

**Entwicklung eines Prozessmodells
der Interpretation Technischer Zeichnungen**

Von der Fakultät Maschinenbau
der Technischen Universität Dortmund
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
vorgelegte

Dissertation

von

Markus Hahne
aus Arnsberg-Oeventrop

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Künne
Mitberichter: Univ.-Prof. Dr. phil. habil. Bernd Ott

Mündliche Prüfung: 17. April 2012

Abstract

Technische Zeichnungen sind für die produzierende Industrie unerlässliche Medien zur Generierung, Speicherung und Distribution von Produktdaten. Aufgrund ihrer analog-bildlichen Präsentationsform ist es bis heute nicht gelungen, die implizit präsentierten Daten informationstechnisch erfassen und verarbeiten zu können. In der vorliegenden Arbeit wird ein Modell entwickelt, welches die grundlegenden Prinzipien beschreibt, nach denen implizit in Baugruppenzeichnungen präsentierte Produktdaten aus den explizit präsentierten Daten abgeleitet werden können. Das Modell wird auf der Basis einer Objekt- und einer Prozessanalyse entwickelt, welche insbesondere begriffliche Unklarheiten und Mehrdeutigkeiten eliminieren. Die Verifikation des Modells erfolgt auf der Grundlage der Eye-Mind-Hypothese mittels einer Eye-Tracking-Untersuchung und einem eigens hierfür entwickelten Auswertalgorithmus. Der praktische Nutzen des entwickelten Prozessmodells der Zeichnungsinterpretation besteht darin, dass dieses als Grundlage zur Formulierung von problemspezifischen Heuristiken dienen kann, welche Perspektiven vorschlagen, aus denen die Zeichnungsinformationen zu bewerten sind.

Technical drawings are for the manufacturing industry indispensable to generate, storage and distribution of product data. Because of their analogy figurative form of presentation, it is still not succeeded in the implicit data presented by information capture and processes them. In the present work, a model is developed, which describes the basic principles by which implicitly assembly drawings presented in product data from the explicitly presented data can be derived. The model is based on an object and process analysis, in particular the conceptual confusion and eliminate ambiguities. The verification of the model is based on the Eye-Mind-Hypotheses using an Eye-Tracking examination and a specially developed appraises algorithms. The practical usefulness of the developed process model of subscription interpretation is that this is the basis for the formulation of the problem heuristics can serve the perspectives from which to propose drawing information to assess.

1	Einleitung	1
2	Präzisierung der Aufgabenstellung	5
2.1	Objektbeschreibung	5
2.1.1	Differenzierung technischer Produktdokumentationen	6
2.1.1.1	Chronologische Differenzierung TPDen	6
2.1.1.2	Zeichentypologische Differenzierung TPDen	7
2.1.1.3	Phänomenologische Zeichendifferenzierung	9
2.1.2	Produktdatenmodell	9
2.1.3	Charakterisierung Technischer Zeichnungen	12
2.2	Funktionen Technischer Zeichnungen	14
2.3	Grundformen des Lesens Technischer Zeichnungen	16
2.4	Zielformulierung	21
3	Stand der Technik	22
3.1	Prozessmodelle des Lesens Technischer Zeichnungen	22
3.2	Quelltexte zum Themenfeld „Technische Zeichnung“	22
3.3	Leseprozessmodelle	26
3.4	Prozessmodelle des menschlichen Verstehens von Bildern	27
3.5	Ansätze des computergestützten Zeichnungslesens	30
4	Prozessmodell der Zeichnungsinterpretation	32
4.1	Modellgrundlagen	32
4.1.1	Phasen des Interpretationsprozesses	32
4.1.2	Verstehensmodelle	34
4.1.2.1	Hermeneutische Modellsicht	34
4.1.2.2	Kognitive Modellsicht	36
4.1.2.3	Informationstechnisch-physiologische Modellsicht	38
4.1.3	Mentales Repräsentationsmodell	40
4.1.3.1	Analog-bildliche Repräsentationsebene: Gegenstandsvorstellung	41
4.1.3.2	Symbolisch-begriffliche Repräsentationsebene: Raumvorstellung	42
4.1.3.3	Symbolisch-begriffliche Repräsentationsebene: Begriffsvorstellung	43
4.1.3.4	Bedeutung der Repräsentationsebenen für die Zeichnungsinterpretation	45
4.1.3.5	Ebenen der inneren Repräsentationsstruktur	46
4.1.3.6	Inneren Repräsentationsstruktur: Sprachwissen	46
4.1.3.7	Inneren Repräsentationsstruktur: Konzeptwissen	46
4.1.3.8	Inneren Repräsentationsstruktur: Kontextwissen	48
4.2	Modellentwurf	49
4.2.1	Interpretationsvorbereitung: Präparation	50
4.2.2	Erste Interpretationsphase: Inkubation	52
4.2.3	Zweite Interpretationsphase: Konzeption	55
4.2.4	Dritte Interpretationsphase: Argumentation	58
4.2.5	Interpretationsnachbereitung: Reflexion	60

4.3	Modellbeschreibung	62
4.3.1	Präparation	63
4.3.2	Inkubation	65
4.3.3	Konzeption	70
4.3.4	Argumentation	73
4.3.5	Reflexion	78
4.4	Prozessmodell der Interpretation Technischer Zeichnungen	79
5	Modellverifikation	87
5.1	Ausgangssituation	87
5.2	Untersuchungsziele	88
5.3	Versuchsplan	91
5.3.1	Versuchsaufbau	91
5.3.2	Interpretationsaufgaben	92
5.3.3	Probanden	96
5.3.4	Untersuchungsumfang	96
5.4	Untersuchungsergebnisse	97
5.4.1	Rohdaten	97
5.4.1.1	Eye-Tracking-Daten	97
5.4.2	Datenaufbereitung	107
5.4.2.1	Clusterung	107
5.4.2.2	Blickwechsel	111
5.4.2.3	Kategorisierung	112
5.4.2.4	Blickdauer	116
5.5	Auswertung der Untersuchungsergebnisse	121
5.5.1	Bewertung der Blickbewegungen	122
5.5.1.1	Trendtest	122
5.5.1.2	Beurteilung der Häufigkeitsverteilung der Blickwechselkategorien	124
5.5.2	Bewertung der Fixationsdauerabweichungsverläufe	130
5.5.2.1	Projizierten Fixationsdauerabweichungsverläufe	130
5.5.2.2	Beurteilung der Häufigkeitsverteilung der Trendklassen	140
5.6	Abschließende Bewertung der Untersuchungen	143
6	Heuristiken der Zeichnungsinterpretation	144
6.1	Das Wesen von Heuristiken	144
6.2	Eine Heuristik zur Funktionsbeschreibung	145
6.3	Ein Interpretationsbeispiel	147
7	Zusammenfassung und Ausblick	151
8	Literaturverzeichnis	156

Abbildungsverzeichnis

Bild 2-1: Chronologische Differenzierung technischer Produktdokumentationen ...	6
Bild 2-2: Zeichentypologische Differenzierung technischer Produktdokumentationen ..	7
Bild 2-3: Zeichentypologische Differenzierung technischer Linienbilder	8
Bild 2-4: Projektionsmethoden (Auszug)	8
Bild 2-5: Phänomenologische Differenzierung graphischer Zeichenkomplexe	9
Bild 2-6: Primäres Produktdatenstrukturmodell	10
Bild 2-7: Produktdatenstruktur Technischer Bauteil- und Baugruppenzeichnungen	11
Bild 2-8: Erweitertes Produktdatenstrukturmodell	12
Bild 2-9: Explikative Funktionsklassen Technischer Zeichnungen	16
Bild 2-10: Einfaches Prozessmodell des Lesens Technischer Zeichnungen	19
Bild 3-1: Allgemeine Heuristik des Lesens Technischer Zeichnungen	25
Bild 3-2: Lesestrategien	27
Bild 3-3: Teildisziplinen und Sichtweisen der Wahrnehmungsforschung (Auszug)	28
Bild 3-4: Prozessmodell der mentalen Bildverarbeitung	29
Bild 4-1: Informationsverarbeitungsmodell der Zeichnungsinterpretation	33
Bild 4-2: Phasenmodell der Zeichnungsinterpretation	34
Bild 4-3: Hermeneutische Verstehensstufen	35
Bild 4-4: Hermeneutischer Verstehensprozessverlauf	35
Bild 4-5: Hermeneutische Grundsätze	36
Bild 4-6: Adaptationsprozessmodell	37
Bild 4-7: Menschliches Gedächtnissystem	39
Bild 4-8: Gedankliche Informationsverarbeitungsstrategien	40
Bild 4-9: Formale Struktur der einfachen Raumvorstellung in Technischen Zeichnungen ..	43
Bild 4-10: Formale Struktur der allgemeinen Begriffsvorstellung	44
Bild 4-11: Primitives mentales Repräsentationsstrukturmodell	45
Bild 4-12: Visualisierungsbeispiel der inneren Repräsentationsstruktur	47
Bild 4-13: Beziehungen zwischen den verschiedenen Konzeptformen	48
Bild 4-14: Ursprüngliches Verständnis technischer Systeme der mechanischen Technik ...	51
Bild 4-15: Elementares Verständnis technischer Systeme der mechanischen Technik	54
Bild 4-16: Mentale Repräsentation der Inkubation – Elementares Verständnis	55
Bild 4-17: Begriffliches Verständnis technischer Systeme der mechanischen Technik ...	57
Bild 4-18: Mentale Repräsentation der Konzeption – Begriffsbezogenes Verständnis	58
Bild 4-19: Höheres Verständnis technischer Systeme der mechanischen Technik	60
Bild 4-20: Mentale Repräsentation der Argumentation – Höheres Verständnis	60
Bild 4-21: Mentale Repräsentation der Reflexion – Kommuniziertes Verständnis	61
Bild 4-22: Erwartungshaltung nach der Präparation	65
Bild 4-23: Baugruppenzeichnung "Hydraulikheber"	67
Bild 4-24: Elementares Verständnis nach der Inkubation	69
Bild 4-25: Begriffsbezogenes Verständnis nach der Konzeption	72
Bild 4-26: Einzelteilzeichnung "Pumpe"	75
Bild 4-27: Einzelteilzeichnung "Grundplatte"	76
Bild 4-28: Höheres Verständnis nach der Argumentation	77

Bild 4-29: Prozessmodell der Interpretation Technischer Zeichnungen	79
Bild 4-30: Zeichnungsinterpretationsprozessmodell mit integriertem Produktdatenmodell ..	84
Bild 5-1: Quantitativer Informationsverarbeitungsaufwandsverlauf	89
Bild 5-2: Versuchsaufbau – Eye-Tracking-System	90
Bild 5-3: 1. Interpretationsaufgabe – Exzentertrieb A	92
Bild 5-4: 2. Interpretationsaufgabe – Exzentertrieb B	93
Bild 5-5: 3. Interpretationsaufgabe – Laborrührwerk	94
Bild 5-6: Beobachtungsdauer-Verteilung	97
Bild 5-7: Dot-Plot: Absolute Blickpunktverteilung der 1. Interpretationsaufgabe ..	100
Bild 5-8: Dot-Plot: Absolute Blickpunktverteilung der 2. Interpretationsaufgabe ..	100
Bild 5-9: Dot-Plot: Absolute Blickpunktverteilung der 3. Interpretationsaufgabe ..	101
Bild 5-10: Hot-Shot-Plots: Absolute Blickpunktvert. der 1. Interpretationsaufgabe ..	101
Bild 5-11: Hot-Shot-Plots: Absolute Blickpunktvert. der 2. Interpretationsaufgabe ..	102
Bild 5-12: Hot-Shot-Plots: Absolute Blickpunktvert. der 3. Interpretationsaufgabe ..	102
Bild 5-13: Bubble-Sankey-Plots: Blickwechselhäufigk. der 1. Interpretationsaufgabe ...	104
Bild 5-14: Bubble-Sankey-Plots: Blickwechselhäufigk. der 2. Interpretationsaufgabe ...	105
Bild 5-15: Bubble-Sankey-Plots: Blickwechselhäufigk. der 3. Interpretationsaufgabe ...	105
Bild 5-16: Bauteil-Clusterblöcke der 1. Interpretationsaufgabe	107
Bild 5-17: Bauteil-Clusterblöcke der 2. Interpretationsaufgabe	107
Bild 5-18: Bauteil-Clusterblöcke der 3. Interpretationsaufgabe	108
Bild 5-19: 3D-Histogramm: Blickwechselhäufigkeiten der 1. Interpretationsaufgabe ...	111
Bild 5-20: Prozentual-anteilige Häufigkeitsverteilung der Blickwechselkategorien	115
Bild 5-21: Absoluter Fixationsdauerungsverlauf (Proband 8 – Aufgabe 1-1)	116
Bild 5-22: Kumulierter und Relativer Fixationsdauerungsverlauf (Proband 8 – Aufg. 1-1) ...	117
Bild 5-23: Projizierter Fixationsdauerabweichungsverlauf (Proband 8 – Aufgabe 1-1) ..	120
Bild 5-24: QQ-Plot – Absolute Häufigkeiten der Blickpunkte	124
Bild 5-25: QQ-Plot – Absolute Häufigkeiten der Blickwechselkategorien	124
Bild 5-26: QQ-Plot – Prozentuale Häufigkeiten der Blickwechselkategorien	125
Bild 5-27: Normal-Ellipse – Prozentuale Blickwechselkategorienhäufigkeitsverteilung ...	127
Bild 5-28: Ausreißer der prozentualen Blickwechselkategorienhäufigkeitsverteilung....	128
Bild 5-29: Häufigkeitsverteilung der Blickwechselkategorien	129
Bild 5-30: QQ-Plot – Mittlere Trendlängen	131
Bild 5-31: Streudiagramm – Blickpunktanzahlen ÷ Wendestellenanzahlen	131
Bild 5-32: Charakteristik projizierter Fixationsdauerabweichungsverläufe	133
Bild 5-33: Trendanalyse – Häufigkeiten der Trendklassen	139
Bild 5-34: Probandenbezogene Trendklassenverteilung	140
Bild 5-35: Aufgabenbezogene Trendklassenverteilung	140
Bild 5-36: Blickbewegungsphasenverteilung	141
Bild 6-1: Baugruppenzeichnung "Verstellbarer Anschlag"	146
Bild 6-2: Bildliche Darstellung "Verstellbarer Anschlag"	147
Bild 6-3: Bildliche Explosionsdarstellung "Verstellbarer Anschlag"	147

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1:	Beobachtungsdauern b_d [s] und Blickpunktanzahl b_n [-]	97
Tabelle 5-2:	Zentrale Tendenzen und statistische Streuung der aufgabenbez. Blickdauern	98
Tabelle 5-3:	Zentrale Tendenzen und statistische Streuung der probandenbez. Blickdauern	99
Tabelle 5-4:	Blickpunktfolgen der 1. Interpretationsaufgabe	103
Tabelle 5-5:	Clusterbezogene Blickpunktanzahl der 1. Interpretationsaufgabe	108
Tabelle 5-6:	Clusterbezogene Blickpunktanzahl der 2. Interpretationsaufgabe	109
Tabelle 5-7:	Clusterbezogene Blickpunktanzahl der 3. Interpretationsaufgabe	109
Tabelle 5-8:	Anzahl der Blickwechsellmöglichkeiten	110
Tabelle 5-9:	Blickwechselhäufigkeiten der 1. Interpretationsaufgabe	112
Tabelle 5-10:	Probandenbezogene Häufigkeiten der Blickwechselkategorien	114
Tabelle 5-11:	Absolute Häufigkeiten der Blickwechselkategorien	114
Tabelle 5-12:	Bestimmtheitsmaße der relativen Fixationsdauerläufe	118
Tabelle 5-13:	Regressionsgeraden-Steigungen der relativen Fixationsdauerläufe	119
Tabelle 5-14:	Folge-Vorzeichen-Iterationstest	122
Tabelle 5-15:	Statistische Verteilungsformen der Blickwechselkategorien	126
Tabelle 5-16:	Prozentuale Häufigkeiten der Blickwechselkategorien	129
Tabelle 5-17:	Blickwechselanalyse	130
Tabelle 5-18:	Bereinigte Blickwechselwerte	132
Tabelle 5-19:	Bestimmtheitsmaße der Regressionpolynome von Grad 6	134
Tabelle 5-20:	Projizierte globale Fixationsdauerabweichungsläufe	135
Tabelle 5-21:	Kodierte Fixationsdauerabweichungsläufe	139

Definitionsverzeichnis

Definition 1:	Technische Zeichnungen	13
Definition 2:	Bauteil-Zeichnungen	13
Definition 3:	Baugruppen-Zeichnungen	14
Definition 4:	Instrumentelle Funktion Technischer Zeichnungen	14
Definition 5:	Deskriptive Funktion Technischer Zeichnungen	15
Definition 6:	Explikative Funktion Technischer Zeichnungen	15
Definition 7:	Zeichnungslesen	17
Definition 8:	Zeichnungsinterpretation	17
Definition 9:	Zeichnungsreferenzierung	18

Gleichungsverzeichnis

Gleichung 5-1:	Erforderlicher Stichprobenumfang	95
Gleichung 5-2:	Blickpunktanzahl	96
Gleichung 5-3:	Arithmetisches Mittel	98
Gleichung 5-4:	Median (Zentralwert)	98
Gleichung 5-5:	Spannweite	98
Gleichung 5-6:	Standardabweichung	98
Gleichung 5-7:	Theoretische Blickübergangsmöglichkeiten	110
Gleichung 5-8:	Blickwechselwahrscheinlichkeit	113
Gleichung 5-9:	Kumulierte Fixationsdauer	116
Gleichung 5-10:	Relative Fixationsdauer (Regressionsgerade)	116
Gleichung 5-11:	Lineares Bestimmtheitsmaß	117
Gleichung 5-12:	Projizierte Fixationsdauerabweichung	119
Gleichung 5-13:	Phasenanzahl	121
Gleichung 5-14:	Obere Grenze des Erwartungsbereichs	121
Gleichung 5-15:	Untere Grenze des Erwartungsbereichs	121
Gleichung 5-16:	Rangwert	123
Gleichung 5-17:	z-Transformierte	123
Gleichung 5-18:	Quantilzahl	123
Gleichung 5-19:	Erwartetes Quantil	123
Gleichung 5-20:	Gesamtvarianz	123
Gleichung 5-21:	Unaufgeklärte Varianz (Fehlervarianz)	123
Gleichung 5-22:	Aufgeklärte Varianz	123
Gleichung 5-23:	Passungsgüte.....	123
Gleichung 5-24:	Mittlere Trendlänge	130

Abkürzungsverzeichnis

DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DIN EN	Europäische Norm mit dem Status einer deutschen Norm (DIN)
DIN ISO	Internationale Norm mit dem Status einer deutschen Norm (DIN)
F/E	Forschung und Entwicklung
IHK	Industrie- und Handelskammer
ISO	Internationale Organisation für Normung
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
TPD	Technische Produktdokumentation
VDA	Verband Der Automobilindustrie
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

1 Einleitung

Motivation

Technische Zeichnungen sind in der produzierenden Wirtschaft wichtige Kommunikationsmedien, da „*die Technische Zeichnung zum einen die Sprache des Ingenieurs ist*“ /bac05/, und da Technische Zeichnungen zum anderen in ihrer Eigenschaft als primäre technische Produktdokumentation die zur Erstellung sekundärer, tertiärer sowie nicht-technischer Produktdokumentationen, wie z. B. Arbeitsplänen, Betriebsdokumentationen oder Gefährdungsbeurteilungen, erforderlichen Produktdaten präsentieren.

Die Industrie und die Wissenschaft sind seit langer Zeit bestrebt, die in Technischen Zeichnungen präsentierten Produktdaten in einer informationstechnisch verarbeitbaren Form zu repräsentieren. So verfolgte z. B. der Verband der Automobilindustrie e. V. mit der VDA-Empfehlung 4953 das Ziel „*auf die Erstellung einer Zeichnung zu verzichten*“ /vda4953-1/. Technische Zeichnungen sollen entsprechend dieser VDA-Empfehlungen durch 3D-CAD-Modelle, mit denen sämtliche geometriebezogenen Daten verknüpft sind, sowie durch eine mit diesen Modellen verknüpfte Produktdatenverwaltungsdatenbank, in welcher alle technologischen und alle organisatorischen Produktdaten hinterlegt sind, ersetzt werden. Ferner wurde mit der Normenreihe ISO 10303 ein digitales Standardformat zur Verwaltungen und Verarbeitung von Produktdaten mit der Bezeichnung STEP entwickelt.

Trotz der heutigen Möglichkeiten, die in Technischen Zeichnungen präsentierten Produktdaten digital zu repräsentieren, ist es bisher nicht gelungen, auf die Erstellung, die Distribution und die Nutzung Technischer Zeichnungen verzichten zu können. Ursächlich hierfür ist u. a. die Tatsache, dass die Erstellung sekundärer und/oder tertiärer sowie nicht-technischer Produktdokumentationen bis heute nicht vollautomatisch von einer entsprechenden Software erbracht werden kann, so dass die in Technischen Zeichnungen präsentierten Produktdaten auch heute immer noch von Menschen erfasst, ergänzt und weiterverarbeitet werden müssen.

Eine Lösung dieses Problems könnte erreicht werden, wenn ein Ansatz gefunden wird, welcher den Prozess des Lesens Technischer Zeichnungen allgemeingültig und universell beschreibt. Das entscheidende Problem bei der Prozessbeschreibung ist jedoch, dass Lesen eine individuelle Methode der Informationsaufnahme und -verarbeitung ist; so ist „*ein geschickter Leser sehr selektiv. Manchmal liest er flüchtig, manchmal überspringt er und manchmal konzentriert er sich. Er plant seine Strategien im Voraus, passt sie seinen Interessen, dem Stoff und seinem Ziel an ... um nur wenige der Millio-*

nen Möglichkeiten zu nennen. Er liest nicht, indem er nur einen einzigen Prozess ausführt, der aus dem Dekodieren und Verstehen besteht; er denkt, er erinnert sich und vergisst oft und er bezieht das, worauf seine Augen verweilen, konstant auf das, was vorher kam und was als nächstes kommt sowie auf seine persönliche Erfahrung“ /gib80/. Aufgrund der sehr hohen Komplexität und insbesondere aufgrund der Individualität des Zeichnungslesers sowie der Subjektivität des Leseprozesses ist die Frage legitim, „ob das Suchen nach Modellen, welche den Leseprozess beschreiben, ein lohnendes Unternehmen ist“ /gib80/. Bis heute wurde diese Frage, wie dies eine Literaturrecherche ergibt, offensichtlich stets verneint.

Zielorientierung

Obgleich es nicht einen einzigen Leseprozess gibt und es demnach auch kein einziges Lesemodell geben kann, sollte es doch möglich sein, ein Prozessmodell zu modellieren, welches die generellen Prinzipien des Lesens Technischer Zeichnungen beschreibt. Diese These kann mit den folgend benannten formalen Unterschieden zwischen kontinuierlich verfassten Texten und Technischen Zeichnungen begründet werden:

- Technische Zeichnungen sind in ihrer Präsentationsform zum einen sehr stark formalisiert und zum anderen werden alle Informationen parallel angeboten. Technische Zeichnungen unterscheiden sich somit von kontinuierlich verfassten Texten darin, dass im Idealfall keine Datenredundanz vorliegt und dass die einzelnen Informationen relativ schnell lokalisiert werden können.
- Die inhaltlichen Aussagen der in dieser Arbeit betrachteten Technischen Zeichnungen der mechanischen Technik sind relativ beschränkt, da sie sich auf einen speziellen Bereich beziehen; nämlich den der Maschinen, welche ihren Zweck nach den Gesetzmäßigkeiten der physikalischen Mechanik erfüllen. Somit unterscheidet sich das Lesen Technischer Zeichnungen vom Lesen kontinuierlich verfasster Texte insbesondere bezüglich des Lesestoffumfangs und bedingt hierdurch in dem Umfang der möglichen Lesezwecke.
- Technische Zeichnungen werden überdies in einer personenneutralen Form erstellt, d. h. dass die in Technische Zeichnungen verwendeten Zeichen im Gegensatz zu kontinuierlich verfassten Texten lediglich eine Darstellungsfunktion, welche sich auf die objektive Botschaft bezieht, besitzen. Die Zeichen in kontinuierlich verfassten Texten besitzen darüber hinaus weitere Funktionen, wie z. B. eine Ausdrucksfunktion, mit welcher der Autor Informationen über sich selbst vermittelt, so dass beim Lesen Technischer Zeichnungen weniger (Zusatz-)Informationen zu berücksichtigen sind.

Die Tatsache, dass „so viele unterschiedliche Leseprozesse wie Leser und Lesestoff und entsprechende Lese-Ziele“ /gib80/ existieren, bedingt, dass das zu entwickelnde Prozessmodell keine Algorithmen zum Lesen Technischer Zeichnungen liefern kann. Das entwickelte Prozessmodell sollte jedoch den grundsätzlichen Prozess des Interpretierens Technischer Zeichnungen derart beschreiben, dass später Heuristiken zur Interpretation Technischer Zeichnungen abgeleitet werden können.

Die Modellierung eines Prozessmodells, welches die allgemeinen Prinzipien beschreibt, nach denen Technische Zeichnungen gelesen werden können und aus welchem geeignete Heuristiken zum Lesen Technischer Zeichnungen abgeleitet werden können, ist mithin die Zielorientierung der vorliegenden Arbeit.

Aufbau der Arbeit

In dem Kapitel „Präzisierung der Aufgabenstellung“ wird die oben formulierte Zielorientierung derart differenziert, dass abschließend das hauptsächliche Ziel der vorliegenden Arbeit eindeutig formuliert werden kann. Die Präzisierung der Aufgabenstellung ist zum einen erforderlich, da bis heute keine Arbeiten existieren, welche den Begriff der „Technischen Zeichnung“ exakt definieren; so werden oftmals „alle nutzerorientierten zeichnerischen Darstellungen technischer Gegenstände und Sachverhalte, die als Planungshilfe, Erklärungshilfe, Arbeitsanweisung“ /dom92/ dienen, als Technische Zeichnung bezeichnet; so z. B. auch Diagramme oder Schaltpläne. Es besteht jedoch ein Unterschied z. B. zwischen dem Lesen eines Diagramms, das als Visualisierung nicht wahrnehmbare Strukturen veranschaulicht, und dem Lesen einer Technischen Zeichnung, welche visuell wahrnehmbare Strukturen darstellt. Zum anderen ist die Präzisierung der Aufgabenstellung erforderlich, da bis heute ebenfalls keine Arbeiten existieren, welche eindeutig beschreiben, was unter dem Lesen einer Technischen Zeichnung zu verstehen ist. Selbst die Quellen (insbesondere Rahmenlehrpläne), welche die Fähigkeit, Technische Zeichnungen lesen zu können, fordern, liefern keine Beschreibung dessen, was sie unter dem Begriff „Zeichnungslesen“ verstehen.

In dem anschließenden Kapitel „Stand der Technik“ wird der aktuelle öffentliche Wissensstand bezüglich der definierten Zielsetzung der vorliegenden Arbeit dargestellt. Da dieser jedoch sehr ungenügend ist, wird überdies ein fokussierter Auszug des Stands der Technik bezüglich des menschlichen Verstehens von bildhaften Darstellungen und von Texten sowie die bekannten Ansätze des computergestützten Lesens Technischer Zeichnungen, auf deren Basis das Prozessmodell des Lesens Technischer Zeichnungen entwickelt werden kann, dargestellt.

In dem Kapitel „Prozessmodell der Zeichnungsinterpretation“ erfolgt die Entwicklung eines Modells, welches den Prozessverlauf der Zeichnungsinterpretation in allgemeiner Form beschreibt. Hierzu werden modelltheoretische Grundlagen erarbeitet, das Prozessmodell modelliert und mit Hilfe eines Interpretationsbeispiels erläutert. Abschließend erfolgt eine abstrakte Formulierung des Prozessmodells der Interpretation Technischer Zeichnungen der mechanischen Technik.

In dem Kapitel „Modellverifikation“ wird das theoretisch entwickelte Zeichnungsinterpretationsmodell verifiziert. Hierbei wird die Methode des Eye-Trackings angewendet und zwecks der Datenanalyse eine Auswertungsroutine entwickelt, die eine objektive Interpretation der Daten ermöglicht.

In dem Kapitel „Heuristik der Zeichnungsinterpretation“ wird die Praxistauglichkeit des entwickelten Prozessmodells der Interpretation Technischer Zeichnungen hinsichtlich der Ableitung von Heuristiken mit Hilfe einer exemplarisch abgeleiteten Heuristik zur Beschreibung der Funktion eines technischen Systems der mechanischen Technik dargestellt.

In dem Kapitel „Zusammenfassung und Ausblick“ werden die Ergebnisse der Arbeit abschließend zusammengefasst. Ferner erfolgt eine Reflexion zum Stand der Technik, und es werden offene Fragen formuliert, welche nicht im Rahmen der vorliegenden Arbeit beantwortet werden konnten und welche es aufgrund ihrer Bedeutung für die Realisierung einer Software zur automatischen Interpretation Technischer Zeichnungen wert sind, Gegenstand künftiger Forschungstätigkeiten zu sein.

2 Präzisierung der Aufgabenstellung

In dem Kapitel „Präzisierung der Aufgabenstellung“ werden die Fragen geklärt, was unter dem Objekt der „Technischen Zeichnung“ zu verstehen ist und was es bedeutet, eine Technische Zeichnung zu interpretieren. Die Klärung dieser Fragen ist für die Entwicklung eines Prozessmodells der Interpretation Technischer Zeichnungen fundamental. Denn nur wenn das System „Technische Zeichnung“ und die Eingangs- und Ausgangsgrößen „Interpretationsproblem und Interpretationslösung“ des Prozesses bekannt sind, kann dieser eindeutig und objektiv modelliert werden.

2.1 Objektbeschreibung

Die Objektbeschreibung dient der Beantwortung der Frage, was unter einer Technischen Zeichnung zu verstehen ist. Das Ziel dieses Kapitels ist es somit, den Begriff „Technische Zeichnung“ eindeutig und exakt zu definieren, um ihn somit von anderen zeichnerischen Darstellungsformen zu unterscheiden.

Die Notwendigkeit einer Begriffsdefinition ergibt sich aus der Tatsache, dass bis heute weder in theoretischer Formulierung noch im praktischen Verständnis der Zeichnungsbenutzer ein eindeutiges Verständnis des Begriffs „Technische Zeichnung“ existiert. Selbst die verschiedenen Ausgaben der Norm DIN 199, welche u. a. die Definition der unterschiedlichen Zeichnungsbegriffe zum Inhalt haben, definieren den Begriff „Technische Zeichnung“ uneinheitlich; so ist z. B. in der Normausgabe aus dem Jahr 2002 eine Zeichnung als eine *„aus Linien bestehende bildliche Darstellung, eine Schriftzeichnung aber als eine Zeichnung, in der die Teile ... nur durch Textangaben beschrieben werden“* /din199-1/ definiert. Derartige Unstimmigkeiten sollen mit der folgenden Analyse technischer Produktdokumentationen (vgl. Kap. 2.1.1) sowie einer Definition Technischer Zeichnungen (vgl. Kap. 2.1.4) vermieden werden.

Bezüglich der Interpretation Technischer Zeichnungen steht mit der Definition des Begriffs „Technische Zeichnung“ die Frage nach dem Informationsgehalt Technischer Zeichnung in einem engen Zusammenhang. In dem Kapitel 2.1.2 wird daher ein Produktdatenmodell entwickelt, welches diese Frage in abstrakter Formulierung beantwortet.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung eines Prozessmodells der Interpretation Technischer Zeichnungen ist des weiteren von Interesse, welche Funktion die Technische Zeichnung in dem Interpretationsprozess erfüllt. Diesbezüglich sind in dem Kapitel 2.1.3 mögliche Grundfunktionen Technischer Zeichnungen beschrieben.

2.1.1 Differenzierung technischer Produktdokumentationen

Technische Produktdokumentationen (kurz: TPDen) sind Dokumente, die „in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Entstehungsprozess des mit diesem Dokument beschriebenen Produkts“ /din6789-4/ stehen. Die unterschiedlichen Dokumentarten können mit Hilfe unterschiedlicher Kriterien, von denen einige folgend erläutert werden, voneinander abgegrenzt werden.

2.1.1.1 Chronologische Differenzierung TPDen

Die chronologische Differenzierung technischer Produktdokumentationen orientiert sich an der Entstehungshistorie der Dokumentationen, wobei nach der Norm DIN 6789 Teil 4 /din6789-4/ folgende Entwicklungsstufen unterschieden werden:

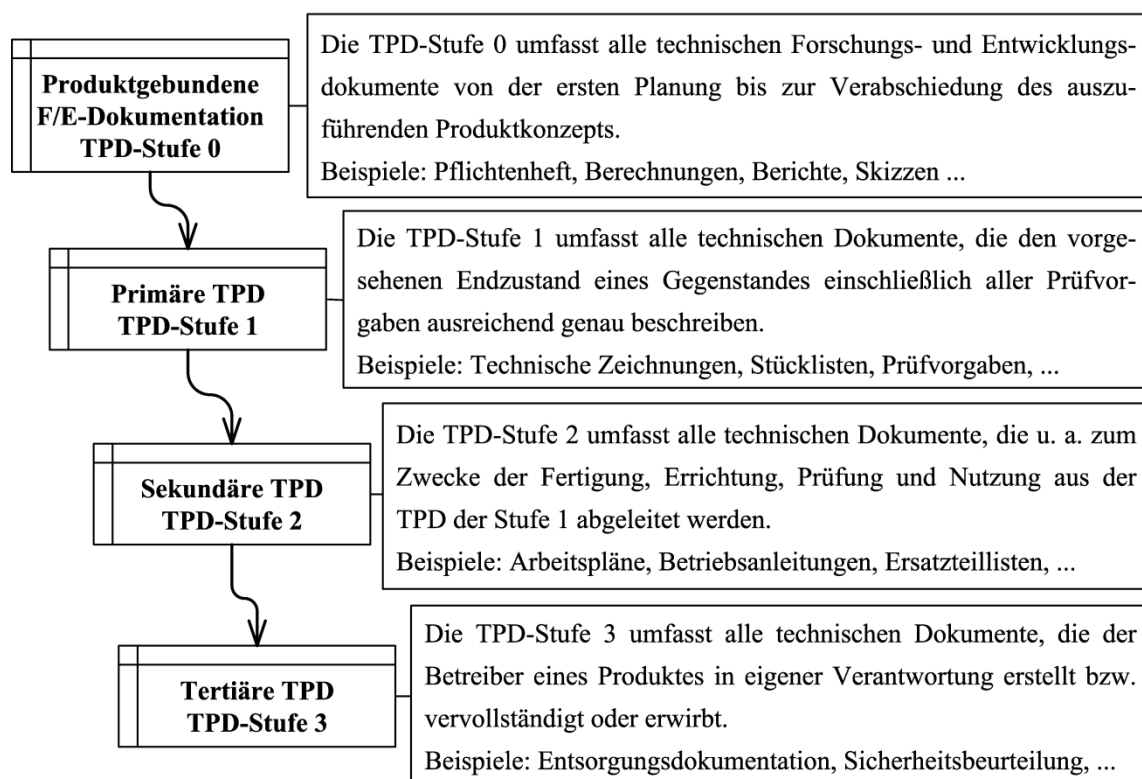


Bild 2-1: Chronologische Differenzierung technischer Produktdokumentationen

2.1.1.2 Zeichentypologische Differenzierung TPDen

Eine zeichentypologische Differenzierung technischer Produktdokumentationen kann entsprechend der dokumentspezifischen charakteristischen Präsentationsform erfolgen. Speziell die graphisch kodierten Präsentationsformen können zeichentypologisch wie folgt differenziert werden (vgl. /bal02; wag04/):

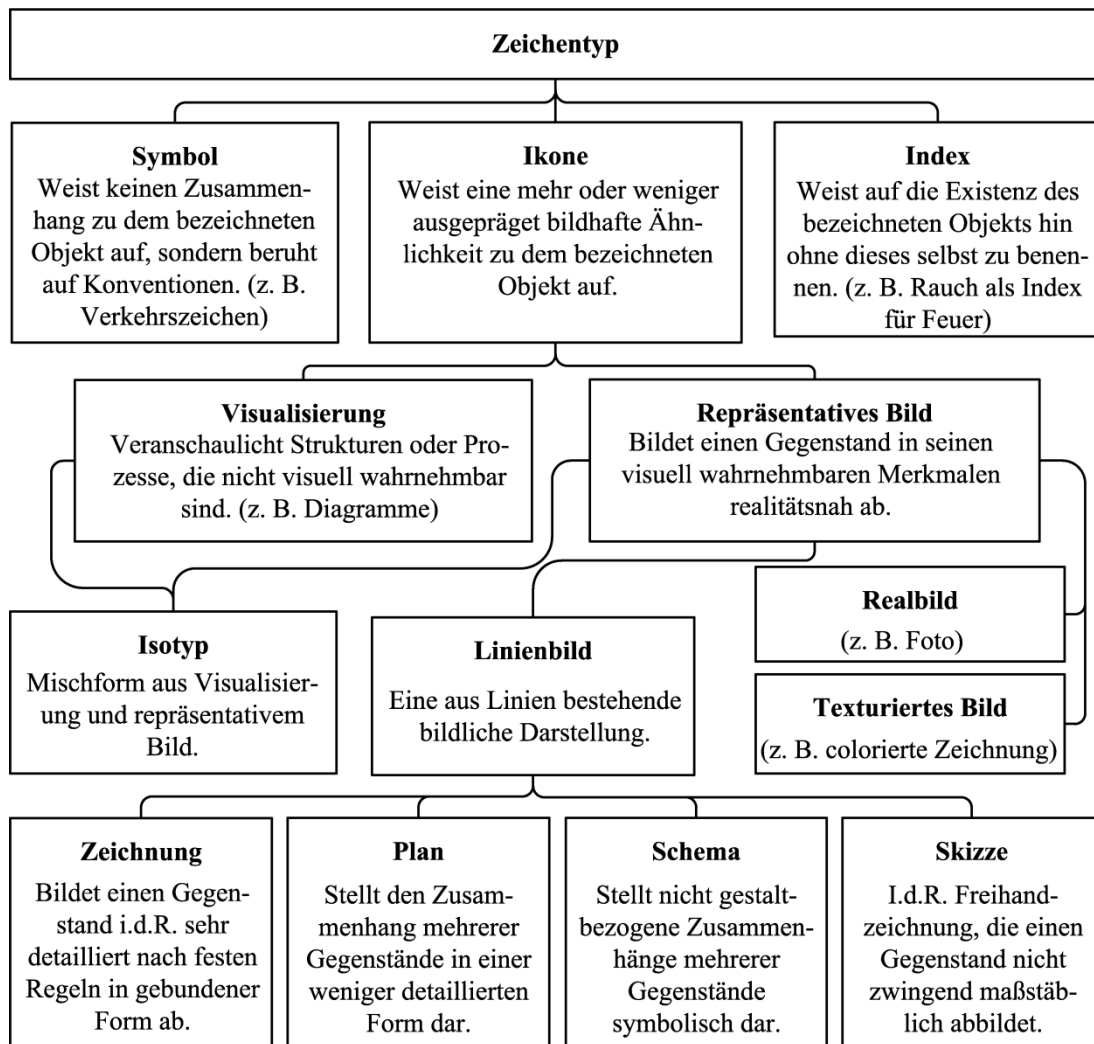


Bild 2-2: Zeichentypologische Differenzierung technischer Produktdokumentationen

Aus zeichentypologischer Sicht können die Linienbildtypen „Technische Zeichnung“, „Technischer Plan“, „Technisches Schema“ und „(Technische) Skizze“, wie folgt unterschieden werden:

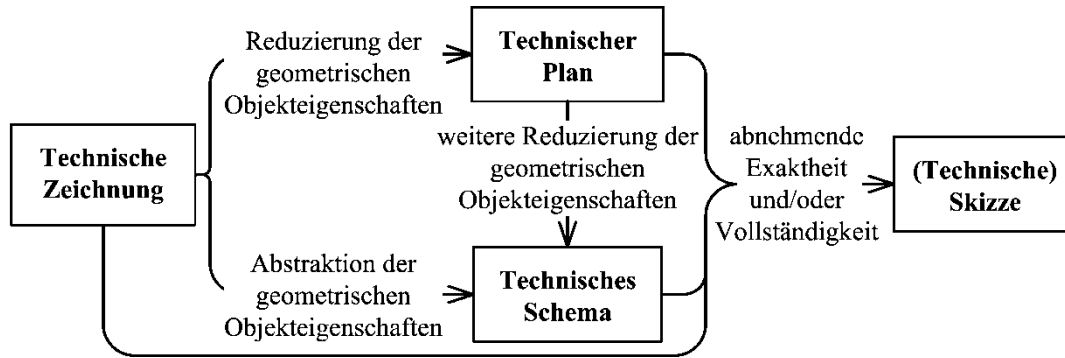


Bild 2-3: Zeichentypologische Differenzierung technischer Linienbilder

Linienbilder können aus zeichentypologischer Sicht ferner entsprechend der verwendeten Projektionsmethode differenziert werden. Bezüglich Technischer Zeichnungen unterscheidet die Norm DIN ISO 5456 Teil 1 allgemein zwischen der orthogonalen, den axonometrischen und den zentralperspektivischen Projektionen, wobei die „übliche Technische Zeichnung“ /dis5456-1/ in der Orthogonalprojektion erstellt wird. Axonometrische sowie Zentralprojektionen werden hingegen nur dort verwendet, wo „dem Betrachter ein leicht verständliches Bild“ /dis5456-1/ von dem dargestellten Objekt vermittelt werden soll. Zur Unterscheidung der in Technischen Zeichnungen verwendeten zweidimensionalen Darstellungen in Orthogonalprojektion werden die axonometrischen und die perspektivischen Projektionen „bildliche Darstellung“ /dis5456-1/ genannt. Diese bildlichen perspektivischen Darstellungen werden folgend nicht weiter betrachtet. Eine Gegenüberstellung der unterschiedlichen Projektionsmethoden zeigt das folgende Bild:

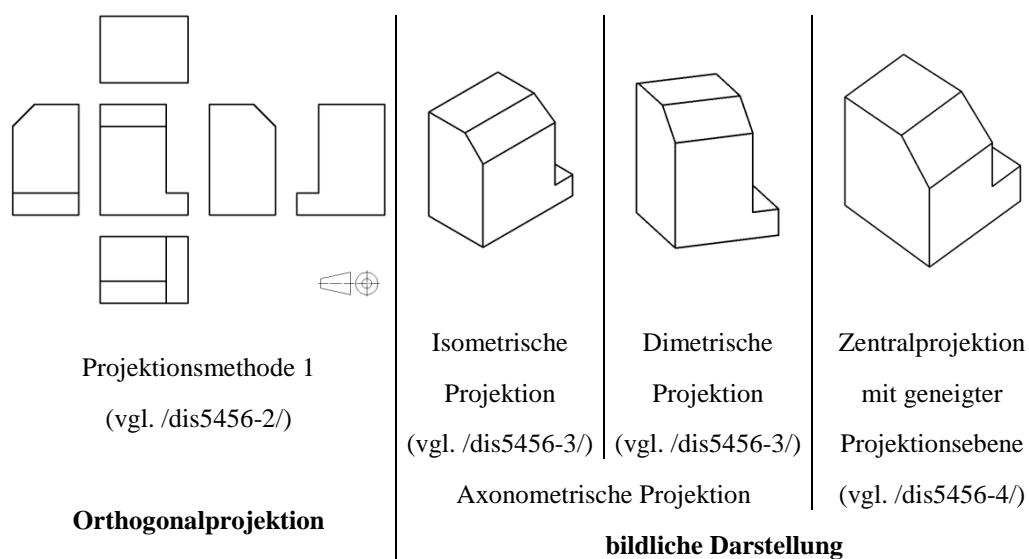


Bild 2-4: Projektionsmethoden (Auszug)

2.1.1.3 Phänomenologische Zeichendifferenzierung

Im Sinne der Phänomenologie, welche einen Gegenstand von der Seite seiner Erscheinung betrachtet, können aus einzelnen Linien bestehende Zeichenkomplexe entsprechend ihrem bildhaften Ähnlichkeitsgrad mit dem dargestellten Objekt wie folgt differenziert werden:

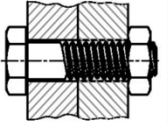
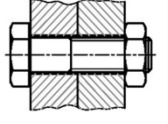
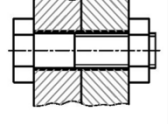
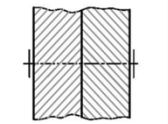
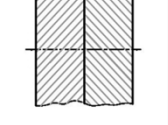
<p>Darstellung der wirklichen Form</p> <p>Sehr realitätsnahe Darstellung der geometrischen Objektmerkmale.</p>		<p>Realistische Ikonizität</p> <p>Graphische Primär-Zeichen bilden eine Einheit, welche eine realitätsnahe bildhafte Ähnlichkeit mit dem dargestellten Objekt aufweist.</p>
<p>Vollständige Darstellung</p> <p>Vollständige Darstellung der wesentlichen geometrischen Objektmerkmale.</p>		<p>Stilisierte Ikonizität</p> <p>Graphische Primär-Zeichen bilden eine Einheit, welche eine reduzierte bildhafte Ähnlichkeit mit dem dargestellten Objekt aufweist.</p>
<p>Vereinfachte Darstellung</p> <p>Reduzierte Darstellung der wesentlichen geometrischen Objektmerkmale.</p>		
<p>Stark vereinfachte Darstellung</p> <p>Darstellung der funktionsrelevanten geometrischen Objektmerkmale.</p>		<p>Nicht Ikonizität</p> <p>Graphische Primär-Zeichen bilden eine Einheit, welche keine bildhafte Ähnlichkeit mit dem dargestellten Objekt aufweist.</p>
<p>Symbolische Darstellung</p> <p>Sinnbildliche Darstellung des Objekts ohne direkten Geometriebezug.</p>		

Bild 2-5: Phänomenologische Differenzierung graphischer Zeichenkomplexe

2.1.2 Produktdatenmodell

Technische Zeichnungen weisen aufgrund ihrer Funktion als graphisches Modell realer Objekte das modellcharakteristische Verkürzungsmerkmal auf, d. h. dass in Technischen Zeichnungen stets nur ein Auszug der Merkmale der dargestellten Objekte präsentiert wird. Die Gesamtheit aller im Produktlebenszyklus erforderlichen Objektmerkmals- und Eigenschaftsdaten wird unter dem Begriff „Produktdaten“ zusammengefasst und in einem Produktdatenmodell abgebildet, d. h. dass dieses Modell alle Daten, die für eine vollständige Entwicklung, Herstellung, Nutzung und Entsorgung bzw. Recycling eines Produktes notwendig sind, umfasst.

Bekannte (vgl. u. a. /and03; got91/) Produktdatenmodelle für Produkte des allgemeinen Maschinenbaus sind partielle Modelle, welche die folgende Struktur aufweisen:

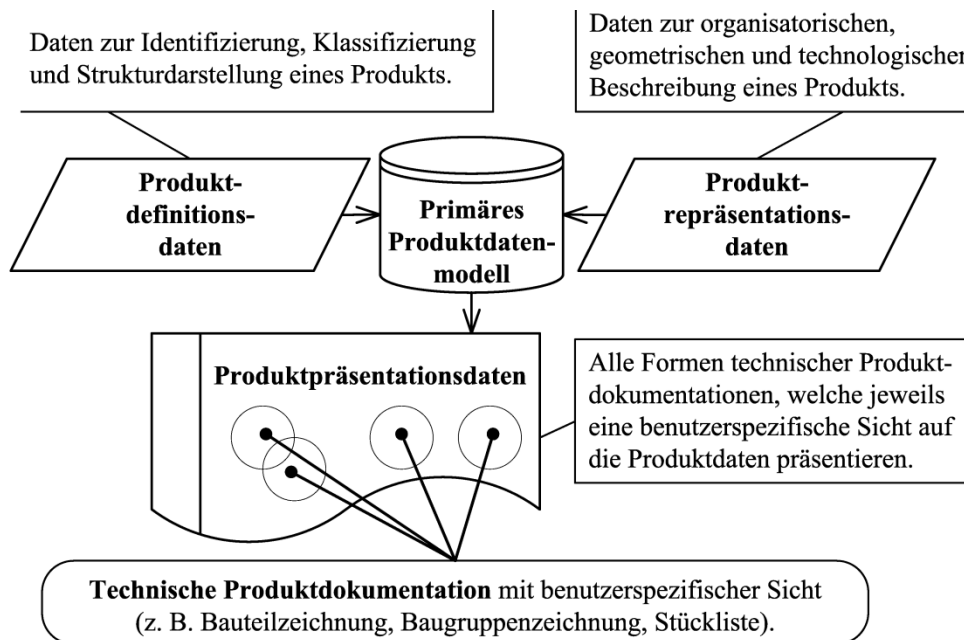


Bild 2-6: Primäres Produktdatenstrukturmodell

Die in Bauteil- und in Baugruppenzeichnungen präsentierten Produktdaten können, da „Umfang und Form der zu liefernden Informationen mit dem Auftraggeber vereinbart werden“ /din6789-2/, nur allgemein für den Regelfall benannt werden. Dieser Regelfall liegt vor, wenn die „Gegenstände in der für den jeweiligen Zweck erforderlichen Art vollständig“ /din6789-2/ dargestellt sind. In abstrakter Formulierung kann die allgemeine Produktdatenstruktur von Bauteil- und von Baugruppenzeichnungen in Anlehnung an die Norm DIN 6789 Teil 2 /din6789-2/ und die VDI-Richtlinie 2211 Teil 3 /vdi2211-3/ wie folgt dargestellt werden:

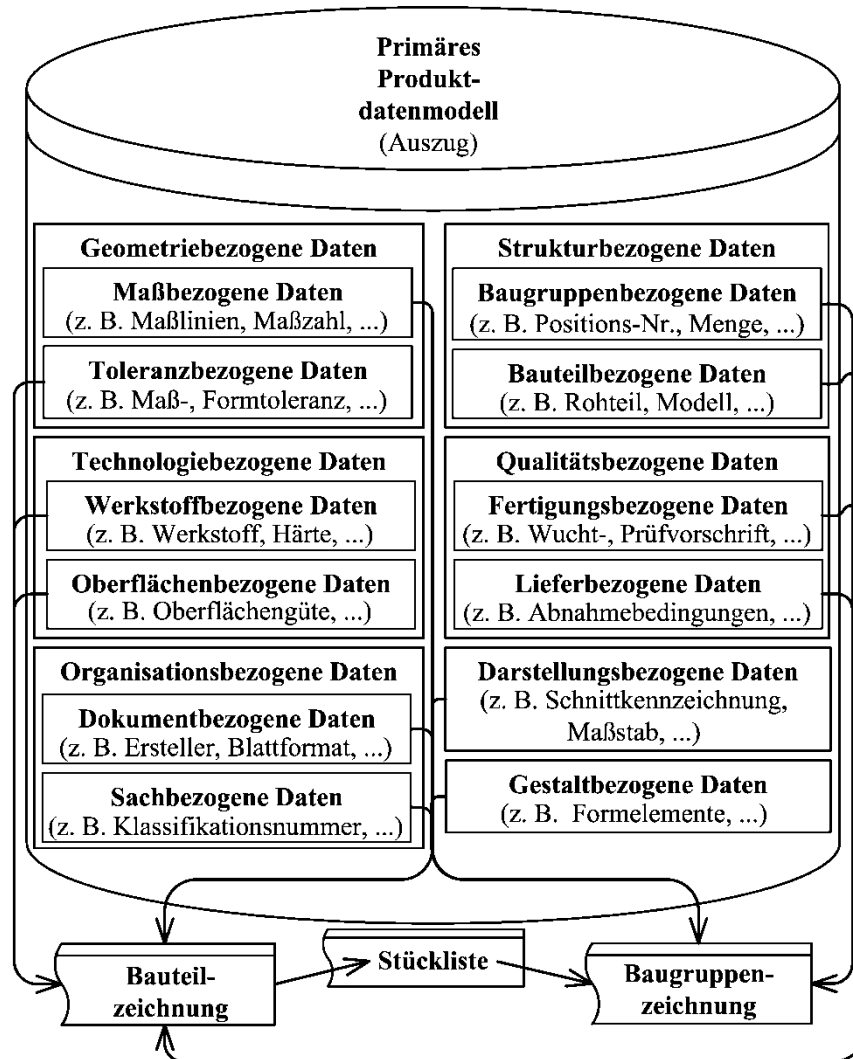


Bild 2-7: Produktdatenstruktur Technischer Bauteil- und Baugruppenzeichnungen

Wie in Bild 2-7 ersichtlich ist, präsentieren die verschiedenen Klassen Technischer Zeichnungen jeweils nur verwendungsspezifische Teilmengen der gesamten Produktdaten. Zugleich bilden diese präsentierten Produktdaten die Basis zur Erstellung von sekundären bzw. tertiären technischen sowie nicht-technischen Produktdokumentationen. Die Erstellung dieser Produktdokumentationen geschieht derart, dass die primären Produktdaten mit sekundären technischen, tertiären technischen und/oder nicht-technischen Produktdaten verknüpft werden. Dementsprechend kann das primäre Produktdatenmodell, wie im Bild 2-8 dargestellt, erweitert werden.

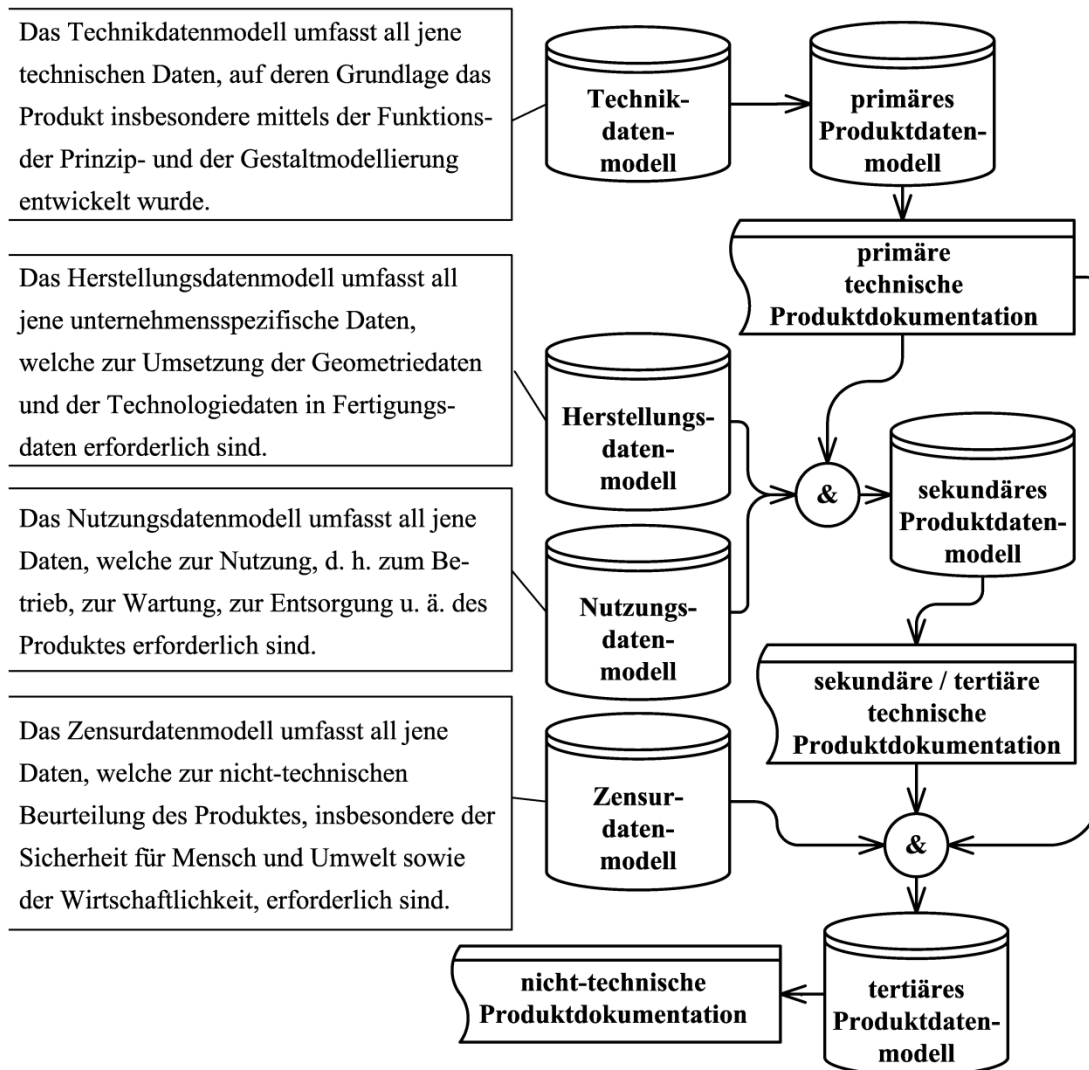


Bild 2-8: Erweitertes Produktdatenstrukturmodell

2.1.3 Charakterisierung Technischer Zeichnungen

Entsprechend der in dem Kapitel 2.1.1 ausgeführten Präsentationsform Technischer Zeichnungen sowie dem in Kapitel 2.1.2 dargestellten Produktdatenmodell kann die Frage, was unter einer Technischen Zeichnung im Allgemeinen und was unter einer Bauteilzeichnung bzw. unter einer Baugruppenzeichnung im Speziellen zu verstehen ist, mit den folgenden Definitionen beantwortet werden:

Definition 1: Technische Zeichnungen

Technische Zeichnungen sind primäre technische Produktdokumentationen, welche technische Objekte in ihrem – bezüglich eines bestimmten Entwicklungsstandes – beabsichtigten Endzustand hinreichend vollständig und genau darstellen.

Die Darstellung erfolgt überwiegend in der Form eines ikonisch-repräsentativen Linienbildes, welches eine bildhafte Ähnlichkeit mit dem dargestellten Objekt aufweist und welche nach festen Regeln in einer proportionalen Orthogonalprojektion erstellt ist.

Technische Zeichnungen können sowohl nur die qualitative Objektgestalt als auch die qualitative und die quantitative Objektgestalt beschreiben.

Anmerkungen:

Die qualitative Beschreibung der Objektgestalt weist – mit Ausnahme häufig verwendeter Formelemente und Normteile, welche i. d. R. symbolisch dargestellt werden – eine realistisch-ikonische bis stilisiert-ikonische bildhafte Ähnlichkeit mit dem dargestellten Objekt auf. Die quantitative Beschreibung erfolgt i. d. R. mittels stilisiert- bis nicht-ikonischer logischer Zeichen.

Definition 2: Bauteil-Zeichnungen

In Bauteilzeichnungen werden einzelne technische Objekte, die als eine untrennbare Einheit aufgefasst werden und die nicht zerstörungsfrei zerlegt werden können, bezüglich ihrer Gestaltmerkmale qualitativ und quantitativ vollständig und exakt dargestellt.

Der Präsentationsumfang bezieht sich vornehmlich auf die geometrischen und auf die technologischen Produktdaten, ohne hierbei auf andere Bauteile Bezug zu nehmen.

Definition 3: Baugruppen-Zeichnungen

In Baugruppenzeichnungen werden einfache technische Systeme dargestellt, die aus zwei oder mehr Teilen und/oder Unterbaugruppen bestehen, die in sich geschlossen sind und die eine vollständige Funktion erfüllen.

Der Präsentationsumfang bezieht sich vornehmlich auf die räumlichen Beziehungen der Bauteile sowie auf eine reduzierte Darstellung der qualitativen Objektgestalt, welche die Funktion der Bauteile fokussiert. Eine quantitative Beschreibung des technischen Systems erfolgt nur sehr eingeschränkt.

Anmerkungen:

Baugruppen die keine eigene vollständige Funktion im Sinn der mechanischen Technik erfüllen, stellen im Sinn der Definition Bauteile dar, die in Bauteilzeichnungen präsentiert werden.

Ein Beispiel hierfür ist der Hebelarm eines Hydraulikhebers, der aus mehreren miteinander vernieteten Stangen besteht aber als eine Einheit funktioniert (vgl. Bild 4-23).

2.2 Funktionen Technischer Zeichnungen

Die Funktion einer Technischen Zeichnung beschreibt ihren allgemeinen Verwendungszweck und bestimmt somit zugleich den Umfang der in ihr präsentierten Produktdaten. Da in der Literatur keine allgemeingültige Beschreibung der Verwendungszwecke Technischer Zeichnungen beschrieben wird, werden diese folgend definiert.

Es können grundsätzlich die folgenden allgemeinen Funktionen Technischer Zeichnungen unterschieden werden:

Definition 4: Instrumentelle Funktion Technischer Zeichnungen

Eine Technische Zeichnung erfüllt eine instrumentelle Funktion, wenn sie als Hilfsmittel zur Lösung mathematischer, konstruktiver und/oder mechanischer Probleme dient, welche auf der Grundlage geometrischer bzw. vektorieller Gesetzmäßigkeiten gelöst werden können.

Da die instrumentelle Funktion Technischer Zeichnungen der Zeichnungserstellung zuzuordnen ist, wird diese Funktionsklasse von den folgenden Betrachtungen, die sich auf das ausschließliche Lesen bzw. Interpretieren Technischer Zeichnungen beziehen, ausgeschlossen.

Definition 5: Deskriptive Funktion Technischer Zeichnungen

Eine Technische Zeichnung erfüllt eine deskriptive Funktion, wenn sie eine Beschreibung der dargestellten technischen Objekte liefert. Die deskriptive Funktion differenziert sich wie folgt:

- **Deskriptive Funktion von Bauteilzeichnungen**

Bauteilzeichnungen, die nur ein Bauteil präsentieren, beschreiben die Gestalt-eigenschaften des dargestellten technischen Objektes qualitativ und quantitativ jeweils vollständig und exakt.

- **Deskriptive Funktion von Baugruppenzeichnungen**

Baugruppenzeichnungen, die mehrere Bauteile in ihrem funktionalen Zusammenhang präsentieren, beschreiben sowohl die qualitative Gestalt der dargestellten technischen Objekte mehr oder weniger vollständig als auch die funktionsfähige räumliche Anordnung der einzelnen dargestellten Bauteile zueinander. Die quantitative Beschreibung der Objekte ist auf die Anschlussinformationen beschränkt.

Definition 6: Explikative Funktion Technischer Zeichnungen

Technische Zeichnungen erfüllen eine explikative Funktion, wenn sie technische Sachverhalte und/oder technische Prozesse erläutern.

Da technische Sachverhalte bzw. technische Prozesse stets technische Systeme erfordern, welche aus mehreren einzelnen Bauteilen und/oder Baugruppen bestehen, können nur Baugruppenzeichnungen eine explikative Funktion erfüllen.

Erläutert werden insbesondere Daten des Technikdatenmodells, da diese Datenklasse aufgrund des Entstehungsprozesses einer Technischen Zeichnung, in dessen Verlauf die präsentierten Daten in den Prozessen der Funktions-, der Prinzip- und der Gestaltmodellierung definiert werden, immer implizit in der Baugruppenzeichnung präsentiert wird. Daten des Herstellungs-, des Nutzungs- sowie des Zensurdatenmodells ergänzen hingegen i. d. R. das primäre Produktdatenmodell, d. h. dass diese Daten nicht implizit in der Technischen Zeichnung präsentiert werden und somit auch nicht erläutert werden können. Einen Übergangsbereich bilden jene Daten des Herstellungs-, des Nutzungs- oder des Zensurdatenmodells, welche direkt während der Gestaltmodellierung berücksichtigt werden, wie z. B. Daten, die auf fertigungs-, montage-, instandhaltungs- oder recyclinggerechte Gestaltungsrichtlinien zurück geführt werden können.

