

Gesellschaft als Labor¹⁾

Die Erzeugung sozialer Risiken durch experimentelle Forschung

Von Wolfgang Krohn und Johannes Weyer

1. Problemstellung

In der modernen Wissenschaft existieren Tendenzen, Forschungsprozesse und die mit ihnen verbundenen Risiken über die institutionalisierten Grenzen der Wissenschaft hinauszutreiben und die Gesellschaft mit der Durchführung von Experimenten zu belasten. Dies läßt sich vor allem beobachten an der Kernkrafttechnologie, an ökologischen Freisetzungsversuchen, am Umgang mit physiologisch belastenden Chemikalien, an der Einführung von Medikamenten und an modernen Militärtechniken. Diesen und weiteren Fällen ist gemeinsam, daß eine Legitimation für die Durchführung dieser Experimente allein zum Zwecke der Forschung nicht beschafft werden könnte. Sie müssen daher — einer eingespielten Terminologie und den rechtlichen Grundlagen entsprechend²⁾ — als *Implementierung erprobten Wissens* deklariert werden, deren Betreibung und Berechtigung sich aus nicht-wissenschaftlichen Gründen ergeben. Andererseits ist aber, einhergehend mit dem gesteigerten Tempo technologischer Innovationen in den letzten Jahrzehnten, die Erfahrung immer unabweisbarer geworden, daß die Implementierung erprobten Wissens (nolens volens) die *Erprobung unsicherer Implementierungen* ist. Wir werden in Ermangelung eines geläufigen Begriffs für diese Prozesse von „experimentellen Implementierungen“, „impliziten Experimenten“ oder „Realexperimenten“ sprechen. Die Ausdrücke sollen umschreiben, daß die Implementierung neuer technologischer Installationen und Verfahren ihrerseits die Merkmale der experimentellen Erzeugung neuen Wissens aufweisen kann — sowohl auf der Ebene der explizit mit ihnen verbundenen Absichten wie auf der des experimentellen Designs. Der wesentliche Unterschied besteht darin, daß sie die legitimen Grenzen der für experimentelle Forschung ausdifferenzierten Institutionen überschreitet. Die Dimensionen der Experimentalwissenschaft werden dadurch erweitert, daß sozio-technische Prozesse großen Maßstabs in Raum und Zeit die Qualität von Experimenten annehmen können.

Eine solche Thematik bringt Moral ins Spiel. Aber es geht hier nicht oder nur in begrenzten und benennbaren Fällen um Verschwörung und Betrug, sondern um die Aufklärung eines grundlegenden Wandels im Verhältnis von Wissenschaft und Gesellschaft. Dieser ist — so unterstellen wir — unvermeidlich, stellt aber die Gesellschaft vor ein neues Dilemma. Ob z. B. Freisetzungen genetisch veränderter Bakterien ökologisch harmlos sind oder nicht, wird man niemals erfahren, wenn man nichts probiert. Bei der Option für entsprechende Versuche sind dann aber die damit einhergehenden Risiken wegen der Natur des erwartbaren Wissens nicht von der Gesellschaft fernzuhalten (wenn auch einzudämmen). Wenn also die Gesellschaft das Spiel der Wissenschaft mitspielt, wird sie zwangsläufig „Experimentiergesellschaft“.³⁾ Sie übernimmt

¹⁾ Der Aufsatz steht im Zusammenhang eines Forschungsprojekts „Große Experimente“ des USP-Wissenschaftsforschung der Universität Bielefeld, in dem die hier entwickelte Konzeption durch Fallstudien historisch und vergleichend verfolgt werden. Für ausführliche Diskussionen und Verbesserungsvorschläge danken wir unseren Kollegen Wolfgang van den Daele, Günter Küppers, Peter Lundgreen und Peter Weingart. Unser Dank geht auch an Arie Rip von der TU Twente, der wertvolle Anregungen beigesteuert hat.

²⁾ Zu den rechtlichen Grundlagen und Einschränkungen der Forschung vgl. Maunz et al. 1983, Rdnr. 81 ff., Art. 5 III.

³⁾ Vom Beck'schen Begriff der „Risikogesellschaft“ unterscheidet sich diese Konzeption hinsichtlich ihres Zugriffs auf die Risikothematik; während Beck mit seinem gesellschaftstheo-

damit das *Risiko der Wissenschaft*, mit Unwahrheit belastet zu sein, ein Risiko, das *innerhalb* des Wissenschaftssystems als falsifizierte Theorie ein akzeptiertes Dasein führt. Wenn die Erprobung unsicheren Wissens durch Einrichtungen außerhalb der Wissenschaft erfolgt, werden die domestizierten Schäden des wissenschaftlichen Irrtums freigesetzt; dies erfordert eine Neuverteilung der Verantwortung. Die Wissenschaft ihrerseits lädt sich — die offene Diskussion der Tatbestände vorausgesetzt — das ihr ungewohnte Dilemma auf, das *Entscheidungsrisiko* mitzutragen, ob der mit experimentellen Implementierungen erwartbare Erkenntniserwerb angestrebt werden soll oder nicht.⁴⁾

Versucht man, diese Verschiebungen unter den Gesichtspunkten der funktionalen Differenzierung zu begreifen, läßt sich feststellen, daß mit diesen Entwicklungen für die Wissenschaft nachvollzogen wird, was für die anderen ausdifferenzierten Systeme ohnehin selbstverständlich ist: So wenig wie es eine subsystemisch eingegrenzte Protopolitik oder Probewirtschaft gibt, mit der die Gesellschaft nur bei Erfolg konfrontiert wird, so wenig gibt es in den hier analysierten Bereichen ein Probewissen, das nur bei Erfolg der Gesellschaft zugemutet wird. Statt dessen gilt: So wie die Gesellschaft (kapitalistische) Wirtschaftsgesellschaft und (parlamentarische) politische Gesellschaft ist, so *wird* sie (experimentelle) Wissenschaftsgesellschaft.⁵⁾

Ein anderer moralbezogener Aspekt betrifft die Parellele zu den „Experimenten mit Menschen“.⁶⁾ Obwohl einige der später betrachteten Fälle anzeigen, daß zwischen diesen Experimenten und solchen mit/in der Gesellschaft ein Spektrum stufenweiser Übergänge besteht, sind Experimente mit Menschen *allein* wegen der grundrechtlichen „Würde“ und strafrechtlichen Sonderstellung gegenüber allen „Sachen“ illegitim. Strikt unter der Perspektive des Erkenntniserwerbs betrachtet, wären Menschenexperimente im geschützten Raum des Labors möglich und würden „nur“ die betroffenen Versuchsobjekte belasten. Die medizinischen Experimente der Nationalsozialisten belegen dies.⁷⁾ Im Gegensatz zum Individuum stehen die Gesellschaft und ihre Segmente nicht unter einem entsprechenden normativen Vorbehalt, sondern sind den von ihren Funktionssystemen produzierten evolutionären Zumutungen ausgesetzt. Ob die Gesellschaft in Experimenten mit sich selbst Mißbrauch treibt, kann kaum durch einen vorgegebenen Maßstab von Normen entschieden, sondern (bestenfalls) innerhalb der Gesellschaft diskutiert oder (normalerweise) später als evolutionärer Schritt

Fortsetzung von Fußnote 3

retischen Konzept primär die Formen der gesellschaftlichen Verarbeitung von Risiken, den damit einhergehenden Funktionswandel der Institutionen und die neuartigen Formen gesellschaftlichen Wandels diskutiert, geht es hier vorrangig um die Genese von Risiken durch wissenschaftliche Forschung; vgl. Beck 1986 und 1988.

⁴⁾ Weinberg 1972 hat sich mit den Problemen befaßt, die entstehen, wenn Wissenschaftler die Grenzen der Wissenschaft überschreiten und im Bereich der „Trans-Wissenschaft“ („trans-science“), d. h. dem Bereich von wissenschaftlich nicht beantwortbaren Fragen, operieren. Nach Weinberg unterscheiden sich die trans-wissenschaftlichen Entscheidungsmodalitäten grundsätzlich von denen der Wissenschaft, wobei er der traditionellen Differenz zwischen Technologie und Wissenschaft anhängt. Wir gehen jedoch davon aus, daß Weinbergs Prämisse der akademischen „Gelehrtenrepublik“, die seiner Abgrenzung von Wissenschaft und Trans-Wissenschaft zugrunde liegt, historisch überholt ist. Zur Kritik an Weinberg vgl. auch Jasanoff 1987.

⁵⁾ „Trans-wissenschaftliche“ Prozesse (um den Ausdruck von Weinberg 1972, zu gebrauchen) wären damit eher der Normalfall als die Ausnahme.

⁶⁾ Siehe hierzu Lenk, Chorover 1982, Barber 1973 sowie das Themenheft von Daedalus, Vol. 98, S. 2 1969.

⁷⁾ Vgl. Mitscherlich 1949.

erfahren werden.⁸⁾ Daher steht im Fall der Experimente mit der Gesellschaft im Fokus nicht die normative Diskussion, sondern die *Risikodiskussion*. Dieser Fokus wirft allerdings ein ungleich schwierigeres Problem auf: Wenn und soweit in der Gesellschaft begriffen wird, daß zukünftige Entwicklungen auch experimentellen Charakter haben und daher Gegenstand wissenschaftlicher Rationalität werden, wird die Erzeugung des Wissens, das für die Beurteilung der Risiken dieser Entwicklung benötigt wird, von Erfahrungen abhängig, die man nur durch das Ingangsetzen dieser Entwicklungen erzeugen kann.⁹⁾

Eine Zuspitzung erfährt dieses Problem im Bereich der Hochrisiko-Technologien, und zwar im Verhältnis von Sicherheitstheorien und Erfahrungen mit Implementierungen: Hier werden Unfälle zu Tests der Theorien.¹⁰⁾ Die Interpretation eines Unfalls einer Hochrisiko-Technologie als ein wissenschaftliches Experiment muß mit dem Einwand rechnen, daß Unfälle als unbeabsichtigte Ereignisse nicht als Elemente eines strategisch angelegten Wissenserwerbs bezeichnet werden können, da sie als unerwartete oder in Kauf zu nehmende Ereignisse erfahren werden.¹¹⁾ Aber durch die mit diesen Technologien verbundenen Modellierungen von Risiken treten solche Unfälle als hypothetisch beschriebene, in wissenschaftliche Prognosen eingebettete und durch technische Vorkehrungen zu verhindernde, also in ihren wesentlichen Merkmalen und Entstehungsbedingungen bekannte Sachverhalte auf. Unfälle der genannten Art sind keine Schicksalsschläge, sondern (von wem auch immer) eingegangene Risiken.¹²⁾ Sie sind auch kein Zeichen wissenschaftlicher Unkenntnis oder technischer Unfähigkeit; die kantische Wende der Erkenntnistheorie ist auch ihre Grundlage: „... daß die Vernunft nur einsieht, was sie nach ihrem Entwurfe hervorbringt, ... daß sie die Natur nötigen müsse, auf ihre Fragen zu antworten“.¹³⁾ Fragen der technischen Sicherheit sind, wie auch immer deren soziale Definition aussehen mag, Fragen an die „Natur“¹⁴⁾,

⁸⁾ Das von Rip 1988 b (S. 6) erwähnte Beispiel der Diskussion über Soda in den Niederlanden veranschaulicht, daß jede Gesellschaft über die Reichweite ihres Risikodiskurses frei entscheidet.

⁹⁾ Vgl. dazu auch Luhmann 1987 (S. 214). Ein illustratives Beispiel ist die nachträgliche Bezeichnung des Hochtemperatur-Reaktors in Hamm-Uentrop als „Forschungsreaktor“ (FAZ 20. 1. 1989, S. 15) — dies, obwohl er bereits seit mehreren Jahren im kommerziellen Einsatz war. Dies scheint Weinberg zu bestätigen, der darauf hingewiesen hatte, daß „Unsicherheit“ in einigen Fällen nur beseitigt werden kann, „wenn man bereit ist, einen Prototyp in voller Größe zu bauen und ihn exakt unter den Bedingungen zu testen, die für die spätere Praxis gelten“ (1972, S. 211).

¹⁰⁾ Die Grundzüge dieser Überlegungen sind daher nicht zufällig anhand einer Interpretation des Reaktorunfalls von Tschernobyl entwickelt worden, vgl. Krohn/Weingart 1986. Vgl. auch Perrow 1988, der den Begriff der Hochrisiko-Technologie mit organisationssoziologischen Mitteln entwickelt.

¹¹⁾ Wynne versucht wissenschaftliche und soziale Experimente zu unterscheiden, indem er darauf hinweist, daß „die ‚Hypothesen‘, die vermeintlich ‚getestet‘ werden (d. h. die Annahmen der Experten), weder dargelegt werden noch genau bewußt sind. Deshalb können sie per Definition nicht Gegenstand von Feedback und sozialem Lernen sein.“ (1988, S. 158) Man muß jedoch unterscheiden zwischen Annahmen, die selbst für die Experten implizit bleiben, (hierauf zielt Wynne ab) und solchen, die der Öffentlichkeit unbekannt sind und erst durch Unfälle aufgedeckt werden. Die weiter unten diskutierten Fälle zeigen, daß in der Regel ein wohldefiniertes Forschungsdesign existiert und daß Lernen auf dem Wege der experimentellen Implementation eine geplante und wissenschaftlich ausgeführte Forschungsstrategie ist.

