

Lehrstuhl für Produktentwicklung

Konstruktionsprinzipien für die Problem- analyse in der Produktentwicklung

Daniel Karl Fuchs

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen
der Technischen Universität München
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. K. Bender

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Gausemeier
Universität-Gesamthochschule Paderborn

Die Dissertation wurde am 17.05.2005 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen
am 18.07.2005 angenommen.

Vorwort des Herausgebers

Problemstellung

Die steigende Komplexität von Aufgabenstellungen, Produkten und unternehmerischen Prozessen stellt erhebliche Anforderungen an die Fähigkeiten eines Individuums. Die für die adäquate Lösung ist die Auswahl und Anwendung geeigneter Methoden erforderlich. Die vorhandenen Standardmethoden sind für eine differenzierte individuelle Problemstellung lediglich eingeschränkt nutzbar, da es sich bei der Lösungssuche nie um einen Standardprozess handeln kann, da unterschiedliche Randbedingungen wie beispielsweise hinsichtlich Zeit und Qualität vorliegen. Die vorhandenen Methoden beschränken sich in der Regel auf die Darstellung von bestimmten Informationen und erschweren deren Integration in einer Visualisierung aus unterschiedlichen Quellen; so wird eine zunehmende Verschmelzung von Produkt- und Prozessinformationen unnötig erschwert. Auf der operativen Ebene fehlen einfache Hilfsmittel aus der Konstruktionswissenschaft, um sich damit das Problemverständnis anzueignen, sodass eine Anpassung von Methoden an eine Problemstellung hier eine Unterstützung bieten kann.

Zielsetzung

Ein Individuum kann die größere Anzahl von Methoden nicht auf einmal handhaben. Aus diesem Grund ist es das Ziel der vorliegenden Arbeit, die vorhandenen Methoden zu untersuchen und ihre signifikanten Eigenschaften herauszuarbeiten. Das zu erarbeitende Hilfsmittel muss zusätzlich dem Spannungsfeld von Zeitdruck und Ergebnisorientierung Rechnung tragen, damit eine Anwendung in der Praxis und in der Forschung sichergestellt werden kann. Dies wird durch die Beobachtung von prozessualen und konstruktiven Problemstellungen in der Industrie erreicht.

Diese konstruktionswissenschaftliche Betrachtung wird durch die Adressierung der Aspekte Wahrnehmung und Schlussfolgerung ergänzt, denen bei der Analyse und dem damit verbundenen Problemverständnis eine hohe Bedeutung zugesprochen wird. Erkenntnisse aus der Psychologie und Pädagogik sollen den Umgang von Methoden verdeutlichen und damit helfen, wie eine stimmige Methodenanwendung sichergestellt werden kann.

Ergebnisse

Um die Unterschiede von Methoden zu betonen, wurden Charakteristika erarbeitet, anhand derer der Kern einer Methode erörtert wird. Die Charakteristika werden herangezogen, um zum einen eine Überführung von einer Methode in eine andere vorzustellen, jedoch auch,

um allgemeine Prinzipien abzuleiten, die sich über mehrere Methoden hinweg herauskristallisiert haben. Essenzielles Resultat dieser Arbeit sind allgemeine Prinzipien (z. B. Motivation und Ziel) sowie modelladaptierende Prinzipien (z. B. Objektperspektive, Verknüpfungswirkung) für die Problemanalyse. Die Prinzipien berücksichtigen das ambivalente Ziel, so abstrakt wie möglich zu sein – damit diese auf viele Probleme angewendet werden können – und gleichzeitig so konkret wie nötig zu sein – um die Anwendungsfreundlichkeit sicherzustellen.

Folgerung für die industrielle Praxis

Ergebnisse dieser Arbeit bieten der Industrie einen Überblick über die vorhandenen Methoden in der Analyse. Eine Diskussion von traditionellen Modellen in der Produktentwicklung erlaubt es, die Stärken und Schwächen von Methoden abzuwägen. Eine Zusammenfassung über alle Methoden hinweg findet durch die Prinzipien statt, die sich unterschiedlich stark auch in unternehmensinternen Methoden wieder finden lassen.

Gleichzeitig wird durch die Erläuterung von psychologischen und pädagogischen Aspekten verdeutlicht, warum bei der Anwendung von Methoden Herausforderungen zu meistern sind. So versteht sich die vorliegende Arbeit als Orientierung in der Konstruktionswissenschaft sowie als Einordnung von interdisziplinären Erkenntnissen in das Handlungsfeld der Problemanalyse.

Folgerung für Forschung und Wissenschaft

Aus wissenschaftlicher Sicht wurde der Weg einer prinzipiengestützten Produktentwicklung eingeschlagen, der sich in ähnlicher Weise bereits in der DfX-Philosophie oder auch konkret in der heuristischen Methode TRIZ für die Lösungssuche etabliert hat. Durch den hieraus resultierende Paradigmenwechsel wird der monodisziplinären Betrachtung der Konstruktionswissenschaft entgegengetreten, indem Erkenntnisse aus anderen Fachbereichen diskutiert und eingeordnet werden. Darüber hinaus wird eine Ähnlichkeit bekannter Methoden diskutiert wodurch die vermeidlichen Unterschiede von Methoden teilweise entmystifiziert werden.

Garching, im Oktober 2005

Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann
Lehrstuhl für Produktentwicklung
Technische Universität München

Vorwort des Verfassers

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München (1999- 2004). Im Rahmen der durchgeführten Industrieprojekte und Untersuchungen zu dem Stand der Forschung ist der Verfasser lediglich in der Lage, das Forschungsthema aus (s)einer Perspektive – bezüglich des Problemfelds der individuellen Modellbildung – zu betrachten. Deswegen erliegt die vorliegende Arbeit teilweise ihrer eigenen Problemstellung, bei der die (schriftliche) Sprache als limitierende Randbedingung bei der Beschreibung eines Problems und Erarbeitung einer Lösung eingestuft wird. Schlägt man in den Werken der Literaturliste nach, wird man in den seltensten Fällen genau die Formulierung finden, die in der vorliegenden Arbeit zitiert wird. Es werden die Aussagen der zitierten Autoren in die Begriffswelt des Verfassers übertragen, um die Verständlichkeit sicherzustellen.

Meinem Doktorvater, Prof. Lindemann danke ich für die Unterstützung meiner Tätigkeit und die zahlreichen Erfahrungen, die ich am Lehrstuhl sammeln konnte. Die Freiheit, sich in Industrie und Forschung mit großer Selbstständigkeit bewegen zu können, gepaart mit stets konstruktiver Kritik haben erheblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Prof. Gausemeier danke ich für die Mitberichterstattung und Prof. Bender für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes. Darüber hinaus danke ich allen Projektpartnern aus der Industrie für die anregenden Diskussionen. Für die Erarbeitung meiner Dissertation hat auch mein persönliches Umfeld einen bedeutenden Beitrag geleistet, so möchte ich meinen besonderen Dank meiner Frau Nina und meinen Kindern Franziska sowie Sophia aussprechen; darüber hinaus Martin Musiol, Konstanze Strelow, Stefan Fuchs und Stephan Langhans, meinen Eltern, sowie vom Lehrstuhl Bernd Jokele, Christoph Baumberger, Udo Pulm, Bernhard Freyer, Thomas Braun, Andreas Gahr, Josef Ponn, Rainer Hinterberger und Nick Gissibinger.

Ismaning, im Oktober 2005

Daniel Karl Fuchs

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	AUSGANGSSITUATION UND PROBLEMSTELLUNG	1
1.1.1	<i>Problemstellung aus Perspektive der Forschung</i>	4
1.1.2	<i>Problemstellung aus Perspektive der Industrie</i>	6
1.2	FRAGESTELLUNGEN	7
1.2.1	<i>Fragestellungen für die Forschung</i>	8
1.2.2	<i>Fragestellungen für die Industrie</i>	9
1.3	AUFBAU DER ARBEIT	10
2	GRUNDLAGEN DER KONSTRUKTIONSWISSENSCHAFT UND AUSGEWÄHLTER DISZIPLINEN	13
2.1	DREITEILUNG: MODELL, WAHRNEHMUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG	13
2.2	UNTERSCHIEDUNG DER MODELLE IN DER PRODUKTENTWICKLUNG	15
2.2.1	<i>Randbedingungen bei der Modellanwendung</i>	17
2.2.2	<i>Inhaltsorientierte Unterscheidung</i>	23
2.2.3	<i>Strukturorientierte Unterscheidung</i>	30
2.2.4	<i>Zweckorientierte Unterscheidung</i>	35
2.3	ERKENNTNISSE AUS AUSGEWÄHLTEN DISZIPLINEN	36
2.3.1	<i>Umgang mit Modellen</i>	37
2.3.2	<i>Wahrnehmung</i>	37
2.3.3	<i>Schlussfolgerung</i>	37
2.4	FAZIT	37
3	VORGEHENSWEISE DER PRINZIPIEN FÜR X	37
3.1	VORGEHEN FÜR DIE ERSTELLUNG DER PRINZIPIEN FÜR X	37
3.2	RANDBEDINGUNGEN BEI DER ANWENDUNG	37
4	BEURTEILUNG VON MODELLEN	37
4.1	CHARAKTERISTIKA FÜR DIE MODELLBEURTEILUNG/-BEWERTUNG	37
4.1.1	<i>Modelle für die Erarbeitung der Charakteristika</i>	37
4.1.2	<i>Auflistung der Charakteristika</i>	37
4.1.3	<i>Objekte und Relationen</i>	37
4.2	ÄHNLICHKEIT UND UNTERSCHIEDE VON MODELLEN	37
4.2.1	<i>Allgemeine Einleitung</i>	37
4.2.2	<i>Überführung und Vergleich von Modellen</i>	37
4.3	MODIFIKATION VON MODELLCHARAKTERISTIKA	37
4.4	FAZIT	37
5	PRINZIPIEN FÜR DIE ANALYSE VON PROBLEMEN	37

5.1	ÜBERBLICK ÜBER DIE PRINZIPIEN	37
5.2	ÜBERSICHT ÜBER DIE ALLGEMEINEN PRINZIPIEN	37
5.2.1	<i>Prinzip der Systemgrenze</i>	37
5.2.2	<i>Prinzip des Anwendungsbereiches</i>	37
5.2.3	<i>Prinzip der Grundannahmen</i>	37
5.2.4	<i>Prinzip des Ziels und der Motivation</i>	37
5.2.5	<i>Prinzip der Reduktion</i>	37
5.3	ÜBERSICHT ÜBER „MODELLADAPTIERENDE“ PRINZIPIEN	37
5.3.1	<i>Prinzip der Objektperspektive</i>	37
5.3.2	<i>Prinzip der Darstellungsform</i>	37
5.3.3	<i>Prinzip der Verknüpfungsklasse</i>	37
5.3.4	<i>Prinzip der Verknüpfungsstruktur</i>	37
5.3.5	<i>Prinzip des transportierten Inhalts</i>	37
5.3.6	<i>Prinzip der Verknüpfungswirkung</i>	37
5.3.7	<i>Prinzip der Verknüpfungsrichtung</i>	37
5.3.8	<i>Prinzip der Detaillierung einer Verknüpfung/eines Objekts</i>	37
5.4	ANWENDUNG DER PRINZIPIEN	37
5.4.1	<i>Erweitertes Einsatzgebiet</i>	37
5.4.2	<i>Prinzipien als Checkliste</i>	37
5.4.3	<i>Bewertung von Information und Informationslücken identifizieren</i>	37
5.4.4	<i>Kette der Modellerstellung</i>	37
5.4.5	<i>Modellierungssprache zusammenstellen</i>	37
5.5	FAZIT	37
6	ANWENDUNG DER PRINZIPIEN IN DER PRAXIS	37
6.1	VORGEHEN BEI DER MODELLIERUNG	37
6.1.1	<i>Zieldefinition</i>	37
6.1.2	<i>Sprachdefinition</i>	37
6.1.3	<i>Informationserhebung</i>	37
6.1.4	<i>Verifizierung und Reflexion</i>	37
6.2	ANWENDUNG DES PRINZIPIENGESTÜTZTEN ANSATZES	37
6.2.1	<i>Neues Konzept im Anlagenbau</i>	37
6.2.2	<i>Produkt- und Prozessanalyse bei Zulieferer</i>	37
6.2.3	<i>Verkehrsmittel für die tägliche Anwendung</i>	37
6.2.4	<i>Operationshilfsmittel in der Medizintechnik</i>	37
6.3	DISKUSSION	37
7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	37
7.1	ZUSAMMENFASSUNG	37
7.2	AUSBLICK	37
8	LITERATUR	37