Angemerkt sei, dass Baugruppenzeichnungen technische Sachverhalte und/oder Prozesse nur mittelbar zu erläutern vermögen, da sie aufgrund ihrer Präsentationsform nur eine statische Momentaufnahme des technischen Systems darbieten, technische Sachverhalte bzw. Prozesse aber stets nur auf der Grundlage einer zeitabhängigen Zustandsänderung erläutert werden können.

Entsprechend der verschiedenen Datenklassen des erweiterten Produktdatenstrukturmodells können folgende explikative Funktionsklassen unterschieden werden:

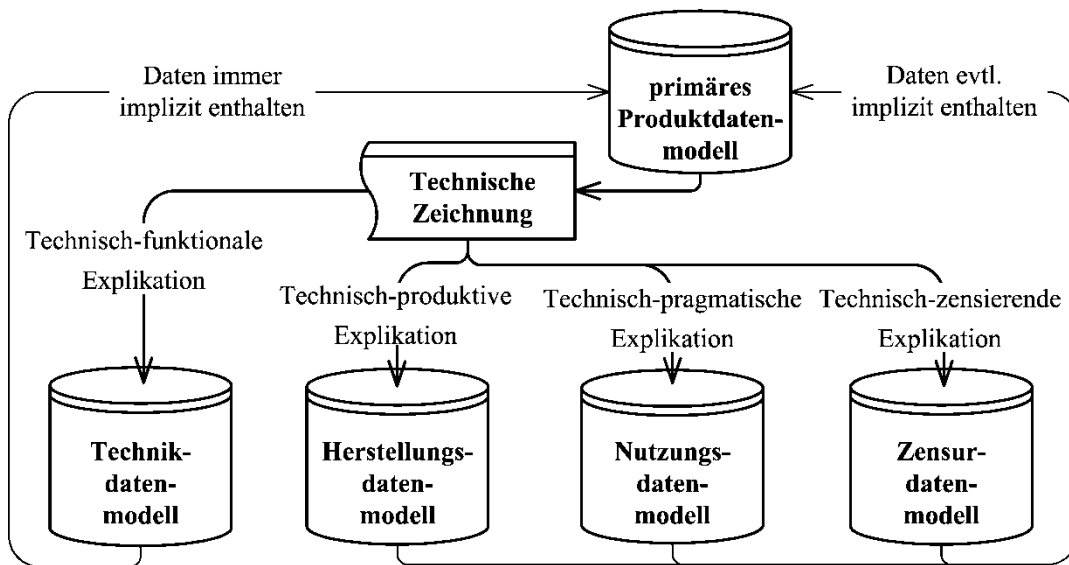


Bild 2-9: Explikative Funktionsklassen Technischer Zeichnungen

2.3 Grundformen des Lesens Technischer Zeichnungen

Das Ziel dieses Kapitels ist die Beantwortung der Frage, was es bedeutet, eine Technische Zeichnung zu interpretieren um somit die Zeichnungsinterpretation eindeutig von anderen Formen der Auseinandersetzung mit Technischen Zeichnungen zu unterscheiden. Das entscheidende Unterscheidungskriterium ist hierbei der Interpretationszweck.

Die Zwecke, zu denen Technische Zeichnungen üblicherweise gelesen werden, leiten sich direkt aus der chronologischen und der pragmatischen Differenzierung technischer Produktdokumentationen ab. Demnach werden Technische Zeichnungen entweder zur Aufnahme von präsentierten Produktdaten gelesen, um diese später nutzen zu können, oder sie werden mit dem Ziel gelesen, aus den präsentierten primären Produktdaten nicht präsentierte sekundäre, tertiäre oder nicht-technische Produktdaten abzuleiten bzw. das Produktdatenmodell um neue Produktdaten zu ergänzen (vgl. Bild 2-8). Entsprechend dieser unterschiedlichen Verwendungszwecke können die folgend beschriebenen Grundformen des Lesens Technischer Zeichnungen unterschieden werden.

Entsprechend der verschiedenen Prozesse, welche zur Aufnahme von den in Technischen Zeichnungen präsentierten Produktdaten bzw. zu deren Weiterverarbeitung und/oder Ergänzung erforderlich sind, können die folgenden Grundformen des Lesens Technischer Zeichnungen unterschieden werden:

Definition 7: Zeichnungslesen

Beim Zeichnungslesen wird die Technische Zeichnungen ausschließlich die deskriptive Funktion (Beschreibung) genutzt, d. h. dass beim Zeichnungslesen ausschließlich die in der Technischen Zeichnung explizit präsentierten Produktdaten erfasst werden.

Das Ziel des Zeichnungslesens ist es, die erfassten Produktdaten gedanklich zu repräsentieren, um sie später aufgabenspezifischen nutzen zu können.

Anmerkungen:

Ob überhaupt und in welcher Form die Produktdaten weiter verarbeitet werden, ist beim Zeichnungslesen nebensächlich, da die Weiterverarbeitung der Produktdaten in einem nachgelagerten Prozess erfolgt, welcher im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet wird. Typische Beispiele für das Zeichnungslesen ist die Herstellung und ggf. Prüfung von Bauteilen nach einer Bauteilzeichnung sowie die Beschreibung der Montage bzw. der Demontage eines technischen Objekts mit Hilfe einer Baugruppenzeichnung.

Definition 8: Zeichnungsinterpretation

Bei der Zeichnungsinterpretation erfolgt neben einer Erfassung der in der Technischen Zeichnung explizit präsentierten Produktdaten insbesondere auch eine Ableitung der nur implizit präsentierten Produktdaten des Technikdatenmodells. Dies geschieht, indem die explikative Funktion Technischer Zeichnungen (Erläuterung) genutzt wird.

Das Ziel der Zeichnungsinterpretation ist es, die erfassten Produktdaten gedanklich zu repräsentieren um sie unmittelbar in gedanklichen Prozessen derart deuten zu können, dass neben den expliziten Daten auch die implizit präsentierten Informationen des Technikdatenmodells erschlossen werden können.

Anmerkungen:

Auch bei der Zeichnungsinterpretation ist es nebensächlich ob die Produktdaten überhaupt weiter verarbeitet werden, da eine eventuelle Weiterverarbeitung der Daten wiederum in einem nachgelagerten Prozess erfolgt.

Ein typisches Beispiel für die Anwendung der Zeichnungsinterpretation ist die Erstellung von sekundären und/oder tertiären technischen Produktdokumentationen, wie z. B. Funktionsbeschreibungen, Gefährdungs- oder Wirtschaftlichkeitsbeurteilungen.

Definition 9: Zeichnungsreferenzierung

Bei der Zeichnungsreferenzierung stellt das Lesen Technischer Zeichnungen eine Hilfsoperation dar, welche lediglich angewendet wird, um in der Technischen Zeichnung bestimmte Produktdaten zu identifizieren, die als Referenz zur Ergänzung des vollständigen Produktdatenmodells um Daten des Herstellungs-, Nutzungs- und/oder Zensurdatenmodells dienen.

Das Ziel der Zeichnungsreferenzierung ist es, das primäre Produktdatenmodell um Produktdaten zu erweitern, die nicht aus den explizit präsentierten Produktdaten abgeleitet werden können.

Anmerkungen:

Je nach Zielsetzung der Zeichnungsreferenzierung kann sowohl die deskriptive als auch die explikative Funktion Technischer Zeichnungen genutzt werden. Die Zeichnungsreferenzierung endet i. d. R. mit der Erstellung einer sekundären technischen, einer tertiären technischen oder einer nicht-technischen Produktdokumentation, d. h. dass bei der Zeichnungsreferenzierung neben einer mentalen Repräsentation der Produktdaten auch deren Kommunikation erforderlich ist. Ein Beispiel für die Zeichnungsreferenzierung ist die Ermittlung der Herstellungskosten auf der Grundlage der erforderlichen Bearbeitungszeiten, welche u. a. vom Spanvolumen, der geforderten Oberflächenbeschaffenheit u. ä. abhängen. Die Zeichnungsreferenzierung wird, da sich die während dieser stattfindenden grundlegenden Prozesse des Lesens Technischer Zeichnung nicht von denen des Zeichnungslesens bzw. der Zeichnungsinterpretation unterscheiden, folgend nicht weiter betrachtet.

Die Grundformen des Lesens Technischer Zeichnungen unterscheiden sich entsprechend der obigen Erläuterungen in der Nutzung der verschiedenen Datenmodelle. Die wesentlichen Unterschiede der drei Grundformen des Lesens Technischer Zeichnungen können gemäß Bild 2-10 dargestellt werden:

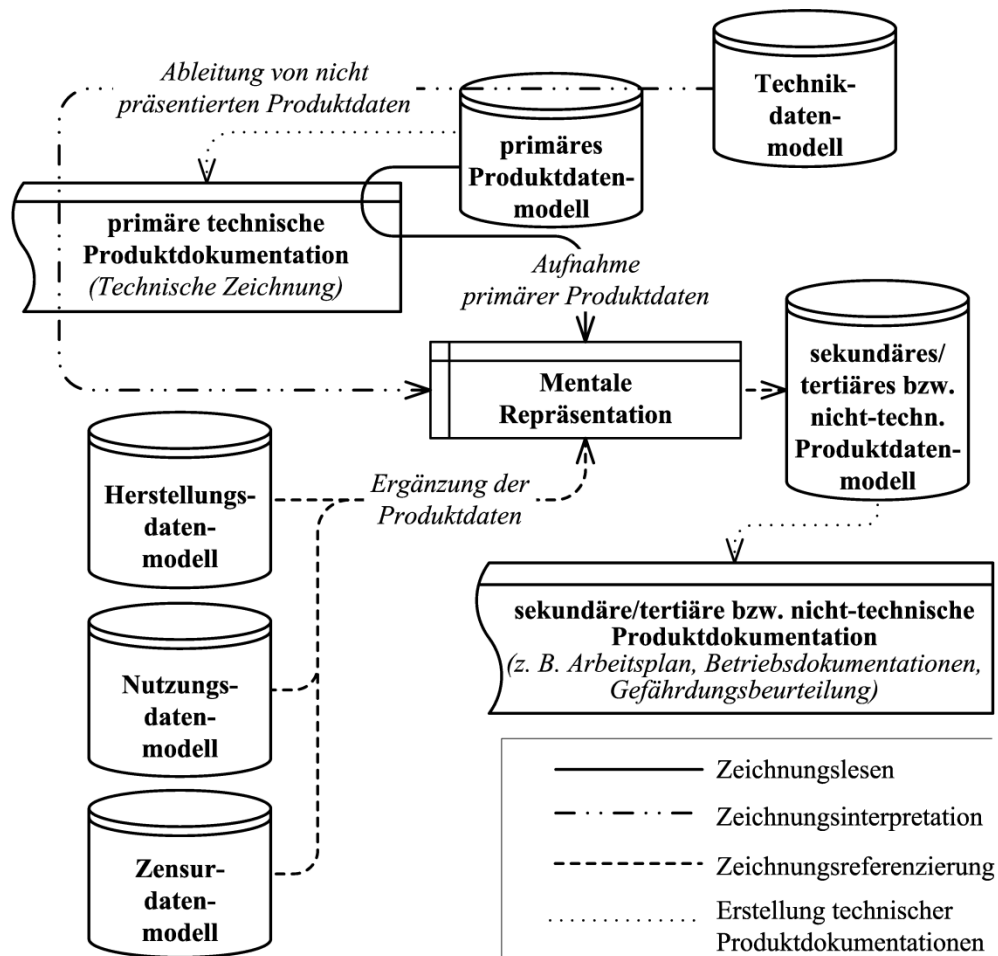


Bild 2-10: Einfaches Prozessmodell des Lesens Technischer Zeichnungen

Als Erläuterungen hierzu dienen die folgenden Beispiele:

Zeichnungslesen

Es soll ein Bauteil hergestellt werden. Hierzu liefert die Bauteilzeichnung eine Beschreibung der qualitativen und der quantitativen Objektgestalt. Durch das Lesen der primären Produktdaten, die in der Bauteilzeichnung präsentiert sind, verschafft sich der Zeichnungsleser ein Gedankenmodell des Bauteils, welches ihm etwa zur Planung der Fertigung zur Verfügung steht. Aussagen über die Funktion des technischen Systems, in dem das Bauteil verwendet wird, sind dem Zeichnungsleser nicht möglich, da die Informationen des Technikdatenmodells nicht in der Technischen Zeichnung präsentiert sind. Auch kann der Zeichnungsleser beispielsweise keine Angaben bezüglich der erforderlichen Arbeitsmittel machen, da diese ebenfalls nicht in der Technischen Zeichnung präsentiert werden. Alles, was der Zeichnungsleser am Ende des Leseprozesses besitzt, ist seine Vorstellung davon, wie das fertige Bauteil aussehen soll.

Zeichnungsinterpretation

Es soll die Funktion eines technischen Systems erklärt werden. Hierzu liefert die Baugruppenzeichnung eine Erläuterung. Durch die Interpretation der primären Produktdaten, die in der Bauteilzeichnung präsentiert sind, erweitert der Zeichnungsinterpret auf der Grundlage seines verfügbaren technischen Wissens die präsentierten Informationen des primären Produktdatenmodells. So kann er beispielsweise seine gedankliche Vorstellung von dem technischen System mit Hilfe gedanklicher Bewegungen einzelner Bauteile derart erweitern, dass sich andere Bauteile, die mit diesen in Beziehung stehen, ebenfalls (gedanklich) bewegen; d. h. er kann die Funktion beschreiben. Am Ende des Interpretationsprozesses besitzt der Zeichnungsinterpret somit zum einen eine Vorstellung davon, wie das technische System (oder zumindest Teile von diesem) aussieht, und zum anderen besitzt er eine Vorstellung davon, wie dieses funktioniert. Fragen, welche sich auf das Herstellungs-, das Nutzungs- oder das Zensurdatenmodell beziehen, kann er jedoch nicht beantworten.

Zeichnungsreferenzierung

Es sollen die Herstellungskosten eines technischen Systems ermittelt werden. Hierzu liefern weder die Bauteil- noch die Baugruppenzeichnung mittelbar verwendbare Informationen. Denkbar ist zum Beispiel, die Bearbeitungszeit zu messen und diese mit den Personal- und den Maschinenkosten zu multiplizieren und die Materialkosten hinzu zu rechnen. In diesem Fall müssen die Technischen Zeichnungen (abgesehen von dem Arbeiter, der die Welle fertigt) weder gelesen noch interpretiert werden. Für die Weiterverarbeitung der Kosten genügt es, wenn zwischen dem Betrag der Herstellungskosten und dem technischen System / den einzelnen Bauteilen ein Bezug bzw. eine Referenz hergestellt wird. Ist dies geschehen, so ist das Produktdatenmodell (vgl. Bild 2-8) um das Datum „Kosten“ ergänzt.

Meistens ist die Zeichnungsreferenzierung mit dem Zeichnungslesen (etwa bei der Erstellung eines Arbeitsplans auf dessen Grundlage eine Kostenkalkulation erfolgen kann) oder mit der Zeichnungsinterpretation (etwa bei der Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung durch die beweglichen Teile) verknüpft; zwingend ist dies jedoch nicht.

2.4 Zielformulierung

Entsprechend der Zielorientierung (vgl. Kap. 1) soll in der vorliegenden Arbeit ein Modell entwickelt werden, welches im Sinn der "Grundform des Lesens Technischer Zeichnungen" (vgl. Kap. 2.2) die grundlegenden Prinzipien der Interpretation Technischer Zeichnungen beschreibt. Dementsprechend soll das Modell die Nutzung der explikativen Funktion (vgl. Kap. 2.1.3) Technischer Zeichnungen bzw. konkreter von Baugruppenzeichnungen gemäß der Definitionen 1 und 3 beschreiben. Des Weiteren zielt der Modellierungsprozess fokussiert auf technische Systeme der mechanischen Technik, welche ihren Zweck nach den Gesetzmäßigkeiten der physikalischen Mechanik erfüllen.

Eine allgemeine Formulierung des Prozessmodells soll seine variable Anwendbarkeit gewährleisten. So soll es beispielsweise als Grundlage für die spätere Entwicklung einer Software zur automatischen Zeichnungsinterpretation dienen. Das Prozessmodell soll ferner auch die Basis für die Entwicklung von Heuristiken sein, welche die Ableitung impliziert in einer Technischen Zeichnung präsentierten Produktdaten aus den explizit präsentierten Daten erleichtern.

Das Prozessmodell der Interpretation Technischer Zeichnungen soll einen möglichen Interpretationsverlauf derart beschreiben, dass die Teilprozesse des Ableitungsprozesses der impliziten Daten deutlich werden. Ferner sollen die Voraussetzungen der Teilprozesse sowie die jeweiligen Ableitungs(teil)ergebnisse benannt werden.

3 Stand der Technik

3.1 Prozessmodelle des Lesens Technischer Zeichnungen

Bis heute existieren weder wissenschaftliche noch allgemeine Arbeiten, welche den Prozess des Lesens Technischer Zeichnungen im allgemeinen oder den Prozess der Ableitung von implizit in Baugruppenzeichnungen präsentierten Daten des Technikenmodells – also den Zeichnungsinterpretationsprozess – beschreiben.

3.2 Quelltexte zum Themenfeld „Technische Zeichnung“

Zum allgemeinen Themenfeld „Technische Zeichnungen“ existieren unzähligen Veröffentlichungen, über die eine einfache Literaturrecherche eine Übersicht liefert. Diese allgemeinen Quellen beziehen sich hauptsächlich auf das Regelwerk Technischer Zeichnungen sowie auf die Zeichnungserstellung, so dass diese Quellen keinen Ansatz zur Modellierung eines Prozessmodells der Zeichnungsinterpretation bieten.

Quellen, welche das Lesen Technischer Zeichnungen thematisieren, existieren hingegen nur wenige. Diese Werke können unterschieden werden in solche (vgl. u. a. /bib03-x; hoi42; hoi88; kum71; kün09, sch71; spa96/), die losgelöst von der Zeichnungserstellung ausschließlich das Lesen Technischer Zeichnungen beschreiben, und in solche (vgl. u. a. /bai98; bau80; bei54; cla58; die82; die91; grün83; hei76; hel00; hof01; hoi54; ihk-x; kag68; kün09; kun95; lan61; lan75; leu68; sch80; zük64/), die das Lesen Technischer Zeichnungen und die Zeichnungserstellung als eine untrennbare Einheit betrachten, nach der eine exklusive Beschreibung des Lesens Technischer Zeichnungen nicht möglich ist. Diese Untrennbarkeitshypothese wird derart begründet, dass „*das Zeichnungslesen nicht vom zeichnerischen Gestalten zu trennen ist*“ /zük64/. Diese Hypothese wird vom Bundesverband Alphabetisierung e. V. indirekt widerlegt, denn wäre das Lesen nicht vom Schreiben (bzw. Zeichnen) zu trennen, so wäre es nicht möglich, dass es „*Menschen (gibt), die ... Texte lesen, aber nicht schreiben können*“ /bam04/; dies ist aber der Fall (vgl. /bam04/). Im Folgenden werden die Quellen, welche die Untrennbarkeitshypothese vertreten, nicht weiter betrachtet, da diese zur Entwicklung eines Prozessmodells der Zeichnungsinterpretation nicht geeignet erscheinen.

Die Quelltexte, welche ausschließlich das Lesen Technischer Zeichnungen thematisieren, empfehlen i. d. R. zielgerichtete Vorgehensweisen, nach denen sich ein Zeichnungsleser den Inhalt einer Technischen Zeichnung erschließen kann. Die einzelnen Vorschläge können in einer Frage- bzw. einer Befehlsform wie folgt dargestellt werden:

- A. Hoischen /hoi42/

1. Welche Angaben enthält die Stückliste über das Werkstück?
2. In welchen Ansichten ist das Werkstück gezeichnet?
3. Welche einzelnen Körperformen hat das Werkstück?
4. In welcher Reihenfolge ist das Werkstück zu fertigen?
5. Welche Maße sind dabei einzuhalten?
6. Welche Oberflächengüte muss das fertige Werkstück haben?

- Schröter /sch71/

1. Informationen des Schriftfeldes und der Stückliste auswerten.
2. Form und Lage der Bauteile erfassen.
3. Funktion der Teile erfassen; insbesondere bezüglich der „Funktion der Form“, der „Funktion des Werkstoffes“ und der „Funktion der Maße“.
4. De-/Montagereihenfolge der einzelnen Bauteile erfassen.

- Kummer /kum71/

1. Mittels einer komplexen Zeichnungsbetrachtung einen Überblick verschaffen.
2. Lesen der „*Legende*“ (Benennung, Text, Erläuterungen, Anleitung).
3. Durch Betrachtung der Ansichten, der Linienarten, einzelner Bauteile, der Maße, des Maßstabs und der Stückliste Einzelheiten der Zeichnung erkennen.

- H. Hoischen /hoi88/

1. Informationen aus dem Schriftfeld und der Stückliste entnehmen.
2. Formerfassung durch Auswertung der zeichnerischen Darstellung.
3. Maßerfassung der Außen- und Innenformen der Körper.
4. Aufgabe und Funktion der Bauteile klären.
5. Verwendete Werkstoffe ermitteln.
6. Oberflächenbeschaffenheiten ablesen.
7. Fertigungsschritte erklären.

- B. Künne /kün09/

I.: Ermittlung von Bauteilgeometrien.

1. Grobkontur erfassen und ggf. beschreiben.
2. Abweichungen von der Grobkontur ggf. in allen Ansichten betrachten.
3. Kompliziertere Bereiche in allen Ansichten zuordnen und verstehen.
4. Gesamtbauteil beschreiben.

II.: Lesen von Baugruppen- und Gesamtzeichnungen.

1. Orientierung auf der Zeichnung gewinnen.
(Die helfenden Fragestellungen beziehen sich auf die Ansichten, das Schriftfeld, ggf. die Stückliste, Größenabmessungen und Maßstab.)
2. Wichtigste Ansicht als Startpunkt des Leseprozesses identifizieren.
(Maßgeblich ist die Ansicht mit den meisten erkennbaren Bauteilen.)
3. Das zentrale Bauteil in der aussagekräftigsten Ansicht identifizieren und als Startpunkt zum Lesen der Technischen Zeichnung auswählen. Anschließend die Geometrie dieses Bauteils ermitteln.
(Das zentrale Bauteil ist jenes, das am besten erkennbar ist.)
4. Die Geometrien der an das zentrale Bauteil angrenzenden Bauteile ermitteln.
5. Die Hauptfunktion der Maschine klären, indem die Darstellungen auf die wesentlichen Funktionen zurückgeführt werden.
(Von Interesse sind nur die einfachen Darstellungsbereiche; die komplizierten Bereiche werden zunächst nicht betrachtet.)
6. Vollständige Hauptfunktion erklären, indem neben den Teilfunktionen des fünften Schrittes auch die komplizierten Darstellungsbereiche untersucht werden.

Die vorgeschlagenen Heuristiken zum Lesen Technischer Zeichnungen unterscheiden sich in der Art, wie sie sich dem Zeichnungsinhalt annähern. Bei A. Hoischen, Schröter und H. Hoischen beginnt diese Annäherung abseits der zeichnerischen Darstellung mit dem Lesen der Stückliste und des Schriftfeldes. Ebenso empfiehlt Kummer mit einer vorgelagerten komplexen Zeichnungsbetrachtung und einen folgenden Blick in die "Legende" eine Annäherung an den Zeichnungsinhalt von außen nach innen. In abstrakter Formulierung können diese vorgeschlagenen Heuristiken in der folgenden allgemeinen Systematik zusammengefasst werden:

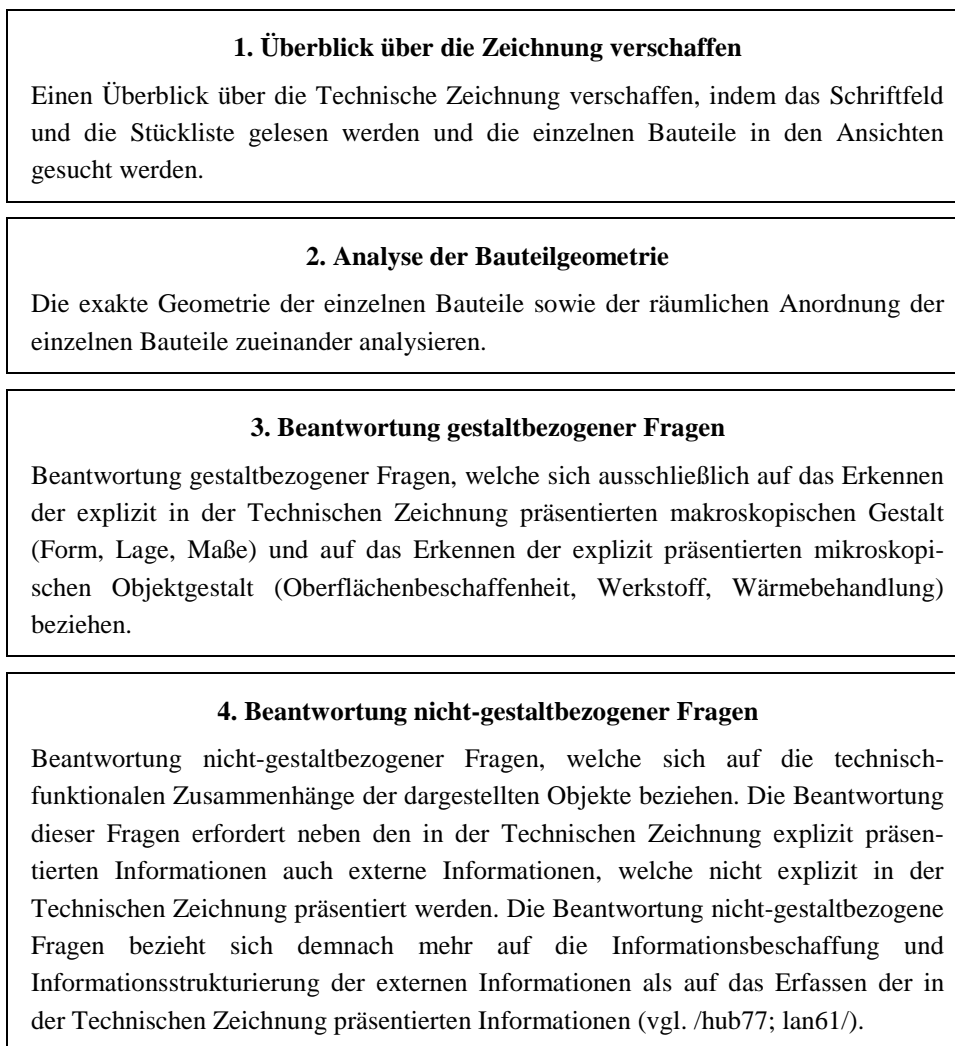


Bild 3-1: Allgemeine Heuristik des Lesens Technischer Zeichnungen

Abweichend von den ersten vier benannten Heuristiken zum Lesen Technischer Zeichnungen differenziert Künne (vgl. /kün09/) zwischen der "Ermittlung von Bauteilgeometrien" und dem "Lesen von Baugruppen- und Gesamtzeichnungen". Der wesentliche Unterschied der von Künne empfohlenen Heuristik zum Lesen von Baugruppen- und Gesamtzeichnungen zu der in Bild 3-1 beschriebenen allgemeinen Heuristik ist die gerichtete Vorgehensweise. Bei dieser nähert sich der Zeichnungsleser – nachdem er sich auf der Zeichnung ggf. auch mit Hilfe der Stückliste und des Schriftfeldes orientiert hat – den Zeichnungsinformationen von innen nach außen an, indem er den Leseprozess an einem "Zentralen Bauteil" beginnt. Der weitere Leseprozess entspricht mehr oder weniger dem dritten und dem vierten Schritt der allgemeinen Heuristik des Lesens Technischer Zeichnungen (vgl. Bild 3-1).

Einen Legitimationsversuch für die vorgeschlagene Heuristiken zum Lesen Technischer Zeichnungen unternimmt lediglich Kummer, der seinen Vorschlag auf eine von ihm durchgeführte Expertenbefragung zurückführt. Diese Form der Befragung ist jedoch kein geeignetes Instrument, um den Prozess des Lesens Technischer Zeichnungen zu analysieren, da es einem Experten schwer fällt, *„eine ausgeübte Fertigkeit ... analytisch zu zerlegen und distanziert zu betrachten“* /bau94/, denn *„wenn keine außergewöhnlichen Schwierigkeiten auftauchen, lösen Experten weder Probleme noch treffen sie Entscheidungen; sie machen einfach das, was normalerweise funktioniert“* /döb0x/.

Die vorgeschlagenen Heuristiken zum Lesen Technischer Zeichnungen liefern weder eine begründete noch eine unbegründete Beschreibung des Prozesses der Zeichnungsinterpretation. Lediglich in der abstrakten Zusammenfassung der Heuristiken (vgl. Bild 3-1) ist erkennbar, dass die Zeichnungsinterpretation mit dem vierten Prozessschritt eine Erweiterung des Zeichnungslesens (Prozessschritte 1 bis 3) darstellt.

3.3 Leseprozessmodelle

Leseprozessmodelle, die den Prozess des Lesens von kontinuierlich verfassten Texten, wie z. B. Berichten, Aufsätzen o. ä., beschreiben, werden in der Literatur nicht benannt. Ursächlich hierfür ist der Umstand, dass es *„nicht einen einzigen Leseprozess gibt ... (und es demnach) auch kein einziges Lesemodell geben kann“* /gib80/.

Eine Analyse des Begriffs „Lesen“, der definiert ist als die gedankliche Tätigkeit *„geschriebene (, gezeichnete) oder gedruckte Zeichen und Zeichengruppen einzeln und in ihrem Zusammenhang zu erfassen“* /ber84/, kann jedoch erste Hinweise auf den eigentlichen Leseprozess liefern. Das Verständnis des Leseprozesses differenziert sich wiederum in einen engeren und in einem weiteren Sinnverständnis. Im weiteren Sinn umfasst ein Leseprozesses alle Aktivitäten, *„die Textverständnis bewirken bzw. vertiefen“* /duh90/. Im engeren Sinn ermöglicht der Prozess des Lesens einen *„möglichst unmittelbaren, d. h. automatisierten, intuitiven Zugang zum Textverständnis“* /duh90/. Um diese beiden verschiedenen Positionen sprachlich zu unterscheiden, werden oftmals die beiden Begriffe „Lesen“ und „Interpretieren“ verwendet, wobei allgemein unter „Lesen“ der engere Sinn des unmittelbaren Verstehens und unter „Interpretation“ der weitere Sinn des expliziten Erarbeitens des Verständnisses verstanden wird.

Wenngleich Lese- bzw. Interpretationsprozesse, da *„so viele (unterschiedliche) Leseprozesse wie Leser und Lesestoff und entsprechende (Lese-)Ziele“* /buc03/ existieren, kaum beschrieben werden können, so sind dennoch verschiedene Strategien bekannt,

die beim Lesen von kontinuierlich verfassten Texten angewendet werden. Die bekannten Lesestrategien können wie folgt strukturiert werden:

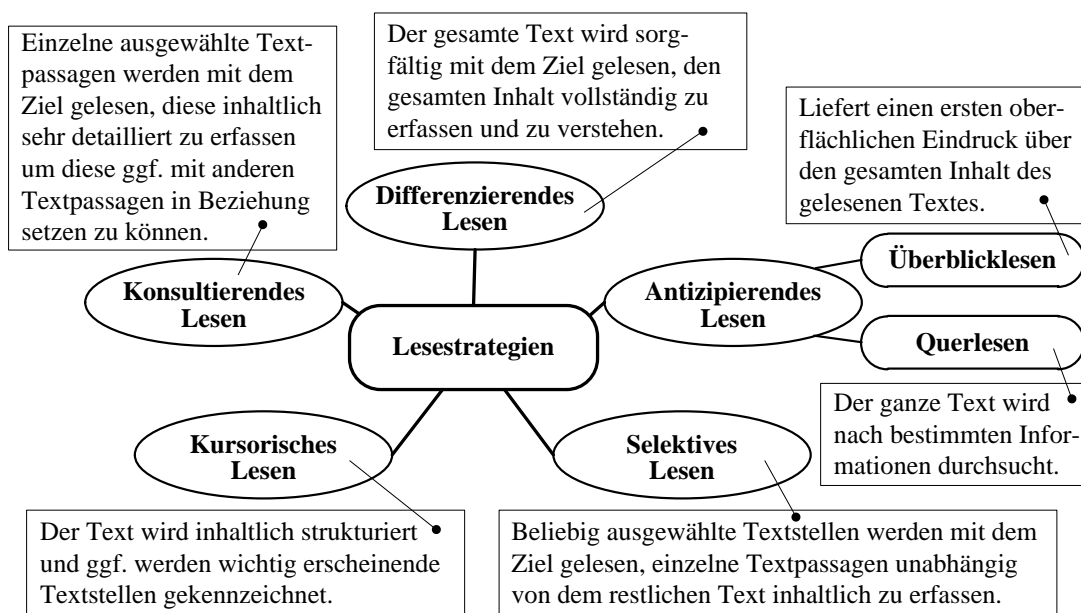


Bild 3-2: Lesestrategien

Angemerkt sei, dass die benannten Lesestrategien nur idealisierte Prozesse beschreiben. In realen Leseprozessen geht „*ein geschickter Leser (vielmehr) sehr selektiv (vor). Manchmal liest er flüchtig, manchmal überspringt er und manchmal konzentriert er sich ... um nur wenige der Millionen Möglichkeiten zu nennen*“ /gib80/. Es ist demnach festzustellen, dass Prozessmodelle des Lesens bzw. des Interpretierens ablaufenden Informationsaufnahmeprozesse und Informationsverarbeitungsprozesse lediglich idealisiert beschreiben können.

3.4 Prozessmodelle des menschlichen Verstehens von Bildern

Die Quellen, welche die Prozesse des menschlichen Verstehens allgemeiner bildlicher Darstellungen beschreiben, beziehen sich auf die unterschiedlichen Ebenen der menschlichen Wahrnehmung, deren Beziehung in Anlehnung an Bröder /brö99/ auszugsweise wie folgt dargestellt werden können:

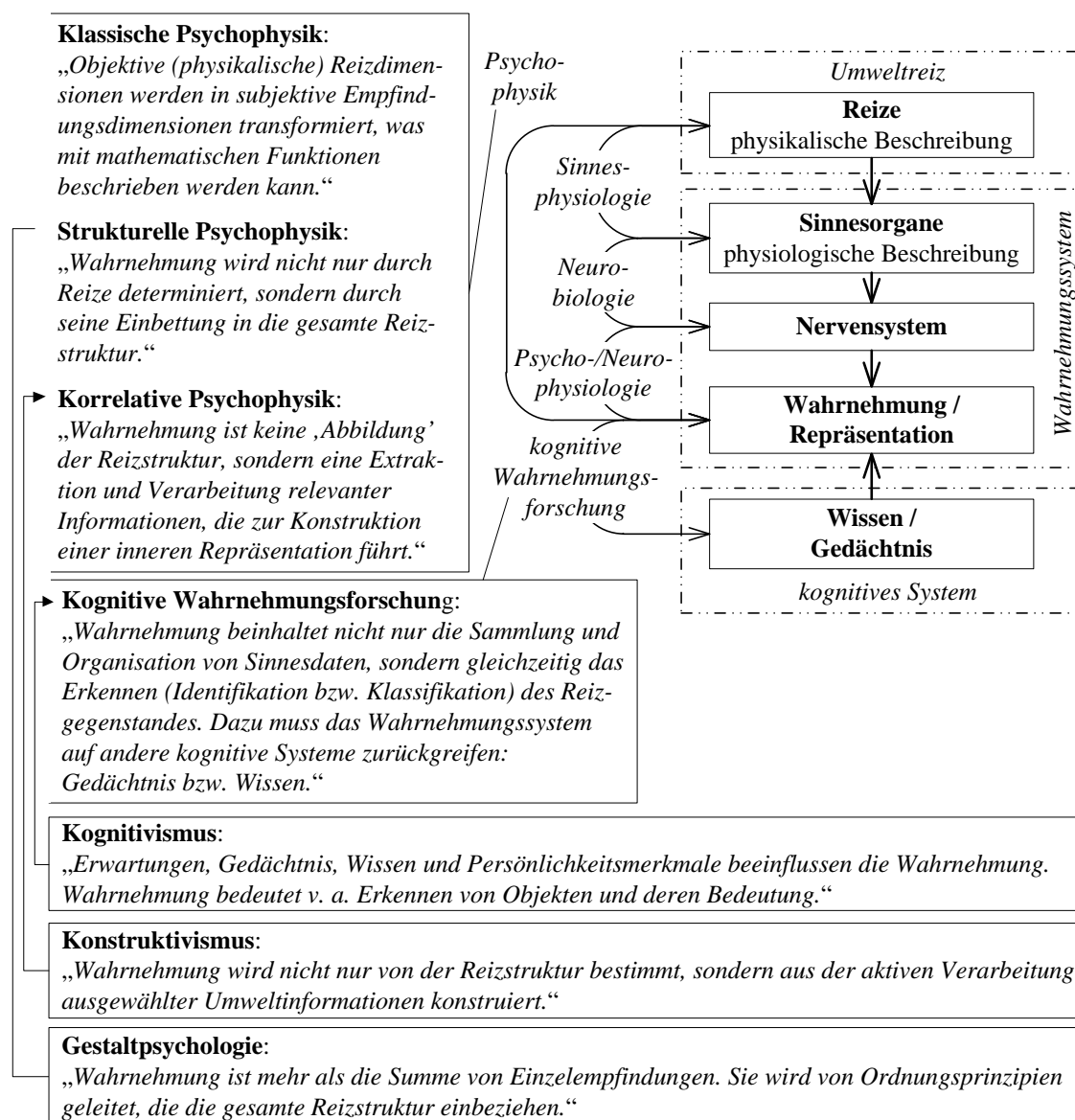


Bild 3-3: Teildisziplinen und Sichtweisen der Wahrnehmungsforschung (Auszug)

Für die hier beabsichtigte Entwicklung eines Prozessmodells der Zeichnungsinterpretation sind die sinnesphysiologischen, die neurobiologischen und die neurophysiologischen Prozesse, welche die Transformation physikalischer in neuronale Reize durch die Beschreibung der chemisch-biologischen Abläufe im Gehirn fokussieren, nebensächlich. Die psychophysikalischen Prozesse beschreiben die unmittelbare Transformation physikalischer Reize in „das erfahrbare (phänomenale) Ergebnis ... (dessen) was wahrgenommen wird“ /brö99/. Obgleich die Informationsaufnahmeprozesse eine wichtige Rolle im Interpretationsprozess spielen, da nur die aufgenommenen bzw. wahrgenommenen Informationen kognitiv (gedanklich) verarbeitet werden können, werden diese im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht untersucht.

Aus psychologischer Perspektive stellt das Verstehen von bildlichen Darstellungen ein aktives Zueinander in Beziehung setzen von Gedächtnis, Gedanken und visuellem Umweltreiz (der Technischen Zeichnung) dar. Dieser Prozess erfolgt vornehmlich kognitiv, d. h. im Gedanken des Interpreten. Demzufolge ist, da Gedächtnis und Gedanken individuelle Faktoren sind, der Verstehende immer selbst als Individuum in den Verstehensprozess mit einzubeziehen.

Die Quellen (vgl. /bal02; nor04; rüp99; zim88/), welche den Prozess des menschlichen Verstehens allgemeiner bildlicher Darstellungen aus der Perspektive der kognitiven Wahrnehmungsforschung darstellen, beschreiben diesen als einen mehrstufigen Prozess. Die Prozessphasen, welche während der Reiz- bzw. der Informationsaufnahme und der Informationsverarbeitung durchlaufen werden, können zusammengefasst wie folgt dargestellt und beschrieben werden:

Voraufmerksame Bildverarbeitung / Initialphase

Das Ziel der voraufmerksamen Bildverarbeitung ist es, eine erste „globale, ganzheitliche“ /bal02/ gedankliche Vorstellung der zeichnerisch dargestellten Objekte zu entwickeln. Dieses so genannte „Vorstellungsbild“ entwickelt sich in einem Prozess, in dessen Verlauf das wiedergesehen wird, was bereits „zuvor wahrgenommen (wurde und was) im Gedächtnis gespeichert“ /zim88/ ist.

Das „bildliche Vorstellen ... tritt auf, wenn gerade kein angemessener Input unmittelbar zur Verarbeitung ansteht“ /zim88/, d. h. dass die Ergebnisse der voraufmerksamen Bildverarbeitung das Resultat „unzähliger (unbewusster) mentaler Prozesse“ /bal02/ sind, die „automatisch (und) parallel“ /nor04/ ablaufen.

Die voraufmerksame Bildverarbeitung wird von den Prinzipien der Gestaltpsychologie (z. B. Figur-Grund-Trennung, Gestaltgesetze o. ä.) bestimmt.

Aufmerksame Bildverarbeitung / Progressionsphase

Das Ziel der aufmerksamen Bildverarbeitung ist eine „sequentielle Detailauswertung“ /nor04/ der bildhaften Darstellung. Die Detailauswertung geschieht in einem bewussten Prozess der Informationsselektion, Informationsaufnahme und Informationsverarbeitung.

Die aufmerksame Bildverarbeitung wird von zwei unterschiedlichen Mechanismen der Aufmerksamkeitssteuerung beeinflusst: Zum einen durch eine „willentliche Exploration (, welche eine) aktive Tätigkeit des jeweiligen Betrachtenden (ist), die je nach Interessen und Vorwissen anders ausfällt“ /bal02/, und zum anderen durch eine „reflektorische Zuwendung (, welche durch) ... Aufmerksamkeit erregende Anreize der visuellen Vorlage ... (z. B.) unerwartete oder ungewöhnliche Objekte“ /bal02/, ausgelöst wird.

Elaborative Bildverarbeitung / Stabilisierungsphase

Das Ziel der elaborativen Bildverarbeitung ist ein „inhaltliches Verstehen“ /bal02/ der bildhaften Darstellung, welches sich infolge der „Einordnung des Gesehenen in größere Zusammenhänge“ /nor04/ entwickelt.

Die elaborative Bildverarbeitung wird insbesondere durch individuelle „Assoziationen (und) Vorstellungen“ /nor04/ beeinflusst.

Bild 3-4: Prozessmodell der mentalen Bildverarbeitung

Der Interpretationsprozess, der als eine gedankliche Bildverarbeitung aufgefasst werden kann, verläuft nach den aktuellen Erkenntnissen demnach in drei Prozessphasen. In jeder dieser Phasen laufen verschiedene Prozesse ab, die in der Literatur nur sehr abstrakt beschrieben sind. Spezielle Phasenbeschreibungen zum Lesen oder zur Interpretation Technischer Zeichnungen existieren nicht.

3.5 Ansätze des computergestützten Zeichnungslesens

Der Stand der Technik bezüglich des computergestützten Lesens Technischer Zeichnungen, der sich ausschließlich auf die Grundform des Zeichnungslesens (vgl. Kap. 2.2) bezieht, wurde in verschiedenen Forschungsprojekten (vgl. /bri01; bru03; fkm94; fkm96; hor04; jun97; pas96/) erarbeitet. Die Ergebnisse der Forschungsarbeiten bestehen zum einen in einer Lösung, eingescannte Technische Zeichnungen zumindest halbautomatisch in ein digitales vektororientiertes Datenformat zu überführen, und zum anderen in zwei unterschiedlichen Objekterkennungsstrategien, die wie folgt beschrieben werden können:

Mustererkennungsstrategie

Mustererkennungsstrategien werden angewendet, um in einer komplexen Informationsquelle, wie z. B. einer Technischen Zeichnung, bekannte Muster zu identifizieren. Dies geschieht grundsätzlich derart, dass eine Art „Schablone“ des gesuchten Musters solange über die Informationsquelle „geschoben“ wird, bis eine Übereinstimmung zwischen dem Muster der Schablone und der Quelle gefunden ist bzw. bis die gesamte Quelle erfolglos durchsucht wurde. Mustererkennungsstrategien sind bei der Erkennung von Objekten in zeichnerischen Darstellungen demnach nur anwendbar, wenn die zu erkennenden Objekte bzw. deren zeichnerische Darstellung bereits vor der Anwendung der Objekterkennungsstrategie bekannt sind. Dies ist in Technischen Zeichnungen jedoch nur bedingt der Fall, da (mit Ausnahme von genormten Bauteilen, wie z. B. Schrauben, Wälzlagern o. ä.) die funktionsbestimmenden Bauteile in Maschinen i. d. R. keine standardisierte, sondern eine variable Gestalt aufweisen. Aufgrund dieser mangelnden Uniformität ist die Anwendung von Mustererkennungsprozessen bei der Objekterkennung beim Lesen Technischer Zeichnungen auf jene Objekte beschränkt, die standardisiert dargestellt sind; dies sind i. d. R. symbolische bzw. nicht-ikonische Abbildungen der bezeichneten Bauteile (vgl. Bild 2-5). Zur Erkennung von Objekten, die in Form einer bildhaften, d. h. einer ikonischen Ähnlichkeit dargestellt sind, sind Mustererkennungsstrategien ungeeignet.

Vektorklassifikationsstrategie

Vektorklassifikationsstrategien werden angewendet, um die einzelnen Vektoren einer komplexen Ansammlung von Vektoren entsprechend bestimmter Kriterien in Klassen zu ordnen. Dies geschieht grundsätzlich derart, dass die einzelnen Vektoren bezüglich definierter Kriterien, wie z. B. Linienstärke o. ä., analysiert und klassifiziert (z. B. in die Vektorklasse „Bemaßung“) werden. In einem folgenden Prozessschritt werden verschiedene klassifizierte Vektoren entsprechend bestimmter Algorithmen miteinander verknüpft, so dass sie eine sinntragende Einheit bilden. Vektorklassifikationsstrategien sind bei der Erkennung von Objekten in zeichnerischen Darstellungen demnach nur anwendbar, wenn alle hierzu erforderlichen Informationen vollständig und fehlerfrei zur Verfügung stehen. Dies ist in Technischen Zeichnungen jedoch nur bedingt der Fall, da zum einen u. a. aufgrund der ständigen Änderungen der zeichnungsrelevanten Normen und aufgrund erstellungsbedingter Fehler kaum eine fehlerfreie Technische Zeichnung existiert. Zum anderen werden Objekte in Technischen Zeichnungen immer nur in dem *„für den jeweiligen Zweck erforderlichen Art vollständig“* /din6789-2/ dargestellt, so dass Technische Zeichnungen immer nur einen Auszug der möglichen Informationen präsentieren; so wird z. B. in Baugruppenzeichnungen i. d. R. niemals die vollständige Gestalt des Gehäuses präsentiert, sondern immer nur ein Teil von diesem. Zur Erkennung von Objekten sind Vektorklassifikationsstrategien daher nur geeignet, wenn Technische Zeichnungen die Objekte fehlerfrei und vollständig darstellen, was i. d. R. praktisch nie der Fall ist.

Der Stand der Forschung bezüglich des computergestützten Zeichnungslesens ist aus psychologischer Perspektive (vgl. Kap. 3.3) den Informationsaufnahme Prozessen, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht untersucht werden, zuzuordnen.

Bezüglich der Entwicklung eines Prozessmodells der Zeichnungsinterpretation ist es in den Forschungsprojekten insbesondere nicht gelungen, die *„geometrischen Eigenschaften als Schlüssel zum Objektzugriff“* /pas93/ zu nutzen, was u. a. auf die *„ungenügende Uniformität der Darstellungsweise ... (sowie) der Mehrdeutigkeit von Standards“* /fkm96/ zurückzuführen ist. Ebenso haben die bekannten Forschungsergebnisse gezeigt, dass für die *„Verarbeitung von (Zeichnungs-) Informationen ... die Beherrschung des Kodes allein noch nicht genügt“* /leu68/ und dass *„die Vektorrepräsentation einer Zeichnung eine zu niedrige Repräsentationsebene zur effektiven Weiterverarbeitung ... (ist, da) die Konstruktion (technischer Objekte) ... kaum auf der Ebene von Linien durchgeführt wird, sondern vielmehr durch die Platzierung von ... Baugruppen und Verbindungsstrukturen erfolgt“* /pas96/.

4 Prozessmodell der Zeichnungsinterpretation

Das Ziel dieses Kapitels ist die Entwicklung eines Modells, welches die Prinzipien von Zeichnungsinterpretationsprozessen in allgemeingültiger Formulierung beschreibt. Der Entwurf des Modells basiert primär auf Modellelementen, die in den wissenschaftlichen Disziplinen der Psychologie und der Linguistik bekannt sind (vgl. Kap. 4.1). Während des Modellentwurfs (vgl. Kap. 4.2) werden diese grundlegenden Erkenntnisse aus Sicht der Zeichnungsinterpretation bewertet und in den Kontext Technischer Zeichnungen (vgl. Kap. 2) gesetzt. Anschließend wird das entwickelte Zeichnungsinterpretationsprozessmodell in abstrakter Formulierung sowie anhand eines Interpretationsbeispiels konkret beschrieben und erläutert (vgl. Kap. 4.3). Abschließend wird das Prozessmodell der Interpretation Technischer Zeichnungen in allgemeingültiger Formulierung dargestellt.

4.1 Modellgrundlagen

4.1.1 Phasen des Interpretationsprozesses

Das Ziel eines Zeichnungsinterpretationsprozesses ist es primär, ein Interpretationsproblem zu lösen. Demnach handelt es sich bei der Zeichnungsinterpretation grundsätzlich um einen Problemlöseprozess, der wie folgt charakterisiert werden kann:

Im dem Prozess der Zeichnungsinterpretation wird ein Anfangszustand (das Interpretationsproblem) in einen Endzustand (die Interpretationsproblemlösung) überführt. Die Prinzipien, nach denen diese Überführung erfolgt, soll das Prozessmodell der Zeichnungsinterpretation beschreiben.

Unter Einbeziehung der unterschiedlichen Informationsquellen bei der Zeichnungsinterpretation und einer bestimmten individuellen Erwartungshaltung des Interpretierenden, die sich während der Problemanalyse entwickelt, kann das folgende Modell der Informationsverarbeitung in Zeichnungsinterpretationsprozessen entworfen werden:

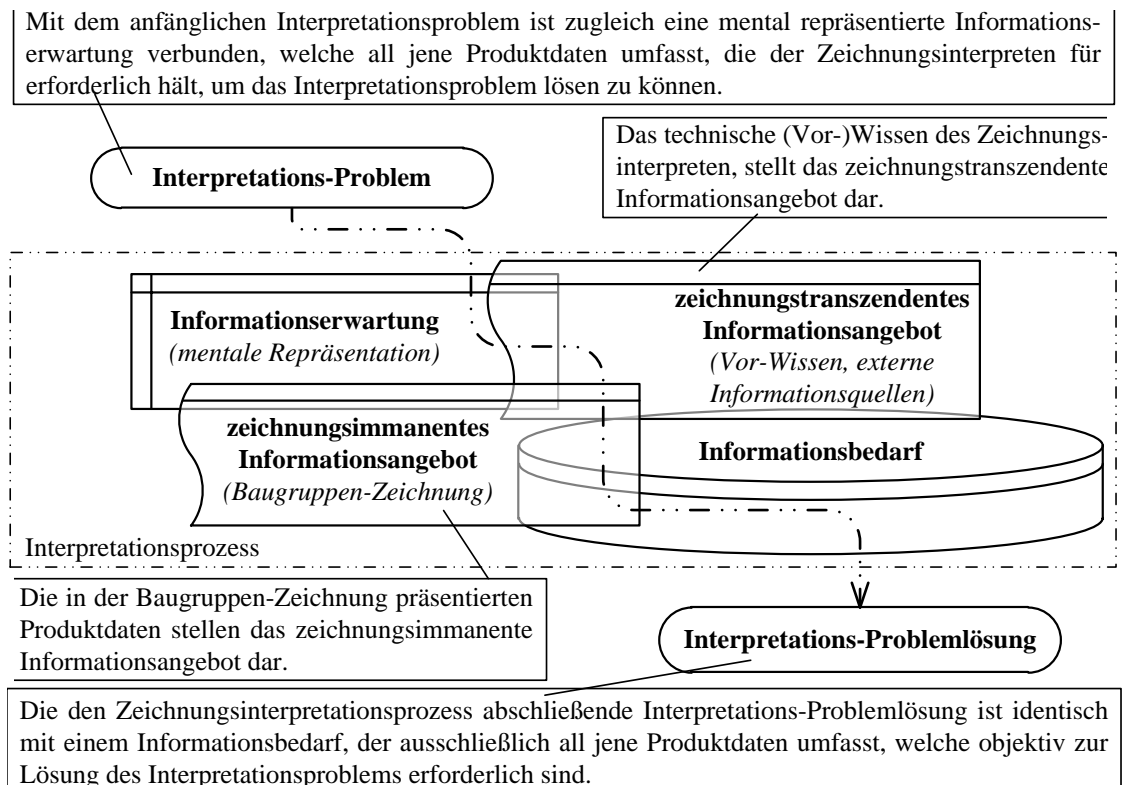


Bild 4-1: Informationsverarbeitungsmodell der Zeichnungsinterpretation

Der in Bild 4-1 dargestellte prinzipielle Verlauf der Informationsverarbeitung bei der Interpretation Technischer Zeichnungen kann wie folgt beschrieben werden:

In dem Verlauf des Zeichnungsinterpretationsprozesses wird das anfänglich Informationsdefizit, welches zwischen dem Interpretations-Problem und der Problemlösung besteht, sukzessive abgebaut, bis letztlich idealerweise die subjektive Informationserwartung deckungsgleich dem objektiven Informationsbedarf ist.

Wie in Problemlöseprozessen üblich, geht dem Interpretationsprozess eine Problemanalysephase voraus, und ihm folgt eine Reflexionsphase, in der das Interpretationsergebnis mit dem Interpretationsproblem verglichen wird. Diese beiden Phasen sind jedoch nur im weiteren Sinn Bestandteil des Interpretationsprozesses.

Der Interpretationsprozess im engeren Sinn umfasst lediglich jene Phasen, in denen der Interpret aktiv interpretiert. Im Rahmen der vorliegenden Modellierung wird angenommen, dass sich diese Aktivität in den drei Phasen der mentalen Bildverarbeitung „Voraufmerksame Bildverarbeitung“, „Aufmerksame Bildverarbeitung“ und „Elaborative Bildverarbeitung“ (vgl. Bild 3-4) widerspiegelt.

Der Interpretationsprozess Technischer Zeichnungen umfasst somit die folgenden fünf Phasen im weiteren Sinn bzw. die folgenden drei Phasen im engeren Sinn:

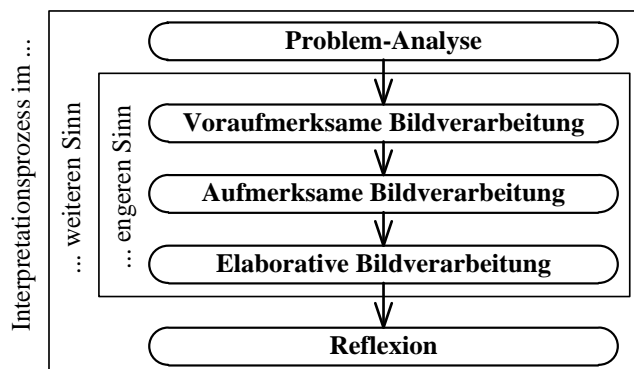


Bild 4-2: Phasenmodell der Zeichnungsinterpretation

4.1.2 Verstehensmodelle

4.1.2.1 Hermeneutische Modellsicht

Ein Modell, das den Verstehensprozess bei der Interpretation Technischer Zeichnungen beschreibt, kann auf der Grundlage der Hermeneutik entworfen werden. Diese beschreibt allgemein die Verfahrensweisen und Umgebungsbedingungen des menschlichen Verstehens. Hierbei werden grundsätzlich die folgenden Verstehensdimensionen (vgl. u. a. /duh90; köh01; sta0x/) unterschieden:

Bild 4-3: Hermeneutische Verstehensstufen siehe Seite 35

Die sukzessive Überführung der einzelnen Verständnisse folgt einem Verlauf, der als spiralförmig beschrieben wird. Diese Beschreibung verdeutlicht den grundsätzlichen hermeneutischen Gedanken, dass Verstehen nicht geradlinig sondern zirkelförmig verläuft, d. h. dass Verstehen ein Prozess ist, in dessen Verlauf stetig die Ausgangssituation mit dem jeweils aktuell entwickelte Verständnis verglichen wird. Da jeder Verstehensprozess mit einem stetigen Verständniszuwachs verbunden ist und es sich somit um kein zirkuläres Zurückkehren zu einem bestimmten Ausgangspunkt handelt, wird heute der Begriff „hermeneutische Spirale“ dem ursprünglichen Begriff „hermeneutischer Zirkel“ vorgezogen. Der spiralförmige Verlauf des hermeneutischen Verstehensprozesses kann unter Einbeziehung des Phasenmodells der Zeichnungsinterpretation (vgl. Bild 4-2) wie in Bild 4-4 dargestellt werden:

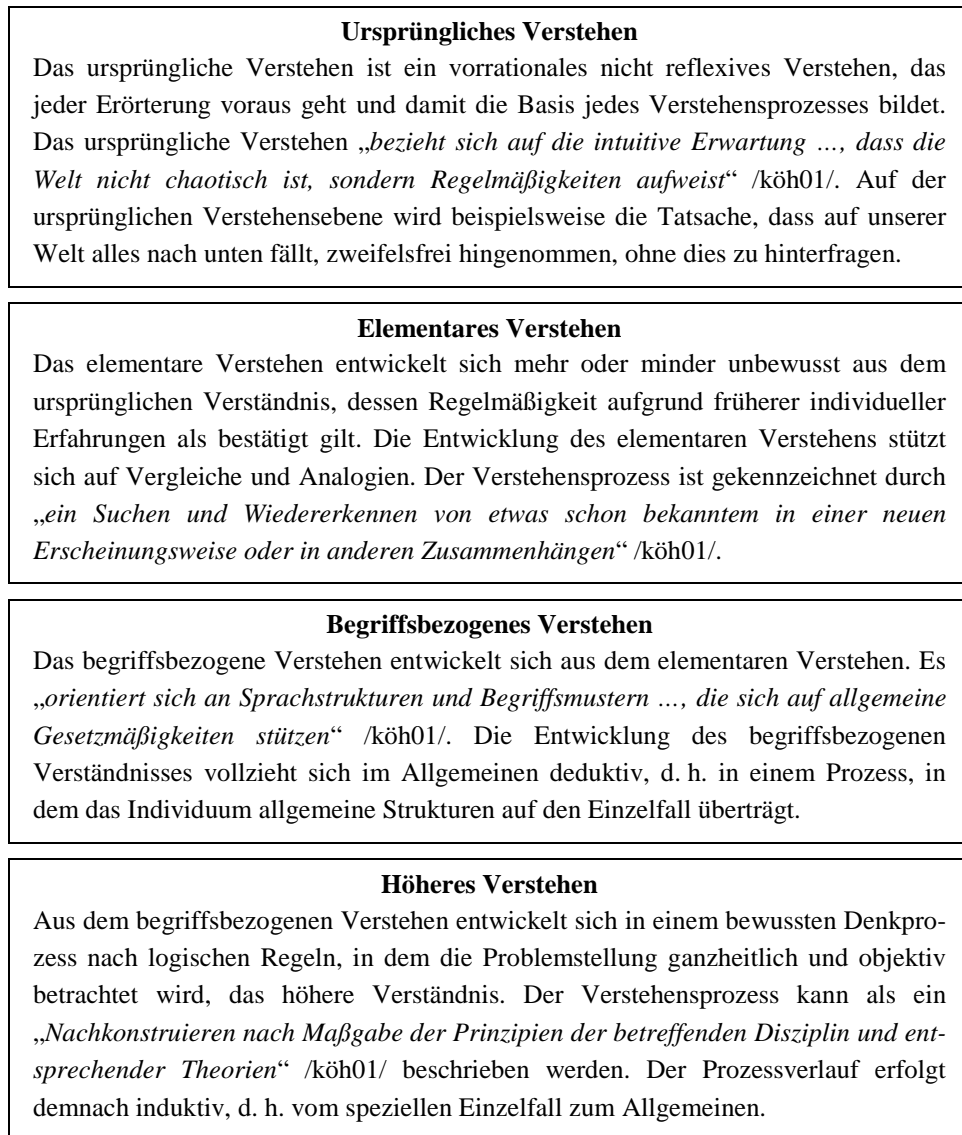


Bild 4-3: Hermeneutische Verstehensstufen

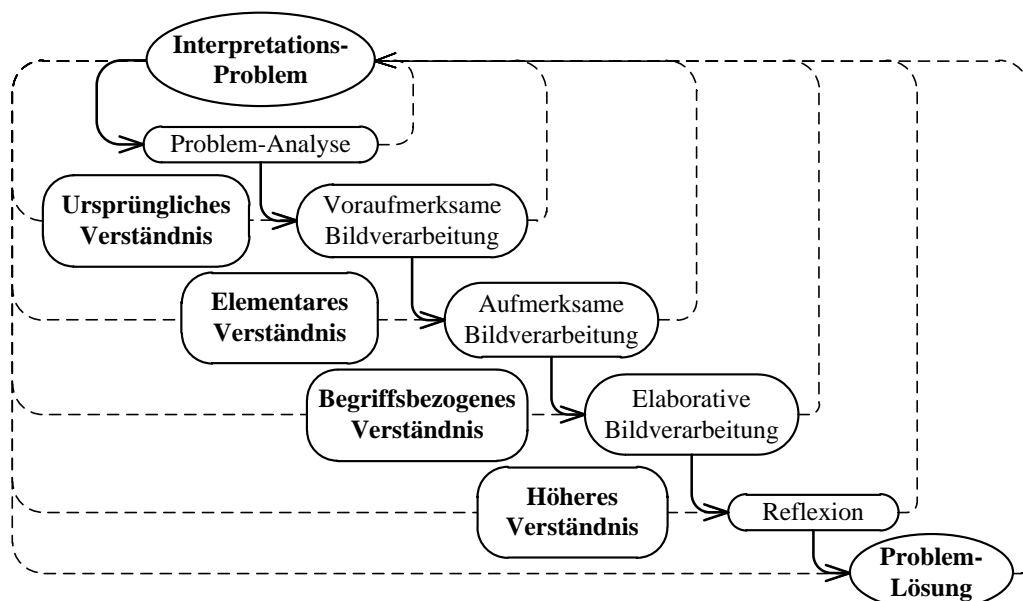


Bild 4-4: Hermeneutischer Verstehensprozessverlauf

In Bild 4-4 ist ersichtlich, dass der Verstehensprozess nicht zwangsläufig mit der Problemlösung endet. Vielmehr wird der Prozess von dem Verstehenden aus ökonomischen Gründen abgebrochen, da das eingangs formulierte Interpretationsproblem für ihn zumindest befriedigend gelöst ist. Tatsächlich kann der Verstehensprozess, da Verstehen immer ein imperfekter Prozess ist, prinzipiell endlos fortgeführt werden, d. h. dass aktuell existierende Verständnis stetig erweitert und/oder vertieft werden kann.

