Dabei ist zuallererst der Begriff „rationale Intuition“ selbst gemeint, darüber hinaus aber auch die Belehrung der rationalen Intuition. Die Konsequenzen manifestieren sich in Kants eingeschränktem Mathematikverständnis.

Mathematiker behandeln epistemologische Fragen aus der Perspektive eines operativen Mathematikverständnisses und sprechen der Sache nach von einer struktur-orientierten, rationalen Intuition, wobei gerade diejenigen Aspekte thematisiert werden, die bereits die Rationalisten – zumindest ansatzweise – ins Spiel bringen. Nach Poincaré werden die Grundbegriffe zuerst in der Anschauung gebildet, müssen dann aber durch mathematische Methoden schrittweise verfeinert werden. Das Ergebnis ist eine strenge Definition, die strenge Schlußfolgerungen zuläßt. Der Grund für die mangelnde Sicherheit der Anschauung liegt darin, daß diese auf den Sinnen beruht und damit „nur ein rohes Bild“ und gerade „keine genaue Idee“ liefern kann. Die Frage, wie mathematische Grundbegriffe gebildet werden können, ist dabei nicht mehr mit dem bloßen Verweis auf die geometrische Konstruktion im Sinne Kants zu beantworten. Die diesbezüglichen Untersuchungen müssen subtiler werden, weil die Anschauung auf Widersprüche führen kann. Hilbert trägt explizit den Anspruch vor, epistemologische Fragen aus mathematischer Perspektive zu behandeln. Dieser Anspruch ist deshalb bemerkenswert, weil er gerade den zentralen Gedanken zum Ausdruck bringt, daß eine erfolgreiche Erkenntnistheorie entscheidend auf einem adäquaten Mathematikverständnis beruht. (α) Die Grundbegriffe werden zunächst in der Anschauung gebildet. Sie können aber zu Widersprüchen oder Unvollständigkeiten führen und müssen dann mit mathematischen Methoden präzisiert werden. Dabei muß die Korrektur der Begriffsbildung wesentlich auf die

Instrumente einer operativ verstandenen Mathematik zurückgreifen. (β) Die Mathematik geht von bestimmten Axiomen aus, deren Wahl zunächst der Anschauung verpflichtet ist. Hier stellt sich zuallererst die Frage nach der Widerspruchsfreiheit und dann die Frage nach der Tragfähigkeit der Axiome. Ein Mangel in der Tragfähigkeit erzwingt eine „Tieferlegung der Fundamente“. (γ) Schließlich weist Hilbert darauf hin, daß mathematische Schlußfolgerungen versteckte Vorannahmen beinhalten können, die explizit gemacht, überprüft und gegebenenfalls modifiziert werden müssen. Die Konstruktionspostulate zur Sicherung der Existenz geometrischer Figuren sind nicht mehr vorgesehen; die Widerspruchsfreiheit und die Fruchtbarkeit ist ausreichend für die Existenzannahmen der Mathematik. Grundbegriffe und Axiome sind nicht mehr an die Anschauung gebunden.

6. Figuratives & operatives Mathematikverständnis. Die Physik greift auf ein umfangreiches mathematisches Instrumentarium zurück, um die Strukturen der Natur zu begreifen und zu beschreiben. Damit ist die Physik wesentlich abhängig von einem adäquaten Mathematikverständnis. Dieses Verständnis war seit den Anfängen in der Antike einem tiefgreifenden Wandel unterworfen, der im Anschluß an Descartes und Leibniz von einem *figurativen* zu einem *operativen Mathematikverständnis* geführt hat. Mit der Einführung mathematischer Symbole lassen sich abstrakte Kalküle entwickeln, die nicht mehr anschaulich sind im Sinne einer sinnlichen Intuition. Stattdessen wird der Blick auf die Strukturen gerichtet und diese werden durch eine struktur-orientierte, rationale Intuition erfaßt. Dieser wichtige Sachverhalt wird von Kant übersehen. Allerdings muß hier hervorgehoben werden, daß Descartes und Leibniz zwar eine neue Entwicklung in der Mathematik auf den Weg bringen; die Ansätze sind aber erst aus der Retrospektive als wichtige Neuerungen zu begreifen.

Der Zahlbegriff wird in der Antike im Sinne eines figurativen Zahlbegriffs aufgefaßt. Damit ist ein Zahlbegriff gemeint, der an eine anschauliche Konstruktion geknüpft ist. Mit der *ersten Grundlagenkrise der Mathematik* verliert die Arithmetik ihre Vorrangstellung und das so hoffnungsvoll begonnene und vielversprechende Programm einer universellen Arithmetik ist beendet. Eine entscheidenden Schritt unternimmt Descartes mit seinem neuen Programm einer *mathesis universalis*. Um sein Programm einzulösen, ist die Emanzipation des Zahlbegriffs von ihrer geometrischen Darstellung, die Erweiterung des Zahlbereichs und der Aufbau eines leistungsfähigen Instrumentariums erforderlich. Weitere wichtige Anstöße auf dem langen Weg von einer synthetisch-geometrischen Darstellung hin zu einer analytisch-arithmetischen Darstellung der Mathematik und damit für die Weiterentwicklung einer operativ verstandenen Mathematik kommen von Leibniz. Leibniz unterscheidet zwischen einer intuitiven Erkenntnis und einer *symbolischen Erkenntnis*. Die symbolische Erkenntnis ist eine Erkenntnis, die ein Zeichen zur Abkürzung eines komplexen Sachverhalts verwendet. Für Leibniz wird sie zum Instrument, um Wissen nicht nur darzustellen oder mitzuteilen, sondern auch um Wissen herzustellen. Der Sache nach bedeutet dies, daß nun nicht mehr der

Umgang mit den Gegenständen im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Forschung steht, sondern der Umgang mit den *Zeichen* für die Gegenstände. Angewendet auf die Mathematik meint dies: Es wird nicht mit konkreten Zahlen, sondern mit Zahlzeichen gerechnet und zwar nach Regeln, die nur Bezug nehmen auf die spezifische Struktur des Zahlzeichensystems. Eine seiner großen Leistungen ist der Begriff „Kalkül“, wobei Rechenregeln festlegen, welche Operationen auf die Formeln angewendet werden dürfen. Die Regeln des Kalküls sind deutungsinvariant, d.h. die Konstruktion des Kalküls geht seiner Interpretation voraus. Damit ist eine epistemologisch wichtige Konsequenz verknüpft: Es wird die Möglichkeit eröffnet, daß sich Kalküle verselbständigen, d.h. es können Kalküle geschaffen und ihre Strukturen studiert werden, denen keine Referenz zukommt. Damit verbindet sich ein *operatives Mathematikverständnis*, das die Abgeschlossenheit der Rechenoperationen in den Vordergrund stellt und später exemplarisch im Begriff „Gruppe“ zum Ausdruck kommt. Mit dem Gruppenbegriff wird der Aufbau eines leistungsfähigen Instrumentariums ermöglicht, das einerseits Strukturen einfacher und durchsichtiger erscheinen läßt und andererseits Ansätze zu Verallgemeinerungen und Modifikationen bietet. Auf diesem Hintergrund und mit dem neuen Mathematikverständnis kann sich als Konsequenz ein Naturverständnis erschließen, das mit den Möglichkeiten einer analytisch-algebraischen Formulierung den Zugang zu den kontra-intuitiven Strukturen der Wirklichkeit aufzeigt.

Kant hat in seiner Transzendentalphilosophie die epistemischen Konsequenzen eines operativen Mathematikverständnisses nicht reflektiert. Der Grund liegt darin, daß Kant, in der Tradition der antiken Erkenntnislehren stehend, die Fähigkeit zur Handlung nicht als erkenntnis-konstituierend interpretiert. Den Raum verknüpft Kant mit der euklidischen Geometrie und die Zeit verbindet er mit einer elementaren Arithmetik. Insbesondere aus der Verbindung von Zahl und Zeit ergeben sich wichtige Konsequenzen: (α) *Erste Konsequenz*: Kant verfügt nur über einen eingeschränkten Zahlbegriff, der zwar wichtige Aspekte richtig erfaßt, aber nicht alle, da der Zeitbegriff lediglich die Einheit, die Sukzession und die Addition enthält. Der wesentliche Aspekt der Reversibilität der Operationen kann aber gerade nicht in den Blick genommen werden, weil die Zeit nur in einer Richtung fließt (Zeitpfeil) und damit keine reversible Operationen zuläßt. (β) *Zweite Konsequenz*: Dies führt zu einem verkürzten Mathematikverständnis, das an die konkrete Konstruktion in der sinnlichen Anschauung gebunden ist, aber gerade keine Abgeschlossenheit der Operationen beinhaltet. Kant verkennt die Bedeutung der Werke zur analytischen Darstellung der Mechanik von Euler *Mechanik oder die Wissenschaft von der Bewegung analytisch dargelegt* von 1736 und von Lagrange *Analytische Mechanik* von 1788. (γ) *Dritte Konsequenz*: Das eingeschränkte Mathematikverständnis Kants hat Konsequenzen für seine Analyse des Erkenntnisprozesses. Die rationale Intuition, die wesentlich formale Strukturen erfaßt, die gerade nicht in der sinnlichen Intuition gegeben sind, wird von Kant nicht benötigt und folgerichtig abgewiesen; darüber hinaus ist dann auch keine Belehrung der rationalen Intuition vorgesehen.