9	ANHANG	37
9.1	ÜBERBLICK ÜBER BEURTEILTE MODELLE (MIT LITERATURANGABEN)	37
9.2	MODELLÜBERBLICK – ARTEN	37
9.3	MODELLÜBERBLICK – ÄHNLICHKEITEN	37
9.3.1	<i>Zu erarbeitende Informationen (vgl. Feld I in Bild 3-3)</i>	37
9.3.2	<i>Informationen, die bei der Transformation „verloren“ gehen (vgl. Feld II in Bild 3-3)</i>	37
9.3.3	<i>Informationen, die in ein anderes Modell transformiert werden können (vgl. Feld III in Bild 3-3)</i>	37
9.3.4	<i>Prinzipienanwendung bei Modellüberführung (Feld IV in Bild 3-3)</i>	37
9.4	ÜBERBLICK ÜBER DIE PRINZIPIEN	37
9.5	GEDANKEN ZUR MATRIX (GRAFENTHEORIE)	37
9.6	DISSERTATIONSVERZEICHNIS DES LEHRSTUHL FÜR PRODUKTENTWICKLUNG	37

Begriffsdefinition

Der unten dargestellte Zusammenhang soll den Einsatz der Begriffe verdeutlichen. Im Mittelpunkt steht hier nicht die Vorstellung eines speziellen sequenziellen Ablaufs für das Problemlösen, sondern das Bild 0-1 soll lediglich als Hilfestellung dienen, wie die Begriffe verstanden und eingesetzt worden sind. Die Begriffsdefinitionen werden dabei nicht aus bestimmten Literaturquellen zusammengetragen und hier aufgeführt, da durch das differenzierte Verständnis der Autoren eine Definition leicht aus dem Zusammenhang gerissen werden kann. Aus diesem Grund wird hier eine eigene Begriffbestimmung vorgestellt, bei der sich an gängiger Literatur in der Konstruktionswissenschaft angelehnt wird.

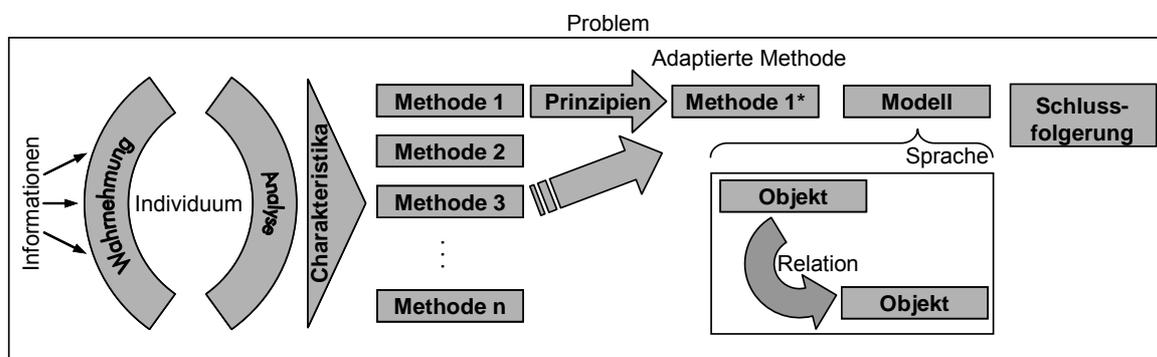


Bild 0-1: Zusammenhang der verwendeten Begriffe

Im Rahmen einer Problembearbeitung werden Informationen von einem Individuum wahrgenommen. Durch die Analyse der Informationen ist das Individuum in der Lage, mithilfe der situationsbeschreibenden Charakteristika eine Methode aus dem vorhandenen Methodenpool des Individuums auszuwählen. Die Anwendung von Prinzipien erlaubt, die ausgewählte(n) Methode(n) an die Situation zu adaptieren. Um eine Ergebnisorientierung sicherzustellen, wird das Modell als ein Ergebnis der (adaptierten) Methode verstanden. Das Modell drückt durch die Sprache (bestehend aus Objekten und Relationen) eine Problembeschreibung aus. Das erarbeitete Modell dient dann als Grundlage für die Erarbeitung von Schlussfolgerungen.

Adaption

Bei einer Adaption findet eine Anpassung von Hilfsmitteln (z. B. Methoden, Vorgehen, Programmen oder Prinzipien) an eine aktuell vorliegende Situation durch ein Individuum statt, wobei der Grundgedanke des Hilfsmittels beibehalten wird. Die Adaption wird durch zielgerichtete Modifikation realisiert, z. B. Ergänzen von Methoden durch weitere Charakteristika.

Analyse

Unter einer Analyse versteht man das Hinterfragen einer Situation, unterstützt durch Hilfsmittel, wobei die Interaktionen einzelner Objekte betrachtet werden. Es wird nicht näher unterschieden, ob eine Analyse zu Beginn der Produktentwicklung stattfindet oder als Teil eines anderen Entwicklungsschrittes durchgeführt wird.

Charakteristikum

Durch Charakteristika wird die Auswahl einer Methode unterstützt, die sich wiederum an der Situation und den zu erwartenden Ergebnissen orientiert. Die Charakteristika unterscheiden damit die Methoden, da diese einen unterschiedlichen Einsatzzweck haben. Ein Charakteristikum unterteilt sich in Merkmale (hier: Objekte und Relationen), die wiederum Ausprägungen haben können. Als Synonym für Charakteristikum wird auch der Begriff Eigenschaft verwendet.

Individuum

Unter dem Individuum ist eine beliebige Person zu verstehen (z. B. ein Produktentwickler), bei der Wahrnehmung, Schlussfolgerung etc. einer subjektiven Problembetrachtung unterliegen. Durch den subjektiven Charakter sind Reaktionen für andere Individuen möglicherweise nicht nachvollziehbar und erscheinen lediglich für das ausführende Individuum im Rahmen seines Erfahrungsschatzes und seiner Möglichkeiten als sinnvoll.

Information

Bei der Information handelt es sich um eine explizite Darstellung des Wissens durch Daten. Information ist nicht personengebunden und für unterschiedliche Individuen zugänglich, die jedoch eine unterschiedliche Semantik in die Information interpretieren können. Die Art der Nutzung der Informationen durch die Wahrnehmung oder die erarbeiteten Schlussfolgerungen eines Individuums ist nicht vorhersagbar, da die Informationen für jeden Informationsempfänger einen anderen Nutzen darstellen.

Methode

Die Methode für die Analyse (z. B. UML, SADT) versteht sich als ein planmäßiges, regelbasiertes Vorgehen zum Erreichen eines bestimmten Ziels. Das Vorgehen muss im Allgemeinen an eine Situation adaptiert werden; dabei steht im Mittelpunkt, dass man sich vor der Bearbeitung eines Problems das Vorgehen verdeutlicht. Das Ergebnis einer angewendeten Methode wird in der vorliegenden Arbeit als Modell verstanden.

Modell

Das Modell stellt ein Abbild der Realität dar, welches Informationen in eine individuelle Struktur bringt, um ein subjektives Ordnungsverständnis aufzubauen. Durch die Darstellung in einem Modell werden die Informationen zusammengetragen, die für die Lösung eines Problems als relevant erscheinen. Das vorliegende Modellverständnis grenzt sich von einem klassischen inhaltsorientierten Funktions- oder Bauteilmodell ab, da weder die zu verknüpfenden Inhalte noch die Struktur der Verknüpfung im Voraus bekannt sind. Für die vorliegende Arbeit wird der Modellbegriff auf grafische und textuelle Modelle beschränkt, mit denen unterschiedliche Inhalte gleichzeitig abgebildet werden können. Dadurch fallen z. B. mathematische oder psychologische Modelle als Erklärungsansätze nicht in den gegenwärtigen Betrachtungsraum. Das Modell wird u. a. charakterisiert durch eine Systemgrenze, Eingangs- und Ausgangsinformationen und stellt ein Ergebnis einer Methode dar.

Objekt

Objekte stellen zusammen mit Relationen die Sprache für das Modell dar. Ein Objekt kann in weitere Objekte unterteilt (z. B. hierarchische Strukturierung) und durch Charakteristika detailliert beschrieben werden.

Prinzip

Ein Prinzip soll hier eine Abstraktion einer systematischen sowie heuristischen Handlungs- und Denkbeobachtung darstellen, die unter problem- und situationsbeschreibenden Randbedingungen immer wieder auftritt (z. B. die Definition einer Systemgrenze bei der Problemanalyse); ein Prinzip versucht dies zu explizieren. Damit grenzt sich das Prinzip von einer Checkliste ab, die sich durch eine dogmatisch starre Anwendung auszeichnet und nicht adaptiert wird.

Problem

Das Problem zeichnet sich dadurch aus, dass die Lösung, um von einer Ausgangssituation zu einer Zielsituation zu kommen, noch nicht bekannt ist – somit liegt eine Barriere vor. Durch die Barriere grenzt sich das Problem von einer Aufgabe ab, bei der diese nicht vorliegt. Alternativ kann das Ergebnis oder die einzusetzende Methode unbekannt sein. Für die Lösung eines Problems stehen deduktive, induktive und abduktive Verfahren zur Verfügung.

Relation

Eine Relation beschreibt das Wirken von Objekten untereinander. Eine Relation kann durch Charakteristika detailliert beschrieben werden.

Schlussfolgerung

Eine Schlussfolgerung ist eine Ableitung von Erkenntnis oder Handlungsmaßnahmen auf Basis von verknüpften Informationen. Die Schlussfolgerung setzt ein wahrgenommenes Modell voraus. Dieses wird hinsichtlich seiner Relationen interpretiert; damit können Maßnahmen abgeleitet, Hypothesen formuliert und letztendlich auch ein Verständnis aufgebaut werden.

Sprache

Die Sprache stellt eine (Teil-) Beschreibung eines Problems durch Objekt und Relation dar, wobei die wahrgenommenen Informationen als Basis der individuellen Beschreibung dienen. Die Sprache eines Modells setzt sich aus Ausprägungen der Objekte und Relationen zusammen, sodass die (Modell-) Sprache eine der Umgangssprache ähnliche morphologische Eigenschaft besitzt.

Wahrnehmung

Die Wahrnehmung ist eine subjektive Eigenschaft, bei der durch eine Reizveränderung bei einem Individuum eine Reaktion hervorgerufen wird. Dies kann zu einer psychischen Reaktion (z. B. Lernen, Emotionen) oder zu einer physischen Reaktion (z. B. Bewegung) führen. Die Wahrnehmung trägt zusammen mit der Schlussfolgerung zu einem Verständnis eines Problems bei.

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Modelle der Produktentwicklung (z. B. Prozessmodell mithilfe von SADT¹ oder Funktionsmodell mithilfe von TRIZ²) sind in Analysen oder Berechnungen unerlässlich, sobald ein kompliziertes Problem gelöst werden soll; um u. a. die Zusammenhänge von Ursache und Wirkung zu strukturieren. Für die obligatorische Vernetzung von Informationen kommt die Sprache³ und Methodenkompetenz des Individuums zum Einsatz. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen:

Wird ein Problem durch ein Individuum gelöst, z. B. die Division im Binärsystem der Zahlen 1010 durch 101, so ist wiederholt folgende Prozedur zu beobachten: Die Zahlen werden in ein geläufigeres Zahlenformat transformiert (z. B. Dezimalsystem), der Algorithmus für die Problemlösung wird angewendet und die abschließende Überführung des Ergebnisses in das Binärsystem führt zur Darstellung in dem ursprünglichen Zahlenformat. Hiermit ist demonstriert worden, dass Individuen in einer ihnen vertrauten Sprache – hier dem Dezimalsystem – Probleme leichter lösen können; deshalb müssen sie in der Lage sein, Probleme in eine vertraute Sprache zu überführen.