Die Hermeneutik ist neben dem spiralförmig verlaufenden Verstehensprozess ferner durch verschiedene philosophische Annahmen (vgl. /ber02; sta0x/) gekennzeichnet, welche in Form der folgenden Grundprinzipien zusammengefasst werden können:

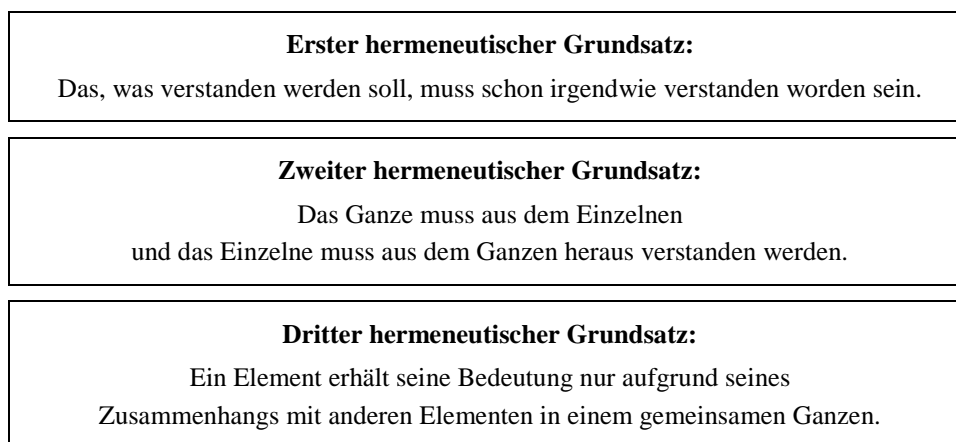


Bild 4-5: Hermeneutische Grundsätze

4.1.2.2 Kognitive Modellsicht

Aus Sicht der psychologischen Kognitionsforschung, welche den Menschen als ein aktives informationsverarbeitendes Wesen betrachtet, kann Verstehen beschrieben werden als ein Prozess, in dessen Verlauf Individuen ihre eigenen „*Erfahrungen strukturieren, ihnen Sinn beimessen und ... ihre gegenwärtigen Erfahrungen zu vergangenen, im Gedächtnis gespeicherten, Erfahrungen in Beziehung setzen*“ /wik0x/. Der gesamte Verstehensprozess setzt sich aus vielen Teilprozessen, wie z. B. der Wahrnehmung, dem Urteilen oder dem logischen Schließen, zusammen. Ein bedeutendes psychologisches Verstehensmodell wurde von Piaget entwickelt. Nach diesem Modell finden die Informationsaustauschprozesse zwischen einem Individuum und seiner Umwelt in so genannten Adaptationsprozessen, die wie folgt erklärt werden können, statt.

Adaptationsprozesse sind psychologische Prozesse, welche der „Anpassung (der Gedanken) *des Individuums an* (die Informationen) *seiner Umwelt*“ /zim88/ dienen. Hierbei sind die beiden komplementären Teilprozesse „Assimilation“ und „Akkommodation“ zu unterscheiden.

Bei der Assimilation werden neue Informationen der Umwelt in die bestehende Wissensstruktur des Individuums integriert, so dass diese „bewahrt und erweitert“ /zim88/ wird.

Bei der Akkommodation passen die Informationen der Umwelt nicht in die bestehende Wissensstruktur des Individuums oder sie stehen in einem Widerspruch zu dieser. „Eine Möglichkeit die Diskrepanz zu reduzieren, besteht in der angemessenen Ausweitung und Veränderung“ /zim88/ der bestehenden individuellen Wissensstruktur.

Der Verlauf des Verstehensprozesses während der Interpretation Technischer Zeichnungen kann aus psychologischer Sicht mit Hilfe des Adaptationsmodells nach Piaget wie folgt dargestellt werden:

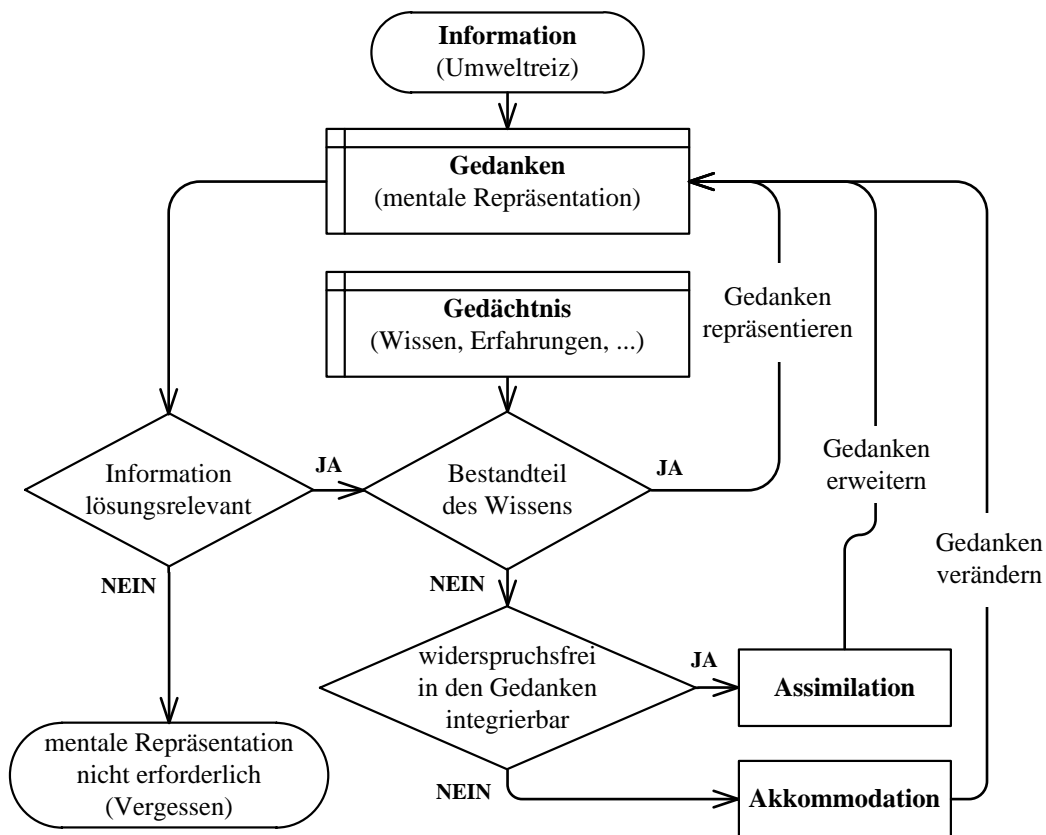


Bild 4-6: Adaptationsprozessmodell

Die gedanklichen Prozesse während der Zeichnungsinterpretation verursachen entsprechend dem Adaptationsprozessmodell eine stetige Bestätigung, Erweiterung und/oder Veränderung der mental repräsentierten Gedanken des Interpreten. Der Interpretationsprozess ist beendet, wenn die mentale Repräsentation ausschließlich Informationen umfasst, welche aus der Sicht des Interpreten zur Lösung des Interpretationsproblems erforderlich sind, es mithin kein weiterer Bedarf zur Aufnahme neuer Informationen und somit zur Adaptation der mentalen Repräsentation besteht.

4.1.2.3 Informationstechnisch-physiologische Modellsicht

Der gedankliche Informationsverarbeitungsprozess während der Interpretation Technischer Zeichnungen kann in Analogie zur Informationstechnik mit Hilfe eines Modells beschrieben werden, in dem die Physiologie des menschlichen Gedächtnisses mit einem Computer verglichen wird. Ähnlich wie Computer verschiedene Informationsspeicher (z. B. Festplatte, Arbeitsspeicher) besitzen, verfügt das menschliche Gedächtnis über drei miteinander verknüpfte Gedächtnissysteme: Das sensorische Gedächtnis, das Kurzzeitgedächtnis und das Langzeitgedächtnis. Aber ebenso wie Computer weniger als Gegenstände, sondern vielmehr als informationsverarbeitende Maschinen betrachtet werden, in denen eine Reihe von Prozessen Eingangs- in Ausgangsdaten überführen, sind im Folgenden unter dem Begriff „Gedächtnis“ insbesondere die gedanklichen informationsverarbeitenden Prozesse und weniger die physikalische Speicherung der Informationen in der Gehirnmasse zu verstehen.

Während das sensorische Gedächtnis *„flüchtige Impressionen sensorischer Reize – Bilder, Töne ... – ... ein oder zwei Sekunden lang aufbewahrt“* /zim88/, umfasst das Kurzzeitgedächtnis *„bis zu 20 Sekunden lang ... Erinnerungen an das, was wir vor kurzem erfahren haben“* /zim88/, und das Langzeitgedächtnis *„bewahrt (relativ dauerhaft) Informationen für den Abruf zu einem späteren Zeitpunkt auf“* /zim88/.

Die drei sequentiell geschalteten Gedächtnissysteme unterscheiden sich in folgenden Aspekten: Zum einen bezüglich der Repräsentationsdauer der Informationen. Zum anderen bezüglich ihrer Kapazität, also dem Informationsumfang, der zeitgleich repräsentiert werden kann. Und ferner in der Form der Informationsverarbeitung, welche in jedem Gedächtnis spezifisch *„in einer Weise ... (erfolgt), die sie für die nächste Stufe vorbereitet“* /zim88/.

Die informationsverarbeitenden Prozesse während der Interpretation Technischer Zeichnungen können wie folgt beschrieben werden:

Sensorisches Gedächtnis

Nachdem eine explizit visuell kodierte zeichnungsimmanente Information wahrgenommen wurde, gelangt sie unmittelbar nach dem Sinneseindruck in das sensorische Gedächtnis. Zu diesem Zeitpunkt besitzt der wahrgenommene Umweltreiz, da die Prozesse der Wiedererkennung von Mustern und der Kategorisierung dieser noch nicht begonnen hat (vgl. /zim88/), für den Interpreten noch keine Bedeutung. Der Zweck des sensorischen Gedächtnisses ist es zum einen, den wahrgenommenen Reiz solange im Gedächtnis vorzuhalten, bis ihm eine Bedeutung zugeordnet ist oder der Reiz bedeutungslos vergessen werden kann. Zum anderen besitzt das sensorische Gedächtnis eine Filterfunktion, welche bedingt, dass *„nur ein geringer Bruchteil dessen, was man mit den Sinnesorganen aufnimmt, ... in das Kurzzeitgedächtnis gelangt“* /zim88/. Die Prozesse des sensorischen Gedächtnisses werden, da nur beachtete Reize eine Chance besitzen, in das Kurzzeitgedächtnis zu gelangen, insbesondere von der Aufmerksamkeit des Wahrnehmenden bestimmt (vgl. /zim88/).

Kurzzeitgedächtnis

„Für einen Reiz, der erkannt worden ist, ist es wahrscheinlich, dass er in das Kurzzeitgedächtnis übertragen wird“ /zim88/. Das Kurzzeitgedächtnis, das *„die einzige Stufe der Erinnerung (ist), auf welcher Material bewusst verarbeitet wird, ... hat eine sehr begrenzte Kapazität“* /zim88/. Das Kurzzeitgedächtnis *„ermöglicht die Aufrechterhaltung und ständige Erneuerung (der gedanklichen) Repräsentation“* /zim88/. Bezüglich der Zeichnungsinterpretation besitzt das Kurzzeitgedächtnis daher eine besondere Bedeutung, da in ihm das jeweils aktuelle Verständnis und letztlich die Problemlösung repräsentiert und ggf. verändert wird. Die im Kurzzeitgedächtnis gespeicherten Informationen beeinflussen überdies u. a. die Aufmerksamkeit, so dass sie einen unmittelbaren Einfluss auf jene Informationen haben, welche als nächstes aus dem sensorischen Gedächtnis in das Kurzzeitgedächtnis gelangen. Das *„Kurzzeitgedächtnis (gibt somit sowohl) ... einen Kontext ... für das Verstehen als auch für neue Wahrnehmungen“* /zim88/ vor.

Kurzzeitgedächtnis

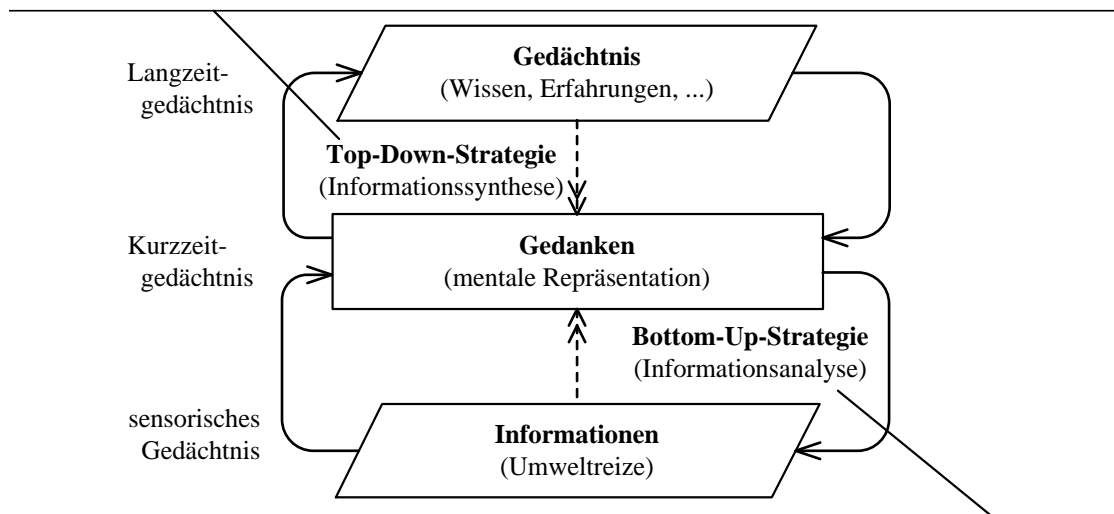
Im Langzeitgedächtnis ist *„das Wissen eines jeden Menschen über sich selbst und die Welt, ... (seine) Erfahrungen, Informationen, Emotionen, Fertigkeiten, Wörter, Kategorien, Regeln und Urteile etc.“* /zim88/ gespeichert. Das Langzeitgedächtnis dient jedoch nicht nur dem einfachen Abrufen gespeicherter Informationen, sondern es hilft auch *„bei der Bearbeitung und bei der Speicherung neuer Informationen ... (und es) ermöglicht die Lösung neuer Probleme und die Anwendung von Regeln zur Manipulation abstrakter Symbole“* /zim88/.

Bild 4-7: Menschliches Gedächtnissystem

Die drei verschiedenen Gedächtnisse des menschlichen Gedächtnissystems stehen zueinander in Beziehungen, welche von der jeweils aktuell angewendeten Informationsverarbeitungsstrategie abhängen. Diesbezüglich werden in der Psychologie zwei grundsätzliche Verarbeitungsstrategien unterschieden: Die „Top-Down-Strategie“ und die „Bottom-Up-Strategie“. Diese beiden Strategien unterscheiden sich in der Informa-

tionsflussrichtung, während die Top-Down-Strategien „ihren Ursprung im bereits vorhandenen Wissens“ /zim88/ des denkenden Menschen haben, gehen die Bottom-Up-Strategien von den wahrgenommenen Umweltreizen aus (vgl. /zim88/). Hierzu die folgende Erläuterung:

Top-Down-Strategien sind „Prozesse, die im Gehirn entstehen und die Auswahl, Organisation oder Interpretation von Sinnesdaten beeinflussen“ /zim88/. Demnach erfordern sie einen intensiven Informationsaustausch zwischen dem Langzeit- und dem Kurzzeitgedächtnis. Top-Down-Strategien beinhalten u. a. intuitive Prozesse, in denen unbewusst Erinnerungen des Interpreten zufällig kombiniert werden (vgl. /mur06/), und sie werden insbesondere dann angewendet, „wenn unvollständige Informationen vorliegen oder Dinge auf keine eindeutige Bedeutung verweisen“ /mur06/.



Bottom-Up-Strategien sind „Prozesse der Aufnahme und Organisation von Informationen aus der Umgebung“ /zim88/. Sie erfordern einen intensiven Informationsaustausch zwischen dem sensorischen Gedächtnis und dem Kurzzeitgedächtnis. Bottom-Up-Strategien werden insbesondere bei der Informationsanalyse angewendet, bei der zunächst einzelne Informationen gesammelt werden, die anschließend zueinander aus einer rational-logischen Perspektive in Beziehung gesetzt werden (vgl. /mur06/).

Bild 4-8: Gedankliche Informationsverarbeitungsstrategien

4.1.3 Mentales Repräsentationsmodell

Eine mentale Repräsentation (auch: gedankliche Vorstellung) ist die „Vergegenwärtigung eines Objekts im Bewusstsein“ /ber84/, welche das „Fundament des gesamten geistigen Lebens bildet. (Die mentale Repräsentation vermag auch) bei Abwesenheit entsprechender Sinnesreize ... früher wahrgenommene Gegenstände oder Vorgänge“ /arn93/ derart zu vergegenwärtigen, dass sie in gedanklichen Prozessen verarbeitet werden können. Bezüglich der Interpretation Technischer Zeichnungen stellt ein mentales Modell einen „individuellen Denkansatz (dar), der das Verständnis eines Sachverhalts (, eines Gegenstandes oder eines Prozesses) prägt“ /mus03/.

Eine mentale Repräsentation unterscheidet sich von den aktuellen Wahrnehmungen darin, dass sie keine identische „*Abbildung der (äußeren) Reizstruktur*“ /brö99/ ist, sondern dass sie vielmehr „*undeutlicher, unbeständiger (und) ärmer an Einzelheiten*“ /arn93/ ist. Dementsprechend kann eine mentale Repräsentation beschrieben werden als ein stellvertretendes Gedankenmodell für eine Menge von Sachverhalten, Prozessen und/oder Objekten der realen Welt. Dieses Gedankenmodell umfasst einige, nicht aber unbedingt alle Merkmale der repräsentierten Welt sowie eventuell weitere Merkmale, die nicht der repräsentierten Welt, sondern dem Gedächtnis des Vorstellenden entstammen. Ferner kann die mentale Repräsentation sowohl allgemeiner als auch spezieller sein, so dass die Menge der repräsentierten Sachverhalte, Prozesse und/oder Objekte variieren kann. Im günstigsten Fall umfasst sie am Ende eines Zeichnungsinterpretationsprozesses genau ein Element, nämlich das richtige Interpretationsergebnis.

Eine differenzierte Beschreibung der mentalen Repräsentation bei der Zeichnungsinterpretation ergibt sich aus der Betrachtung der äußeren Struktur, den Repräsentationsebenen, und der inneren Repräsentationsstruktur. Hierzu folgende Erläuterungen:

4.1.3.1 Analog-bildliche Repräsentationsebene: Gegenstandsvorstellung

Die mentale Repräsentation bei der Wahrnehmung visueller Daten bezieht sich auf zwei unterschiedliche Ebenen (vgl. /hal02/), für die jeweils eigene Arbeitsgedächtnis existieren (vgl. /sch96/): Die symbolisch-begriffliche und die analog-bildliche Repräsentationsebene.

Die analog-bildliche Repräsentationsebene kann, da „*ihre Struktur (mit der) Struktur der abgebildeten Sache ... korrespondiert*“ /hal02/, als eine erfahrungsbezogene Vorstellung bezeichnet werden, welche es ermöglicht, „*die visuelle Welt richtig wahrzunehmen, die ursprüngliche Wahrnehmung zu transformieren und zu modifizieren und Bilder der visuellen Erfahrung auch dann zu reproduzieren, wenn entsprechende physikalische Stimulierungen fehlen*“ /mai99/. Charakteristisch für die Vorstellungen der analog-bildlichen Repräsentationsebene ist, dass ihnen „*das Wissen um das Nichtgegenwärtigsein des Vorgestellten in der Außenwelt*“ /arn93/ fehlt. D. h. dass die mental repräsentierten Sachverhalte, Prozesse und/oder Objekte unbewusst als reale Bestandteile der Außenwelt aufgefasst werden. Dementsprechend sind mit ihnen immer auch bestimmte, auf individuellen Erfahrungen beruhende Vorstellungen verbunden; so bezeichnen Kinder z. B. einen „*liegenden Quader (als) einen ‚Tisch‘ (oder) eine ‚Bank‘ ... (und eine) Kugel (stellt z. B.) ... das ‚Rollende Runde‘ schlechthin dar*“ /stü55/. Ferner erfolgt die Orientierung im Raum in der analog-bildlichen Repräsentationsebene

mittels topologischer Relationen, die mit den Begriffen „Auf“, „Über“ etc. beschrieben werden können. Hierbei wird deutlich, dass der Vorstellende in die räumliche Anordnung einbezogen ist.

Zur eindeutigen Abgrenzung von anderen mentalen Teilrepräsentationen wird die auf der analog-bildlichen Repräsentationsebene angesiedelte mentale Teilrepräsentation mit „*unmittelbarem Erlebnisbezug*“ /stü55/ folgend mit dem Begriff „Gegenstandsvorstellung“ bezeichnet.

4.1.3.2 Symbolisch-begriffliche Repräsentationsebene: Raumvorstellung

Die symbolisch-begriffliche Repräsentationsebene unterscheidet sich von der analog-bildlichen Ebene zum einen in der „*objektiven Einstellung zum Raum*“ /stü55/ und zum anderen in der Art und Weise, wie sich die mentale Repräsentation entwickelt.

Bei der objektiven Einstellung zum Raum handelt es sich um eine mathematisch-geometrisch beschreibbare Raumvorstellung, welche keinen „*gegenständlichen Charakter und (keine) sachlichen Eigenschaften*“ /stü55/ aufweist. Diese objektive Vorstellung des Raums wird zur eindeutigen Unterscheidung der mentalen Teilrepräsentationen folgend mit dem Begriff „Raumvorstellung“ bezeichnet. Das charakteristische Merkmal der Raumvorstellung ist, dass sie formal (z. B. mittels kartesischer Koordinaten) beschreibbar ist. Die Raumvorstellung steht somit u. a. mit vielen Berechnungsmodellen der mechanischen Technik in Beziehung, welche nicht nur geometrische Berechnungen sondern z. B. auch mechanische Berechnungen ermöglichen. Eine Erweiterung der Raumvorstellung ergibt sich, wenn zusätzlich die messbare Zeit als objektive Größe mit berücksichtigt wird. In diesem Fall sind auch mechanische Größen wie z. B. Beschleunigungen berechenbar. Eine Unterscheidung der erweiterten von der einfachen Raumvorstellung wird bei der Modellierung des Zeichnungsinterpretationsmodells nicht vorgenommen.

Bezüglich der Interpretation Technischer Zeichnungen umfasst die einfache Raumvorstellung die qualitative und die quantitative Makrogestalt (Form, Lage, Maß) der einzelnen Formelemente, die topologischen Beziehungen zwischen diesen sowie die Mikrogestalt (Oberflächenbeschaffenheit, Beschichtung u. ä.) der geometrischen Körper, welche sich nach der Norm DIN 4760 /din4760/ auch auf die Gefügestruktur und auf das Kristallgitter des Werkstoffs bezieht. Die erweiterte Raumvorstellung berücksichtigt zusätzlich, dass sich die Gestalt und die topologischen Beziehungen im Laufe der Zeit verändern können.

Die wesentliche formale Struktur der einfachen Raumvorstellung kann, bezogen auf die Darstellung von Objekten in Technischen Zeichnungen, vereinfacht wie folgt dargestellt werden:

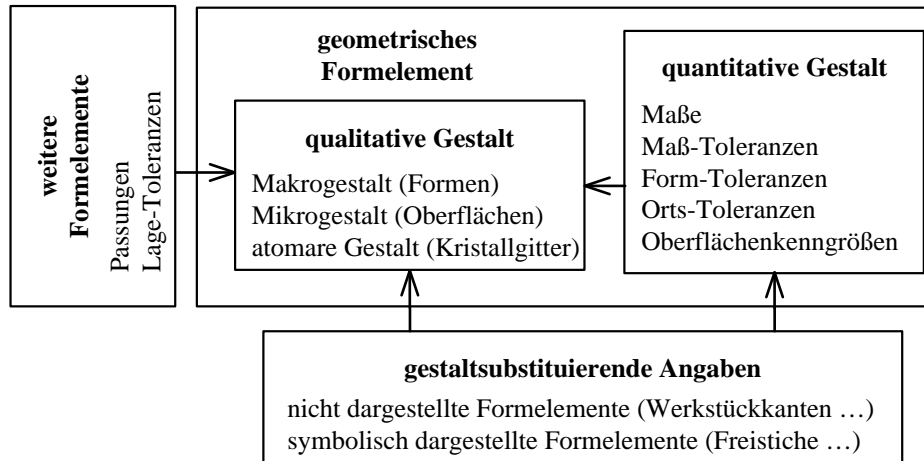


Bild 4-9: Formale Struktur der einfachen Raumvorstellung in Technischen Zeichnungen

4.1.3.3 Symbolisch-begriffliche Repräsentationsebene: Begriffsvorstellung

Die Entwicklung der mentalen Repräsentation verläuft auf der symbolisch-begrifflichen Repräsentationsebene nicht wie auf der analog-bildlichen Ebene ganzheitlich, sondern differenziert „in Form einzelner, die Sache beschreibender, Aussagen ... (aus denen sich) erst nach und nach ... ein mentales Modell“ /hal02/ entwickelt. Dementsprechend entwickelt sich auf der symbolisch-begrifflichen Repräsentationsebene neben der objektiven Raumvorstellung auch eine begriffliche Vorstellung (folgend „Begriffsvorstellung“ genannt), deren Ursprung die individuellen Erfahrungen des Interpreten mit der speziellen Situation als auch die variable Auffassung des Interpreten über die Objekte der Situation sind. Die Struktur der Begriffsvorstellung kann wie folgt beschrieben werden:

Bild 4-10: Formale Struktur der allgemeinen Begriffsvorstellung siehe Seite 44

In Bild 4-10 ist ersichtlich, dass ein Begriff nicht mit einem Wort, nämlich der Benennung, auf einfache Weise vermittelt werden kann. Ebenso können die Bedeutungen der in einer Technischen Zeichnung präsentierten technischen Objekte nicht auf einfache Weise mittels der bildlichen Darstellung – diese ist der Benennung äquivalent – der geometrisch-topologischen Objektmerkmale vermittelt werden. Die Begriffsvorstellung repräsentiert demnach mehr als nur die einfache Benennung eines Begriffs, welcher Gegenstände, Sachverhalte oder Prozesse lediglich bezeichnet. Die Begriffsvorstellung

umfasst vielmehr vielfältige Begriffsmerkmale unterschiedlichster Art, welche „Teil des allgemeinen kognitiven Systems sind, und ... auch nicht-sprachliches Wissen beinhalten“ /kau00/. Das sprachliche und das nicht-sprachliche Wissen können zusammengefasst als Weltwissen bezeichnet werden, welches all das „umfasst, was alles Seiende verbindet“ /wik0x/ und somit nur „sehr schwer zu strukturieren“ /str06/ ist und mit sprachlichen Mitteln kaum beschrieben werden kann. Bestandteile des Weltwissens sind z. B. das enzyklopädische Wissen (auch: Allgemeinwissen), welches als das Wissen der Allgemeinheit „in Enzyklopädien zusammengetragen ist“ /wik0x/, sowie das Hintergrundwissen, welches in bestimmten Situationen als bekannt angenommen werden kann. Bestandteil des Weltwissens sind aber auch „absolute Banalitäten ..., wie etwa die Tatsache, dass Kinder jünger als ihre Eltern sind, dass es abends dunkel wird ... etc.“ /hor97/. Das Weltwissen kann jedoch entsprechend bestimmter Wissensbereiche gegliedert werden, so bildet z. B. das Technikwissen jene Teilmenge des Weltwissens ab, die sich auf technische Objekte, technische Sachverhalte und/oder technische Prozesse bezieht, wobei stets eine Verknüpfung zu dem nicht-technischem Wissen besteht. Die Bedeutung des Weltwissens für das Verstehen sprachlicher Zeichen erwächst insbesondere aus dem Umstand, dass das Weltwissen es dem Wissenden ermöglicht „neue Tatsachen (in seine individuelle Wissensstruktur) einzuordnen ... auch wenn (ihm hierzu) detaillierte Informationen fehlen“ /wik0x/.

Eine Definition ist eine Begriffsbestimmung mit sprachlichen Mitteln, bei der ein Begriff mit anderer Begriffe festgelegt und beschrieben und damit gegenüber anderen Begriffen abgegrenzt wird.

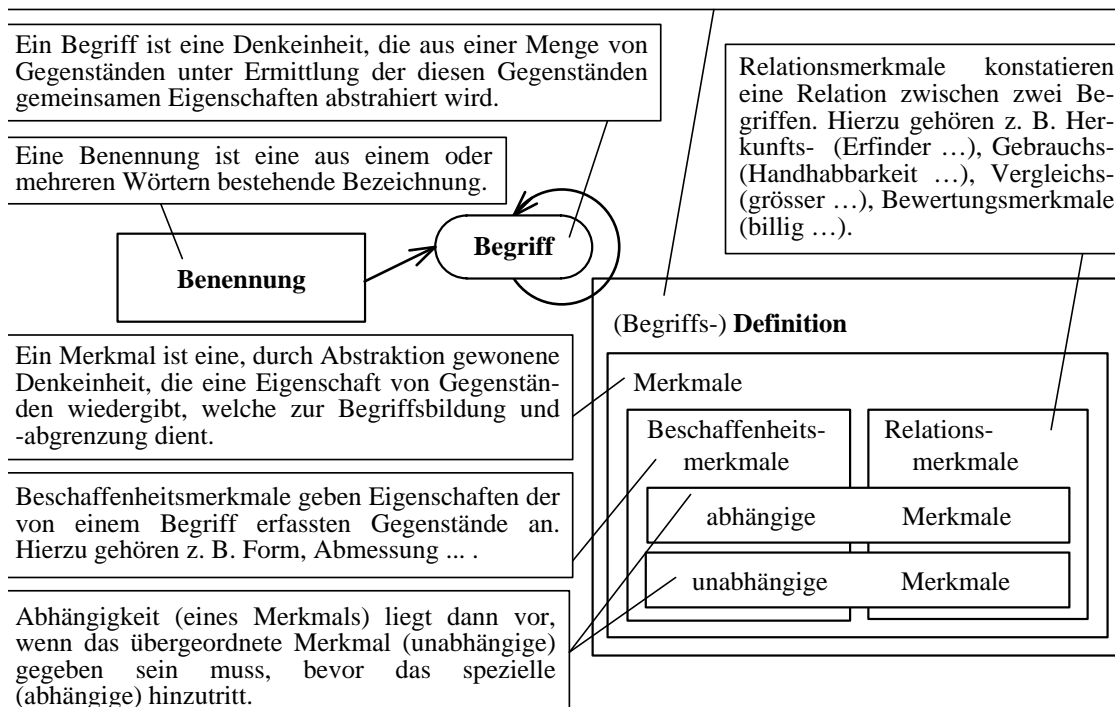


Bild 4-10: Formale Struktur der allgemeinen Begriffsvorstellung

4.1.3.4 Bedeutung der Repräsentationsebenen für die Zeichnungsinterpretation

Die verschiedenen, sich bei der Zeichnungsinterpretation entwickelnden mentalen Repräsentationsebenen stehen in Beziehungen mit den in der Technischen Zeichnung präsentierten Daten des primären Produktdatenmodells (vgl. Bild 2-7) sowie mit dem phänomenologischen Ikonizitätsgrad der zeichnerischen Darstellungen (vgl. Bild 2-5). Diese Beziehungen können vereinfacht wie folgt dargestellt werden:

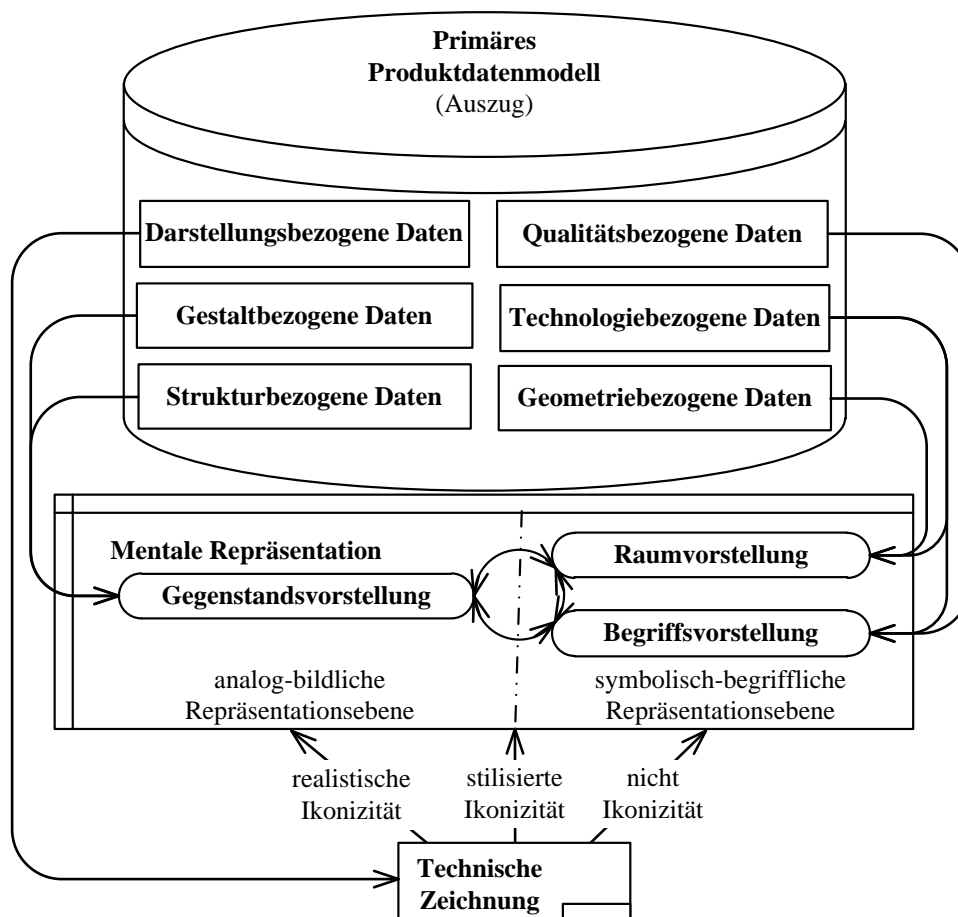


Bild 4-11: Primitives mentales Repräsentationsstrukturmodell

In Bild 4-11 ist ersichtlich, dass die verschiedenen Klassen der in Technischen Zeichnungen präsentierten Daten des primären Produktdatenmodells insbesondere aufgrund ihrer phänomenologischen Präsentationsform in unterschiedlichen mentalen Teilrepräsentationen repräsentiert werden. So etablieren sich z. B. die gestaltbezogenen Daten, welche in der Form qualifizierender Zeichen in der Technischen Zeichnung präsentiert werden, und welche mit dem dargestellten Objekt eine realistisch- bis stilisiert-ikonische bildhafte Ähnlichkeit aufweisen, in einer analog-bildlichen Gegenstandsvorstellung. Die geometriebezogenen Daten, welche die qualitative Objektgestalt quantifizieren, und welche in der Technischen Zeichnung stilisiert-ikonisch bis nicht-

ikonisch präsentiert werden, etablieren sich hingegen in einer symbolisch-begrifflichen Raumvorstellung.

4.1.3.5 Ebenen der inneren Repräsentationsstruktur

Die innere Repräsentationsstruktur beschreibt die inneren Zusammenhänge der mentalen Repräsentation. Entsprechend der sprachwissenschaftlichen Zwei-Stufen-Semantik, welche *„davon ausgeht, dass an der (gedanklichen) Bedeutungskonstitution komplexer ... Ausdrücke zwei unabhängige Module beteiligt sind“* /kau00/, differenziert sich die Repräsentationsstruktur in einer Ebene der semantischen Form und in einer Ebene der konzeptionellen Struktur. Die Ebene der semantischen Form umfasst *„allein sprachlich relevante Information“* /kau00/. Die Ebene der konzeptionellen Struktur ist umfassender, sie ist *„Teil des allgemeinen kognitiven Systems“* /kau00/ und in ihr werden die semantischen Informationen *„weiter ausdifferenziert und durch Welt- und Kontextwissen ergänzt“* /kau00/. Demnach wird die mentale Repräsentation während der Zeichnungsinterpretation neben dem Weltwissen (speziell der Teilmenge „Technikwissen“) u. a. insbesondere von folgenden Elementen beeinflusst:

4.1.3.6 Inneren Repräsentationsstruktur: Sprachwissen

Das sprachliche Wissen differenziert sich nach Chomsky in die Dimension der „Kognition“, welche die Kenntnisse der begrenzten sprachlichen Elemente und Regeln umfasst, sowie in die Dimension der „Performanz“, welche sich auf die Sprachanwendung in variablen Situationen bezieht. Beide Dimensionen dienen der sinnstiftenden Erkennung einzelner Zeichen einer sprachlichen Äußerung. In der kognitiven Dimension werden die erkannten Zeichen jedoch i. d. R. unbewusst und situationsunabhängig zueinander in Beziehung gesetzt, wogegen die erkannten Zeichen in der Dimension der Performanz kontextabhängig und bewusst zueinander in Beziehung gesetzt werden.

4.1.3.7 Inneren Repräsentationsstruktur: Konzeptwissen

Ein Konzept bezeichnet im denkpsychologischen Verständnis eine Idee oder eine Grundauffassung darüber, wie die einzelnen Fragmente eines komplexen Wissens bezüglich einer definierten Sichtweise zueinander in Beziehung stehen. Als Konzeptwissen kann dementsprechend das Wissen über bestimmte Wissensstrukturen bezeichnet werden, welche bestimmte Wissensfragmente aus einer spezifischen, konzeptuellen Perspektive zueinander in Beziehung setzen.

Wissensfragmente und konzeptuelle Strukturen können mit Hilfe von aus Knoten und Kanten bestehenden Informationsgraphen, in denen die Knoten die sprachlichen Informationen darstellen und in denen die Kanten die konzeptuellen Strukturen zwischen diesen repräsentieren, wie folgt visualisiert werden:

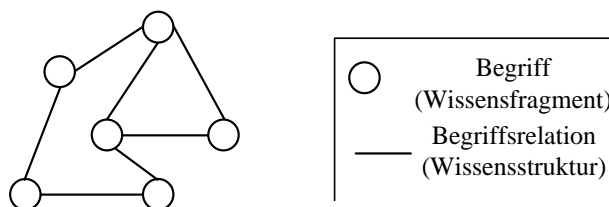


Bild 4-12: Visualisierungsbeispiel der inneren Repräsentationsstruktur

Bezüglich der Frage welche Wissensfragmente Bestandteil des Konzeptwissens sind und welche nicht, existieren unterschiedliche Theorien. So nimmt etwa die Prototypentheorie an, dass „*wir Menschen repräsentative Durchschnittsbeispiele von Begriffen in uns tragen, mit welchen wir Beispiele der realen Welt vergleichen und uns entscheiden, ob sie dazugehören oder nicht*“ /wil99/. Prototypische Konzepte enthalten somit all jene Wissensfragmente, welche es ermöglichen „*mentale Kategorien (zu) bilden, die dann später auf neue ‚Vertreter‘ dieser Gattung angewendet werden*“ /har03/ können. Die Frametheorie behauptet überdies, dass ein Begriff „*immer einem bestimmten Hintergrund entspringt, der bei der Nennung des Wortes unbewusst gleich mitgeliefert wird*“ /har03/.

Ein Konzept ist darüber hinaus „*nichts Statisches, sondern ein Mittelwert aus der Gesamtheit der Erfahrungen (eines Individuums, welcher sich) ... jedes Mal mit neuen Erfahrungen ... verändert*“ /zim88/. Bezüglich der Entwicklung eines Modells zur Interpretation Technischer Zeichnungen bezieht sich die Dynamik von Konzepten insbesondere auf die Beständigkeitseigenschaft dynamischer Konzepte. Entsprechend dieser können die folgenden Konzeptformen unterschieden werden:

- **Basiskonzept**

Ein Basiskonzept ist ein allgemein und objektiv formulierbares Konzept, dessen Wissensfragmente ausschließlich dem enzyklopädischen Allgemeinwissen entstammen und dessen Strukturen einen prototypischen Charakter aufweisen. Basiskonzepte besitzen aufgrund ihres musterhaften Vorbildcharakters einen hohen Grad an Allgemeingültigkeit und Objektivität. Basiskonzepte sind insbesondere in Fachbüchern beschrieben und, da sie wissenschaftlich definiert wurden, i. d. R. relativ unveränderlich und unabhängig von den individuellen Erfahrungen des Einzelnen.

- Individualkonzept

Individualkonzepte sind erweiterte Basiskonzepte, welche sowohl subjektive Wissensfragmente als auch subjektive Strukturen enthalten können und welche in die bestehende Wissensstruktur des einzelnen Individuums integriert sind. Infolge von individuellen Lernprozessen und Erfahrungen verändern sich Individualkonzepte mit jedem neuen Kontakt mit diesem Konzept.

- Problemlösungskonzept

Problemlösungskonzepte werden „im Gegensatz zu (den Basis- und Individualkonzepten nicht) im Langzeitgedächtnis ... (, sondern im) Kurzzeitgedächtnis repräsentiert“ /kez03/, so dass sie Bestandteil der mentalen Repräsentation sind und sich im Verlauf eines Verstehensprozesses kontinuierlich und unmittelbar verändern.

Die Beziehungen zwischen den verschiedenen Konzeptformen können wie folgt dargestellt werden:

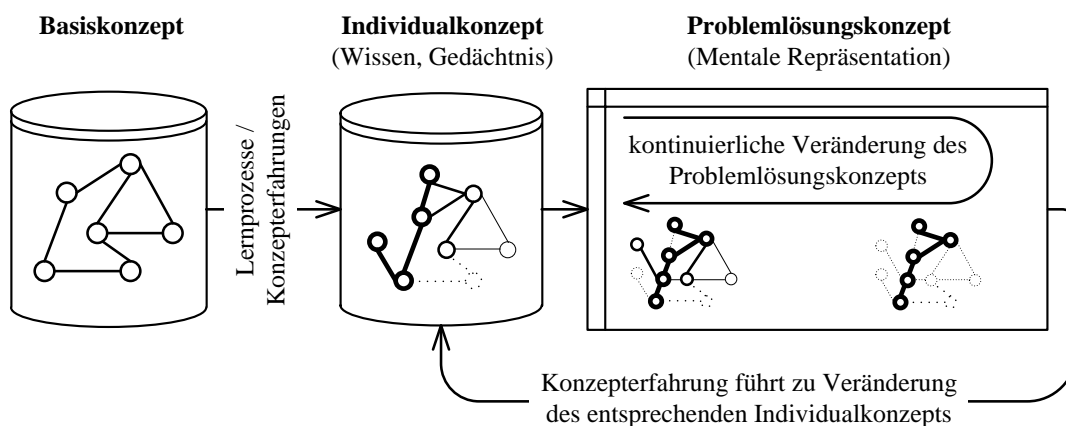


Bild 4-13: Beziehungen zwischen den verschiedenen Konzeptformen

4.1.3.8 Inneren Repräsentationsstruktur: Kontextwissen

Als Kontextwissen kann jene Teilmenge des Weltwissens bezeichnet werden, welche in direktem Zusammenhang mit dem zu lösenden Interpretationsproblem steht und welche es dem Interpreten somit ermöglicht, seine mentale Repräsentation der jeweiligen Interpretationssituation anzupassen. Die Kontextabhängigkeit des Interpretationsverständnisses beruht u. a. auf den durch Vagheit und Mehrdeutigkeit bedingten Bedeutungsdifferenzen sprachlicher Zeichen, welche ohne Kontextwissen kaum auflösbar sind (vgl. /ban99/). Das Kontextwissen beeinflusst das Verstehen sprachlicher Äußerungen insbesondere hinsichtlich folgender Aspekte:

- **Bewertung der Informationen**

Die kontextspezifische Sichtweise, welche auf eine Problemlösung gerichtet ist, ermöglicht es, lösungsrelevante und lösungsirrelevante Informationen zu unterscheiden, so dass der Informationsumfang, der mental repräsentiert wird, auf ein Minimum begrenzt werden kann.

- **Selektion von Bedeutungen**

Die kontextspezifische Sichtweise ermöglicht es, konkurrierende (z. B. Homonyme wie „Mutter“) oder parallele Bedeutungen (z. B. verschiedene Bestandsmerkmale eines Begriffs) zu selektieren und somit die Vagheit und die Mehrdeutigkeit sprachlicher Äußerungen zu reduzieren.

- **Erweiterung der Informationen**

In Folge der Bewertung von Informationen und der Selektion von Bedeutungen erweitert sich zugleich die mentale Repräsentation um solche Informationen, welche zum Zweck der Bewertung bzw. der Selektion angenommen wurden.

4.2 Modellentwurf

Der Verstehensprozess während der Interpretation Technischer Zeichnungen im weiteren Sinn verläuft entsprechend der Überlegungen zu den grundlegend am Interpretationsprozess beteiligten Elementen (vgl. Kap. 4.1) in den hermeneutisch miteinander verknüpften Phasen: „Präparation“ (Problemanalyse), „Inkubation“ (Voraufmerksame Bildverarbeitung), „Konzeption“ (Aufmerksame Bildverarbeitung), „Argumentation“ (Elaborative Bildverarbeitung) und „Reflexion“. Zusammenfassend kann der Interpretationsprozess Technischer Zeichnungen damit wie folgt beschrieben werden:

Die Überführung des anfänglichen Interpretationsproblems in die abschließende Interpretationslösung vollzieht sich demnach in einem spiralförmig-hermeneutischen Prozessverlauf, in dem ein ständiger Verständnisszuwachs stattfindet, wobei das jeweils aktuelle Verständnis stetig mit dem Interpretationsproblem verglichen wird. Hierbei werden die zeichnungsimmanente Informationen und das zeichnungstranszendente Wissen des Interpreten, das auch seine individuellen Erfahrungen umfasst, in gedanklichen Adaptationsprozessen derart miteinander in Beziehung gesetzt, dass zumindest aus der Sicht des Interpreten zwischen diesen beiden Informationsquellen keine Widersprüche mehr bestehen und das Interpretationsproblem aus Sicht des Interpreten zumindest befriedigend gelöst ist.

Im Einzelnen kann dieser Überführungsprozess entsprechend der benannten Interpretationsphasen wie folgt beschrieben werden:

4.2.1 Interpretationsvorbereitung: Präparation

Die Präparationsphase entspricht einer Problemanalyse und ist dem eigentlichen Interpretationsprozess vorgelagert. D. h. dass die Technische Zeichnung in dieser Prozessphase noch nicht gelesen bzw. interpretiert wird, also noch keine Bildverarbeitung stattfindet und sie somit nicht unmittelbarer Bestandteil des Prozessmodells der Zeichnungsinterpretation im engeren Sinn ist. Hierzu die folgenden Überlegungen:

Technische Zeichnungen werden Interpretiert, wenn die Situation, in der ein Problem besteht, bekannt ist und wenn keine Klarheit darüber besteht, wie sich das Problem darstellt. Bei dem Interpretationsanlass handelt es sich i. d. R. um eine eindeutig formulierte Aufgabe: Entweder ist eine sekundäre, eine tertiäre oder eine nicht-technische Produktdokumentation zu erstellen, oder es sind die in der Technischen Zeichnung nicht präsentierte Daten des Technikdatenmodells abzuleiten.

Sofern der Interpret über ein ausreichendes Kontextwissen verfügt und er somit problembezogene Bewertungs- und Selektionskriterien aus seinem Gedächtnis abzurufen vermag, ist mit dem bewussten Interpretationsanlass immer auch ein ursprüngliches, vorrationales und noch nicht reflexives Verständnis verbunden, welches sich in einer intuitiven Erwartungshaltung des Interpretieren äußert.

Das für die Interpretation Technischer Zeichnungen erforderliche ursprüngliche Verständnis kann bezüglich technischer Systeme, die entsprechend der Prinzipien der mechanischen Technik funktionieren, im Wesentlichen wie folgt charakterisiert werden:

Technische Systeme der mechanischen Technik funktionieren entsprechend der Grundgesetze der Mechanik. Diese physikalischen Gesetze stellen die Beziehung zwischen den Elementen „Bewegung“, „Körper“, „Kraft“ und „Zeit“ her. Bei dem ursprünglichen Verständnis handelt es sich demnach um jenes Verständnis, welches sich auf die benannten physikalischen Elemente sowie auf die Beziehungen zwischen diesen bezieht. Auszugsweise kann dieses ursprüngliche Verständnis technischer Systeme der mechanischen Technik wie folgt dargestellt werden:

Bild 4-14: Ursprüngliches Verständnis technischer Systeme siehe Seite 51

Das Modell des ursprünglichen Verständnisses technischer Systeme der mechanischen Technik ist ein objektunabhängiges Verständnis, das die formalen Strukturen der Begriffsvorstellung, insbesondere bezüglich der Merkmalskategorien „Beschaffenheit“ und „Relation“ aufweist. Insofern kann ein Zeichnungsinterpretationsprozess, wenn der

Interpret das erforderlich ursprüngliche Verständnis bereits entwickelt hat, auch ohne die Präparationsphase stattfinden.

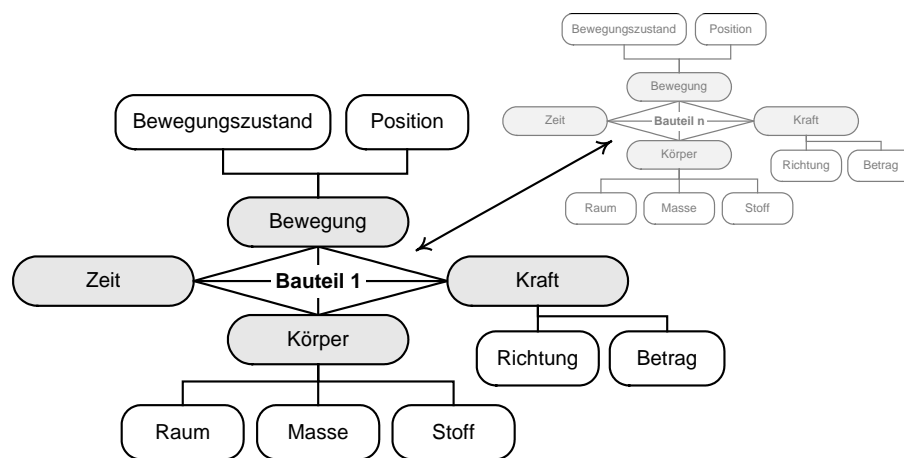


Bild 4-14: Ursprüngliches Verständnis technischer Systeme der mechanischen Technik

Die Erwartungshaltung, mit welcher ein Interpret aufgrund seines ursprünglichen Verständnisses den Zeichnungsinterpretationsprozess beginnt, leitet sich direkt aus dem Modell des ursprünglichen Verständnisses ab und kann allgemein wie folgt beschrieben werden: Der Interpret erwartet,

- dass das technische Systeme aus mindestens zwei Bauteilen bzw. Körpern besteht und dass sich die Körper bezüglich der physikalischen Elemente „Kraft“ und „Bewegung“ gegenseitig beeinflussen können,
- dass jeder Körper einen Raum einnimmt, dass er aus einem Stoff besteht und dass er eine Masse hat,
- dass sich die Körper im freien Raum an einer festen Position befinden und sich in diesem Raum mehr oder weniger beliebig frei, insbesondere aber auch relativ zueinander bewegen können,
- dass Kräfte beliebiger Wirkrichtung und beliebigen Betrags auf die Körper einwirken bzw. von den Körpern ausgeübt werden können,
- dass sich die Zustände der Elemente „Körper“, „Kraft“ und/oder „Bewegung“ zu zwei verschiedenen Zeitpunkten unterscheiden können.

Das ursprüngliche Verständnis bzw. die Erwartungshaltung stellen eine Art erstes Basiskonzept dar, welches bereits vor dem Zeichnungsinterpretationsprozess unbewusst Bestandteil der mentalen Repräsentation ist.

4.2.2 Erste Interpretationsphase: Inkubation

Mit der Inkubationsphase beginnt der Zeichnungsinterpretationsprozess im engeren Sinn. Sie weist in dem Prozessmodell des menschlichen Verstehens von Bildern Ähnlichkeiten mit der voraufmerksamen Bildverarbeitung auf. Dementsprechend nimmt der Zeichnungsinterpret die in der Technischen Zeichnung präsentierten Informationen mehr oder weniger unbewusst wahr, wobei sich allmählich ein elementares Verständnis des präsentierten technischen Systems entwickelt. Dieser Entwicklungsprozess kann grundsätzlich wie folgt beschrieben werden:

Die Inkubationsphase beginnt, da gedanklich noch keine Vorstellung von dem konkreten technischen System existiert, mit einem ersten Überblicklesen der Technischen Zeichnung, so dass die Informationsauswahl unter Anwendung einer Bottom-Up-Strategie zunächst beliebig erfolgt. Geleitet wird die anfängliche Wahrnehmung von der Erwartungshaltung des Interpreten, die auf seinem ursprünglichen Verständnis beruht. Dieses Verständnis ist dem Interpreten jedoch nicht bewusst, so dass die Technische Zeichnung nicht differenziert, sondern nur ganzheitlich-wertfrei betrachtet werden kann. Insbesondere nimmt der Interpret hierbei solche Informationen wahr, die zufällig in seinen visuellen Wahrnehmungsbereich fallen und die ihm aufgrund seines Wissens bzw. seiner Erfahrungen bekannt vorkommen. Er nimmt aber aufgrund reflektorischer Zuwendungen auch unerwartete und/oder ungewöhnliche Informationen wahr.

Da die physikalischen Elemente „Bewegung“, „Zeit“ und „Kraft“ als immaterielle Größen ebenso wenig wie die Beziehungen zwischen diesen in einer Technischen Zeichnung präsentiert werden (können) und da dem Interpreten während der Inkubationsphase die erforderlichen Informationen für eine gedankliche (Re-)Konstruktion der Elemente bzw. der Beziehungen noch nicht mental repräsentiert, kann er zunächst nur das Element „Körper“ wahrnehmen. Hierbei bezieht sich die Körperwahrnehmung nur auf den einnehmenden Raum des Bauteils und auf seine Position im Raum, welche dem physikalischen Element „Bewegung“ zugeordnet ist.

Die Wahrnehmungsprozesse während der Inkubationsphase vollziehen sich, da die Struktur der zeichnerischen Abbildung mit der Struktur des abgebildeten technischen Systems aufgrund der bildhaften Ähnlichkeit korrespondiert, unter Nutzung der deskriptiven Funktion von Baugruppenzeichnungen auf der analog-bildlichen Repräsentationsebene. Aus diesem Umstand leiten sich die folgenden Charakteristika der Inkubationsphase ab:

- Der Interpret nimmt nur die explizit in der Technischen Zeichnung präsentierten ikonischen Zeichen wahr; dies sind bei Baugruppenzeichnungen die mehr oder weniger vollständige qualitative Gestalt der dargestellten technischen Objekte sowie die strukturellen Beziehungen dieser zueinander. Hierbei entwickelt der Interpret allmählich eine analog-bildliche Gegenstandsvorstellung, welche von seinen individuellen Erfahrungen, Vorstellungen und Erwartungen bestimmt wird. Die Entwicklung der Gegenstandsvorstellung umfasst insbesondere die Identifikation der einzelnen Körper der Bauteile sowie die topologische Beziehungen zwischen diesen. Analysiert werden in diesem Prozess lediglich die aus Teilkörpern zusammengesetzten Bauteile, nicht aber die topologischen und/oder die funktionalen Relationen zwischen den verschiedenen Bauteilen.
- Der Interpret betrachtet die Technische Zeichnung in der Inkubationsphase als Abbild eines realen Objekts, das realer Bestandteil der realen Außenwelt ist. Dies hat zur Folge, dass er beispielsweise gedanklich in der Lage ist, an dem technischen System zu hantieren (z. B. an einer Welle zu drehen), wodurch ein unmittelbarer Erlebnisbezug hergestellt wird. Das abgebildete technische System ist somit in der mentalen Repräsentation des Interpreten Bestandteil seiner (Gedanken-)Welt, so dass die zeichnungsimmanenten Informationen mit den zeichnungstranszendenten Informationen seines Wissens verknüpft und so seine mentale Repräsentation erweitert wird. Hierdurch erhält das elementare Verständnis neben der analog-bildlichen Gegenstandsvorstellung in einem Top-Down-Prozess zugleich auch eine mehr oder weniger ausgeprägte symbolisch-begriffliche Begriffsvorstellung, in der den Merkmalsklassen sukzessive abhängige und/oder unabhängige Merkmalswerte zugeordnet werden. Hierdurch vollzieht sich allmählich ein Wandel von der anfangs ganzheitlichen hin zu einer differenzierten Betrachtung der Technischen Zeichnung.

Die beschriebene Charakteristik des elementaren Verständnisses Technischer Zeichnungen kann auszugsweise allgemein wie folgt dargestellt werden:

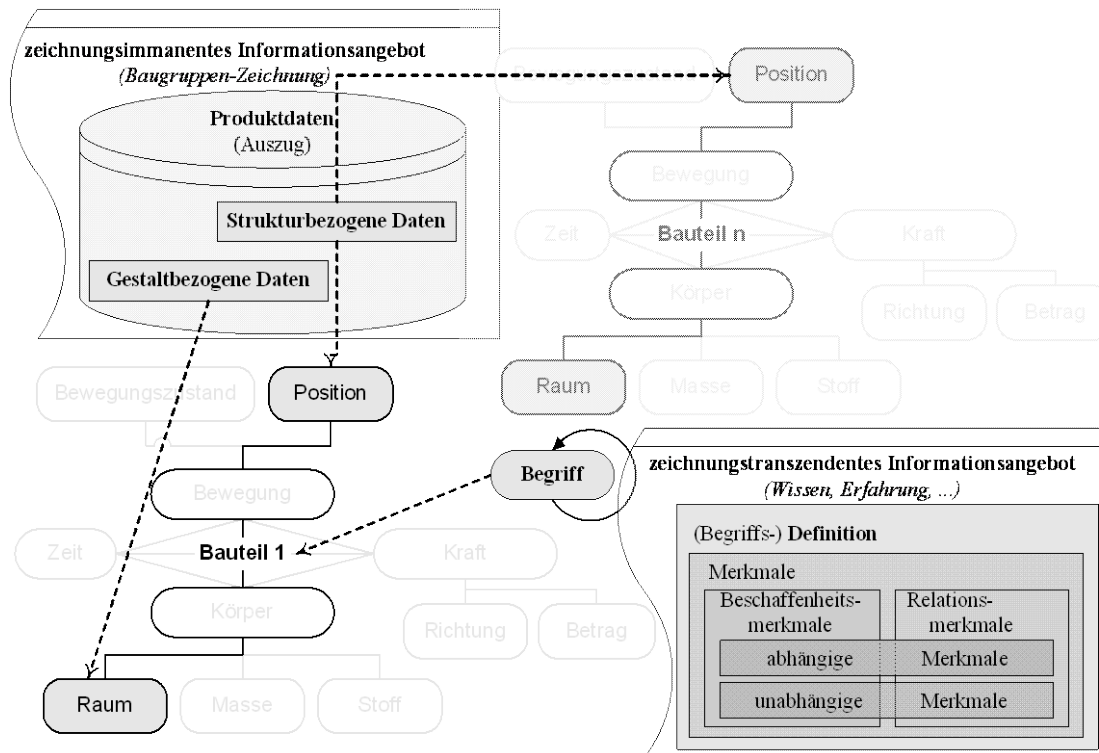


Bild 4-15: Elementares Verständnis technischer Systeme der mechanischen Technik

In Bild 4-15 ist ersichtlich, dass das zunächst objektunabhängige ursprüngliche Verständnis im Verlauf der Inkubationsphase durch die Verknüpfung des zeichnungsimmanenten und des zeichnungstranszendenten Informationsangebots in ein objektabhängiges elementares Verständnis überführt wird. Das wesentliche Ergebnis dieses Prozesses ist, dass der Interpret entsprechend dem ersten hermeneutischen Grundsatz das, was verstanden werden soll, schon irgendwie verstanden hat, wobei sich dieses Verstandene als eine mehr oder weniger strukturell vernetzte Sammlung voneinander mehr oder weniger unabhängiger Gegenstandsvorstellungen darstellt. Diese bruchstückhafte und z. T. zusammenhanglose Informationssammlung umfasst primär Informationen über die physikalischen Elemente „Körper – Raum“ und „Bewegung – Position“ und sekundär erweiternde Informationen, welche in individuell assoziierten Beziehungen zu den erkannten bzw. wiedererkannten Bauteilen stehen. Die Entwicklung der mentalen Repräsentation der Inkubationsphase kann mit Hilfe des Informationsgraphenmodells wie folgt dargestellt werden:

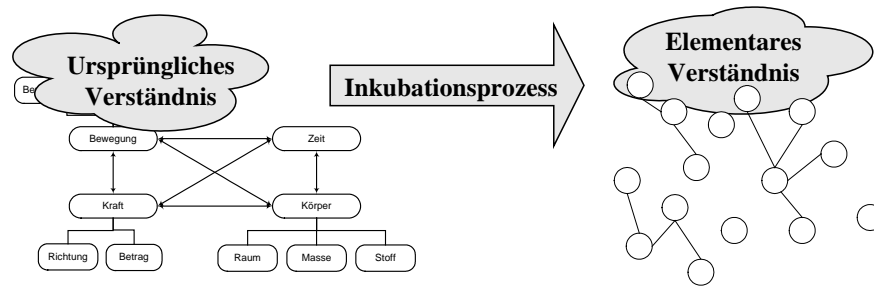


Bild 4-16: Mentale Repräsentation der Inkubation – Elementares Verständnis

4.2.3 Zweite Interpretationsphase: Konzeption

Die Konzeptionsphase entwickelt sich bereits während der Inkubationsphase fließend aus dieser. Da die Konzeptionsphase in dem Prozessmodell des menschlichen Verstehens von Bildern Ähnlichkeiten mit der aufmerksamen Bildverarbeitung aufweist, erfordert sie während der Informationsverarbeitungsprozesse das volle Bewusstsein des Interpreten. In diesem bewussten Prozess, in dem insbesondere die explikative Funktion Technischer Zeichnungen genutzt wird, entwickelt sich allmählich ein begriffliches Verständnis des dargestellten technischen Systems.

Das Ziel der Konzeptionsphase ist es, die als Ergebnis der Inkubationsphase existierende Sammlung der mehr oder weniger voneinander unabhängigen elementaren Verständnisse zueinander in Beziehung zu setzen, so dass im Idealfall alle Verständnisfragmente zu einem einheitlichen Ganzen verbunden sind; das Ganze entsprechend dem zweiten hermeneutischen Grundsatz folglich aus dem Einzelnen verstanden wurde. Dies kann dem Interpreten nur gelingen, indem er allgemeine Strukturen, die bereits Bestandteil seines (Technik-)Wissens und/oder seiner Erfahrungen sind, auf den Einzelfall des dargestellten technischen Systems anwendet. Unter Anwendung einer deduktiven Top-Down-Strategie versucht der Interpret, in einem Prozess des kursorischen Lesens Basis- bzw. Individualelemente zu erinnern, in welche sich einzelne elementare Verständnisse einordnen lassen. Ist ihm dies für ein erstes elementares Verständnis gelungen, so stellt dieses gefundene Konzept zugleich das erste mental repräsentierte Problemlösungskonzept dar. Im Folgenden versucht der Interpret sukzessive alle weiteren elementaren Verständnisse in dieses Problemlösungskonzept zu integrieren; gelingt ihm dies, so wird das Problemlösungskonzept beibehalten, gelingt ihm die Assimilation nicht, so muss das aktuelle Problemlösungskonzept in einem Akkommodationsprozess erweitert und/oder verändert werden. Durch den permanenten Vergleich der zeichnungsimmanenten Informationen mit dem aktuell mental repräsentierten Problemlösungskonzept werden entsprechend dem zweiten hermeneutischen Grundsatz

die einzelnen elementaren Verständnisse aus dem (Ganzen) Problemlösungskonzept besser verstanden als zuvor.