7. Funktionen & Grenzen der intuitiven Erkenntnis. Der intuitiven Erkenntnis kommt eine heuristische Funktion für die Theorienkonstruktion und eine sinnstiftende Funktion für das Theorienverständnis zu. Im Rechtfertigungszusammenhang einer Theorie kann die intuitive Erkenntnis aber nur eine sehr eingeschränkte Funktion übernehmen. Dies liegt an der ganzheitlichen Strukturierung der intuitiven Erkenntnis und dem damit verbundenen wesentlich spekulativen Charakter. Die intuitive Erkenntnis übernimmt für die Theorienkonstruktion und für das Theorienverständnis folgende Funktionen: (α) Sie liefert eine plausible Begründung für die Metaphysik. (β) Sie schlägt verschiedene Leitmetaphern vor, unter denen das Naturverständnis zustandekommen kann. (γ) Sie begründet die Methodenideale, die die Erforschung und Beschreibung der Naturphänomene ermöglichen und entscheidet über die Zulässigkeit von Kontrollinstanzen. (δ) Die phänomen-orientierte, sinnliche Intuition leistet eine Veranschaulichung des abstrakten Formalismus und (ϵ) die struktur-orientierte, rationale Intuition stellt den Bezug zur Wirklichkeit her.

- (i) Die **Metaphysik**: Die Metaphysik in der Physik meint eine hypothetische Strukturierung des empirischen Gegenstandsbereichs, d.h. allgemeine Vorannahmen über die Beschaffenheit der Natur und allgemeine theorie-übergreifende Elemente zur Naturbeschreibung. Darunter sind Begriffe, Entitäten, Prinzipien und Strukturen zu verstehen, die bereits auf einer Vorstufe zur eigentlichen Theorienbildung als grundlegende Vorentscheidungen festgelegt und als evident akzeptiert werden, obwohl sie teilweise nicht-bewußt, ungeprüft und daher vorläufig sind. Zu diesen theorie-übergreifenden Elementen gehören zuallererst die Begriffe „Raum“, „Bewegung“, „Substanz“ und „Kausalität“, aber auch Einheits-, Einfachheits- und Vollkommenheitsideale. Die Intuition strukturiert den Gegenstandsbereich und stellt die Grundbegriffe, Strukturprinzipien und Vollkommenheitsideale bereit, die dann die Erforschung und Beschreibung der Naturphänomene leisten. (α) Die Naturbeschreibung beginnt mit der figurativen Strukturierung. Diese ist vereinfachend, vervollständigend, irrtumsanfällig und unterliegt bestimmten Gestaltgesetzen. (β) Die wissenschaftliche Strukturierung ist teilweise begrifflich formuliert und teilweise non-verbal, aber dennoch erwartungs- und verhaltensrelevant. Die Metaphysik umfaßt somit auch einen teilweise unartikuliert und nicht-bewußt bleibenden Teil der Annahmen der Naturbeschreibung; diese impliziten Annahmen legen aber immer bestimmte Lösungsmöglichkeiten für die Naturbeschreibung nahe und schließen andere aus. (γ) Die Intuition verschiebt sich zunehmend von einer phänomen-orientierten, sinnlichen Intuition hin zu einer struktur-orientierten, rationalen Intuition. Die intuitive Strukturierung bezieht sich dann nicht mehr auf die sinnlich wahrnehmbaren Wirkungen, sondern auf die nur rational erfaßbaren Ursachen.

- (ii) Die *Leitmetaphern*: Kern einer Metapher ist eine Analogie, d.h. eine vergleichsvermittelte Bedeutungsübertragung. Die Metapher sagt etwas, was in wörtlicher Bedeutung nur schwer gesagt werden kann; sie macht am Vergleichsgegenstand ein charakteristisches Merkmal sichtbar, das ohne sie nicht gesehen werden kann. Die Intuition extrahiert wesentliche Merkmale des Gegenstandsbereichs, formuliert diese in verschiedenen Leitmetaphern und gibt eine plausible Begründung für die Wahl dieser Leitmetaphern. Damit wird gewissermaßen eine Außen-Perspektive eröffnet, die einen ganzheitlichen Blick auf den jeweiligen Erkenntnisgegenstand erlaubt und damit dem Verständnis der Naturphänomene dient. Jede Metapher bringt aber eine Verengung des Blickwinkels mit sich, da der Blick auf die Natur durch die spezielle Wahl bestimmt wird und diese eine stark reduzierte Komplexität aufweist. (α) Als Metapher eignet sich in besonderer Weise ein vom Menschen selbst geschaffenes Produkt (produkt-orientierte Leitmetapher). Diese Metapher stammt dann aus einem vertrauten und bekannten Bereich und ist in diesem Fall durch eine bestimmte Ansammlung von gut verstandenen Merkmalen charakterisiert. Die Konkretisierung einer produkt-orientierten Metapher ist abhängig vom experimentell-technischen Stand. (β) Als besonders fruchtbar erweist sich die Auffassung von der mathematischen Struktur der Natur. Die Mathematik ist also gewissermaßen die „Muttersprache“ der Natur (chiffre-orientierte Leitmetapher). Die Konkretisierung einer chiffre-orientierten Leitmetapher ist abhängig vom logisch-mathematischen Stand.
- (iii) Die *Methodenideale & Kontrollinstanzen*: Die Methode ist ein planmäßiges, systematisches und sukzessives Vorgehen zur Erweiterung des Wissens (Theorienkonstruktion), zur Begründung des Wissens (Theorienrechtfertigung) und zur Darstellung des Wissens (Theorienverständnis). Die Intuition etabliert einen systematischen Weg zum Erkenntniserwerb und formuliert dies in verschiedenen Methodenidealen. Darüber hinaus gibt sie eine plausible Begründung für ihre Wahl und die Zulässigkeit bzw. den Ausschluß von Kontrollinstanzen. Die Wissenschaft schafft sich ihr Methodeninventar in Abhängigkeit von ihrem jeweiligen Wissensstand selbst. (α) Das Naturverständnis der mathematischen Methode setzt die metaphysische Annahme voraus, daß das Naturgeschehen ein durchgängig nach mathematischen Prinzipien konstruiertes Ordnungssystem ist. Die Natur wird ausschließlich unter einer chiffre-orientierten Leitmetapher „alles ist Zahl“ begriffen. (β) Das Naturverständnis der analytisch-synthetischen Methode beruht auf der metaphysischen Annahme, daß das Naturgeschehen in einzelne Bestandteile zerlegt und wieder zusammengesetzt werden darf, ohne daß dabei wesentliche Grundzüge der Natur verloren gehen. Demzufolge ist das Ganze nichts anderes als die Summe seiner Teile. Die Natur wird unter der produkt-orientierten Leitmetapher einer Maschine begriffen, die gemäß einer chiffre-orientierten Leitmetapher mit dem Instrumentarium der Mathematik

verstanden werden kann. Die zulässigen Kontrollinstanzen für die Beobachtung sind Logik, Experiment und Mathematik.

- (iv) Die **Anschaulichkeit**: Alle wissenschaftlichen Theorien bedürfen einer Deutung ihrer Begriffe und Strukturen, die ein anschauliches Verständnis dessen ermöglichen soll, was der Formalismus besagt. Die Strukturierung des zu erkennenden Objekts O wird immer gemäß den Strukturierungsformen vorgenommen, die das erkennende Subjekt S bereits erarbeitet hat. Der Begriff „Anschaulichkeit“ einer Theorie ist abhängig vom jeweiligen erkennenden Subjekt S , d.h. vom Stand seiner belehrten Intuition. Eine Theorie ist für ein Mitglied S_{Wiss} der scientific community genau dann intuitiv-einsichtig, wenn die Strukturierung gemäß derjenigen Strukturierungsformen vorgenommen werden kann, die von der scientific community bereits aufgebaut und verstanden sind. Die intuitive Einsichtigkeit wird sich dabei immer weniger auf eine phänomen-orientierte, sinnliche Intuition beziehen. Stattdessen wird sie sich zugunsten einer struktur-orientierten, rationalen Intuition verschieben und damit auf die intuitive Einsichtigkeit von Definitionen, Axiomen und Prinzipien abzielen. Eine Theorie kann für ein S_{Meso} , das nur über eine mesokosmische Strukturierungsleistung verfügt, unterschiedliche Grade der Anschaulichkeit aufweisen und ist in einem unterschiedlichen Maße der Veranschaulichung fähig: (α) direkt-intuitive Theorien (Veranschaulichung: nicht nötig), (β) indirekt-intuitive Theorien (Veranschaulichung: nötig und möglich) und (γ) nicht-intuitive Theorien (Veranschaulichung: nötig, aber nur partiell möglich).