¹²⁾ Zu dieser Unterscheidung vgl. Luhmann o. J. und 1987 (S. 69, 218).

¹³⁾ Kritik der reinen Vernunft, B XIII.

¹⁴⁾ „Natur“ hier metaphorisch im weitesten Sinn, also einschließlich der implementierten Artefakte.

die benötigt werden muß, zu antworten. Dennoch bleibt unbestreitbar, daß die Unfälle nicht als Experimente angestrebt werden. Im Gegenteil, gerade zu ihrer Vermeidung werden die Theorien der Risikoforschung entwickelt. Aber da diese Theorien ihrerseits empirische Theorien sind, die der Verifikation im Kontext entwerfener und beobachtbarer Ereignisse bedürfen, ist ihre Entwicklung auf genau die Unfälle angewiesen, deren Vermeidung sie dienen. In dieser funktionellen Betrachtungsweise des Zusammenhangs von Theorie und Experiment kommt es dann nur noch sekundär darauf an, ob die Unfälle in ihrem raumzeitlichen Auftreten geplant wurden oder nicht.

Üblicherweise wird man die besonderen Umstände der Kernkrafttechnologie dafür verantwortlich machen, daß Wissenschaft und Technik in eine Ausnahmesituation geraten sind. Hier soll der gegenteiligen Vermutung nachgegangen werden: Nicht nur in der Kernkraft, sondern in weiteren Bereichen der Forschung entwächst die Wissenschaft ihren Grenzen und benutzt die Gesellschaft und ihre biologischen Lebensbedingungen als ein Labor, in dem einerseits auf erfolgreiche Weise neues Wissen durch Theorie und Experiment erzeugt wird, andererseits aber sich Verschiebungen zwischen Wissenschaft und Gesellschaft abspielen, die man in größtmöglicher Verdichtung auf die Formel bringen kann: *Die Risiken der Forschung werden zu Risiken der Gesellschaft*. In diesem Sinn ist „Tschernobyl“ keine Ausnahme, sondern dramatisches Paradigma, zumal Auslöser des Unfalls ein planvoll durchgeführter Test des Notabschaltsystems war.

„Tschernobyl“ verweist zugleich darauf, daß das blinde Vertrauen auf den evolutionären Wandel durch technischen Fortschritt zunehmend Erfahrungen hervorruft, die zu Fragen nach den Risiken des Wandels führen. Da auch diese Fragen zum Gegenstand wissenschaftlicher Analysen werden, partizipiert die Forschung an dem gesellschaftlichen Entscheidungsprozeß über die Tragbarkeit der Risiken.¹⁵ Auch wenn es sich in diesem Fall nicht um eine Verlagerung von *Forschungsrisiken* in die Gesellschaft handelt, sondern um eine Identifikation von Risiken ‚experimentellen‘ Verhaltens anderer Agenturen, liegt doch strukturell der gleiche Sachverhalt vor, daß die Gesellschaft für die Wissenschaft ein Labor darstellt, in dem sie ihre Hypothesen testet.¹⁶

2. Zur Wissenschaftstheorie der Realexperimente und experimenteller Implementierungen

a) Experiment und hypothetisches Denken als „Welt auf Probe“

Für das wissenschaftstheoretische wie wissenschaftssoziologische Verständnis gleichermaßen grundlegend ist die Idee eines für die Erkenntnisproduktion institutionalisierten Forschungsfreiraums. Dieser Forschungsfreiraum wird konventionell durch die Begriffe „Experiment“ und „Hypothese“ definiert; seine soziale Manifestation sind das „Labor“ und der „wissenschaftliche Diskurs“. Zu den konstitutiven Merkmalen dieses Freiraums gehören, daß Wahrheit und Falschheit von theoretischen Behauptun-

¹⁵ Jasanoff hat diesen Prozeß als „Grenzkonflikt (‚boundary dispute‘) zwischen Wissenschaft und Politik“ (1987, S. 203) bezeichnet, innerhalb dessen verschiedene Akteure versuchen, ihre Kontrolle über strittige Bereiche (z. B. technologische Risiken) auszudehnen.

¹⁶ Das folgende Beispiel belegt, daß Risiko- und Sicherheitsforschung ihre Hypothesen notwendigerweise auch experimentell testen müssen: Als Reaktion auf den Tschernobyl-Unfall ist die bundesdeutsche kerntechnische Sicherheitsforschung zunehmend bemüht, „auch nicht vorgesehene Ereignisse in die Studien einzubeziehen“. Neue Expertensysteme sollen daher in Kernkraftwerke eingebaut werden, um sie während des Betriebs zu überwachen und um herauszufinden, „wie sich bauliche Änderungen einer Anlage auf die Strahlenbelastung des Betriebspersonals auswirken“. „Die Erkenntnisse, die man bei diesen Arbeiten gewinnt, werden in der Praxis dazu benutzt, Schwachstellen in den Kernreaktoren zu beseitigen ...“ (alle Zitate aus: FAZ 17. 11. 1988, S. N2)

gen moralisch ebensowenig zugerechnet werden wie Erfolge und Mißerfolge im experimentellen Umgang mit Objekten. Diese Entlastung wissenschaftlichen Handelns von den sozialen Konsequenzen des Irrtums und Mißerfolgs — im 17. Jh. schrittweise über königliche Privilegien errungen und heute als Anspruch mit Grundrechtsqualität gesichert — besteht allerdings unter zwei wesentlichen Voraussetzungen:

1. Praktische Operationen im „Containment“ („Berstschutz“) des Labors müssen tatsächlich (annähernd) folgenlos sein, weil sie reversibel, abbrechbar, kompensierbar oder die Wirkungen wegen ihrer Geringfügigkeit zu vernachlässigen sind.
2. Theoretische Behauptungen im „Containment“ des wissenschaftlichen Diskurses müssen in paralleler Weise als (annähernd) folgenlos anerkannt sein. Ihre Geltung steht unter dem Vorbehalt der innerwissenschaftlichen Akzeptanz; wird diese nicht gewährt oder entzogen, muß jede Theorie durch Abbruch, Einschränkung oder Umbau wieder aus dem Verkehr gezogen werden können.

Bei Einhaltung dieser Voraussetzungen ergeben sich für das Wissenschaftssystem zwei fundamentale Konsequenzen; die eine ist soziologischer, die andere erkenntnistheoretischer Natur. Erstens: Wissenschaft gestattet mehr als irgend sonst in der Gesellschaft die Produktion von Fehlern, Irrtümern und Mißerfolgen. Gerade hierdurch wird die für die Neuzeit charakteristische Beschleunigung der Erkenntnisprozesse erreicht. Und zweitens: Experimentell-hypothetische Wissenschaft ist immer Wissenschaft idealisierter Objekte und Realitätssegmente. Die (wie immer im Einzelfall gebrochenen) Rückwirkungen zwischen Theorie und Experiment führen zur Formulierung von Realitätsmodellen, deren Existenz an der Geltung besonderer Randbedingungen hängt, die nur unter den Isolationsbedingungen des Labors realisiert werden können. Theorien beschreiben Experimente nur, insoweit diese als mögliche Zustände ihres „universe of discourse“ definiert sind. Experimente, die mißlingen, weil unvorhersehbare Ereignisse (Störungen) stattfinden, werden nicht ausgewertet.

Soweit Risiken der Forschung als Irrtümer innerhalb dieser Konstruktion auftreten, besteht für sie eine gesellschaftliche Generalabsolution. Man sieht aber, daß diese *Isolation* der Welt der Experimente und Theorien selbst eine idealisierende Konstruktion ist, die nur näherungsweise erfüllbar ist. Tatsächlich ist die Labortätigkeit trotz ihrer Kennzeichnung als *konsequenzenentlastetes Probehandeln* immer Eingriff in die Wirklichkeit und unterliegt deren Irreversibilität. Damit solches Handeln dennoch unter der Bedingung (1.) akzeptiert wird, müssen die angerichteten Schäden „klein“ sein. Auch Theorien als *konsequenzenentlastetes Probedenken* sind nicht generell und vollständig auf den wissenschaftlichen Diskurs einzugrenzen, sondern finden unabhängig und häufig weit vor ihrer innerwissenschaftlichen Konsentierung als ‚wahr‘ oder ‚falsch‘ ihren Weg in die soziale Umwelt, um dort irreversible Spuren in der gesellschaftlichen Kommunikation zu hinterlassen. In Fällen, in denen religiöse, politische, kulturelle Traditionen durch Theorien angegriffen werden (prominente Fälle: Darwinismus, Psychoanalyse), kann auch die Bedingung (2.) nicht aufrechterhalten werden.

Obwohl solche Konfliktfälle, teils entzündet an neuen Weltanschauungen, teils an wissenschaftsgestützten Technologien, die Grenzen der idealen Konstruktion der hypothetisch-experimentellen Wissenschaft anzeigen, ist die Entwicklung der modernen Wissenschaft durch den institutionellen Aufbau dieser Konstruktion eines nach innen geschlossenen Systems erreicht worden. Das 19. Jahrhundert prägte die Formel: Innerhalb dieses Systems werden Erkenntnisse *erzeugt*, außerhalb des Systems werden diese *angewendet* (oder auch nicht). In den luciden Worten Pasteurs: „Es gibt keine angewandte Wissenschaft; es gibt nur Wissenschaft und ihre Anwendung.“¹⁷ Heute wür-

¹⁷) Pasteur, Oeuvres VII, S. 215.

de man in der Sprache der Systemtheorie formulieren: Erkenntnisse gelten als Leistungen des Systems für andere Systeme.¹⁸⁾

b) *Das Problem der „Anwendung von Erkenntnis“*

Wissenschaftstheoretisch ist das Problem der Anwendung von wissenschaftlicher Erkenntnis selten thematisiert worden. Es ist aber ein Schlüssel für die hier aufgeworfene Frage, wodurch Prozesse der Implementierung und Innovation für die Forschung wiederum relevante Experimente werden. Der Ausgangspunkt ist einfach: Wenn wissenschaftliche Erkenntnis in der Gesellschaft „angewendet“ werden soll, muß eine Anpassung an dort bestehende Randbedingungen erfolgen, oder die gesellschaftliche Praxis muß gemäß den von der Wissenschaft gesetzten Standards umgestaltet werden.¹⁹⁾ Diese Phase der Implementierung neuen Wissens durch die Entwicklung neuer Technologien und Verfahren gilt in der konventionellen Interpretation nicht mehr als Phase der wissenschaftlichen Erkenntnisproduktion, sondern als Anwendung von Wissen durch neue Technologien und Verfahren. Die Anwendung wissenschaftlich gesicherten Wissens außerhalb der Wissenschaft ist jedoch immer Erzeugung neuen Wissens; denn die Implementierung neuer Technologien und Verfahren ist, obzwar Anwendung erprobten Wissens, zugleich ein Verfahren, neue Erfahrungen mit diesem Wissen, d. i. neues Wissen, zu erzeugen, das anders nicht zu erhalten ist. In der Regel bleiben Dispute über die Eigenschaften neuer Technologien solange kontrovers und un abgeschlossen, wie diese nicht realisiert werden. Zugespitzt gilt dies bei der Beurteilung von Zuverlässigkeit. Die amerikanische Raumfähre wurde z. B. mehrfach gestartet, obwohl die geforderten Zuverlässigkeitsanforderungen für bemannte Flüge noch nicht erreicht war. Dieser ungewöhnlichen „Entwicklungsphilosophie“ lag vor allem das Interesse zugrunde, teure Testreihen einzusparen. Mit Hilfe dieser Experimental-Starts konnten geringere Zuverlässigkeitsstandards getestet werden.²⁰⁾ Zu ähnlichen Resultaten gelangte Kaldor auf der Basis ihrer Analysen militärischer Forschung und Entwicklung; sie stellte fest, daß Kontroversen über die Eigenschaften und Leistungsprofile neuer Hochleistungs-Waffen in der Regel ungelöst bleiben, es sei denn, die Systeme werden in Real-Situationen getestet.²¹⁾

Dieser Zusammenhang von Anwendung und Wissenserzeugung ist aus zwei Gründen meist übersehen worden: Zum einen sind Implementierungsprozesse überwiegend in den historischen Kategorien der gesellschaftlichen Entwicklung (Modernisierung, Rationalisierung, mit anderem Unterton: Kulturkritik) betrachtet worden. Die Un-

¹⁸⁾ Vgl. Luhmann 1987, S. 111.

¹⁹⁾ Der letztere Fall ist das zentrale Thema von Latour (1983). Auch MacKenzie hat darauf hingewiesen, daß technologische Systeme das Bestreben haben, sich ihre Umwelt einzuverleiben (1987, S. 214). Vgl. auch MacKenzie 1989.

²⁰⁾ DFVLR 1984, S. 74–75, Zitat S. 74. Die Astronauten wurden bei diesen Starts durch Schleudersitze geschützt, welche später entfernt wurden. Valk 1987 bestätigt auf Grund seiner Erfahrung mit Software-Technik, daß die Zuverlässigkeit komplexer technologischer Systeme etwa in der Raumfahrt oder im Fall von SDI nur durch Anwendung getestet werden kann.