Die Suche nach einem bereits bekannten Basis- bzw. Individualkonzept orientiert sich an dem konkreten Interpretationsanlass; bei der Zeichnungsinterpretation ist dies die Ableitung nicht in der Technischen Zeichnung präsentierter Daten des Technikmodells, welche die Funktion bzw. die Arbeitsweise oder die Wirkprinzipien des dargestellten technischen Systems beschreiben. Vor diesem Hintergrund entwickelt sich im Verlauf der Konzeptionsphase ein Begriffsverständnis, welches die beiden symbolisch-begrifflichen Dimensionen „Begriffsvorstellung“ und „Raumvorstellung“ umfasst. Hierbei bezieht sich die Begriffsvorstellung insbesondere auf die nicht präsentierten physikalische Elemente der Objekte des technischen Systems, deren Merkmale die bereits in der Inkubationsphase angelegte Begriffsvorstellung erweitern. Die hinzukommende Raumvorstellung entwickelt sich insbesondere aus einer objektiv-differenzierten Analyse der möglichen Bewegungszustände und der möglichen gegenseitigen Bewegungsbeeinflussungen der Bauteile. Diese Analyse hat zum einen eine Erweiterung des physikalischen Teilelements „Körper – Raum“ zur Folge, welches zugleich in strukturellen Beziehungen zu weiteren Bauteilgestalten gesetzt wird, so dass beispielsweise die nicht quantifizierten Passungsarten als fachlogische Bedingung auf der Grundlage des Technikwissens des Interpreten angenommen werden. Zum anderen umfasst die Analyse die Bewegungsmöglichkeiten der Körper, deren Freiheitsgrade durch benachbarte Bauteile bestimmt werden. Indirekt ist, da bei der Analyse der Bewegungsmöglichkeiten immer auch die Möglichkeiten analysiert werden, wie die Bewegungen übertragen bzw. verhindert werden können, auch die Wirkung des physikalischen Elements „Kraft“, nicht aber das Element „Kraft“ selbst, Bestandteil der Analyse.

Das Begriffsverständnis der Zeichnungsinterpretation kann unter Vernachlässigung der Informationsquellen auszugsweise wie folgt charakterisiert werden:

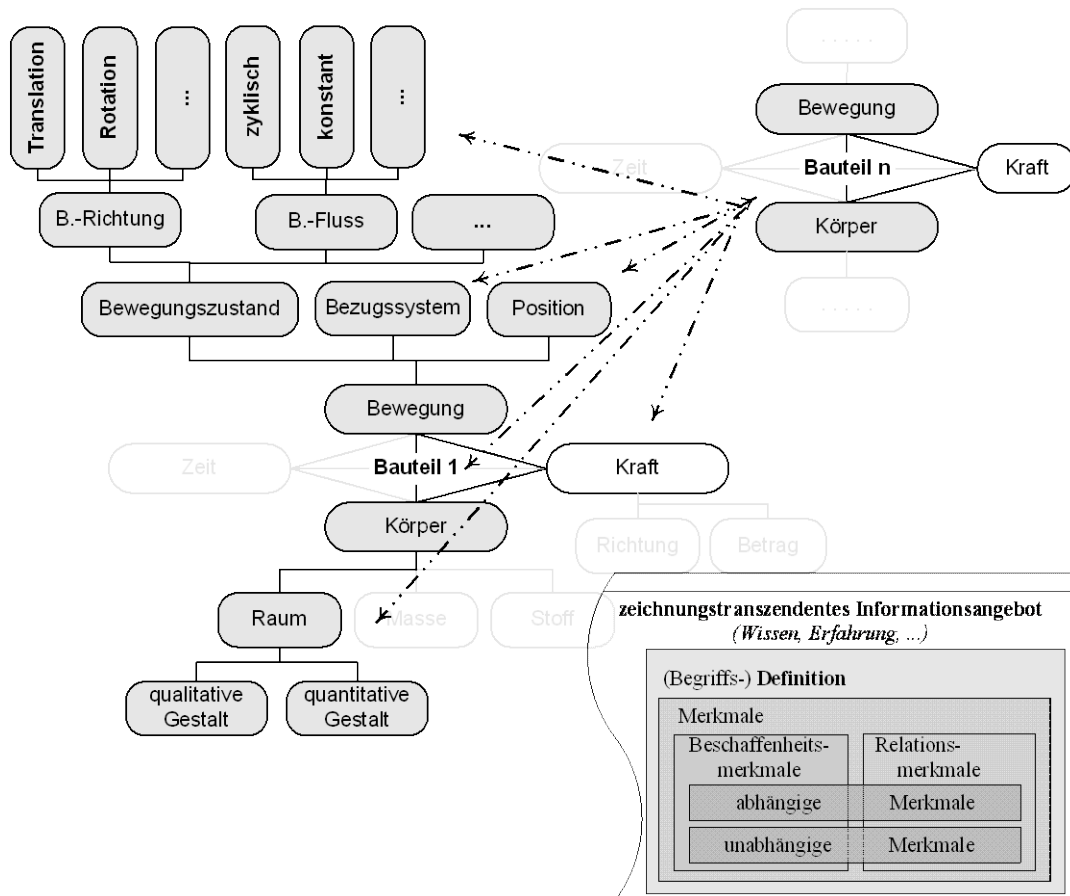


Bild 4-17: Begriffliches Verständnis technischer Systeme der mechanischen Technik

In Bild 4-17 ist ersichtlich, dass sich in der Konzeptionsphase aus dem elementaren Verständnis der Inkubationsphase ein begriffsbezogenes Verständnis entwickelt, welches sich an bereits bekannten Basis- bzw. Individualkonzepten orientiert. Dieses Verständnis stellt das erste mental repräsentierte Problemlösungskonzept dar. Dieses Konzept, das im weiteren Interpretationsverlauf stetig modifiziert wird, ist insbesondere durch die Vernetzung der während der Inkubation gesammelten mehr oder weniger voneinander unabhängigen Gegenstandsvorstellungen, durch eine Erweiterung der Begriffsvorstellung sowie durch die Ergänzung um die Raumvorstellung gekennzeichnet. Im Idealfall repräsentiert der Interpret am Ende der Konzeptionsphase ein einziges zusammenhängendes Netzwerk miteinander verknüpfter Einzelinformationen. Dieser Zustand kann mit Hilfe des Informationsgraphenmodells wie folgt dargestellt werden:

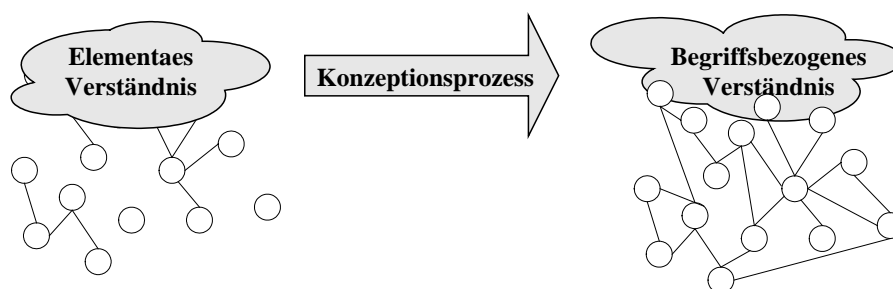


Bild 4-18: Mentale Repräsentation der Konzeption – Begriffsbezogenes Verständnis

Angemerkt sei an dieser Stelle, dass die Zeichnungsinterpretation unter der Voraussetzung, dass die auf der Technischen Zeichnung eingetragene Benennung für den Interpreten bedeutungsvoll ist, direkt mit der im folgenden Kapitel beschriebenen Argumentationsphase beginnen kann. Mit dem Begriff der Benennung assoziiert der Interpret in diesem Fall nämlich sofort ein Individuumkonzept, welches sowohl die zu erwartenden Informationen, als auch deren Beziehungen umfasst. So ruft beispielsweise der Begriff „Stirnradgetriebe“ automatisch ein Konzept auf, das etwa die Informationen der Baustruktur (Zahnräder, Lager, mindestens zwei Wellen, Welle-Nabe-Verbindungen, Gehäuse etc.) und die Beziehungen zwischen den Bauteilen (Übersetzungsverhältnis, Drehmomentübertragung etc.) enthält. Im Folgenden wird jedoch davon ausgegangen, dass die auf der Technischen Zeichnung präsentierte Benennung des technischen Systems für den Interpreten bedeutungslos ist.

4.2.4 Dritte Interpretationsphase: Argumentation

Die Argumentationsphase entwickelt sich fließend aus der Konzeptionsphase heraus und weist Ähnlichkeiten mit der elaborativen Bildverarbeitung des Prozessmodells des menschlichen Verstehens von Bildern auf, in der das bereits Verstandene in einen größeren Zusammenhang eingeordnet wird. Dies geschieht in einem bewussten gedanklichen Prozess, der durch ein konsultierendes Lesen unterstützt wird, indem gezielt ausgewählte Zeichnungsausschnitte inhaltlich sehr detailliert erfasst und zu den mental repräsentierten Informationen des aktuellen Problemlösungskonzepts in Beziehung gesetzt werden. Dieser Prozess, in dessen Verlauf sich ein höheres Verständnis entwickelt, ist durch die Anwendung einer Bottom-Up-Strategie gekennzeichnet, mit welcher die speziellen zeichnungsimmanenten Informationen entsprechend der Prinzipien der mechanischen Technik in allgemeingültige Aussagen, mit denen das Problemlösungskonzept verifiziert werden kann, überführt werden.

Die Suche nach Argumenten für die Richtigkeit des Problemlösungskonzepts geschieht derart, dass die Einzelinformationen des Problemlösungskonzepts systematisch entsprechend fachwissenschaftlicher und kontextbezogener Kriterien, welche zuvor von untergeordneter Bedeutung waren, bewertet werden. Bei der Ableitung nicht in der Technischen Zeichnung präsentierter Daten des Technikmodells ist insbesondere das physikalische Element „Zeit“, welches der Momentaufnahme „Technische Zeichnung“ eines technischen Systems erst seine Dynamik verleiht, ein wesentliches Kriterium. Ein weiteres Bewertungskriterium kann beispielsweise die Umgebungsbedingung sein, wie z. B. die Temperatur, welche auf der Ebene der Mikrogestalt der Kristallgitter das mechanische Verhalten der Bauteilwerkstoffe beeinflusst. Des Weiteren sind kontextspezifische Informationen von Bedeutung, welche sich insbesondere auf den Interpretationsanlass bzw. auf das Interpretationsproblem beziehen; so ist beispielsweise bei einer Gefährdungsbeurteilung die Reibung zwischen zwei Bauteilen von Bedeutung, da hierdurch Wärme entsteht, die letztlich zu einer Verbrennungsgefahr führen kann. In einem Adaptationsprozess bewertet der Interpret während der Argumentationsphase so stetig neue Informationen, die mit bereits bekannten Informationen in Beziehung stehen und die zuvor nicht beachtet wurden, so dass das Problemlösungskonzept stetig verifiziert, erweitert, vertieft und/oder verändert wird. Die einzelnen Bauteile erhalten hierdurch entsprechend dem dritten hermeneutischen Grundsatz ihre technisch-mechanische Bedeutung aus ihrer Beziehung zu den anderen Bauteilen des gesamten technischen Systems.

Am Ende der Argumentationsphase verfügt der Interpret über eine Reihe von Argumenten, welche seinem individuellen Verständnis entsprechend die Richtigkeit seines Problemlösungskonzepts belegen. Die Argumente entsprechen insbesondere den strukturellen Beziehungen zwischen mehreren Informationen, die fachlogisch und somit objektiv begründet sind, so dass sich das subjektive Problemlösungskonzept im Idealfall am Ende der Argumentationsphase auch objektiv als richtig erweist.

Ein Eindruck von dem mental repräsentierten informationstechnischen Beziehungsgeflecht kann aufgrund seiner Komplexität und seiner Situations- bzw. Objektivabhängigkeit nur punktuell auf einer sehr abstrakten Ebene vermittelt werden; hierzu die folgende Darstellung:

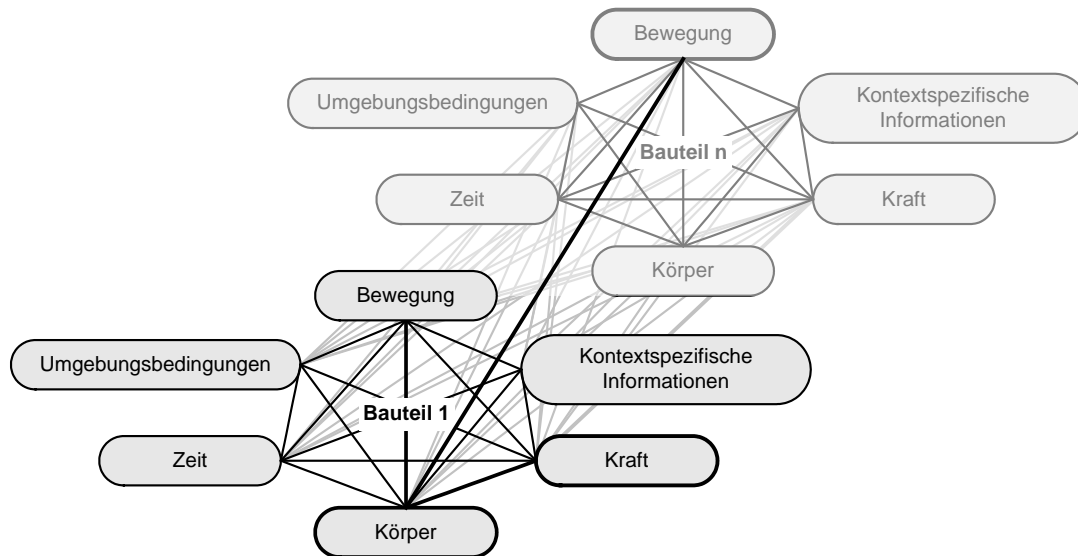


Bild 4-19: Höheres Verständnis technischer Systeme der mechanischen Technik

Die mentale Repräsentation der Argumentationsphase kann mit Hilfe des Informationsgraphenmodells auszugsweise wie folgt dargestellt werden:

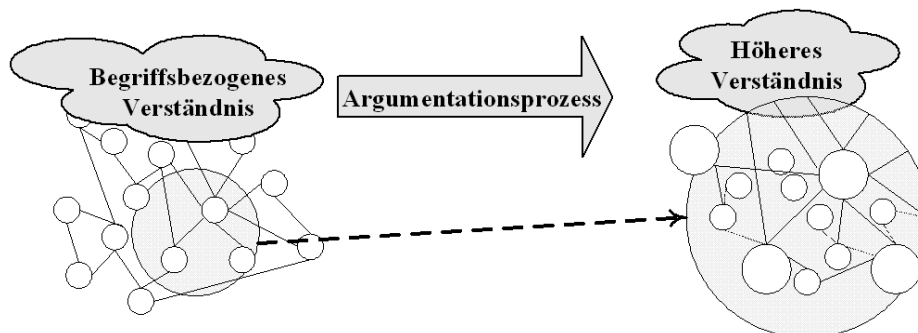


Bild 4-20: Mentale Repräsentation der Argumentation – Höheres Verständnis

4.2.5 Interpretationsnachbereitung: Reflexion

Die Reflexionsphase, welche nur im weiteren Sinn Bestandteil des Zeichnungsinterpretationsprozesses ist, entwickelt sich unmittelbar aus der Argumentationsphase heraus. In ihr wird zum einen das Interpretationsergebnis bzw. das Problemlösungskonzept bewusst und systematisch mit der Problemstellung des Interpretationsanlasses verglichen. Zum anderen ist es aber auch Ziel der Reflexionsphase, die Kommunikation der Problemlösung vorzubereiten; insofern kann die Reflexion auch im engeren Sinn Bestandteil des Interpretationsprozesses sein. Hierzu die folgenden Überlegungen: In dem während der Argumentationsphase entwickelten Informationsnetzwerk sind einige Informationen und einige Informationsbeziehungen für die Problemlösung bedeutender als andere. Die fundamentalen Informationen und Informationsbeziehungen sind dem-

nach ein Auszug des gesamten Problemlösungskonzepts, welcher folgend als Problemlösungspfad bezeichnet und als Problemlösung kommuniziert wird. Die Informationen und die Informationsbeziehungen, welche innerhalb des Problemlösungskonzepts, aber außerhalb des Problemlösungspfads liegen, können zwar als objektive Legitimation der Richtigkeit der Problemlösung dienen; diese werden aber i. d. R. nicht kommuniziert, so dass sie unmittelbar nur dem Zeichnungsinterpreten bekannt sind.

Während der Reflexion findet ein Querleseprozess statt, bei dem nochmals die zeichnungsimmanenten Informationen des Problemlösungskonzepts in einer Reihenfolge entlang des Problemlösungspfads gelesen und mit Hilfe des zeichnungstranszendenten Fachwissens des Interpreten verifiziert werden. Hierbei wird insbesondere darauf geachtet, dass die Informationen und die Informationsbeziehungen des Problemlösungspfads zu einer widerspruchsfreien und in sich schlüssigen logischen Argumentationskette verknüpft werden können; die Informationen und die Informationsbeziehungen, welche nicht Bestandteil des Problemlösungspfads sind, werden nur reflektiert, wenn Widersprüche und/oder Unschlüssigkeiten bestehen.

Der Verlauf der Reflexionsphase entspricht dem eines Adaptationsprozesses, in dem im Idealfall keine Assimilations- und keine Akkommodationsprozesse stattfinden, sondern in dem das Problemlösungskonzept lediglich beibehalten, d. h. verifiziert wird. Andernfalls ist ein erneuter Argumentationsprozess, in dem das offensichtlich falsche und/oder lückenhafte Problemlösungskonzept modifiziert werden muss, erforderlich.

Die mentale Repräsentation der Reflexionsphase stellt sich im Informationsgraphenmodell auszugsweise wie folgt dar:

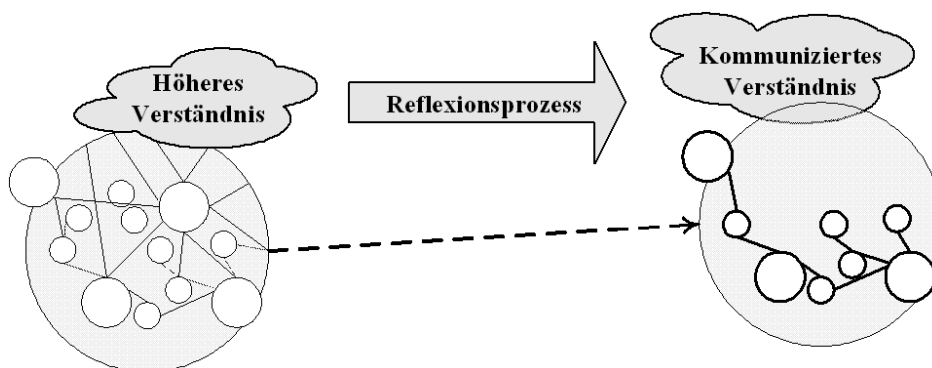


Bild 4-21: Mentale Repräsentation der Reflexion – Kommuniziertes Verständnis

4.3 Modellbeschreibung

Die Grundlage für die Beschreibung des Prozessmodells der Interpretation Technischer Zeichnungen bilden insbesondere die folgenden Ansätze:

- Der menschliche Interpretationsprozess Technischer Zeichnungen ist ein Sonderfall des Verstehensprozesses allgemeiner bildlicher Darstellungen aus der Perspektive der kognitiven Wahrnehmungsforschung (vgl. Kapitel 3.4). Hiernach vollzieht sich der Interpretationsprozess in drei sequentiellen Phasen, in denen der Interpret aktiv seine aktuelle mentale Repräsentation konstruiert und stetig modifiziert, indem er die zeichnungsimmanenten Informationen als visuelle Umweltreize mit den zeichnungs-transzendenten Informationen seines im Langzeitgedächtnis abgespeicherten Wissens und seiner erinnerten Erfahrungen zueinander in Beziehung setzt und permanent mit dem Interpretationsproblem abgleicht. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Prozess, dass die wahrgenommenen Zeichnungsinformationen infolge der zunehmenden Verknüpfung mit dem eigenen Wissen des Interpreten individuell identifiziert und klassifiziert werden.
- Der Prozess der Zeichnungsinterpretation weist einen hermeneutischen Verlauf auf. Dementsprechend entwickeln sich während der Interpretation sukzessive aufeinander aufbauende Verständnisse, die mit anfänglichen Vermutungen beginnen und mit einer objektiv begründbaren Problemlösung enden. Insbesondere sind die unterschiedlichen Verständnisse dadurch gekennzeichnet, dass sie jeweils verschiedene gedankliche Repräsentationsebenen umfassen und somit grundlegend unterschiedlicher Art sind und nicht nur einfache Erweiterungen darstellen. Am Anfang des Interpretationsprozesses repräsentiert der Interpret ein ganzheitliches erfahrungsbezogenes Verständnis vom dem technischen System, das in einer Gegenstandsvorstellung insbesondere die räumliche Gestalt und die räumliche Anordnung der einzelnen Bauteile zueinander umfasst. Aus diesem Verständnis entwickelt sich ein lösungsrelevanteres Verständnis, das neben weiteren Objektmerkmalen insbesondere auch dynamische Aspekte möglicher Bauteilbewegung umfasst, die in einer Technischen Zeichnung nicht präsentiert sind. Aus diesem Verständnis entwickelt sich wiederum ein weiter- und tieferreichendes Verständnis, das insbesondere fachlogische sowie situationsbezogene Aspekte umfasst.

Die Charakteristika der drei Interpretationsphasen "Inkubation", "Konzeption" und "Argumentation" im engeren Sinn sowie die vor- bzw. die nachbereitende Phase "Präparation" bzw. "Reflexion" (vgl. Kapitel 4.1.1) können wie folgt beschrieben und mit Hilfe eines Interpretationsbeispiels erläutert werden.

4.3.1 Präparation

Die Präparationsphase geht der eigentlichen Interpretation einer Technischen Zeichnung voraus. Während dieser Phase wird die Technische Zeichnung noch nicht gelesen, d. h. dass der Interpret lediglich zeichnungstranszendente Informationen nutzen kann. Dementsprechend können während der Präparationsphase lediglich Top-Down-Prozesse ablaufen, in denen das Gedächtnis nach Ideen durchsucht wird, welche helfen, das Problem zu konkretisieren.

Bei dieser Suche handelt es sich um einen gedanklichen Assoziationsprozess, in dessen Verlauf beliebige elementare Bewusstseinsinhalte, wie z. B. Begriffe, Gedanken oder Sinneseindrücke, die in einem vermuteten Zusammenhang zu dem Interpretationsproblem stehen, zu neuen Ideen zusammengesetzt werden. Die Assoziationen ergeben sich automatisch und unbewusst insbesondere aufgrund von Ähnlichkeiten, Kontrasten und/oder räumlichen bzw. zeitlichen Zusammenhängen.

Mit einem assoziierten Bewusstseinsinhalt sind überdies weitere Inhalte verknüpft, die in einer hierarchischen oder in einer nicht-hierarchischen Beziehung zu der ersten Assoziation stehen können (vgl. /din2331/). Hierarchisch sind etwa Abstraktionsbeziehungen (z. B. Kraftfahrzeug - Motorrad) oder Bestandsbeziehungen (z. B. Getriebe - Welle). Beispiele für nicht-hierarchischen Beziehungen sind insbesondere sequentielle Beziehung wie etwa Kausalbeziehungen (z. B. Feuchtigkeit - Rost), instrumentelle Beziehungen (z. B. Inserat - Verkauf), genetische Beziehungen (z. B. Autoindustrie - Auto), Herstellungsbeziehungen (z. B. Glas - Flasche), Transmissionsbeziehungen (z. B. Sender - Empfänger) oder chronologische Beziehungen (z. B. Sommer - Herbst). Die Präparationsphase kann daher am besten gelingen, wenn der Interpret über ein hinreichendes Technikwissen verfügt, so dass er mühelos Begriffsketten (z. B. Maschine - Werkzeugmaschine - Schleifmaschine) und/oder Begriffsreihen (z. B. Schrank - Metallschrank / Holzschrank ...) zu assoziieren vermag.

Hierzu das folgende Erläuterungsbeispiel:

Zwecks der Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung ist eine Funktionsbeschreibung eines Hydraulikhebers zu erstellen.

Der Interpret assoziiert vielleicht mit einem Hydraulikheber aufgrund seiner persönlichen Erfahrungen beim Radwechsel an seinem PKW einen Rangierwagenheber. Dieser erste assoziierte Bewusstseinsinhalt führt beispielsweise zugleich über hierarchische Bestandsbeziehungen zu den folgenden Begriffen: "Griffstange zum Pumpen und Öffnen des Ablassventils", "Rollen zum verfahren/rangieren", "kronenförmiger Auflagesattel", "geschlitzter Nippel zum Ablassen".

Mit der Assoziation der Bestandsmerkmale eines Rangierwagenhebers erinnert sich der Interpret entsprechend der Frametheorie zugleich auch an dessen Funktion, die auszugsweise wie folgt beschrieben werden kann: "Zum Heben wird die Griffstange in die Hebelaufnahme gesteckt und die Stange nach oben und nach unten bewegt. Hierdurch hebt sich der Hubarm mit dem Lastsattel. Zum Senken wird die Ablassventilschraube mit der Griffstange gelöst."

Aufgrund seiner Erfahrungen mit einem Wagenheber kann der Interpret bereits eine Funktionsbeschreibung in Form einer Blackbox-Beschreibung geben; diese lautet etwa: "Durch abwechselndes auf- und abwärts Bewegen des Hebels hebt sich das Druckstück an." ... Die Funktion des Absenkens wird an dieser Stelle und folgend nicht betrachtet.

Während der Interpret über die Funktion des Wagenhebers nachdenkt, fällt ihm vielleicht noch ein, dass er sich einmal während eines Radwechsels geklemmt hat, so dass seine Aufmerksamkeit reflektorisch auf die mechanischen Gefährdungen gelenkt wird.

Die Informationserwartungen, die sich aus dem oben beschriebenen exemplarischen Präparationsprozess ergeben, lassen sich zusammengefasst wie folgt darstellen:

Bild 4-22: Erwartungshaltung nach der Präparation siehe Seite 65

Bei der Erwartungshaltung handelt es sich vornehmlich um eine erfahrungsbezogene mehr oder weniger verknüpfte Sammlung von *Gegenstandsvorstellungen*, mit denen evtl. unbewusst rudimentäre *Begriffsvorstellungen* assoziiert werden.

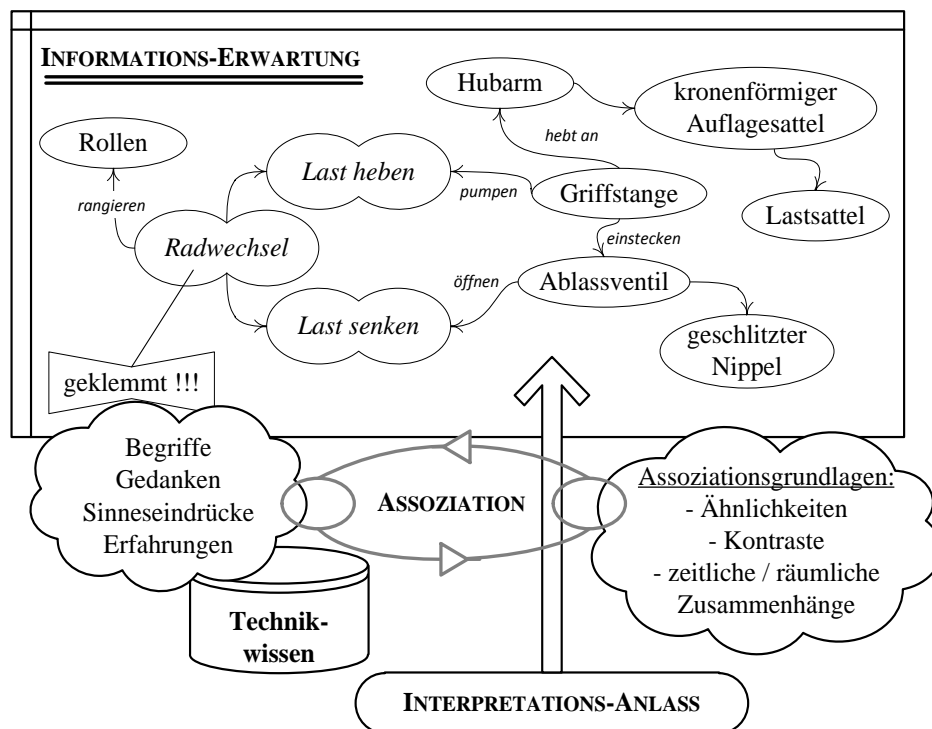


Bild 4-22: Erwartungshaltung nach der Präparation

4.3.2 Inkubation

Die Entwicklung der Inkubationsphase differenziert sich entsprechend der anfänglichen mentalen Repräsentation bzw. der Informationserwartung, wie folgt:

- Wenn der Interpret bereits aufgrund einer vorhergehenden Präparation eine Informationserwartung entwickelt hat (vgl. Kap. 4.3.1), so entwickelt sich die Inkubationsphase wie unten beschrieben.
- Wenn der Interpret jedoch über keine Erwartungshaltung verfügt, so kann er diese auf zwei Art und Weisen erhalten.
 - Zum einen, indem er die im Schriftfeld vermerkte Benennung liest und mit dieser zugleich ein Basis- oder Individualkonzept assoziiert. In diesem Fall entfallen sowohl die Inkubations- als auch die Konzeptionsphase, und der Interpretationsprozess beginnt mittelbar mit der Argumentationsphase (vgl. Kap. 4.3.4).
 - Zum anderen kann der Interpret eine Erwartungshaltung entwickeln, indem er die Technische Zeichnung entsprechend dem antizipierenden Überblickslesen liest und sich hierbei einen oberflächlichen Eindruck von dem Inhalt der Technischen Zeichnung verschafft. In dem Leseprozess erkennt der Interpret einige bereits bekannte Bauteile wieder. Mit dem Wiedererkennen wird auch die Situation erinnert, in der dem Bauteil ehemals begegnet wurde, so dass sich allmählich eine

Erwartungshaltung entwickelt, die der in dem Kapitel 4.3.1 "Präparation" beschriebenen vergleichbar ist. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass bei der unmittelbaren Aufnahme der zeichnungsimmanenten Informationen während des aktiven Leseprozesses keine nicht präsentierten Informationen erwartet werden, wie dies in der oben beschriebenen Präparationsphase der Fall ist.

In dem Fall des antizipierenden Überblickslesens wie auch in dem Fall, dass bereits eine "natürliche" Präparationsphase vorausgegangen ist, entwickelt sich die Inkubationsphase wie folgt beschrieben.

Während der Inkubationsphase nähert der Interpret seine mental repräsentierten subjektiven Wissensfragmente und -strukturen unter Anwendung einer Bottom-Up-Strategie den zeichnungsimmanenten Informationen an. Hierbei benutzt der Interpret in einem antizipierenden Querleseprozess zunächst die deskriptive Funktion Technischer Zeichnungen, indem er die Technische Zeichnung nach den erwarteten Informationen durchsucht. Dies geschieht in einem Mustererkennungsprozess, in dessen Verlauf unterschiedliche Bauteile aufgrund ihrer ikonischen Ähnlichkeit mit Realobjekten wiedererkannt werden. Aber auch stilisiert-ikonische Ähnlichkeiten bzw. nicht-ikonische Symbole können bei Vorhandensein des erforderlichen Sprachwissens wiedererkannt werden; dies ist z. B. häufig bei Normteilen der Fall.

Die sich so entwickelnde analog-bildliche Gegenstandsvorstellung basiert somit auf bekannten erfahrungsbezogenen individuellen Vorstellungen, die mit Hilfe von subjektiven Analogien und Vergleichen mit neuen Erscheinungsweisen oder in anderen Zusammenhängen in Beziehung gesetzt werden. Diese intensive Verknüpfung der zeichnungsimmanenten Informationen mit seinen persönlichen Gedanken hat zur Folge, dass dem Interpreten zumindest in seiner aktuellen mentalen Repräsentation das Wissen um das Nichtgegenwärtigsein der realen Objekte fehlt. Hierdurch ist er in der Lage, sich selbst in die räumlich-topologische Situation des technischen Systems zu integrieren, so dass er gedanklich die verschiedenen Bauteile zu bewegen vermag. Aktiv genutzt wird diese Eigenschaft der mentalen Repräsentation jedoch erst in der Konzeptionsphase.

Am Ende der Inkubationsphase hat der Zeichnungsinterpret ein elementares Verständnis von dem entwickelt, was verstanden werden soll. Somit ist das, was verstanden werden soll, schon irgendwie verstanden. Das elementare Verständnis umfasst noch keine Problemlösungsidee, vielmehr ist es eine sehr allgemeine ganzheitliche und mehr subjektive als objektive Idee von dem technischen System. Die Ganzheitlichkeit umfasst hierbei insbesondere die Kontextfreiheit, so dass Vagheiten und Mehrdeutigkeiten nicht mit Hilfe von gedanklichen Bewertungs- oder Selektionsprozessen auf-

gelöst werden. Hierdurch ergibt sich am Ende der Inkubationsphase eine mentale Repräsentation, die weniger Informationen enthält als zur Problemlösung erforderlich sind und die auch für die Problemlösung irrelevante Informationen enthält.

Hierzu das Erläuterungsbeispiel:

Mit dem ersten Blick auf die folgende Baugruppenzeichnung des Hydraulikhebers beginnt die Inkubationsphase.

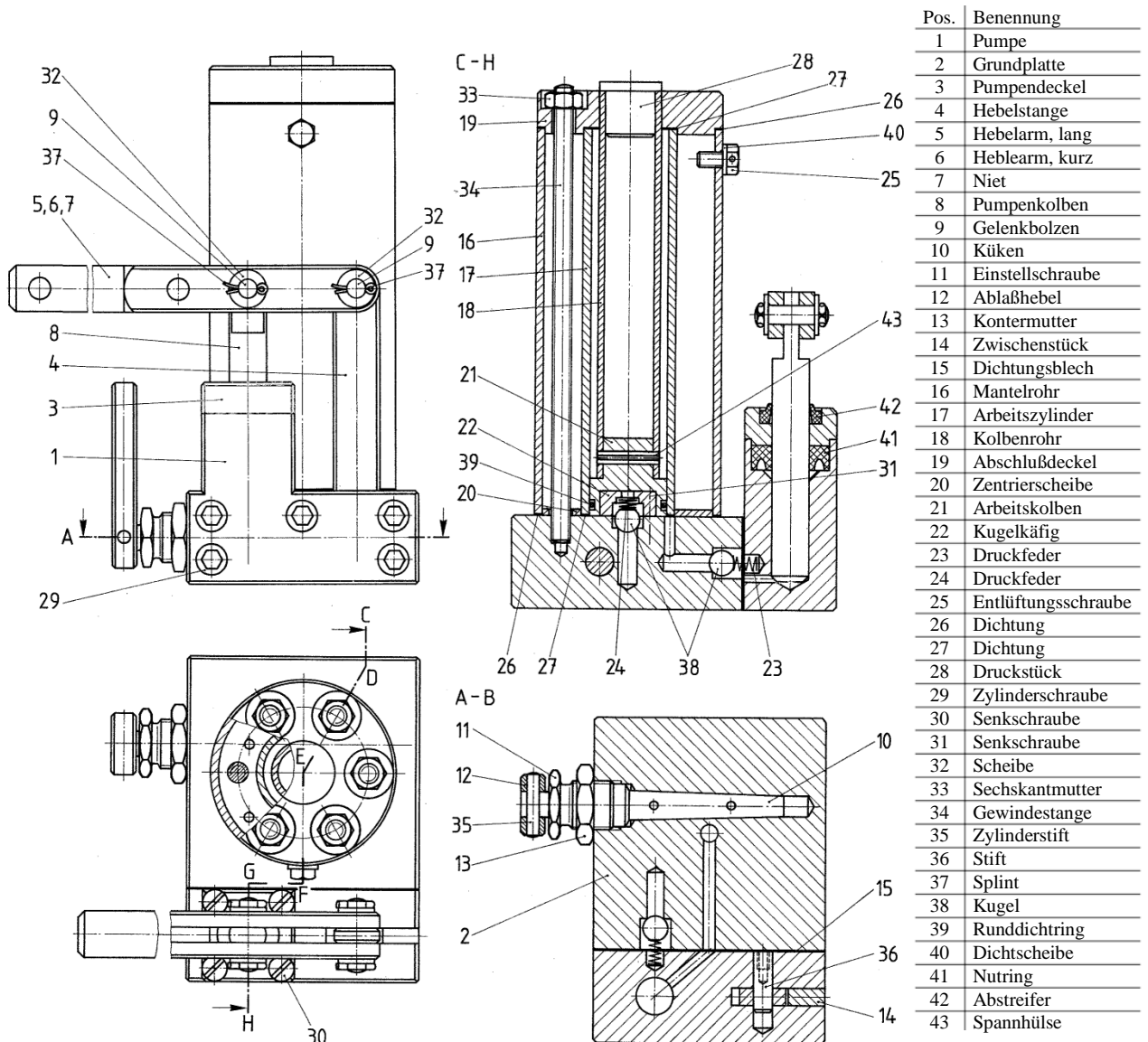


Bild 4-23: Baugruppenzeichnung "Hydraulikheber" /bay05/

Da bei Technischen Zeichnungen nicht wie bei kontinuierlich verfassten Texten eine logische Informationsordnung vorgegeben ist, versucht der Interpret zunächst, sich auf der Technischen Zeichnung zu orientieren, indem er detaillos die Anordnung der Ansichten analysiert. Hierbei erfolgen bereits die ersten reflektorischen Zuwendungen. In dem Fall des Hydraulikhebers fallen insbesondere die auf einem Teilkreis ange-

ordneten Schraubverbindungen (mit den Sechskantmuttern Pos. 33) in der Draufsicht, die in unregelmäßigen Reihen angeordneten Schraubverbindungen (mit den Zylinderschrauben Pos. 29) sowie die einzelne Schraube (Sechskantschraube Pos. 25) in der Vorderansicht auf.

Der zunächst unbewussten Informationsaufnahme folgt die bewusste Suche, Aufnahme und Bewertung der erwarteten Informationen. Da anfänglich jedoch noch nicht bekannt ist, welche Informationen in der Technischen Zeichnung präsentiert sind, werden zunächst alle erwarteten Informationen zugleich gesucht. Dies ist aber aufgrund der begrenzten gedanklichen Kapazität nur möglich, wenn der Umfang der Informationserwartungen reduziert wird. Die erforderliche Reduktion berücksichtigt einerseits die statische Eigenschaft Technischer Zeichnungen, indem nur statische Objekte gesucht werden. Andererseits führt die Reduktion zu einer Abstraktion dieser Objekte, so dass für den Suchprozess letztlich nur noch körperliche Prototypen gedanklich repräsentiert werden. Für das betrachtete Beispiel sind dies etwa die Objekte "Griffstange", "kronenförmiger Auflagesattel" und "Ablassventil".

Aufgrund seiner aus den Ansichten herausragenden Form und insbesondere seiner ikonischen Ähnlichkeit zum erwarteten Objekt fällt dem Interpreten bei seiner Suche zunächst die Baugruppe "Hebel" (Pos. 5, 6, 7) auf, welche der erwarteten "Griffstange" entspricht. Eine Betrachtung des Hebels zeigt etwas unerwartetes, nämlich dass der Hebel aus mehreren Bauteilen besteht. Ein Blick in die Stückliste zeigt, dass der Hebel aus drei miteinander vernieteten Einzelteilen besteht. Ein weiterer Blick in die Draufsicht zeigt einen Darstellungsfehler, bei dem linken abgebrochenen Hebelteilen fehlen die Kanten des inneren Hebelteils. Überdies fallen in der Vorderansicht Splinte (Pos. 37) auf, über die der Hebel mit dem Pumpenkolben (Pos. 8) und mit der Hebelstange (Pos. 4) verbunden ist. ... Die aktive Suche nach dem Auflagesattel beginnt erfahrungsgemäß, da bei einem Rangierwagenheber die Hubrichtung fest vorgegeben ist, im oberen Bereich der Vorderansicht. Hier ist in der Mitte des Hydraulikhebers eine kleine rechteckige Fläche zu erkennen, welche vermutlich den Auflagesattel darstellt. In der Schnittansicht C - H ist diese Rechteckfläche als ein abgesetztes zylindrisches Bauteil (Pos. 28) zu erkennen, das in dem Kolbenrohr (Pos. 18) steckt und in der Stückliste mit dem Begriff "Druckstück" benannt wird. Ein weiterer Blick in die Draufsicht zeigt, dass das Druckstück keine Kronenform aufweist, sondern glatt zylindrisch geformt ist. Mit dieser Erkenntnis bildet sich zugleich die Vermutung aus, dass das zu hebende Objekt leicht abrutschen kann, wodurch sich eine Gefährdung ergibt. ... Eine aktive Suche nach dem "Ablassventil" bzw. einem "geschlitzten Nippel" führt, da insbesondere die grundlegende Gestalt des Hydraulikhebers nicht mit der eines Rangierwagenhebers korrespondiert, zu keinem Ergebnis. ... Eine aktive Suche nach den anfänglich erwarteten "Rollen" findet nicht statt, da diese Erwartung aufgrund der Vielzahl neuer Informationen schlichtweg vergessen wurde. ... Während der Suchprozesse fällt in der Vorderansicht ferner der Ablasshebel (Pos. 12) als besonders ungewöhnlich auf. Gemeinsam mit dem Hebel fällt die Konterverschraubung (Pos. 11, 13) auf. Diese führt die Blicke in die Draufsicht und in die Schnittansicht A - B, in denen der Ablasshebel nicht unmittelbar wahrgenommen wird. Zu einem Wiedererkennen des Ablasshebels

kommt es jedoch nicht, da er an einem Rangierwagenheber keine Entsprechung hat und somit seine Bedeutung unbekannt ist. ...

Die mentale Repräsentation des Interpreteten am Ende der Inkubationsphase sowie die hierzu führenden Prozesse können auszugsweise wie folgt dargestellt werden:

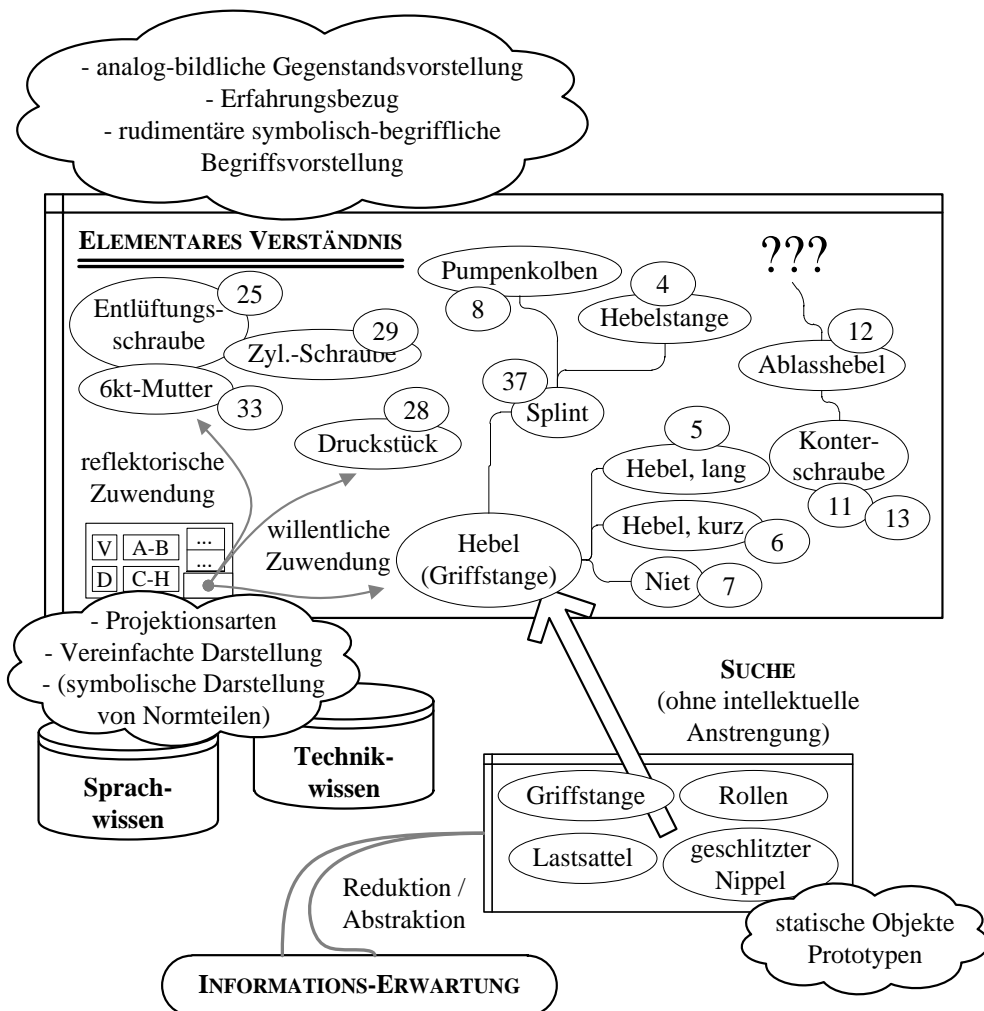


Bild 4-24: Elementares Verständnis nach der Inkubation

Bei dem elementaren Verständnis handelt es sich um ein ganzheitlich-globales Verständnis mit einer gering verknüpfte Sammlung von Gegenstandsvorstellungen, mit denen bereits erste Begriffsvorstellungen verknüpft werden, welche auf den Erfahrungen des Interpreteten mit den Objekten gründen. Im Fokus des Interesses stehen insbesondere die raumbezogenen Merkmale und die topologischen Relationen. Mit diesem Verständnis hat der Interpret bereits das Verstanden, was verstanden werden soll, da nun die zeichnungsimmanenten mit seinem Wissen als zeichnungstranszendenten Informationen miteinander verwoben sind.

4.3.3 Konzeption

In der Konzeptionsphase entwickelt der Interpret ein Konzept, welches alle mental repräsentierten Informationen miteinander verknüpft und somit zueinander in Beziehung setzt. Dies geschieht in einem Prozess des kursorischen Lesens, in dessen Verlauf wichtig erscheinende Zeichnungsausschnitte mit der Absicht gelesen werden, diese inhaltlich zu strukturieren. Der Leseprozess nutzt unter wechselnder Anwendung einer Top-Down-Strategie und einer Bottom-Up-Strategie sowohl die deskriptive als auch die explikative Funktion Technischer Zeichnungen, so dass die einzelnen mental repräsentierten Informationen in einem bewussten Adaptationsprozess aktiv strukturiert werden. Hierbei entwickelt sich ein begriffsbezogenes Verständnis.

Das sich entwickelnde begriffsbezogenes Verständnis umfasst zwei differenzierte Dimensionen, eine Raumvorstellung und eine Begriffsvorstellung. Die objektive Raumvorstellung entwickelt sich in einem Analyseprozess aus der bereits existierenden Gegenstandsvorstellung heraus. Hierbei verlieren die mental repräsentierten Objekte allmählich ihren subjektiven gegenständlichen Charakter mit Erfahrungsbezug, so dass letztlich nur noch die quantitativen Makrogestalten der Einzelteile sowie die topologischen Beziehungen zueinander gedanklich repräsentiert werden. Die Begriffsvorstellung entwickelt sich ohne intellektuellen Aufwand synchron zur Raumvorstellung, ohne dass sie hierbei an Bedeutung gewinnt. Im Fokus der Konzeptionsphase steht die objektive Raumvorstellung. Die Begriffsvorstellung erweitert die bereits repräsentierten begrifflichen Rudimente und ergänzt diese um weitere Objekteigenschaften und Objektmerkmale, die bereits Bestandteil des Wissens des Interpreten sind, so dass die zeichnungsimmanenten Informationen weiter miteinander verflochten werden.

Am Ende der Konzeptionsphase repräsentiert der Interpret eine Sammlung miteinander verknüpfter Einzelaussagen, die in ihrer Gesamtheit das technische System beschreiben und ihm somit eine allgemeine, wenig detaillierte Bedeutung verleihen. Ebenso wie das Ganze aus dem Einzelnen heraus verstanden wird, wird das Einzelne aus dem Ganzen heraus verstanden, indem das ganze technische System den einzelnen Bauteilen eine allgemeine Bedeutung in dem und für das System verleiht. Das abschließend mental repräsentierte Netz aus Informationen und Relationen zwischen diesen stellt das erste Lösungskonzept für das Interpretationsproblem dar.

Hierzu das Erläuterungsbeispiel:

Während der Konzeptionsphase versucht der Interpret die bereits mental repräsentierten Informationen vollständig zueinander in Beziehung zu setzen. Hierzu werden einzelne, dem Interpreten wichtig erscheinende Zeichnungsausschnitte gelesen und in einem Adaptationsprozess entsprechend einer vermuteten Lösungsrelevanz bewertet. Der Leseprozess beginnt, da der Interpret aufgrund des zuvor begründeten elementaren Verständnisses an dem technischen Objekt gedanklich zu hantieren vermag, an einer Schnittstelle zwischen dem technischen System und dem Interpreten als handelndem Menschen. In dem Fall des Hydraulikhebers ist dies der Hebel (Pos. 5, 6, 7), der vom Interpreten in der Vorderansicht gedanklich auf einer teilkreisförmigen Bewegungsbahn zyklisch auf und ab bewegt werden kann.

Der aktive Leseprozess folgt bei Systemen der mechanischen Technik dem Bewegungsfluss durch das System hindurch bis die Bewegung wieder aus dem System heraus tritt. Eine Bewegungsanalyse des Hebels in der Vorderansicht zeigt, dass sich dieser um die Hebelstange (Pos. 4) als statische Trageinheit dreht. Während der zyklischen Auf- und Abwärtsbewegungen des Hebels bewegt sich der Pumpenkolben (Pos. 8) ebenfalls zyklisch, jedoch translatorisch zur eigenen Achse mit. Um die weiteren Bewegungsabläufe wahrnehmen zu können muss der Interpret über ein technisches Wissen verfügen, welches das folgende Funktionsprinzip einer hydraulischen Presse umfasst: "Ein Kolben saugt Hydrauliköl aus einem Vorratstank an und pumpt dieses in einen Arbeitszylinder." Eine besondere Interpretationsschwierigkeit besteht hier darin, dass das Hydrauliköl weder in der Technischen Zeichnung dargestellt noch in der Stückliste aufgeführt wird.

In der Schnittdarstellung C - H ist ersichtlich, dass zwischen der Pumpe (Pos. 1) und der Grundplatte (Pos. 2) eine Verbindungsbohrung besteht. In der Verbindungsstelle regelt eine Kugel-Feder-Kombination (Pos. 23, 38) als Rückschlagventil die Durchflussrichtung des Hydrauliköls; diese ist in Richtung der Pumpe gerichtet. Demnach muss die zweite Bohrungsöffnung in der Grundplatte in Richtung des Vorratstanks weisen, der sich vermutlich zwischen dem Arbeitszylinder (Pos. 17) und dem Mantelrohr (Pos. 16) befindet. Eine zweite Bohrung in der Grundplatte, an deren Öffnung sich ebenfalls eine Kugel-Feder-Kombination (Pos. 24, 38) als Rückschlagventil befindet, lässt das Öl in Richtung des Arbeitszylinders fließen. In dem Zylinder befindet sich der Pressenkolben, der aus dem Bauteilen Kolbenrohr (Pos. 18), Arbeitskolben (Pos. 21), Spannhülse (Pos. 43) sowie dem Druckstück (Pos. 28) besteht. Indem durch die Bohrung in der Grundplatte Hydrauliköl unter den Arbeitskolben gepumpt wird, hebt sich der gesamte Pressenkolben an und mit ihm ggf. eine auf dem Druckstück lagernde Last.

Am Ende der Konzeptionsphase hat der Interpret ein erstes ganzheitliches Problemlösungskonzept entwickelt, das sich unbewusst aus der Analyse der einzelnen Bauteile ergeben hat. Zugleich haben die Einzelteile aus ihrer Gesamtheit eine neue objektbezogene Bedeutung gewonnen. Dieses Konzept weist noch einige Mängel auf und lässt noch einige Fragen unbeantwortet. So bleibt beispielweise ungeklärt, auf welchem Weg das Hydrauliköl von der Pumpe (Pos. 1) zum Arbeitskolben (Pos. 21) gelangt. Des Weiteren

werden weitere zuvor repräsentierte Informationen vergessen; so z. B. der Ablasshebel oder die Normteile.

Das erste Problemlösungskonzept wird am Ende der Konzeptionsphase auszugsweise z. B. wie folgt mental repräsentiert:

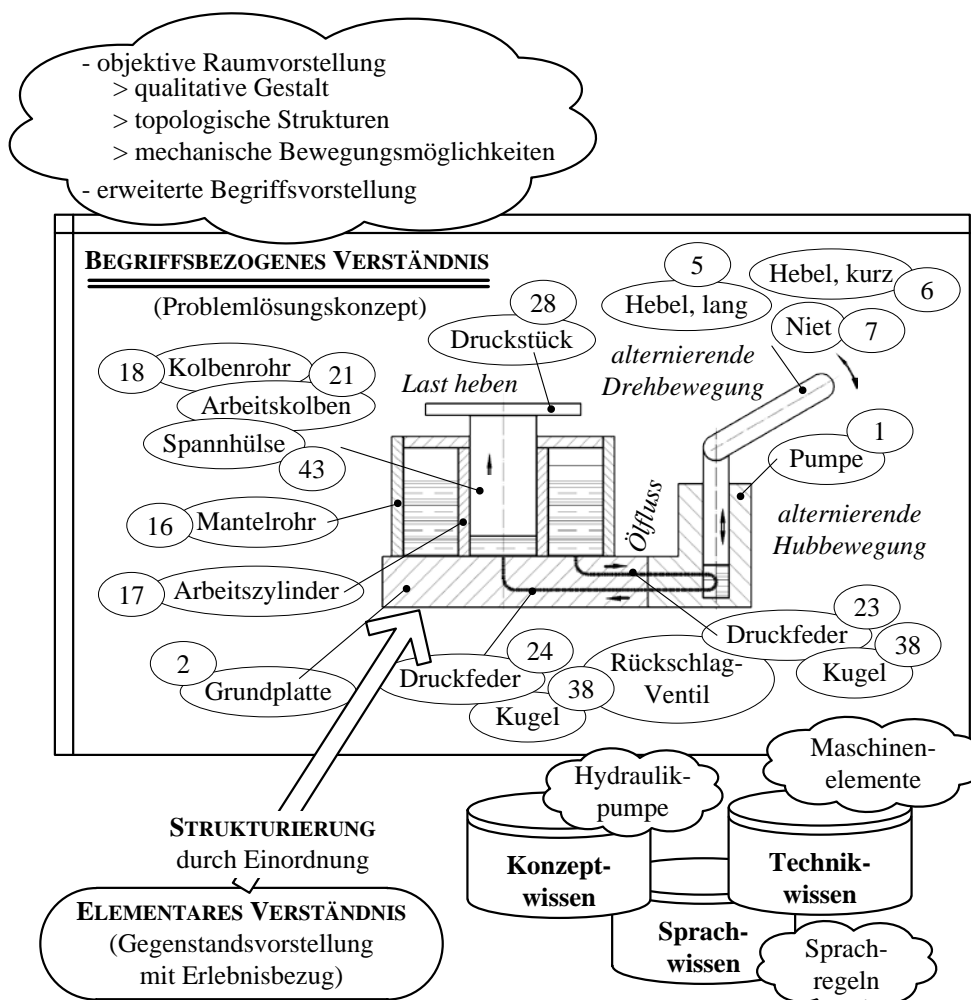


Bild 4-25: Begriffsbezogenes Verständnis nach der Konzeption

Das begriffsbezogenen Verständnis, über das der Interpret am Ende der Konzeptionsphase verfügt, stellt zugleich das erste Problemlösungskonzept dar. Dieses entwickelt sich gleichermaßen aus der bereits entwickelten Gegenstandsvorstellung wie aus dem erinnerten Basis- bzw. Individualkonzept "hydraulische Pressen". Dementsprechend sind sowohl ein bestimmtes Technik- als auch ein bestimmtes Konzeptwissen für das Gelingen der Konzeptionsphase erforderlich. Charakteristisch für das begriffsbezogene Verständnis ist seine kartesische Raumvorstellung und seine erweiterte Begriffsvorstellung, die jedoch eher wage und unbewusst die mentale Repräsentation bestimmt. Der Fokus liegt neben der Gestalt der repräsentierten Körper insbesondere auf den topologischen Beziehungen zwischen diesen und ihrer gegenseitigen Bewegungsbeeinflussung.

4.3.4 Argumentation

Die Argumentationsphase dient dem Interpreten dazu, das während der Konzeption entwickelte Problemlösungskonzept zu verifizieren und ggf. zu erweitern und/oder zu vertiefen. Hierzu liest er die zuvor identifizierten und als lösungsrelevant bewerteten Zeichnungsausschnitte nochmals konsultierend, d. h. mit dem Ziel, die Informationen der Zeichnungsausschnitte sehr detailliert zu erfassen. Der Leseprozess wird insbesondere durch die Anwendung einer Top-Down-Strategie und die Nutzung der explikativen Funktion der Technischen Zeichnung bestimmt. Hierdurch entwickelt sich in einem sehr aktiven Adaptationsprozess ein detailreiches höheres Verständnis, welches die einzelnen Informationen nach logischen Regeln in größere Zusammenhänge einordnet. Durch diese Zusammenhänge in dem ganzen technischen System erhalten die einzelnen Bauteile letztlich ihre spezifische Bedeutung für das technische System.

Das sich entwickelnde höhere Verständnis umfasst keine neue Repräsentationsebene, sondern vielmehr eine stetige Vertiefung und Erweiterung der bereits mental repräsentierten Raum- und Gegenstandsvorstellung. Dieser Veränderungsprozess wird insbesondere durch den zuvor vernachlässigten Kontextbezug sowie fachsystematische und fachlogische Prinzipien, die Bestandteil des Technikwissens sind, bestimmt. Neben den Selektions- und den Bewertungsprozessen beeinflussen die subjektive Assoziationen und Vorstellungen des Interpreten weiterhin das Interpretationsergebnis. Die konkrete Argumentationsstrategie kann als ein gedankliches Nachkonstruieren des technischen Systems bezeichnet werden, bei dem der Interpret induktiv versucht, die spezifischen Merkmale der Einzelteile mit allgemeinen Erkenntnissen zu erklären.

Am Ende der Argumentationsphase repräsentiert der Interpret ein sehr detailreiches Problemlösungskonzept, das neben den körperlichen Merkmalen und den Bewegungseigenschaften der einzelnen Bauteile auch weitere Aspekte berücksichtigt, wie z. B. die Umgebungsbedingungen, zeitliche Veränderungen o. ä.

Hierzu das Erläuterungsbeispiel:

Der Fluss des konsultierenden Lesens orientiert sich an der Struktur des gedanklich existierenden Problemlösungskonzepts. Dementsprechend beginnt das Lesen der Technischen Zeichnung an dem in der Vorderansicht dargestellten Hebel.

Der Hebel (Pos. 5, 6, 7) ist mittels der Gelenkbolzen, Scheiben und Splinte (Pos. 9, 32, 37) beweglich mit dem Pumpenkolben (Pos. 8) und der Hebelstange (Pos. 4) formschlüssig verbunden. Die zyklisch-rotatorische Bewegung des Hebels um den Anschlagpunkt an der Hebelstange wird durch eine einfache Hebelübersetzung in einer translatorischen Bewegung des Pumpenkolbens fortgeführt. Konstruktiv sind die Bewegungs-

möglichkeiten der benannten Baueinheiten durch die Toleranzen der Gelenkbolzen und der zugehörigen Lagerbohrungen sowie durch die Passung der Bauteilpaarung "Pumpenkolben/Pumpe" (Pos. 1) besitzen. ... Die Toleranzen der Gelenkbolzen und der zugehörigen Bohrungen müssen eine Spielpassung bewirken; üblich für Hebellagerungen ist nach der Norm DIN 7157 (vgl. /din7157/) im System Einheitsbohrung die Toleranzpaarung H7/f6. ... Der Nutring (Pos. 41) dient als dynamisches Dichtungselement dazu einen Austritt von Hydrauliköl aus der Pumpe (Pos. 1) zu verhindern. Der Abstreifer (Pos. 42) dient dazu, das Eindringen von Schmutz in die Pumpe zu verhindern und so auch den Nutring vor Beschädigungen infolge eindringender Schmutzpartikel zu schützen. Zugleich wird auch verhindert, dass die Oberflächen der Pumpenbohrung und des Pumpenkolbens beschädigt werden; wäre dies der Fall, so würde die Pumpleistung herabgesetzt. Ferner schützt der Nutring vor vielfältigen Gefahren, die infolge ausdringenden Hydrauliköl auftreten; wie z. B. ölverschmutztes Abwasser, Rutschgefahr etc. ... Bei einer Abwärtsbewegung des Hebels drückt der Pumpenkolben das in der Pumpenbohrung befindliche Hydrauliköl in die im Schnitt C - H dargestellten Bohrung und somit auch in die Senkung in der Grundplatte, in der sich die Kugel befindet. Die Kugel regelt gemeinsam mit der in der Pumpe geführten Druckfeder die Flussrichtung des Öls; diese ist nur in Richtung der Pumpe möglich. Folglich muss das andere Ende der Querbohrung in der Grundplatte zum Öltank hin geöffnet sein. Im Schnitt C - H ist diese Bohrung aber nach oben scheinbar durch den Arbeitszylinder (Pos. 17) verschlossen, so dass keine Verbindung zum vermuteten Vorratstank besteht. In dem Ausbruch in der Draufsicht ist jedoch erkennbar, dass zwei Bohrungen in dem Bereich zwischen dem Mantelrohr (Pos. 16) und dem Arbeitszylinder enden. Diese Darstellung legt nahe, dass eine der beiden Bohrungen die gesuchte Verbindung zur Pumpe ist. Diese Argumentation erfordert ein ausgeprägtes sprachliches Wissen. ... Zwischen der Grundplatte und der Pumpe ist im Schnitt C - H eine breite Volllinie zu erkennen, diese findet sich im Schnitt A - B wieder und wird dort mittels der Positionsnummer 15 als Dichtungsblech bezeichnet. Damit das Bauteil seine Funktion erfüllen kann, muss es weicher sein als die gegenseitig abzudichtenden Bauteile. Bei dem Werkstoff des Dichtungsblechs handelt es sich vielleicht um Aluminium oder vielleicht auch um ein gummiertes Stahlblech. ... Auf die Beschreibung der weiteren Argumentation wird an dieser Stelle verzichtet.

Eine vollständige und eindeutige Lösung des Interpretationsproblems "Funktionsbeschreibung" ist nicht möglich, da die Ölleitungsbohrungen in der Grundplatte (Pos. 2) nur teilweise und vage dargestellt sind. So ist im Schnitt A - B für einen Interpreten, der über ein ausgeprägtes Sprachwissen verfügt, erkennbar, dass eine durchgängige Bohrung von der Pumpenbohrung bis unter den Arbeitszylinder besteht. Da, wie bei Baugruppenzeichnungen üblich, die qualitative Objektgestalt nur teilweise dargestellt ist, benötigte der Interpret zur Lösung des Ölleitungs-Problems weitere zeichnungs-transzendente Informationen, welche die folgenden Einzelteilzeichnungen der Pumpe (Pos. 1) und der Grundplatte (Pos. 2) enthalten.