Bei dem Beispiel wird deutlich, dass bei Betrachtung der vorhandenen Kompetenzen des Individuums in Forschung und Industrie sich neben der Relevanz der Fachkompetenz eine Bedeutsamkeit der Methodenkompetenz – die im Allgemeinen bei dem Entwickler noch nicht hinreichend besteht – u. a. auch für die Leistung eines Teams erkennen lässt (LINDEMANN 2004, S. 23; GRABOWSKI & GEIGER 1997, S. 76). Steht bereits eine intensive Unterstützung der Fachkompetenz z. B. durch die DfX⁴-Methodik zur Verfügung (ANDREASEN et al. 1988; MEERKAMM 2003), ist für die Entwicklung der Methodenkompetenz eine För-

¹ SADT = **S**tructured **A**nalysis and **D**esign **T**echnique (MARCA & MCGOWAN 1987)

² TRIZ = **Т**ЕОРИИ **Р**ЕШЕНИЯ **И**ЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ **З**АДАЧ (= Theorie des erfinderischen Problemlösens) oder in der englischen Literatur TIPS (= **T**heory of **I**nventive **P**roblem **S**olving) (z. B. ALTSCHULLER 1984; HERB et al. 2000)

³ Sprache im Sinne einer Modellierungssprache, bei der sich Symbole an einer Methodik (z. B. ereignisgesteuerte Prozesskette) orientieren, d. h., dass Objekte und Relationen symbolisch definiert, sowie Regeln zu befolgen sind.

⁴ DfX = **D**esign for **X**, wobei X für einen Teilaspekt der Produktentwicklung steht, u. a. für: A=Assembly (Montage), C=Cost (Kosten), P=Production (Produktion), E=Environment (Umwelt) (HUANG 1996)

derung in gleichem Umfang sicherzustellen. Exemplarisch für den Methodeneinsatz sei das Life Cycle Management¹ erwähnt, das auf Unternehmensebene die Strukturierung von Informationen in einem Modell ermöglicht und somit zur Kostensenkung beiträgt (DANNEHL 2003, S. 25). Eine Problemlösung, die auf einer gemeinsamen Visualisierung beruht, hat sich zusätzlich auch in der verteilten Produktentwicklung als nützlich erwiesen (PLÖTZNER et. al 2000, S. 91ff). Neben diesem können weitere Vorteile von Strukturierungen auf Unternehmensebene für die Individualebene nutzbar gemacht werden, sobald eine Methodenadaptation durchgeführt wird, z. B. Verständnis fördern oder Grundlage für Reflexion erarbeiten (LINDEMANN 2004, S. 39). Für die Ableitungen von Schlussfolgerungen oder die Definitionen von Maßnahmen, welche für die Problemlösung notwendig sind, stellt die adaptierte Methode die Grundlage dar. Hierfür ist von dem Individuum ein Verständnis für das Problem zu fordern. Die Reflexion von Schlussfolgerungen, Maßnahmen und Verständnis bedarf einer Strukturierung und eines Wechsels von Vorgehensweisen oder Denkmustern. Hierfür können sich Anregungen aus interdisziplinäreren Kooperationen² ergeben, z. B.:

- Evolutionäre Biologie denkt in morphologischen Zusammenhängen (WAGENSCHNEIN 1999, S. 47),
- Mathematik denkt in Mustern (DEVLIN 2003, S. 23),
- Physik denkt in kausalen Zusammenhängen (RIEDL 2000, S. 14).

Um ein Modell zu erarbeiten, bilden Informationen die Basis. Deren Beschaffung nimmt bei der Problemanalyse bis zu 50% der Arbeitszeit eines Produktentwicklers in Anspruch (EHRENSPIEL 2003, S. 493; GRABOWSKI & GEIGER 1997, S. 71). Es ist nachvollziehbar, dass alleine der Informationszugriff nicht zwangsläufig zu einem hohen Problemverständnis führt, da als Folge eines in der Informationsflut begründeten Unverständnisses (VESTER 1999, S. 7) auch relevante und irrelevante Informationen schwer differenziert werden können (AKIYAMA 1989, S. 39). Abgesehen von der Bewältigung der Informationsflut sind auch qualitative Ansprüche an die Informationsverarbeitung zu stellen, um eine handlungsorientierte Reaktion auf Informationen zu ermöglichen und Fehler zu vermeiden. Fehler, die in diesem Kontext gemacht werden, sind u. a. Handeln ohne vorherige Situati-

¹ Life Cycle Management ist eine Betreuung eines Produkts durch einen Produktentwickler über die Lebensdauer des Produkts (von der Produktidee über die Fertigung bis zum Recycling). Dies wird erreicht, indem die Erfassung, Bearbeitung und Archivierung aller produktrelevanten Informationen über die Lebensdauer eines Produkts angesammelt werden. Herausforderungen sind u. a., die Schnittstellen zwischen Entwicklungsphasen zu verbessern, um eine Mehrfacharbeit zu vermeiden oder durch eine durchgängige Dokumentation die Nachvollziehbarkeit sicherzustellen.

² Um das Verständnis für ein Problem zu fördern, haben sich bereits Disziplinen zusammengeschlossen, um ihre Erkenntnisse zu verknüpfen, z. B.: Bionik (Biologie und Technik), Mechatronik (Mechanik, Informatik, Elektronik), Sozionik (Soziologie und Informatik).

onsanalyse, Nichtberücksichtigung von Prozessen, Fern- und Nebenwirkungen oder ungenügende Analyse, sodass eine mangelhafte Schlussfolgerung ausgearbeitet wird (DÖRNER 1999, S. 32).

Eine Reaktion auf diese Schwierigkeiten kann entweder sein, die Zielorientierung der Problemanalyse im Voraus in Frage zu stellen bzw. zu begründen (EISENHARDT et al. 1995, S. 230; LINDEMANN 1999, S. 757ff) oder dem Einsatz von speziellen Problemmodellen bei der Lösungsfindung eine Relevanz zuzuweisen (GRAMANN 2004, S. 2). Insbesondere kann der Einsatz von Modellen über die Entwicklungsphasen hinweg unterstützt werden, entweder durch eine modularisierte und vernetzte Darstellung der Informationen durch Modelle (BERGER 2004; LINDEMANN et al. 2004b) oder durch die Abstraktion patentierter Lösungen, wobei Prinzipien in einer Methode integriert sind und z. B. zu einem Funktionsmodell führen (ALTSCHULLER 1984). Mit dem Fokus einer Vorgehensunterstützung werden in beiden Fällen die angewendeten Modelle durch die Unabhängigkeit von einem Produkt oder einer Situation mit einer Adaption leichter praktikabel.¹

Das Hauptproblem, dem im Folgenden die Aufmerksamkeit zukommt, stellt die Anwendung von Standardmodellen in der Problemanalyse dar. Die Standardanwendung von Modellen kann bei der Bearbeitung von Aufgaben beobachtet werden, für die Lösung eines Problems wird die Nützlichkeit von Standardmodellen erst durch deren Adaption an die Randbedingungen als förderlich bewertet.

Basierend auf dieser Ausgangssituation zeigt Bild 1-1, aufgrund welcher Probleme Handlungsbedarf aus der Perspektive der Forschung und der Industrie im Blick auf die Modelle bei der Problemanalyse besteht.

Forschung	Industrie
<ul style="list-style-type: none"> • Probleme bei der Zusammenführung von Teilmodellen • Grenzen/Anwendungsbereiche eines Modells sind nicht bekannt • Mangelndes Verständnis bei der Problemlösung • Keine Individualisierung von Modellen bei der Problemanalyse 	<ul style="list-style-type: none"> • Zu viel Teamarbeit, bei der kein individuelles Problemverständnis aufgebaut wird • Probleme bei der Anwendung von Methoden und Modellen • Hilflosigkeit bei der Erarbeitung eines Vorgehens bei der Problemlösung • Umgang mit und Strukturierung von Information wird nicht richtig durchgeführt

Bild 1-1: Überblick über Problemstellung aus der Perspektive von Forschung und Industrie

¹ Im Vergleich zu der DfX-Methodik, bei der eine produktspezifische Unterstützung, z. B. durch Checklisten für fertigungsgerechte Produktgestaltung, bereitgestellt wird.

1.1.1 Problemstellung aus Perspektive der Forschung

Probleme bei der Zusammenführung von Teilmodellen

Werden Modelle in der Konstruktionslandschaft betrachtet, so lassen sich folgende Tendenzen hervorheben: Entweder werden Teilmodelle aus Analysen kombiniert (LAUFENBERG 1996, S. 94) oder ein integriertes¹ Modell verknüpft Informationsquellen (GRABOWSKI et al. 1993; KAISER 1997, S. 1).

- Teilmodelle

In der Produktentwicklung werden die Teilmodelle (z. B. Funktions- oder Bauteilmodelle) in ausgewählten Entwicklungsphasen angewendet und entsprechen damit dem situationsspezifischen Einsatz (LINDEMANN 2004, S. 207). Demzufolge ist die Verfügbarkeit der Informationen in anderen Entwicklungsphasen nur sichergestellt, indem die Überführung der Informationen von einem Teilmodell in ein anderes durchgeführt wird. Hierbei ist es hilfreich, bereits in der Planung die Reihenfolge bzw. die Schnittstellen der eingesetzten Modelle zu berücksichtigen (DREBING 1991, S. 46).

- Integrierte Modelle

Um den Grundgedanken der integrierten Modelle zu realisieren (z. B. Prozessmodelle mittels UML), ist insbesondere die Umsetzung der Unabhängigkeit des Modells von den Entwicklungsphasen (z. B. Entwicklung, Fertigung, Montage) zu verwirklichen. Besonders in der frühen Phase sind häufige Änderungen des Produkts zwar möglich (EHRENSPIEL 2003, S. 181), die verwendeten Datenmodelle zur Administration von Informationen (RUMBAUGH et al. 1999, S.190) können jedoch dieser schnellen Änderung nur schwer nachkommen.

Grenzen/Anwendungsbereich eines Modells sind nicht bekannt

In beiden Ausprägungen – Teilmodell und integriertes Modell – wird die Grenze eines Modells für den Einsatz in der Analyse durch die eingesetzte Sprache sichtbar.² Als Beispiel kann z. B. die Anwendung einer grafischen Funktionsstruktur dienen, die einen Funktionszusammenhang nur mit einer geringen Anzahl an Elementen visualisieren kann. Sobald die problemrelevanten Informationen nicht mehr abgebildet werden können, ist die Grenze für eine Analyse mit einem spezifischen Modell erreicht. Erschwerend kommt

¹ Häufig auch: ganzheitliches

² In Anlehnung an WITTGENSTEIN (2001, S. 234): Die Grenzen meiner Umgangssprache [sind] bedeuten die Grenze meiner Welt.

noch hinzu, dass vermehrt Analysemodelle erforderlich sind, da z. B. durch die erhöhte Variantenzahl pro Fahrzeugmodell die Anzahl der Modelle und damit der zu verarbeitenden Informationen steigt (NEFF et al. 2001, S. 30).

Mangelndes Verständnis bei der Problemlösung

Neben den verfügbaren Modellen in der Produktentwicklung ist die Förderung des Verständnisses für die Problembearbeitung ein Aspekt, dem in der Konstruktionsforschung nur geringe Aufmerksamkeit gewidmet wird. Deshalb kann mangelndes Verständnis zu Urteilsfehlern führen, die ihren Ursprung in der Informationsdarstellung haben (EVANS 1994, S. 8). Im Gegensatz dazu kann eine Förderung des Verständnisses mittels einer aktiven Modellierung durch das Individuum erreicht werden (GRAMANN 2004, S. 16; WESSELLS 1994, S. 155; WAGENSCHNEIN 1999, S. 43). Steht ein Modell zur Verfügung, wird der Aufbau eines umfassenden Verständnisses ermöglicht (DÖRNER 1999, S. 13). Mangelndes Verständnis in der Produktentwicklung kann z. B. zu einer falschen Einschätzung der Festigkeit oder Technologiemöglichkeiten führen.

Keine Individualisierung von Modellen bei der Problemanalyse

Die Lösung eines Problems ist abhängig vom Individuum (ALMS 1984, S. 46f; SCHREGENBERGER 1985, S. 893ff; GÜNTHER 1998, S. 22), welches eine vertraute Methode heranzieht und diese an die Randbedingungen adaptiert (EHRENSPIEL 1999, S. 721ff; JACKSON 1984, S. 56). Mit dem vorliegenden individuellen Modell optimiert sich die Anwendung im Vergleich zu standardisierten bzw. von außen vorgegebenen Modellen (BREDENKAMP 1998, S. 67), was zu einer schnelleren Produktentwicklung führen kann (LAUFENBERG 1996, S. 3). Die in den standardisierten Modellen angewendete Sprache kann zu einer Beeinträchtigung führen, da u. a. die Nachvollziehbarkeit eingeschränkt wird (PRIGOGINE 1998, S. 77); so wird in individuellen Modellen der Ansatz verfolgt, eine eigene Modellsprache – bestehend aus Objekten und Relationen – zu entwickeln. Als Beispiel für die mangelnde Individualisierung von Methoden sei an dieser Stelle deren dogmatisch starre Anwendung aufgeführt (auf die viele Probleme wie Akzeptanz bei der Methodenanwendung zurückgeführt werden können), bei der eine Methode nur eingeschränkt bei der Problemlösung helfen kann.