Es müssen Darstellungsmittel gefunden werden, die es ermöglichen, die verloren gegangene Anschaulichkeit zumindest partiell zurückzugewinnen.

8. Das 7-Stufen-Modell intuitiver Theorien. Abschließend wird ein *7-Stufen-Modell* vorgeschlagen, das verschiedene Grade intuitiv einsichtiger Theorien unterscheidet. In der historischen Abfolge der physikalischen Theorienkonstruktionen läßt sich eine Theorienfolge aufzeigen, die einen absteigenden Grad an Anschaulichkeit aufweist und in detail angeben, wo genau und wodurch die Anschaulichkeit verloren geht. Die Theorien werden eingeteilt in (i) mesokosmische Strukturierungen T_{Meso} , (ii) direkt-intuitive Theorien T_{Wiss1} , (iii) indirekt-intuitive Theorien T_{Wiss2} , (iv) indirekt-intuitive, empirisch-erweiterte Theorien T_{Wiss3} , (v) indirekt-intuitive, analytisch-formalisierte Theorien T_{Wiss4} , (vi) nicht-intuitive Raum-Zeit-Theorien T_{Wiss5} und (vii) nicht-intuitive Materie-Theorien T_{Wiss6} .

Die Änderung der Maßstäbe meint im Kern (α) den Übergang von den Strukturierungsformen der mesokosmischen Strukturierung mit ihren intuitiven, qualitativen Beschreibungen der Naturphänomene zu immer neuen modifizierten Strukturierungsformen mit ihren quantitativen Naturgesetzen einer idealisierten Natur, (β) verbunden mit einer Verschiebung von einer unbelehrten Intuition auf der mesokosmischen Phänomen-Ebene hin

zu einer belehrten Intuition auf einer abstrakten, mathematisch formalisierten Struktur-Ebene, die sich (γ) auf eine technisch veränderte Wirklichkeit bezieht. Die Unterschiede manifestieren sich hauptsächlich in der Formulierung der Metaphysik und Leitmetaphern, den Methodenidealen und Kontrollinstanzen, sowie der Art der Veranschaulichung und dem Wirklichkeitsbezug.

- (i) Die vorwissenschaftlichen Auseinandersetzungen mit den Naturphänomenen sind charakterisiert durch mesokosmische Strukturierungen T_{Meso} . Diese bedienen sich ausschließlich einer phänomen-orientierten, sinnlichen Intuition und wurzeln in einer mythischen Sicht von der Welt und der Stellung des Menschen in dieser Welt. Die mesokosmische Strukturierung ist vorwiegend nicht-bewußt und unreflektiert; sie ist nicht primär auf Wissenserwerb, sondern auf überlebensadäquates Handeln angelegt und sie manifestiert sich daher zuallererst auf der senso-motorischen Ebene in erwartungs- und verhaltensrelevanter Form.
- (ii) Die ersten wissenschaftlichen Thorienkonstruktionen bleiben direkt-intuitive Theorien T_{Wiss1} , die weiterhin auf eine phänomen-orientierte, sinnliche Intuition zurückgreifen. Direkt-intuitive Theorien sind bewußt und reflektiert, sie stützen sich auf ein umfangreiches Beobachtungsmaterial, sie sind auf Wissenserwerb und nicht mehr nur auf überlebensadäquates Handeln angelegt und sie manifestieren sich vorwiegend auf der sprachlichen Ebene. Es wird eine eigenständige Fachsprache entwickelt, die es ermöglicht, die Naturphänomene in ein Gesamtsystem einzugliedern. Wichtigstes Beispiel für eine direkt-intuitive Theorie ist die aristotelische Naturphilosophie.
- (iii) Die folgenden wissenschaftlichen Thorienkonstruktionen verschieben sich immer mehr zu indirekt-intuitiven Theorien T_{Wiss2} mit den Konsequenzen, (α) daß zunehmend auf eine struktur-orientierte, rationale Intuition zurückgegriffen werden muß, die eine Belehrung einschließt und (β) daß ein immer höherer Bedarf an Veranschaulichungen entsteht. Diese Veranschaulichungen werden durch geometrische bzw. geometrisch-mechanische Darstellungen geleistet. Die Natur wird als durchgängig nach mathematischen Prinzipien konstruiertes Ordnungssystem begriffen, dennoch bleiben die Naturbeschreibungen noch immer unmittelbar mit dem jeweiligen Verständnis göttlicher Vollkommenheit verknüpft. Um die Beliebigkeit der Modifikationsmöglichkeiten aber zu minimieren, werden metaphysische Annahmen über die Natur angestellt, deren Gültigkeit durch den Verweis auf eine struktur-orientierte, rationale Intuition begründet wird. Beispiele für indirekt-intuitive Theorien liefern die Abfolge der kosmologischen Modelle von der Antike bis Newton.

In der Folgezeit beginnt die Naturwissenschaft systematisch zwei weitere Instrumente zur Erforschung der Natur aufzubauen, die zur Erschließung immer neuer Phänomenbereiche führt: (α) die experimentell-technische Entwicklungslinie, die zu T_{Wiss3} führen und (β) die

mathematisch-logische Entwicklungslinie, die zu $\mathbf{T}_{\text{Wiss4}}$ führen. Damit verbunden ist die Etablierung von Kontrollinstanzen (Logik, Experiment, Mathematik).

- (iv) Die Phänomene müssen unter besonderen Bedingungen herauspräpariert werden, um Naturgesetze überhaupt erst erkennbar zu machen. Damit eröffnet sich die Möglichkeit für eine neue Art der Erkenntnis, die insbesondere die Erweiterung der erfahrbaren Wirklichkeit einschließt. Dies führt zu indirekt-intuitiven, empirisch-erweiterten Theorien $\mathbf{T}_{\text{Wiss3}}$, die eine Formulierung der neu erschlossenen Phänomene durch neue Begriffe und Prinzipien erzwingen, die im bisherigen Phänomenbereich nicht vorgesehen sind. Besonders wichtiges Beispiel ist die Elektrodynamik. Diese Theorien sind im besonderen Maße einer produkt-orientierten Leitmetapher verpflichtet. Mit dem neuen Methodenideal ist darüber hinaus eine technik-gestützte Erweiterung der erfahrbaren Wirklichkeit verbunden. Dies führt zur Erschließung neuer Phänomenbereiche und damit zu einer Überschreitung des Mesokosmos.
- (v) Die folgenden wissenschaftlichen Thorienkonstruktionen sind indirekt-intuitive, analytisch-formalisierte Theorien $\mathbf{T}_{\text{Wiss4}}$. Sie profitieren von der zunehmenden Entwicklung des mathematischen Instrumentariums; sie sind nur noch mit einer struktur-orientierten, rationalen Intuition erfaßbar. Die analytische-arithmetische Darstellung weist einige sehr wertvolle Vorzüge auf: (α) die einfache Überprüfung der Widerspruchsfreiheit, (β) die Übersichtlichkeit von Invarianzbetrachtungen durch die Formulierung manifest-kovarianter Naturgesetze, (γ) die Vereinheitlichung der Phänomene unter einem gemeinsamen Prinzip, (δ) die bessere Einsicht in implizite Annahmen und das große Potential an Verallgemeinerungsmöglichkeiten und (ϵ) die Eigenständigkeit des abstrakten Kalküls. Der Preis für die Vorteile dieser indirekt-intuitiven, analytisch-formalisierten Theorien liegt in ihrem hohen Bedarf an Veranschaulichungen und die Schwierigkeiten, die damit verbunden sind. Beispiele für indirekt-intuitive, analytisch-formalisierte Theorien liefern die analytische Geometrie und die analytische Mechanik.
- (vi) Die weiteren wissenschaftlichen Thorienkonstruktionen führen zu nicht-intuitiven Raum-Zeit-Theorien $\mathbf{T}_{\text{Wiss5}}$ bzw. zu nicht-intuitiven Materie-Theorien $\mathbf{T}_{\text{Wiss6}}$ mit den Konsequenzen, (α) daß die vertrauten Begriffe „Raum“, „Bewegung“, „Objekt“ und „Kausalität“ eine grundlegende Modifikation erfahren und (β) daß mit der neuen Begriffsstruktur kontra-intuitive Phänomene vorliegen. Diese Theorien lassen sich nur noch mit einer struktur-orientierten, rationalen Intuition erfassen, die mathematisch belehrt ist. Beispiel für nicht-intuitive Raum-Zeit-Theorien ist die Relativitätstheorie; Beispiel für nicht-intuitive Materie-Theorien ist die Quantentheorie. Charakteristisch ist das Auftreten kontra-intuitiver Konsequenzen, die mit der Lichtgeschwindigkeit und dem Wirkungsquantum zusammenhängen.