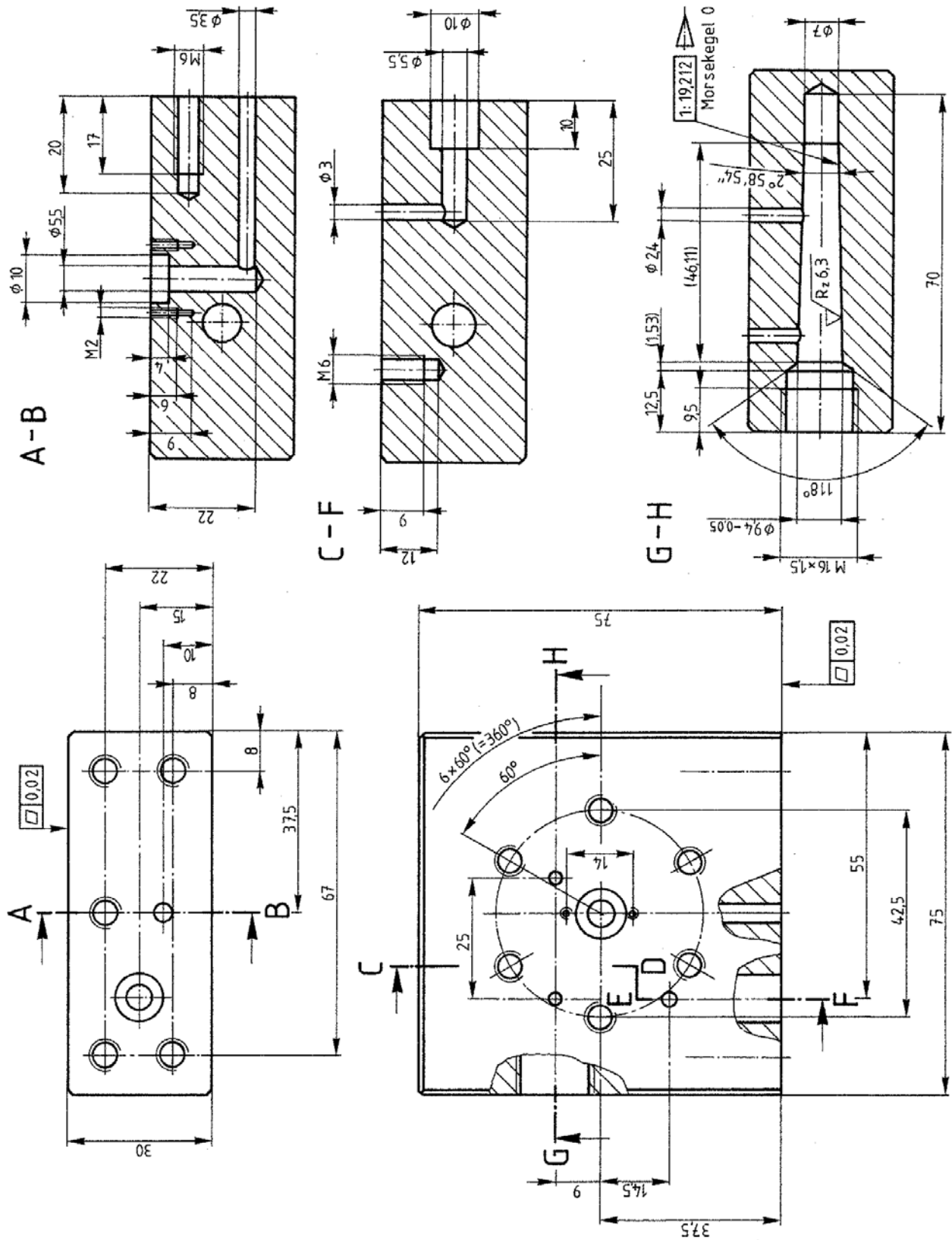


Bild 4-27: Einzelteilzeichnung "Grundplatte" /bay05/

Rückschlagventil dient, lässt nur den Schluss zu, dass die rechtwinklige Bohrung mit dem Vorratstank verbunden ist. Aus diesem wird beim Anheben des Hebels (Pos. 5, 6, 7) Hydrauliköl angesaugt. Die schräg verlaufende Bohrung mündet demnach in der im Schnitt A - A dargestellten Bohrung (unten rechts). In dem Schnitt C - H der Baugruppenzeichnung ist eine weitere Kugel-Feder-Kombination (Pos. 24, 38) dargestellt, deren Funktion als Rückschlagventil nur den Öldurchfluss in Richtung des Arbeitszylinders ermöglicht. Somit ist der Bewegungsfluss innerhalb des Hydraulikhebers für die Teilfunktion "Heben" eindeutig und vollständig fachlogisch erklärt.

Das Teilproblem des Absenkens ist noch nicht gelöst. Auf die Beschreibung des hierzu erforderlichen Lösungsprozesses wird an dieser Stelle verzichtet.

Das sich während der Argumentation ergebende Problemlösungskonzept entspricht einem sehr großen Informationsnetz, so dass an dieser Stelle auf eine vollständige Beschreibung verzichtet wird. Auch die folgende Darstellung des mental repräsentierten höheren Verständnisses erfolgt nur auszugsweise:

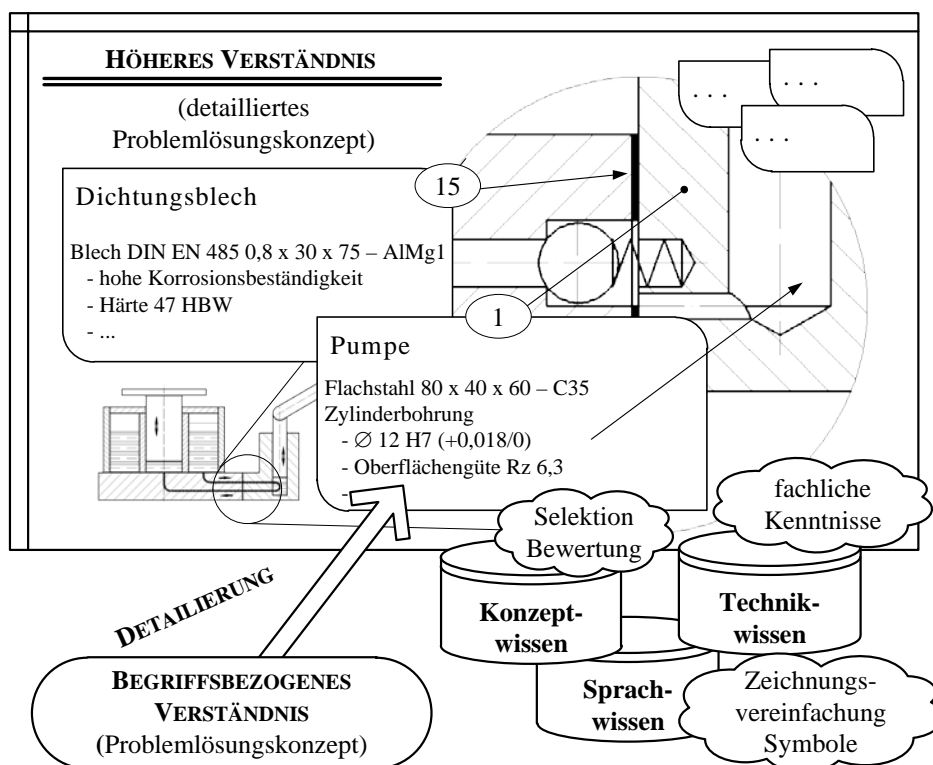


Bild 4-28: Höheres Verständnis nach der Argumentation

Das höhere Verständnis, über das der Interpret am Ende der Argumentationsphase verfügt, stellt die Problemlösung dar. Diese in Form eines mental repräsentierten Problemlösungskonzepts vorliegende Interpretationslösung ist eine sehr detailreiche strukturierte und vernetzte Informationssammlung, die weiter und tiefer gefasst ist als sie zur Lösung des Problems erforderlich ist. Letztlich verfügt der Interpret somit gedanklich über vielfältige Informationen des nur mittelbar in der Baugruppenzeichnung präsentierten Technikdatenmodells. Damit ein Interpret eindeutig zur Lösung eines

Interpretationsproblems gelangen kann, muss er über ein großes Wissensspektrum verfügen, welches das Technik-, das Sprach-, das Konzept- und auch das Kontextwissen umfasst. Ferner kann es je nach Beschaffenheit der Baugruppenzeichnung erforderlich sein, zusätzliche transzendente Informationen (z. B. in Form von Bauteilzeichnungen) zur Problemlösung heran zu ziehen.

4.3.5 Reflexion

Das Ziel der Reflexionsphase ist es zum einen die gefundene Lösung des Interpretationsproblems nochmals zu verifizieren und zum anderen innerhalb des Problemlösungskonzepts einen Problemlösungspfad auszuwählen, der später kommuniziert wird.

Während des Reflexionsprozesses wird die Technische Zeichnung daher quer gelesen, wobei die Zeichnungsausschnitte entsprechend der Reihenfolge ausgewählt und gelesen werden, welche der Problemlösung entspricht. Die Informationsverarbeitung reflektiert stets den Interpretationsanlass und das Interpretationsproblem; nur solche Informationen werden Bestandteil des Problemlösungspfads, welche lösungsrelevant erscheinen.

Nachdem das gesamte Problemlösungskonzept reflektiert wurde verfügt der Interpret über eine kommunikationsfähige Interpretationsproblemlösung, die ggf. noch adressatengerecht aufzubereiten ist.

Hierzu das Erläuterungsbeispiel:

Der Querleseprozess beginnt wieder am Hebel (Pos. 5, 6, 7). Aus der Verifikation des Problemlösungskonzepts leitet sich unter Beachtung des Interpretationsanlasses die folgende Funktionsbeschreibung ab:

Nachdem der Hydraulikheber im abgesenkten Zustand unter dem zu hebendem Objekt standfest positioniert wurde, ist der Hebel (Pos. 5, 6, 7) abwechselnd auf- und abwärts zu bewegen. Hierbei wird ein Pumpkolben (Pos. 8) ebenfalls auf- und abwärts bewegt. Bei der Aufwärtsbewegung wird im Pumpenzylinder (Pos. 1) ein Unterdruck erzeugt, der durch zuströmendes Hydrauliköl, das sich in einem Tank innerhalb des Hydraulikhebers befindet, ausgeglichen wird. Bei der Abwärtsbewegung des Hebels wird das nun im Pumpenzylinder befindliche Öl über Leitungsbohrungen unter den Arbeitszylinder (Pos. 17) gepumpt. Das einströmende Hydrauliköl hebt den Arbeitszylinder und das mit ihm verbundenen Druckstück (Pos. 28) an. Die Flussrichtung des Öls wird durch je ein Rückschlagventil (Pos. 23, 38 bzw. 24, 38) vor und nach der Pumpe gesteuert. Wenn das Druckstück Körperkontakt zu dem zu hebendem Objekt hat, wird dieses mit angehoben.

4.4 Prozessmodell der Interpretation Technischer Zeichnungen

Die in den Kapiteln 4.1 bis 4.3 hergeleiteten, dargestellten und erläuterten Prozesse während der Interpretation Technischer Zeichnungen können in abstrakter Formulierung wie folgt zusammengefasst werden:

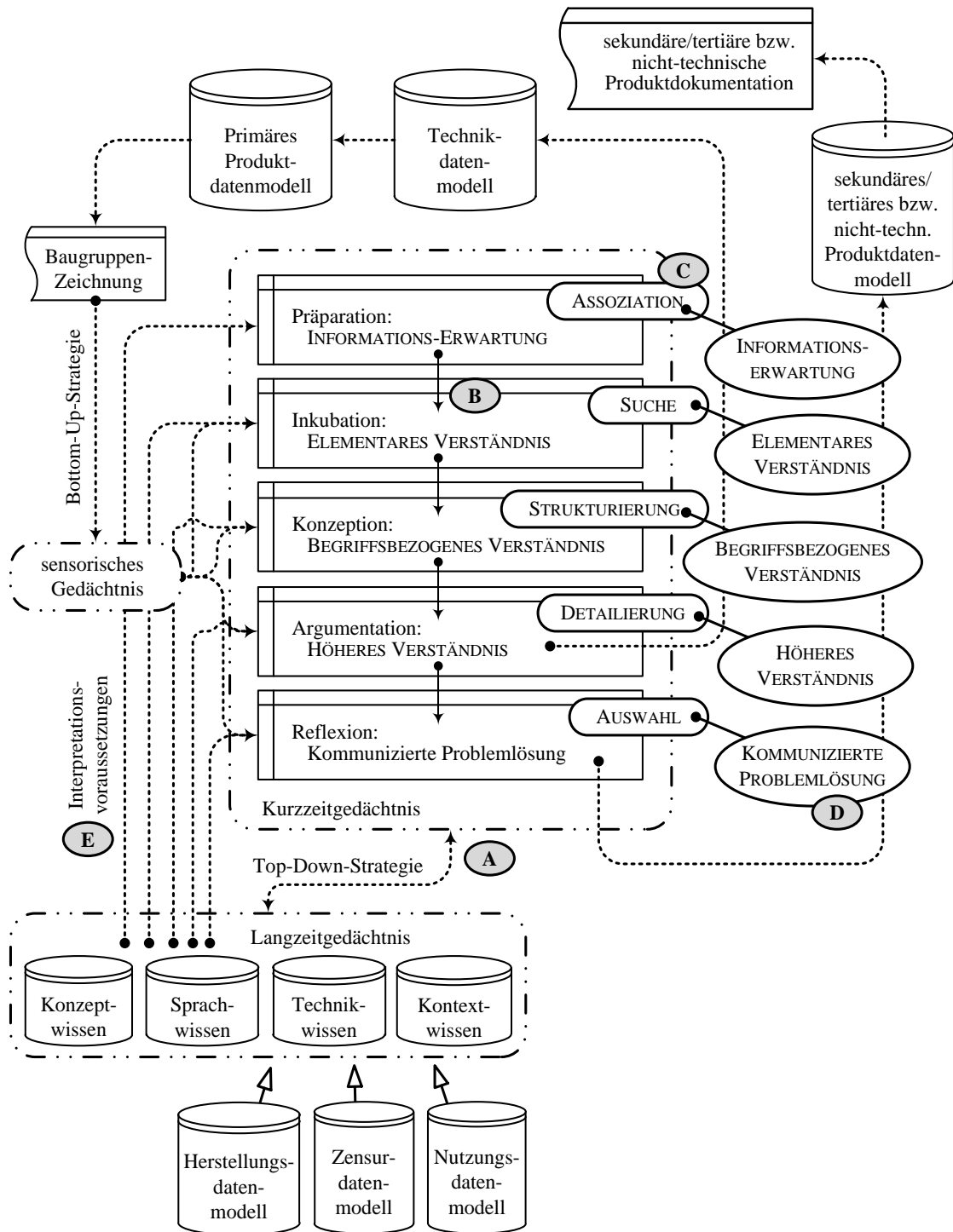


Bild 4-29: Prozessmodell der Interpretation Technischer Zeichnungen

Zu Bild 4-29 die folgenden Erläuterungen:

- (A) Das kognitive System des Interpreten umfasst die miteinander kommunizierenden Gedächtnissysteme „Sensorisches Gedächtnis“, „Kurzzeitgedächtnis“ und „Langzeitgedächtnis“. Die Lösung des Interpretationsproblems erfolgt in Form einer mentalen Repräsentation im Kurzzeitgedächtnis. In Abhängigkeit der angewendeten Problemlösungsstrategie werden der mentalen Repräsentation Informationen zugeführt; bei Anwendung von Bottom-Up-Strategien gelangen vornehmlich zeichnungsimmanente Informationen über das Sensorische Gedächtnis in das Kurzzeitgedächtnis, bei Anwendung von Top-Down-Strategien gelangen vornehmlich zeichnungsstranszendente Informationen aus dem Langzeitgedächtnis in die mentale Repräsentation.
- (B) Der Interpretationsprozess vollzieht sich entsprechend einem hermeneutischen Prozess in mehreren Phasen. In dem Standardfall, dass der Interpret vor dem Interpretationsprozess im engeren Sinn bereits während einer vorbereitenden Präparationsphase eine Erwartungshaltung entwickelt hat, sind dies die Phasen „Inkubation“, „Konzeption“ und „Argumentation“. Anschließend kann eine nachgelagerte Reflexionsphase folgen.
- (C) In den verschiedenen Phasen des sequentiellen Verstehensprozesses finden verschiedene gedankliche Prozesse statt, die auf unterschiedliche gedankliche Repräsentationen zielen. Im Einzelnen finden vornehmlich die folgenden kognitiven Prozesse statt:
- Präparationsphase
In der Präparationsphase finden insbesondere Assoziationsprozesse statt, welche dem Interpreten eine inhaltliche Annäherung an das ihm völlig unbekannte technische System ermöglichen, indem er es assoziativ mit bereits ihm bekannten technischen Systemen in Beziehung setzt.
 - Inkubationsphase
In der Inkubationsphase finden vornehmlich Breiten-Suchprozesse statt, in welchen der Interpret versucht, die erwarteten Informationen in dem präsentierten Informationsangebot ohne tiefgreifende Detailinformationen wieder zu erkennen.

- Konzeptionsphase

In der Konzeptionsphase finden primär Strukturierungsprozesse statt, die auf eine vollständige Integration der gesammelten und mental repräsentierten Informationen in ein ebenfalls gedanklich repräsentiertes übergeordnetes Konzept zielen.

- Argumentationsphase

In der Argumentationsphase finden in erster Linie Adaptationsprozesse statt, die auf eine fachlogische Verifikation des entwickelten Konzepts zielen, wodurch umfassende und tiefgreifende Detailinformationen mental repräsentiert werden.

- Reflexionsphase

In der Reflexionsphase finden Selektionsprozesse statt, die auf eine situations- und adressatenbezogene Kommunikation der Interpretationsproblemlösung zielen.

(D) Im Verlauf des Interpretationsprozesses ändert sich die mentale Repräsentation stetig. Insbesondere entwickeln sich sukzessive die folgenden Verständnisse:

- Präparationsphase

Subjektive Sammlung von Informationen, die individuell mit dem Interpretationsproblem assoziiert werden. Diese Sammlung kann als subjektive Informationserwartung bezüglich des unbekanntem technischen Systems bezeichnet werden.

- Inkubationsphase

Unstrukturierte Sammlung von subjektiven und objektiven Informationen, die in der Baugruppenzeichnung gesucht und wiedererkannt wurden bzw. die beim Überblicklesen mehr oder weniger zufällig bzw. reflektorisch wahrgenommen und erkannt wurden. Diese Informationssammlung stellt das elementare Verständnis des technischen Systems dar.

- Konzeptionsphase

Wohl strukturierte Sammlung eher objektiver als subjektiver Informationen, die sich im Prozess des kursorischen Lesens entwickelt und einen Überblickscharakter besitzt. Die Informationsstruktur stellt zusammen mit den verknüpften Informationen das begriffsbezogene Verständnis des technischen Systems dar.

- Argumentationsphase

Fachlogisch umfassend begründete und vollständig zueinander in Beziehung stehende objektive Informationen, die das technische System sehr detailliert beschreiben. Die miteinander vernetzten Einzelinformationen stellen das höhere Verständnis des technischen Systems dar.

- Reflexionsphase

Situations- und adressatenbezogener Auszug der vollständig vernetzten detaillierten Einzelinformationen, der in kommunizierter Form als Problemlösung des Interpretationsproblems bezeichnet werden kann.

(E) Das sich entwickelnde Problemlösungskonzept, dessen einzelne Entwicklungsstufen die verschiedenen Verständnisse sind, erfordert zwecks der mentalen Repräsentation vom Interpretieren unterschiedliche Voraussetzungen. Im Einzelnen sind dies:

- Präparationsphase

Die Präparation erfordert eine grundlegende Lebenserfahrung im Umgang mit technischen Systemen, die im weitesten Sinn dem Konzeptwissen zugeordnet werden kann. Diese Lebenserfahrung einschließlich der hiermit verbundenen Sinesindrücke ermöglicht eine ganzheitliche und erlebnisbezogene Sicht, die mehr das Subjekt des Interpretieren als das Objektiv des technischen Systems fokussiert.

- Inkubationsphase

Die Inkubation erfordert ein rudimentäres Sprachwissen, das sich insbesondere auf die Darstellungs- und Projektionsregeln bezieht, sowie ein allgemeines Technikwissen, das auf nicht systematisierten Technikerfahrungen beruht. Diese Interpretationsvoraussetzungen ermöglichen eine ganzheitliche subjektive Sicht, die das technische System fokussiert. Insbesondere entwickelt sich eine auf der Ikonizität der Darstellung (ggf. auch auf einer bekannten Symbolik) beruhende analog-bildliche prototypische Gegenstandsvorstellung mit assoziierten Objektmerkmalen.

- Konzeptionsphase

Die Konzeption erfordert ein grundlegendes Sprachregelwissen, ein allgemeines Technikwissen, das sich auf eine elementare Maschinenelementekenntnis bezieht, und ein basales Konzeptwissen, das einfache Systemskenntnisse umfasst. Diese Voraussetzungen ermöglichen die Entwicklung eines auf den qualitativen Objektgestalten und den topologischen Beziehungen zwischen diesen beruhendes begriffsbezogenen Verständnis, welches eine objektive dynamische veränderbare Raumvorstellung wie auch eine fachliche Merkmalerweiterung der Objekte umfasst.

- Argumentationsphase

Die Argumentation erfordert ein fundiertes sprachliches Wissen der Zeichnungsvereinfachungsregeln und symbolischer Darstellungen, ferner ein Technikwissen, das fachwissenschaftliche Konstruktions- und Gestaltungskenntnisse umfasst, so-

wie ein Kontextwissen, das sowohl die technisch relevanten Umgebungsbedingungen als auch das Interpretationsproblem zu berücksichtigen vermag. Diese Voraussetzungen ermöglichen die Entwicklung eines höheren Verständnisses, das die fachlogischen Systemzusammenhänge auf der abstrakten Ebene der objektbezogenen Begriffsvorstellung nach den Regeln der Technik erklärt.

- Reflexionsphase

Die Reflexion erfordert ein Kontextwissen, das neben dem Interpretationsanlass insbesondere den Adressaten der Interpretationslösung zu berücksichtigen vermag. Diese Voraussetzung ermöglicht es, das technische System sowohl ganzheitlich als auch fachsystematisch detailliert zu betrachten und spezifisch mit Adressatenbezug zu kommunizieren.

In das beschriebene Prozessmodell der Interpretation Technischer Zeichnungen (vgl. Bild 4-29) integriert sich das Produktdatenmodell (vgl. Kapitel 2.1.2) wie folgt:

Bild 4-30: Zeichnungsinterpretationsprozessmodell
mit integriertem Produktdatenmodell siehe Seite 84

Zu Bild 4-30 die folgenden Erläuterungen:

Das Produktdatenstrukturmodell (vgl. Bild 2-6 bis Bild 2-10) steht mit den unterschiedlichen Phasen des entwickelten Prozessmodells der Interpretation Technischer Zeichnungen unmittelbar über das primitive mentale Repräsentationsstrukturmodell (vgl. Bild 4-11) wie folgt in Beziehung:

- Präparationsphase

In der Präparationsphase besteht keine Beziehung zwischen der mentalen Repräsentation und dem Produktdatenmodell, da das Medium "Technische Zeichnung" in dieser Phase noch nicht vom Interpreteten wahrgenommen wird.

- Inkubationsphase

In der Inkubationsphase entwickelt der Interpret auf der Grundlage der gestaltbezogenen und der strukturbezogenen Daten eine analog-bildliche Gegenstandsvorstellung. Dementsprechend kann er gedanklich sowohl ikonisch dargestellte als auch ggf. symbolisch codierte Formelemente repräsentieren, wie beispielsweise Körperformen oder Freistiche. Ferner kann die mentale Repräsentation die strukturellen baugruppenbezogenen Daten (z. B. die Menge) umfassen, nicht aber die bauteilbezogenen Strukturdaten (z. B. Rohteil), da diese i. d. R. weder in Baugruppenzeichnungen noch in den zugehörigen Hauptstücklisten benannt sind.

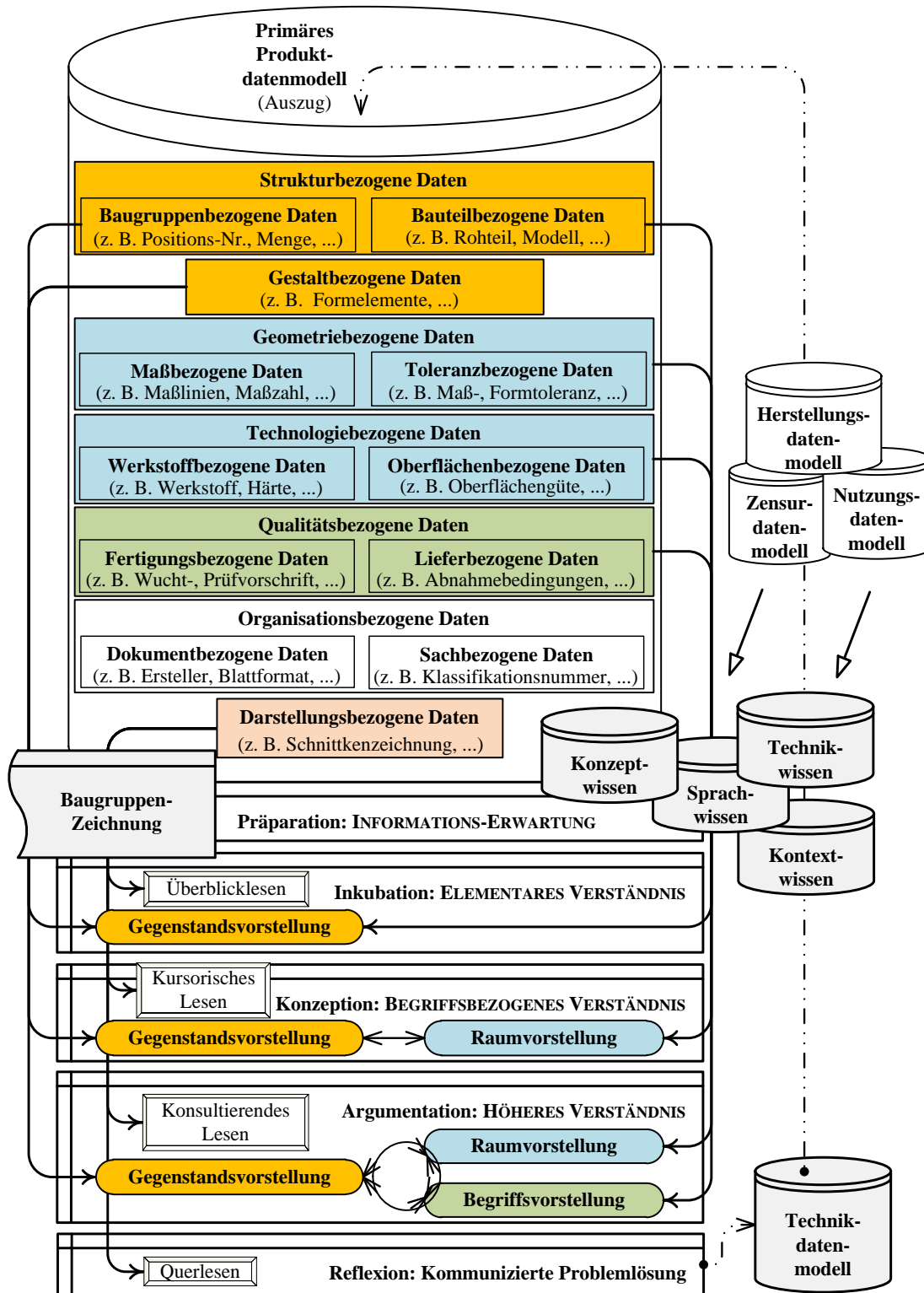


Bild 4-30: Zeichnungsinterpretationsprozessmodell mit integriertem Produktdatenmodell

- Konzeptionsphase

In der Konzeptionsphase entwickelt der Interpret insbesondere die objektive Raumvorstellung, welche sich auf die technologiebezogenen und die geometriebezogenen Daten stützt. Da aber in einer Baugruppenzeichnung weder die quantitativen Geometriedaten (z. B. Maße, Toleranzen) noch die qualitativen und die quantitativen Technologiedaten (z. B. Werkstoff, Oberflächengüte) explizit präsentiert werden, muss der Interpret zeichnungstranszendente Informationsquellen nutzen. Eine mögliche Informationsquelle ist das verfügbare Technikwissen des Interpreten. Als weitere Informationsquellen können alle sekundären Produktdokumentationen dienen, welche Daten des Herstellungsdatenmodells explizite präsentieren.

- Argumentationsphase

In der Argumentationsphase entwickelt der Interpret vornehmlich eine Begriffsvorstellung, welche qualitätsbezogene und technologiebezogene Daten beinhaltet. Da auch diese Daten üblicher Weise nicht in Baugruppenzeichnungen präsentiert werden, sind wiederum zeichnungstranszendente Informationsquellen zur Interpretation erforderlich. Als Informationsquelle kann ebenfalls das verfügbare Technikwissen, insbesondere die Teilwissen "Konstruktions- und Maschinenelementewissen" des Interpreten, dienen. Als weitere Informationsquelle können alle F/E-Dokumentationen (z. B. Berichte, Skizzen etc.; vgl. Kap. 2.1) dienen.

- Reflexionsphase

In der Reflexionsphase liefert die Technische Zeichnung zum Produktdatenmodell keinen Zugang mehr, da hier die Zeichnung nur noch als Strukturierungshilfe der Gedanken dient.

Es sei angemerkt, dass der Interpret bei dem Verzicht auf die Nutzung externer Informationsquellen bei der Interpretation ausschließlich auf sein individuelles Vorwissen angewiesen ist. Dieses subjektive Wissen kann aber i. d. R. nicht die objektiven Daten des Herstellungs- oder des Technikdatenmodells ersetzen. Vielmehr muss der Interpret die zur Interpretationslösung benötigten Daten stets zunächst hypothetisch unterstellen und diese dann anschließend fachsystematisch und fachlogisch verifizieren. Dementsprechend werden die in Bild 4-29 dargestellten Prozesse insbesondere in den Interpretationsphasen "Konzeption" und "Argumentation", aber auch während der Inkubation, mit kognitiven Hypothesebildungs- und -verifikationsprozessen verflochten.

5 Modellverifikation

In dem Kapitel „Modellverifikation“ soll das zuvor in dem vierten Kapitel entwickelte Prozessmodell der Zeichnungsinterpretation bezüglich seines grundlegenden Ansatzes verifiziert bzw. falsifiziert werden. Hierzu werden zunächst die Ausgangssituation, die Untersuchungsziele, der Versuchsaufbau und die Interpretationsaufgaben beschrieben. Anschließend werden die Rohdaten der Untersuchungsergebnisse sowie deren systematische Aufbereitung dargestellt. Es sei darauf hingewiesen, dass sowohl die Datenaufbereitung wie auch die Datenaufbereitungsmethoden eigens für die vorliegende Arbeit entwickelt wurden. Abschließend werden die Untersuchungsergebnisse ausgewertet und hinsichtlich des entwickelten Prozessmodells der Zeichnungsinterpretation diskutiert.

5.1 Ausgangssituation

Eine unmittelbare Verifikation des in dieser Arbeit entwickelten Modells der Zeichnungsinterpretation ist nicht möglich, da reale Zeichnungsinterpretationsprozesse zum einen hochkomplex sind und diese von einer Vielzahl von unbestimmbaren Faktoren bestimmt werden. So interpretiert ein Leser *„nicht, indem er nur einen einzigen Prozess ausführt, der aus dem Dekodieren und Verstehen besteht; er denkt, er erinnert sich (und vergisst oft) und er bezieht das, worauf seine Augen verweilen, konstant auf das, was vorher kam und was als nächstes kommt (bzw. als nächstes erwartet wird) sowie auf seine persönliche Erfahrung“* /gib80/. Zum anderen verläuft auch bei ein und demselben Leser kein Interpretationsprozess wie ein anderer, da der Mensch als lernendes Wesen in jedem neuen Prozess seine individuellen Erfahrungen aus dem vorherigen mit einbezieht. D. h. dass es sich bei allen menschlichen Interpretationsprozessen um nicht reproduzierbare Prozesse handelt.

Eine mittelbare Verifikation des entwickelten Zeichnungsinterpretationsmodells bietet die im Rahmen der Leseforschung formulierte Eye-Mind-Hypothese. Diese nimmt an, dass aktives, bewusst gesteuertes Sehen und die kognitive Verarbeitung des Gesehenen sich gegenseitig beeinflussen. Dementsprechend können die unmittelbar beobachtbaren menschlichen Blickbewegungen beim Lesen mehrfach als Indikator dienen. Zum einen sind Rückschlüsse auf die möglicherweise aufgenommenen Informationen möglich, da sich diese im Blickfeld des Lesers befinden müssen. Zum anderen können die Blickbewegungen beim Lesen Aufschluss über die gedanklichen Informationsverarbeitungsprozesse liefern. So nimmt beispielsweise die Blickbewegungsgeschwindigkeit beim

Lesen von Sätzen in Texten zum Satzende hin ab. Erklären lässt sich dies damit, dass die Entwicklung des Satzverständnisses, welches zwangsläufig erst am Ende eines Satzes entwickelt werden kann, einen höheren kognitiven Verarbeitungsaufwand erfordert als für die Entwicklung eines Wortverständnisses, welches sich bei jedem Wort aufs neue und unabhängig voneinander entwickelt. Es ist jedoch nur möglich, Aussagen über den gedanklichen Verarbeitungsaufwand zu formulieren, nicht aber über die Natur der konkreten kognitiven Prozesse.

Das Problem, dass alle Experimente, in denen Menschen als Probanden agieren, nicht reproduzierbar sind, und dass Menschen als Individuen aus psychologischer Sicht kaum miteinander vergleichbar sind, wird in sprachwissenschaftlichen Experimenten (vgl. /sch01/) wie folgt gelöst: Psycholinguistische Experimente werden stets mit mehreren Probanden und in mehreren Durchgängen durchgeführt. Die gewonnenen Messergebnisse werden mit geeigneten statistischen Methoden ausgewertet, wobei insbesondere mit Hilfe der Mittelwerte psycholinguistische Erkenntnisse über eine Gruppe von Sprechern gewonnen werden können, da die psycholinguistischen Faktoren näherungsweise normalverteilt sind.

5.2 Untersuchungsziele

Das Ziel der Untersuchungen ist die Verifikation des entwickelten Prozessmodells der Zeichnungsinterpretation. In diesem Modell können im weiteren Sinn des Interpretationsprozesses vier Phasen unterschieden werden, die Inkubationsphase, die Konzeptionsphase, die Argumentationsphase und die Reflexionsphase. (Anmerkung: In der Präparationsphase wird i. d. R. keine Technische Zeichnung gelesen, so dass keine Blickbewegungen beobachtet werden können.) Ein Teilziel der Untersuchungen ist es, die Existenz dieser vier Phasen nachzuweisen. Hierzu die folgenden Überlegungen:

- Der Interpretationsprozess ist ein individueller gedanklicher Prozess, an dem sowohl eine Vielzahl nicht exakt bestimmbarer als auch unbekannter psychologischer und physiologischer Faktoren beteiligt ist. Diese Prozesse können nicht unmittelbar erfasst werden.
- Die Phasen der Zeichnungsinterpretation weisen aufgrund der Anwendung unterschiedlicher Informationsverarbeitungsstrategien verschiedene gedankliche Ressourcenbedarfe auf. (Näheres hierzu siehe „Erläuterungen zu Bild 5-1“.)
- Ein Indiz für den Ressourcenbedarf des gedanklichen Informationsverarbeitungsaufwands stellen entsprechend der Eye-Mind-Hypothese die Blickbewegungen des Interpretieren während des Interpretationsprozesses dar.

- In Eye-Tracking-Untersuchungen kann beobachtet werden, dass die Blickbewegungsgeschwindigkeit indirekt proportional zum Informationsverarbeitungsaufwand ist. Demnach nimmt die Geschwindigkeit der Blickbewegungen ab, wenn die gedanklichen Prozesse einen erhöhten Ressourcenbedarf aufweisen.

Die Existenz der vier verschiedenen Interpretationsphasen kann entsprechend der Überlegungen nur mittelbar über die Beobachtung der Augen- bzw. Blickbewegungen der einzelnen Probanden während einzelner Interpretationsprozesse nachgewiesen werden. Hierbei gilt: Je größer der gedankliche Verarbeitungsaufwand ist, desto seltener erfolgen die Blickwechsel, d. h. die Blickwechselgeschwindigkeit nimmt ab. Gemäß dem in Kapitel 4 entwickelten Prozessmodell sind in den verschiedenen Interpretationsphasen die folgenden Entwicklungen der Blickwechselgeschwindigkeiten bzw. der gedanklichen Verarbeitungsaufwände zu erwarten:

Inkubationsphase

Während der Inkubation ist ein zunehmend steigender Verarbeitungsaufwand zu erwarten, da in dieser ersten Phase zunächst unter Anwendung einer Bottom-Up-Strategie mehr oder weniger voneinander unabhängige Einzelinformationen gesammelt werden. Um diese nicht zu vergessen muss der Interpret Ressourcen für die Aufrechterhaltung der Repräsentation aufbringen. Ferner muss er, da die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses auf etwa 7 Einzelinformationen begrenzt ist (vgl. /zim88/), stetig Informationen aus dem Kurzzeitgedächtnis in sein Langzeitgedächtnis transferieren und umgekehrt, wodurch sich der Verarbeitungsaufwand mit zunehmendem Informationsumfang weiter erhöht, sich mithin die Blickwechselgeschwindigkeit weiter reduziert.

Konzeptionsphase

In der Konzeptionsphase ist ein zunehmend fallender Verarbeitungsaufwand zu erwarten, da der Interpret die zuvor gesammelten Informationen in dieser Phase zueinander in Beziehung setzt, wodurch mehrere Einzelinformationen nur noch durch eine einzige übergeordnete Information repräsentiert werden. Da hierdurch weniger Ressourcen für die Aufrechterhaltung der mentalen Repräsentation gebunden sind, erhöht sich die Blickwechselgeschwindigkeit. Zum Ende der Konzeptionsphase verfügt der Interpret idealer Weise nur noch über eine einzige mentale Repräsentation, die von ihm erdachte Problemlösungsidee.

Argumentationsphase

In der dritten Interpretationsphase ist wieder ein zunehmend steigender Verarbeitungsaufwand zu erwarten, da die erste Problemlösungsidee der Konzeptionsphase verifiziert wird, indem der Interpret nach neuen Informationen sucht, welche diese bestätigen. Hierbei entwickelt sich der gedankliche Ressourcenbedarf aufgrund des zunehmenden Informationsumfangs ähnlich dem der Inkubationsphase, so dass während der Argumentationsphase wiederum eine stetig abnehmende Blickwechselgeschwindigkeit zu erwarten ist. Am Ende der Argumentationsphase verfügt der Interpret über ein umfangreiches Informationsnetz, welches die Richtigkeit seine Problemlösungsidee bestätigt.

Reflexionsphase

Während des Verlaufs des Reflexionsprozesses wird das Informationsnetz der Argumentationsphase sukzessive reduziert, indem nicht zur Kommunikation benötigte Informationen vergessen werden. Dies führt zu einem reduzierten gedanklichen Verarbeitungsaufwand, so dass wiederum eine erhöhte Blickwechselgeschwindigkeit zu erwarten ist.

Die Beschreibungen der zu erwartenden gedanklichen Verarbeitungsaufwände und der zu erwartenden Blickwechselgeschwindigkeiten können grafisch wie folgt dargestellt werden:

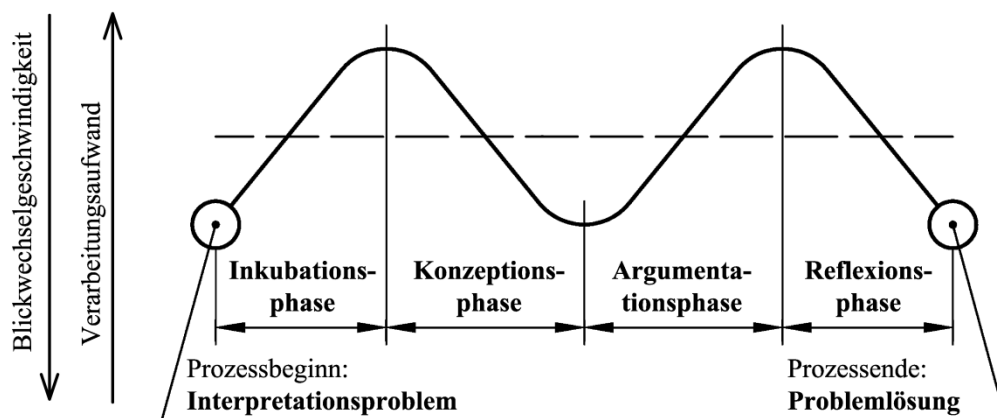


Bild 5-1: Quantitativer Informationsverarbeitungsaufwandsverlauf

Die Existenz der benannten Interpretationsphasen kann als nachgewiesen angenommen werden, wenn die Blicke eines Probanden im Verlauf des gesamten Interpretationsprozesses einer Aufgabe ein Bewegungsmuster aufweisen, das (ähnlich wie in Bild 5-1 dargestellt) eindeutig vier voneinander abgrenzbare Bereiche besitzt.

Ein zweites Teilziel der Untersuchungen ist es nachzuweisen, dass die Blickbewegungen während der Zeichnungsinterpretation nicht zufällig erfolgen, sondern vielmehr systematisch. Der Nachweis von systematischen Blickbewegungsmustern ist die notwendige Bedingung dafür, dass der Interpretationsprozess überhaupt einer gewissen Strategie folgt. Der beschriebene Nachweis des quantitativen Informationsverarbeitungsaufwandsverlaufs besitzt dann den Status einer hinreichenden Bedingung.

5.3 Versuchsplan

5.3.1 Versuchsaufbau

Untersuchungen menschlicher Blickbewegungen während der visuellen Wahrnehmung im Allgemeinen und beim Lesen im Speziellen erfordern eine Messeinrichtung, welche die Bewegungen einer Folge von Blicken erfasst und aufzeichnet. Derartige, insbesondere aus der Markt- und der Leseforschung bekannte Messeinrichtungen sind Eye-Tracking-Systeme. Für die durchgeführten Untersuchungen wurde ein von Herrn Al Nahlahoui im Rahmen seiner Forschungsarbeit am Lehrstuhl Kommunikationstechnik (Leiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. Kays), Fakultät Elektrotechnik der Universität Dortmund entwickeltes On-Desk-System verwendet.

Das eingesetzte Eye-Tracking-System besteht aus den Komponenten „Monitor“, „Kamera“, „IR-Leuchten“, „Kinn-Stirn-Stütze“ und „PC“ sowie den erforderlichen Ein- und Ausgabegeräten (Tastatur, Maus, CD-Laufwerk etc.). Ferner verfügt das System über eine eigens für das System entwickelte Software, welche die erfassten Messwerte des Probanden auf die Monitorebene transformiert.

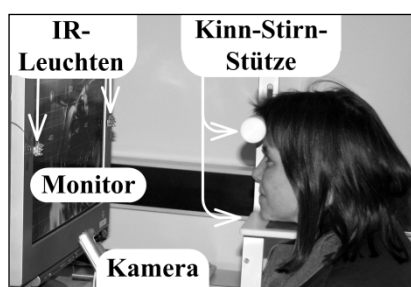


Bild 5-2: Versuchsaufbau – Eye-Tracking-System

Das beschriebene Eye-Tracking-System basiert auf der Infrarotlicht-Technik. Hierbei sind vor den Augen des Probanden zwei Infrarotlicht-Leuchten, welche seine Augen bestrahlen, positioniert. Eine IR-empfindliche Kamera erfasst die Augen und nimmt mit einer Frequenz von 25 Bildern pro Sekunde Einzelbilder auf. In den aufgenommenen

Bildern der Augen erscheinen die Pupillen als dunkle Kreise, in denen die Reflexionen der IR-Leuchten als helle Punkte erkennbar sind. Aus der horizontalen und der vertikalen Winkelposition der Reflexionspunkte sowie dem Abstand zur Projektionsfläche des Monitors berechnet die Software die zugeordnete Blickposition auf dem Bildschirm. Bei einer Bildschirmauflösung von 1200 x 1600 Pixel des verwendeten 21-Zoll-Monitors und einer vom System ausgegebenen Datengenauigkeit von 10^{-6} Pixel können theoretisch $1,92 * 10^{18}$ Blickpunkte unterschieden werden. Da das Messsystem die Blickkoordinaten jedoch nur mit einer Genauigkeit von etwa 1° bis 2° der Blickrichtung erfasst, liegt die praktische Messgenauigkeit bei einem Abstand des Auges vom Monitor von etwa 50 cm bei ca. 30 – 60 Pixel. Die Genauigkeit des verwendeten Systems wird dadurch erhöht, dass der Proband seinen Kopf in die Kinn-Stirn-Stütze legt, so dass absichtliche und/oder unabsichtliche Kopfbewegungen ausgeschlossen werden. Ein Blickrichtungswechsel ist somit ausschließlich mit Hilfe einer Pupillenbewegung möglich. Nach Beendigung jeder Eye-Tracking-Untersuchung werden die Messergebnisse in Form einer Textdatei, welche eine Menge von Zahlentripeln (Blickpunktnummer – X-Koordinate auf der Monitorebene – Y-Koordinate auf der Monitorebene) enthält, gespeichert (vgl. /nah05/).

5.3.2 Interpretationsaufgaben

Bei den Zeichnungsinterpretationsuntersuchungen wurden von den Probanden jeweils drei Baugruppenzeichnungen unterschiedlicher technischer Systeme jeweils hinsichtlich drei verschiedener Aufgabestellungen gelesen bzw. interpretiert. Die Aufgaben sowie mögliche Problemlösungen sind folgende:

1. Exzentertrieb A

Bild 5-3: 1. Interpretationsaufgabe – Exzentertrieb A siehe Seite 92

1-1: Welche Aufgabe erfüllt das technische System?

Bei dem technischen System handelt es sich um einen Exzentertrieb, der eine Drehbewegung in eine Linearbewegung mit zyklischer Richtungsänderung umwandelt. – Dies funktioniert, indem das gerändelte Handrad (9) gedreht wird. Der Drehbewegung folgen die Welle (8) und der Stift (10). Der Stift (10) versetzt die Schwinge (7) in zyklische Schwingungen um die Achse der Schraube mit der Positionsnummer 11. Die Schwinge (7) überträgt seine Bewegung über einen Stift (13) auf den Schlitten (4), der sich hierdurch geradlinig mit zyklischer Richtungsänderung in der Führung (1, 5, 6) bewegt.

3-2: Wie kann die Drehfrequenz des Systems eingestellt werden?

Für die Drehfrequenzeinstellung des Systems sind zwei Steuerungseinheiten vorhanden. Zum einen kann eine konstante eingehende Drehbewegung mittels der gestuften Keilriemenscheibe (2) in zwei unterschiedliche, ebenfalls konstante Drehfrequenzen umgewandelt werden. Zum anderen bietet das integrierte Reibradgetriebe die Möglichkeit einer begrenzt stufenlosen Umwandlung der Drehbewegung.

3-3: Kann das technische System in der dargestellten Form betrieben werden?

Das technische System kann in der dargestellten Form nicht betrieben werden, da eine geeignete Funktionseinheit fehlt, welche die Riemenscheibe (2) antreibt. Ebenso fehlt ein Rührwerkzeug, welches die ausgehende Drehbewegung nutzbar macht.

5.3.3 Probanden

An den Zeichnungsinterpretationsuntersuchungen nahmen insgesamt acht Probanden teil. Bei den Probanden handelte es sich um einen in der Ausbildung befindlichen Technischer Zeichner, zwei Studierende des Diplomstudiengangs Maschinenbau im zweiten Fachsemester, eine Studierende des Diplomstudiengangs Logistik im achten Fachsemester sowie um vier wissenschaftliche Angestellte des Fachgebiets Maschinenelemente der Universität Dortmund. Aufgrund ihrer Ausbildung und ihrer bestandenen Prüfungen kann bei allen Probanden davon ausgegangen werden, dass sie die Darstellungsregeln Technischer Zeichnungen zumindest hinreichend beherrschen und dass sie zumindest hinreichend im Zeichnungslesen und in der Zeichnungsinterpretation geübt sind.

5.3.4 Untersuchungsumfang

Unter der Annahme, dass die Probanden zufällig aus einer sehr großen Grundgesamtheit ausgewählt wurden, kann der erforderliche Stichprobenumfang nach Gleichung 5-1 berechnet werden.

Erforderlicher

$$\text{Stichproben-} \quad n = \frac{t^2 \cdot P \cdot (1 - P) \cdot N}{(N - 1) \cdot e^2 \cdot t^2 \cdot P \cdot (1 - P)}$$

umfang

mit: t := t-Wert (Sicherheitsgrad)
 P := Erwartungswert (Reagierer)
 N := Grundgesamtheit
 e := Stichprobenfehler

Gleichung 5-1

Für Grundgesamtheiten $N \geq 10^6$, einem Konfidenzniveau von 0,90 ($t = 1,65$), einem tolerierten Stichprobenfehler von $e = 0,05$ und einem Erwartungswert von $P = 0,95$ berechnet sich ein erforderlicher Stichprobenumfang von $n = 52$.

Bei den durchgeführten Untersuchungen zur Interpretation Technischer Zeichnungen wurden von den acht Probanden jeweils drei verschiedene technische Systeme mit jeweils drei unterschiedlichen Interpretationsaufgaben bearbeitet, so dass insgesamt 72 Zeichnungsinterpretationsprozesse beobachtet wurden. Der geforderte Stichprobenumfang von $n = 52$ ist somit um ca. 38% überschritten.

5.4 Untersuchungsergebnisse

In den folgenden Kapiteln werden die während der Zeichnungsinterpretationsuntersuchungen erfassten und aufgezeichneten Daten dargestellt.

In Kapitel 5.4.1 werden die Messdaten quantitativ sowie statistisch beschrieben. Auf eine Auflistung der Rohdaten wird verzichtet, da diese keine unmittelbare Aussagekraft besitzen. Ferner werden sowohl die Verteilung als auch die Reihenfolge der beobachteten Blickdaten in entsprechenden zwei- bzw. dreidimensionalen Plots beschrieben. Abschließend werden die Interpretationsergebnisse der einzelnen Probanden benannt.

In dem Kapitel 5.4.2 werden die erfassten Blickpunktdatenreihen für die folgenden Datenauswertungen aufbereitet, so dass diese mit Hilfe geeigneter Verfahren analysiert und somit die einzelnen Datenreihen miteinander verglichen werden können.

5.4.1 Rohdaten

5.4.1.1 Eye-Tracking-Daten

Während der Untersuchungen wurden die Blickbewegungen der Probanden mit einem Eye-Tracking-System (vgl. Kap. 5.3.1) kontinuierlich beobachtet. Mit einer Frequenz von 25 Bildern pro Sekunde wurden die berechneten Blickpunktkoordinaten in zeitlicher Folge aufgezeichnet. Der proportionale Zusammenhang zwischen den Beobachtungsdauern b_d und den Blickpunktanzahlen b_n kann mit Hilfe des Proportionalitätsfaktors $k = 25 [s^{-1}]$ wie folgt beschrieben werden:

Blickpunktanzahl	$b_n [-] = 25 [s^{-1}] \cdot b_d [s]$	mit: $b_d :=$ Beobachtungsdauer [s]
		Gleichung 5-2

Die Durchführungsdauern der einzelnen Interpretationsuntersuchungen betragen einschließlich der Messeinrichtungskalibrierung je Proband etwa 30 Minuten.

Die Untersuchungen lieferten folgende Beobachtungsdauern und Blickpunktanzahlen:

Tabelle 5-1: Beobachtungsdauern b_d [s] und Blickpunktanzahl b_n [-]

		Interpretationsaufgabe									
		1. Exzentertrieb A			2. Exzentertrieb B			3. Laborrührwerk			
		1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	
Proband	1	b_d	44	33	30	35	65	33	22	48	22
		b_n	1100	816	761	884	1627	837	562	1210	553
	2	b_d	37	48	46	53	118	69	28	104	58
		b_n	918	1201	1159	1322	2938	1731	700	2595	1458
	3	b_d	30	63	27	60	182	51	53	170	76
		b_n	741	1567	669	1494	4541	1280	1327	4239	1911
	4	b_d	105	136	65	72	115	52	146	51	49
		b_n	2636	3401	1636	1798	2879	1300	3651	1282	1224
	5	b_d	80	51	68	45	46	71	62	56	86
		b_n	2009	1278	1709	1131	1161	1765	1547	1404	2161
	6	b_d	50	44	38	86	57	34	33	112	61
		b_n	1245	1100	958	2142	1436	838	822	2795	1519
	7	b_d	174	66	57	68	79	99	115	169	379
		b_n	4344	1651	1417	1707	1980	2470	2866	4226	9472
	8	b_d	38	54	42	58	60	51	57	48	92
		b_n	951	(1350)	(1050)	1460	1498	(1275)	1420	1212	(2300)

() fehlerhafte Aufzeichnung (nur Zeitstempel)

Die Verteilung der Beobachtungsdauern b_d [s] stellt sich quantitativ wie folgt dar:

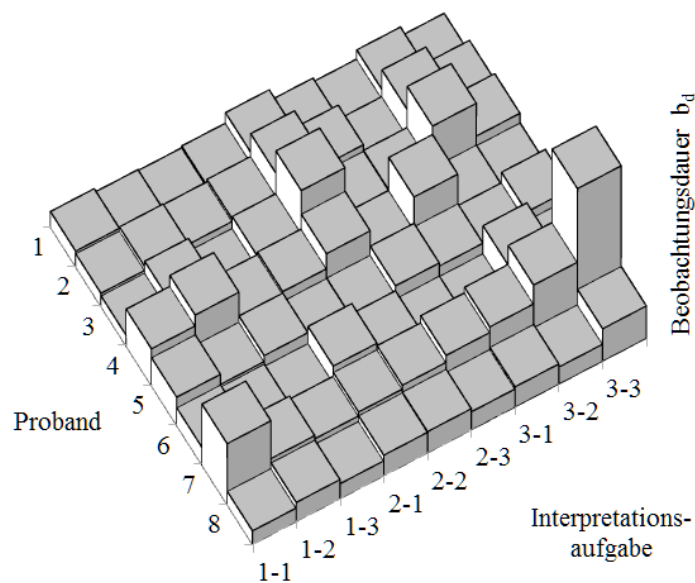


Bild 5-6: Beobachtungsdauer-Verteilung

Die zentralen Tendenzen der erfassten Beobachtungsdauern b_d [s] sowie deren statistischen Streuungskennzahlen berechnen sich nach den folgenden Gleichungen:

Arithmetisches Mittel $\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n a_i$

mit: n := Anzahl der Beobachtungswerte
 a_i := Wert der Beobachtung i

Gleichung 5-3

Median (Zentralwert) $Z = a(k)$

mit: a_k := Wert der Beobachtung k
 $k := n \div 2$ für gerade n bzw.
 $k := (n + 1) \div 2$ für ungerade n
 n := Anzahl der Beobachtungswerte

Gleichung 5-4

Spannweite $R = a_{\max} - a_{\min}$

mit: a_{\max} := Höchster Beobachtungswert
 a_{\min} := Niedrigster Beobachtungswert

Gleichung 5-5

Standardabweichung $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{x})^2}$

mit: n := Anzahl der Beobachtungswerte
 a_i := Wert der Beobachtung i
 \bar{x} := Arithm. Mittelwert der Beobachtungswerte

Gleichung 5-6

Tabelle 5-2: Zentrale Tendenzen und statistische Streuung der aufgabenbezogenen Blickdauern

		Interpretationsaufgabe								
		1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3
Proband	1	44	33	30	35	65	33	22	48	22
	2	37	48	46	53	118	69	28	104	58
	3	30	63	27	60	182	51	53	170	76
	4	105	136	65	72	115	52	146	51	49
	5	80	51	68	45	46	71	62	56	86
	6	50	44	38	86	57	34	33	112	61
	7	174	66	57	68	79	99	115	169	379
	8	38	54	42	58	60	51	57	48	92
Σ		558	495	373	477	722	460	516	758	823
		1426			1659			2097		
		5182								
Min		30	33	27	35	46	33	22	48	22
		27			33			22		
		22								
Max		174	136	68	86	182	99	146	170	379
		136			182			379		
		379								
\bar{x}		69,8	61,9	46,6	59,6	90,3	57,5	64,5	94,8	102,9
		59,4			69,1			87,4		
		72,0								
Z		47,0	52,5	44,0	59,0	72,0	51,5	55,0	80,0	68,5
		49,0			60,0			59,5		
		57,0								
R		144	103	41	51	136	66	124	122	357
		109			149			357		
		357								
σ		49,2	31,7	15,4	16,0	45,6	21,7	43,9	52,6	113,8
		34,8			33,0			75,2		
		52,1								

Tabelle 5-3: **Zentrale Tendenzen und statistische Streuung der probandenbezogenen Blickdauern**

		Proband								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Interpretationsaufgabe	1-1	44	37	30	105	80	50	174	38	
	1-2	33	48	63	136	51	44	66	54	
	1-3	30	46	27	65	68	38	57	42	
	2-1	35	53	60	72	45	86	68	58	
	2-2	65	118	182	115	46	57	79	60	
	2-3	33	69	51	52	71	34	99	51	
	3-1	22	28	53	146	62	33	115	57	
	3-2	48	104	170	51	56	112	169	48	
	3-3	22	58	76	49	86	61	379	92	
	Σ	1-*	107	131	120	306	199	132	297	134
		2-*	133	240	293	239	162	177	246	169
		3-*	92	190	299	246	204	206	663	197
Ges.		332	561	712	791	565	515	1206	500	
Min	1-*	30	37	27	65	51	38	57	38	
	2-*	33	53	51	52	45	34	68	51	
	3-*	22	28	53	49	56	33	115	48	
	Ges.	22	28	27	49	45	33	57	38	
Max	1-*	44	48	63	136	80	50	174	54	
	2-*	65	118	182	115	71	86	99	60	
	3-*	48	104	170	146	86	112	379	92	
	Ges.	65	118	182	146	86	112	379	92	
\bar{x}	1-*	35,7	43,7	40,0	102,0	66,3	44,0	99,0	44,7	
	2-*	44,3	80,0	97,7	79,7	54,0	59,0	82,0	56,3	
	3-*	30,7	63,3	99,7	82,0	68,0	68,7	221,0	65,7	
	Ges.	36,9	62,3	79,1	87,9	62,8	57,2	134,0	55,6	
Z	1-*	33	46	30	105	68	44	66	42	
	2-*	35	69	60	72	46	57	79	58	
	3-*	22	58	76	51	62	61	169	57	
	Ges.	33	53	60	72	62	50	99	54	
R	1-*	14	11	36	71	29	12	117	16	
	2-*	32	65	131	63	26	52	31	9	
	3-*	26	76	117	97	30	79	264	44	
	Ges.	43	90	155	97	41	79	322	54	
σ	1-*	7,4	5,9	20,0	35,6	14,6	6,0	65,1	8,3	
	2-*	17,9	33,9	73,2	32,2	14,7	26,1	15,7	4,7	
	3-*	15,0	38,3	62,0	55,4	15,9	40,1	139,5	23,2	
	Ges.	13,6	30,2	57,1	38,2	14,6	26,4	101,5	15,5	

Die absolute Verteilung der Gesamtheit der Blicke je Interpretationsaufgabe ist, bezogen auf alle drei Aufgaben zu einem technischen System und auf alle beobachteten Probanden bezogen, in den folgenden Dot-Plots dargestellt:

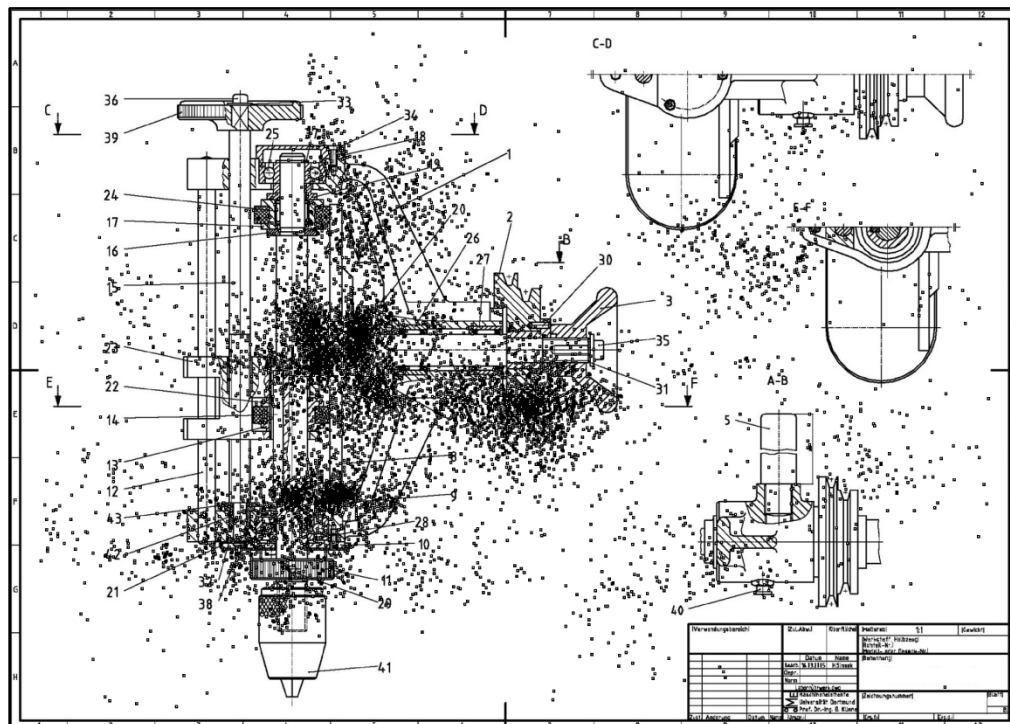


Bild 5-9: Dot-Plot: Absolute Blickpunktverteilung der 3. Interpretationsaufgabe

Eine differenzierte Darstellung der Blickpunktverteilung aller beobachteten Probanden bezogen auf die Interpretationsteilaufgaben liefern die folgenden Hot-Shot-Plots:

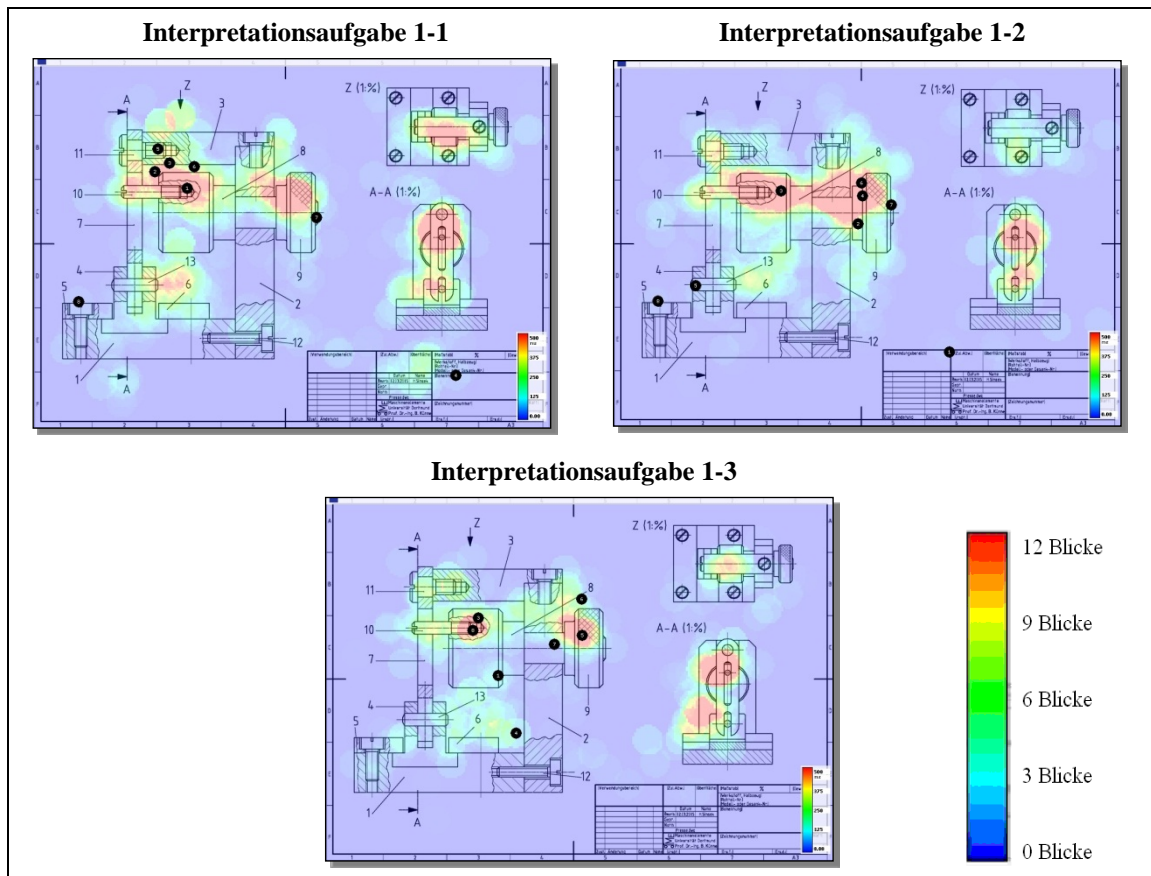


Bild 5-10: Hot-Shot-Plots: Absolute Blickpunktverteilung der 1. Interpretationsaufgabe