Abschließend sollen Ansätze aus dem Wissensmanagement, z. B. mithilfe der Wissensbausteine¹ (PROBST & ROMHARDT 1997, S. 49ff), in der folgenden Diskussion ausgeschlossen

¹ Wissensziele, Wissensidentifikation, Wissenserwerb, Wissensentwicklung, Wissens(ver)teilung, Wissensaufbewahrung, Wissensnutzung, Wissensbewertung

werden. Sie verfolgen meist eine Umsetzung auf Unternehmensebene und bieten nur relativ geringe Unterstützung für das Individuum, um ein Problemverständnis aufzubauen.

1.1.2 Problemstellung aus Perspektive der Industrie

Zu viel Teamarbeit, bei der kein Problemverständnis aufgebaut wird

Sobald die Kompetenz des Individuums für die Problembearbeitung ausgeschöpft ist, wird häufig eine Besprechung einberufen oder Gruppenarbeit initiiert. Dies geschieht in der Annahme, dass durch gruppenorientierte Denkweisen ein tieferes Problemverständnis des Individuums erarbeitet werden kann. Nur in wenigen Situationen kann diese Erwartungshaltung erfüllt werden, da das Verständnis bei der Einzelarbeit bewiesenermaßen im größeren Umfang anwächst als bei der Gruppenarbeit (FUNKE 2003, S. 183).¹ Unter der Randbedingung, dass ein Problem von mehreren Individuen gelöst werden muss, ist die Einzelarbeit zu optimieren und ein selektiver Einsatz von Kleingruppenarbeit² muss stattfinden (z. B. verstärkt in der Lösungssuche (WULF 2002, S. 99ff)). Ebenso wie bei dem willkürlichen Einsatz von Teamarbeit in der Industrie, hat in der Vergangenheit eine ziellose Anwendung von Brainstorming³ stattgefunden. Aus beiden Fällen – Teamarbeit und Brainstorming – leitet sich die Notwendigkeit eines ausgewogenen Einsatzes ab, indem nicht ein pauschaler Methodeneinsatz sondern eine individuelle Unterstützung bei der Problemanalyse verfolgt wird.

Probleme bei der Anwendung von Methoden und deren Modelle

Ein begrenzter Einsatz von Methoden kann die Folge eines unsicheren Methodenumgangs sein, welcher sich durch die geringe Methodenkompetenz begründen lässt (GRABOWSKY & GEIGER 1997, S. 44f; EHRENSPIEL 2003, S. 7ff; GÜNTHER 1998, S. 22). Dies lässt sich zurückführen auf z. B. Fehler bei der Einführung von Methoden (VIERTLBÖCK 2000, S. 27) oder eine Beurteilung der Methode als zusätzlichen unnötigen Prozessschritt. Dieser Reaktion des Individuums kann entgegengetreten werden, indem die ihm vertrauten Methoden erweitert und nicht zusätzliche Methoden bereitgestellt werden. Die Herausforderungen

¹ Zu unterscheiden sind an dieser Stelle die Begriffe Team und Arbeitsgruppe. Ein Team stellt einen interdisziplinären Zusammenschluss dar, bei dem die Betrachtung eines Problems aus unterschiedlichen Perspektiven im Mittelpunkt steht. Bei einer Arbeitsgruppe handelt es sich um das Zusammentragen von Arbeitsergebnissen aus einer Disziplin, die miteinander in Verbindung zu setzen sind.

² Die Kleingruppe soll sich insbesondere durch die Anzahl der beteiligten Personen (2-3) von einem Team abgrenzen.

³ Bei dem Brainstorming hat sich gezeigt, dass sich ein willkürlicher Einsatz gar nicht oder sogar negativ auf das angestrebte Arbeitsergebnis auswirken kann (STROEBE & NIJSTAD 2003, S. 26ff).

die sich bei dem Umgang mit Methoden ergeben, sind insofern von Bedeutung, als das Modell als ein Ergebnis der Methode verstanden wird.

Hilflosigkeit bei der Erarbeitung eines Vorgehens bei der Problemlösung

Bei der Ausarbeitung von Modellen unterliegt das Individuum häufig dem präskriptiven Charakter der Methode (GÜNTHER 1998, S. 21; JORDEN 1983, S. 493; KELLER 2000, S. 17) und führt eine Adaption der Methode nicht durch. Deshalb muss dem Individuum eine Unterstützung für die Adaption von Analysemethoden bereitgestellt werden, welche eine gewisse Selbstverständlichkeit aufweist.

Umgang mit und Strukturierung von Information wird nicht richtig durchgeführt

In der Produktentwicklung liegen Informationen von Individuen vor (z. B. Kunde, Produktentwickler), die in Modellen strukturiert werden können (DEGELE 2000, S. 10) und einen methodischen Umgang mit den Informationen zulassen (ZENCK 2003, S. 11ff; CARSTENGERDES 2003, S. 12ff). Das für die Analyse erarbeitete Modell muss bzgl. der Qualität der Informationen hinterfragt werden, um u. a. folgenden Aspekten Rechnung zu tragen (VESTER 1999, S. 36f; DÖRNER 1999, S. 59ff): Informationslücken sind zu identifizieren, falsche Zielbeschreibungen müssen vermieden werden, Dynamik und Komplexität des Modells sind zu untersuchen, unvernetzte Situationsanalyse ist zu vermeiden, irreversible Schwerpunktbildung soll unterdrückt werden und unbeachtete Nebenwirkungen sind zu erkennen. Diese Aspekte sind in einem Modell von Bedeutung, da es z. B. als Grundlage für den Erkenntnisgewinn und die Ableitung von Maßnahmen herangezogen wird.

Paradoxon

Der sich aus der vorgestellten Problemstellung aufgebaute Handlungsbedarf von Forschung und Industrie lässt sich in einem Paradoxon zusammenfassen. Hierfür ist zum einen die Informationsflut von Bedeutung, sowie der individuelle Strukturierungsbedarf von Informationen: Für das richtige Modell müssen alle Informationen vorliegen, die allerdings erst zur Verfügung stehen, sobald die vorhandenen Informationen in einem Modell strukturiert wurden. Daraus folgt, dass die Nützlichkeit eines Modells erst im Nachhinein eingeschätzt werden kann.

1.2 Fragestellungen

Im Folgenden sollen zu dem aufgeführten Handlungsbedarf Ziele vorgestellt werden (Bild 1-2). Auf die vorgestellten Ansätze soll jedoch erst zurückgegriffen werden, sobald ein

Individuum Schwierigkeiten mit einer ihm vertrauten Methode hat. Liegen derartige Schwierigkeiten vor, muss die Bereitschaft vorhanden sein, Denkgewohnheiten im Sinne der Problemlösung zu ändern (DÖRNER 1974, S. 11).

Forschung	Industrie
<ul style="list-style-type: none"> • Wie kann eine Unterstützung bei der Überführung von einem Modell in ein anderes bereitgestellt werden? • Welche Prinzipien für die Erweiterung von Methoden in der Problemanalyse sind erforderlich? • Welchen Nutzen kann der Einblick in die Erkenntnisse anderer Disziplinen bringen? 	<ul style="list-style-type: none"> • Wie kann das Verstehen von Problemstellungen durch die Anwendung von Modellen gefördert werden? • Wie kann eine Unterstützung für die Anwendung von unterschiedlichen Modellen aussehen?

Bild 1-2: Überblick über die Fragestellungen aus der Perspektive von Forschung und Industrie.

1.2.1 Fragestellungen für die Forschung

Wie kann eine Unterstützung bei der Überführung von einem Modell in ein anderes bereitgestellt werden?

Da Modelle die Analyse unterstützen (DÖRNER 1976, S. 89), werden vorhandene Methoden der Produktentwicklung mithilfe von Charakteristika beurteilt. Dies geschieht vor dem Hintergrund, eine Ähnlichkeit der Modelle aufgrund der individuellen Einschätzung zu erarbeiten, damit die Unterschiede der Modelle verdeutlicht werden. Die Beurteilung unterliegt in diesem Fall einer subjektiven Einordnung der Eigenschaften der Methode und hat keinen Anspruch auf eine wissenschaftliche Verallgemeinerung. Es soll vielmehr der individuelle Kenntnisstand abgebildet werden, um bei der Überführung der Informationen von einem Modell in ein anderes die Methodenkompetenz des Individuums zu berücksichtigen.

Welche Prinzipien für die Erweiterung von Methoden in der Problemanalyse sind erforderlich?

Ähnlich wie bei dem vorgestellten DfX – bei dem Teilaspekte der Produktentwicklung besonders unterstützt werden – wird hier ein Ansatz verfolgt, bei dem durch Prinzipien für X ebenso unterschiedliche Perspektiven von Entwicklungsphasen des Problems (z. B. Verstehen des Problems, Definition von Maßnahmen) unterstützt werden sollen.

Die beispielhaft abgeleiteten Prinzipien (z. B. Systemgrenze, Systemverhalten), die von der Beurteilung von Modellen durch Charakteristika stattfinden, schließen Lücken, da abstrakte Hinweise, bei denen nach dem was, warum, wie, wann und wo gefragt wird (HERB et al. 2000, S. 21), nicht operativ genug erscheinen. Die zur Verfügung gestellten Prinzipien sollen für eine Erweiterung der Analyse herangezogen werden, wobei sie einen Vorschlag für die grafische Integration von Informationen in ein vorhandenes Modell bereitstellen, mit dem Ziel mehrere Informationen auf einmal zur Verfügung zu stellen (BREDENKAMP 1998, S. 62). In der vorliegenden Arbeit wird die Perspektive von dem Individuum auf die Analyse gerichtet, in weiteren Arbeiten sollen andere Sichtweisen genauso prinzipiengestützt gefördert werden, z. B., wie ein Individuum selbst in zeitkritischen Situationen in der Produktentwicklung noch einen methodischen Entwicklungsprozess durchführen kann (JOKELE 2006).

Welchen Nutzen kann der Einblick in die Erkenntnisse anderer Disziplinen bringen?

Die Dialektik wird hier mit einer speziellen erkenntnistheoretischen Ausrichtung herangezogen, also mit dem Ziel zu Erkennen und zu Verstehen.¹ Durch diese Auffassung erlangt die Wahrnehmung (für das Erkennen) und die Schlussfolgerung (für das Verstehen) eine besondere Bedeutung, wobei diese Bereiche u. a. in der Neurologie sowie in der Psychologie umfassend untersucht werden. Die Erkenntnisse aus den Disziplinen unterstützen bei der Durchführung einer Selbstreflexion, indem Eigenschaften von Wahrnehmung und Schlussfolgerung vorgestellt werden.

1.2.2 Fragestellungen für die Industrie

Wie kann das Verstehen von Problemstellungen durch die Anwendung von Modellen gefördert werden?

In einer Problemsituation hat das Individuum einen Strukturierungsbedarf (KAISER 1997, S. 5), um Zusammenhänge zwischen den Objekten suchen und verstehen zu können (HUSSEY 1998, S. 84; BANDURA 1976, S. 206; BREDENKAMP 1998, S. 42). Damit werden die Vorteile eines Modells nutzbar, bei dem die Aufmerksamkeit auf das Problem fokussiert (EVANS 1994, S. 104) und das Individuum vor ziellosem Denken geschützt wird (FUNKE 2003, S. 245). Durch Prinzipien sollen Barrieren² bei der Analyse überwunden werden,

¹ Im Gegensatz zu einem dialektischen Begriffsverständnis der allgemeinen Philosophie, bei der man den schnellen Wechsel von Analyse und Synthese durchführt (GRAMANN 2004, S. 41)

² Beispiel für Barrieren: Interpolations-, Synthese- und dialektische Barriere (DÖRNER 1976)

wobei die Anwendbarkeit und Nicht-Anwendbarkeit der Prinzipien zeigt, welche Freiheiten und Einschränkungen für den Lösungsraum vorliegen. Letztendlich kann ein universeller Formalismus für die Problemanalyse nicht bereitgestellt werden (KAISER 1997, S. 55).

Wie kann eine Unterstützung für die Anwendung von unterschiedlichen Modellen aussehen?

Für das Verständnis des Problems soll die Vergegenwärtigung, Ordnungsleistung, Selektivität, Entscheidung und Reflexivität unterstützend herangezogen werden (in Anlehnung an GRAUMANN 1964, S. 493ff). Dies kann z. B. durch einfache Hilfsmittel wie das Ideenblatt (SCHWANKL 2002, S. 163) oder das Handlungsplanungsblatt (JOKELE 2006) erreicht werden.