²¹⁾ Kaldor 1981 (S.134); sie weist auch darauf hin, daß neue Kampfflugzeuge so komplex sind, daß sie niemals endgültig fertig werden. (S. 137) Der von ihr geprägte Begriff „Rüstungsbarock“ thematisiert den Prozeß, den wir experimentelle Implementation nennen, aus einer anderen Perspektive: Weil komplexe Militärtechnologien nicht getestet werden können, haben die Kunden keine Möglichkeit, deren praktischen Wert zu beurteilen. Sie werden in zunehmendem Maße von den Versprechungen der Techniker abhängig, die immer komplizierteren Rüstungsbarock produzieren.

vorhersehbarkeit der Folgen innovatorischen Handelns wurde entweder der Inkompetenz einer früheren Zeit oder der im allgemeinen offenen Zukunft zugeschrieben. Zum anderen fällt die wissenschaftliche Verarbeitung der durch Implementierungen erzeugten Erfahrungen normalerweise in die Zuständigkeit einer Disziplin, die mit der Erzeugung des implementierten Wissens nichts zu tun hat. Die Entwicklung der Lokomotive fällt in das Gebiet der Technologie, die Beobachtung der Wirkungen des Eisenbahnnetzes etwa in das der Ökonomie. Synthetische Verbindungen entwickelt die Chemie, die Erfahrungen bei ihrer gewerblichen Produktion und Verwendung interessieren die Physiologie oder die Medizin usw. Daher kann aus der Perspektive nur einer Disziplin die Einführung einer aus ihrem Wissen gewonnenen neuen Technologie kaum als ein Experiment interpretiert werden.

Die solchen disziplinspezifischen Wahrnehmungen entgegenstehende These, daß *die Anwendung von Wissen die Produktion von Wissen* sei, ist aus drei verschiedenen Perspektiven entstanden, die aber allesamt mit der Beschleunigung und Ausweitung der Wissensproduktion im 20. Jahrhundert zusammenhängen.

a) Die älteste Quelle ist vermutlich die Erfahrung, daß die Anwendung theoretisch modellierten Wissens nicht oder nur schlecht funktioniert. Dies hat schon innerhalb der Wissenschaft das Interesse hervorgerufen, die *Grundlagen der Anwendung* zu analysieren. Die hieraus entstandenen „Grundlagen-Anwendungstheorien“ bilden eine Gruppe der sogenannten „finalisierten“ Wissenschaften.²²⁾ Man kann an diesen Beispielen ablesen, daß die theoretische Arbeit an der Realisierung wissenschaftlicher Modelle unter „realistischen“ Randbedingungen wiederum zur Erzeugung von Modellen führt. Die praktische Orientierung von Forschung kann eigenständige und neuartige Theordynamiken in Gang setzen. Auch der von MacKenzie untersuchte Fall der Raketensteuerung zeigt, daß Tests u. a. durchgeführt werden, „um ein mathematisches Modell der Ursachen von Ungenauigkeiten im System zu entwerfen und es der entscheidenden ‚Verifikation‘ zu unterziehen; . . . zum Teil war Ziel der Testprozeduren, das Modell zu bewerten“.²³⁾

b) Die zweite Quelle, durch die die Interpretation von Implementierungen als Experimente der Wissenschaft entstanden oder geschult worden ist, ist die Verknüpfung verschiedener Disziplinen in der organisierten Forschung. Hier sind die bekannten Beispiele die Untersuchungen der Mediziner beim Abwurf der Bombe in Hiroshima. Strahlenschäden sind für die Physiker historisch-evolutionäre Folgen der Anwendung einer kontrollierten Technik; für die Mediziner ist der Abwurf ein Experiment über die Kurz- und Langzeitschäden hoher Strahlenbelastungen. Durch die organisationale Verdichtung werden nicht nur die Wahrnehmungen aufeinander bezogen, sondern auch die wissenschaftlichen Handlungen koordiniert.

c) Die Erkenntnis, daß die Implementierung neuen Wissens zugleich Erzeugung neuen Wissens ist, wird darüber hinaus seit etwa 15 Jahren durch die Wahrnehmung der Risiken von Innovationsstrategien gefördert. Innovationen nehmen dadurch den Charakter von Experimenten an, daß ihnen durch wissenschaftliche Begleitforschung eine Risikohaftigkeit zugeschrieben wird. Den Ausgangspunkt bilden negative Erfahrungen mit den Folgen, die die Implementation von vermeintlich erprobter Technik verursacht. Während der Bau des Assuan-Staudamms beispielsweise allenfalls als eine komplexe Technologie, nicht aber als ein Experiment mit der Ökologie eines Flußtales und eines Teils des Mittelmeeres angesehen wurde, gilt inzwischen jeder weitere als ein

²²⁾ Vgl. Böhme u. a. 1978.

²³⁾ MacKenzie 1988, S. 34f.

komplexes Experiment mit der Ökologie, dem Klima oder der Tektonik. Allgemein läßt sich formulieren, daß das vorherrschende Vertrauen in die Beherrschbarkeit von unerwarteten Folgen neuer Technologien und die damit verbundene Politik des Aufhäufens und Verschiebens von Zukunftsproblemen zusammengebrochen sind. Ob wissenschaftliche Prognostik zur Minderung der Risiken beiträgt, ist offen. Aber unbestreitbar nehmen Innovationen durch diese Prognostik und die Zuschreibung von Risikohaftigkeit durch wissenschaftliche (Begleit-)Forschung den Charakter von Experimenten an. Anders als in den oben diskutierten Fällen findet hier also keine Risikoverlagerung in die Gesellschaft, sondern eine Risikoerzeugung durch Forschung statt: Erst das Wissen um Gefährdungen und deren Zurechenbarkeit auf Handeln macht Gefahren zu Risiken.²⁴⁾

Die von Thematisierungswissenschaften (wie Technologiefolgenabschätzung, Risikoforschung, Sozialverträgliche Technikforschung) – vorgenommene Reformulierung der Gefahren des Wandels als Risiken der Einführung neuer Technologien ist ihrerseits Forschung. Wenn die Risiken der Implementierung neuen Wissens und die Bedingungen der Akzeptanz empirisch analysiert, simuliert oder theoretisch modelliert werden, konstruieren die beteiligten Wissenschaftler Forschungshypothesen, für die die Implementierungen dann experimentelle Designs sind. Nach dem Selbstverständnis dieser Wissenschaften (oder jedenfalls der Legitimationsfunktion der klassischen Risikoforschung) ist die zentrale Aufgabe zwar, Risiken zu antizipieren und deren Auftreten zu verhindern. Aber letztlich sind sie empirische Wissenschaften, die die Richtigkeit ihrer theoretischen Annahmen nur durch Erfahrungen und Experimente gewährleisten können.²⁵⁾

c) Zum Verhältnis von Risikotransformation und Risikokonstitution

Die bislang in dieser Abhandlung benutzte Verwendung des Experimentbegriffs ist kontraintuitiv, und sie macht einige konzeptionelle Klärungen erforderlich, bevor im nächsten Abschnitt konkrete Fälle angesprochen werden. Es wäre irreführend, durch eine extensive Verwendung des Experimentbegriffs praktisch jeglichem gesellschaftlichen Wandel experimentellen Charakter zuzuschreiben. Um die Trennschärfe des Begriffs ‚experimentelle Forschung‘ zu erhalten, binden wir ihn daher

- an die Ausformulierung von (wahrheitsfähigen) Hypothesen (über den Zusammenhang von Ereignissen, das Auftreten von Ereignissen, deren Wahrscheinlichkeit etc.);
- an einen organisierten Forschungsprozeß (als Abgrenzungskriterium gegenüber „Alltags-Forschung“);
- sowie an das Vorliegen einer experimentellen Situation, die als Überprüfung theoretischer Vermutungen dienen kann.

Es muß jedoch nicht die Forschung selbst sein, die die Experimente einrichtet. Diese *Entkoppelung von Implementator und Experimentator* verweist auf die analytische

²⁴⁾ Vgl. Luhmann o.J. Die politischen Implikationen der Luhmannschen Risikodefinition sind von Beck heftig kritisiert worden (1988, S. 639–641); Beck weist die Auffassung zurück, daß Risiken nur durch ihre Thematisierung entstehen. Um eine Reduktion des Begriffs ‚Risiko‘ auf Entscheidungsprozesse zu vermeiden, verwenden Bonß/Hohlfeld/Kollek den Begriff „Gefahren zweiter Ordnung“ (1988, S. 7).

²⁵⁾ Auf Basis dieser Erkenntnis hat Rip versucht, ein neues Selbstverständnis der Technikfolgenabschätzung unter dem Titel „constructive technology assessment“ (Rip/Belt 1988, Rip 1988 a&b) zu formulieren. Diesem Konzept zufolge kann (C)TA als ein Thematisierungsprozeß verstanden werden, der nur empirisch, d. h. durch die Konstruktion von Technik, zu dem angestrebten Ziel führt.

Notwendigkeit, die experimentelle Situation vom Akteur zu lösen und sie über die folgenden Merkmale zu bestimmen:

- 1) die Erstellung eines theoretischen Designs;
- 2) die Induzierung von Störungen;
- 3) die Kenntnis der relevanten Randbedingungen;
- 4) die Beobachtung von Effekten.

Wenn diese vier Bedingungen in koordinierter Form erfüllt werden, liegt ein Experiment vor, unabhängig davon, ob alle vier Momente in einer Handlungsstrategie zusammenfallen. Insofern kann auch nicht-wissenschaftliches Handeln Teil eines Experiments sein. Idealtypisch lassen sich alle vier Bedingungen im Forschungslabor durch eine Forschungsgruppe realisieren, während jedes Überschreiten der Laborgrenzen notwendigerweise den (teilweisen oder vollständigen) Verlust der innerwissenschaftlichen Kontrolle über Randbedingungen sowie die Art der induzierten Störungen mit sich bringt. Bekannt sind diese Beschränkungen aus der traditionellen, beschreibend verfahrenen Naturforschung (z. B. astronomische Beobachtung), die in diesem Sinne nicht-experimentelle Forschung ist, da die Variablen 2 und 3 nicht der autonomen Kontrolle der Wissenschaft unterliegen; hier sind allenfalls Quasi-Experimente möglich. Auch für die soziologische Feld-Forschung in der modernen Gesellschaft ist es weitgehend unmöglich, die Randbedingungen den Hypothesen gemäß einzurichten und eine autonome Kontrolle der Wissenschaft über den Ablauf der Prozesse zu realisieren. Die Sachlage, die hier interessiert, zeichnet sich nun häufig dadurch aus, daß Störungen auf kontrollierte Weise induziert werden, aber nicht unbedingt durch den Experimentator, der mit ihrer Hilfe relevante Erkenntnisse erzeugt. Im erwähnten Fall der Abholzung der Amazonas-Wälder sind die hypothesenprüfenden Wissenschaftler (über Veränderungen des lokalen und globalen Klimas, u. ä.) und die Implementatoren (die brasilianischen Behörden, Konzerne und Bauern) entkoppelt. Um solche Formen der Forschung von anderen nicht-wissenschaftlichen Vorgängen abzugrenzen, muß zumindest ein organisierter Forschungsprozeß vorliegen, in dem die beteiligten Wissenschaftler theoretische Designs entwerfen und die entstehenden Effekte beobachten. Für die Analyse typischer experimenteller Implementationen ist es daher unvermeidlich, den akteurzentrierten Experimentbegriff, der eine Integration aller experimentellen Handlungen in der Forschungsstrategie einer Person oder Personengruppe verlangt, durch eine Betrachtung der sozialstrukturellen Ausprägungen unterschiedlicher Experimentalanordnungen abzulösen.

Grundsätzlich gibt es zwei Wege, auf dem die Wissenschaft die Grenzen des Labors überschreitet: Die Form der Implementation von Technik oder die der Reflexion von Handlungen. Beide führen von unterschiedlichen Ansatzpunkten zu dem gleichen Resultat: Zur Nutzung der Gesellschaft als Labor zur Erzeugung neuen Wissens. Wir betrachten die erste Alternative unter dem Begriff der Risikotransformation, die zweite unter dem der Risikokonstitution.