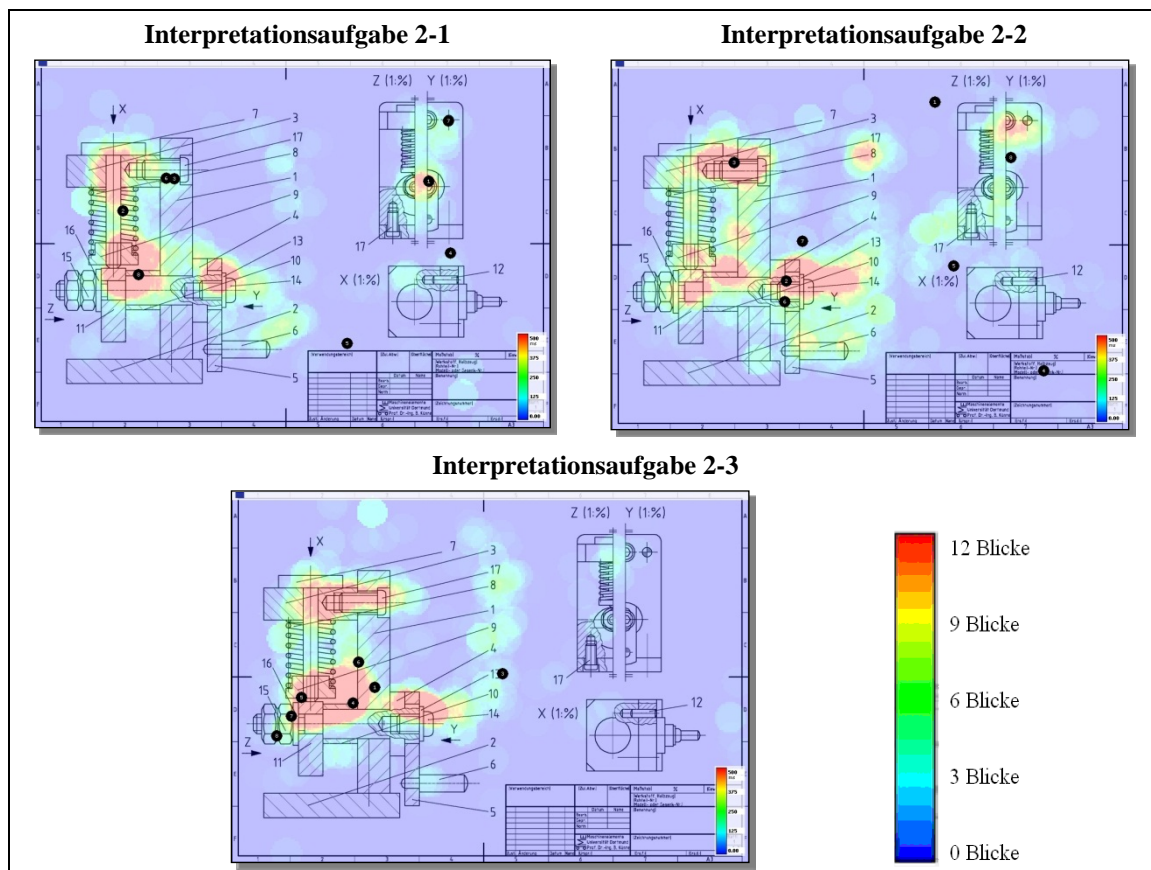


Bild 5-11: Hot-Shot-Plots: Absolute Blickpunktverteilung der 2. Interpretationsaufgabe

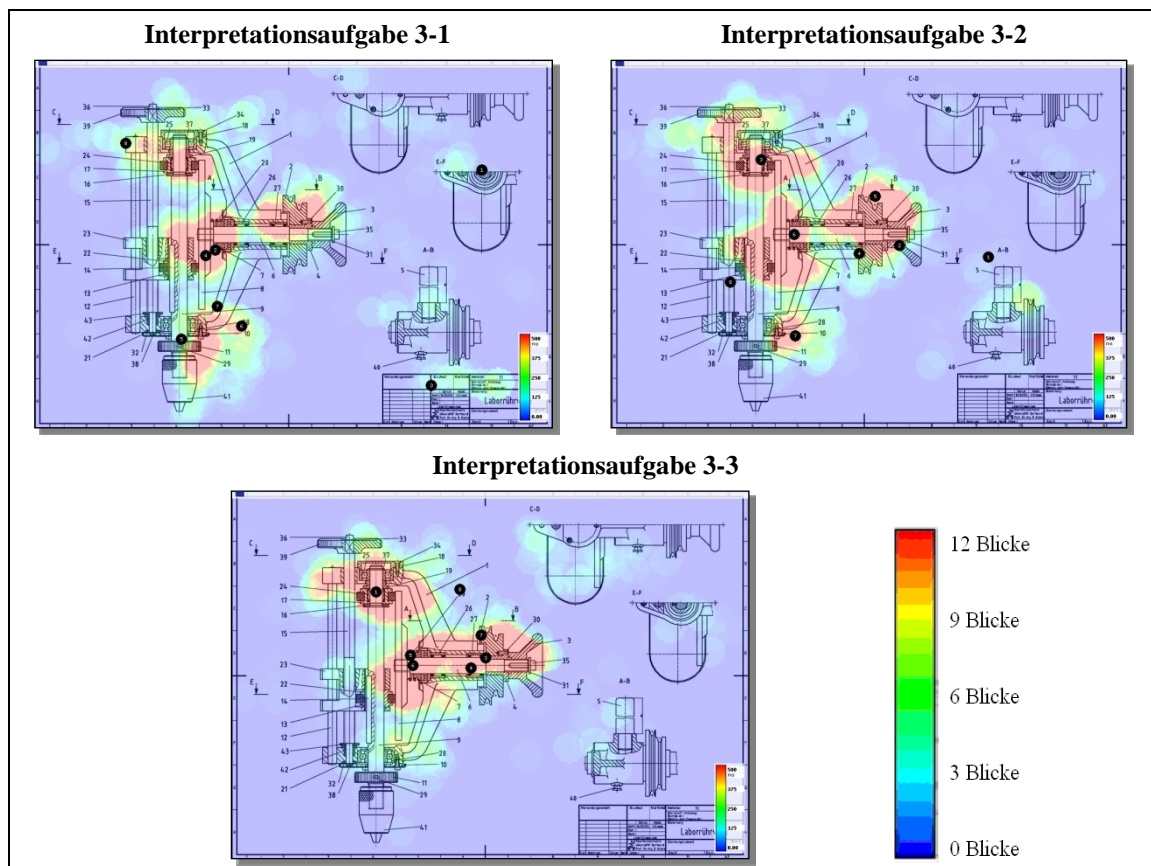
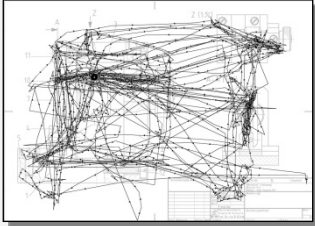
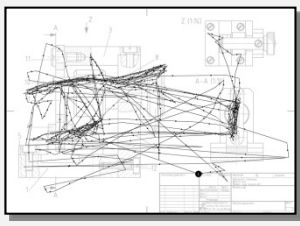
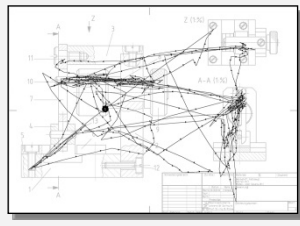
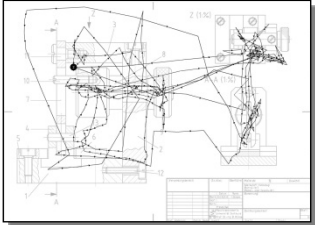
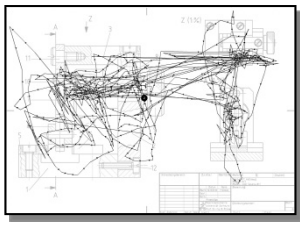
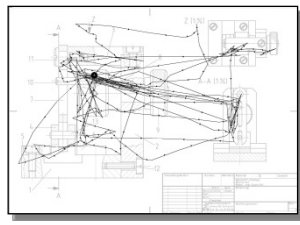
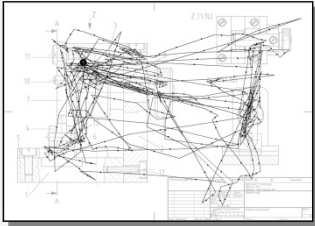
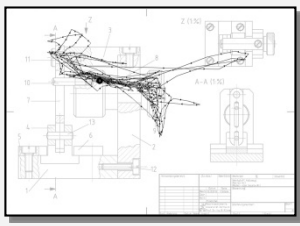
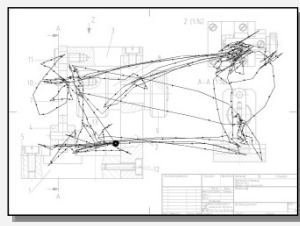
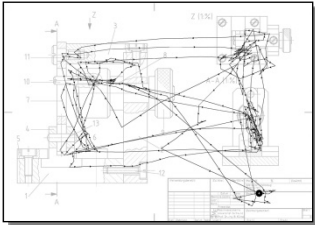
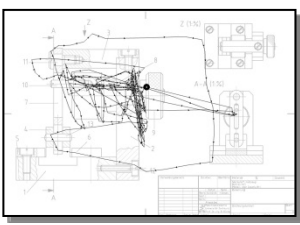
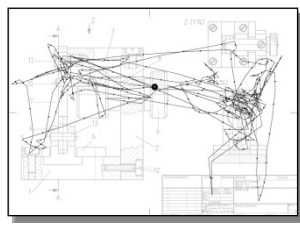
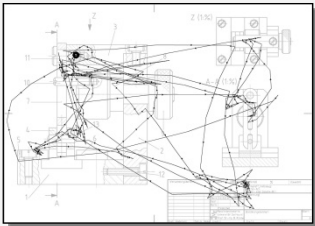
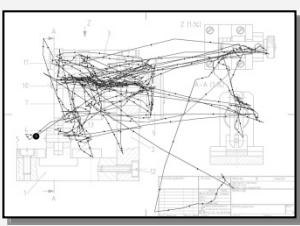
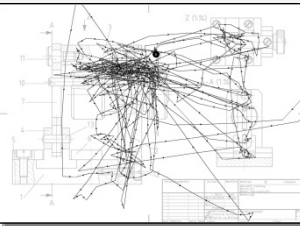
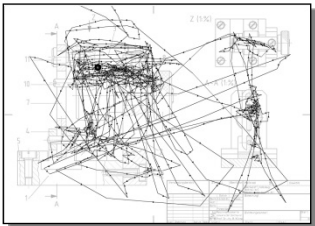
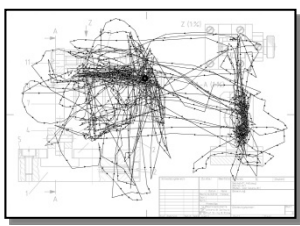
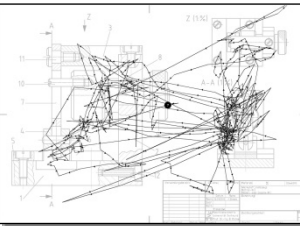


Bild 5-12: Hot-Shot-Plots: Absolute Blickpunktverteilung der 3. Interpretationsaufgabe

Die Reihenfolgen der einzelnen Blickpunkte stellen sich beispielweise für die erste Interpretationsaufgabe bezogen auf die einzelnen Probanden entsprechend der folgenden Line-Chart-Plots dar:

Tabelle 5-4: **Blickpunktfolgen der 1. Interpretationsaufgabe**

		Interpretationsaufgabe		
		1-1	1-2	1-3
Proband	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			

		Interpretationsaufgabe		
		1-1	1-2	1-3
7				
8		∅	∅	

∅ fehlerhafte Aufzeichnung

Eine differenzierte Darstellung der Blickpunktwechselhäufigkeiten aller beobachteten Probanden bezogen auf die einzelnen Interpretationsteilaufgaben liefern im Überblick die folgenden Bubble-Sankey-Plots:

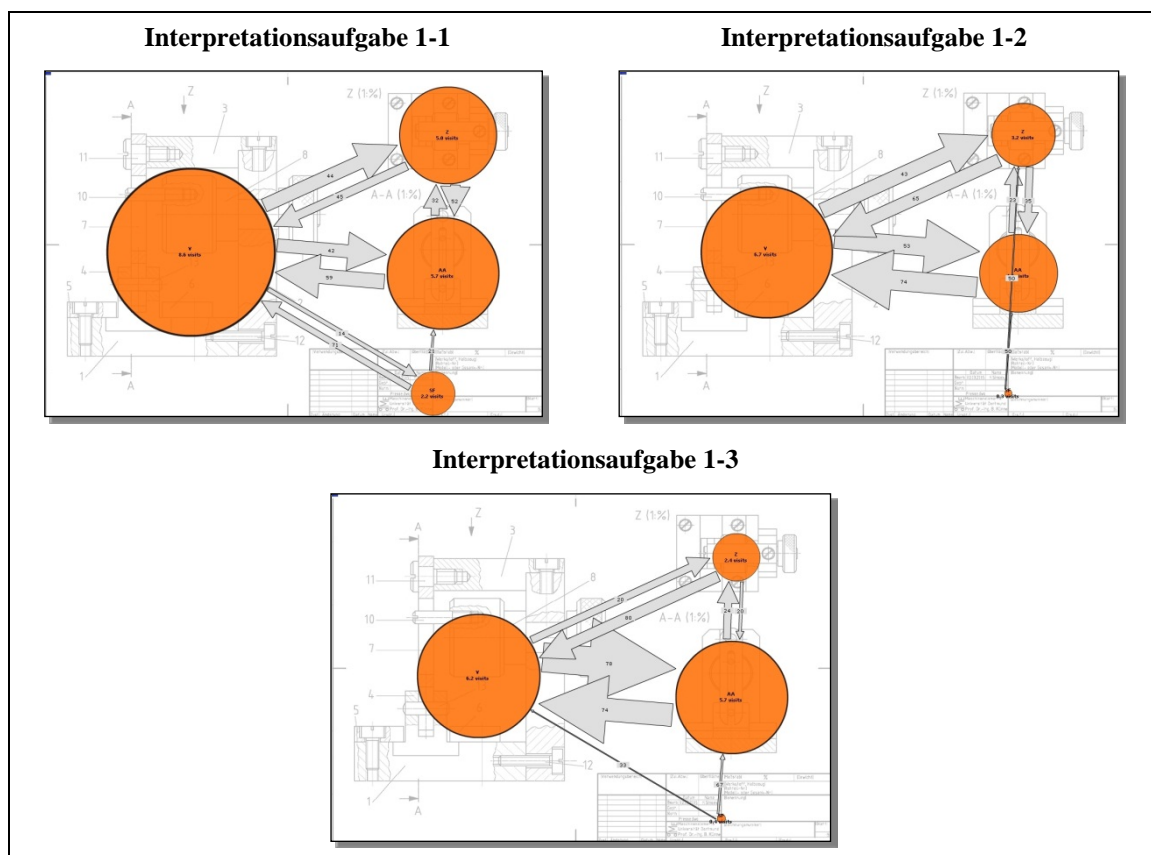


Bild 5-13: Bubble-Sankey-Plots: Blickwechselhäufigkeiten der 1. Interpretationsaufgabe

5.4.2 Datenaufbereitung

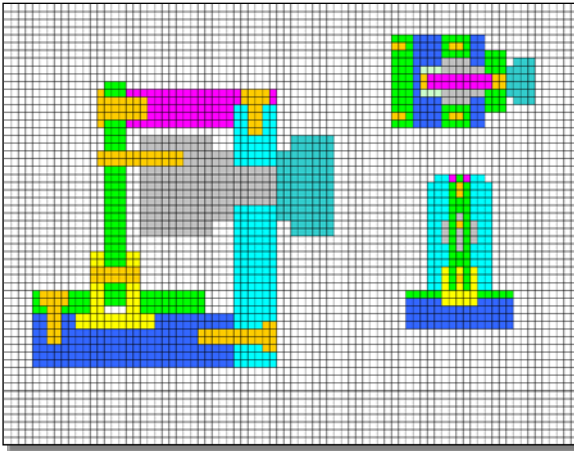
Die unmittelbare Verwendung der vom Eye-Tracking-System aufgezeichneten Daten ist nicht möglich, da mit den Blickpunktkoordinaten keine interpretierbaren Informationen verbunden sind. Somit ist eine Datenaufbereitung erforderlich, welche die erfassten Blickpunktdaten in eine vergleichbare und auswertbare Form überführt, die zum einen eine Untersuchung auf Zufälligkeit der Blickbewegungen, und die zum anderen eine Untersuchung der Blickbewegungsmuster erlaubt.

5.4.2.1 Clusterung

Eine Auswertung der während der Interpretation Technischer Zeichnungen erfassten Blickpunktkoordinaten geschieht sinnvollerweise nicht pixelbezogen, sondern objektbezogen. Daher erfolgt die erste Datentransformation nach dem folgend beschriebenen Algorithmus:

- ① Ganzzahliges Runden der mit einer Datengenauigkeit von 10^{-6} Pixel vorliegenden Blickpunktkoordinaten. Im Ergebnis wird die Anzahl der unterscheidbaren Blickpunkte von $1,92 \cdot 10^{18}$ auf $1,92 \cdot 10^6$ reduziert.
- ② Bildung von Blickpunkt-Clustern mit einer Clustergröße von 20 mal 20 Pixel. Im Ergebnis wird die Anzahl der unterscheidbaren und zugleich vergleichbaren Blickpunkte bei einer Auflösung von 60 mal 80 Clustern weiter auf 4800 Blickpunkt-Cluster reduziert.
- ③ Bildung von Bauteil-Clustern mit einer spezifischen Clustergröße, welche der Darstellungsgröße in der Baugruppenzeichnung entspricht. Im Ergebnis können in den Baugruppenzeichnungen der drei Interpretationsaufgaben die folgenden Bauteil-Clusterblöcke unterschieden werden:

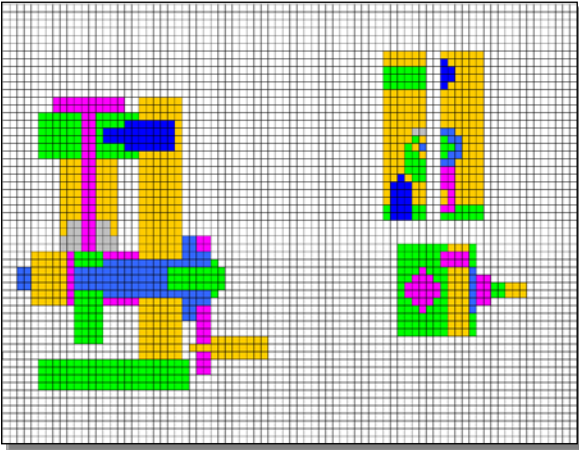
Pos.	Cluster-Anzahl		
	Vorderansicht	Schnitt A - A	Ansicht Z
1	156	55	52
2	150	76	18
3	70	2	18
4	46	18	6
5	14	∅	32
6	27	10	20
7	66	33	∅
8	175	10	20
9	96	∅	22
10	24	1	∅
11	23	2	2
12	26	∅	∅
13	14	1	∅
14	18	∅	8
15	16	∅	4
Σ	921	208	202
	1331		



∅ keine Bauteil-Cluster vorhanden

Bild 5-16: Bauteil-Clusterblöcke der 1. Interpretationsaufgabe

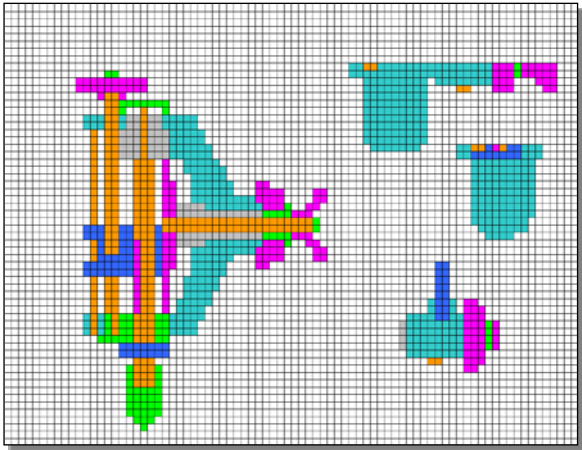
Pos.	Vorderansicht	Cluster-Anzahl		
		Ansicht X	Ansicht Y	Ansicht Z
1	154	30	91	60
2	84	6	10	6
3	58	63	∅	18
4	91	6	9	1
5	20	8	10	∅
6	27	6	2	∅
7	56	18	∅	4
8	52	∅	∅	10
9	20	∅	∅	2
10	10	∅	∅	∅
11	36	∅	∅	12
12	∅	8	∅	∅
13	5	∅	∅	∅
14	21	4	4	∅
15	35	∅	∅	3
16	7	∅	∅	∅
17	34	∅	6	16
Σ	710	149	132	132
	1123			



∅ keine Bauteil-Cluster vorhanden

Bild 5-17: Bauteil-Clusterblöcke der 2. Interpretationsaufgabe

Pos.	Vorderansicht	Cluster-Anzahl		
		Schnitt A - B	Schnitt C - D	Schnitt E - F
1	157	50	134	101
2	26	28	12	∅
3	18	4	15	∅
4	10	4	2	∅
5	∅	16	∅	∅
6	42	∅	∅	∅
8	29	∅	∅	∅
9	84	∅	∅	1
11	14	∅	∅	∅
12	24	∅	∅	∅
15	57	∅	2	2
18	9	∅	∅	∅
20	32	4	∅	∅
21	22	∅	∅	∅
22	10	∅	∅	1
23	42	∅	∅	10
35	2	∅	∅	∅
36	2	∅	∅	∅
37	32	∅	∅	∅
39	22	∅	∅	∅
40	∅	2	2	∅
41	30	∅	∅	∅
Σ	664	108	167	115
	1054			



∅ keine Bauteil-Cluster vorhanden

Bild 5-18: Bauteil-Clusterblöcke der 3. Interpretationsaufgabe

Die Verteilung der in den Untersuchungen beobachteten Blicke auf die einzelnen Bauteil-Clusterblöcke sind die folgenden:

Tabelle 5-5: Clusterbezogene Blickpunktanzahl der 1. Interpretationsaufgabe

	Pos.	Vorderansicht	Schnitt A - A	Ansicht Z	Σ
1. Interpretationsaufgabe	1	2828	343	498	3669
	2	2716	2537	135	5388
	3	1183	105	802	2090
	4	474	262	165	901
	5	70	∅	135	205
	6	210	35	120	365
	7	938	1758	∅	2696
	8	4865	234	516	5615
	9	1959	∅	147	2106
	10	0	0	∅	0
	11	0	0	0	0
	12	0	∅	∅	0
	13	0	0	∅	0
	14	0	∅	0	0
	15	0	∅	0	0
	Σ	15243	5274	2518	23035

∅ kein Bauteil-Clusterblock vorhanden

Tabelle 5-6: Clusterbezogene
Blickpunktanzahl der
2. Interpretationsaufgabe

2. Interpretationsaufgabe	Pos.	Vorderansicht	Ansicht X	Ansicht Y	Ansicht Z	Σ
	1	3379	346	767	507	1999
2	50	43	15	30	138	
3	1947	510	∅	262	2719	
4	3127	43	88	44	3302	
5	582	53	78	∅	713	
6	241	24	16	∅	281	
7	2939	79	∅	36	3054	
8	1670	∅	∅	211	1881	
9	1616	∅	∅	45	1661	
10	579	∅	∅	∅	579	
11	1032	∅	∅	307	1339	
12	∅	0	∅	∅	0	
13	246	∅	∅	∅	246	
14	446	0	90	∅	536	
15	519	∅	∅	111	630	
16	190	∅	∅	∅	190	
17	1250	∅	274	∅	1524	
18	∅	∅	∅	176	176	
Σ	19813	1098	1328	1729	23968	

∅ kein Bauteil-Clusterblock vorhanden

Tabelle 5-7: Clusterbezogene
Blickpunktanzahl der
3. Interpretationsaufgabe

3. Interpretationsaufgabe	Pos.	Vorderansicht	Schnitt A - B	Schnitt C - D	Schnitt E - F	Σ
	1	5835	0	0	866	6701
2	1025	0	0	∅	1025	
3	600	0	0	∅	600	
4	347	0	0	∅	347	
5	∅	0	∅	∅	0	
6	1946	∅	∅	∅	1946	
8	0	∅	∅	∅	0	
9	1398	∅	∅	4	1402	
11	1306	∅	∅	∅	1306	
12	34	∅	∅	∅	34	
15	15	∅	0	13	28	
18	459	∅	∅	∅	459	
20	296	∅	∅	∅	296	
21	2331	∅	∅	∅	2331	
22	134	∅	∅	0	134	
23	32	∅	∅	3	35	
35	473	∅	∅	63	536	
36	99	∅	∅	∅	99	
37	8	∅	∅	∅	8	
39	1598	∅	∅	∅	1598	
40	∅	0	0	∅	0	
41	15	∅	∅	∅	15	
Σ	17951	0	0	949	18900	

∅ kein Bauteil-Clusterblock vorhanden

5.4.2.2 Blickwechsel

Da die erfassten Blickpunktkoordinaten im Zusammenhang mit der gedanklichen Verarbeitung der wahrgenommenen Informationen nur in ihrem zeitlichen Verlauf auswertbar sind, ist es erforderlich, die aufeinander folgenden Blickwechsel zu bewerten. Hierzu kann ein Blickwechsel als der Blickübergang von einem Bauteil-Clusterblock auf einen zweiten definiert werden.

Entsprechend der Anzahl der Bauteil-Clusterblöcke (vgl. Tabellen 5-5 bis 5-7) können die in der Tabelle 5-8 benannten theoretischen Blickübergangsmöglichkeiten, die sich mittels der Gleichung 5-7 berechnen lassen, unterschieden werden. Die Anzahlen der tatsächlich erfassten Blickübergänge sind ebenfalls in der Tabelle 5-8 benannt.

Theoretische		mit: c_n := Anzahl der Bauteil-Clusterblöcke
Blickübergangsmöglichkeiten	$w_t = c_n^2$	in allen Ansichten
		Gleichung 5-7

Tabelle 5-8: **Anzahl der Blickwechsellmöglichkeiten**

	Anzahl der Bauteil-Clusterblöcke					Blickübergangsmöglichkeiten	
	1. Ansicht	2. Ansicht	3. Ansicht	4. Ansicht	Gesamt	theoretisch	beobachtet
1. Interpretationsaufgabe	15	10	11	0	36	1296	470
2. Interpretationsaufgabe	16	9	7	10	42	1764	612
3. Interpretationsaufgabe	20	7	6	5	38	1444	247

Die Verteilung der Blickwechsellhäufigkeiten stellen sich beispielsweise für alle drei Teilaufgaben der 1. Interpretationsaufgabe und bezogen auf alle Probanden in vertikal logarithmischer Teilung wie folgt dar:

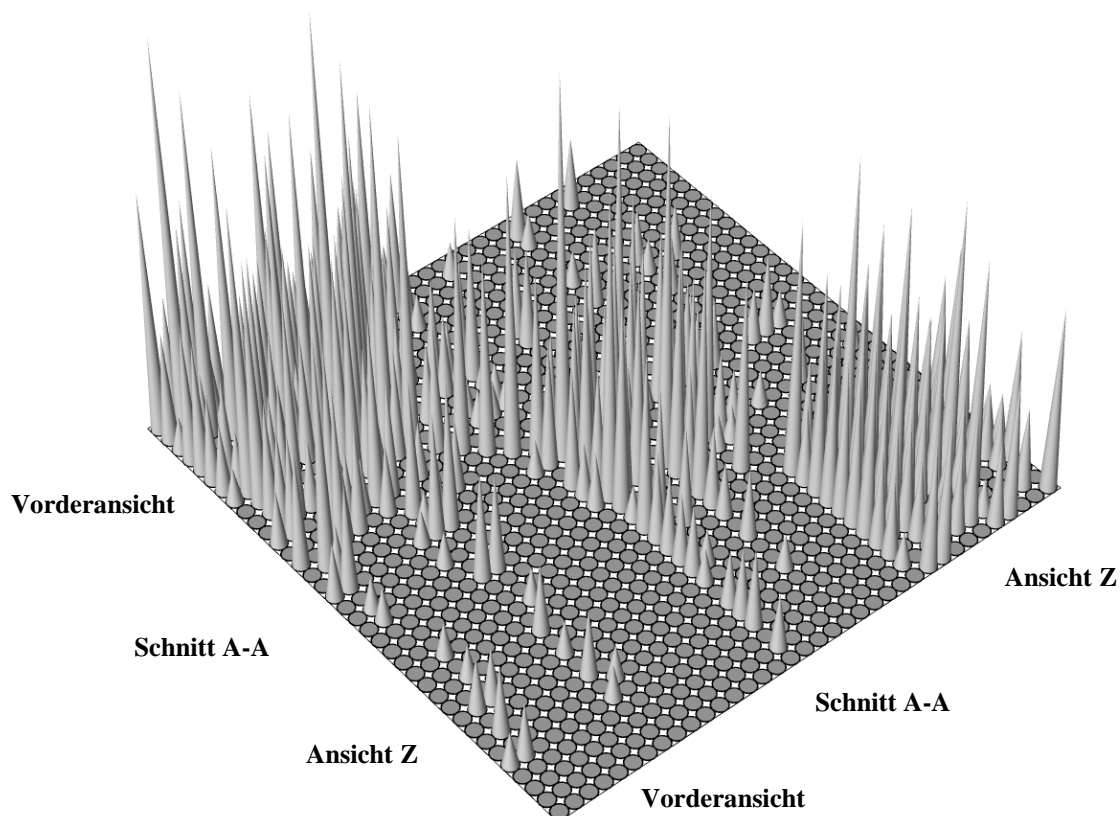


Bild 5-19: 3D-Histogramm: Blickwechselfrequenzen der 1. Interpretationsaufgabe

Die absoluten Anzahlen der in der 1. Interpretationsaufgabe auf alle Probanden bezogen beobachteten Blickwechsel sind:

Tabelle 5-9: 1. Blickwechselfrequenzen der 1. Interpretationsaufgabe
siehe Seite 112

5.4.2.3 Kategorisierung

Die Blickbewegungen beim Lesen Technischer Zeichnungen weisen grundsätzlich keine erkennbaren Muster auf. Da entsprechend der Eye-Mind-Hypothese angenommen wird, dass die beteiligten gedanklichen Prozesse die steuernden Faktoren der Blickbewegungen sind, müsste eine Kategorisierung der Blickbewegungen hinsichtlich der kognitiven Faktoren erfolgen. Diese sind jedoch unbekannt und stehen somit nicht für eine Kategorisierung zur Verfügung.

Eine Kategorisierungsmöglichkeit besteht in der rekursiven Blickwechselbewertung, bei der die beobachteten Blickwechsel entsprechend ihrer Auftretenshäufigkeit bewertet werden. Die Blickwechselwahrscheinlichkeiten können nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

Blickwechsel- wahrscheinlichkeit	$p_{(bw)} = n_{ij} \div n$	mit: n := Anzahl aller Blickwechsel n_{ij} := Anzahl der Blickwechsel von einem Bauteil-Clusterblock i zu Block j
		Gleichung 5-8

Eine Kategorisierung entsprechend der Blickwechselwahrscheinlichkeiten basiert auf der Annahme, dass die Auftretenswahrscheinlichkeiten eines Blickwechsels in einem unmittelbaren Zusammenhang zu dem Informationsgehalt des Blickwechsels steht. Dies bedeutet, dass Blickwechsel mit einer hohen Auftretenswahrscheinlichkeit vermutlich mehr Informationen über das technische System enthalten als weniger häufig auftretende Blickwechsel. Somit ist eine hohe Auftretenswahrscheinlichkeit auch für die Lösung des Interpretationsproblems bedeutender als solche mit einer niedrigen Auftretenswahrscheinlichkeit.

Entsprechend der Trends der beobachteten Blickwechselwahrscheinlichkeiten können die folgenden Blickwechselkategorien unterschieden werden:

1. Kategorie: $K_1 := p_{(bw)} > p_{(bw+1)}$

In der Kategorie K_1 entwickeln sich die aufeinander folgenden Blickwechselwahrscheinlichkeiten gemäß einem monoton fallenden Trend.

2. Kategorie: $K_2 := p_{(bw)} = p_{(bw+1)}$

In der Kategorie K_2 entwickeln sich die aufeinander folgenden Blickwechselwahrscheinlichkeiten gemäß einem konstanten Trend.

3. Kategorie: $K_3 := p_{(bw)} < p_{(bw+1)}$

In der Kategorie K_3 entwickeln sich die aufeinander folgenden Blickwechselwahrscheinlichkeiten gemäß einem monoton steigenden Trend.

Bei den Blickbewegungen innerhalb der Kategorien K_1 und K_3 handelt es sich um Blickwechsel zwischen zwei unterschiedlichen Bauteil-Clustern. Bei den Blickbewegungen der Kategorie K_2 handelt es sich hingegen um Blickwechsel innerhalb ein und desselben Bauteil-Clusters. Die beobachteten Blickwechselhäufigkeiten der verschiedenen Blickwechselkategorien in den unterschiedlichen Untersuchungen sind in Tabelle 5-11 benannt.

Tabelle 5-10: Probandenbezogene Häufigkeiten der Blickwechselkategorien

		Proband										Proband								
		1	2	3	4	5	6	7	8			1	2	3	4	5	6	7	8	
Interpretationsaufgabe	1-1	K ₁	227	226	108	440	307	144	782	∩	Σ	K ₁	1377	1738	2189	2647	1850	1777	3669	975
		K ₂	399	346	248	1127	864	310	1899	∩		K ₂	3094	4131	4797	5997	5317	4578	12715	559
		K ₃	145	145	56	251	165	75	115	∩		K ₃	816	943	1318	1510	1035	990	1527	692
	1-2	K ₁	134	188	253	675	146	203	279		Σ	Ges.	5287	6812	8304	10154	8202	7345	17911	2226
		K ₂	474	761	894	1327	703	464	694			7874								
		K ₃	68	73	108	405	55	126	96											
	1-3	K ₁	156	224	120	231	134	177	270		Min	K ₁	80	84	89	67	90	122	248	131
		K ₂	347	435	182	577	719	358	791	∅		K ₂	162	193	182	196	330	310	660	72
		K ₃	93	138	74	124	72	94	93			K ₃	36	39	32	34	35	59	93	85
	2-1	K ₁	169	190	250	294	201	493	316	131	Max	Ges.	36	39	32	34	35	59	93	72
		K ₂	370	480	427	615	333	1024	660			K ₁	229	379	765	675	307	493	782	274
		K ₃	110	103	182	176	126	269	195			K ₂	594	804	1201	1327	918	1024	3970	173
	2-2	K ₁	229	379	765	222	197	240	308	∩	Max	K ₃	145	211	505	405	179	269	345	276
		K ₂	594	804	1201	759	330	715	885	∩		Ges.	594	804	1201	1327	918	1024	3970	276
		K ₃	123	211	505	125	134	135	153	∩		3970								
	2-3	K ₁	169	258	205	189	274	144	394		Σ	K ₁	153,0	193,1	243,2	294,1	205,6	197,4	407,7	195,0
		K ₂	280	558	473	349	421	420	1052	∅		K ₂	343,8	459,0	533,0	666,3	590,8	508,7	1412,8	111,8
		K ₃	107	137	123	92	179	79	215			K ₃	90,7	104,8	146,4	167,8	115,0	110,0	169,7	138,4
	3-1	K ₁	105	92	228	372	261	128	383	181	Σ	Ges.	195,8	252,3	307,6	376,1	303,8	272,0	663,4	148,4
		K ₂	182	193	422	798	650	370	1828	112		324,7								
		K ₃	67	39	148	216	156	76	188											
	3-2	K ₁	80	97	89	67	90	122	248	∩	Z	K ₁	156	190	205	231	201	144	316	181
		K ₂	286	303	382	196	379	521	936			K ₂	347	435	427	615	650	420	936	103
		K ₃	36	52	32	34	35	59	127			K ₃	93	103	108	125	126	79	153	97
3-3	K ₁	108	84	171	157	240	126	689		Σ	Ges.	156	193	205	249	201	177	345	131	
	K ₂	162	251	568	249	918	396	3970	∅		202									
	K ₃	67	45	90	87	113	77	345												
∅ fehlerhafte Aufzeichnung										R	K ₁	149	295	676	608	217	371	534	143	
											K ₂	432	611	1019	1131	588	714	3310	101	
											K ₃	109	172	473	371	144	210	252	191	
										σ	Ges.	558	765	1169	1293	883	965	3877	204	
											3938									
											K ₁	52,2	95,0	205,1	181,3	71,9	117,8	193,5	57,1	
										K ₂	136,9	215,7	322,5	384,3	229,8	227,0	1063,8	37,3		
										K ₃	34,0	57,8	142,1	111,5	50,8	64,7	79,2	81,3		
										Ges.	137,8	204,1	281,4	325,4	250,6	227,6	814,3	67,2		
										390,7										

Bezogen auf die Blickwechselkategorien können die beobachteten Daten wie folgt beschrieben werden:

Tabelle 5-11: Absolute Häufigkeiten der Blickwechselkategorien

	Σ	Min	Max	\bar{x}	Z	R	σ
K ₁	16222	67	782	238,559	203	715	155,331
K ₂	41188	72	3970	605,706	464	3898	563,998
K ₃	8831	32	505	129,868	110	473	86,360

Die prozentual-anteilige Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Blickwechselkategorien ist in Bild 5-20 dargestellt. Für die Darstellung entlang der x-Achse ist die folgende Systematik gewählt: Von links nach rechts sind fortlaufend die Probanden 1 bis 8 und für diese jeweils fortlaufend die Aufgabennummer 1-1 bis 3-3 dargestellt. Diese Systematik kann verkürzt geschrieben werden als: 1_1-1, 1_1-2, ... 1_3-3, 2_1-1, ... 8_3-3.

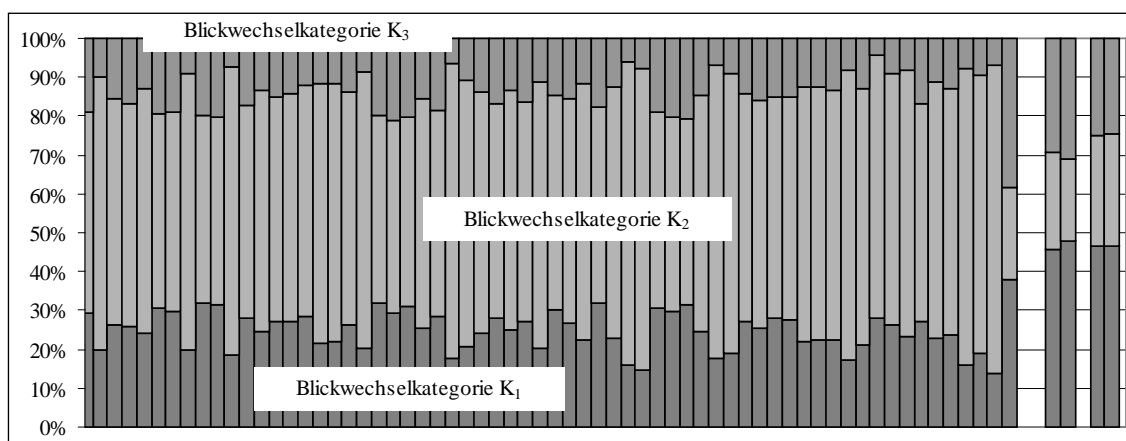


Bild 5-20: Prozentual-anteilige Häufigkeitsverteilung der Blickwechselkategorien

5.4.2.4 Blickdauer

Neben den Blickwechseln, die als Blickübergänge von einem Bauteil-Clusterblock auf jeweils einen anderen definiert sind, ist die Blickdauer der zeitliche Parameter des Blickbewegungsverlaufs von Bedeutung. Die Blickdauer kann definiert werden als die Zeitdauer, in der die Blicke des Zeichnungslesers nur in ein und demselben Bauteil-Clusterblock beobachtet werden; wenn also keine Blickwechsel zwischen unterschiedlichen Bauteil-Clusterblöcken stattfinden.

Die Zeitspanne, in der die Augen auf einem bestimmten Blickbereich verharren, wird Fixationsdauer genannt. Beendet wird eine Fixation mit einem Blickwechsel, dem wiederum (sofern der Leseprozess fortgeführt wird) eine neue Fixation folgt. Der Verlauf der absoluten Fixationsdauer stellt sich beispielsweise für den Interpretationsprozess des Probanden 8 während der Interpretationsaufgabe 1-1 wie folgt dar:

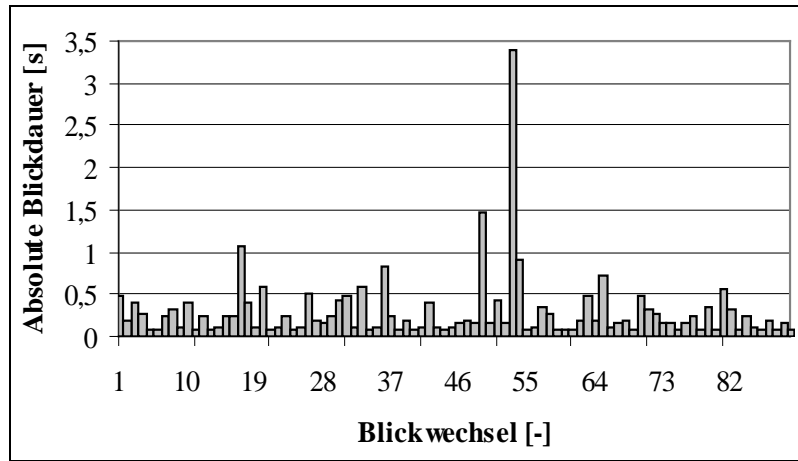


Bild 5-21: Absoluter Fixationsdauerverlauf (Proband 8 – Aufgabe 1-1)

Die absoluten Fixationsdauerverläufe sind als Kenngrößen des Informationsverarbeitungsaufwandes während der Zeichnungsinterpretation ungeeignet, da sowohl die Anzahl der Fixationen als auch die Fixationsdauern in den durchgeführten Untersuchungen sehr stark streuen und somit nicht vergleichbar sind. Eine Vergleichbarkeit der Untersuchungsdaten kann gewährleistet werden, wenn anstatt der absoluten Verläufe die relativen Fixationsdauerverläufe verglichen werden.

Die relativen Fixationsdauerverläufe können unter der Annahme, dass die variierenden Fixationsdauern einen konstanten Mittelwert haben, mit Hilfe einer Regressionsanalyse der kumulierten Fixationsdauern nach den folgenden Gleichungen ermittelt werden.

**Kumulierte
Fixationsdauer**

$$f_{k(n)} = \sum_{i=1}^n a_i$$

mit: n := Anzahl der beobachteten Fixationen
 a_i := Fixationsdauer der Beobachtung i

Gleichung 5-9

**Relative
Fixationsdauer
(Regressionsgerade)**

$$f_r(n) = a \cdot n + b$$

mit: a := Geradensteigung; $a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$
 \bar{y} := Arithmetischer Mittelwert der Fixationsdauern
 y_i := Fixationsdauer der Beobachtung i
 n := Anzahl der beobachteten Fixationen
 \bar{x} := Arithm. Mittelwert der beobachteten Fixationen
 x_i := beobachtete Fixation i

$$b := \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_i) - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}$$

Gleichung 5-10

Die sich aus der Regressionsanalyse ergebenden linearen Trendlinien stellen die relativen Fixationsdauerläufe dar, welche sich bei einer konstanten Blickgeschwindigkeit ergeben würden. Die kumulierte Fixationsdauer bildet die realen Abweichungen des Blickdauerlaufs hiervon ab. Für den Interpretationsprozess des Probanden 8 während der Interpretationsaufgabe 1-1 stellen sich der kumulierte Fixationsdauerlauf und der relative Fixationsdauerlauf wie folgt dar:

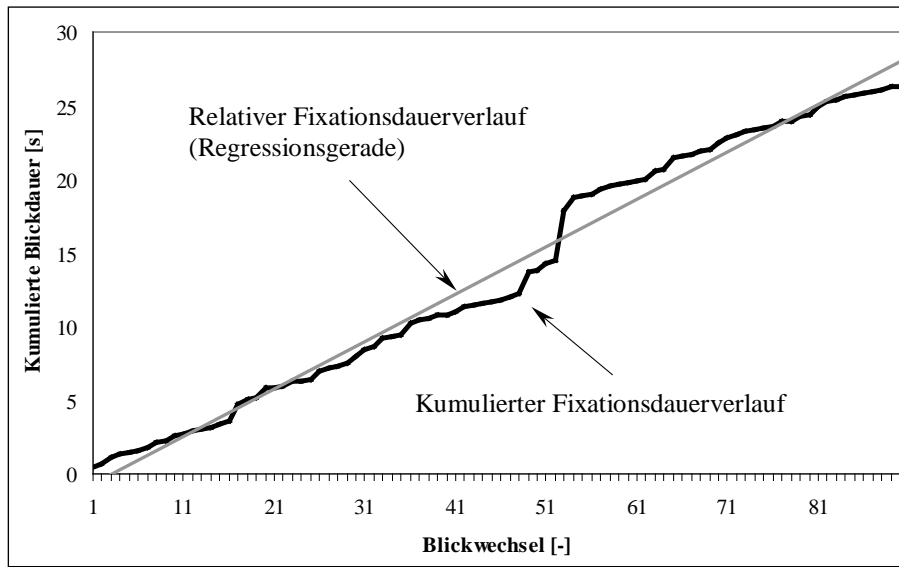


Bild 5-22: Kumulierter und Relativer Fixationsdauerlauf (Proband 8 – Aufgabe 1-1)

Die Genauigkeiten, mit denen die relativen Fixationsdauerläufe die kumulierten Verläufe beschreiben, können durch die Bestimmtheitsmaße sowie die Steigungen der Regressionsgeraden angegeben werden.

**Lineares
Bestimmtheitsmaß**

$$R^2 = \frac{s_{\hat{y}}^2}{s_y^2}$$

mit: $s_{\hat{y}} = \sum xy - \frac{1}{n} \cdot \sum x \cdot \sum y$

$$s_y = \sqrt{\left[\sum x^2 - \frac{1}{n} \cdot (\sum x)^2 \right] \cdot \left[\sum y^2 - \frac{1}{n} \cdot (\sum y)^2 \right]}$$

Gleichung 5-11

Tabelle 5-12: Bestimmtheitsmaße der relativen Fixationsdauerläufe

	Interpretationsaufgabe									
	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	
Proband	1	0,9972	0,9911	0,9884	0,9933	0,9945	0,9972	0,9914	0,9847	0,9929
	2	0,9795	0,9884	0,9900	0,9922	0,9951	0,9909	0,9934	0,9976	0,9871
	3	0,9914	0,9816	0,9862	0,9946	0,9962	0,9878	0,9973	0,9835	0,9923
	4	0,9920	0,9946	0,9809	0,9928	0,9944	0,9678	0,9872	0,9887	0,9682
	5	0,9744	0,9752	0,9890	0,9944	0,9960	0,9925	0,9944	0,9743	0,9883
	6	0,9969	0,9895	0,9947	0,9992	0,9447	0,9839	0,9731	0,9961	0,9943
	7	0,9984	0,9943	0,9912	0,9972	0,9958	0,9973	0,9923	0,9908	0,9898
	8	0,9845	∅	∅	0,9933	0,9945	∅	0,9960	0,9946	∅
Min	0,9744	0,9752	0,9809	0,9922	0,9447	0,9678	0,9731	0,9743	0,9682	
	0,9744			0,9447			0,9682			
	0,9447									
Max	0,9984	0,9946	0,9947	0,9992	0,9962	0,9973	0,9973	0,9976	0,9943	
	0,9984			0,9992			0,9976			
	0,9992									
\bar{x}	0,9893	0,9878	0,9886	0,9946	0,9889	0,9882	0,9906	0,9888	0,9876	
	0,9886			0,9907			0,9891			
	0,9895									
Z	0,9917	0,9895	0,989	0,99385	0,9948	0,9909	0,99285	0,98975	0,9898	
	0,98975			0,9944			0,9914			
	0,99225									
R	0,0240	0,0194	0,0138	0,0070	0,0515	0,0295	0,0242	0,0233	0,0261	
	0,0240			0,0545			0,0294			
	0,0545									
σ	0,0089	0,0071	0,0043	0,0024	0,0179	0,0102	0,0077	0,0078	0,0089	
	0,0068			0,0119			0,0078			
	0,0090									

∅ fehlerhafte Aufzeichnung

Tabelle 5-13: Regressionsgeraden-Steigungen der relativen Fixationsdauerläufe

		Interpretationsaufgabe								
		1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3
Proband	1	0,1854	0,3202	0,2674	0,2282	0,2419	0,2255	0,2305	0,2831	0,1840
	2	0,2021	0,3403	0,2792	0,2907	0,2290	0,2262	0,1927	0,2845	0,3097
	3	0,2170	0,3632	0,2036	0,2108	0,2061	0,2433	0,2079	0,2373	0,3147
	4	0,2689	0,2312	0,2679	0,2214	0,2976	0,2043	0,2405	0,2802	0,2202
	5	0,2896	0,4466	0,3276	0,2121	0,2186	0,2035	0,2492	0,3710	0,2849
	6	0,2202	0,2610	0,2342	0,2590	0,2847	0,3434	0,2621	0,3373	0,2791
	7	0,2582	0,2727	0,2919	0,2547	0,2744	0,2758	0,4936	0,3212	0,5304
	8	0,3214	∅	∅	0,2282	0,2419	∅	0,2518	0,2463	∅
Min		0,1854	0,2312	0,2036	0,2108	0,2061	0,2035	0,1927	0,2373	0,1840
		0,1854			0,2035			0,1840		
		0,1840								
Max		0,3214	0,4466	0,3276	0,2907	0,2976	0,3434	0,4936	0,3710	0,5304
		0,4466			0,3434			0,5304		
		0,5304								
\bar{x}		0,2454	0,3193	0,2674	0,2381	0,2493	0,2460	0,2660	0,2951	0,3033
		0,2759			0,2444			0,2875		
		0,2692								
Z		0,2392	0,3202	0,2679	0,2282	0,2419	0,2262	0,24485	0,2838	0,2849
		0,2684			0,2290			0,2791		
		0,2586								
R		0,1360	0,2154	0,1240	0,0799	0,0915	0,1399	0,3009	0,1337	0,3464
		0,2612			0,1399			0,3464		
		0,3464								
σ		0,0468	0,0729	0,0399	0,0277	0,0328	0,0496	0,0948	0,0454	0,1109
		0,0609			0,0358			0,0845		
		0,0653								

∅ fehlerhafte Aufzeichnung

Die in Tabelle 5-13 benannten Regressionsgeraden-Steigungen der relativen Fixationsdauerläufe weichen stark voneinander ab; so verläuft die maximale Steigung mit $m_{\max} = 0,5304$ etwa dreimal so steil wie die minimale Steigung $m_{\min} = 0,1840$. Zur Verbesserung der Vergleichbarkeit ist daher eine Projektion der relativen Fixationsdauerläufe auf die Nulllinie erforderlich. Diese kann wie folgt berechnet werden:

Projizierte

Fixationsdauerabweichung $f_{\Delta}(n) = f_r(n) - f_k(n)$

mit: $f_r(n)$:= relative Fixationsdauer
der n-ten Beobachtung
 $f_k(n)$:= kumulierte Fixationsdauer
der n-ten Beobachtung

Gleichung 5-12

Infolge der Projektion der Fixationsdauerabweichungsverläufe auf die Nulllinie zeichnen sich die positiven und die negativen Abweichungen der kumulierten Fixationsdauerverläufe unmittelbar ab. Für den Interpretationsprozess der Interpretationsaufgabe 1-1 des Probanden 8 stellt sich der projizierte Fixationsdauerverlauf wie folgt dar:

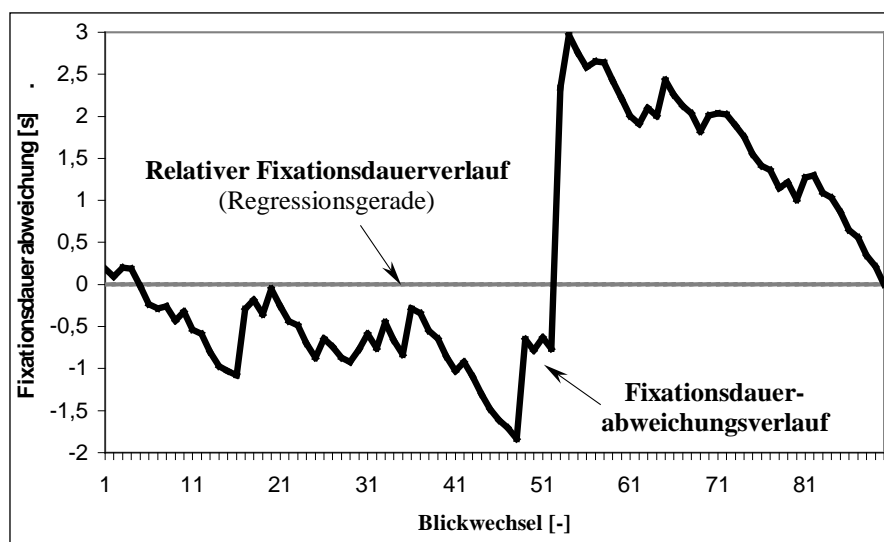


Bild 5-23: Projizierter Fixationsdauerabweichungsverlauf (Proband 8 – Aufgabe 1-1)

5.5 Auswertung der Untersuchungsergebnisse

Gemäß der in Kapitel 5.2 formulierten Zielsetzungen ist zunächst die notwendige Bedingung, dass die Blickfolgen systematische Bewegungsmuster aufweisen, zu überprüfen. Ein hierzu geeignetes statistisches Instrument ist der in Kapitel 5.5.1.1 beschriebene Trendtest. Da statistische Untersuchungen sowohl in der Sprachwissenschaft als auch in der Psychologie i. d. R. eine Normalverteilung der beobachteten Daten voraussetzen, wird in dem Kapitel 5.5.1.2 geprüft, ob die beobachteten Blickwechseldaten normalverteilt sind. Anschließend werden Ausreißer, die von den folgenden Auswertungen ausgeschlossen werden identifiziert. Die Bewertung der Fixationsdauerabweichungsverläufe, die zur eigentlichen Verifikation des Prozessmodells der Zeichnungsinterpretation dient, erfolgt in dem Kapitel 5.5.2. In diesem werden die einzelnen Datensätze hinsichtlich der beobachteten Blickwechsel analysiert und charakteristische Blickbewegungsmuster identifiziert. Abschließend werden die zu untersuchenden Datensätze in ein mathematisches und damit objektiv vergleichbares Modell überführt.

5.5.1 Bewertung der Blickbewegungen

5.5.1.1 Trendtest

Mit dem Trendtest soll der Zufälligkeitsgrad der beobachteten Blickwechselbewegungen bewertet werden. Hierzu werden die folgende Nullhypothese (H_0) sowie die zugehörige Alternativhypothese (H_1) formuliert:

H_0 := Die Abfolge der Blickbewegungskategorien K_1 , K_2 und K_3 ist zufällig.

H_1 := Die Abfolge der Blickbewegungskategorien K_1 , K_2 und K_3 ist nicht zufällig, sondern sie folgt einem systematischen Trend.

Ein geeignetes statistisches Verfahren zur Trendanalyse der Blickbewegungsdaten ist der Folge-Vorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore, der von einer zeitlich abhängigen Beobachtungsreihe ausgeht. Die Testannahme lautet: „Sind die Schwankungen der Einzelwerte um den Mittelwert ... zufällig, so kann man erwarten, dass die Differenzen-Vorzeichen ebenfalls ein zufälliges Bild bieten. Weicht die Reihenfolge der Plus- und Minuszeichen hingegen von der Zufällsmäßigkeit ab, so ist dies ein Hinweis auf das Vorliegen eines Trends“ /rin03/. Der Test wird für Beobachtungsanzahlen $n > 30$ mit den folgenden Gleichungen durchgeführt:

Phasenanzahl	$h = i - 2$	mit: i := Anzahl der Iterationen Gleichung 5-13
Obere Grenze des Erwartungs- bereichs	$h_{\text{oben}} = \frac{2n - 7}{3} + \left(\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{16n - 29}{90}} \right)$	mit: n := Anzahl der Beobachtungswerte Gleichung 5-14
Untere Grenze des Erwartungs- bereichs	$h_{\text{unten}} = \frac{2n - 7}{3} - \left(\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{16n - 29}{90}} \right)$	mit: n := Anzahl der Beobachtungswerte Gleichung 5-15

Die Nullhypothese ist mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % ($\alpha = 0,05$) bei Vorliegen der Bedingung $h_{\text{oben}} \geq h \geq h_{\text{unten}}$ anzunehmen bzw. bei Vorliegen einer der beiden Bedingungen $h_{\text{oben}} < h$ oder $h_{\text{unten}} > h$ abzulehnen.

Der Vergleich der Erwartungswerte h_{oben} und h_{unten} mit den beobachteten Häufigkeiten der Blickwechselkategorien (vgl. Tab. 5-11) zeigt folgendes:

Tabelle 5-14: Folge-Vorzeichen-Iterationstest

Aufgabe	n	h_{unten}	h	h_{oben}	
1	1-1	767	496,8	> 379 < 521,2	
	1-2	674	435,6	> 229 < 458,4	
	1-3	594	382,9	> 257 < 404,4	
	2-1	647	417,8	> 286 < 440,2	
	2-2	936	608,3	> 395 < 635,1	
	2-3	553	355,9	> 285 < 376,7	
	3-1	293	185,3	> 121 < 200,7	
	3-2	720	465,9	> 279 < 489,5	
	3-3	294	186,0	> 133 < 201,4	
	2	1-1	713	461,3	> 335 < 484,7
		1-2	1020	663,7	> 330 < 691,6
		1-3	795	515,3	> 343 < 540,0
2-1		768	497,5	> 306 < 521,8	
2-2		1382	902,8	> 633 < 935,2	
2-3		952	618,8	> 404 < 645,8	
3-1		279	176,1	> 122 < 191,2	
3-2		1427	932,6	> 505 < 965,4	
3-3		828	537,0	> 291 < 562,3	
3		1-1	408	260,7	> 168 < 278,7
		1-2	1249	814,9	> 420 < 845,7
		1-3	375	239,0	> 174 < 256,3
	2-1	856	555,5	> 416 < 581,2	
	2-2	2417	1587,8	> 1216 < 1630,2	
	2-3	794	514,6	> 347 < 539,4	
	3-1	643	415,2	> 291 < 437,5	
	3-2	1727	1131,0	> 700 < 1167,0	
	3-3	1012	658,4	> 314 < 686,2	
	4	1-1	1803	1181,3	> 737 < 1218,1
		1-2	2392	1571,2	> 1018 < 1613,4
		1-3	1071	697,4	> 374 < 726,0
2-1		1082	704,6	> 483 < 733,4	
2-2		1100	716,5	> 377 < 745,5	
2-3		627	404,6	> 275 < 426,7	
3-1		1367	892,9	> 591 < 925,1	
3-2		276	174,2	> 111 < 189,1	
3-3		462	296,1	> 229 < 315,2	
5		1-1	1331	869,1	> 490 < 900,9
		1-2	897	582,6	> 242 < 608,8
		1-3	780	505,4	> 224 < 529,9
	2-1	658	425,0	> 320 < 447,6	
	2-2	656	423,7	> 328 < 446,3	
	2-3	870	564,7	> 457 < 590,6	
	3-1	1037	674,9	> 448 < 703,1	
	3-2	355	225,9	> 102 < 242,8	
	3-3	1235	805,7	> 379 < 836,3	
	6	1-1	527	338,8	> 226 < 359,2
		1-2	792	513,3	> 344 < 538,0
		1-3	627	404,6	> 268 < 426,7
2-1		1779	1165,4	> 786 < 1201,9	
2-2		1087	707,9	> 392 < 736,7	
2-3		642	414,5	> 240 < 436,8	
3-1		520	334,2	> 200 < 354,4	
3-2		1268	827,5	> 440 < 858,5	
3-3		1011	657,8	> 393 < 685,6	
7		1-1	3086	2031,1	> 1024 < 2078,9
		1-2	1119	729,1	> 409 < 758,3
		1-3	1191	776,6	> 397 < 806,7
	2-1	1169	762,1	> 545 < 791,9	
	2-2	1341	875,7	> 523 < 907,6	
	2-3	1658	1085,3	> 680 < 1120,7	
	3-1	2069	1357,3	> 568 < 1396,7	
	3-2	1867	1223,6	> 591 < 1261,0	
	3-3	2069	1357,3	> 568 < 1396,7	
	8	1-1	802	519,9	> 307 < 544,8
		1-2			∅
		1-3			∅
2-1		1033	672,3	> 541 < 700,4	
2-2		927	602,3	> 480 < 629,0	
2-3				∅	
3-1		862	559,5	> 337 < 585,2	
3-2		723	467,8	> 283 < 491,5	
3-3				∅	

∅ fehlerhafte Aufzeichnung

In Tabelle 5-14 ist ersichtlich, dass das Kriterium „ $h_{\text{oben}} \geq h \geq h_{\text{unten}}$ “ in keinem der beobachteten Fälle zutrifft. Die Nullhypothese ist daher mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von maximal 5 % abzulehnen. Entsprechend der Alternativhypothese H_1 folgten somit die beobachteten Blickwechsel einem systematischen Trend. Hiermit ist die notwendige Bedingung für die weitere Auswertung der Untersuchungsergebnisse erfüllt.

5.5.1.2 Beurteilung der Häufigkeitsverteilung der Blickwechselkategorien

Die Beurteilung der Häufigkeitsverteilung der Blickwechselkategorien erfolgt hinsichtlich der statistischen Datenverteilung. Da insbesondere linguistische Untersuchungen eine normalverteilte Datenbasis voraussetzen sind die Beobachtungsdaten zunächst auf eine solche hin zu überprüfen. Eine Methode die beobachteten Blickwechseldaten auf die Normalverteilung zu Testen ist der QQ-Plot (Quantil-Quantil-Plot), der mit Hilfe der Gleichungen 5-16 bis 5-23 erstellt werden kann. Zur Beurteilung der Güte des QQ-Plots dient die Kennzahl η^2 (:=Anteil der aufgeklärten Varianz an der Gesamtvarianz); es gilt: „ $\eta^2 > 70\%$:= Annäherung an die Normalverteilung ist akzeptabel, $\eta^2 > 80\%$:= Annäherung ... ist gut, $\eta^2 > 90\%$:= Annäherung ... ist sehr gut“ /per08/.