1.3 Aufbau der Arbeit

Kapitel 2 gibt Einblick in aktuelle Arbeiten in dem definierten Problemfeld. Es wird darauf verzichtet, die speziellen Methoden der Produktentwicklung zu beschreiben. Der Schwerpunkt wird darauf gelegt, wie die vorhandenen Methoden aus diversen Sichtweisen (z. B. strukturelle Sichtweise) betrachtet werden können. Darüber hinaus soll ein Einblick in ausgewählte Disziplinen gegeben werden, bei der Wahrnehmung und Schlussfolgerung bei der Informationsverarbeitung besondere Beachtung finden.

Um eine Methodenadaption über Prinzipien bereitzustellen, wird in Kapitel 3 eine Vorgehensweise beschrieben, die zu einer Erstellung von Prinzipien führt.

Aufbauend darauf werden in Kapitel 4 vorhandene Analysemethoden der Produktentwicklung mithilfe von Charakteristika beurteilt. Es wurde eine Auswahl aus standardisierten Methoden in der Produktentwicklung getroffen, die einen Querschnitt der angewendeten Methoden – über unterschiedliche Problemstellungen hinweg – darstellen.

Basierend auf den beurteilten Methoden wurden Prinzipien für die Analyse erarbeitet, welche in Kapitel 5 vorgestellt werden. Eine Unterscheidung nach allgemeinen und methodenadaptierenden Prinzipien hilft, Schwerpunkte in der Anwendung zu setzen. Die Prinzipien werden durch eine Handlungsempfehlung sowie durch ein Beispiel beschrieben.

Um die Relevanz der Prinzipien für die Praxis vorzustellen, werden in Kapitel 6 diverse Beispiele diskutiert. Es handelt sich um Beispiele aus der Zulieferindustrie in der Automobilbranche, der Medizintechnik, dem öffentlichen Verkehr und dem Anlagenbau.

Eine Zusammenfassung und kritische Diskussion der erarbeiteten Inhalte findet sich in Kapitel 7. Um weitere Arbeiten auf diesem Gebiet anzuregen, werden im Ausblick nicht behandelte Aspekte aufgegriffen.

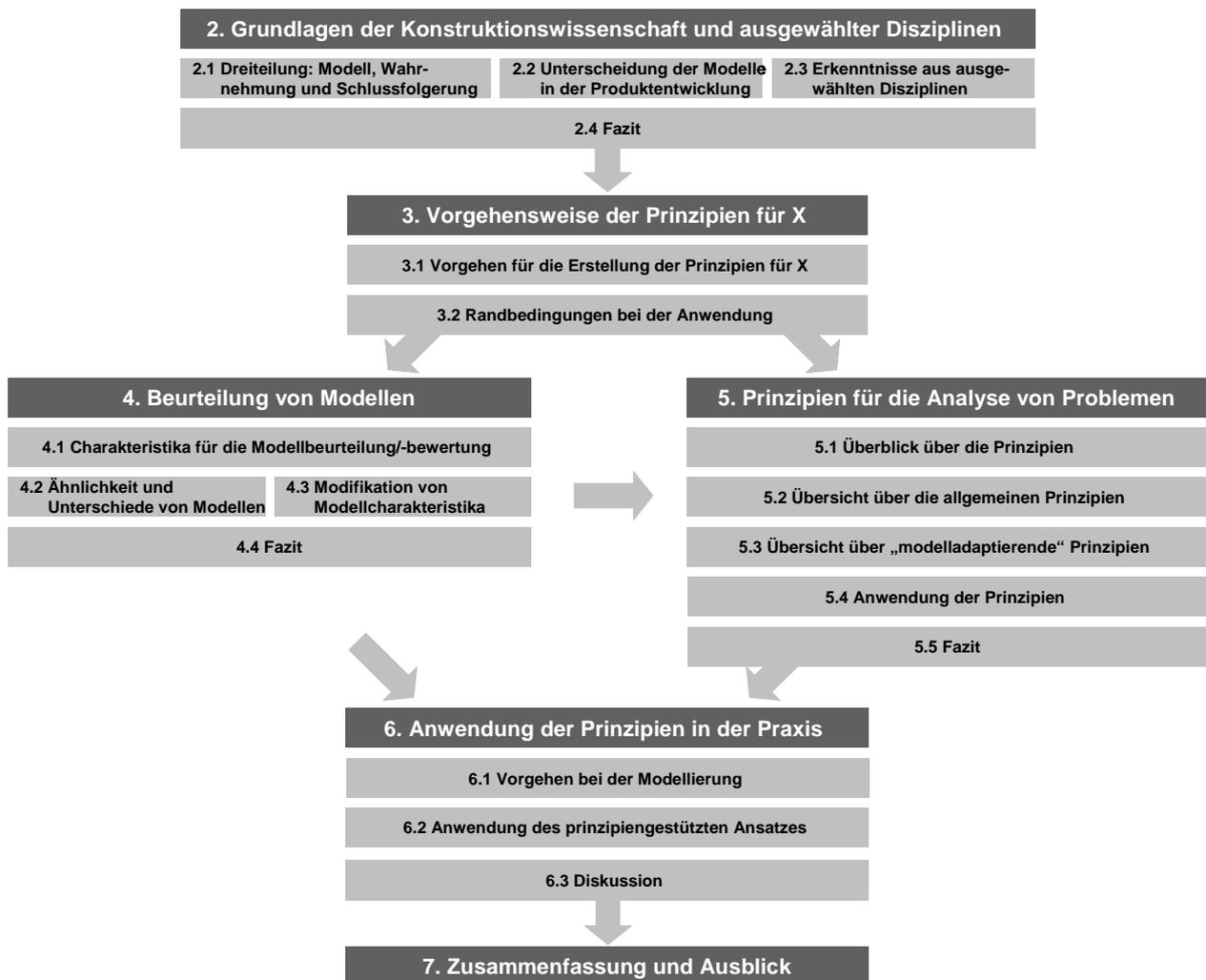


Bild 1-3: Aufbau der Arbeit

Durch zwei Denkorientierungen, Solipsismus und Repräsentationalismus, wird die Möglichkeit zur Verfügung gestellt, eine Theoriebildung von zwei Seiten anzugehen (PULM 2004, S. 20). Besteht im Solipsismus die Wirklichkeit im Individuum und im Repräsentationalismus die Wirklichkeit durch den Umgang mit objektiven Informationen, so wird hier der erste Ansatz verfolgt. Das wissenschaftliche Vorgehen orientiert sich dabei an einer induktiven-empirischen¹ Vorgehensweise, sodass eine deduktiv-theoriekritische Abhandlung des Themas andere Arbeiten zu leisten haben.

¹ Kurzdefinition nach EBERHARD et al. (1999, S. 32): Der induktiv-empirische Erkenntnisweg zeichnet sich durch Verallgemeinerung wiederholt beobachteter Erfahrungen zu einer umfassenden Theorie aus.

Die Arbeit verfolgt damit das Ziel, eine subjektive Theorie¹ vorzustellen, die sich aus den Beobachtungen aus Industrie und Forschung sich aus Sicht des Autors haben ableiten lassen.

¹ Subjektiven Theorien werden die gleichen Funktionen zugeschrieben wie objektiven Theorien, nämlich jene der Erklärung, Prognose und Technologie; sie beziehen sich auf das Denken, Fühlen und Handeln des Akteurs und die ihn umgebende Welt. Im Optimalfall menschlicher Rationalität können subjektive Theorien in objektive Theorien überführt werden (WAHL 1991, S. 53ff).

2 Grundlagen der Konstruktionswissenschaft und ausgewählter Disziplinen

Eine Unterscheidung zwischen der konstruktionswissenschaftlichen und den ausgewählten Perspektiven auf Methoden bei der Produktentwicklung im Hinblick auf eine Problemlösung erscheint aufgrund der zahlreichen Erkenntnisse (z. B. Umgang mit optischen und kognitiven Täuschungen) angebracht. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird zu Beginn eine Differenzierung von Methoden der Produktentwicklung durchgeführt. Anschließend werden die Aspekte Wahrnehmung und Schlussfolgerung betrachtet, die für den Umgang mit Methoden als bedeutend eingestuft werden.

2.1 Dreiteilung: Modell, Wahrnehmung und Schlussfolgerung

Die Dreiteilung in Modell der Produktentwicklung, Wahrnehmung und Schlussfolgerung wird diskutiert, um somit die Wirkung der nachfolgenden Erkenntnisse deutlicher einordnen zu können. Die aufgeführten Aspekte stehen in keiner strengen sequenziellen Abfolge zueinander, sodass der Beginn der Erläuterung beliebig gewählt werden kann (Bild 2-1). Im Folgenden wird mit den Modellen der Produktentwicklung begonnen.¹

Strukturiert man Modelle, so soll eine problemorientierte und nicht eine methodenorientierte Modellanwendung begünstigt werden, d. h., die Auswahl für ein Modell orientiert sich an den Besonderheiten des Problems. Die Einheit von Methode und Modell wird deutlich, wenn bei einem Problem häufig das Modell als Ergebnis einer Methodenanwendung steht. Für die Dokumentation und Darstellung eines Problems eignet sich das Modell, da die komplexen Zusammenhänge von Objekten durch Relationen wahrgenommen werden. Bei dem Individuum spielen vorhandene Schemata bei der Modellbildung eine signifikante Rolle, durch sie findet eine selektive Wahrnehmung statt; d. h., es ist möglich, dass bei der Wahrnehmung des Modells Informationen nicht „gesehen“ werden, obwohl sie objektiv enthalten sind. In Kombination mit vorhandenem Wissen werden durch die Wahrnehmung zusätzliche Informationen präsent, die für die Ableitung von Schlussfolgerungen wichtig sind. Handlungen, die durch die Schlussfolgerungen definiert worden sind, sollen durch

¹ Bei der Analyse stellt sich die Frage nach: Muss erst ein Modell vorliegen, bevor man mit der Analyse fortfahren kann? Hierzu stehen zwei Alternativen zur Verfügung (KAAZ 1977, S. 12): Logisch kommt das Modell nach der Schlussfolgerung, psychologisch geht es dieser voraus.

eine Darstellung in dem Modell wieder abgebildet werden. Hiermit wird sichergestellt, dass die darauf folgende Wahrnehmung auf die aktuelle Datenbasis zurückgreift.

Über alle drei Teilaspekte hinweg, hat die Sprache einen wesentlichen Einfluss auf die Erarbeitung einer Problemlösung. Der enge Zusammenhang von Modell und Sprache ist nachvollziehbar, da der Strukturalismus¹ auf die Linguistik zurückzuführen ist (DELEUZE 1992, S. 8). Einer Diskussion über die Bedeutung von Regeln, Begriffen und Relationen ist deshalb von Beginn an eine hohe Aufmerksamkeit zu widmen, da bei der Bearbeitung von Problemen häufig kognitive und optische Täuschungen auftreten können. Diese können letztendlich zu (nicht) begründbaren Einschränkungen bzw. Annahmen führen, die das Lösungsfeld definieren.