Unter *Risikotransformation* fassen wir den Vorgang, daß moderne Forschung der Gesellschaft die Risiken des Fehlschlages von Experimenten auflädt, wenn sie Experimente in der realen Welt bzw. mit der realen Welt betreibt, d. h. Effekte von gezielten Störungen in einem Praxisbereich beobachtet, dessen Randbedingungen sie nicht exklusiv gestalten kann. Biologische Freisetzungsvorversuche genetisch manipulierter Bakterien bilden einen typischen Fall für solche Experimente, die das Risiko des Fehlschlages nicht räumlich und ökologisch begrenzen können, sondern zum Test der Um-

welt (z. B. ihrer Absorptions- oder Regenerationsfähigkeit) werden. Eine ähnliche Situation ergibt sich bei der Erprobung großer Technologien, bei denen das Wissen über die Funktionsfähigkeit dieser Technik trotz der Überprüfbarkeit einzelner Komponenten erst im Verlauf der Implementation experimentell generiert wird.²⁶⁾ Atomkraftwerke stehen als Beispiele für eine Technik, die zwar, ähnlich wie bei mittelalterlichen Kathedralen, Baureihen kennt, deren Einzelexemplare jedoch für sich selbst Modell stehen.²⁷⁾ Aussagen über die Funktionssicherheit solcher Unikate sind letztlich an die Beobachtung des Einzelfalles gebunden; ihre Risiken können theoretisch nur unzureichend modelliert werden.²⁸⁾ Das paradoxe Ergebnis ist: Je sicherer eine Technik sein soll, desto wichtiger werden Unfälle als Basis neuen Wissens.²⁹⁾

Komplementär zur Verschiebung der Forschungsrisiken (i. e. der Risiken von ‚wahr‘ und ‚falsch‘) verläuft der Prozeß der *Risikokonstitution*. Im Falle der Risikotransformation dringen „Primär“-Wissenschaften über eine Ausdehnung des Bereichs von ihr modellierter experimenteller Störungen in die Wirklichkeit vor. Im Fall der Risikokonstitution vollzieht sich dieser Prozeß über die Wahrnehmung von Veränderungen (Implementierungen), die zunächst gar nicht mit Problemen ungesicherten Wissens belastet zu sein scheinen; indem sie nachträglich in ein „sekundäres“³⁰⁾ Forschungsdesign eingebettet werden, wird ihnen jedoch eine neue Bedeutung zugeschrieben. Verantwortlich für diesen Vorgang der Problem-Reformulierung sind „Thematisierungswissenschaften“; die Vorgänge in ihrer Umwelt (etwa die Freisetzung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen) beobachten und Hypothesen über die Effekte dieser Veränderungen aufstellen. Sie führen Quasi-Experimente im oben beschriebenen Sinne durch, welche jedoch im Gegensatz zur Forschung an Naturvorgängen eine eigene Dynamik entwickeln: Durch Thematisierung der Probleme und Formulierung von Hypothesen und die dadurch meist ausgelöste öffentliche Diskussion greift Wissenschaft in das Geschehen ein und verändert die Bedingungen des Handelns der Implementatoren. Sie schreibt diesem Handeln die Bedeutung zu, riskant zu sein, und schafft auf diese Weise Rechtfertigungszwänge sowie Verantwortungslasten auf Seiten der Implementatoren. Zugleich wird Wissenschaft durch risikokonstituierende Thematisierungen praktisch; sie verläßt den Freiraum des Probehandelns; denn ihre Aussagen werden zu wesentlichen

²⁶⁾ Wynne hat überzeugend dargelegt, in welchem Maße der ‚normale‘ Umgang mit Technik experimentellen Charakter hat (1988, S. 152).

²⁷⁾ Valk vergleicht die SDI-Software mit mittelalterlichen Kathedralen, da beide Techniken durch einen experimentellen Charakter ihres Designs sowie häufige Systemzusammenbrüche gekennzeichnet sind. (1987)

²⁸⁾ Wynne hat hierfür den Begriff „Prototyp-Technologie“ (1988, S. 153) verwendet.

²⁹⁾ Wynne bezweifelt unter Verweis auf die Fragmentierung von Technologie (1988, S. 154), daß Experten sich Wissen über komplexe Technologien durch „stetige Akkumulation empirischen Wissens aus Präzedenzfällen“ (S. 157) aneignen können. Tatsächlich gibt es jedoch drei Lern-Stile: 1) Praktisches Know-how, wie man eine Anlage „fährt“, wird vom Betriebspersonal durch stetige rekursive Akkumulation von Wissen erworben. Es ist unersetzlich für die Bewältigung alltäglicher Probleme und Störfälle; Wynne benutzt dafür den Begriff „informelle Regeln“ (S. 157). 2) Wissenserwerb durch Generalisierung typischer Fehler findet statt, wenn bestimmte Aspekte komplexer technischer Systeme von Technikern und Wissenschaftlern isoliert und mit Blick auf die Konstruktion neuer (Prototyp-)Anlagen analysiert werden. 3) Schließlich kann kontextuelles Know-how in andere Kontexte übertragen werden.

³⁰⁾ Beck 1982 hat im Kontext der Debatte um das Konzept der Verwissenschaftlichung den Begriff „Sekundärverwissenschaftlichung“ geprägt, der den reflexiven Bezug von Wissenschaft auf wissenschaftlich gestaltete Praxis bezeichnet.

Randbedingungen etwa des wirtschaftlichen oder politischen Erfolges anderer Akteure.³¹⁾ Die Wissenschaft ihrerseits sieht sich mit ungewohnten Verantwortungsansprüchen konfrontiert; die Folge könnte z. B. sein, daß gegen theoretisch gestützte Behauptungen von Wissenschaftlern über Unfallrisiken Unterlassungsklagen angedroht werden.³²⁾ Der Mechanismus der Risikokonstitution verstärkt die Tendenz, technische Innovationen als Erprobungen wahrzunehmen, und es gilt als Erfolg, wenn Begleitwissenschaften in als riskant eingestufte Implementationsprozesse einbezogen werden, um neuen Risiken präventiv zu begegnen. Auf diese Weise findet eine zunehmende Verwissenschaftlichung technischer Implementationen statt, durch die immer mehr Aspekte mit Forschungshypothesen belastet werden. Es wird damit zugleich deutlich, daß die Gesellschaft in ihren Risikowahrnehmungen auf die wissenschaftliche Expertise angewiesen ist und Risiken erst durch wissenschaftliche Reflexion ‚erzeugt‘ werden.³³⁾

Die Konsequenzen von Risikotransformationen und Risikokonstitutionen sind vielfältig. Für die Primärwissenschaften wirkt die Risikozuschreibung tendenziell im Sinne eines Legitimationentzuges; es drohen Forschungsverbote. Die bekannten Auswege aus dieser Situation sind: die Rückverlagerung der Forschung aus dem ‚Feld‘ ins Labor, eine weitergehende (Sekundär-)Verwissenschaftlichung technischer Implementationen oder die Beschaffung von Ersatzlegitimationen durch Kopplung an andere Akteure und deren Interessen. Sekundärwissenschaften ihrerseits geraten durch ihre Involvierung in Implementationsprozesse in Zwänge, die tendenziell zur professionellen Behandlung der Problemlage führen. Gelingt es z. B. den Wissenschaftlern, die vor den ökologischen Folgen der industrialisierten Robbenjagd warnen, ihre Forderungen in die Praxis umzusetzen (wie in den 70er Jahren), so stehen sie nun ihrerseits in der Verantwortung, die Folgen eines solchen Eingriffs theoretisch zu modellieren und zu prognostizieren. Erfolgreiche Sekundärwissenschaften werden auf diese Weise zu Primärwissenschaften, die nun ihrerseits den experimentellen Charakter ihres Tuns vor dem Hintergrund neuer Folgen und deren Thematisierung (etwa der ökologischen und ökonomischen Folgen der unkontrollierten Ausbreitung der Robben in norwegischen Fischfanggebieten) rechtfertigen müssen. Sekundärwissenschaften werden so zu empirischen Wissenschaften und paradoxerweise zu Experimentalwissenschaften.

Das Wechselspiel zwischen Implementation und Reflexion ist ein dynamischer Prozeß, der die einzelnen Disziplinen in unterschiedlicher Weise erfaßt. Die beiden Seiten des Prozesses sind daher auch nicht auf die Grenzziehung ‚Sozial- versus Naturwissenschaften‘ abbildbar, denn im Falle der Strahlenmedizin oder der Embryonenforschung ist die Wissenschaftlergemeinschaft der betreffenden Disziplinen gespalten: Primärforschung und Sekundärbeurteilung sind Teile einer Disziplin.

3. Zur Typologie der Forschungsdesigns

In diesem Abschnitt werden einige Beispiele für experimentelle Implementierung dargestellt, die die unterschiedlichen Wege illustrieren, auf denen Wissenschaft die

³¹⁾ Vgl. Campell 1985.

³²⁾ Dies widerfuhr Jens Scheer (Universität Bremen), Spezialist für das Gebiet ‚Gesundheitsschäden durch Niedrigstrahlung‘, aufgrund seiner Kritik am Atomreaktor Stade (persönliche Information).

³³⁾ Dies führt zu folgendem Dilemma: Die Risikoforschung kann gegen ihren Willen zur Verstärkung der öffentlichen Risikodiskussion beitragen, da die Analyse unwahrscheinlicher Fälle die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit auf deren reale Möglichkeit erst weckt. Vgl. dazu: Weinberg 1972 (S. 219) und Wynne 1988 (S. 162).

Grenzen der Laborforschung überschreitet. Wir unterscheiden fünf Kategorien des experimentellen Verhaltens, denen unterschiedliche Erkenntnisinteressen und Forschungsprobleme entsprechen. Die Beispiele sollen auch belegen, daß die Partizipation der Wissenschaftler an den experimentellen Implementierungen immer in komplexen Netzwerken stattfindet. Dies hat nicht nur Folgeprobleme für die Forschung, sondern ergibt gerade auch Gelegenheiten für Experimente, die im Netz der wissenschaftlichen Institutionen allein nicht durchführbar wären. Unser Hauptziel ist die Darstellung einiger einschlägiger Fälle von Forschungsprozessen und ihrer experimentellen Designs, wobei wir uns auf die Effekte konzentrieren, die aufgrund ihrer Natur unter Laborbedingungen nicht oder nur teilweise untersucht werden können.

a) Unfälle in komplexen technischen Anlagen

Wie oben schon erwähnt, sind die Unfälle in komplexen Anlagen selten völlig überraschend. Ihre Wahrscheinlichkeit und ihr Verlauf wurden theoretisch modelliert, und zwar auf der Basis eines empirischen Wissensbestands, der seit der Einführung der Dampfmaschine durch Forschungen zu Sicherheitsproblemen gewachsen ist. Hauptgrund dafür, daß diese Sicherheitsforschung nicht in das Laboratorium eingegrenzt werden kann, ist der Umstand, daß mit keiner Theorie Annahmen über das Risiko formuliert werden können, bestimmte Risiken *nicht* zu betrachten. Clifford Beck, Abteilungsleiter der US Atomic Energy Commission (AEC) und Vorsitzender eines Gremiums zur Revision des ersten AEC-Sicherheitsreports aus dem Jahre 1957 (WASH-750) schrieb 1965 in einem internen Memorandum: „There is even not in principle an objective and quantitative method of calculating probability of improbability of accidents or the likelihood that potential hazard will or will not be taken.“³⁴) Becks Punkt war, daß nur bei Annahme bestimmter Unfallbedingungen Berechnungen des Risikos möglich sind, so daß im Prinzip das Auswahlverfahren für diese Bedingungen nicht berechenbar ist. Obwohl dieser Skeptizismus des Memos sich nur in sehr abgemildeter Form im offiziellen Bericht wiederfindet, wurde dessen Veröffentlichung erst durch ein Rechtsverfahren aufgrund des „Freedom of Information Act“ im Jahre 1973 erzwungen. Tatsächlich erwiesen sich Kernkraftwerke als gutes Anschauungsmaterial für die These: 1975 ereignete sich im Reaktor „Browns Ferry“ der schwerwiegendste Unfall vor Harrisburg aufgrund des völlig unerwarteten Umgangs mit einer Kerze in einem Kabeltunnel. Die Sicherheitsstudie von 1974 („Rasmussen-Report“) führte Kabelführungsbrände noch nicht einmal unter den möglichen Ursachen eines größeren Unfalls auf, geschweige denn das Herumspielen mit einer Kerze. In einem Memorandum des US Nuclear Safety Commission von 1977 wurde dann festgestellt, daß Simulationstests der elektrischen Sicherheitssysteme, durchgeführt mit den durch den „Brown Ferry“-Unfall geänderten Annahmen, schwerwiegende Sicherheitsmängel in praktisch allen amerikanischen Reaktoren ergaben.³⁵)

Ironischerweise können Wissenschaftler in Ländern mit einer weniger entwickelten Risikodiskussion die Tatsache verhältnismäßig offen aussprechen, daß die Qualität des Sicherheitswissens durch ein solches Lernen am Objekt allmählich gesteigert wird. In einer Studie führender Sicherheitsexperten der DDR heißt es: „In der Literatur sind fundierte Abschätzungen des Gesamtkraftwerkrisikos nicht veröffentlicht. Die Bestimmung dieses Risikos bleibt ein lohnendes Ziel der Kerntechnik, dem man sich nur

durch mehrjähriges sorgfältiges Sammeln und Auswerten der Betriebserfahrungen der bestehenden Kraftwerke nähern kann.“³⁶)

Das Dilemma des Lernens aus Unfällen, die theoretisch ausgeschlossen sein sollen, läßt sich in vielen Bereichen illustrieren. Im folgenden wählen wir ein jüngeres Beispiel aus dem Bereich Luftverkehr. Diese in hohem Maße *zuverlässige Alltags-Technik* unterliegt einer hohen öffentlichen Aufmerksamkeit, was zur ständigen Forderung nach Reduzierung noch bestehender Risiken durch Einführungen von Sicherheitskomponenten und Redundanzen in den Flugzeugen und den Flugkontrollzentren führt.³⁷) Trotz der hohen Zuverlässigkeit des technischen Systems „Luftverkehr“ gibt es jedoch keinen Ersatz für den Mechanismus, durch Unfälle neues Wissen über die Funktionsweise des Systems zu erwerben. Am 8. Januar 1989 stürzte eine Boeing 737-400 der British Midland Airways ab, wobei 44 Menschen getötet wurden.³⁸) Hauptursache war die „unvorhersehbare“ Kopplung des Versagens dreier Komponenten, wovon zwei Sicherheitskomponenten sind: 1. Zunächst begann eines der CFM-56-3-Triebwerke des zweistrahligen Flugzeuges zu brennen. Normalerweise ist dies kein ernsthaftes Problem, da das Triebwerk abgestellt und automatisch gelöscht werden und das Flugzeug mit nur einem funktionsfähigen Triebwerk bis zum nächsten Notflughafen fliegen kann. 2. Der Pilot stellte das falsche Triebwerk ab, weil, wie vermutet wird, das Feuerwarnsystem möglicherweise falsch verkabelt war. Das brennende Triebwerk explodierte dann beim Landeanflug (als es maximale Leistung erbringen mußte), und führte zum Absturz. 3. Die Flugzeugbesatzung überprüfte das Warnsignal offensichtlich nicht ordnungsgemäß, denn sonst hätte sie die Fehlmeldung durch Gegenkontrolle entdecken können. Man nimmt an, daß Pilot und Copilot dadurch in Verwirrung gerieten, daß ihnen ein Zwischenfall gemeldet wurde, den sie noch nie unter realistischen Umständen trainiert hatten: „Die Flugbesatzungen und das Ausbildungspersonal hatten Probleme, ein Szenario zu konstruieren, das den bekannten Fakten entsprach.“³⁹)