Auf der abstrakten Struktur-Ebene der Axiomatik sind die Relativitätstheorie und die Quantentheorie durchaus durch eine belehrte, struktur-orientierte, rationale Intuition einsehbar. Auf der konkreten Phänomen-Ebene sind die Relativitätstheorie und die Quantentheorie gerade deshalb nicht-intuitiv, weil sie in Konflikt geraten mit den Strukturierungsformen, die bereits auf der ersten Stufe der ontogenetischen Reifung aufgebaut werden. Die ersten Schritte dieses langen Weges sind weitgehend einer *phänomen-orientierten, sinnlichen Intuition* verpflichtet; im weiteren Verlauf wird eine *struktur-orientierte, rationale Intuition* zunehmend wichtiger und unverzichtbar.

Literaturverzeichnis

Ackley D.H. / Hinton G.E. / Sejnowski T.J. (1985); A Learning Algorithm for Boltzmann Machines; Cognitive Science 9, S. 147 – 169

Anderson J.A. / Rosenfeld E. (Hrsg.) (1988); Neurocomputing. Foundations of Research; Cambridge Massachusets: MIT Press

Anderson J.R. (1988); Kognitive Psychologie. Eine Einführung; Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft

Aristoteles; Organon I – IV; Aristoteles Werke 1, Hamburg: Meiner (1995)

Aristoteles; Organon V, VI; Aristoteles Werke 2, Hamburg: Meiner (1995)

Aristoteles; Metaphysik; Aristoteles Werke 5, Hamburg: Meiner (1995)

Aristoteles; Physik; Aristoteles Werke 6, Hamburg: Meiner (1995)

Aristoteles; Über den Himmel; Aristoteles. Die Lehrschriften; Paderborn: Schöningh (1958)

Ayer A. (1956); The Problem of Knowledge; London: Macmillan

Baumann P. (2002); Erkenntnistheorie; Stuttgart: Metzler

Baumgartner H.M. (1984); Die innere Unmöglichkeit einer evolutionären Erklärung der menschlichen Vernunft; in: Spaemann R. / Koslowski P. / Löw R. (1984)

Becker O. (1975); Grundlagen der Mathematik in geschichtlicher Entwicklung; Frankfurt: Suhrkamp

Beckermann A. (1994); Der Computer – ein Modell des Geistes? in: Krämer S. (1994)

Beckermann A. (2001); Analytische Einführung in die Philosophie des Geistes; Berlin: de Gruyter

Berkeley G. (1710); Eine Abhandlung über die Prinzipien der menschlichen Erkenntnis; Hamburg: Meiner, 1979

Bieri P. (1987); Evolution, Erkenntnis und Kognition. Zweifel an der evolutionären Erkenntnistheorie; in: Lütterfels (1987)

Bijelke J.F. (1972); Das Problem der Intuition im Rationalismus und Empirismus; Zeitschrift philos. Forschung 26, S. 546 – 562, 1972

Bliss T. (2000); in: Rose St. (Hrsg.) (2000)

Blume Th (2001); Wahrnehmung und Geist. Über die Einheit von Alltag und Naturwissenschaften; Paderborn: Mentis

Boden M. (Hrsg.) (1990); The Philosophy of Artificial Intelligence; Oxford: University Press

Brandt R. (1998); Transzendente Ästhetik; in: Mohr G. / Willaschek M. (1998)

Brause R. (1991); Neuronale Netze; Stuttgart: Teubner

Brittan G.G. (1992); Algebra and Intuition; in: Posy C.J. (1992)

Bruner J. (1987); Wie das Kind sprechen lernt; Bern: Huber

Callebaut W. / Pinxten R. (1987); Evolutionary Epistemology. A Multiparadigm Program; Dordrecht: Reidel

Capek M (1987); The Philosophical Significance of Piaget's Researches on the Genesis of the Concept of Time; in: Shimony A. / Nails D. (1987)

Carey S. (1985); Conceptual Change in Childhood; Cambridge Massachusetts: MIT Press

Carnap R. (1928); Der logische Aufbau der Welt; Hamburg: Meiner

Carruthers P. (2002); The roots of scientific reasoning: infancy, modularity and the art of tracking; in: Carruthers P. / Stich St. / Siegal M. (2002)

Carruthers P. / Stich St. / Siegal M. (2002); The cognitive basis of science; Cambridge UK: University Press

Carruthers P. / Stich St. / Siegal M. (2002); Introduction: what makes science possible? in: Carruthers P. / Stich St. / Siegal M. (2002)

Carson E. (1997); Kant on Intuition in Geometry; Canadian Jour. Of Philosophy 27, 489 – 512

Carson E. / Huber R. (2004) (Hrsg.); Intuition and the Axiomatic Method; Dordrecht: Kluwer 2004 (wird veröffentlicht)

- Case R. (1999); Die geistige Entwicklung des Menschen; Heidelberg: Winter
- Chisholm R.M. (1957); Perceiving: A Philosophical Study; New York: Cornell University Press
- Chomsky N. (1977); Reflexionen über die Sprache; Frankfurt: Suhrkamp
- Churchland P.M. (2001); Die Seelenmaschine. Eine philosophische Reise ins Gehirn; Heidelberg: Spektrum
- Churchland P.S. / Sejnowski T.J. (1993); The Computational Brain; Cambridge Massachusets: MIT Press
- Craig E. (1979); David Hume. Eine Einführung in seine Philosophie; Frankfurt: Klostermann 1979
- Crick F.H.C. (1992); Gedanken über das Gehirn; in: Gehirn und Kognition (1992)
- Danzig T. (1954); Number: The language of science; New York: Free Press
- Delius J.D. (1992), Komplexe Wahrnehmungsleistungen bei Tauben; in: Spektrum der Wissenschaft
- Deneke F.W. (1999); Psychische Struktur und Gehirn. Die Gestaltung subjektiver Wirklichkeiten; Stuttgart: Schattauer
- Dennett D. (1984); Cognitive Wheels: The Frame Problem of AI; in: Boden (1990)
- Descartes R. (1628); Regeln zur Ausrichtung der Erkenntniskraft; Hamburg: Meiner (1979)
- Descartes R. (1637a); Von der Methode des richtigen Vernunftgebrauchs und der wissenschaftlichen Forschung; Hamburg: Meiner (1997)
- Descartes R. (1637b); Geometrie; Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft, 1969
- Descartes R. (1641); Meditationen über die Grundlagen der Philosophie; Hamburg: Meiner (1993)
- Descartes R. (1644); Die Prinzipien der Philosophie; Hamburg: Meiner (1992)
- Descartes R. (1701); La recherche de la vérité par la lumière naturelle; Würzburg: Königshausen & Neumann (1989)
- Devlin K (1990); Sternstunden der modernen Mathematik; Basel: Birkhäuser

Dörner D. (1989); Logik des Mißlingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen; Reinbek: Rowohlt

Dorffner G. (1991); Konnektionismus. Von neuronalen Netzwerken zu einer „natürlichen“ KI; Stuttgart: Teubner

Düring I. (1966); Aristoteles. Darstellung und Interpretation eines Denkens; Heidelberg: Winter

Eckes Th. (1991); Psychologie der Begriffe. Strukturen des Wissens und Prozesse der Kategorisierung; Göttingen: Hogrefe

Eibl-Eibesfeld I. (1984); Die Biologie des menschlichen Verhaltens. Grundriß der Humanethologie; München: Piper

Einstein A. (1940); Das Fundament der Physik; in: Einstein A. (1979)

Einstein A. (1979); Aus meinen späten Jahren; Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt

Ekschmitt W. (1989); Weltmodelle. Griechische Weltbilder von Thales bis Ptolemäus; Mainz: Philipp von Zabern (1989)

Elman J. / Bates E. / Karmiloff-Smith A. / Parisi D. / Johnson M. / Plunkett K. (1997); Rethinking innateness; Cambridge Massachusetts: MIT Press

Elsner N. / Lüer G. (2001); Das Gehirn und sein Geist; Göttingen: Wallstein

Ende H. (1973); Der Konstruktionsbegriff im Umkreis des Deutschen Idealismus; Meisenheim: Hain

Engel A.K. / Singer W. (1997); Neuronale Grundlagen der Gestaltwahrnehmung; Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft

Engels E.M. (1989); Erkenntnis als Anpassung?; Frankfurt: Suhrkamp

Euklid; Die Elemente; Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft (1969)

Evans J. / Over D (1996); Rationality and Reasoning; Psychology Press

Evans J. (2002); The influence of prior belief on scientific thinking; in: Carruthers P. / Stich St. / Siegal M. (2002)