Rangwert	s	mit: s := Rangwert bezüglich der, nach aufsteigender Größe sortierten Beobachtungswerte Gleichung 5-16
z-Transformierte	$z = \frac{x - \bar{x}}{s}$	mit: x := Beobachtungswert \bar{x} := Arithmetischer Mittelwert aller x s := Rangwert der Beobachtung Gleichung 5-17
Quantilzahl	$P_i = \frac{i - 0,5}{n}$	mit: i := Stellennummer in der unsortierten Beobachtungsfolge n := Anzahl aller Beobachtungen Gleichung 5-18
Erwartetes Quantil	<u>Tabellenfunktion:</u> $Q_p = \Phi^{-1}(p, \bar{x}, s)$	mit: p := Quantilzahl \bar{x} := Arithmetischer Mittelwert aller x ; $\bar{x} = 0$ s := Rangwert der Beobachtung; $s = 1$ Gleichung 5-19
Gesamtvarianz	$s^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$	mit: N := Anzahl aller Beobachtungen y_i := Wert der Beobachtung i \bar{y} := Arithmetischer Mittelwert aller y Gleichung 5-20
Unaufgeklärte Varianz (Fehlervarianz)	$s_e^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{Q_p})^2$	mit: N := Anzahl aller Beobachtungen y_i := Wert der Beobachtung i y_{Q_p} := erwarteter Beobachtungswert Gleichung 5-21
Aufgeklärte Varianz	$S^2 = s^2 - s_e^2$	mit: s^2 := Gesamtvarianz s_e^2 := Unaufgeklärte Varianz Gleichung 5-22
Passungsgüte	$\eta^2 = \frac{s^2 - s_e^2}{s^2} \times 100\%$	mit: s^2 := Gesamtvarianz s_e^2 := Unaufgeklärte Varianz Gleichung 5-23

Für den Test einer zumindest annähernden Normalverteilung dienen zum einen die absoluten Blickpunktanzahlen (vgl. Tab. 5-1) und zum anderen die absoluten Häufigkeiten der beobachteten Blickbewegungskategorien (vgl. Tab. 5-10). Die Ergebnisse der QQ-Plots können zusammengefasst wie folgt beschrieben werden:

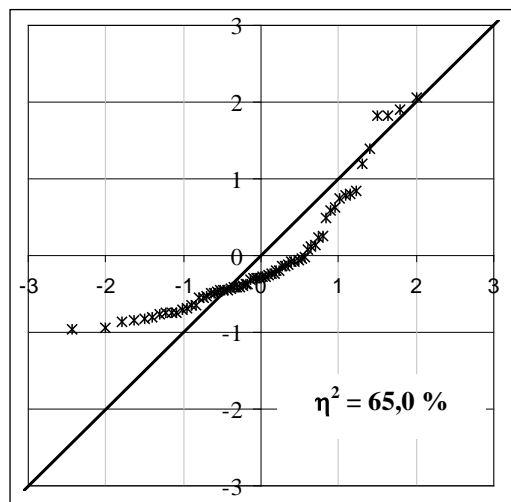


Bild 5-24: QQ-Plot – Absolute Häufigkeiten der Blickpunkte

Aus dem Bild 5-24 geht hervor, dass der Prüfwert des QQ-Plots mit $\eta^2 = 65,0\%$ auf keine akzeptable Annäherung an die Normalverteilung der absoluten Blickpunktanzahlen hinweist. Eine Aussage über die statistische Verteilung der absoluten Blickpunktanzahlen kann somit nicht formuliert werden.

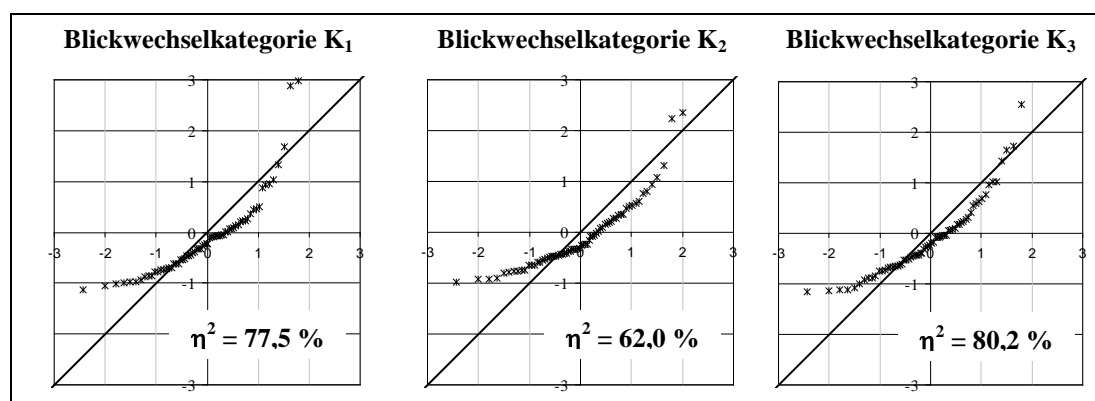


Bild 5-25: QQ-Plot – Absolute Häufigkeiten der Blickwechselkategorien

In dem Bild 5-25 ist ersichtlich, dass sich die statistischen Verteilungen der absoluten Häufigkeiten der Blickbewegungskategorien K_1 bis K_3 stark voneinander unterscheiden. Die einzelnen Prüfwerte der QQ-Plots zeigen an, dass die absoluten Häufigkeiten der Blickbewegungskategorie K_1 mit $\eta^2 = 77,5\%$ eine akzeptable und die der Blickbewegungskategorie K_3 mit $\eta^2 = 80,2\%$ sogar eine gute Annäherung an die Normalverteilung aufweisen. Eine Annäherung der absoluten Häufigkeiten der Blickbewegungskategorie K_2 an die Normalverteilung wird jedoch mit $\eta^2 = 62,0\%$ nicht angezeigt.

Die relativ großen Unterschiede der Prüfwerte der drei Blickbewegungskategorien sind unter anderem die Folge der großen Streuung der absoluten Häufigkeiten. Eine Verteilungsanalyse der prozentualen Häufigkeiten der verschiedenen Blickwechselkategorien (vgl. Bild 5-20) zeigt folgendes:

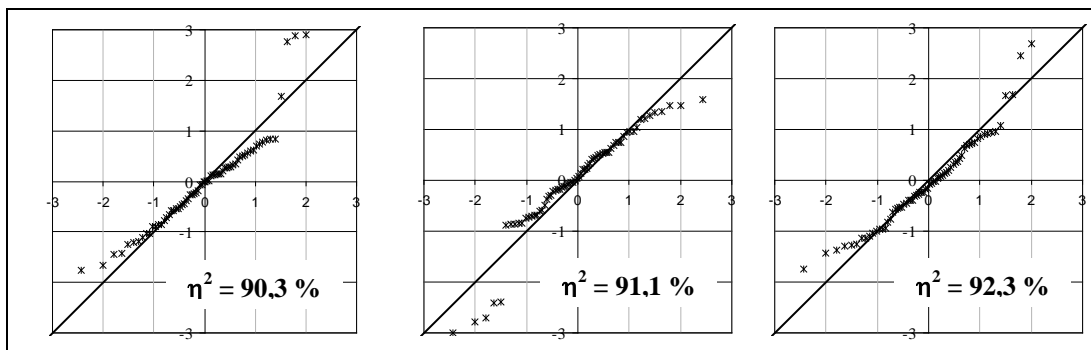


Bild 5-26: QQ-Plot – Prozentuale Häufigkeiten der Blickwechselkategorien

Aus dem Bild 5-26 geht hervor, dass die Prüfwerte der QQ-Plots aller drei Blickwechselkategorien auf eine sehr gute Annäherung der beobachteten Daten an die Normalverteilung hinweisen, so dass die statistischen Verteilungen der prozentual-anteiligen Häufigkeiten als normal verteilt angenommen werden können.

Die Unterschiede der Verteilungsformen der absoluten und der prozentualen Häufigkeiten der drei Blickwechselkategorien können mit Hilfe einer Analyse der statistischen Mittelwerte „Arithmetischer Mittelwert“ (\bar{x}) und „Median“ (Z) weiter wie folgt beschrieben werden:

Tabelle 5-15: Statistische Verteilungsformen der Blickwechselkategorien

		Proband																
		1		2		3		4		5		6		7		8		
		abs.	proz.	abs.	proz.	abs.	proz.	abs.	proz.	abs.	proz.	abs.	proz.	abs.	proz.	abs.	proz.	
Blickwechselkategorie	K₁	\bar{X}	156 > 153,0		190 < 193,1		205 < 243,2		231 < 294,1		201 < 205,6		144 < 197,4		316 < 407,7		181 < 195,0	
		Z	0,262 < 0,264		0,271 > 0,254		0,262 > 0,256		0,268 > 0,262		0,230 > 0,229		0,224 < 0,237		0,234 > 0,222		0,464 > 0,448	
		Vf ¹⁾	RS	LS	LS	RS	LS	RS	LS	RS	LS	RS	LS	RS	LS	RS	LS	RS
	K₂	\bar{X}	347 > 343,8		435 < 459,0		427 < 533,0		615 < 666,3		650 < 590,8		420 < 508,7		936 < 1412,8		103 < 111,8	
		Z	0,570 < 0,579		0,596 < 0,609		0,591 < 0,594		0,576 < 0,593		0,647 > 0,641		0,645 > 0,630		0,679 < 0,682		0,250 < 0,256	
		Vf ¹⁾	RS	LS	LS	LS	LS	LS	RS	LS	RS	LS	RS	LS	LS	LS	LS	LS
	K₃	\bar{X}	93 > 90,7		103 < 104,8		108 < 146,4		125 < 167,8		126 > 115,0		79 < 110,0		153 < 169,7		97 < 138,4	
		Z	0,169 > 0,157		0,133 < 0,137		0,154 > 0,150		0,146 > 0,145		0,124 < 0,129		0,132 = 0,132		0,090 < 0,096		0,295 < 0,297	
		Vf ¹⁾	RS	LS	LS	RS	LS	RS	RS	LS	LS	NV	LS	LS	LS	LS	LS	LS

1) RS:= rechtsteile Verteilung ($Z < \bar{x}$) ; LS:= linkssteile Verteilung ($Z > \bar{x}$) NV:= Normalverteilung

In Tabelle 5-15 sind die statistischen Verteilungsformen der beobachteten absoluten (abs.) und der daraus berechneten prozentualen (proz.) Blickwechselhäufigkeiten beschrieben. Es zeigt sich, dass die absoluten statistischen Verteilungen zu ca. 80% eine linkssteile Verteilung (LS) aufweisen. Dies bedeutet, dass häufiger Blickwechselanzahlen zu beobachten sind, die kleiner als der Mittelwert sind. Insbesondere bedeutet dies, dass die probandenbezogenen Beobachtungswerte nicht exakt normalverteilt sind. Ursächlich hierfür sind unter anderem die große Spannweite der Blickwechselanzahlen; diese liegen für die maximale Spannweite $R_{\max} = 3938$ im Bereich von 32 bis 3970 Blickwechseln (vgl. Tab. 5-12). Auch die statistischen Verteilungen der prozentualen Anteile der Blickwechselkategorien zeigt, dass sich die Mittelwerte und die Mediane, wenn auch nur unwesentlich, voneinander unterscheiden, so dass auch diese (mit einer normalverteilten Ausnahme) links- bzw. rechtssteile Tendenzen aufweisen. Im Einzelnen sind für die prozentualen Anteile die folgenden Werte zu beobachten:

K_1 : $\bar{x} = 0,261$; $Z = 0,260 \Rightarrow \Delta = 0,001$; rechtsteile Verteilung

K_2 : $\bar{x} = 0,592$; $Z = 0,602 \Rightarrow \Delta = 0,010$; linkssteile Verteilung

K_3 : $\bar{x} = 0,147$; $Z = 0,138 \Rightarrow \Delta = 0,009$; rechtsteile Verteilung

Die sehr geringen Differenzen der Mittelwerte und der Mediane der prozentualen Blickwechselkategorienhäufigkeiten weisen auf mehr symmetrische als einseitig-steile Verteilungen der Beobachtungswerte hin. Folgend werden daher die prozentualen Anteile der Blickwechselkategorien und nicht die absoluten statistischen Verteilungen weiter analysiert. So können alle statistischen Methoden, die eine Normalverteilung voraussetzen, angewendet werden.

Unter der Annahme einer Normalverteilung können weiter mit Hilfe einer multivariaten Datenanalyse, bei der die drei prozentualen Häufigkeiten der drei Blickwechselkategorien die Variablen sind, Ausreißer identifiziert werden. Hierzu werden die sechs möglichen bivarianten Streudiagramme und ihre Normal-Ellipsen mit $P = 90\%$ ($\alpha = 0,90$) dargestellt. Die multivariante Analyse liefert die folgenden Ergebnisse:

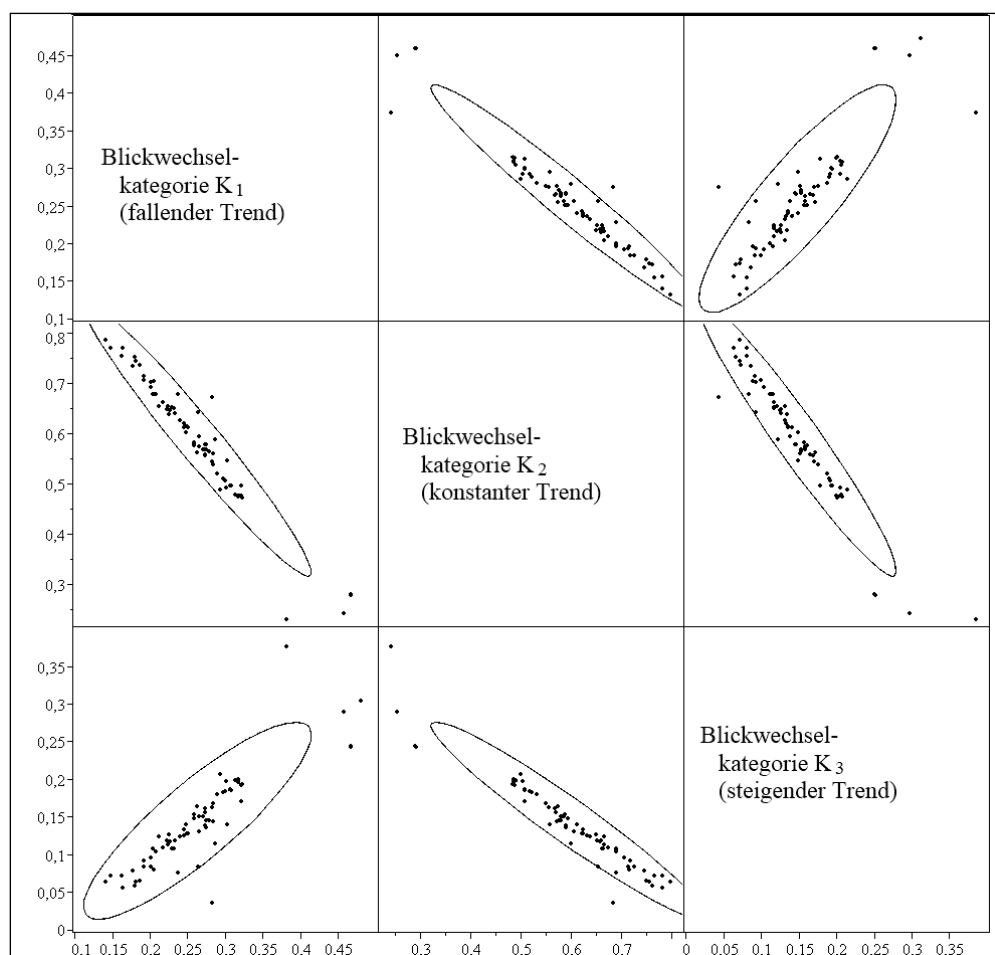


Bild 5-27: Normal-Ellipsen – Prozentuale Blickwechselkategorienhäufigkeitsverteilung

In den sechs bivarianten Streudiagrammen der prozentualen Häufigkeitsverteilungen der Blickwechselkategorien sind als Ausreißer jene Beobachtungswerte zu erkennen, die außerhalb der Grenze der bivarianten Normal-Ellipse mit $P = 90\%$ liegen. Im Einzelnen sind dies:

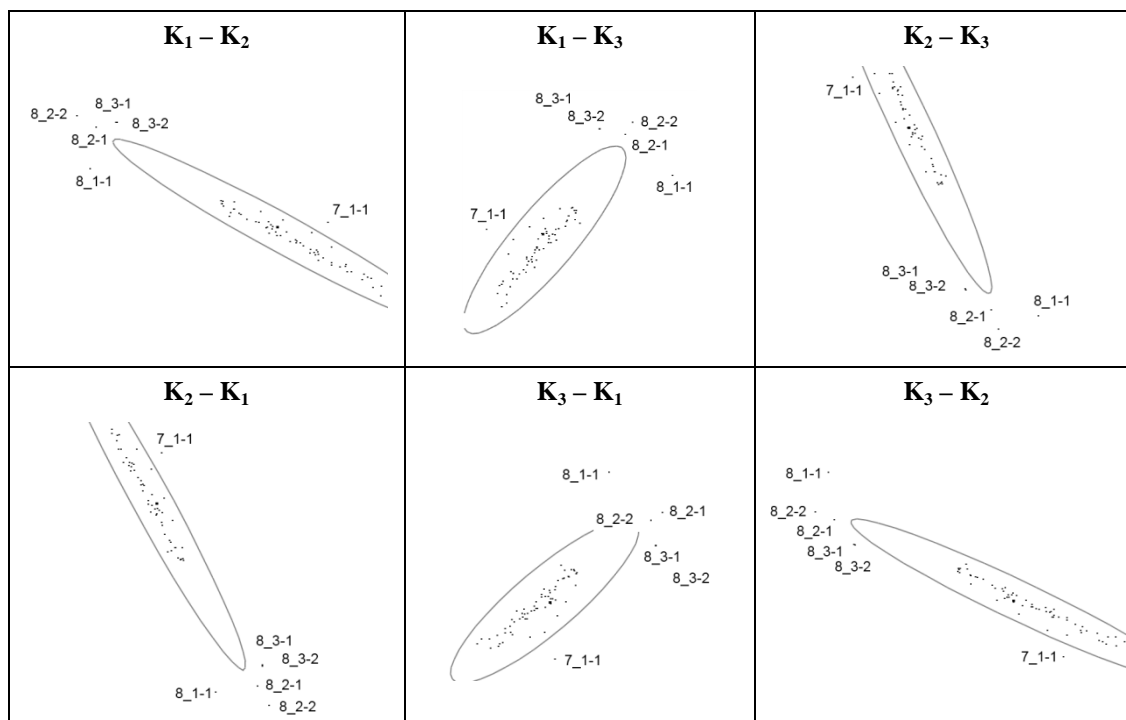


Bild 5-28: Ausreißer der prozentualen Blickwechselkategorienhäufigkeitsverteilung

Aus Bild 5-28 geht hervor, dass es sich bei allen aufgezeichneten Untersuchungen des achten Probanden (8_1-1, 8_2-1, 8_2-2, 8_3-1, 8_3-2) sowie bei der beobachteten Interpretationsaufgabe 1-1 des siebten Probanden (7_1-1) um Blickwechselkategorienhäufigkeiten handelt, die außerhalb der 90%-Grenze der Normalverteilung liegen. Diese Beobachtungen werden als Ausreißer gewertet und folgend nicht weiter beobachtet. Die Anzahl der auswertbaren Untersuchungen reduziert sich somit von 68 fehlerfreien Aufnahmen auf 62 Datensätze.

Zusammengefasst kann die ausreißerbereinigte statistische Häufigkeitsverteilung der drei Blickwechselkategorien wie in Tabelle 5-16 und in Bild 5-29 dargestellt beschrieben werden. In dem Bild 5-29 gilt die folgende Darstellungssystematik entlang der x-Achse: Von links nach rechts sind fortlaufend die Probanden 1 bis 7 und für diese jeweils fortlaufend die Aufgabennummer 1-1 bis 3-3 dargestellt.

Tabelle 5-16: Prozentuale Häufigkeiten der Blickwechselkategorien

	Min	Max	\bar{x}	Z	R	σ
K₁	0,138	0,320	0,246	0,252	0,183	0,049
K₂	0,481	0,793	0,618	0,620	0,313	0,089
K₃	0,041	0,212	0,135	0,133	0,171	0,045

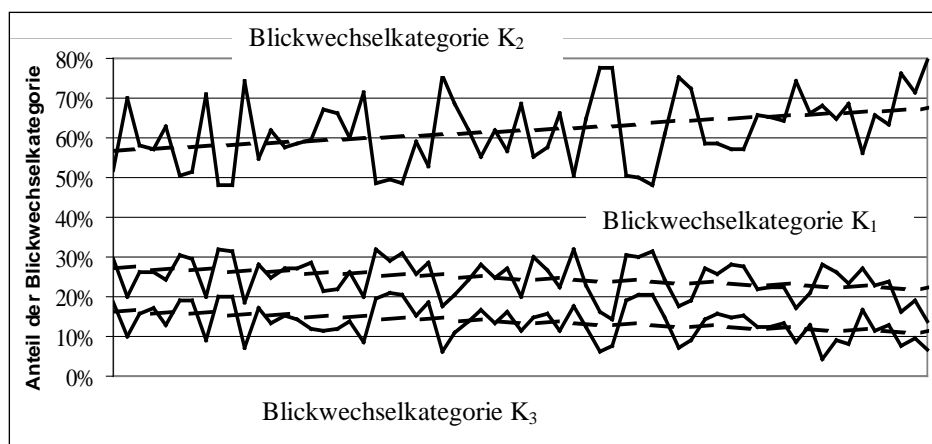


Bild 5-29: Häufigkeitsverteilung der Blickwechselkategorien

In Bild 5-29 wird die Häufigkeitsverteilung der drei Blickwechselkategorien insbesondere durch die als gestrichelten Geraden eingezeichneten Trendlinien verdeutlicht. Wenngleich die Spannweiten R eine große Streuung der Einzelwerte anzeigen (vgl. Tab. 5-16), so weisen die sehr kleinen Standardabweichungen σ jedoch auf eine statistisch konstante Verteilung der prozentualen Blickwechselhäufigkeiten hin. Mithin kann von der folgenden konstanten Blickwechselkategorieverteilung in Zeichnungsinterpretationsprozessen ausgegangen werden: $K_1 \approx 24,6\%$, $K_2 \approx 61,8\%$, $K_3 \approx 13,6\%$. Unter den Annahmen, dass die Blickwechselkategorien K_1 und K_2 auf eine Suche neuer Informationen hinweisen, und dass die Blickwechselkategorie K_3 auf eine Vertiefung und/oder Erweiterung bekannter Informationen deutet, ergibt sich die folgende Feststellung: Ca. 40% der Interpretationszeit werden für die Suche neuer Informationen und ca. 60% für die Detaillierung bekannter Informationen aufgebracht.

5.5.2 Bewertung der Fixationsdauerabweichungsverläufe

5.5.2.1 Projizierten Fixationsdauerabweichungsverläufe

Die Beurteilungsbasis der Fixationsdauerabweichungsverläufe bilden die projizierten Fixationsdauerabweichungsverläufe (vgl. Bild 5-23). Eine Analyse der projizierten Daten zeigt, dass die Verläufe sehr viele Wendestellen besitzen, an denen eine Umkehr von steigenden zu fallenden bzw. von fallenden zu steigenden Trends stattfindet,

wodurch sich u. a. sehr kurze Trendlängen, die sich gemäß der Gleichung 5-24 berechnen, ergeben. Im Einzelnen stellen sich diese Größen wie in Tabelle 5-17 beschrieben dar.

**Mittlere
Trendlänge**

$$l_b = b_w \div w$$

mit: b_w := Anzahl der beobachteten Blickwechsel

w := Anzahl der beobachteten Trendwenden

Gleichung 5-24

Tabelle 5-17: **Blickwechselanalyse**

		Blickpunkt- anzahl	Wende- stellen	mittlere Trendlänge	Blickpunkt- anzahl	Wende- stellen	mittlere Trendlänge	Blickpunkt- anzahl	Wende- stellen	mittlere Trendlänge
		Interpretationsaufgabe								
		1-*			2-*			3-*		
Proband	*-1	573	57	10,1	479	41	11,7	245	27	9,1
	2	515	39	13,2	604	38	15,9	246	25	9,8
	3	291	30	9,7	583	40	14,6	518	43	12,0
	4	1394	84	16,6	780	70	11,1	1014	69	14,7
	5	1052	58	18,1	454	39	11,6	869	52	16,7
	6	415	24	17,3	1366	90	15,2	466	29	16,1
	7	2474	131	18,9	910	65	14,0	1989	78	25,5
	8	90	38	17,3	636	52	13,7	700	55	12,7
Proband	*-2	586	32	18,3	732	59	12,4	674	53	12,7
	2	899	32	28,1	1060	79	13,4	1337	81	16,5
	3	1060	50	21,2	1548	106	14,6	1516	101	15,0
	4	1732	112	15,5	874	46	19,0	233	18	12,9
	5	758	27	28,1	461	33	14,0	417	11	37,9
	6	609	30	20,3	887	41	21,6	1306	79	16,5
	7	881	56	15,7	1127	84	13,4	1699	84	20,2
	8	∅			636	56	11,4	610	41	14,9
Proband	*-3	471	36	13,1	403	35	11,5	228	23	9,9
	2	587	40	14,7	738	52	14,2	756	43	17,6
	3	251	21	12,0	586	50	11,7	904	46	19,7
	4	849	54	15,7	584	29	20,1	402	30	13,4
	5	597	31	19,3	783	49	16,0	1049	48	21,9
	6	479	33	14,5	530	36	14,7	902	58	15,6
	7	975	57	17,1	1366	74	18,5	2105	78	27,0
	8	∅			∅			∅		
Min		251	21	10	403	29	11	228	11	9
Max		2474	131	28	1548	106	22	2105	101	38
\bar{x}		830,9	49,2	17,0	802,6	55,0	14,7	898,8	51,2	17,2
Z		609,0	39,0	16,6	738,0	49,0	14,2	869,0	48,0	16,1
R		2223	110	18	1145	77	11	1877	90	29
σ		520,0	28,6	4,8	328,3	21,4	2,9	578,3	25,4	6,7
Gesamt		Min	Max	\bar{x}	Z	R	σ			
Blickpunktanzahl		228	2105	818	747	1877	437			
Wendestellen		11	112	52	46	101	23			
mittlere Trendlänge		9,1	37,9	16,3	15,4	28,8	5,1			

∅ fehlerhafte Aufzeichnung / ☒ Ausreißer

Aus den in Tabelle 5-17 benannten Daten geht hervor, dass sowohl die Anzahl der Wendestellen zwischen steigenden und fallenden Trends als auch die Blickpunktanzahl und die nach Gleichung 5-24 berechneten mittleren Trendlängen sehr stark streuen. Ursächlich hierfür ist die Tatsache, dass Interpretationsprozesse zum einen individuelle Prozesse sind und zum anderen, dass die Lösung von Aufgaben mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden auch z. T. unterschiedliche gedankliche Prozesse erfordert, die ihrerseits die Blickbewegungen entsprechend steuern.

Eine Analyse der mittleren Trendlängen zeigt, dass diese mit einem Prüfwert von $\eta^2 = 83,3\%$ eine gute Annäherung an die Normalverteilung aufweisen.

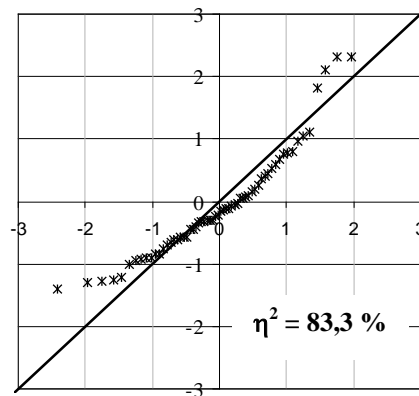


Bild 5-30: QQ-Plot – Mittlere Trendlängen

Eine Ausreißeranalyse mit Hilfe bivarianter Streudiagramme und ihren Normal-Ellipsen mit $P = 90\%$ ($\alpha = 0,90$) zeigt für die Relation der Blickpunktanzahlen zu den Anzahlen der Trend-Wendestellen folgendes:

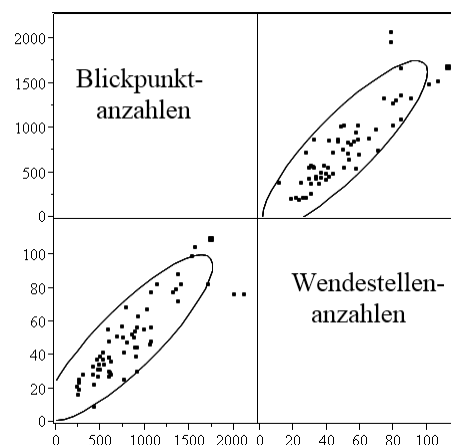


Bild 5-31: Streudiagramm – Blickpunktanzahlen ÷ Wendestellenanzahlen

In Bild 5-31 sind die folgenden Ausreißer, deren Verhältnis „Blickpunktanzahl ÷ Wendestellenanzahl“ außerhalb der 90%-Normal-Ellipse liegen, identifizierbar (Proband_Teil-Aufgabe): 3_2-1, 3_3-2, 4_1-2, 7_3-1 und 7_3-3. Nach der Bereinigung stellen sich die statistischen Kenngrößen wie in Tabelle 5-19 beschrieben dar. Die folgenden Untersuchungen erfolgen somit auf einer Datenbasis von 57 Datensätzen.

Tabelle 5-18: **Bereinigte Blickwechselwerte**

Gesamt	Min	Max	\bar{x}	Z	R	σ
Blickpunktanzahl	228	1732	751	703	1504	359
Wendestellen	11	112	48	43	101	21
mittlere Trendlänge	9,1	37,9	16,0	15,4	28,8	5,0

Eine Verallgemeinerung der gewonnenen Daten ist nur für die mittlere Trendlänge möglich, da sowohl die Blickpunktanzahl als auch die Anzahl der beobachteten Wendestellen sehr stark von den Interpreten als auch von den Aufgabestellungen abhängen. Die mittleren Trendlängen berechnen sich in einer Zeiteinheit, indem die Trendlänge (Einheit: Bilder) durch die Aufnahmefrequenz (Einheit: 25 ^{Bilder}/Sekunde) dividiert wird. In Zeichnungsinterpretationsprozessen kann demnach eine mittlere Trendlänge von ca. $0,6 \pm 0,2$ Sekunden angenommen werden.

Ein weiterer Vergleich der Blickbewegungsmuster erfordert aufgrund der sehr starken Streuungen sowohl der Blickpunktanzahlen als auch der Wendestellenanzahlen eine weitere Datentransformation. Hierzu die folgenden Überlegungen: In den Bildern 5-22 und 5-23 ist ersichtlich, dass der projizierte Fixationsdauerabweichungsverlauf Schwankungen von geringerer, von mittlerer und von größerer Reichweite aufweist. Die unterschiedlichen Reichweiten der Schwankungen können folgendermaßen erklärt werden:

Lokale Schwankungen ...

... mit einer geringeren Reichweite stehen vermutlich in einem Zusammenhang mit einem konkreten Verständnisproblem während der Informationsaufnahme. Hierbei kann es sich beispielsweise um ein Segregationsproblem handeln, bei dem ein Bauteil in einer Baugruppe identifiziert werden soll.

Regionale Schwankungen ...

... mit einer mittleren Reichweite stehen vermutlich in einem Zusammenhang mit einem Gedankengang, der sich unmittelbar aus der Lösung eines Teilproblems, der Bestätigung einer spontanen Idee o. ä. ergibt. Während dieses Gedankenganges

konkret auftretende Verständnisprobleme führen wiederum zu lokalen Schwankungen geringer Reichweite.

Globale Schwankungen ...

... mit einer größeren Reichweite stehen vermutlich in einem Zusammenhang mit der übergeordneten Problemlösungsstrategie, die in ihrem Verlauf dem quantitativen Informationsverarbeitungsaufwandsverlauf (vgl. Bild 5-1) entspricht.

Die beabsichtigte Verifikation bzw. Falsifikation des entwickelten Prozessmodells der Zeichnungsinterpretation soll sich gemäß dem Untersuchungsziel jeweils auf den gesamten Interpretationsprozess beziehen. Mithin sind die globalen Schwankungen von einem besonderen Interesse. Eine Methode, die lokalen sowie die regionalen Schwankungen aus den projizierten Fixationsdauerabweichungsverläufen heraus zu filtern, ist die Regressionsanalyse. Das Ziel dieser Analyse ist es, die mathematisch nicht definierten Verläufe der projizierten Fixationsdauerabweichungen in ein mathematisch beschreibbares Modell und somit in eine vergleichbare Form zu überführen. Eine iterative Analyse zeigt, dass Regressionspolynome von Grad 6 die projizierten Fixationsdauerabweichungsverläufe mit einer ausreichenden Genauigkeit (vgl. Tab. 5-19) substituieren.

Die benannten Charakteristika der projizierten Fixationsdauerabweichungsverläufe stellen sich unter Einbeziehung des zugehörigen Regressionspolynoms von Grad 6 für den Interpretationsprozess der Aufgabe 1-1 des achten Probanden wie folgt dar:

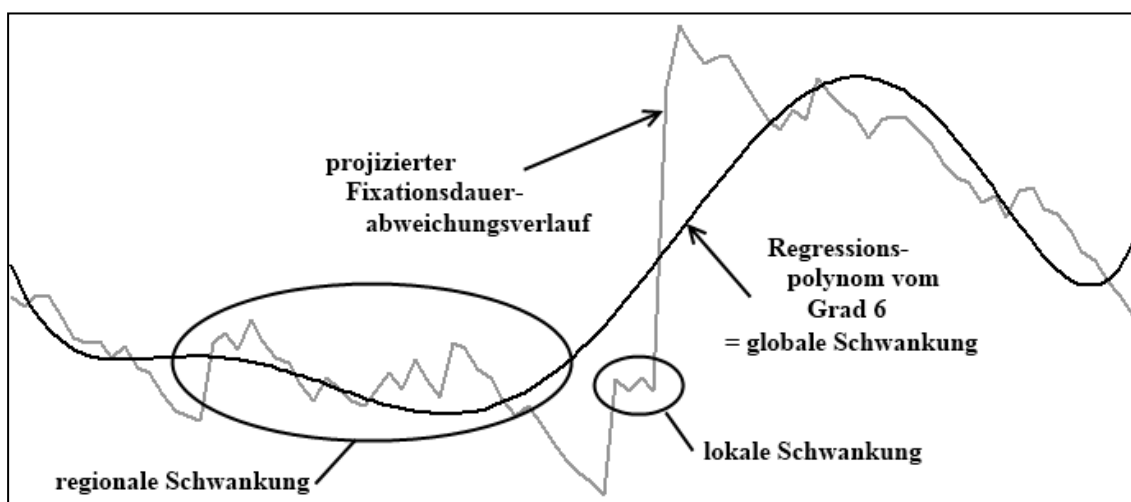


Bild 5-32: Charakteristik projizierter Fixationsdauerabweichungsverläufe

Tabelle 5-19: Bestimmtheitsmaße der Regressionspolynome vom Grad 6

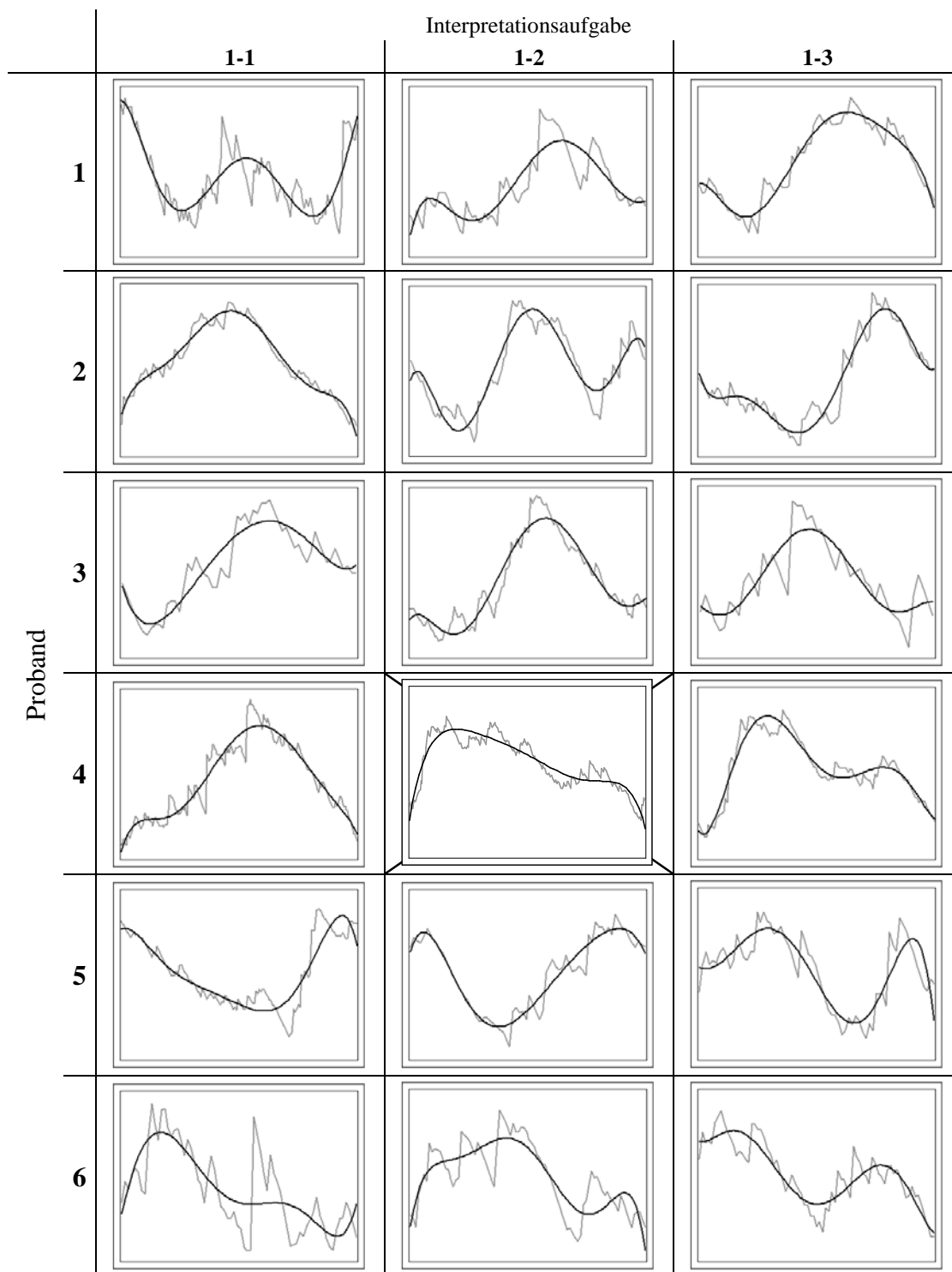
	Interpretationsaufgabe									
	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3	
Proband	1	0,7483	0,7462	0,9436	0,8463	0,8670	0,6013	0,9189	0,9186	0,4512
	2	0,9619	0,8746	0,9282	0,9500	0,7232	0,9435	0,4944	0,5314	0,7984
	3	0,8553	0,9222	0,7549	0,4376	0,8118	0,8564	0,4570	0,8247	0,6546
	4	0,9272	0,8619	0,9247	0,7040	0,5820	0,9784	0,8962	0,7093	0,8259
	5	0,8311	0,9274	0,7824	0,5889	0,3437	0,8722	0,7275	0,6682	0,8184
	6	0,5927	0,6993	0,8133	0,7329	0,9455	0,8744	0,8878	0,7956	0,9156
	7	0,8249	0,6924	0,7561	0,7902	0,8941	0,3728	0,9152	0,8921	0,9293
	8	0,7601	∅	∅	0,8463	0,8670	∅	0,9189	0,9186	∅
Min	0,5927	0,6993	0,7549	0,5889	0,3437	0,6013	0,4570	0,5314	0,4512	
	0,5927			0,3437			0,4512			
	0,3437									
Max	0,9619	0,9274	0,9436	0,9500	0,9455	0,9784	0,9189	0,9186	0,9156	
	0,9274			0,9455			0,9156			
	0,9455									
\bar{x}	0,8194	0,8104	0,8433	0,7687	0,7382	0,7856	0,7303	0,7525	0,7440	
	0,8254			0,7639			0,7423			
	0,7776									
Z	0,8432	0,8104	0,8133	0,7616	0,8118	0,8722	0,8077	0,7525	0,8084	
	0,8311			0,8010			0,7970			
	0,8133									
R	0,3692	0,2281	0,1887	0,3611	0,6018	0,3771	0,4619	0,3872	0,4644	
	0,3347			0,6018			0,4644			
	0,6018									
σ	0,1340	0,1102	0,0856	0,1242	0,2120	0,2187	0,2089	0,1461	0,1664	
	0,1049			0,1507			0,1654			
	0,1567									

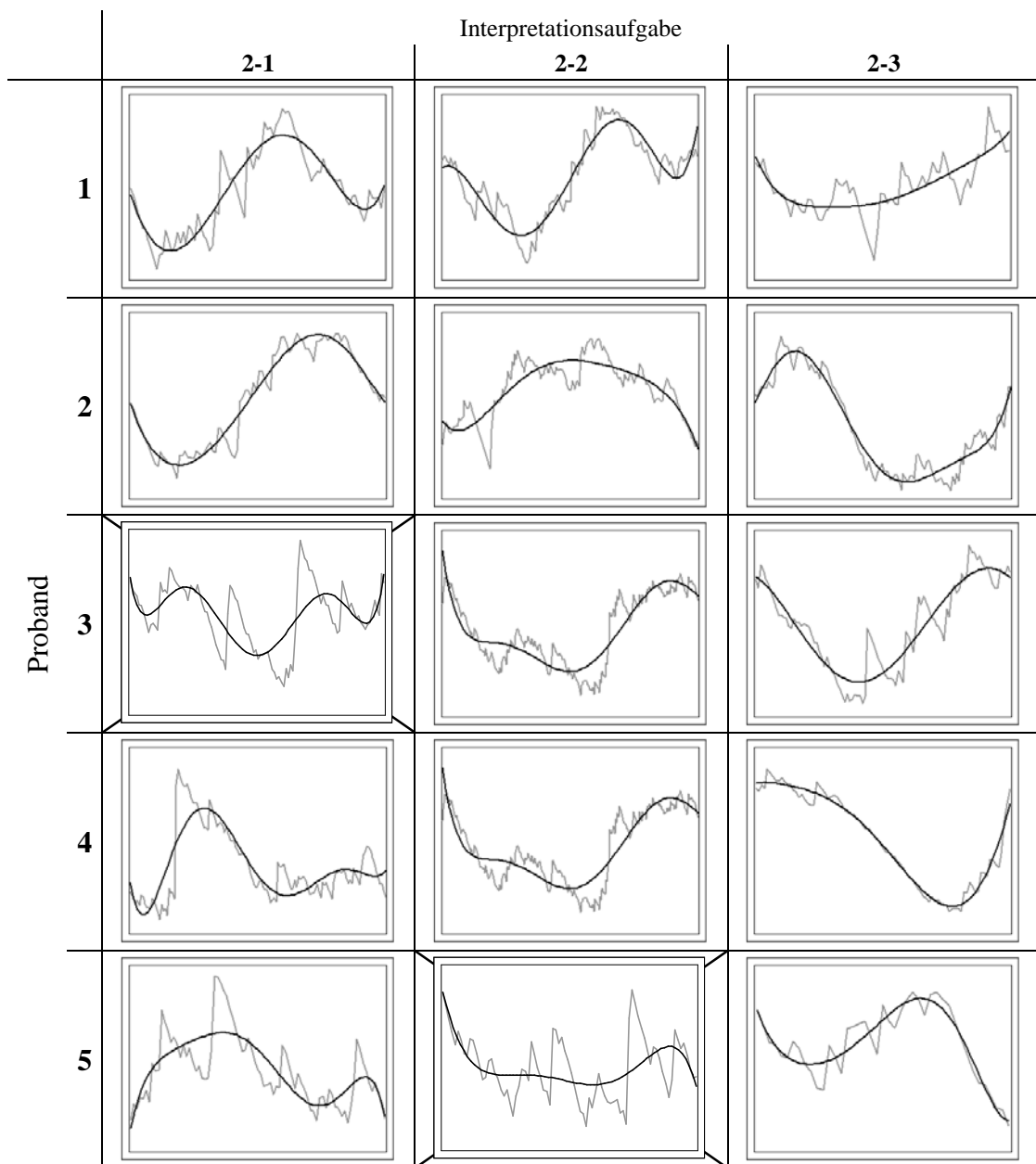
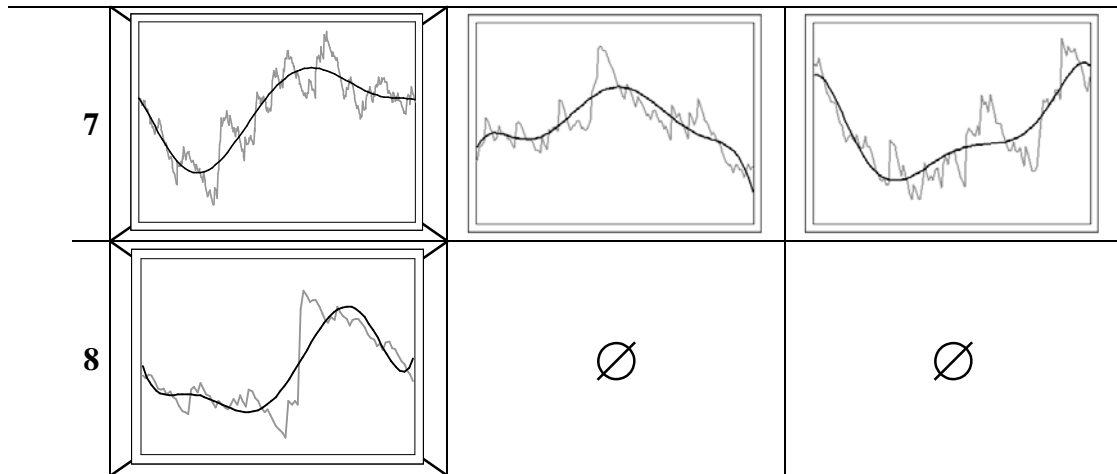
∅ fehlerhafte Aufzeichnung
 ☒ Ausreißer

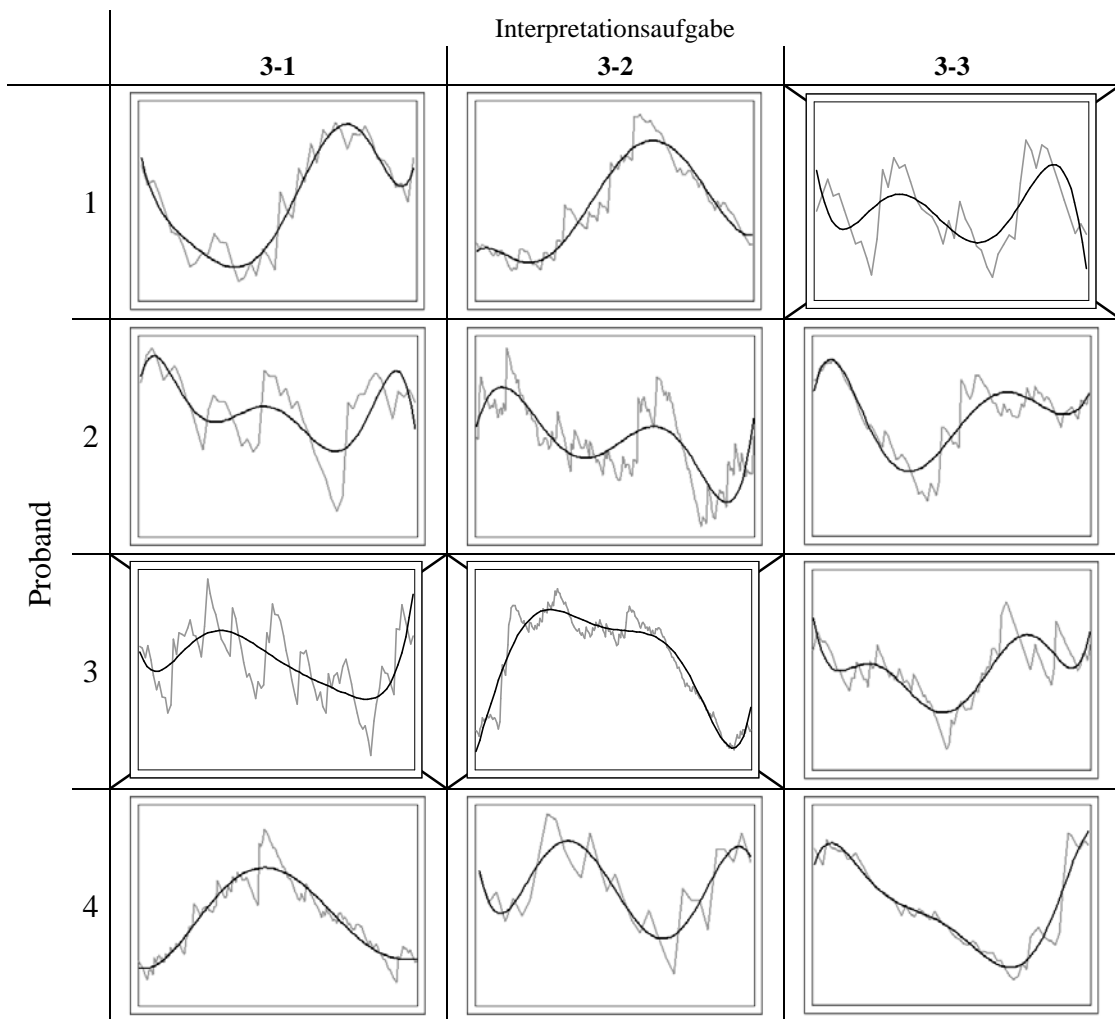
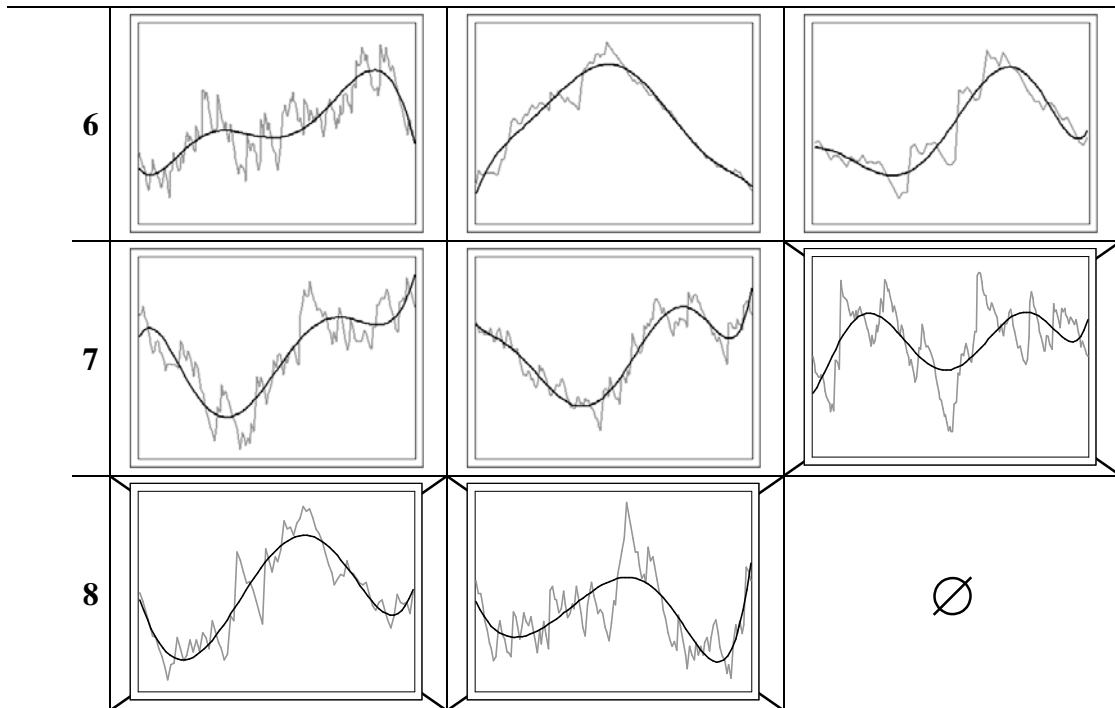
Eine Analyse der Bestimmtheitsmaße auf Normalverteilung liefert einen Prüfwert von $\eta^2 = 90,5\%$, so dass ihre Verteilung eine sehr gute Annäherung an die Normalverteilung ist. Bei einem mittleren Bestimmtheitsmaß von $\bar{x} = 0,7776$ und der mittleren Standardabweichung von $\sigma = 0,1567$ fallen die folgenden Beobachtungsergebnisse, die außerhalb der 2σ -Umgebung (95,4%-Umgebung; 0,4642 ... 1,091) liegen, als Ausreißer auf: 1_3-3, 3_3-1, 5_2-2, 7_2-3. Diese Ausreißer werden in den folgenden Untersuchungen nicht weiter betrachtet. Hierdurch ändern sich die statistischen Zentralwerte wie folgt: Min = 0,4944, Max = 0,9784, $\bar{x} = 0,8254$, Z = 0,8259, R = 0,4840, $\sigma = 0,1218$. Die Basis für die weiteren Untersuchungen besteht somit aus 53 Datensätzen.

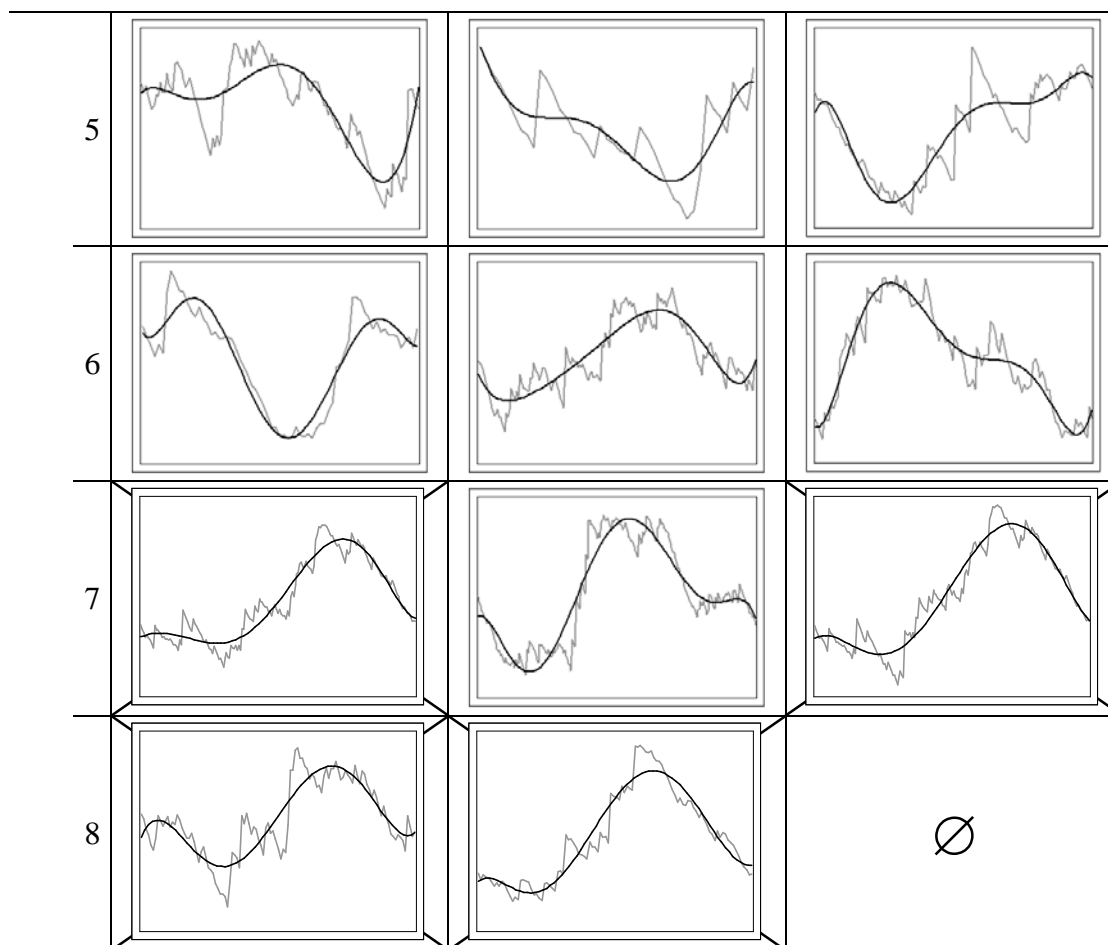
Die projizierten Fixationsdauerabweichungsverläufe sowie die Verläufe der Regressionspolynome vom Grad 6 stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 5-21: **Projizierte globale Fixationsdauerabweichungsverläufe**









∅ fehlerhafte Aufzeichnung
 ☒ Ausreißer

Ein weiterer Vergleich der projizierten globalen Fixationsdauerabweichungsverläufe erfordert eine Klassifikation der Regressionspolynome. Hierzu wird jeweils der Anfangs-Trend (A) und der End-Trend (E) sowie die Zwischentrends (Z) wie folgt mittels einer visuellen Analyse bewertet:

A: Anfangs-Trend (1 = steigend, 0 = fallend)

Z: Anzahl alternierender Zwischen-Trends

E: End-Trend (1 = steigend, 0 = fallend)

Entsprechend dieser Klassifizierungssystematik können die Regressionspolynome in der Form A Z E beschrieben werden. So entspricht etwa der gemäß der Hypothese (vgl. Kap. 5.2, Bild 5-1) erwartete qualitative Fixationsdauerabweichungsverlauf der Kodierung „120“; diese bedeutet: Ein steigender Anfangs-Trend – zwei alternierender Zwischen-Trends (ein fallender und ein steigender) – ein fallender End-Trend. Die kodierten Fixationsdauerabweichungsverläufe aller Regressionspolynome sind in Tabelle 5-21 benannt.

Tabelle 5-21: Kodierte Fixationsdauerabweichungsverläufe

	Interpretationsaufgabe								
	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-3
1	0 2 1	1 3 1	0 1 0	0 2 1	1 3 1	0 0 1	0 2 1	1 2 0	0 3 0
2	1 0 0	1 4 0	0 2 1	0 1 0	0 1 0	1 1 1	1 4 0	1 3 1	1 3 1
3	0 2 1	1 3 1	0 2 1	0 4 1	0 1 0	0 1 0	0 2 1	1 1 1	0 4 1
4	1 0 0	1 0 0	0 3 0	0 4 1	0 1 0	0 0 1	1 0 0	0 3 0	1 1 1
5	0 1 0	1 2 0	1 2 0	1 2 0	0 1 0	0 1 0	1 3 1	0 0 1	1 2 0
6	1 1 1	1 2 0	1 2 0	0 3 0	1 0 0	0 2 1	0 3 0	0 2 1	1 1 1
7	0 1 0	1 2 0	0 1 0	1 3 1	0 2 1	1 3 1	1 2 0	0 1 0	1 2 0
8	0 2 1	∅	∅	0 2 1	0 2 1	∅	1 3 1	1 3 1	∅

∅ fehlerhafte Aufzeichnung
 ☒ Ausreißer

Die Häufigkeitsverteilungen der verschiedenen Trendklassen der projizierten globalen Fixationsdauerabweichungsverläufe sind in Bild 5-33 dargestellt. Eine Analyse der einzelnen Trendanteile ist in Bild 5-34 beschrieben.

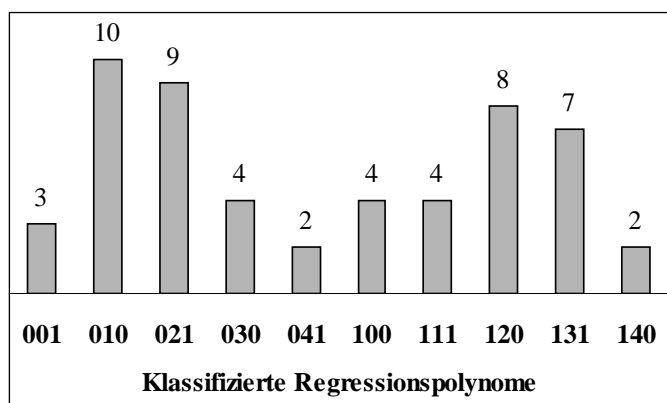


Bild 5-33: Trendanalyse – Häufigkeiten der Trendklassen

5.5.2.2 Beurteilung der Häufigkeitsverteilung der Trendklassen

Wie aus Bild 5-33 hervorgeht, weisen in den durchgeführten Interpretationsuntersuchungen lediglich acht der 53 bewerteten Fixationsdauerabweichungsverläufe (dies sind ca. 15%) die erwartete Trendklasse „120“ (vgl. Kap. 5.2) auf. Der primäre Grund für dieses geringe Auftreten der erwarteten Trendklasse ist die generelle Individualität der Interpretationsprozesse, die sich sowohl in der Trendklassenverteilung der einzelnen Probanden als auch in der Trendklassenverteilung der verschiedenen Aufgaben mit folgenden Ergebnissen zeigt:

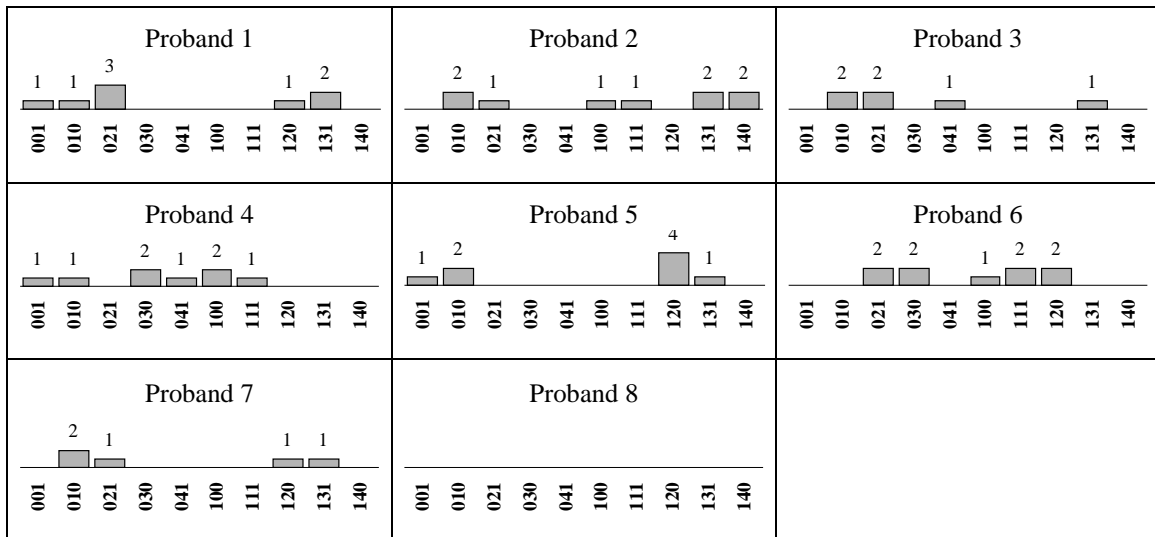


Bild 5-34: Probandenbezogene Trendklassenverteilung

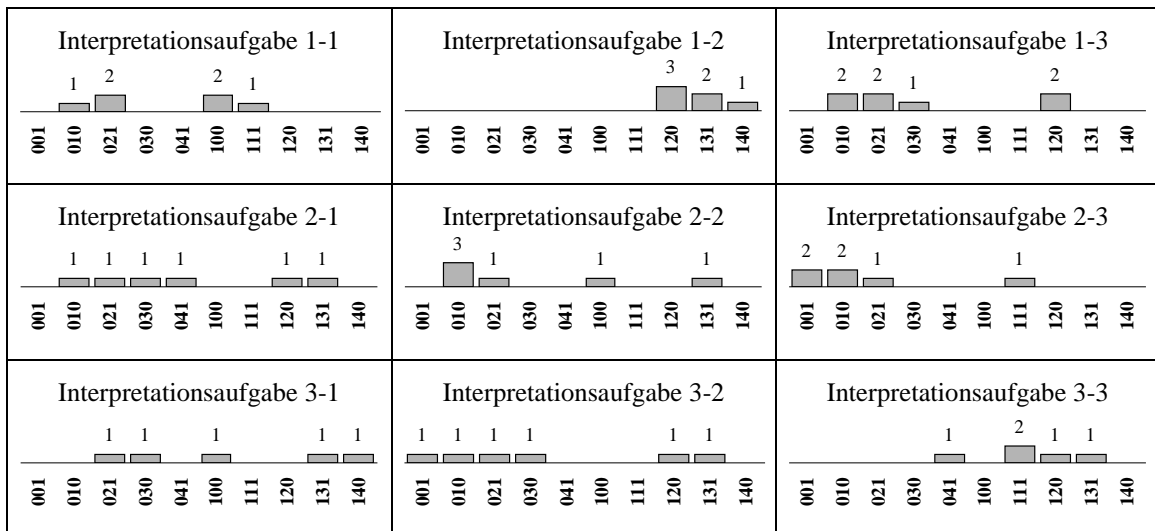


Bild 5-35: Aufgabenbezogene Trendklassenverteilung

In den Bildern 5-34 und 5-35 ist ersichtlich, dass keine offensichtlichen Tendenzen bezüglich der Trendklassenverteilung vorliegen. Ursächlich hierfür ist unter anderem, dass in einigen Interpretationsprozessen eine Präparationsphase durchlaufen wird und in anderen nicht. Da die Probanden in einigen Untersuchungen vor dem Interpretationsprozess noch keine Erwartungshaltung entwickelt hatten mussten sie diese erst in einem anfänglichen Prozess des antizipierenden Überblickslesens entwickeln. Ein Indiz für diese These ist, dass die Probanden insbesondere beim jeweiligen Erstkontakt mit der Technischen Zeichnung Informationen im Schriftfeld suchten (vgl. Tab. 5-4). Ferner ist es möglich, dass die Reflexionsphase in einigen Interpretationsprozessen durchlaufen wurde und in anderen nicht. Des Weiteren kann es vorgekommen sein, dass ein

Interpret bei einer ihm auffallenden Fehlinterpretation unbewusst in eine frühere Phase zurückgesprungen ist, um seinen selbst erkannten Fehler zu beheben. Mithin verbleiben als objektiver Nachweis für die Gültigkeit des entwickelten Prozessmodells der Zeichnungsinterpretation die zyklischen Schwankungen der projizierten Fixationsdauerabweichungsverläufe.