Die bekannten Fakten waren: Das bis Ende 1988 in einer Stückzahl von 2 800 Exemplaren gebaute Triebwerk CFM-56-3 war bereits vor dem Unfall als problematisch eingestuft. 1987 und 1988 hatte es verschiedene Zwischenfälle gegeben⁴⁰), und die amerikanische Aufsichtsbehörde FAA empfahl daher, CFM-56-3-angetriebene Flugzeuge nicht bei hoher Luftfeuchtigkeit und Temperaturen unter 10°C zu fliegen. Das Betreiben solcher Flugzeuge kann also als ein implizites Experiment rekonstruiert werden, dessen Aufgabe es war, erstens das technische System (die von CFM-56-3 angetriebene Boeing 737-400⁴¹) unter realistischen Bedingungen und vermutlich auch jenseits der von der FAA gesetzten Grenzen zu testen, wobei z. B. statistische Effekte, wie die Gesamtrate der Triebwerksausfälle („overall in-flight shutdown rate“) ermittelt werden

³⁶) Kunze/Eichhorn (1973, S. 336).

³⁷) Vgl. dazu auch La Porte (1988).

³⁸) Quellen: Aviation Week & Space Technology (im folgenden: AW&ST), 16. 1. 1989, S. 60–61; 30. 5. 1988, S. 123; 6. 6. 1988, S. 87; FAZ 10. 1. bis 17. 1. 1989; Neue Westfälische 23. 1. 1989.

³⁹) AW&ST, 16. 1. 1989, S. 61.

⁴⁰) 1988 fielen beide Triebwerke einer Boeing 737-300 während des Fluges aus, woraufhin die Maschine eine Landung ohne Antrieb durchführen mußte. (AW&ST, 30. 5. und 6. 6. 1988) Dieser Zwischenfall widerlegte die nach dem British Midland-Unfall immer wieder vorgebrachte Annahme der Experten, daß ein gleichzeitiger Ausfall beider Triebwerke kaum möglich sei.

⁴¹) Nach Hughes bestehen technische Systeme aus technischen *und sozialen* Komponenten (1987).

³⁴) Ford (1978, S. 10). Diesem Papier und einigen weiteren Dokumenten aus dem Archiv der „Union of Concerned Scientists“ sind die weiteren Informationen des Abschnitts entnommen.

³⁵) Vgl. Ford 1978 (S. 50ff.).

konnten; und zweitens Hypothesen bezüglich der Sicherheits- und Notfallsysteme vor allem an der Mensch-Maschine-Schnittstelle zu überprüfen.

b) Verbesserung von Prototypen

In engem Zusammenhang mit der Kategorie ‚Lernen durch Unfälle‘ steht das Testen von komplexen Technologien unter realistischen Bedingungen, wenn dies auch nicht notwendigerweise mit der Modellierung von Risiken und Sicherheit verbunden sein muß. Hier geht es entweder um singuläre Modelle („Unikate“), die als Einzelfälle kontrolliert und verbessert werden (Beispiel: Kernkraftwerke, Staudämme) oder um Bau-reihen, deren Exemplare allmählich verbessert werden (Beispiel: Flugzeuge). Wiederum sind Kernkraftwerke die eindrucksvollsten Beispiele: Sowohl der Hochtemperaturreaktor in Hamm-Uetrop, als auch der Schnelle Brüter in Kalkar werden gelegentlich korrekt als Forschungsreaktoren bezeichnet.⁴²⁾ Der HTR dient dem Studium des Konzepts der „intrinsic Sicherheit“, der Brüter dem des Plutoniumkreislaufs.

Wir wollen ein Beispiel aus dem Bereich des Militärs analysieren. Hier ist grundsätzlich bekannt, daß viele technische Systeme nur *in Ernstfallsituationen getestet* werden können, d. h. in Situationen, in denen sie maximale Leistung erbringen sollen, was jedoch weder antizipiert noch simuliert werden kann. Im Fall der SDI-Software war es z. B. für viele Experten von Anfang an klar, daß eine fehlerfreie Konstruktion unmöglich ist, und daher ihre erste *wirkliche* Anwendung zur Katastrophe führen müsse.⁴³⁾ Unser Beispiel ist ein „Mini-SDI“ mit dem Namen *Aegis* – gelegentlich auch als „Star Wars at Sea“ apostrophiert. *Aegis* ist auf mehreren Schiffen der US-Marine installiert und soll nach Angaben seiner Konstrukteure in der Lage sein, „über Stunden (den) gleichzeitigen Angriff mehrerer Überwasserschiffe, einer Reihe von Unterseebooten und hunderter von Flugzeugen und Raketen“⁴⁴⁾ abzuwehren. Während eines ersten Feldversuches wurden jedoch „wegen fehlerhafter Software sechs von 16 Zielen verfehlt“.⁴⁵⁾ Seitdem ist *Aegis* mehrfach in Realsituationen getestet worden und hat dabei sowohl die Einwände der SDI-Kritiker bestätigt als auch das soziale Dilemma impliziter Experimente demonstriert: Mehrere hundert Menschen wurden 1987 und 1988 getötet, weil *Aegis* nicht richtig funktionierte.

Der Angriff amerikanischer Schiffe und Flugzeuge auf Libyen im März 1986 bot die erste Gelegenheit, *Aegis* unter Realbedingungen zu erproben.⁴⁶⁾ Es stellte sich dabei heraus, daß die von Libyen benutzten alliierten Raketen in die *Aegis*-Software nicht einprogrammiert waren; das System war für eine Konfrontation mit sowjetischer Technik ausgelegt.⁴⁷⁾ Am 17. Mai 1987 wurde das US-Kriegsschiff ‚Stark‘ im Persischen Golf von zwei Exocet-Raketen getroffen, die ein irakisches Kampfflugzeug abgeschossen hatte. 37 Seeleute wurden somit bei einem Vorfall getötet, dessen Verhinderung Grundlage des *Aegis*-Konzepts war. Der Report des Armed Service Committee stellte fest, daß das irakische Kampfflugzeug von der ‚Stark‘ mehr als eine Stunde vor dem Angriff entdeckt, aber nicht ernst genommen worden war, weil der Irak nicht als feindlich galt. Die Exocet-Raketen, die eigentlich von *Aegis* mit Leichtigkeit hätten abgeschossen werden können, wurden deshalb nicht identifiziert, weil das Schiff nicht „mit

⁴²⁾ Vgl. FAZ, 20. 1. 1989, S. 15.

⁴³⁾ Vgl. Parnas 1986, Nelson/Redell 1986, Valk 1987, Lin 1986.

⁴⁴⁾ Vgl. Der Spiegel, 11. 7. 1988, S. 116.

⁴⁵⁾ Lin 1986, S. 37.

⁴⁶⁾ Vgl. FAZ, 26. 3. 1986, S. 3.

⁴⁷⁾ A W & ST, 25. 5. 1987, S. 25; vgl. auch A W & ST, 2. 6. 1986, S. 63.

der Breitseite auf die anfliegende Mirage ausgerichtet worden war“⁴⁸⁾ und die Schiffsaufbauten einen blinden Fleck auf dem Radar produzierten. Am 4. Juli 1988 versagte *Aegis* wieder, als das US-Kriegsschiff ‚Vincennes‘ einen Iranischen Airbus abschloß, wobei 290 Menschen ums Leben kamen. *Aegis* hielt den Airbus für eine das Schiff angreifende F-14. Die Überprüfung attestierte dem System einwandfreie Funktionen und gab menschlichem Versagen die Schuld.⁴⁹⁾ Wie immer steht eine solche Interpretation auf fraglichem Fundament: Wenn die Mensch-Maschine-Schnittstelle fehlerhaft konzipiert wird, weil ausreichende Daten über das Verhalten von Mensch und Maschine unter Realbedingungen nicht zur Verfügung stehen, handelt es sich eher um menschliches Versagen bei den Konstrukteuren als bei den Anwendern.⁵⁰⁾ Die Datenbänder der ‚Vincennes‘ belegen, daß ein im Steigflug und nicht im Sinkflug befindliches Flugzeug geortet worden war. Das Kampfinformationszentrum hatte jedoch eine Maschine im Sinkflug gemeldet, die zudem gewisse militärische Charakteristika besitze, und so den Kapitän des Schiffes bewogen, den Abschluß zu befehlen. Es wurde jedoch später die Frage aufgeworfen, „ob das System die Informationen schnell genug verarbeitet und eine zweifelsfreie Analyse . . . des Flugzeuges zur Verfügung stellen könne“.⁵¹⁾ Und weiterhin wurde gefragt, weshalb ein High-Tech-Radar, das anfliegende Objekte in Größenordnungen von einigen zehn Zentimetern vermessen kann, nicht in der Lage war, einen 54 Meter langen Airbus von einer 19 Meter langen F-14 zu unterscheiden.⁵²⁾ Eingehendere Untersuchungen ergaben, daß *Aegis* bereits einige Tage zuvor teilweise zusammengebrochen war.⁵³⁾ *Aegis* war offensichtlich nicht in der Lage, innerhalb von acht Minuten zuverlässige Informationen über die Charakteristika eines einzigen Objektes zur Verfügung zu stellen. Und im Falle der ‚Stark‘ konnte es Objekte, die aus bestimmten Winkeln anfliegen, nicht bekämpfen. All dies stellt die behauptete Fähigkeit zur simultanen Bekämpfung mehrerer hundert Ziele in Frage.

Wie *Aegis* in solchen Kriegsszenarien (die im Vergleich zu einem wirklichen Krieg Sandkastenspiele sind) funktioniert, kann nicht anders ermittelt werden als durch implizite Experimente, in denen die Konstrukteure wichtige Erfahrungen sammeln. Die Experimente mit *Aegis* offenbarten, daß das System nur für einen unerwartet kleinen Anwendungsbereich geeignet ist: Weder eine Konfrontation mit alliierten Waffen noch ein Kampf in engen Gebieten wie dem Persischen Golf waren im Design vorgesehen.⁵⁴⁾

c) Langzeit- und Akkumulationseffekte

Die bisherigen Fälle bezogen sich auf Theorien über die Sicherheit und Verlässlichkeit technischer Implementierungen. Die Analyse von Akkumulationseffekten hat es dagegen mit den Wirkungen künstlich erzeugter Substanzen zu tun. Die Erkenntnisinteressen sind auf zwei Problemkreise ausgerichtet: Auf die physiologischen und psychischen Effekte von (normalerweise) geringen Quantitäten einer Substanz oder kleiner Dosen von Strahlungen sowie auf die Zerstörung der natürlichen Ressourcen durch Abfälle, Nebenprodukte und nicht entsorgten Müll. Häufig überlagern sich die Problemkreise.

⁴⁸⁾ A W & ST, 22. 6. 1988, S. 32 (Zitat aus dem Report).

⁴⁹⁾ A W & ST, 29. 8. 1988, S. 21–22.

⁵⁰⁾ Vgl. dazu Perrow 1988, S. 181.

⁵¹⁾ A W & ST, 18. 7. 1988, S. 23.

⁵²⁾ Der Spiegel, 11. 7. 1988, S. 117.

⁵³⁾ FAZ, 4. 8. 1988; A W & ST, 29. 8. 1988, S. 21.

⁵⁴⁾ Konteradmiral a.D. Eugene Carrol laut Der Spiegel, 11. 7. 1988, S. 115.

In dem frühen und bekannten Beispiel des Insektizids DDT⁵⁵⁾ wurde durch die wissenschaftliche Analyse schrittweise die Akkumulation in den Fettgeweben von Tieren und Menschen, die Übertragung auf Neugeborene, die Ansammlung in den Gewässern und die Entwicklung resistenter Insektenmutanten entdeckt. 1948, als die Karriere von DDT gerade begann, warnte die amerikanische Medical Association, daß die chronischen Wirkungen „vollkommen unerforscht“⁵⁶⁾ seien. 1960 wurde festgestellt: „Es ist eine auffällige Tatsache, daß die Kenntnis der Wirkungsweisen selten dem Gebrauch irgendeines Insektizids vorherging. Selbst heute wissen wir nicht genau, wie DDT seine toxische Wirkung entfaltet.“⁵⁷⁾ Da die zur Diskussion stehenden Effekte nicht Eigenschaften der Substanzen selbst, sondern emergente Eigenschaften ihrer Wechselwirkungen mit komplexen Umgebungen sind, können sie nur unzulänglich im Labor aufgeklärt werden. Weder weiß man genau, auf was man zu achten hat, noch wie lange. Auch sind die Sample für breite epidemiologische Analysen nicht in die Maßstäbe des Labors zu bringen.