Falkenburg B. (2000); Kants Kosmologie. Die wissenschaftliche Revolution der Naturphilosophie im 18. Jahrhundert; Frankfurt: Klostermann

Falkenburg B. (2004); Functions of Intuition in Quantum Physics; in: Carson E. / Huber R. (2004)

Faucher L. et al. (2002); The baby in the lab-coat: why child development is not an adequate model for understanding the development of science; in: Carruthers P. / Stich St. / Siegal M. (2002)

Fetz R.L. (1988); Struktur und Genese. Jean Piagets Transformation der Philosophie; Bern: Haupt

Folina J. (1994); Logic and Intuition in Poincaré's Philosophy of Mathematics; in: Greffe J.L. / Heinzmann G. / Lorenz K. (1994)

Frey G. (1980); Möglichkeit und Bedeutung einer Evolutionären Erkenntnistheorie; Zeitschrift für Philosophische Forschung 34

Friedman M. (1999); Geometry, Construction, and Intuition in Kant and his Successors; in: Sher G. / Tieszen R. (2000)

Furth G.H. (1972); Intelligenz und Erkennen. Die Grundlagen der genetischen Erkenntnistheorie Piagets; Frankfurt: Suhrkamp

Furth G.H. (1978); Denken ohne Sprache. Rückschau und Ausblick auf die Forschung mit Gehörlosen; in: Steiner G. (1978)

Fuster J.M. (1995); Memory in the Cerebral Cortex; Cambridge Massachusetts: MIT Press

Gauss C.F. (1831); Theorie der biquadratischen Reste; in: Becker O. (1975)

Genz H. (2002); Wie die Naturgesetze Wirklichkeit schaffen. Über Physik und Realität; München: Hanser

Gettier E. (1963); Is justified true belief knowledge?; Analysis 23; S. 121 – 123

Gopnik A. / Meltzoff A. (1997); Words, Thoughts and Theories; Cambridge Massachusetts: MIT Press

Greffe J.L. / Heinzmann G. / Lorenz K. (1994); Henri Poincaré. Science et philosophie / Science and Philosophy / Wissenschaft und Philosophie; Berlin: Akademie

Gregory R.L. (1966); Auge und Gehirn. Zur Psychologie des Sehens; München: Kindlers Universitäts Bibliothek

Grossberg S. (1987); Competitive Learning: From Interactive Activation to Adaptive Resonance; Cognitive Science 11, S. 23 – 64

Grundmann Th. (Hrsg.) (2001); Erkenntnistheorie. Positionen zwischen Tradition und Gegenwart; Paderborn: Mentis

Hahn H. (1933); Die Krise der Anschauung; in: Hahn H. (1988)

Hahn H. (1988); Empirismus, Logik, Mathematik; Frankfurt: Suhrkamp

Hedrich R. (1998); Erkenntnis und Gehirn. Realität und phänomenale Welten innerhalb einer naturalistisch-synthetischen Erkenntnistheorie; Paderborn: Schöningh

Hegel G.F.W. (1827); Enzyklopädie der philosophischen Wissenschaften

Helmholtz (1868); Über die Tatsachen, die der Geometrie zugrunde liegen; in: Helmholtz (1998)

Helmholtz (1870); Über den Ursprung und die Bedeutung der geometrischen Axiome; in: Helmholtz (1998)

Helmholtz (1878); Die Tatsachen in der Wahrnehmung; in: Helmholtz (1998)

Helmholtz (1998); Schriften zur Erkenntnistheorie; Wien: Springer

Hepp D.O. (1949); The Organization of Behavior; New York: Wiley

Hertz H. (1894); Die Prinzipien der Mechanik. Einleitung; Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, 1984

Heschl A. (1998); Das intelligente Genom. Über die Entstehung des menschlichen Geistes durch Mutation und Selektion; Heidelberg: Springer

Hilbert D. (1918); Axiomatisches Denken; Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft (1964)

Hilbert D. (1919); Natur und mathematisches Denken; Basel: Birkhäuser (1992)

Hilbert D. (1926); Über das Unendliche; in: Thiel (1982)

Hintikka J. (1967); Kant on the Mathematical Method; in: Posy C.J. (1992)

Höffe O. (1996a); Immanuel Kant; Beck'sche Reihe: Denker, BsR 506 München: Beck

Höffe O. (1996b); Aristoteles; Beck'sche Reihe: Denker, BsR 535 München: Beck

Höffe O. (2003); Kants Kritik der reinen Vernunft: Die Grundlegung der modernen Philosophie; München: Beck

Hoffmann J. (1993); Vorhersage und Erkenntnis. Die Funktion von Antizipationen in der menschlichen Verhaltenssteuerung und Wahrnehmung; Göttingen: Hogrefe

Hoffmann N. (1993); Neuronale Netze. Anwendungsorientiertes Wissen zum Lernen und Nachschlagen; Braunschweig: Vieweg

Holz H.H. / Lapin N.I. / Sankühler H.J. (Hrsg.) (1988); Die Dialektik und die Wissenschaften – Philosophische Fragen moderner Entwicklungskonzeptionen; Annalen der int. Gesellschaft für dialektische Philosophie, Societas Hegeliana

Hookway Ch. / Peterson D. (1993); Philosophy and Cognitive Science; Cambridge: University Press

Hopfield J.J. (1982); Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities; Proc. of the National Academy of Sciences, 79, S. 2554 – 2558

Huber R. (2000); Einstein und Poincaré: Die philosophische Beurteilung physikalischer Theorien; Paderborn: Mentis

Huber R. (2002); Natur-Erkenntnis, Band I: Naturphilosophie von der Antike bis Descartes; Paderborn: Mentis

Huber R. (2004); Natur-Erkenntnis, Band II: Naturphilosophie von bis Kant; Paderborn: Mentis (wird veröffentlicht)

Hüppe A. (1984); Prägnanz. Ein gestaltpsychologischer Grundbegriff; München: Profil

Hume D. (1739); Ein Traktat über die menschliche Natur. Buch I. Über den Verstand; Hamburg: Meiner, (1989)

Hume D. (1748); Ein Untersuchung über den menschlichen Verstand; Hamburg: Meiner (1993)

Kandel E.R. / Hawkins R.D. (1992); Molekulare Grundlagen des Lernens; in: Spektrum der Wissenschaft, Nov. 1992

Kandel E.R. / Schwartz J.H. / Jessell T.M. (1996); Neurowissenschaften; Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag

Kant I. (1768); Von dem ersten Grunde des Unterschiedes der Gegenden im Raume; Weischedel W. (ed.), Bd. II, S. 993 – 1000 Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft, (1975)

- Kant I. (1781); Kritik der reinen Vernunft, Ausgabe A; Hamburg: Meiner (1976)
- Kant I. (1783); Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphyk; Hamburg: Meiner (1993)
- Kant I. (1786); Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft; Hamburg: Meiner (1997)
- Kant I. (1787); Kritik der reinen Vernunft, Ausgabe B; Hamburg: Meiner (1976)
- Karmiloff-Smith A. (1992); Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science; Cambridge Massachusets: MIT Press
- Kaspar R. (1983); Die biologischen Grundlagen der evolutionären Erkenntnistheorie; in: Lorenz K. / Wuketits F.M. (1983)
- Katz D. (1968); Gestaltpsychologie; Basel: Schwabe
- Kaulbach F. (1958); Die Anschauung in der klassischen und modernen Physik; Philosophia Naturalis, 5, S. 66 – 95
- Kebeck G. (1994); Wahrnehmung. Theorien, Methoden und Forschungsergebnisse der Wahrnehmungspsychologie; Weinheim: Juventa
- Kesselring Th. (1988); Jean Piaget; München: Beck
- Kitcher Ph. (1975); Kant and the Foundation of Mathematics; in: Posy C.J. (1992)
- Klein (1872); in: Becker O. (1975)
- Knopf M. (2000); Über die Genese der inneren Welt; in: Gehirn und Denken. Kosmos im Kopf; Ostfildern-Ruit: Hatje Cantz Verlag
- Koffka K. (1935); Principles of Gestalt Psychology; London: Kegan Paul
- Kohonen T. (1982); Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps; Biological Cybernetics, 43, S. 59 – 69
- Kolb B. / Whishaw I.Q. (1996); Neuropsychologie; Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag
- Koriako D. (1999); Kants Philosophie der Mathematik. Grundlagen – Voraussetzungen – Probleme; Hamburg: Meiner
- Kornblith H. (Hrsg.) (1985); Naturalizing Epistemology; Cambridge Massachusets: MIT Press

Kornblith H. (2001); Wissen beim Menschen und anderen Tieren; in: Grundmann Th. (Hrsg.) (2001)

Krämer S. (1992); Symbolische Erkenntnis bei Leibniz; Zeitschr. f. philo. Forschung 46 (1992)