Die zyklischen Schwankungen der projizierten Fixationsdauerabweichungsverläufe beweisen, dass sich in den beobachteten Interpretationsprozessen wie erwartet Phasen intensiverer kognitiver Informationsverarbeitung mit solchen, die einen geringeren Verarbeitungsaufwand erfordern, abwechseln. Diesbezüglich unterscheiden sich die beobachteten Verläufe in der Anzahl der zyklischen Trends. Gemäß der erwarteten Trendklasse „120“ werden vier Phasen erwartet. Wird der Umstand berücksichtigt, dass die erwartete Reflexionsphase auch entfallen kann, so sind im engeren Sinn des Interpretationsprozesses noch mindestens drei Phasen zu erwarten. Wie in Bild 5-33 beschrieben unterschreiten lediglich sieben der 53 beobachteten Fälle (ca. 13%) der Trendklassen „001“ und „100“ diesen erwarteten Wert. Insgesamt verteilen sich die beobachteten Trendanzahlen statistisch wie folgt:

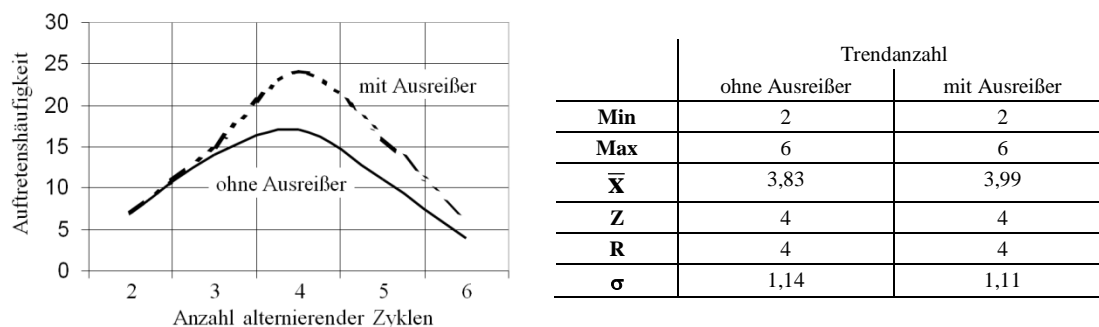


Bild 5-36: Blickbewegungsphasenverteilung

In Bild 5-36 ist beschrieben, dass die beobachteten Fixationsdauerabweichungen im statistischen Mittel sowohl ohne als auch mit Ausreißern durchschnittlich vier verschiedene Phasen durchlaufen, von denen jeweils zwei einen geringeren kognitiven Informationsverarbeitungsaufwand erfordern als die beiden anderen. Hiermit ist das Phasenmodell für Zeichnungsinterpretationsprozesse eindeutig bewiesen. Abweichungen von dieser mittleren Phasenanzahl können sich sowohl aufgrund individueller Probleme der Interpreten als auch aufgrund aufgabenspezifischer Schwierigkeiten ergeben.

5.6 Abschließende Bewertung der Untersuchungen

Mit den im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten und ausgewerteten Zeichnungsinterpretationsuntersuchungen wurde das Ziel verfolgt, die Existenz der im Prozessmodell der Zeichnungsinterpretation (vgl. Kap. 4) beschriebenen Phasen nachzuweisen. Im Idealfall wird angenommen, dass eindeutig die folgenden vier Prozessphasen unterschieden werden können: Inkubationsphase, Konzeptionsphase, Argumentationsphase und Reflexionsphase. Da Interpretationsprozesse jedoch höchst individuelle kognitive Prozesse sind, die sehr stark von dem Vorwissen, den Erfahrungen und den gedanklichen Fähigkeiten des Interpreten abhängen, kann zusätzlich eine beobachtbare Präparationsphase (vgl. Kap. 4-4) erforderlich sein, oder die Reflexionsphase kann entfallen; auch ist es möglich, dass einzelne Phasen mehrfach durchlaufen werden. Im statistischen Mittel konnten in den durchgeführten Untersuchungen – wie erwartet – vier aufeinanderfolgender Phasen beobachtet werden, deren Blickbewegungsgeschwindigkeiten abwechselnd zu- und abnahmen. Einheitliche Anfangs- und End-Trends konnten jedoch aus den benannten Gründen nicht beobachtet werden.

Zur Legitimation der beobachteten Blickbewegungsmuster, in denen sich die Interpretationsphasen widerspiegeln, ist der Nachweis erforderlich, dass die Blickbewegungen während der Interpretation Technischer Zeichnungen nicht zufällig erfolgen. Mit Hilfe des Folge-Vorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore ist es gelungen zu zeigen, dass die prozentual-anteilige Verteilung der drei definierten Blickwechselkategorien sehr gut an eine Normalverteilung angenähert ist und dass die Wechsel zwischen den einzelnen Trends systematisch erfolgen. Damit ist nachgewiesen, dass die Blickbewegungen einer gewissen Strategie folgen.

Mithin konnte mittelbar auf der Grundlage der Blickbewegungen während der Zeichnungsinterpretationsuntersuchungen, welche durch eine Vielzahl von unbestimmbaren psychologischen Faktoren gesteuert werden, das entwickelte Prozessmodell verifiziert werden.

Des weiteren zeigte die Auswertung der Blickbewegungsdaten, dass die projizierten Fixationsdauerabweichungsverläufe Schwankungen unterschiedlicher Reichweite aufweisen, welche auf unterschiedliche Lese- bzw. Interpretationsschwierigkeiten hinweisen. Ferner konnte beobachtet werden, dass in ca. 40% der Interpretationszeit Suchprozesse stattfinden und in den restlichen 60% kognitiven Informationsverarbeitungsprozesse, wobei die einzelnen Teilprozesse etwa $0,6 \pm 0,2$ Sekunden andauerten.

6 Heuristiken der Zeichnungsinterpretation

Auf der Grundlage des in Kapitel 4 entwickelten Prozessmodells der Zeichnungsinterpretation können in Abhängigkeit der Interpretationsaufgabe Heuristiken entwickelt werden, welche den Interpretationsprozess derart unterstützen, dass die Erfolgsaussicht für eine richtige Problemlösung relativ hoch ist.

6.1 Das Wesen von Heuristiken

Bevor folgend aus dem Prozessmodell der Interpretation Technischer Zeichnungen eine Heuristik abgeleitet wird, folgen zunächst einige Gedanken zum Wesen von Heuristiken.

Eine Heuristik kann beschrieben werden als eine Methode zur Bewältigung von Problemlösungsprozessen, welche aus einem Vorschlag besteht, der empfiehlt, einen zu behandelnden Gegenstandsbereich in bestimmter Weise aufzufassen und zu strukturieren. Die Anwendung einer Heuristik bietet jedoch keine Garantie für eine richtige Problemlösung. Vielmehr bietet sie nur den „roten Faden“ eines spezifischen Erkenntnisinteresses an, dem der Interpret folgen kann, aber dem er nicht zwingend folgen muss. Für die Entwicklung der verschiedenen hierarchischen Verständnisse kann es jedoch keine festen Regeln geben, da bei dem Hervorbringen von etwas neuem, zuvor noch nie gedachtem immer Assoziationen und Zufälle mitspielen. Mithin führen nur Systematik und Intuition im gemeinsamen Wechselspiel zum Ergebnis.

Der Wert einer Heuristik besteht demnach nicht darin, diese perfekt anzuwenden, sondern darin, Fragen zu finden, die helfen, das Problem zu lösen. Mit der Formulierung dieser Fragen entwickelt sich unbewusst immer auch ein Konzept zur Problemlösung, welches einen möglichen Lösungsweg beinhaltet. Entsprechend diesem Wesen von Heuristiken zeigt sich die Qualität von Interpretations-Heuristiken nicht darin, zielgerichtete Fragen zu stellen, sondern vielmehr darin, Sichtweisen vorzuschlagen, die es dem Interpreten ermöglichen eigene Fragen zu entwickeln, die er dann selbst beantwortet. Geleitet durch dieses subjektbezogene "Frage-Antwort-Spiel" findet der Interpret letztlich auf einem individuellen Gedankenpfad die Problemlösung.

6.2 Eine Heuristik zur Erstellung einer Funktionsbeschreibung

Im Folgenden wird aus dem entwickelten Prozessmodell der Zeichnungsinterpretation exemplarisch eine Heuristik zur Erstellung einer Funktionsbeschreibung für ein technisches System, welches seine Funktion auf der Grundlage mechanischer Gesetzmäßigkeiten, also wahrnehmbar durch Bewegung erfüllt, abgeleitet. Diese stellt sich wie folgt dar:

1. Schau Dich um.

Lass Deinen Blick über die Zeichnung schweifen und achte dabei auf Bauteile, die Dir bekannt vorkommen. Verbindungselemente solltest Du hierbei ignorieren.

Überlege, in welchen Zusammenhängen Du die bekannten Bauteile schon einmal gesehen hast und mit welchen anderen Bauteilen sie vorgekommen sind.

Mache Dir noch keine Gedanken über die Bedeutung der Bauteile für die Funktion.

2. Strukturiere Deine Gedanken.

Schau dir ein (wieder)erkanntes Bauteil an. Wenn dies kein Verbindungselement ist, stell Dir vor, Du wolltest dieses Bauteil bewegen.

Überlege, ob das Bauteil bewegt werden kann oder ob eine Bewegung von anderen Bauteilen behindert wird bzw. ob sich die Bewegung auf andere Bauteile überträgt.

Folge der Bewegung, bis sie aus dem technischen System austritt. Versuche nun, die Bewegung von dieser Austrittsstelle durch das System bis zu einer anderen Austrittsstelle fortzuführen.

3. Begründe Deine Idee.

Lese die Zeichnung nun nochmals entlang der bewegten Bauteile. Beginne hierbei mit einem Bauteil, das Bewegung von außen aufnehmen kann.

Betrachte die jeweils benachbarten Bauteile. Überlege, welche Bedeutung diese benachbarten Bauteile für die Bewegung haben.

Mache Dir Gedanken darüber, welche fachlogischen Bedingungen erfüllt sein müssen, damit die einzelnen Bauteile ihre Teilfunktion erfüllen. Bedenke hierbei auch, dass sich die Umgebungsbedingungen, einwirkende Kräfte o. ä. verändern können.

Folge bei Deinen Überlegungen dem Bewegungsfluss und mach Dir diese Gedanken über jedes Bauteil, bis die Bewegung das technische System wieder verlässt.

4. Bewerte Deine Lösung.

Überlege, wem Du, wie Du und zu welchem Zweck Du Deine Lösung präsentieren möchtest.

Lese die Zeichnung nochmals entlang des Bewegungsflusses. Wähle hierbei die Informationen aus, die Du mitteilen willst.

Denke zugleich darüber nach, ob Deine Lösung aus fachlogischer Sicht richtig und vollständig ist.

Erläuterungen zur dargestellten Heuristik:

zu 1.: Schau Dich um.

Ein Hinweis auf ungewöhnlich erscheinende oder unerwartete Bauteile ist nicht erforderlich, da der Interpret, wenn diese in sein Blickfeld geraten, sie ohnehin reflexiv oder auch willentlich wahrnimmt und sich Gedanken über sie macht.

Der Hinweis darauf, dass Verbindungselemente ignoriert werden sollen, ist wichtig, da diese Elemente aufgrund ihres, in technischen Systemen, regelmäßigen Vorkommens immer zum Beginn des Leseprozesses vom Interpreten wahrgenommen werden. Näheres zur Funktion von Verbindungselementen siehe Erläuterungen zu 2.

zu 2.: Strukturiere Deine Gedanken.

Bei technischen Systemen, deren Funktion nach den Gesetzmäßigkeiten der mechanischen Technik erfüllt wird, beruht die Organisation der funktionserfüllenden Bauteile auf ihrer räumlichen Ausdehnung und Anordnung, welche sich infolge von Bewegungen kraft- und zeitabhängig verändern können. Die am einfachsten wahrnehmbare und gedanklich verarbeitbare Größe ist hierbei die Bewegung, welche entsprechend der Systemtheorie bei offenen Systemen über die Systemgrenzen hinweg mit der Umwelt ausgetauscht werden kann. Eine Untersuchung der Input-Output-Beziehungen der Systemgröße „Energie“ in Form von Bewegung vermag somit eine erste Lösungsidee bezüglich der Funktion des Systems der mechanischen Technik zu liefern.

Der Hinweis darauf, dass das betrachtete Bauteil kein Verbindungselement sein soll, ist aufgrund der Funktion von Verbindungselementen wichtig. Diese besteht darin, die Relativbewegung benachbarter Bauteile gezielt zu verhindern, so dass sich die räumliche Ausdehnung und Anordnung der Bauteile nicht infolge von Bewegungen kraft- und zeitabhängig verändern können. Die miteinander verbundenen Bauteile bilden

somit eine quasi starre Baugruppe, die ähnlich einem einzelnen Bauteil, als eine Bewegungseinheit zu betrachten ist. Somit sind Verbindungselemente sowie die verbundenen Bauteile in diesem Stadium der Zeichnungsinterpretation für die Funktionsbeschreibung sekundär. Eine differenzierte Bauteilanalyse kann in dem dritten Interpretationsschritt, der Argumentation, erfolgen.

zu 3.: Begründe Deine Idee.

Die spezifische Perspektive, welche bei der Argumentation eingenommen werden soll, ergibt sich unmittelbar aus dem Kontext des Interpretationsanlasses. So kann beispielsweise bei einer Funktionsbeschreibung, die zum Zweck der Einweisung eines Kunden in den Betrieb des technischen Systems erstellt wird, selbst auf eine fachlogische Betrachtung verzichtet werden, da der Kunde davon ausgeht, dass das System fachlogisch richtig konstruiert wurde. Ist jedoch z. B. eine Funktionsbeschreibung mit dem Ziel anzufertigen, später einen Wartungsplan zu erstellen, so sind die wirkenden Kräfte, die Zeit und die Temperaturen sehr wohl von kontextspezifischem Interesse.

zu 4.: Bewerte Deine Lösung.

Zur Vorbereitung der Kommunikation der Problemlösung sind besonders der Kenntnisstand und die Erfahrungen des Adressaten sowie die anfängliche Problemstellung zu beachten. Kommuniziert werden nur solche Informationen, die vom Adressaten verstanden werden können und die für diesen wichtig sind. Für die Kommunikation gilt immer der Grundsatz "nur so viele Informationen wie nötig, nicht wie möglich".

6.3 Ein Interpretationsbeispiel

Im Folgenden wird ein Beispiel zur Nutzung der Heuristik zur Funktionsbeschreibung eines technischen Systems der mechanischen Technik gegeben. Der Interpretationsanlass ist es, einem technisch wenig qualifizierten Kunden den Zweck und die Bedienung des in Bild 6-1 dargestellten technischen Systems zu erklären.

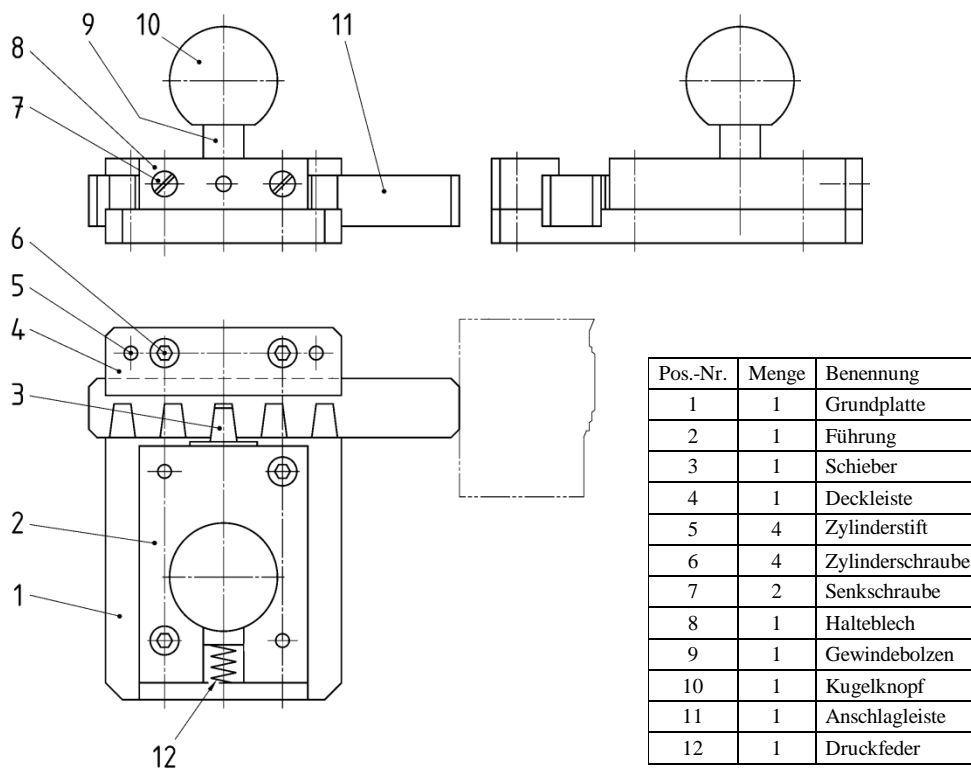


Bild 6-1: Baugruppenzeichnung "Verstellbarer Anschlag" /eur05/

Zur Vermeidung sprachlicher Probleme, welche sich auf die Darstellung in Orthogonalprojektion beziehen, sollen die folgenden bildlichen Darstellungen des in Bild 6-1 dargestellten technischen Systems dienen:

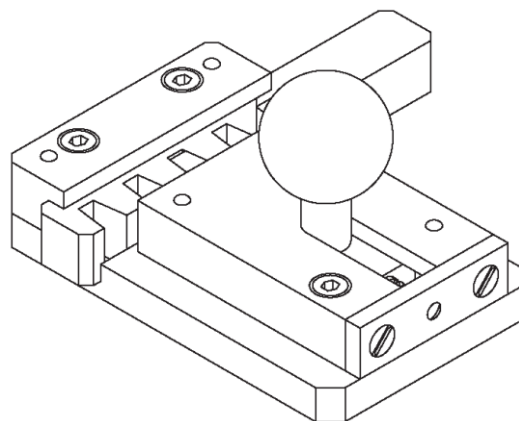


Bild 6-2: Bildliche Darstellung "Verstellbarer Anschlag" /eur05/

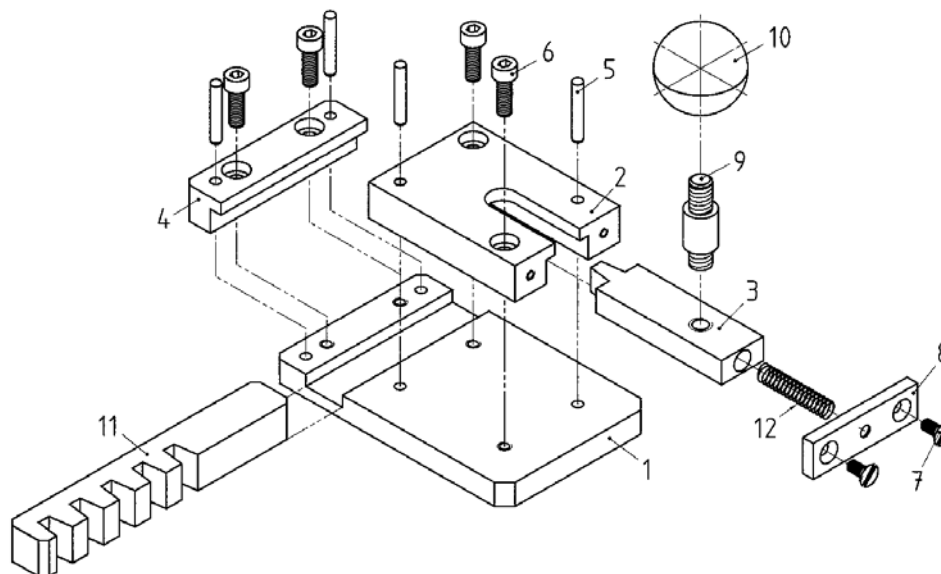


Bild 6-3: Bildliche Explosionsdarstellung "Verstellbarer Anschlag" /eur05/

Die einzelnen Interpretationsphasen können mit Hilfe der aus dem Prozessmodell der Zeichnungsinterpretation abgeleiteten Heuristik zur Funktionsbeschreibung auszugsweise in der Form eines Gedankenprotokolls wie folgt erläutert werden:

1. Inkubation: Schau Dich um.

Bei einem schweifenden Blick über die Baugruppenzeichnung fällt z. B. die Position 10 auf. Hierbei scheint es sich aufgrund der ikonischen Ähnlichkeit um einen Kugelknopf zu handeln; ein Blick in die Stückliste bestätigt diese Vermutung. Derartige Griffelemente werden vielfältig eingesetzt, so z. B. bei Pkw-Schalthebeln, Gartentorfallen oder als Griffe an Türen, Möbeln oder auch Spannelementen. Als nächstes fällt z. B. das regelmäßige „Zick-Zack-Muster“ der Pos. 11 auf; hierbei könnte es sich um eine Zahnstange, um einen Reißverschluss o. ä. handeln. Es ist somit offensichtlich mit einem anderen Bauteil verbunden. ...

2. Konzeption: Strukturiere deine Gedanken.

Wenn man sich nun vorstellt, man würde wie an einer Torfalle das Bauteil Pos. 10 nach oben ziehen, so stellt man fest, dass dies (da die Pos. 3, 9 und 10 miteinander verschraubt sind und sie somit eine quasi starre Einheit bilden) nur gelingt, wenn man Pos. 9 und Pos. 3 mit zieht. Dies wird jedoch durch die Pos. 2 verhindert. Wenn man sich vorstellt, an Pos. 10 wie an einem Pkw-Schalthebel zu rühren, so stellt man fest, dass sich die Bewegungseinheit (Pos. 3, 9, 10) in Achsrichtung der Nut in dem Bauteil Pos. 2 verschieben lässt. ... Hierdurch kann man anscheinend den Zahn des Bauteils Pos. 3 in die Zahnlücken des Bauteils Pos. 11 schieben bzw. aus diesen heraus ziehen. ... Wenn der Zahn des Bauteils Pos. 3 aus der Zahnlücke des Bauteils Pos. 11 entfernt ist, kann dieses offensichtlich quer zur Bewegungsrichtung der Bewegungseinheit Pos. 3, 9 und 10 verschoben werden. ...

3. Argumentation: Begründe deine Lösungsidee.

Das Bauteil Pos. 11 kann in Längsrichtung verschoben werden, wenn der Zahn des Bauteils Pos. 3 nicht in eine Zahnücke eingreift und wenn zwischen dem Bauteil Pos. 11 und der dieses führenden Baueinheit (Pos. 1, 2, 4) hinreichend Bewegungsspiel besteht; d. h. wenn die Bauteilabmaße derart sind, dass eine Spielpassung zwischen den sich relativ zueinander bewegenden Baugruppen besteht. ... Das Bauteil Pos. 11 wird in seiner Lage in Axialrichtung durch den Zahn des Bauteils Pos. 3 (sofern die in Axialrichtung auf das Bauteil Pos. 11 einwirkenden Kräfte nicht derart groß sind, dass sie diesen abreißen) fixiert. ... Das Bauteil Pos. 12 drückt den Zahn des Bauteils Pos. 3 permanent in die Zahnücke des Bauteils Pos. 11. Hierdurch wird verhindert, dass sich die Fixierung des Bauteils Pos. 11 selbstständig löst. ... Das Bauteil Pos. 12 stützt sich über die Bauteile 7 und 8 am Bauteil Pos. 2 ab. ...

4. Reflexion: Bewerte deine Lösung.

Bei dem in Bild 6-1 dargestellten technischen System handelt es sich um einen verstellbaren Anschlag, der etwa zur Herstellung einer Reihe von Bohrungen mit demselben Abstand verwendet werden kann; dies ist beispielsweise bei der Herstellung von Gartentorbeschlägen erforderlich. Nachdem der Anschlag auf der Bohrmaschine eingerichtet ist, kann das erste Loch gebohrt werden, ohne dass seine Position vorher auf dem Werkstück angerissen werden muss. Zur Herstellung der zweiten Bohrung muss der Anschlag verstellt werden. Dies geschieht, indem man am Griff (Pos. 10) zieht, diesen festhält und dann die Anschlagleiste (Pos. 11) verschiebt. Nachdem die Anschlagleiste eingerastet ist, kann das Werkstück wieder vor den Anschlag geschoben werden, und das nächste Loch kann gebohrt werden, wiederum ohne dass dieses angerissen werden muss. ...

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Entwicklung eines Prozessmodells der Interpretation Technischer Zeichnungen (der mechanischen Technik) verfolgte die folgenden pragmatischen Ziele:

1. Die Grundlage für die Entwicklung einer Software zur automatischen Zeichnungsinterpretation liefern.
2. Die Basis für die Formulierung von Heuristiken zur Ableitung impliziert in Technischen Zeichnungen präsentierter Produktdaten beschreiben.

Im Rahmen der Arbeit bereitete bereits die Zielformulierung erhebliche Probleme, da z. B. nicht nur einzelne Forscher unterschiedliche Begriffsvorstellungen vom Lese- bzw. Interpretationsprozess haben, sondern weil auch die in der Norm DIN 199 /din199-1/ definierten Begriffe z. T. ambivalent beschrieben sind. Um die begrifflichen Probleme zu beheben wurde in den Kapiteln 2.1 und 2.2 das Objekt "Technische Zeichnung" aus der Perspektive technischer Produktdokumentationen chronologisch, typologisch und phänomenologisch analysiert. Die Ergebnisse der Objektanalyse mündeten in Definitionen der für die Zeichnungsinterpretation zentralen Begriffe "Technische Zeichnung", "Bauteil-Zeichnung" und "Baugruppen-Zeichnung" (vgl. Definitionen 1 bis 3) sowie der Funktionen Technischer Zeichnungen – dies sind die instrumentelle, die deskriptive und die explikative Funktion – (vgl. Definitionen 4 bis 6). Die Definition der Zeichnungsbegriffe erforderte es, die in Technischen Zeichnungen präsentierten Daten in ein übergeordnetes Produktdatenmodell einzuordnen und detailliert zu analysieren (vgl. Kap. 2.1.2). Hierbei stellte sich heraus, dass die bekannten Datenmodelle bezüglich der Zeichnungsinterpretation strukturelle Defizite aufweisen. Daher wurde ein erweitertes Produktdatenstrukturmodell entwickelt, das die Datenverarbeitung chronologisch strukturiert und in die chronologische Struktur technischer Produktdokumentationen einordnet und zu den Funktionen Technischer Zeichnungen in Beziehung setzt. In dem Kapitel 2.3 wurden die Grundformen des Lesens Technischer Zeichnungen – dies sind das Zeichnungslesen, die Zeichnungsinterpretation und die Zeichnungsreferenzierung – analysiert und beschrieben (vgl. Definitionen 7 bis 9). Diese grundsätzlichen Leseformen wurden zu dem erweiterten Produktdatenstrukturmodell sowie zu der chronologischen Produktdokumentenstruktur in Beziehung gesetzt.

Auf der Grundlage der exakten Begriffsdefinitionen konnte das Ziel der Arbeit konkretisiert werden. Hiernach war ein Modell zu entwickeln, das die grundlegenden Prinzipien der Zeichnungsinterpretation gemäß der Definition 8 in einer allgemeinen

Formulierung beschreibt und eine variable Anwendbarkeit gewährleistet. Das Modell sollte den Interpretationsprozess derart beschreiben, dass ablaufende kognitive Teilprozesse, die Teilergebnisse sowie die Voraussetzungen für den erfolgreichen Ablauf der Teilprozesse benannt werden. Letztlich soll die Frage beantwortet werden, wie mit Hilfe der explizit in Technischen Zeichnungen präsentierten Daten die nicht präsentierten impliziten Daten abgeleitet werden können.

Der Stand der Technik bezüglich der Grundformen des Lesens Technischer Zeichnungen ist sehr unbefriedigend. Es existieren zwar unzählige Veröffentlichungen zum Thema "Technische Zeichnungen", diese fokussieren aber bis auf wenige Ausnahme die Zeichnungserstellung. Die einzige wissenschaftliche Arbeit, die der Zeichnungsinterpretation annähernd zugeordnet werden kann, ist die Dissertationsschrift von Horst Kummer mit dem Titel "Zur Herausbildung der Zeichnungslesefähigkeit" (vgl. /kum71/). In dieser gelingt es Kummer, nicht ein Modell der Zeichnungsinterpretation oder des Zeichnungslesens zu entwickeln, vielmehr verweist er auf eine von ihm durchgeführte Expertenbefragung, welche letztlich nicht zielführend ist. Mithin bildet die vorliegende Arbeit den Grundstein für eine detaillierte Beschreibung des Prozesses der Interpretation Technischer Zeichnungen.

Ferner bieten die wenigen vorgeschlagenen Heuristiken zum Lesen Technischer Zeichnungen in ihrer konkreten Formulierung keine Ansätze zur Erlangung der oben benannten Zielsetzungen. So ist z. B. die Frage nach den Fertigungsschritten für das Herstellungsdatenmodell, nicht aber für die Ableitung nicht präsentierter Daten des Technikdatenmodells relevant. Den Gegensatz zu dieser speziellen Sicht stellt die allgemeine Empfehlung dar, die Informationen aus dem Schriftfeld und der Stückliste zu erfassen. Diese allgemeine Sicht ist ebenso wenig wie die spezielle Sicht als Heuristik zur Zeichnungsinterpretation geeignet. Des weiteren ist es – wie dies auch vorgeschlagen wird – aufgrund der präsentierten Daten unmöglich, mit Hilfe von Baugruppenzeichnungen die Oberflächengüte, die Maße oder die vollständige Form aller Bauteile zu erfassen. Kurzum die existierenden konkret formulierten Heuristiken zum Lesen Technischer Zeichnungen sind zur Beschreibung von Zeichnungsinterpretationsprozessen ungeeignet. Eine im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführte, alle vorgeschlagenen Heuristiken integrierende Abstraktion führt zu einer allgemeinen Heuristik des Lesens Technischer Zeichnungen (vgl. Bild 3-1), welche dem analytischen Leitgedanken folgt, dass das Abbild des technischen Systems – dies ist die Technische Zeichnung – verstanden werden muss, um das System selbst zu verstehen. Das hierbei erforderliche deduktive Schließen vom Abbild auf das Original setzt als

Prämisse jeweils eine Regel und ein Faktum voraus, aus denen auf ein Resultat geschlossen wird. Alle vorgeschlagenen Heuristiken berufen sich darauf, aus der Kenntnis des Regelwerks Technischen Zeichnungen und der zeichnerischen Darstellung als Faktum auf das technische System bzw. auf spezielle Daten dieses Systems schließen zu können. Dem kann Pasternaks Feststellung, dass die Konstruktion technischer Objekte kaum auf der Ebene von Linien durchgeführt wird, entgegen gehalten werden (vgl. /pas96/).

Der Stand der Technik bezüglich des computergestützten Zeichnungslesens ist obsolet, da die beschriebenen Ansätze der Mustererkennung und der Verkorklassifikation von zweidimensional in Orthogonalprojektion erstellten Technischen Zeichnungen ausgehen. Stand der Technik ist heute aber eine dreidimensionale Konstruktion technischer Systeme, aus denen später zwecks der Produktdokumentation 2D-Zeichnungen abgeleitet werden. Dementsprechend haben die geometrischen Eigenschaften der Bauteile als Schlüssel zum Objektzugriff an Bedeutung verloren. Der vom Verband der Automobilindustrie e. V. mit der VDA-Empfehlung 4953 /vda4953/ verfolgte Ansatz der zeichnungslosen Produktdokumentation, der ein geeignetes Produktdatenmanagement favorisiert, hat hingegen für die automatische Zeichnungsinterpretation an Bedeutung gewonnen. Die Umsetzung einer Zeichnungsinterpretationsfunktion auf der Grundlage eines PDM-Modells setzt jedoch sowohl eine integrierte Wissensbasis als auch eine einheitliche Begriffsstruktur voraus, welche kompatibel mit dem entwickelten Prozessmodell der Zeichnungsinterpretation sind. Ferner sind informationsverarbeitende Prozeduren zu entwickeln, die die beschriebenen Assoziations-, Such- und Adaptationsprozesse sowie die Prozesse der Konzeptionsbildung- und -bewertung und die Hypothesebildungs- und -verifikationsprozesse entsprechend dem entwickelten Prozessmodell der Zeichnungsinterpretation in einer Software umsetzen.

Das entwickelte Prozessmodell der Zeichnungsinterpretation wurde auf der Basis vielfältiger Perspektiven entwickelt, wie z. B. dem Kognitivismus oder der Hermeneutik. Die Kernaussagen dieser sind insbesondere, dass die menschlichen Informationsaufnahme und -verarbeitung durch die individuellen Persönlichkeitsmerkmale des Interpreten determiniert sind und dass die menschlichen Verstehensprozesse, wie etwa das menschliche Bildverstehen, sequenziell-hierarchische Strukturen aufweisen, die einer gewissen Strategie folgen. Die psychologische Instanz, in der alle gedanklichen Prozesse, wie z. B. Adaptationsprozesse, Assoziations- oder auch Such- und Mustererkennungsprozesse, stattfinden ist die mentale Repräsentation. Das entwickelte Modell

beschreibt die Zeichnungsinterpretation auf der Ebene der mentalen Repräsentationen als einen Prozess, in dessen Verlauf der Interpret unter Anwendung verschiedener kognitiver Teilprozesse sukzessive unterschiedliche Verständnisse entwickelt. Das Verstehen vollzieht sich demnach ausgehend von einer erfahrungsbezogenen Gegenstandsvorstellung über eine zunächst subjektive und später objektive Raumvorstellung bis hin zu einer fachlogisch begründeten Begriffsvorstellung in den drei Interpretationsphasen "Inkubation", "Konzeption" und "Argumentation". Diesen Interpretationsphasen im engeren Sinn kann eine Präparationsphase vor- und/oder eine Reflexionsphase nachgelagert sein. Auch ist es möglich, dass der Interpret während des Interpretationsprozesses Phasensprünge vollzieht. Kennzeichnend für die verschiedenen Interpretationsphasen ist, dass in ihrem Verlauf jeweils spezifische kognitive Prozesse stattfinden, die ihrerseits spezifische gedankliche Ressourcen erfordern.

Die Verifikation des Prozessmodells der Zeichnungsinterpretation wurde auf der Grundlage der Eye-Mind-Hypothese geführt. Diese aus der Kognitionsforschung stammende Hypothese nimmt an, dass die Blickbewegungen beim Lesen bzw. beim Interpretieren ein Indikator der gedanklichen Informationsverarbeitung sind. Demnach finden in Phasen, in denen keine bzw. nur sehr geringe Augenbewegungen beobachtet werden können, intensive gedankliche Prozesse statt, während Phasen intensiver Augenbewegungen eher auf aktive Informationssuchprozesse hinweisen. In Untersuchungen (vgl. Kap. 5) wurden die Blickbewegungen von Probanden mit Hilfe eines Eye-Tracking-Systems aufgezeichnet. Der Verifikationsansatz ist zweigeteilt: Zum einen wird angenommen, dass die verschiedenen Interpretationsphasen unterschiedlicher gedanklicher Ressourcen bedürfen. Zum anderen wird unterstellt, dass die Blickbewegungen nicht zufällig, sondern systematisch erfolgen. Zwecks der Verifikation der zweiten Annahme wurde ein neuer Algorithmus entwickelt, mit dem die aufgezeichneten Blickpunktkoordinaten der Projektionsebene derart transformiert werden, dass die Daten probanden- und aufgabenunabhängig objektiv bewertet werden können. Dieser Algorithmus basiert auf den beobachteten Blickbewegungswahrscheinlichkeiten, mit deren Hilfe die einzelnen Blickbewegungsmuster klassifiziert und mittels eines Trendtests hinsichtlich ihrer Zufälligkeit bewertet werden können. Es zeigte sich, dass die Blickbewegungen während der beobachteten Zeichnungsinterpretationsprozesse systematisch erfolgten, so dass die Existenz einer grundlegenden Interpretationsstrategie bewiesen ist. Die Annahme eines zyklisch schwankenden phasenspezifischen Informationsverarbeitungs-aufwands wurde mit Hilfe der beobachteten Blickbewegungsgeschwindigkeiten verifiziert. Hierbei wurde als Referenz eine konstante Geschwindigkeit der Blickbewegungen angenommen und mit den einer Regressionsanalyse unterzogenen beobachteten

Geschwindigkeitsprofilen verglichen. Es zeigte sich, dass die Blickbewegungen während der beobachteten Zeichnungsinterpretationsprozesse durchschnittlich vier Phasen unterschiedlicher Informationsverarbeitungsbedarfe durchlaufen. Hiermit ist auch die Annahme verschiedener Interpretationsphasen verifiziert.

Die Auswertung der Blickbewegungsdaten während der Interpretationsuntersuchungen zeigte ferner, dass in ca. 40% der Interpretationszeit Suchprozesse stattfinden und in den restlichen 60% kognitiven Informationsverarbeitungsprozesse, wobei die einzelnen Teilprozesse etwa $0,6 \pm 0,2$ Sekunden andauerten.

Auf der Grundlage des entwickelten Prozessmodells der Zeichnungsinterpretation konnte eine allgemeine Heuristik zur Funktionsbeschreibung (vgl. Kap. 6) formuliert werden. Hiermit ist auch das zweite Ziel der Arbeit erreicht. Die neue Heuristik unterscheidet sich von den bekannten insbesondere dadurch, dass sie die Lösung des Interpretationsproblems nicht in einem Deduktions- sondern in einem Abduktionsschluss sucht. Die Abduktion ist ein logisches kenntniserweiterndes Schlussverfahren, in dessen Verlauf zunächst eine Hypothese formuliert wird, die aufgrund mangelnder Fakten und Regeln ohne jegliche objektive Beweiskraft ist. Dieser erste Schlussschritt äußert sich bei der Zeichnungsinterpretation darin, dass die Eigenschaften von etwas Wiedererkanntem als allgemeingütige Objektmerkmale angenommen werden. In dem zweiten Schlussschritt werden aus der unterstellten Allgemeingültigkeit der Hypothese in einem Deduktionsprozess, der den Charakter von Wenn-Dann-Aussagen besitzt, Vorhersagen über unbekannte Eigenschaften abgeleitet. Der dritte Abduktionsschritt entspricht einem Induktionsprozess, in dessen Verlauf nach Fakten gesucht wird, welche die vorweggenommene Hypothese verifizieren. Ist dies nicht möglich, so ist die Hypothese falsifiziert, und der Abduktionsprozess muss von vorne beginnen. Der Umstand, dass der Deduktionsschluss, da er auf einer bloßen Vermutung der Prämisse gründet, mit dem höchsten Risiko der Fehlbarkeit behaftet ist, erklärt u. a. auch, dass in den durchgeführten Untersuchungen die Anzahl der Interpretationsphasen variierte.

Abschließend ist festzustellen, dass mit der vorliegenden Arbeit ein fundamentaler Beitrag geleistet wurde, den Prozess der Interpretation Technischer Zeichnungen (der mechanischen Technik), der insbesondere zum Ziel hat, nicht in der Zeichnung präsentierte Informationen des Technikdatenmodells aus den implizit präsentierten Daten abzuleiten, zu beschreiben.

8 Literaturverzeichnis

- /and03/ Anderl, R.: Produktdatentechnologie A – CAD-Systeme und CAx-Prozessketten: Teil 1. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Maschinenbau, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, 2003.
- /arn93/ Anold, Wilhelm; u. a. (Hrsg.): Lexikon der Psychologie. Freiburg: Verlag Herder, 1993.
- /bac05/ Bachmann, M.: Technisches Zeichnen Online. Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Maschinenkonstruktion und Getriebebau, 19.02.2005
- /bai98/ Baier, Jan; Diekmann, Heinz; Jiritschka, Manfred: Technische Kommunikation für Metallberufe: Fachbildung. Bad Homburg von der Höhe: Max Gehlen Verlag, 1998.
- /bal02/ Ballstaedt, St.-P.: Bilder in der technischen Dokumentation: Vorlesungsskript 2002. Gelsenkirchen: Fachhochschule Gelsenkirchen, Fachbereich Maschinenbau.
- /bam04/ Bundesverband Alphabetisierung e. V. Münster; Medienzentrum Wiesbaden e. V. Wiesbaden (Hrsg.): Ohne Wörter und Zahlen durchs Leben? – Analphabetismus. In: Prima – Schulnetz für Wiesbaden, 04.05.2004.
- /ban99/ Bang, Kyung-Won: Zur linguistischen Beschreibung des Lageberichts von Unternehmen: Untersuchungen zur Konstruktion einer Fachtextsorte. Universität Göttingen. Dissertation, 2000.
- /bau80/ Baucke, Otto; Heidorn, Hans: Technisches Zeichnen Metall für Maschinentechische Berufe. 11. Aufl. Hamburg: Verlag Handwerk und Technik, 1980.
- /bay05/ Bayer, Wolfgang K.: Projektarbeiten Teil 5 Unterlagen für den Ausbilder. 1. Aufl. Konstanz: Christiani Verlag, 2005. /bei54/ Beinhoff, Walter: Das Lesen technischer Zeichnungen. Berlin: Springer-Verlag, 1954.
- /ber02/ amazon.de (Hrsg.): Rezension zu: Bertram, G. W., Liptow, J.: Holismus in der Philosophie: Ein zentrales Phänomen der Gegenwartsphilosophie. Weilerswist: Verlag Velbrück, 2002.
- /ber84/ Lexikon-Institut Bertelsmann (Hrsg.): Bertelsmann Lexikon - Lesen. Gütersloh: Verlagsgruppe Bertelsmann, 1984.
- /bib03-x/ Bundesinstitut für Berufsbildung – BiBB (Hrsg.): Sammelbezeichnung für: /bib03; bib03a; bib03b; bib03c; bib03d; bib03e; bib03f; bib03g; bib03h; bib03i/
- /bib03/ BiBB (Hrsg.): Technische Kommunikation: Zeichnungslesen: Ansichten in technischen Zeichnungen: Lernprogramm 1. 3. Aufl. Konstanz: Christiani Verlag, 2003.
- /bib03a/ BiBB (Hrsg.): Technische Kommunikation: Zeichnungslesen: Grundlagen der Bemaßung: Lernprogramm 2. 3. Aufl. Konstanz: Christiani Verlag, 2003.
- /bib03b/ BiBB (Hrsg.): Technische Kommunikation: Zeichnungslesen: Schnitt und Bruchdarstellung: Lernprogramm 3. 3. Aufl. Konstanz: Christiani Verlag, 2003.
- /bib03c/ BiBB (Hrsg.): Technische Kommunikation: Zeichnungslesen: Gewindedarstellung: Lernprogramm 4. 3. Aufl. Konstanz: Christiani Verlag, 2003.
- /bib03d/ BiBB (Hrsg.): Technische Kommunikation: Zeichnungslesen: Schriftfeld und Stückliste: Lernprogramm 5. 3. Aufl. Konstanz: Christiani Verlag, 2003.

-
- /bib03e/ BiBB (Hrsg.): Technische Kommunikation: Zeichnungslesen: Passungs- und Toleranzangaben: Lernprogramm 6. 3. Aufl. Konstanz: Christiani Verlag, 2003.
- /bib03f/ BiBB (Hrsg.): Technische Kommunikation: Zeichnungslesen: Form- und Lagetoleranzen: Lernprogramm 7. 3. Aufl. Konstanz: Christiani Verlag, 2003.
- /bib03g/ BiBB (Hrsg.): Technische Kommunikation: Zeichnungslesen: Maßeintragungen in Zeichnungen: Lernprogramm 8. 3. Aufl. Konstanz: Christiani Verlag, 2003.
- /bib03h/ BiBB (Hrsg.): Technische Kommunikation: Zeichnungslesen: Vereinfachte Darstellungen, Sinnbilder und Schweißsymbole: Lernprogramm 9. 3. Aufl. Konstanz: Christiani Verlag, 2003.
- /bib03i/ BiBB (Hrsg.): Technische Kommunikation: Zeichnungslesen: Angaben zur Oberflächenbeschaffenheit und zur Wärmebehandlung: Lernprogramm 10. 3. Aufl. Konstanz: Christiani Verlag, 2003.
- /bor02/ Bortz, Jürgen; Döring, Nicola: Forschungsmethoden und Evaluation – für Human- und Sozialwissenschaftler. 3. Aufl. Heidelberg: Springer Medizin Verlag, 2002.
- /bri01/ Bringmann, Oliver: Symbolische Interpretation Technischer Zeichnungen. Dresden: Universität Dresden, Fakultät Informatik. Diss., 2001.
- /brö99/ Bröder, A.: Wahrnehmungspsychologie: Folien zur Übung im WS 1999/ 2000. Bonn: Psychologisches Institut der Universität Bonn, 1999.
- /bru03/ Bruns, Holger: Zeichnungen für Blinde. München: heise-online, 14.06.2004.
- /buc03/ Buchmüller, Katja: Psychologische Prozessmodelle des Lesens. Bern: Universität Bern, Institut für Psychologie. Referat SS 2003, 17.12.2004 – URL: <http://visor.unibe.ch/>
- /cla58/ Clauss; u. a.; Zentralvorstand der Gewerkschaft Unterricht und Erziehung (Hrsg.): Technisches Zeichnen – leicht gemacht. Berlin: Tribüne Verlag, 1958.
- /die82/ Dieckmann, Heinz ; Timm, Jochen: Lesen und Verstehen technischer Zeichnungen: Arbeitsblätter. Hamburg: Verlag Handwerk und Technik, 1982.
- /die91/ Dieckmann, Heinz ; Timm, Jochen: Lesen und Verstehen technischer Zeichnungen. 3. Aufl. Hamburg: Verlag Handwerk und Technik, 1991.
- /din199-1/ DIN 199 Teil 1 03.2002. Technische Produktdokumentation – CAD-Modelle, Zeichnungen und Stücklisten – Teil 1: Begriffe.
- /din2331/ DIN 2331 04.1980. Begriffssysteme und ihre Darstellung.
- /din4760/ DIN 4760 06.1982. Gestaltabweichungen – Begriffe, Ordnungssystem.
- /din6789-2/ DIN 6789 Teil 2 09.1990. Dokumentensystematik – Dokumentensätze Technischer Produktdokumentationen.
- /din6789-4/ DIN 6789 Teil 4 10.1995. Dokumentationssystematik – Teil 4: Inhaltliche Gliederung Technischer Produktdokumentationen.
- /din7157/ DIN 7157 01.1966. Passungsauswahl – Toleranzfelder, Abmaße, Paßtoleranzen.
- /dis5456-1/ DIN ISO 5456 Teil 1 04.1998. Technische Zeichnungen – Projektionsmethoden – Teil 1: Übersicht.
- /dis5456-2/ DIN ISO 5456 Teil 2 04.1998. Technische Zeichnungen – Projektionsmethoden – Teil 2: Orthogonale Darstellungen.

- /dis5456-3/ DIN ISO 5456 Teil 3 04.1998. Technische Zeichnungen – Projektionsmethoden – Teil 3: Axonometrische Darstellungen.
- /dis5456-4/ DIN ISO 5456 Teil 4 12.2002. Technische Zeichnungen – Projektionsmethoden – Teil 4: Zentralprojektion.
- /döb0x/ Döbeli Honegger, Beat (Hrsg.): Beats Biblionetz. 2004 - 2006.
- /dom92/ Domhan, Erwin: Überlegungen zum Problemfeld „Technische Zeichnung/ Technisches Zeichnen“ im Technikunterricht. In: tu: Zeitschrift für Technik im Unterricht, Villigen-Schwenningen: Neckar-Verlag GmbH, 1992. Heft tu 64/ 2. Quartal 1992.
- /duh90/ Duhamel, Roland: Lesen im Fremdsprachenunterricht. In: Germanistische Mitteilungen. Heft 31 S. 31 - 35, 1990.
- /eur05/ Europa-Lehrmittel (Hrsg.): Arbeitsblätter Metalltechnik, Lernfelder 1 - 4 mit Projekten. 1. Aufl. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel, 2005.
- /fkm94/ Forschungskuratorium Maschinenbau e. V. (Hrsg.): Automatische Zeichnungserkennung I: Entwicklung eines Systems für die automatische Zeichnungserkennung: Abschlußbericht: Vorhaben 162. Frankfurt: Forschungskuratorium Maschinenbau e. V., 1994.
- /fkm96/ Forschungskuratorium Maschinenbau e. V. (Hrsg.): Automatische Zeichnungserkennung II: Entwicklung eines Systems für die automatische Zeichnungserkennung: Abschlußbericht: Vorhaben 184. Frankfurt: Forschungskuratorium Maschinenbau e. V., 1996.
- /gib80/ Gibson, Eleanor J., Levin, Harry: Die Psychologie des Lesens. 1. Aufl. Stuttgart: Verlagsgemeinschaft Ernst Klett, 1980.
- /got91/ Gotthardt, Horst; Ruland, Detlev: Entwicklung von CIM Systemen – mit Datenbankeinsatz – Grundlagen, Konzepte, Realisierung. München: Carl Hanser Verlag, 1991.
- /grü83/ Grünh, Johannes; Scholz, Manfred: Grundlehrgang Technisches Zeichnen Metall. 3. Aufl. Bad Homburg von der Höhe: Max Gehlen Verlag, 1983
- /hal02/ Haller, Steffen Haiko Matthias; Issing, Ludwig (Hrsg.): Mappingverfahren zur Wissensorganisation. Berlin: Freie Universität Berlin – Fachbereich Erziehungswissenschaft und Psychologie, 2002.
- /har03/ Harsch, Ines: Wörter im Kopf. Saarbrücken: Universität des Saarlandes, Philosophische Fakultät. Hausarbeit, 2003.
- /hei76/ Heisig, Johannes; Hohmann, Joachim; Meyer, Helmut: Technisches Zeichnen: Fachstufe Metall. Hannover: Hermann Schroedel Verlag, 1976.
- /hel00/ Helling, Klaus ; u. a.: Technisches Zeichnen – Technische Kommunikation. Stuttgart: Ernst Klett Verlag, 2000.
- /hof01/ Hofbeck; Pfahler; Reiß: Bautechnik: Hochbau: Fachzeichnen. 6. Aufl. Neuss: Kieser Verlag, 2001.
- /hoi42/ Hoischen, A.: Wie liest man Technische Zeichnungen?: Zeichnungs-Lesefibel zum Gebrauch in Betrieb und Schule und zum Selbstunterricht. Essen: Girardet Verlag, 1942.
- /hoi54/ Hoischen, A.: Technisches Zeichnen: In Frage und Antwort. 5. Aufl. Essen: Girardet Verlag, 1954.
- /hoi88/ Hoischen, Hans: Technisches Zeichnen: Grundlagen, Normen, Beispiele, Darstellende Geometrie. 22. Aufl. Bielefeld: Cornelsen Verlag, 1988.

-
- /hor97/ Horschmann, Christoph: Aspekte des Übersetzens – Texte verstehen und produzieren – Kognitionspsychologische Modelle des Textverstehens. Mainz: Johannes Gutenberg Universität Mainz, Fachbereich Angewandte Sprach- und Kulturwissenschaft Referat 28.04.2006.
- /hub77/ Huber, Karl Martin; Kubelka, Wolfgang: Technisches Zeichnen: Didaktik und Methodik. München: Oldenbourg Verlag, 1977.
- /ihk-x/ Sammelbezeichnung für: /ihk75; ihk76; ihk78; ihk79; ihk81; ihk96/
- /ihk75/ Industrie- und Handelskammer für die Pfalz (Hrsg.): Programmierte Prüfungsaufgaben für technische und handwerkliche Berufe: Metallberufe: Zeichnungslesen Band I. 4. Aufl. Ludwigshafen (Rhein): Karl Kiehl Verlag, 1975.
- /ihk76/ Industrie- und Handelskammer für die Pfalz (Hrsg.): Programmierte Prüfungsaufgaben für technische und handwerkliche Berufe: Metallberufe: Zeichnungslesen Band IV. Ludwigshafen (Rhein): Karl Kiehl Verlag, 1976.
- /ihk78/ Industrie- und Handelskammer für die Pfalz (Hrsg.): Programmierte Prüfungsaufgaben für technische und handwerkliche Berufe: Metallberufe: Zeichnungslesen Band I. 5. Aufl. Ludwigshafen (Rhein): Karl Kiehl Verlag, 1978.
- /ihk79/ Industrie- und Handelskammer für die Pfalz (Hrsg.): Programmierte Prüfungsaufgaben für technische und handwerkliche Berufe: Metallberufe: Zeichnungslesen Band III. 3. Aufl. Ludwigshafen (Rhein): Karl Kiehl Verlag, 1979.
- /ihk81/ Industrie- und Handelskammer für die Pfalz (Hrsg.): Programmierte Prüfungsaufgaben für technische und handwerkliche Berufe: Metallberufe: Zeichnungslesen Band II. Ludwigshafen (Rhein): Karl Kiehl Verlag, 1981.
- /ihk96/ Industrie- und Handelskammer Region Stuttgart (Hrsg.): Testaufgaben aus der PAL-Aufgabenbank für die Berufsausbildung: Industriemechaniker, Werkzeugmechaniker, Zerspanungsmechaniker: Technische Kommunikation Teil 1. 15. Aufl. Konstanz: Paul Christiani Verlag, 1996.
- /jun97/ Junge, Volker: CAD-gerechte Erfassung von technischen Zeichnungen durch Erkennung und Auswertung von Bemaßungen. Düsseldorf: VDI Verlag, 1997.
- /kag68/ Kaglin, Harald; Seifarth, Margot: Unterrichtshilfen: Technisches Zeichnen: Klasse 7 und 8. 4. Aufl. Berlin: Volk und Wissen Volkseigener Verlag, 1968.
- /kau00/ Kaufmann, Ingrid: Theorie des Lexikons – Verbstrukturen. In: Arbeiten des Sonderforschungsbereichs 282 – Nr. 117. Wuppertal – Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal – Fachbereich 4, 2000.
- /kez03/ Kežman, Petra: Distributive semantische Analyse als Spiegel der Bedeutungskonstruktion im Kontext. Heidelberg: Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Germanistisches Seminar. Hausarbeit, 2003.
- /köh01/ Köhnlein, Walter: Was heißt und wie kann „Verstehen lehren“ geschehen?. In: Wissen, Können und Verstehen – über die Herstellung ihrer Zusammenhänge im Sachunterricht. 1. Aufl. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt Verlag, 2001.
- /kum71/ Kummer, Horst: Zur Herausbildung der Zeichnungslesefähigkeit: Ein Beitrag zur Methodik im Unterrichtsfach Technisches Zeichnen. Berlin, Humboldt-Universität, Gesellschaftswissenschaftliche Fakultät. Diss., 1971.
- /kün09/ Künne, Bernd: Maschinenelemente kompakt: Band 1: Technisches Zeichnen. 1. Aufl. Soest: Maschinenelemente-Verlag, 2009.
- /kun95/ Kuntzsch, Siegfried; Martens, Jakob; Stein, Johannes: Technische Kommunikation in den Metallberufen: Lehr- und Aufgabenbuch für die berufliche Grundbildung. Neuss: Dähmlow Verlag, 1995.

- /lan61/ Lange, Wilfried (Hrsg.): Technisches Zeichnen: Methodisches Handbuch für den Lehrer. Berlin: Volk und Wissen Verlag, 1961.
- /lan75/ Lange, Ulrich: Technisches Zeichnen im Technikunterricht: Sachinformationen und Unterrichtshilfen. Bad Heilbrunn/ Obb.: Julius Klinkhardt Verlag, 1975.
- /leu68/ Leuschner, Herbert: Untersuchungen über Stellung und Aufgaben des technischen Zeichnens im Werkunterricht. Berlin, Humboldt-Universität, Pädagogische Fakultät. Diss., 1968.
- /mai99/ Maier, Peter H.: Räumliches Vorstellungsvermögen: Ein Abriss des Phänomens räumliches Vorstellungsvermögen. Donauwörth: Auer Verlag, 1999.
- /mus03/ Mussnug, Jochen; Stowasser, Sascha: Blickbewegungsanalyse zur Bewertung piktographischer Visualisierungen. In: MMI-Interaktiv Nr. 6 – Eye Tracking, 2003.
- /nah05/ Al Nahlaoui, M. Y.; Jostschulte, K.; Kays, R.; Schmitz, J.: Kostengünstiges Eye-Trackingverfahren für die ambulante Sehtherapie, 6. Würzburger Medizintechnik Kongress des Fachverbandes Biomedizinische Technik e.V.. Wetzlar, 2005.
- /nor04/ Norbey, Marcel: Kognitive Bildverarbeitung. Ilmenau: Technische Universität Ilmenau, Institut für Medien- und Kommunikationswissenschaft, Fachgebiet Technik- und Wirtschaftsgeschichte, 22.11.2004.
- /pas93/ Pasternak, Boris: Wissensbasierte Zeichnungsanalyse – Von Einzellösungen zu generischen Systemkomponenten.. Hamburg: Universität Hamburg, Fachbereich Informatik. 1996.
- /pas96/ Pasternak, Boris: Adaptierbares Kernsystem zur Interpretation von Zeichnungen. Hamburg: Universität Hamburg, Fachbereich Informatik. Diss., 1996.
- /per08/ Persike, M.: Forschungsstatistik I – QQ-Plot. Mainz: Johannes Gutenberg Universität Mainz, Psychologisches Institut, Abteilung Methoden, 2008.
- /rin03/ Rinne, Horst: Taschenbuch der Statistik – Für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. Frankfurt a. M.: Harri Deutsch Verlag, 2003. /rüp99/ Ruppell, H.: Medienpsychologie – Verarbeitung von Bildern. Köln: Universität Köln, Lehrstuhl für Pädagogische Psychologie, 17.08.2004.
- /sch01/ Schneider, Karl-Michael: Einführung in die Sprachperzeption. Passau: Universität Passau – Allgemeine Linguistik, Skript 2001.
- /sch71/ Schröter, Charlotte; Schröter, Gerhard: Lesen, Verstehen, Vorstellen: Eine programmierte Einführung in das technische Zeichnen. 3. Aufl. Essen: Girardet Verlag, 1971.
- /sch80/ Schlieperskötter, Bernd: Didaktik der Technischen Zeichnung im Rahmen des Technikunterrichtes an der Hauptschule. Neuss, Pädagogische Hochschule Rheinland. Diss., 1980.
- /sch96/ Schönpflug, Ute; Schönpflug, Wolfgang: Telekoleg II – Psychologie. 2. Aufl. München: TR-Verlagsunion GmbH, 1996.
- /spa96/ Spangenberg, Gerhard: Technische Kommunikation für Metallberufe – Grundbildung. Bad Homburg von der Höhe: Gehlen Verlag, 1996.
- /sta0x/ Stangl, Werner (Hrsg.): Werner Stangl's Arbeitsblätter. Linz (AT): Werner Stangl, 2004 - 2006.
- /str06/ Streit, U.: Einführung in die Geoinformatik – Wissensbasierte Systeme. Münster: Universität Münster, Institut für Geoinformatik, 2006.
- /stü55/ Stückrah, Fritz: Kind und Raum: Psychologische Voraussetzungen der Raumlehre in der Volksschule. 1. Aufl. München: Kösel-Verlag KG, 1955.
- /vda4953/ VDA 4953 11.2003. Vereinfachte CAD-Zeichnung.

-
- /vda4953-1/ VDA 4953 Teil 1 12.1999. Vereinfachte CAD-Zeichnung – Einführung und Stufe 1. – Ersetzt durch: /vda4953/
- /vdi2211-3/ VDI 2211 Blatt 3 06.1980. Datenverarbeitung in der Konstruktion – Methoden und Hilfsmittel – Maschinelle Herstellung von Zeichnungen.
- /wag04/ Wagner, Karl Heinz; Hackmack, Susanne: Grundkurs Sprachwissenschaft: Wintersemester 1997/98. Bremen: Universität Bremen, 2004.
- /wik0x/ Wikimedia Deutschland e. V. (Hrsg.): Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Berlin: Gesellschaft zur Förderung Freien Wissens e. V., 2004 bis 2010.
- /wil99/ Wilkening, F.: Einführung in die Psychologie der kognitiven Entwicklung – Sprachentwicklung. Zürich: Universität Zürich, Fachbereich Psychologie, 2004.
- /zim88/ Zimbardo, Phillip G.: Psychologie. 6. Aufl. Berlin: Springer-Verlag, 1988.
- /zük64/ Zückmantel, M.: Lesen von Zusammenbauzeichnungen. In: Polytechnische Bildung und Erziehung, Heft 4 (1964).

Veröffentlichungen

- Hahne, Markus; Künne, Bernd: Der (lesende) Umgang mit Technischen Zeichnungen. In: tu – Zeitschrift für Technik im Unterricht. Heft 117 S. 6 – 10. Villingen-Schwenningen: Neckar-Verlag, 2005.
- Hahne, Markus; Künne, Bernd: Was bedeutet es, eine Technische Zeichnung zu lesen?. In: tu – Zeitschrift für Technik im Unterricht. Heft 123 S. 13 – 19. Villingen-Schwenningen: Neckar-Verlag, 2007.
- Hahne, Markus; Künne, Bernd: Prozessmodell der Interpretation Technischer Zeichnungen. In: tu – Zeitschrift für Technik im Unterricht. Heft 127 S. 26 – 27. Villingen-Schwenningen: Neckar-Verlag, 2008.