Ein weiteres Beispiel deckt den nahezu kriminellen Beigeschmack impliziter Experimente auf. 1986 gab das Subcommittee on Energy Conservation and Power des U.S. Repräsentantenhauses einen Bericht mit dem Titel „American Guinea Pigs: Three Decades of Radiation Experiments with U.S. Citizens“ heraus.⁵⁸⁾ Der Bericht beschreibt eine Serie von z.T. koordinierten Experimenten, die mit dem Zweck durchgeführt wurden, Wissen über die Effekte verschiedener Strahlendosen auf Menschen zu erwerben. Die meisten von dem amerikanischen Bericht aufgeführten Fälle sind ‚klassische‘ Laborexperimente, die wegen der Verletzung spezieller Gesetze sowie der Menschenrechte hätten verfolgt werden können. Aber einige Fälle sind komplexe implizite Experimente: Von Mai 1963 bis November 1965 fand, gefördert von der Atomic Energy Commission, eine Reihe von Experimenten in der National Reactor Testing Station in Idaho statt, um „das Wissen über den Transport radioaktiven Jods ... durch die Sequenz Luft-Vegetation-Kuh-Milch in die Nahrungskette des Menschen zu verbessern. Diese Informationen wurden benötigt, um Kriterien für die Standortwahl von Reaktoren zu entwickeln ... und die Planung von Rettungsmaßnahmen nach einem Strahlenunfall zu unterstützen.“⁵⁹⁾ Die betroffenen Personen wurden entweder durch Inhalation auf der genau beobachteten Test-Wiese der Strahlung ausgesetzt, oder sie mußten Milch von Kühen trinken, die mehrere Tage auf der sogenannten „heißen Wiese“ gegrast hatten. Alle Details wurden wissenschaftlich ausgewertet, und das experimentelle Design wurde in den folgenden Tests mehrfach geändert, damit man unterschiedliche Effekte beobachten konnte.⁶⁰⁾ Andere Versuchsanordnungen im Jahr 1956 schickten Flugzeuge der US-Luftwaffe durch verstrahlte Wolken.⁶¹⁾ Im Jahr 1963 wurde der Columbia River, an dem der Hanford-Reaktor liegt, gezielt verseucht, um eine „Methode zur Messung der Belastung des menschlichen Körpers durch niedrigstrahlende Nuklide“⁶²⁾ zu entwickeln. Personen, die Fisch aus dem Fluß gegessen hatten, wurden systematisch untersucht.

⁵⁵⁾ Das Standardwerk für dieses Thema ist Carson 1964; vgl. auch Dunlap 1981.

⁵⁶⁾ Dunlap 1981.

⁵⁷⁾ Dunlap 1981.

⁵⁸⁾ Subcommittee 1986, auszugsweise veröffentlicht als „Atomare Versuchskaninchen. Drei Jahrzehnte Strahlenexperimente an US-Bürgern“ (1987).

⁵⁹⁾ Subcommittee 1986 (S. 2).

⁶⁰⁾ S. 23.

⁶¹⁾ S. 28.

⁶²⁾ S. 34.

Der Bericht des Komitees legt offen, daß diese Tests wissenschaftliche Experimente mit der Ökologie und der menschlichen Gesundheit waren. Sie hatten ein explizites Forschungsdesign, und sie wurden mit wissenschaftlichen Geräten zur Datenerfassung überwacht. Sie wurden durchgeführt, um Tatsachen über einen Realitätsbereich zu erforschen, der sowohl ein neues Wissenschaftsgebiet als auch ein Gebiet für neue technische Anwendungen im zivilen wie militärischen Sektor eröffnete. Ferner waren die Experimente Teil eines umfassenden Forschungsprogramms der Nuklearphysiologie, das in den USA von Institutionen wie dem Manhattan Project, dem MIT, Los Alamos, der Universität Rochester, dem Massachusetts General Hospital, der Universität Chicago und anderen durchgeführt wurde.⁶³⁾

Ein anderes, lang andauerndes Forschungsprogramm, ausgeführt im offenen Feld nicht-wissenschaftlicher Institutionen, ist die Erforschung des „Dioxin“.⁶⁴⁾ Dioxin wurde als unerwünschtes Nebenprodukt von Herbiziden und Holz-Konservierungsmitteln entdeckt, deren Basis 2,4,5-trichlorphenol ist. Die Mittel kamen um 1950 auf den Markt und wurden hauptsächlich von Boehringer in Hamburg und Dow Chemicals und Monsanto in den USA hergestellt. Unerwartete Massenausbrüche der Hautkrankheit Chlorakne unter den Arbeitern wurden 1949 nach einem chemischen Reaktorunfall bei Monsanto in West-Virginia entdeckt; sie traten ebenfalls zahlreich unter normalen Produktionsbedingungen bei Boehringer in Hamburg auf.⁶⁵⁾ Der von der Universitätsklinik in Hamburg hinzugezogene Experte Schulz identifizierte die ursächliche Substanz als 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin, das sich schon in einer Verdünnung von nur 0,001 Prozent einer auf Kaninchenohren aufgetragenen Lösung als wirkungsvoll für die Entstehung von Hautkrankheiten und inneren Schädigungen erwies. Für diese Substanz, die zu den zwei gefährlichsten jemals entdeckten Stoffen zählt, spielte sich die Kurzform „Dioxin“ ein.

Die Verfabrensingenieure bei Boehringer entwickelten ein neues Produktionsverfahren, durch das das Nebenprodukt praktisch (nach den damaligen Messungen) nicht mehr anfiel. Die wissenschaftlichen Ergebnisse wurden in dem weltweit führenden Organ der industriellen Chemie, „Chemical Abstracts“⁶⁶⁾ 1958 veröffentlicht. Schon im vorhergehenden Jahr sandte Boehringer einen Brief an alle bekannten Produzenten der Welt, in dem die Firma die Gefahren spezifizierte und das neue Produktionsverfahren anbot.

Bis zu diesem Punkt ist das Beispiel typisch für den Zwang der chemischen Industrie, die gesundheitsgefährdenden Eigenschaften neuer Substanzen *während* des Produktionsprozesses zu recherchieren. Die Freisetzung von Tausenden dieser Stoffe pro Jahr macht eine unmfassende und verlässliche antizipatorische Kontrolle praktisch unmöglich. Gerade weil es sich um eine science-based industry handelt, ziehen sich hier in eklatanter Weise die Risiken der Forschung in den industriellen Prozeß hinein. Zwar können Laborexperimente und kontrollierte Feldversuche die Risiken mindern. Aber es wäre eine Illusion im Grundsatz zu glauben, daß alle Faktoren für Neben- und Langzeitwirkungen vorweg hinreichend verlässlich erkannt werden könnten. Hinzu kommt, daß auch die statistischen Modelle der Extrapolation umstritten sind. Gemäß einer Unterscheidung, die Schneiderman zwischen „gewissen“, i.e. kalkulierbaren, und „ungewissen“ Risiken getroffen hat, müssen neue chemische Substanzen grundsätzlich unter die ungewissen Risiken klassifiziert werden.⁶⁶⁾

⁶³⁾ S. 2–4.

⁶⁴⁾ Hauptquelle für das folgende ist Trost 1984.

⁶⁵⁾ Vgl. Trost 1984, S. 54–60.

⁶⁶⁾ Vgl. Schneiderman 1979, S. 19ff.

Die Forschung über Dioxin hat mit den Entdeckungen bei Boehringer keineswegs ihren Abschluß gefunden. Der Brief der Firma wurde bei Dow „filed and forgotten“⁶⁷⁾; dagegen nahm der weltweite Ausstoß nach dem unkorrigierten Verfahren im Boom des Herbizidgeschäfts enorm zu. 1961 wurde entdeckt, daß die Arbeiter auch an psychischen Krankheiten litten. 1967 fand ein „anderer Typus . . . eines üblichen ungeplanten Experiments mit Arbeitern“⁶⁸⁾ statt, als in Grenoble ein Reaktor hochging. „Üblich“, weil ähnliche Unfälle sich in den Niederlanden (1963), in Derbyshire, England (1968) und schließlich in Seveso, Italien (1976) ereigneten. Aber das wirkliche Groß-Experiment fand im Vietnamkrieg statt und dauerte ein Jahrzehnt (1961–1970): „Vietnam was used as a testing ground for chemical and biological warfare“, analysierte ein Experte aus Harvard.⁶⁹⁾ Der Kampfstoff „Agent Orange“ war eine Mischung zweier dioxinhaltiger Herbizide. Die Auswertung der Daten durch amerikanische Experten noch während des Krieges erwies, daß neben den bisher beobachteten Schäden auch Umweltschäden und Geburtsdefekte auftraten. 1970 erklärte Samuel Epstein, Vorsitzender einer Kommission zur Untersuchung von Teratogenese (Mißbildung): „Der getze Gebrauch von Herbiziden in der Umwelt ist ein Menschenexperiment über Teratogenizität im großen Maßstab.“⁷⁰⁾ Geäußert als eine Warnung, war dies in Wirklichkeit eine Beschreibung. In den nachfolgenden Jahren wurde Dow mit einer Reihe von Schadensersatzprozessen überzogen. In einer Gerichtseingabe hieß es, Dow „hat nicht genügend Forschung darüber betrieben, welche Langzeit-Effekte es mit sich bringt, (Herbiziden) ausgesetzt zu sein . . .“⁷¹⁾ Tatsächlich war das Ausgesetztsein (exposure) Teil des Forschungsdesigns. Ted Doan, Präsident von Dow während des Vietnamkriegs, erklärte in einem Rückblick 1983 seine Philosophie: „Alles ist giftig. Aber man kann nicht beweisen, daß irgendetwas nicht schädlich ist. Es kann sein, daß ein Molekül Dioxin . . . Krebs . . . verursachen kann . . . Die Chancen sind wahrlich beinahe Null. Aber man kann nicht beweisen, daß es stimmt.“⁷²⁾ Falls dies ein Plädoyer für eine Fortsetzung des Forschungsprogramms ist, haben sich die Bedingungen der Akzeptanz sicherlich inzwischen gewandelt.

d) Nicht-lineare und rekursive Effekte

Rekursive Systemdynamik ist in vielen wissenschaftlichen Disziplinen ein wichtiges Forschungsfeld geworden, seitdem der Computer die Berechnung und graphische Darstellung des Systemverhaltens möglich gemacht hat. Theorien sind nicht nur in der Laborforschung, wie etwa in der Laseroptik, Thermodynamik und Festkörperphysik, entwickelt worden, sondern auch für die Modellierung des Wetters, des Klimas und der Umwelt.⁷³⁾ Das Prinzip rekursiver Dynamik besteht darin, daß die jeweiligen Systemzustände die weitere „Geschichte“ des Systems bestimmen. Darüber hinaus gilt, daß, selbst wenn man eine volle (mathematische) Determination des Systems unterstellt, man seine zukünftige Entwicklung nicht vorhersagen kann. Es kann sich stabil verhalten, „Entscheidungen“ an Bifurkationspunkten treffen oder sich auflösen. Die klassische Rangordnung zwischen Theorie und Erfahrung gilt hier nicht mehr. Denn die Theorie sagt genau aus, daß man nicht vorhersagen kann, was man beobachten wird.

⁶⁷⁾ Trost 1984, S. 79.

⁶⁸⁾ Trost 1984, S. 89.

⁶⁹⁾ Meselon, nach Trost 1984, S. 116f.

⁷⁰⁾ Nach Trost 1984, S. 158.

⁷¹⁾ Trost 1984, S. 189.

⁷²⁾ Nach Trost 1984, S. 302.

⁷³⁾ Vgl. Krohn/Küppers/Paslack 1987.

Das experimentelle Interesse wird daher *theoretisch* auf die Entdeckung von Überraschungen gerichtet.