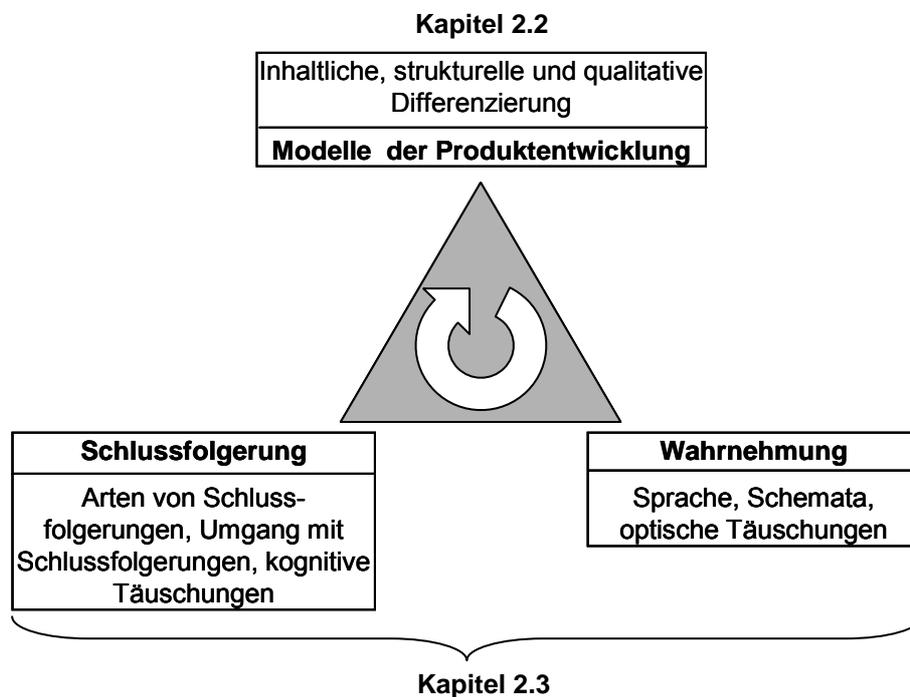


Bild 2-1: Dreiteilung der betrachteten Inhalte im Rahmen des Stands der Forschung

Indem eine Verallgemeinerung vorhandener Erkenntnisse angestrebt wird, ist zwangsläufig ein Formalismus heranzuziehen, gleichzeitig existiert keine Struktur aller Strukturen (PIAGET 1980, S. 69). Eine detailliertere Einschränkung findet statt, indem im Folgenden nicht auf vorhandene Problemdefinitionen² oder Problemlösungsvorgehen¹ eingegangen

¹ Der Strukturalismus nimmt an, dass Phänomene nicht isoliert auftreten, sondern in Verbindung mit anderen Phänomenen stehen. Die Struktur – als Untersuchungsgegenstand – bezieht sich damit nicht auf eine Struktur in der Wirklichkeit, sondern auf eine Struktur des Modells.

² BOURNE et al. (1971, S. 5), DÖRNER 1976, DUNKER (1974, S. 1), KLIX (1971, S. 640), LÜER & SPADA (1990, S. 256)

wird. In beiden Fällen wird in der Literatur geschildert, welches Verständnis der jeweilige Autor bei der Erarbeitung hatte, dabei ist es wesentlich, dass bei dem Individuum ein eigenes Verständnis beider Aspekte vorliegt und dies anhand der Ausführung verifiziert wird. Gerade bei Problemlösungsvorgehen werden häufig sequenzielle Abläufe vorgestellt, die lediglich eingeschränkt der Komplexität eines Problems entsprechen können. Alternativ steht z. B. ein ungerichteter, vernetzter Ansatz zur Verfügung (LINDEMANN 2004, S. 39ff), bei dem die Problembearbeitung in der Produktentwicklung in sieben Elemente² unterteilt wird. Bei diesem Vorgehen ist hervorzuheben, dass es keinen definierten Start- und Endpunkt gibt, sodass ein Einstieg an jedem Element möglich ist. Dennoch wird ein Standardweg vorgeschlagen, durch den eine Vielzahl von Problemen bearbeitet werden können.

Das Kapitel versteht sich als eine Darstellung „zum Stand der Forschung“. Die Inhalte wurden hierfür aus zahlreichen Quellen zusammengetragen und strukturiert. Dabei wurde eine Differenzierung der Modelle erarbeitet – inhaltliche sowie strukturelle Orientierung und Zweckorientierung – und anschließend diskutiert. Diese Differenzierung wurde unter der Sichtweise des vorliegenden Themas ausgewählt, darf jedoch nicht als starr und unerweiterbar verstanden werden.

2.2 Unterscheidung der Modelle in der Produktentwicklung

Die Umsetzung eines individualisierten Modells lehnt sich an existierende Standardmodelle an, die sich wiederum an den technischen (Funktion, Wirkung, Bauteil) oder prozessualen Inhalten der Produktentwicklung³ oder an strukturellen Differenzierungsmöglichkeiten orientieren. Im Vergleich zu den Problemmodellen im Gedächtnis (GRAMANN 2004, S. 36), handelt es sich im Folgenden um „externe“ bzw. grafische/symbolische Modelle (z. B. Funktionsmodell nach TRIZ), die von anderen Individuen wahrgenommen werden können. Diese tragen zu einem höheren Verständnis bei (PUTZ-OSTERLOH 1981, S. 165ff), obwohl bei ihrer Anwendung ein stark suggestiver Charakter ausgeübt wird (WESSELLS 1994, S. 14f).

¹ Folgende Autoren stellen Problemlösungsschritte zur Auswahl: HUSSY (1998, S. 89), JOEREBEN & SEBASTIAN (1998, S. 42, S. 173), PATZAK 1982, STERMAN 2000, WESSELLS (1994, S. 338 ff), ZANGEMEISTER 1976

² Diese werden in dem Münchener Vorgehensmodell unterteilt in: Ziel planen, Ziel analysieren, Ziel strukturieren, Lösungsalternativen suchen, Eigenschaften ermitteln, Entscheidung herbeiführen, Ziel absichern

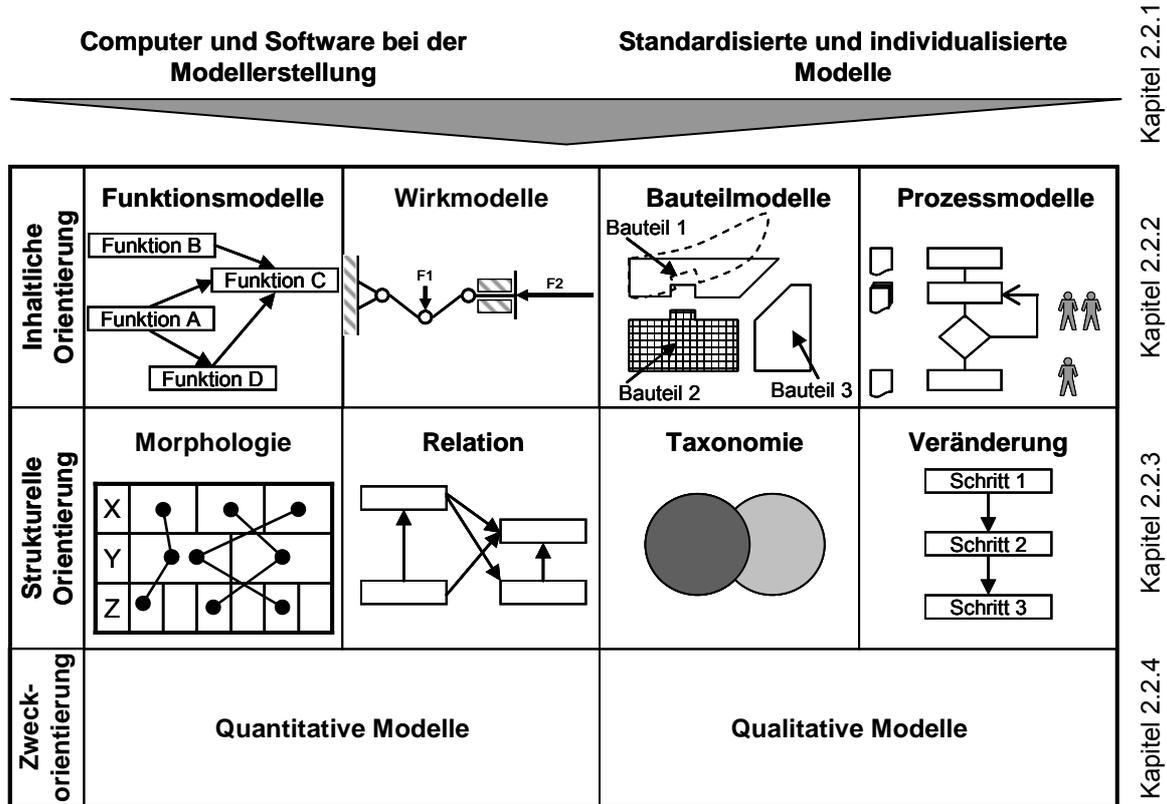
³ Es grenzt sich damit von einem allgemeinen Modellbegriff in der Biologie, Soziologie oder Psychologie ab, in der Psychologie wird z. B. eine Person einem Modell gleichgesetzt (BANDURA 1976; SUPPES 1972).

Um eine Verständnishilfe für das Individuum sicherzustellen, ist ein Modell unabkömmlich (z. B. um Systemgrenzen zu erkennen) (DÖRNER 1976, S. 27). In der Literatur liegen gegensätzliche Darstellungen über die Randbedingungen vor: Auf der einen Seite werden sie als unbedeutend eingestuft (auch ob das Modell vollständige, richtige oder unnötige Randbedingungen einbezieht) (KNOBLICH 1997, S.22ff). Auf der anderen Seite wird ihnen ein entscheidender Einfluss bei der Darstellung in einem Modell zugesprochen (Auszug aus VOGEL 1974, S. 30), um den Erkenntnisgewinn durch die Schaffung von etwas Neuem sicherzustellen (DÖRNER 1976, S. 10; MATURANA & VARELA 1987, S. 31). Aspekte von adaptierten Methoden werden dann attraktiv, wenn ein individuelles Modell in der Analyse toleriert wird:

- Unbewusst wird das gesamte Vorwissen in einem Modell dokumentiert; der Problemraum wird durch die Umstrukturierung eines Modells erweitert (KNOBLICH 1997, S. 13).
- Ein zielgerichteter Einsatz von Visualisierungsverfahren führt zu Modellen, diese ermöglichen die Simulation von Änderungen der Verknüpfungen und der Objekte (BENHARD & WENZEL 2004, S. 85).
- Die Darstellung orientiert sich an dem Kontext (ROBERTSON 1991, S. 56ff), sodass den situationspezifischen Randbedingungen Rechnung getragen wird.

Eine Unterstützung der Modellierung kann durch Computer und Software stattfinden, der nachfolgend ebenso Rechnung getragen werden soll wie den Eigenschaften von standardisierten und individualisierten Modellen (Kapitel 2.2.1). Durch die nachfolgende Betrachtung der Modelle in der Produktentwicklung, die zum einen für die Analyse und zum anderen für das Verstehen herangezogen werden, ergibt sich eine Differenzierung der Modelle nach Inhalt, Struktur und Zweck¹ (Kapitel 2.2.2 bis 2.2.4). Die Ausprägungen können sich einzeln oder auch in Kombination in den Modellen wiederfinden, d. h., ein Modell kann die Darstellung von Funktionen durch eine vernetzte oder morphologische Strukturierung vornehmen. Durch die Kombinationsmöglichkeiten in dem Morphologischen Kasten lässt sich aufzeigen, dass Modelle sich dem Individuum auf eine Vielzahl von Möglichkeiten präsentieren können.

¹ In Anlehnung an VESTER (1999, S. 172): Hier wird von einem Klassifizierungs-, Relations- und Relevanz-Universum gesprochen, um Informationen zu strukturieren.



Kapitel 2.2.1

Kapitel 2.2.2

Kapitel 2.2.3

Kapitel 2.2.4

Bild 2-2: Eigenschaften von Modellen mit unterschiedlicher Ausrichtung

Die Aufteilung der inhaltlichen Orientierung basiert auf einer Unterscheidung aus der Konstruktionswissenschaft: Funktions-, Wirk- und Baustruktur (PAHL & BEITZ 1993, S. 53, BEITZ & GROTE 2001, F3; ROTH 2000a, S. 109). Diese Autoren betrachten überwiegend die physische Entwicklung eines Bauteils und vernachlässigen den Entwicklungsprozess selber, der hier jedoch als ebenso wichtig erachtet wird.

Die strukturelle Orientierung greift Strukturen der Erkenntnistheorie (z. B. RIEDL 2000) oder auch der eng verknüpften Systemtheorie auf, um zu beschreiben, wie Objekte miteinander in einen Zusammenhang gebracht werden können.

Der zweckorientierte Anspruch soll die Randbedingung berücksichtigen und helfen, eine Definition für das zu erarbeitende Ergebnis zu formulieren, sodass z. B. eine quantitative Berechnung für eine Festigkeitsanalyse oder eine ABC-Analyse möglich ist.

2.2.1 Randbedingungen bei der Modellanwendung

Die Einschätzung, wann Modelle nützlich sind und wann die Grenzen des Abbildbaren erreicht oder gar überschritten sind, stellt ein typisches Problem bei der Analyse dar. Bei standardisierten Modellen wird regelmäßig betont, dass sie in besonderen Einsatzgebieten (z. B. UML¹ für die Realisierung eines PDM²-Systems) angewendet werden und dass Vorkenntnisse (z. B. erforderliche Eingangsinformationen) für den erfolgreichen Umgang erforderlich sind. Bezüglich einer dogmatisch starren Zuordnung – von Methode und ihrem Einsatzgebiet – wie sie in der der Literatur vorgestellt wird (AKIYAMA 1989, S. 27), ist eine differenzierte Haltung einzunehmen. Mit dieser Darstellung wird eine Erwartungshaltung geweckt, die gegebenenfalls unter den Randbedingungen des Individuums nicht erfüllt werden kann. Unabhängig von der ausgewählten Methode muss diese die Suche nach (partiell) einsehbaren Kausalzusammenhängen fördern, da hiermit das problemlösende Denken bestimmt wird (FUNKE 2003, S. 54).