Krämer S. (Hrsg.) (1994); Geist – Gehirn – künstliche Intelligenz. Zeitgenössische Modelle des Denkens; Berlin: de Gruyter

Kraft V. (1960); Erkenntnislehre; Wien: Springer

Krüger L. (1988); Biologische Evolution und menschliche Erkenntnis; in: Holz H.H. / Lapin N.I. / Sandkühler H.J. (1988)

Kuhn W. (2001); Ideengeschichte der Physik. Eine Analyse der Entwicklung der Physik im historischen Kontext; Braunschweig: Vieweg

Kulenkampff J. (Hrsg.) (1997); David Hume. Eine Untersuchung über den menschlichen Verstand; Reihe: Klassiker Auslegen, Bd. 8 Berlin: Akademie

Lakoff G. (1987); Women, Fire and Dangerous Things; What Categories Reveal about the Mind; Chicago: University Press

Lakoff G. / Johnson M. (1998); Leben in Metaphern: Konstruktion und Gebrauch von Sprachbildern; Heidelberg: Carl-Auer-Systeme

Lanz P. (1996); Das phänomenale Bewußtsein. Eine Verteidigung; Frankfurt: Klostermann

LeDoux J. (1998); Das Netz der Gefühle. Wie Emotionen erscheinen; München: Hanser

Leibniz G.W. (o.J.); Über die universale Synthese und Analyse oder über die Kunst des Auffindens und Beurteilens; in: Leibniz Philosophische Schriften, Bd. 4, H.H. Holz (Hrsg.), S. 131 – 152

Leibniz G.W. (1677); Anfangsgründe einer allgemeinen Charakteristik; in: Leibniz Philosophische Schriften, Bd. 4, H.H. Holz (Hrsg.), S. 39 – 57

Leibniz G.W. (1684); Betrachtungen über die Erkenntnis, die Wahrheit und die Ideen; in: Leibniz Philosophische Schriften, Bd. 1, H.H. Holz (Hrsg.), S. 25 – 48

Leibniz G.W. (1686); Metaphysische Abhandlung; in: Leibniz Philosophische Schriften, Bd. 1, H.H. Holz (Hrsg.), S. 49 – 172

Leibniz G.W. (1687); Ein allgemeines Prinzip, das nicht nur in der Mathematik, sondern auch in der Physik von Nutzen ist; in: Leibniz Philosophische Schriften, Bd. 4, H.H. Holz (Hrsg.), S. 227 – 247

Leibniz G.W. (1691); Abhandlung über die Methode der Gewissheit und die Kunst des Auffindens; in: Leibniz Philosophische Schriften, Bd. 4, H.H. Holz (Hrsg.), S. 203 – 213

Leibniz G.W. (1695); Das neue System; in: Leibniz Philosophische Schriften, Bd. 1, H.H. Holz (Hrsg.), S. 191 – 320

Leibniz G.W. (1702); Aus einem weiteren Brief an Varignon von 1702; in: Leibniz Philosophische Schriften, Bd. 4, H.H. Holz (Hrsg.), S. 259 – 267

Leibniz G.W. (1704a); Neue Abhandlungen über den menschlichen Verstand; in: Leibniz Philosophische Schriften, Bd. 3.1, H.H. Holz (Hrsg.)

Leibniz G.W. (1704b); Neue Abhandlungen über den menschlichen Verstand; in: Leibniz Philosophische Schriften, Bd. 3.2, H.H. Holz (Hrsg.)

Leibniz G.W. (1714); Vernunftprinzipien der Natur und der Gnade. Monadologie; Hamburg: Meiner, (1982)

Leibniz G.W. (1715); Der Leibniz-Clarke-Briefwechsel; Berlin: Akademie

Levine J. (1987); Quine on Psychology; in: Shimony A. / Nails D. (1987)

Locke J. (1690a); Versuch über den menschlichen Verstand; Band I: Buch I und II; Hamburg: Meiner (1981)

Locke J. (1690b); Versuch über den menschlichen Verstand; Band II: Buch III und IV; Hamburg: Meiner (1988)

Lorenz K. (1973); Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens; München: Piper

Lorenz K. / Wuketits F.M. (1983) (Hrsg.); Die Evolution des Denkens; München: Piper

Lorenz K. (1987); Evolution und Apriori; in: Riedl R. / Wuketits F.M. (1987)

Lütterfelds W. (1987); Transzendente oder evolutionäre Erkenntnistheorie; Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft

Maier F. (1978); Intelligenz als Handlung. Der genetische Ansatz in der Erkenntnistheorie Jean Piagets; Basel: Schwabe & Co.

- Mainzer K. (1980); Geschichte der Geometrie; Mannheim: Bibliograph. Institut
- Mainzer K. (1995); Computer – Neue Flügel des Geistes? Die Evolution computergestützter Technik, Wissenschaft, Kultur und Philosophie; Berlin: de Gruyter
- Mainzer K. (1997); Gehirn, Computer, Komplexität; Berlin: Springer
- Majer U. (2004); The Relation of Logic and Intuition in Kant's Philosophy of Science – particularly in Geometry; in: Carson E. / Huber R. (2004)
- Markowitsch H.J. / Daum I. (2001); Neuropsychologische Erklärungsansätze für kognitive Phänomene; in: Pauen M. / Roth G. (Hrsg.) (2001)
- Martin G. (1967); Leibniz; Berlin: de Gruyter
- Martin G. (1973); Platons Ideenlehre; Berlin: de Gruyter
- McCloskey M. (1983); Irrwege der Intuition in der Physik; Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft, Juni 1983
- McCulloch W.S. / Pitts W. (1943); A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity: Bulletin of Mathematical Biophysics 5, S. 115 – 133
- Mervis C.B. / Rosch E. (1981); Categorization of natural objects; Annual Review of Psychology, 32, S. 496 – 522
- Metzger W. (1975); Gesetze des Sehens; Frankfurt: Kramer
- Metzger W. (1986); Gestalt-Psychologie; Frankfurt: Kramer
- Metzinger T. (1995); Bewußtsein. Beiträge aus der Gegenwartsphilosophie; Paderborn: Mentis (2001)
- Miller P.H. (1993); Theorien der Entwicklungspsychologie; Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag
- Minsky M. / Papert S. (1969); Perceptrons; Cambridge Massachusetts: MIT-Press
- Misner Ch.W. / Thorne K.S. / Wheeler J.A. (1973); Gravitation; San Francisco: Freeman and Company
- Mithen St. (2002); Human evolution and the cognitive basis of science; in: Carruthers P. / Stich St. / Siegal M. (2002)

Mittelstaedt P. (1989); Der Zeitbegriff in der Physik. Physikalische und philosophische Untersuchungen zum Zeitbegriff in der klassischen und in der relativistischen Physik; Mannheim: BI-Wissenschaftsverlag

Mittelstaedt P. (2004); The Intuitiveness and Thruth of Modern Physis; in: Carson E. / Huber R. (2004)

Mittelstraß J. (1995); Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie; Stuttgart: Metzler

Mohr G. (1998); Transzendente Ästhetik; in: Mohr G. / Willaschek M. (1998)

Mohr G. / Willaschek M. (1998); Immanuel Kant. Kritik der reinen Vernunft; Berlin: Akademie

Müller G.B. (1994); Evolutionäre Evolutionsbiologie: Grundlagen einer neuen Synthese; in: Wieser W. (1994)

Nagel F. (1984); Nicolaus Cusanus und die Entstehung der exakten Wissenschaften; Münster: Aschendorff

Nauck D. / Klawonn F. / Kruse R. (1994); Neuronale Netze und Fuzzy-Systeme. Grundlagen des Konnektionismus, Neuronaler Fuzzy-Systeme und der Kopplung mit wissensbasierten Methoden; Braunschweig: Vieweg

Neemann U. (1972); Bernard Bolzanos Lehre von Anschauung und Begriffe; Paderborn: Schöningh

Neisser U. (1974); Kognitive Psychologie; Stuttgart: Klett

Neisser U. (Hrsg.) (1987); Concepts and Conceptual Development; Cambridge UK: Cambridge University

Nelson K. (1983); The derivation of concepts and categories from event representations; in: Scholnik E.K. (Hrsg.) (1983)

Newell A. / Shaw J.C. / Simon H. (1960); Report on a General Problem-Solving Programm for a Computer; in: Information Processing: Proceedings of the International Conference on Information Processing; Paris: UNESCO

Newell A. / Simon H.A. (1976); Computer Science as Empirical Enquiry: Symbols and Search; Communications of the ACM, 19, S. 113 – 126