Da man annimmt, daß viele natürliche Systeme rekursiv sind, sind entsprechend viele künstliche Interventionen experimentelle Eingriffe in rekursive Systeme. In diesen Fällen ist es definitiv klar, daß die Ergebnisse dieser Interventionen nur in geringem Ausmaß antizipiert werden können. Unter den häufig erwähnten Beispielen findet sich die Abholzung der tropischen Regenwälder in Brasilien, Thailand und Kongo oder die Zerstörung der Ozonschicht. In beiden Fällen sind jetzt Hypothesen über die Auswirkungen auf das lokale und globale Klima sowie auf den Metabolismus der Lebewesen aufgestellt worden. Sie sind daher prägnante Beispiele einer nachträglichen Überführung von technisch bedingten Eingriffen in implizite Experimente. Für die Untersuchung der Auswirkungen der Fluorchlorkohlenwasserstoffe auf die Ozonschicht läuft seit 1987 ein „Airborne Antarctic Ozone Experiment“, an dem 150 Forschungsgruppen weltweit teilnehmen. In einem Kommentar heißt es: „Vorläufig hat das Ozonloch immerhin auch zwei positive Auswirkungen: Es hat die internationale Gemeinschaft von der Notwendigkeit überzeugt, gegen eine weltweite Umweltgefährdung zusammenzuarbeiten; und es spornt die Forscher an, Chemie und Dynamik der Atmosphäre viel genauer zu erforschen. Diese Anstrengung hat unser Wissen über die Wechselwirkungen des Ozons mit anderen Gasen und über deren Abhängigkeit von meteorologischen Bedingungen schon jetzt revolutioniert.“⁷⁴⁾

Ein weiteres Beispiel ist die Hypothese des „nuklearen Winters“ als Effekt eines großen Nuklearkrieges. Sie wurde 1982 von Birks und Crutzen aufgestellt⁷⁵⁾ und besagt, daß infolge von durch Bombenexplosionen verursachten Bränden die Welttemperatur für längere Zeit um 20 Grad absinken wird. Andere Theoretiker entwickelten die Gegenhypothese einer ansteigenden Temperatur infolge der Erhitzung des Smogs durch die Sonne. Was tatsächlich passieren würde, kann nicht sicher vorausgesagt werden, da rekursive Prozesse involviert sind. 1987 „hat sich in der Natur selbst ein unverhoffter Testfall abgespielt . . . Den unverhofften natürlichen Modellversuch lösten am 30. August 1987 schwere Gewitter an der Grenze zwischen Kalifornien und Oregon aus. Sie verursachten ausgedehnte Waldbrände, denen im folgenden Monat 203 Quadratkilometer Wald zum Opfer fielen (das entspricht weniger als einem Promille derjenigen Fläche, die in einem weltweiten Nuklearkrieg in Brand geraten könnte).“⁷⁶⁾ Die Meteorologen nutzten die Gelegenheit, die Daten mit denen aus vorhergehenden Jahren und mit angrenzenden Gebieten zu vergleichen. Die Daten zeigten einen Temperaturabfall um 20 Grad gegenüber den Erwartungswerten aus den Vergleichsgebieten. Eine eingehendere Analyse deckte darüber hinaus einen rekursiven Mechanismus auf, durch den sich der Abkühlungsprozess selbst verstärkte.⁷⁷⁾

Wir haben den Fall hier aufgeführt, weil der Bezugspunkt der Hypothese und des experimentellen Designs der Nuklearkrieg ist, für die das Naturereignis nur ein Modell kleiner Größenordnung ist. „Nun ist die lokale Abkühlung nicht als unzweifelhafter Beweis zu werten . . . Sie zeigt jedoch, daß die Grundannahmen der Simulationen zu den klimatischen Folgen eines nuklearen Schlagabtausches stimmen und daß die errechneten Abkühlungseffekte auch hinsichtlich ihrer Größenordnung als realistisch erachtet werden können.“⁷⁸⁾

⁷⁴⁾ Stolarski 1988, S. 77.

⁷⁵⁾ Vgl. Turco et al. 1984.

⁷⁶⁾ Trageser 1989, S. 38.

⁷⁷⁾ Trageser 1989, S. 39.

⁷⁸⁾ Trageser 1989, S. 39.

e) *Explorative Forschung*

Es wäre ein Fehler, die impliziten Experimente auf Fälle zu beschränken, in denen gut entwickelte theoretische Hypothesen vorliegen. Die Forschung, für die diese Experimente als Ressource dient, ist stark explorativ und bewegt sich häufig in unbekanntem Gelände. Dies gilt sicherlich für Fälle, in denen die technischen Implementierungen überhaupt erst diejenigen Realitäten erzeugen, denen gegenüber Wissenschaft so unwissend ist, daß ihre ultima ratio von Versuch-und-Irrtum die vorherrschende Forschungsstrategie ist.⁷⁹⁾ Vor allem das ökologische Wissen über das Verhalten natürlicher Ressourcen infolge induzierter Störungen ist auf diese Weise entstanden. Aber die meisten der hier diskutierten Fälle tragen Züge dieser theoretisch unterentwickelten Form explorativer Forschung. Allerdings bedeutet ein Mangel an theoretischer Anleitung nicht die Abwesenheit von experimentellen Designs. Wenn z. B. durch Kanada eine große Pipeline geplant wird, dann wird ein solcher Plan heute unmittelbar als Design eines ökologischen Experiments interpretiert. Zwar divergieren die Auffassungen über die Struktur des Experiments erheblich (und können gewöhnlich politischen Ansichten zugeordnet werden), aber die Analyse des Falles durch Campbell⁸⁰⁾ zeigt, daß der öffentliche Diskurs erst die hypothetischen Kenntnisse und Meßverfahren generiert, die den Bau der Pipeline in den Prozeß eines kontrollierten Erfahrungserwerbs einbaut, vorausgesetzt, der Bau findet statt. Obwohl es weder die Hoffnung noch einen Bedarf gibt, daß die Wissenschaftler zu einem konsensuellen Urteil kommen, ist es auf der anderen Seite unbefriedigend, den Austausch der Expertenmeinungen nur noch als einen Prozeß der „symbolischen Politik“ zu beschreiben. Er bleibt auch und typischerweise für explorative Forschung ein Prozeß der Entwicklung von Forschungsdesigns.

f) *Zusammenfassung*

Die unter den fünf Kategorien diskutierten Fälle führen zu drei Schlußfolgerungen:

1. Die Produktion wissenschaftlicher Erkenntnisse findet in einer Anzahl von Forschungsbereichen außerhalb des Labors statt, weil die Wirkungsweise komplexer Technologien vor allem in ihrer Interaktion mit der realen Umwelt nicht im Labormaßstab studiert werden kann (Beispiel: Aegis) und die Risiken dieser Interaktion nur erforschbar sind, wenn diese Techniken auch im Realmaßstab implementiert werden (Beispiel: Dioxin). Die Risiken des lebensgefährlichen Nichtfunktionierens von Technik (Beispiel: Boeing) oder der erwarteten Belastungen für Ökosysteme und Gesundheit (Beispiel: Ozonloch) definieren Situationen ‚relevanten Nichtwissens‘ und eröffnen so Felder für implizite Experimente.

2. Die Bereiche, in denen sich das Strukturmuster impliziten Experimentierens findet, sind zahlreich und die Forschungsstrategien, in denen es eingesetzt wird, unterschiedlich. Die Universalität und Flexibilität der experimentellen Methode im Labor wird noch einmal erweitert für Erkenntnissituationen außerhalb des Labors. Zwar unterliegt diese Erweiterung Restriktionen neuer Art, die aus der Größe der Objekte, dem Ausmaß der Risiken, der Irreversibilität der Situationen usw. entstehen; gleichwohl liegt eine Ausweitung der Strategien des experimentellen Erkenntniserwerbs vor.

3. In allen diskutierten Fällen konnte auf das Vorliegen von Forschungsdesigns verwiesen werden. In einigen Fällen liegen sie der Öffentlichkeit explizit vor (Beispiel: Ozonloch), in anderen deckt erst der Unfall den experimentelle Charakter der Technik auf (Beispiel: Boeing), in wieder anderen Fällen bedarf es kriminalistischer Recherche,

⁷⁹⁾ Vgl. MacKenzie 1989.

⁸⁰⁾ Campbell 1985.

um Forschungsprozesse nachzuweisen (Beispiel: Strahlenexperimente). Obwohl in einigen Beispielen unverantwortliches und kriminelles Verhalten eine Rolle spielte, ist dies nur ein Nebenaspekt unserer Darstellung. Keineswegs wäre mit der Ausgrenzung aller manifest illegitimen Forschung die soziale Ambivalenz der Realexperimente beseitigt. Der Tatbestand der ‚under-cover-Forschung‘ verweist auch darauf, daß weder die Wissenschaftler, noch die Öffentlichkeit und das Rechtssystem hinreichend darauf vorbereitet sind, daß das implizite Experimentieren in und mit der Gesellschaft ein unvermeidlicher Teil der gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Entwicklung geworden ist.

4. *Schlußbemerkungen*

Das Refugium des folgenentlasteten Probehandelns ist einem Teil der Forschung aus systematischen Gründen versperrt. Ganze Forschungsweige müßten aufgegeben werden, wenn die Forschung ihren Charakter als gesellschaftliches Handeln wieder aufgeben wollte.

Diese neue Form der Einbeziehung von Forschung in die Gesellschaft zeigt sich zunächst an der *Koinzidenz von Forschung und Implementierung*. Unter den Bedingungen des experimentellen Beweisnotstandes und der Nicht-Reproduzierbarkeit von technischer, sozialer, humaner oder ökologischer Komplexität im Labor ist Forschung entweder auf die Implementierung angewiesen, um ihr Wissen zu validieren und neuartiges Wissen zu generieren, oder die Implementation eröffnet gar erst neuartige Forschungsfragestellungen und bildet somit die ‚primäre Erfahrungsgrundlage‘ für die Erzeugung wissenschaftlichen Wissens. In beiden Fällen operiert Forschung im Kontext einer nicht-wissenschaftlichen Praxis. Die kognitive Herausforderung an diese Wissensproduktion besteht darin, daß eine willkürliche, i. e. nach theoretischen Interessen erfolgte Festsetzung der Randbedingungen experimenteller Situationen nicht erlaubt ist. Die Verweise auf menschliches Versagen, unvorhersehbare Störungen oder unbekannte Nebeneffekte werden im Prinzip illegitim und zu einer problematischen Schwäche der beteiligten Disziplinen. Sie können sich Gleichgültigkeit gegenüber dem, was „außerhalb“ der Theorie geschieht, nicht mehr leisten. Dies zwingt die Forschung zu einer Integration der Randbedingungen als Systemgrößen und damit zu einem Ausscheren aus ihren disziplinären Kontexten.

Die vielleicht schwerwiegendste Konsequenz besteht in einer Reformulierung der experimentellen Situation: Sie ist ein Produkt des Diskurses und der Verhandlungen zwischen Akteuren, die nach unterschiedlichen kognitiven und evaluativen Kategorien wahrnehmen und handeln. Diese Multiplizität der Akteure verweist auf die Koevolution von gesellschaftlichen Teilsystemen, die, historisch gesehen, gegenüber der Differenzierung zunimmt: Wissenschaftliche und nichtwissenschaftliche Interessen müssen konvergieren, damit eine experimentelle Implementation überhaupt möglich wird. Wer in diesem Spiel die treibende Kraft ist, wer mitzieht oder nur aufspringt, kann dabei offen bleiben. Im Falle der Menschenexperimente im Weltall ist es wohl der Fall, daß die medizinische Forschung auf einen ohnehin (und ohne ihr Zutun) fahrenden Zug aufgesprungen ist und die seltene Gelegenheit zur Sammlung sonst nicht zugänglicher Daten nutzt.⁸¹⁾ Im Falle von Organtransplantationen oder der genetischen Manipulation sind es vorrangig Forschungsfronten der Wissenschaft, die die Möglichkeit und Machbarkeit solcher Eingriffe wahrscheinlich haben werden lassen; zur experimentellen Implementation bedarf es jedoch eines Partners (etwa des Gesundheitswe-

⁸¹⁾ Vgl. Cogoli 1986 und Van Allen 1986.

sens sowie des öffentlichen Interesses an der individuellen Gesundheit), um die koevolutive Entwicklung von Techniken und damit die experimentelle Überprüfung von Forschungshypothesen zu ermöglichen.⁸²⁾ In diesem Kontext ist es unerheblich, daß beispielsweise eine Herztransplantation als Menschenexperiment verboten wäre.⁸³⁾ Aber das Beispiel zeigt, daß durch Koevolution selbst in moralbesetzten Bereichen neuartige Legitimations- und Handlungsmuster geschaffen werden können.

Eine unserer zentralen Behauptungen ist es, daß das wissenschaftliche Handeln sich den anderen Typen gesellschaftlichen Handelns (etwa des ökonomischen) annähert, oder — mit Maturana/Varela gesprochen: „Erkennen ist effektive Handlung, das heißt, operationale Effektivität im Existenzbereich der Lebewesen.“⁸⁴⁾ Damit wird auch eine neue Stufe des Lernens signalisiert, auf die die Gesellschaft bisher unzulänglich eingestellt ist. Während sie bisher auf das Expertenurteil setzen mußte, das Implementierungen mit dem Etikett des gesicherten Wissens ausstattete, und dann im Zweifelsfall dem selbsterzeugten Schicksal der Modernisierung ausgeliefert war, muß die rekonstruktive Analyse der Innovationsprozesse darauf verweisen, daß sie als Experimentiergesellschaft weder absolute Sicherheit erwarten noch Stagnation riskieren kann, sondern in die Entscheidungen involviert ist, die mit der Aushandlung der Bedingungen von Experimenten in und mit ihr verbunden sind. Dies weist auch der Wissenschaft eine neue Rolle zu. Da das Image der Wissenschaft in zunehmendem Maße von der öffentlich propagierten Fähigkeit der technischen Erzeugung und Kontrolle realer Praxis abhängt, betreibt die Wissenschaft selbst die Auflösung ihrer traditionellen Position, welche die Entlastung von den sozialen Folgen der Produktion neuen Wissens beinhaltet.⁸⁵⁾ Die viel beklagte Glaubwürdigkeitskrise der Wissenschaft ist selbstproduziert. Es geht jedoch nicht um eine Krise der Wissenschaft, sondern um eine neue soziale Konstellation: Wenn Forschungshypothesen der Wissenschaft zu Zukunftshypothesen der Gesellschaft werden, ist die Wissenschaft strukturell anderen Teilsystemen gleichgestellt. Sie ist an der gesellschaftlichen Entwicklung nicht mehr nur indirekt über die Anwendung ihrer Erkenntnisse, sondern direkt über die Erzeugung neuen Wissens beteiligt. Sie ist ihrem (historisch erkämpften) Freiraum entwachsen, und es ist an der Zeit, ihr Verhältnis nicht zur, sondern *in* der Gesellschaft neu zu bestimmen.