Damit Modelle das problemlösende Denken unterstützen und ein adäquater Umgang sichergestellt ist, strukturieren sie Informationen mit besonderen Eigenschaften (Auszug von DEGELE 2000, S. 55): Wandlungsfähigkeit in unterschiedliche Darstellungsformen, Ungegenständlichkeit macht Information leicht negierbar, aber auch gleichzeitig schwer vernichtbar³. Eine Vernachlässigung dieser Eigenschaften kann Probleme, wie z. B. falsche Versionierung von Modellen nach sich ziehen, es ergibt sich jedoch auch die Möglichkeit, Informationen zu transformieren; dies wird später intensiver diskutiert (siehe Kapitel 4).

Damit Informationen in der Produktentwicklung in standardisierten Modellen dargestellt werden können, finden sich zahlreiche automatisierte Unterstützungen wieder, die dem Individuum bei der Lösung eines Problems behilflich sein sollen. Daher wird, bevor die unterschiedlich ausgeprägten Modelle der Produktentwicklung dargestellt und diskutiert werden, zuvor eine Erörterung über den Einsatz von Computern durchgeführt.

Computer und Software bei der Modellerstellung

Bei der Erarbeitung eines Modells können Computer eine Unterstützung sein. Durch den Einsatz von Softwareprogrammen kann z. B. eine fokussierte Betrachtung erreicht⁴ oder

¹ UML = Unified Modelling Language (z. B. RUMBAUGH et al. 1999)

² PDM = Produkt Daten Management (z. B. EIGNER & STELZER 2001)

³ Das wird bereits bei Dürrenmatts „Physiker“ erkennbar, da einmal Gedachtes nicht mehr „ungedacht“ gemacht werden kann (DÜRRENMATT 1980).

⁴ Programme zur Unterstützung von Methoden haben bereits eine Spezialisierung, wie sie bei TRIZ zu beobachten ist, umgesetzt. Das Programm TechOptimizerTM hat z. B. einen Schwerpunkt auf Transformation von Funktionen in physikalische Effekte gelegt und die WorkBench[®] einen Schwerpunkt auf das PI-

Fehlermöglichkeit einschränken werden. Letzteres darf jedoch nicht per se als positiv beurteilt werden.¹

Gerade in frühen Phasen der Produktentwicklung sind komplexe Programme (besonders PDM-Systeme) kritisch zu betrachten, da durch die statischen Datenmodelle einer umfassenden Betrachtung nicht nachgekommen werden kann (in Anlehnung an DEGELE 2000, S. 58). Programme können zwar mehrere Wege für die Analyse vorgeben, sie können jedoch keine unvorhersehbare Anzahl an Modellen bereitstellen (WAGENSCHNEIDER 1999, S. 98), da die Möglichkeiten eines Programms begrenzt sind (HAREL 2002, S. 80). Bei der Nutzung eines Programms ist der Einsatz im Voraus klar umrissen, sodass sich die Lösung an das Programm anpasst und damit unzulässige Vernachlässigungen gemacht werden. Vor diesem Hintergrund sind in den frühen Phasen Unterstützungen bei der Analyse durch einfache Programme geeignet, hierzu zählen z. B. Microsoft[®] Excel oder MindMap[®].

Grundsätzlich muss das Individuum bei einer Problemlösung solange eine Differenzierung des Problems² durchführen, bis es in bearbeitbare Aufgaben³ unterteilt worden ist. Erst an dieser Stelle können Programme eingesetzt werden, da diese lediglich Aufgaben bearbeiten, jedoch keine Probleme lösen können. Für die Aufgabe zieht ein Programm Algorithmen heran (DEGELE 2000, S. 62), die sich durch Schriftlichkeit, Schematisierbarkeit und Interpretationsfreiheit auszeichnen. Gerade die Interpretation der Informationen wird erst durch aufwendige Programme wie Neuronale Netze oder Expertensysteme möglich. Letztere ziehen dabei eine klare Trennung zwischen Problemlösungsstrategie, Wissen und Daten (KAISER 1997, S. 54). Die fixierte Struktur bei Expertensystemen oder den bereits aufgeführten Algorithmen schränkt die Möglichkeit ein, Fehler bei der Analyse zu machen oder von Zufällen zu profitieren, da sie systematisch aufgebaut sind und nur in einem sehr geringen Umfang heuristische Aspekte aufgreifen.

Diese Tatsachen führen zu der Schlussfolgerung, dass eine Unterstützung durch den Computer nur eingeschränkt stattfinden kann, da Wahrnehmung, Verständnis und Denken nicht automatisiert werden können und somit keine guten Voraussetzungen für eine geistige Tätigkeit geschaffen werden können (SCHNABEL & SENKTER 2000, S. 229). Neben diesem Effekt besteht die Gefahr, dass Ergebnisse mittels Programmen nicht kritisch genug inter-

Konzept (**P**roblem-zentrierten **I**nvention, mit einer Analyse in fünf Feldern, z. B. Ist-/Soll-Zustand, Transformation) von TRIZ (HERB et al. 2000, S. 245ff).

¹ Denn durch jeden Fehler ergeben sich neue Chancen, da sich eine vermeintlich gute Absicht nicht bewahrt hat (in Anlehnung an IMAI 1992, S. 267). Mittels einer Vier-Ebenenbetrachtung bekommt man einen Eindruck über die möglichen Ursachen, die sich auch durch Fehler ergeben können (ZANKER 1999, S. 32ff).

² Bei einem Problem ist das Vorgehen noch nicht bekannt, d. h. ein Problem muss so lang unterteilt werden, bis durchführbare Aufgaben zur Lösung des Problems vorliegen.

³ Bei einer Aufgabe ist das Vorgehen für die Erarbeitung einer Lösung bereits bekannt.

pretiert werden, sodass eine Prüfung auf Plausibilität und Sensibilität nicht ausbleiben darf.¹ Abschließend muss deutlich hervorgehoben werden, dass Computer mit Programmen nicht in der Lage sind, Probleme selbstständig zu lösen. Sie dürfen lediglich als ein Hilfsmittel verstanden werden, bei dem vom Individuum Eingangsinformationen zur Verfügung gestellt, durch einen Algorithmus verarbeitet werden und Ausgangsinformationen nach der Bearbeitung bereitstehen (z. B. bei Routinetätigkeiten).

Standardisierung vs. Individualisierung

In der Problemanalyse zieht man wiederholt standardisierte Modelle heran, um problemrelevante Objekte zu strukturieren. Diese Modelle kommen dem Bedürfnis einer situations- oder personenspezifischen Anwendung nicht nach; es ergibt sich die Forderung nach adaptierten bzw. individualisierten Modellen (GÜNTHER 1998). Beide Betrachtungsweisen – standardisiert und individualisiert – sind von Relevanz, sodass sie im Folgenden erörtert werden.

Standardisierte Modelle

Standards von Modellen (z. B. für die Prozessanalyse: SADT, UML; für die Funktionsanalyse: TRIZ-Funktionsstruktur, umsatzorientiertes Funktionsmodell²) verfolgen u. a. die Ziele, bei einer bereits bewährten Anwendung eine Vereinfachung bereitzustellen, eine Vergleichbarkeit zu unterstützen oder Schnittstellenprobleme zu reduzieren. In allen aufgeführten Fällen kann das Individuum auf zahlreiche Hilfsmittel (z. B. Methoden, Programme, Literatur, Erfahrungen) für den Einsatz von Modellen zurückgreifen.

Mangels Modellierbarkeit eines festen Prozessablaufs (z. B. ein Automatismus) in einem Standardmodell, kann eine Modifizierung oder Abschaffung vorhandener Prozesse notwendig werden, da Standardmodelle nur über eingeschränkte Abbildungsmöglichkeiten verfügen (MERTENS 2001, S. 434). Die eingeschränkte Abbildungseignung des Problems kann durch eine dogmatisch starre Verwendung³ des Standards begründet sein (LINDEMANN 2004, S. 34). Somit können die Modelle nicht mehr den Anspruch erheben, Fehler

¹ Die Schwierigkeit der Beurteilung, ob Computer eine Unterstützung bereitstellen oder nicht, wird durch die Ambivalenz klar, in die sich ein Autor verstricken kann. Die Aufarbeitung von Informationen durch Computer ist nicht sehr förderlich und unterstützt nicht das Verstehen (VESTER 1999, S. 28). Doch auch wenn Computer eine generelle Hilfe bereitstellen, so differenziert der gleiche Autor nicht hinreichend genug, wenn er formuliert, dass Computer dem Gehirn helfen (VESTER 1999, S. 92).

² Eine ausführliche Liste der im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Modelle befindet sich im Anhang. Die aufgeführten Modelle verstehen sich alle als Standardmodelle, sobald sie aus der Literatur heraus direkt – ohne eine Adaption durchgeführt zu haben – angewendet werden.

³ Besonders bei angebotenen Referenzmodellen wird keine Hilfestellung bereitgestellt, wie eine Adaption an das Unternehmen stattfinden kann (vgl. SCHEER 2001; RADTKE 1995).

zu erkennen (GIAPOULIS 1996, S. 2) oder Schwierigkeiten bei Informationsflüssen aufzudecken (IRLINGER 1998, S. 49). Die demonstrierten Eigenschaften von standardisierten Modellen haben auf das Individuum eine signifikante Wirkung, da basierend auf dem Modell das Verhalten und die Reaktion ausgerichtet werden (BANDURA 1976, S. 9). Darüber hinaus sind mittels Standardlösungen der Informationsstrukturierung folgende Herausforderungen nur schwer zu bewältigen: rasche Änderungen der Informationstechnologie und schlechte Bewertbarkeit von Informationen (in Anlehnung an SCHLÖGL 2001, S. 8).

Bei einem standardisierten Modell sind Veränderungen immer aufwendig einzuarbeiten (O'CONNOR 1998, S. 39), da sich das Individuum stark an den vorhandenen Strukturen orientiert und damit eine differenzierte Betrachtung erschwert wird. Es erscheint unbegründet, dass eine Modellierung nur möglich ist wenn man weiß, um was für einen Problemtyp es sich handelt (VOGEL 1974, S. 21), da in der Praxis ein Wechselspiel zwischen Analyse und Zuordnung der Erkenntnisse in den Gesamtzusammenhang existiert. Dementsprechend spiegelt folgendes Beispiel für subjektives Ordnungsempfinden wider, dass eine einmal gefundene Struktur nicht oder nur schwer wieder destrukturiert oder aufgeben werden kann. Eine Reihenfolge wie 8, 3, 1, 5, 9, 6, 7, 4, 2 erscheint im Verhältnis zu einer Darstellung von 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 im ersten Augenblick als nicht geordnet. Gibt man jedoch den Hinweis, dass die erste Reihenfolge alphabetisch nach den Namen der Zahlen geordnet ist, ist eine unstrukturierte Wahrnehmung kaum noch möglich (v. FOERSTER 1999, S. 5). Es scheint für das Individuum erst dann eine Ordnung zu existieren, wenn es Regeln für deren Struktur gefunden hat.

Individuelle Modelle

Unter einem individuellen Modell ist die adaptierte Anwendung eines standardisierten Modells oder eine vollkommen neue Darstellung der Problemstellung zu verstehen. Eine Adaption ist beispielsweise möglich, indem ein bestehendes standardisiertes Modell z. B. für die Prozessanalyse um ein SADT-Modell erweitert wird, damit zusätzliche Informationen, die bei dem Austausch zwischen Prozessschritten zu berücksichtigen sind, integriert werden (BICHLMAIER 2000). Ein vollkommen neues Modell kann erarbeitet werden, sobald man den Entwicklungsprozess auf Grundtätigkeiten, z. B. Darstellen oder Strukturieren reduziert und durch deren Kombination der Komplexität der Problemstellung gerecht wird (ZANKER 1999). Um diese Formen der Adaption zu unterstützen sind Hilfsmittel, u. a. Prinzipien bereitzustellen, da durch sie eine hohe Abstraktion erreicht wird (für ein breites Anwendungsfeld) und einen operativen Einsatz nahe legt (durch ihre einfache Anwendung).