Newen A. / Vogeley K. (2000); Selbst und Gehirn; Paderborn: Mentis

- Noske R. (1997); Immanuel Kants Grundlegung der Arithmetik; Kant-Studien 88 (1997)
- Oeser E. (1983); Die Evolution der wissenschaftlichen Methode; in: Lorenz K. / Wuketits F.M. (1983)
- Oeser E. (1987); Das Realitätsproblem; in: Riedl R. / Wuketits F.M. (1987)
- Oeser E. / Seitelberger F. (1988); Gehirn, Bewußtsein und Erkenntnis; Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft
- Omnès R. (1994); The Interpretation of Quantum Mechanics; New Jersey: Princeton University Press
- Palm G. (1992); Assoziatives Gedächtnis und Gehirntheorie; in: Spektrum der Wissenschaft
- Papert S. (1982); Mindstorms. Kinder, Computer und neues Lernen; Basel: Birkhäuser
- Parson Ch. (1969) Kant's Philosophy of Arithmetic; in: Posy C.J. (1992)
- Patt W. (1987); Transzendentaler Idealismus; Berlin: deGruyter
- Pauen M. / Roth G. (Hrsg.) (2001); Neurowissenschaften und Philosophie. Eine Einführung; München: UTB Fink
- Penrose R. (2000); in: Rose St. (Hrsg.) 2000
- Perler D. (1998); René Descartes; Beck'sche Reihe: Denker, BsR 542 München: Beck
- Piaget J. (1955); Die Bildung des Zeitbegriffs beim Kinde; Zürich: Rascher
- Piaget J. (1973); Einführung in die genetische Erkenntnistheorie; Frankfurt: Suhrkamp
- Piaget J. (1974); Abriß der genetischen Epistemologie; Olten: Walter
- Piaget J. (1975a); Der Aufbau der Wirklichkeit beim Kinde, Gesammelte Werke Bd. 2; Stuttgart: Klett
- Piaget J. / Szeminska A. (1975b); Die Entwicklung des Zahlbegriffs beim Kinde, Gesammelte Werke Bd. 3; Stuttgart: Klett
- Piaget J. / Inhelder B. (1975c); Die Entwicklung des physikalischen Mengenbegriffs beim Kinde, Gesammelte Werke Bd. 4; Stuttgart: Klett
- Piaget J. (1975d); Nachahmung, Spiel und Traum, Gesammelte Werke Bd. 5; Stuttgart: Klett

Piaget J. (1975e); Die Entwicklung des Erkennens I: Das mathematische Denken, Gesammelte Werke Bd. 8; Stuttgart: Klett

Piaget J. (1975f); Die Entwicklung des Erkennens II: Das physikalische Denken, Gesammelte Werke Bd. 9; Stuttgart: Klett

Piaget J. (1985); Weisheit und Illusionen der Philosophie; Frankfurt: Suhrkamp

Pinker S. (1996); Der Sprachinstinkt. Wie der Geist die Sprache bildet; München: Kindler

Pinker S. (1998); Wie das Denken im Kopf entsteht; München: Kindler

Planck M. (1908); Die Einheit des physikalischen Weltbildes; in: Planck M. (1983)

Planck M. (1910); Zur Machschen Theorie der physikalischen Erkenntnis; Physikalische Zeitschrift 11, S. 1186 – 1190

Planck M. (1926); Physikalische Gesetzlichkeit; in: Planck M. (1983)

Planck M. (1983); Vorträge und Erinnerungen; Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft

Platon; Menon; Platon Sämtliche Dialoge II; Hamburg: Meiner, (1998)

Platon; Phaidon; Platon Sämtliche Dialoge II; Hamburg: Meiner, (1998)

Platon; Phaidros; Platon Sämtliche Dialoge II; Hamburg: Meiner, (1998)

Platon; Gastmahl; Platon Sämtliche Dialoge III; Hamburg: Meiner, (1998)

Platon; Theätet; Platon Sämtliche Dialoge IV; Hamburg: Meiner, (1998)

Platon; Parmenides; Platon Sämtliche Dialoge IV; Hamburg: Meiner, (1998)

Platon; Der Staat; Platon Sämtliche Dialoge V; Hamburg: Meiner, (1998)

Platon; Timaios; Platon Sämtliche Dialoge VI; Hamburg: Meiner, (1998)

Plotkin H.C. (1982); Learning, Development and Culture. Essays in Evolutionary Epistemology; Chichester: John Wiley & Sons

Poincaré H. (1902); Wissenschaft und Hypothese; Leipzig: Teubner (1914)

Poincaré H. (1906); Der Wert der Wissenschaft; Leipzig: Teubner (1906)

Poincaré H. (1908); Wissenschaft und Methode; Leipzig: Teubner (1914)

- Popper K. (1974); Objektive Erkenntnis. Ein evolutionärer Entwurf; Hamburg: Hoffmann & Campe
- Posy C.J. (Hrsg.) (1992); Kant's Philosophy of Mathematics. Modern Essays; Dordrecht: Kluwer
- Putnam H. (1982); Vernunft, Wahrheit und Geschichte; Frankfurt: Suhrkamp
- Quine W.V.O. (1975); Ontologische Relativität und andere Schriften; Stuttgart: Reclam
- Ramachandran V.S. (1992); Formwahrnehmung aus Schattierung; in: Spektrum der Wissenschaft
- Rapp Chr. (1997); Vorsokratiker; Beck'sche Reihe: Denker, BsR 539 München: Beck
- Richter M.M. (1989); Prinzipien der künstlichen Intelligenz; Stuttgart: Teubner
- Riedl R. (1981); Biologie der Erkenntnis. Die stammesgeschichtlichen Grundlagen der Vernunft; Berlin: Parey
- Riedl R. / Wuketits F.M. (Hrsg.) (1987); Die Evolutionäre Erkenntnistheorie. Bedingungen – Lösungen – Kontroversen ; Berlin: Parey
- Riedl R. (2000); Strukturen der Komplexität, Eine Morphologie des Erkennens und Erklärens; Berlin: Springer
- Riess A. (1973); Psychologie der Zahl. Beiträge zur Bildung des Zahlbegriffs bei Erwachsenen, Kindern und Tieren; München: Kindler
- Ritter H. / Kohonen T. (1989); Self-Organizing Semantic Maps. Biological Cybernetics 61, S. 241 – 254
- Ritter H. / Martinetz T. / Schulten K. (1991); Neuronale Netze: Eine Einführung in die Neuroinformatik selbstorganisierender Netzwerke; Bonn: Addison-Wesley
- Robinson J.A. (1965); A Machine-Oriented Logic Based on the Resolution Principle; Journal of the American Association for Computing Machinery 12
- Rock I. (1985); Wahrnehmung. Vom visuellen Reiz zum Sehen und Erkennen; Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft
- Rock I. / Palmer St. (1991); Das Vermächtnis der Gestaltpsychologie; Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft

Rojas R. (1996); Theorie der neuronalen Netze. Eine systematische Einführung; Berlin: Springer

Ros A. (1983); Die Genetische Epistemologie Jean Piagets. Resultate und offene Probleme; Philosophische Rundschau: Beiheft 9, Sonderheft; Tübingen: Mohr

Rosch E. et al. (1976); Basic objects in natural categories; Cognitive Psychology 8, S. 382 – 439

Rosch E. (1983); Prototype classification and logical classification: The two systems; in: Scholnik E.K. (Hrsg.) (1983)

Rose St. (Hrsg.) (2000); Gehirn, Gedächtnis und Bewußtsein. Eine Reise zum Mittelpunkt des Menschseins; Bergisch Gladbach: Bastei Lübbe

Rosenblatt F. (1958); The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain; Psychological Review, 65, S. 386 – 408

Roth G. (1996); Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen; Frankfurt: Suhrkamp

Roth G. (2001); Die neurobiologischen Grundlagen von Geist und Bewußtsein; in: Pauen M. / Roth G. (Hrsg.) (2001)

Roth G. (2003); Aus Sicht des Gehirns; Frankfurt: Suhrkamp

Rumelhart D.E. / McClelland J.L. (Hrsg.) (1986a); Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition, Vol. I: Foundations, Cambridge Massachusets: MIT Press

Rumelhart D.E. / McClelland J.L. (Hrsg.) (1986b); Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition, Vol. II: Psychological and biological models, Cambridge Massachusets: MIT Press

Russell B (1953); Einführung in die mathematische Philosophie; Darmstadt: Holle

Russell B. (1967); Probleme der Philosophie; Frankfurt: Suhrkamp

Sagal P.T (1987); Naturalistic Epistemology and the Harakiri of Philosophy; in: Shimony A. / Nails D. (1987)

Savage-Rumbaugh S. / Lewin R. (1995); Kanzi, der sprechende Schimpanse. Was den tierischen vom menschlichen Verstand unterscheidet; München: Droemer Knaur