⁸²⁾ Vgl. zur moralverändernden Funktion des Interesses an individueller Gesundheit van den Daele (1986).

⁸³⁾ Herztransplantationen sind insofern Experimente, als (abgesehen von dem zu bewältigenden, je einzigartigen Fall) zumindest die statistische Wahrscheinlichkeit des Risikos eines solchen Eingriffs (und damit die ursprünglichen Randbedingungen des Experiments) entscheidend verändert wird.

⁸⁴⁾ Maturana/Varela 1987, S. 35.

⁸⁵⁾ Vgl. Weinberg 1962, der zur Zeit dieser Publikation die Wissenschaftler aufforderte, durch den Nachweis ihrer Nützlichkeit die Unterstützung der Gesellschaft zu erreichen; er hat später (1972) angesichts der Rechtfertigungszwänge dazu aufgefordert, sich vom Bereich der „Trans-Wissenschaft“ fernzuhalten.

Literaturverzeichnis

- Atomare Versuchskaninchen: *Drei Jahrzehnte Strahlenexperimente an US-Bürgern*. Ein Arbeitsbericht aus dem US-Repräsentantenhaus vom Oktober 1986 (Auszug), in: Blätter für deutsche und internationale Politik 1987, S. 123–126.
- Barber, B. et al.: *Research on Human Subjects: Problems of Social Control in Medical Experimentation*. New York, 1973.
- Beck, U.: *Folgeprobleme der Modernisierung und die Stellung der Soziologie in der Praxis*, in: U. Beck (Hrsg.), *Soziologie und Praxis. Erfahrungen, Konflikte, Perspektiven*. Sonderband 1 der Sozialen Welt, Göttingen 1982, S. 3–23.
- Beck, U.: *Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne*, Frankfurt am Main 1986.
- Beck, U.: *Die Selbstwiderlegung der Bürokratie. Über Gefahrenverwaltung und Verwaltungsführung*, in: Merkur 42, 1988, S. 629–646.
- Bleck, J./Schmitz-Feuerhake, I.: *Die Wirkung ionischer Strahlung auf den Menschen*, in: Informationen zu Energie und Umwelt, edition 8, Bremen (o.J.).
- Böhme, G. et al.: *Die gesellschaftliche Orientierung des wissenschaftlichen Fortschritts*. Frankfurt am Main 1978 (Starnberger Studien I).
- Bonß, W./Hohlfeld, R./Kollek, R.: *Risiko und Kontext. Zum Umgang mit den Risiken der Gentechnologie* (Ms.). Vortrag auf der Tagung der Sektion Wissenschaftsforschung der DGS am 25. 11. 1988 in Dortmund.
- Campbell, B. L.: *Uncertainty as Symbolic Action in Disputes Among Experts*, in: Social Studies of Science 15, 1985, S. 429–452.
- Carson, R.: *Der stumme Frühling*. München 1984.
- Chorover, S.: *Die Zurichtung des Menschen. Von der Verhaltenssteuerung durch die Wissenschaft*, Frankfurt am Main 1982.
- Cogoli, A.: *Plädoyer für die bemannte Raumfahrt. Die Biologie braucht den Forscher im All*, in: Bild der Wissenschaft 5/1986, S. 136–143.
- Committee on Interstate and Foreign Commerce, United States House of Representatives: „*The Forgotten Guinea Pigs*.“ A Report on Health Effects of Low-Level Radiation Sustained as a Result of the Nuclear Weapons Testing Program Conducted by the United States Government, Washington 1980, U.S. Government Printing Office.
- Daele, W. van den: *Technische Dynamik und gesellschaftliche Moral. Zur soziologischen Bedeutung der Gentechnologie*, in: Soziale Welt 1986, S. 149–172.
- DFVLR: Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt, Strategiestudie Raumfahrt, o.O. 1984.
- Dunlap, T. R.: *Scientists, Citizens, and Public Policy*, Princeton 1981.
- Ethical Aspects of Experimentation with Human Subjects, in: Daedalus, Vol. 98, No. 2, 1969.
- Ford, D. F.: *A History of Federal Nuclear Safety Assessments: From WASH-740 Through the Reactor Safety Study* (The Union of Concerned Scientists), 1978.
- Häfele, W.: *Hypotheticality and the New Challenges: The Pathfinder Role of Nuclear Energy*, in: *Minerva* 12, 1974, S. 303–322.
- Hughes, T. P.: *The Evolution of Large Technological Systems*, in: W. E. Bijker, T. P. Hughes, T. J. Pinch (Hrsg.), *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*, Cambridge (Mass.)/London 1987, S. 51–82.
- Jasanoff, S. S.: *Contested Boundaries in Policy-Relevant Science*, in: Social Studies of Science 17, 1987, S. 195–230.
- Jungermann, H.: *Die Psychologie der Kognition und Evaluation von Risiko*, Berlin 1988 (Ms.).
- Kahlert, J.: *Die Energiepolitik der DDR. Mängelverwaltung zwischen Kernkraft und Braunkohle*, 1988.
- Kahlert, J.: *Die Kernenergiepolitik in der DDR. Zur Geschichte uneingelöster Fortschritts Hoffnungen*, Köln 1988.

- Kaldor, M.: *Rüstungsbarock. Das Arsenal der Zerstörung und das Ende der militärischen Techno-Logik*, Berlin 1981.
- Katz, J.: *Experimentation with Human Being: The Authority of the Investigator, Subject, Professions and the State in the Human Experimentation Process*, New York 1972.
- Kramer, F.: *Bikini oder die Bombardierung der Engel: auch eine Ethnographie*, Frankfurt am Main 1983.
- Krohn, W./Küppers, G./Paslack, R.: *Selbstorganisation. Zur Genese und Entwicklung einer wissenschaftlichen Revolution*, in: S. J. Schmidt (Hrsg.), *Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus*, Frankfurt am Main 1987, S. 441–465.
- Krohn, W./Weingart P.: *Tschernobyl – das größte anzunehmende Experiment*. In: Kursbuch 85, 1986, S. 1–25.
- Krohn, W./Küppers, G.: *Die Selbstorganisation der Wissenschaft*, (Universitätsschwerpunkt Wissenschaftsforschung, Report 33), Bielefeld 1987.
- Kunze, B./Eichhorn, H.: *Störfallanalysen von Kernkraftwerken*, in: *Kernenergie* 16, 1973, S. 333–336.
- La Porte, T. R.: *The United States Air Traffic System: Increasing Reliability in the Midst of Rapid Growth*, in: R. Mayntz/T. P. Hughes (Hrsg.), *The Development of Large Technical Systems*, Frankfurt am Main 1988, S. 215–244.
- Ladéur, K.-H.: *Risiko und Recht: Von der Rezeption der Erfahrung zum Prozeß der Modellierung*, Bremen 1988 (Ms.).
- Latour, B.: *Give Me a Laboratory and I will raise the World*, in: K. D. Knorr-Cetina/M. Mulkay (Hrsg.), *Science Observed. Perspectives of the Social Studies of Science*, London/New Delhi/Beverly Hills 1983, S. 141–170.
- Lenk, H.: *Zu ethischen Fragen des Humanexperiments*, in: Lenk, Hans: *Pragmatische Vernunft. Philosophie zwischen Wissenschaft und Praxis*, Stuttgart 1979, S. 50–76.
- Lin, H.: *Software für Raketeneabwehr im Weltraum*, in: *Spektrum der Wissenschaft* 2/1986, S. 30–38.
- Luhmann, N.: *Wissenschaft als soziales System*, 1987, (verv. Ms.).
- Luhmann, N.: *Die Moral des Risikos und das Risiko der Moral*, Bielefeld 1988 (Ms.).
- MacKenzie, D.: *From Kwajalein to Armageddon? Testing and the Social Construction of Missile Accuracy*, in: D. Gooding/T. Pinch/S. Schaffer (Hrsg.), *The Uses of Experiment*, Cambridge, 1989, S. 409–435.
- MacKenzie, D.: *Missile Accuracy: A Case Study in the Social Process of Technological Change*, in: W. E. Bijker/T. P. Hughes/T. J. Pinch (Hrsg.), 1987: *The Social Construction of Technological Systems. New Directions in the Sociology and History of Technology*, MIT Press, Cambridge/London 1987, S. 195–222.
- MacKenzie, D.: *Ballistic Missile Stellar-Inertial Guidance: A Study in the Sociology of Military Technology*, in: E. Mendelsohn/M. R. Smith/P. Weingart (Eds), *Science, Technology and the Military*. *Sociology of the Sciences, A Yearbook* (Vol. XII), Dordrecht 1988 (forthcoming).
- Maturana, U./ Varela, F.: *Der Baum der Erkenntnis*, Bern/München/Wien 1987.
- Maunz, Th. et. al.: *Kommentar zum Grundgesetz*, München 1983.
- Mitscherlich, A.: *Wissenschaft ohne Menschlichkeit. Medizinische und eugenische Irrwege unter Diktatur, Bürokratie und Krieg*, Heidelberg 1949.
- Nelson, G./Redell, D.: *Could we trust SDI-Software?* in: J. Tirman (Ed.), *Empty Promise. The Growing Case against Star Wars*, (The Union of Concerned Scientists), Boston 1986, S. 87–106.
- Parnas, D.: *Software Wars*. Ein offener Brief, in: *Kursbuch* Nr. 83, 1986, S. 50–69.

- Pasteur, Louis: *Oeuvres Completes*, Vol. VII, Paris 1922–39.
- Perrow, C.: *Normale Katastrophen. Die unvermeidbaren Risiken der Großtechnik*, Frankfurt am Main 1988.
- Radder, H.: *Experiment, Technology and the Intrinsic Connection between Knowledge and Power*, in: *Social Studies of Science* 16, 1986, S. 663–683.
- Rip, A.: *The Interest of the Netherlands Organisation for Technology Assessment (NOTA)* in: *Studies of Science and Technology*, Paper presented at the 4S/EASST Conference Amsterdam, 16–19 November, 1988 a.
- Rip, A.: *The Danger Culture of Industrial Society*, Twente 1988 b (unpub. paper).
- Rip, A./v. d. Belt, H.: *Constructive Technology Assessment: Toward a Theory*, Amsterdam/Twente 1988 (Ms.).
- Ropohl, G.: *Eine Systemtheorie der Technik*, München/Wien 1979.
- Schneiderman, M. A.: *The Uncertain Risks we run: Hazardous Materials*, in: R. Schwing/W. Albers (Hrsg.), *Societal Risk Assessment. How Safe is Safe Enough?* New York/London 1980, S. 19–37.
- Schwing, R. C./Albers, W. A. (Hrsg.): *Societal Risk Assessment. How Safe is Safe Enough?* New York/London 1980.
- Stolarski, Richard: *Das Ozonloch über der Antarktis*. In: *Spektrum der Wissenschaft*, 1988, S. 70–77.
- Subcommittee on Energy Conservation and Power of the Committee on Energy and Commerce, U.S. House of Representatives: *American Nuclear Guinea Pigs: Three Decades of Radiation Experiments on U. S. Citizens*, U. S. Government Printing Office, Washington 1986.
- Tatsachen des Lebens: In: *Der Spiegel*, Nr. 51, 20. Dez. 1982, S. 116–117.
- Teubner, G./Willke, H.: *Kontext und Autonomie: Gesellschaftliche Steuerung durch reflexive Recht*, in: *Zeitschrift für Rechtssoziologie* 5, 1984, S. 4–35.
- Trageser, G.: *Idee des nuklearen Winters durch Waldbrände bestätigt*, in: *Spektrum der Wissenschaft*, Jan. 1989, S. 38–39.
- Trost, C.: *Elements of Risks. The Chemical Industry and its Threat to America*, New York 1984.
- Turco, R. et. al.: *The Climatic Effects of Nuclear War*, in: *Scientific American*, no. 2, 1984, S. 23–33.
- Valk, R.: *Schnell, genau und fehlbar. Warum Computersysteme nicht immer vertrauenswürdig sind*, in: *Süddeutsche Zeitung* 17./18. Okt. 1987 (Feuilleton-Beilage).
- Van Allan, J. A.: *Bemannte Raumstation: Schaden für die Forschung?* in: *Spektrum der Wissenschaft* 3/1986, S. 36–45.
- Verschmutzter Himmel, in: *Der Spiegel*, Nr. 38, 19. September 1962, S. 87–90.
- Weinberg, A. M.: *Criteria for Scientific Choice*, in: E. Shils (Hrsg.), *Criteria for Scientific Development: Public Policy and National Goals*. A Selection of Articles from *Minerva*, MIT Press, Cambridge/London 1962, S. 21–33.
- Weinberg, A. M.: *Science and Trans-Science*, in: *Minerva* 10, 1972, S. 209–222.
- Weingart, P./Kroll, J./Bayertz, K.: *Rasse, Blut und Gene. Geschichte der Eugenik und Rassenhygiene in Deutschland*, Frankfurt am Main 1988.
- Wynne, B.: *Unruly Technology: Practical Rules, Impractical Discourses and Public Understanding*, in: *Social Studies of Science* 18, 1988, S. 147–167.