- Schantz R. (1998); Was ist sinnliche Evidenz? in: Logos 5, S. 175 – 214
- Schantz R. (2001); Der Inhalt der Erfahrung; in: Grundmann Th. (Hrsg.) (2001)
- Scheibe E. (1977); Kant's Philosophy of Mathematics; in: Scheibe E. (2000)
- Scheibe E. (2000); Between Rationalism and Empirism; Berlin: Springer
- Scherer A. (1997); Neuronale Netze. Grundlagen und Anwendungen; Braunschweig: Vieweg
- Schlick M. (1925); Allgemeine Erkenntnislehre; Berlin: Springer
- Schmidt G. (1965); Aufklärung und Metaphysik. Die Neubegründung des Wissens durch Descartes; Tübingen: Niemeyer
- Schmitt F.F. (Hrsg.) (1994); Socializing epistemology; Lanham Md.
- Schmitz H. (1996); Physiologischer Neukantianismus und Evolutionäre Erkenntnistheorie; Frankfurt: Peter Lang
- Schöneburg E. / Hansen N. / Gawaelczyk A. (1990); Neuronale Netzwerke. Einführung, Überblick und Anwendungsmöglichkeiten, Haar: Markt&Technik
- Scholnik E.K. (Hrsg.) (1983); New trends in conceptual representation: Challenges to Piaget's theory; Hillsdale: Erlbaum
- Scholz E. (Hrsg.) (1990); Geschichte der Algebra. Eine Einführung; Mannheim: Bibliograph. Institut
- Schurz G. (1988); Piaget und die Folgen; in: Information Philosophie, 5, S. 18 – 29
- Schwegler H. (2001); Reduktionismen und Physikalismen; in: Pauen M. / Roth G. (Hrsg.) (2001)
- Selleri F. (1990); Die Debatte um die Quantentheorie; Braunschweig: Vieweg
- Sher G. / Tieszen R. (Hrsg.) (2000); Between Logic and Intuition; Cambridge: University Press
- Shimony A. (1971); Perception from an Evolutionary Point of View; Journal of Philosophy 68, p. 571 – 583
- Shimony A. (1987a); Introduction; in: Shimony A. / Nails D. (1987)
- Shimony A. (1987b); Integral Epistemology; in: Shimony A. / Nails D. (1987)

Shimony A. / Nails D. (1987) (Eds.); *Naturalistic Epistemology. A Symposium of Two Decades*; Dordrecht: Reidel

Siegel M. (2002); *The science of childhood*; in: Carruthers P. / Stich St. / Siegal M. (2002)

Singer W. (1985); *Hirnentwicklung und Umwelt*; in: *Spektrum der Wissenschaft*

Singer W. (2000); *Ein neurobiologischer Erklärungsversuch zur Evolution von Bewußtsein und Selbstbewußtsein*; in: Newen A. / Vogeley K. (2000)

Singer W. (2002); *Der Beobachter im Gehirn. Essays zur Hirnforschung*; Frankfurt: Suhrkamp

Singer W. (2003); *Ein neues Menschenbild? Gespräche über Hirnforschung*; Frankfurt: Suhrkamp

Spaemann R. / Koslowski P. / Löw R. (1984); *Evolutionstheorie und menschliches Selbstverständnis. Zur philosophischen Kritik eines Paradigmas moderner Wissenschaft. Civitas Resultate Bd 6*. Weinheim: Acta humaniora

Speckmann H. (1996); *Dem Denken abgeschaut. Neuronale Netze im praktischen Einsatz*; Braunschweig: Vieweg

Spektrum der Wissenschaft: Verständliche Forschung (1992); *Gehirn und Kognition*; Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag

Spitzer M. (2000); *Geist im Netz. Modelle für Lernen, Denken und Handeln*; Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag

Spohn W. (2001); *Vier Begründungsbegriffe*; in: Grundmann Th. (Hrsg.) (2001)

Stabler E. (1983); *Naturalized Epistemology and Metaphysical Realism*; *Philosophical Topics* 13; p. 155 – 170

Stanovich K. (1999); *Who is Rational? Studies of Individual Differences in Reasoning*; Hillsdale: Erlbaum

Steiner G. (Hrsg.) (1978); *Piaget und die Folgen. Entwicklungspsychologie. Denkpsychologie. Genetische Psychologie*; Zürich: Kindler

Stephani H. (1977); *Allgemeine Relativitätstheorie. Eine Einführung in die Theorie des Gravitationsfeldes*; Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften

Stern W. (1926); Psychologie der frühen Kindheit bis zum sechsten Lebensjahre; Leipzig: Quelle & Meyer

Streminger G. (1994); David Hume: Sein Leben und sein Werk; Paderborn: Schöningh

Tennant N.W. (1983); Evolutionary Epistemology; in: Weingartner P. / Czermak J. (1983)

Thagard P. (1999); Kognitionswissenschaft; Stuttgart: Klett-Cotta

Thagard P. (2002); The passionate scientist: emotion in scientific cognition; in: Carruthers P. / Stich St. / Siegal M. (2002)

Thiel Ch. (1982); Erkenntnistheoretische Grundlagen der Mathematik; Hildesheim: Gerstenberg, 1982

Thiel U. (Hrsg.) 1997; John Locke. Essay über den menschlichen Verstand; Reihe: Klassiker Auslegen, Bd. 6 Berlin: Akademie 1997

Thöle B. (1998); Die Analogien der Erfahrung; in: Mohr G. / Willaschek M. (1998)

Thompson R.F. (1990); Das Gehirn. Von der Nervenzelle zur Verhaltenssteuerung; Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft

Titze H. (1983); Evolutionäre und / oder Transzendente Erkenntnistheorie; in: Weingartner P. / Czermak J. (1983)

Tomasello M. (2002); Die kulturelle Entwicklung des menschlichen Denkens. Zur Evolution der Kognition; Frankfurt: Suhrkamp

Urchs M. (2002); Maschine, Körper, Geist. Eine Einführung in die Kognitionswissenschaft; Frankfurt: Klostermann

Varley R. (2002); Science without grammar: scientific reasoning in severe agrammatic aphasia; in: Carruthers P. / Stich St. / Siegal M. (2002)

Vester F. (2000); Die Kunst vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität; Stuttgart: DVA

Vogeley K. (2001); Psychopathologie des Selbstkonstrukts; in: Pauen M. / Roth G. (Hrsg.) (2001)

Volkert K.Th. 1986; Die Krise der Anschauung; Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1986

Vollmer G. (1975); Evolutionäre Erkenntnistheorie; Stuttgart: Hirzel (1998)

Vollmer G. (1988a); Was können wir wissen? Bd I Die Natur der Erkenntnis; Stuttgart: Hirzel

Vollmer G. (1988b); Was können wir wissen? Bd II Die Erkenntnis der Natur; Stuttgart: Hirzel

Waerden B.L. van der (1979); Die Pythagoreer. Religiöse Bruderschaft und Schule der Wissenschaft; Zürich: Artemis Verlag

Wagner G.P. (1987); Der Passungsbegriff und die logische Struktur der evolutionären Erkenntnislehre; in: Riedl R. / Wuketits F.M. (1987)

Walter H. (1997); Neurophilosophie der Willensfreiheit; Paderborn: Mentis

Walter H. (2000); Emotionales Denken statt kalter Vernunft – Das Konzept des Selbst in der Neurophilosophie der Willensfreiheit; in: Newen A. / Vogeley K. (2000)

Wason P. / Evans J. (1975); Dual processes in reasoning?; Cognition 3

Weingartner P. / Czermak J. (1983) (Hrsg.); Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie; Wien: Akten des 7. Internationalen Wittgenstein-Symposiums

Wieland W. (1962); Die aristotelische Physik; Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht

Wieser W. (1994); Die Evolution der Evolutionstheorie; Heidelberg: Spektrum

Willaschek M. (2001); Phänomenale Begriffsverwendung und die Rechtfertigungsfunktion der Wahrnehmung; in: Grundmann Th. (Hrsg.) (2001)

Wind E. (1934); Das Experiment und die Metaphysik. Zur Auflösung der kosmologischen Antinomien; Frankfurt: Suhrkamp (2001)

Wuketits F.M. (1981); Biologie und Kausalität. Biologische Ansätze zur Kausalität, Determination und Freiheit; Berlin: Parey

Wuketits F.M. (1983); Evolutionäre Erkenntnistheorie – Die neue Herausforderung; in: Lorenz K. / Wuketits F.M. (1983)

Wuketits F.M. (1988); Evolutionstheorien. Historische Voraussetzungen, Positionen, Kritik; Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft

Wuketits F.M. (2002); Die Selbstzerstörung der Natur. Evolution und die Abgründe des Lebens; München: dtv

Young J.M. (1984); Construction, Schematism and Imagination; in: Posy C.J. (1992)

Zeitler H. / Pagon D. (2000); *Fraktale Geometrie – Eine Einführung*; Braunschweig: Vieweg

Zimmer D.E. (1988); *So kommt der Mensch zur Sprache. Über Spracherwerb, Sprachentstehung und Sprache & Denken*; Zürich: Haffman