Bei den individuellen Modellen liegen keine objektiven Regeln vor, die von einem Individuum einzuhalten sind. Zwar werden in jedem Fall die vorliegenden Informationen für das Verständnis eines Individuums strukturiert und für eine Diskussion zugänglich, gleichzeitig kann aber die Nachvollziehbarkeit – für Individuen, die nicht bei der Modellerstellung

beteiligt waren – durch subjektiv erzeugte Regeln nicht sichergestellt werden. Die individuelle Modellbildung legt die Vermutung nahe, dass ein opportunistisches Verhalten gefördert wird, bei dem entweder mehr oder qualitativ besser dokumentiert wird, da zusätzliche Informationen in dem vorliegenden Kontext strukturiert werden.

Kriterien für die Unterscheidung von standardisierten und individualisierten Modellen

Für die Modelle werden Kriterien definiert, um das Verständnis und das Verhältnis der beiden Ausprägungen – standardisiert und individualisiert – deutlich zu machen (Bild 2-3):

- **Anspruch:** Mit der Problemanalyse wird entweder eine objektive oder subjektive Darstellung der Informationen erörtert. Wenn keine unmittelbare Bestimmung der Ausprägung möglich ist, hilft die Bestimmung des Nutzerkreises, d. h., bei vielen Nutzern ist eine objektive Darstellung anzustreben bzw. möglich. Dem gegenüber steht ein kleinerer Nutzerkreis, bei dem die Subjektivität eine zwangsläufige Folge der fehlenden heterogenen Betrachtung ist.
- **Reaktionsgeschwindigkeit:** Der Fähigkeit in einem vorhandenen Modell schnell zusätzliche Informationen abzubilden wird mit diesem Kriterium Rechnung getragen. Bei der Integration neuer Informationen in einen Standard sind Regeln und Schnittstellen zu beachten, die eine Integration von Informationen verzögern können. Die einfache Integration neuer Informationen in einem individuellen Modell wird durch das Fehlen von Restriktionen begünstigt.
- **Änderungen:** Bei einem individuellen Modell erstellt das Individuum eine eigene Sprache, die kontinuierlich modifiziert und erweitert wird. Im Gegensatz dazu häufen sich bei einem Standardmodell Änderungswünsche aus der Praxis (z. B. an grafischen Symbolen). Diese Änderungen müssen in einer überarbeiteten Version stufenweise zur Verfügung gestellt werden.
- **Umgang:** Regeln bieten in einem Standardmodell eine Anleitung für die Erstellung, dadurch wird die bereits erwähnte präskriptive Anwendung hervorgerufen. Bei dem individuellen Modell entsteht jedoch ein intuitiver Umgang, dies stellt hohe Ansprüche an die Methodenkompetenz eines Individuums.
- **Archivierung:** Da mehrere Individuen das Standardmodell anwenden, kann es tendenziell zentral archiviert werden. Somit wird im Vergleich zu den individuellen Modellen, die dezentral abgespeichert werden, die Verfügbarkeit erhöht.

Standardisierung		Kriterium		Individualisierung
Objektiv	←	Anspruch	→	Subjektiv
Langsam	←	Reaktionsgeschwindigkeit	→	Schnell
Stufenweise	←	Änderungen	→	Kontinuierlich
Präskriptiv	←	Umgang	→	Intuitiv
Zentral	←	Archivierung	→	Dezentral

Bild 2-3: Unterscheidung von Standardisierung und Individualisierung bei Modellen

Bei der Wahl zwischen einem Standard- oder Individualmodell findet unweigerlich eine Abwägung statt. Entweder kann ein vorhandenes Modell herangezogen werden (z. B. ein Standardmodell) ohne zu große Kompromisse machen zu müssen, oder die Problemstellung fordert ein neues Modell, da Informationen so zueinander in Beziehung gesetzt werden sollen, wie es kein bekannter Standard bereitstellt.¹

2.2.2 Inhaltsorientierte Unterscheidung

Im Laufe der Entwicklung eines Produkts werden Informationen aus unterschiedlichen Perspektiven (z. B. Bauteil oder Prozess) und Entwicklungsphasen (z. B. frühe Phase mit Anforderungsklärung oder spätere Phasen mit der Konkretisierung eines Bauteils) für die Lösung einer Problemstellung herangezogen. Der Konkretisierungsgrad eines Modells das Informationen abbildet, richtet sich nach den Ansprüchen des Individuums und der Problemstellung (z. B. Genauigkeit, Sprache).

¹ Z. B. bei einem FEM-Modell, das in einem Programm bearbeitet wird, ist es sehr wahrscheinlich, dass es in einem weiteren Programm für die weitere Optimierung benötigt wird, u. a. aus diesem Grund sind für FEM-Modelle Standards zu berücksichtigen. Dieses und andere Beispiele sind denkbar, wenn man die unterschiedlich eingesetzten Modelle in der Produktentwicklung betrachtet (siehe Anhang).

	Funktionsmodell	Wirkmodell	Bauteilmodell	Prozessmodell
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> • Abstrakte Lösungsbeschreibung • Abbildung von Störgrößen und Bedingungen möglich • Ergebnis ist die Beschreibung des Zwecks des Systems 	<ul style="list-style-type: none"> • Konkretisierung eines Funktionsmodells • Fokussierte Konkretisierung von (Teil-) Funktionen in (Teil-) Lösungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Grafische Unterstützung durch 2D/3D-Darstellungen • Mathematische Unterstützung für Berechnungen (z. B. Festigkeit, Schwerpunkt) • Ergebnis ist die konkrete technische Lösungsbeschreibung 	<ul style="list-style-type: none"> • Unterstützung von mehreren Sichten möglich • Interaktion zwischen Objekten vorausschauend definierbar • Konkrete prozessuale Lösungsbeschreibung
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> • Erster Einsatz in frühen Phasen der Produktentwicklung • Lösen von Fixierungen bei der Lösungssuche • Zur Vorbereitung von u. a. Bauteil- oder Prozessmodell 	<ul style="list-style-type: none"> • Frühe Bewertung von Lösungsalternativen • Informationslücken und Klärungsbedarf aufdecken 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorbereitung von Versuchen • CAD-Modelle vor/nachbereiten (z. B. Digital MockUp) • Stücklisten erstellen • Eigenschaften einschätzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Einigung in Gruppe/ Unternehmen auf gemeinsames Vorgehen • Erkennen von kritischen Pfaden • Soll-Ist-Vergleich • Ressourcenverteilung
Beispiel	<ul style="list-style-type: none"> • TRIZ • ARIZ • FAST • Verbale, spezielle Funktionsstruktur 	<ul style="list-style-type: none"> • Wirkgeometrie, -bewegung, Stoffeigenschaften • Physikalische Effekte 	<ul style="list-style-type: none"> • STEP • IGES • ExpressG 	<ul style="list-style-type: none"> • UML • SADT, Prozessbausteine • ARIS
Diskussion	<ul style="list-style-type: none"> • Vorteilhaft ist die teilweise Unterstützung bei der Erstellung des Modells, sowie die Unterstützung von schädlichen/nützlichen Funktionen • Schwierige Definition des richtigen Detaillierungsgrades 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfordert hohes technologisches und prozessuales Wissen • Dokumentiert konzeptionellen Kenntnisstand bei Lösungssuche 	<ul style="list-style-type: none"> • Austauschmöglichkeit vorhanden zwischen unterschiedlichen Bauteilmodellen • Bauteilmodelle meist nur nutzbar in Zusammenhang mit einer Software 	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Grundlage für eine automatische Umsetzung (z. B. in einem PDM-System) • Geringe Unterstützung bei der Adaption eines Prozessmodells

Bild 2-4: Gegenüberstellung der inhaltlich orientierten Modelle.

Funktionsmodell

Zur Bestimmung und Veränderung von Funktionselementen und -modellen, wie auch deren Aufteilung in Teilstrukturen oder der Integration in bestehende Funktionsmodelle, wird die Funktionsmodellierung herangezogen (ROTH 2000a, 22; BREIING & FLEMMING 1993, S. 32ff). Die Identifizierung des Zwecks des technischen Produkts gibt dabei den Anstoß für die Modellierung (KOLLER 1994, S. 56). Ergebnis der Funktionsmodellierung ist die Illustration von Funktionsmodellen (z. B. Fluss-, Stoff- oder Energieflussstrukturen) (EHRLENSPIEL 2003, S. 372). Unter Berücksichtigung eines logischen Zusammenhangs bei Umsetzen des Eingangssignals in ein Ausgangssignal (Energie, Stoff und Information) (PAHL & BEITZ 1993, S. 39) sowie durch eine Übersetzung in den Sprachgebrauch des Individuums, wird ein Funktionsmodell ausgearbeitet.

Bei der Anwendung von Funktionsmodellen unterscheiden die Autoren:

- Haupt- und Nebenfunktion, welche in einem Funktionsmodell geordnet werden nach: Art, Größe, Anzahl, Ort und Zeit für die Verknüpfungen, und Wandeln, Ändern, Verknüpfen, Leiten und Speichern für die Funktionen selber (PAHL & BEITZ 1993, S. 41f). Die Übertragung zwischen Objekten von Stoff, Energie und Signal lässt sich weiter unterteilen (KOLLER 1994, S. 24).
- Nützliche und schädliche Funktionen, welche mit den Verknüpfungen „wird benötigt für“, „verursacht“, „wurde eingeführt, um zu vermeiden“ (HERB 2000; ALTSCHULER 1996; SRAVANSKI 2001) beschrieben werden.

Eine Gegenüberstellung von Funktionsmodellen macht die Ähnlichkeiten zwischen diesen Darstellungsmöglichkeiten deutlich (DREBING 1991, S. 59). Die Funktionsmodelle werden entweder durch Aufbauregeln oder durch Fragestellungen unterstützt:

- Aufbauregeln: Diese Regeln können in einer logischen Form vorliegen, also im Sinne einer Negation (\neg), Konjunktion (\wedge) oder Disjunktion (\vee), in einer Funktionstabelle oder durch ein Schaltsymbol nach DIN 40 900 T12 (PAHL & BEITZ 1993, S. 46).
- Fragestellungen: Sie können für den Aufbau eines Funktionsmodells oder einer Problemformulierung angewendet werden (in Anlehnung an HERB 1998, S. 94; PAHL & BEITZ 1993, S. 41f; KOLLER 1994, S. 21):

Fragen an Funktion/Verknüpfung	Ausprägungen einer Funktion
<ul style="list-style-type: none"> • Ist diese Funktion Voraussetzung für eine andere Funktion? • Werden durch diese Funktion irgendwelche Effekte verursacht? • Wurde diese Funktion zur Eliminierung eines Effekts eingeführt? • Ist diese Funktion Folge einer anderen Funktion? • Was wird zwischen beiden Funktionen ausgetauscht? 	<ul style="list-style-type: none"> • Nützlich ↔ Schädlich • Wandelnd ↔ Verknüpfend • Leitend ↔ Isolierend • Sammelnd ↔ Teilend • Fugend ↔ Lösend • Mischend ↔ Trennend • Ändernd (Menge/Größe/Richtung) • Vervielfältigend

Bild 2-4: Fragestellung zur Erarbeitung eines Funktionsmodells und mögliche Ausprägungen von Funktionen

Ferner steht eine Fragensammlung von ARIZ¹ zur Verfügung, die, geordnet nach dem Reifegrad des Produkts, eine Hilfestellung für den Entwicklungsprozess bereitstellt (Deutsch: ALTSCHULLER 1984, S. 231ff; Englisch: SAVRANSKY 2001, S. 303)

Wirkmodell

Das Wirkmodell² stellt den Übergang von einem Funktionsmodell zu einem Bauteilmodell dar. Dazu werden die (Teil-)Funktionen mit ihren logischen Verknüpfungen aufgegriffen, um Teillösungen zu determinieren (z. B. mit physikalischen Effekten). Bei den physikalischen Effekten ist die Detaillierung über Wirkgeometrie, Wirkbewegung und Stoffart ergänzend erforderlich (EHRENSPIEL 2003, S. 311). Das Wirkmodell detailliert damit die Lösung, die ein bereits erarbeitetes Funktionsmodell realisieren kann (z. B. Werkstoff). Die erwähnte Wirkgeometrie und Wirkbewegung kann detailliert werden durch (PAHL & BEITZ 1993, S. 105):

	Merkmale	Beispiel
Wirkgeometrie	Art	Punkt, Linie, Fläche, Körper
	Form	Rundung, Kreis, Ellipse, Hyperbel, Parabel, Dreieck, Quadrat Zylinder, Kegel, Rhombus, Würfel, Kugel
	Lage	axial, radial, tangential, vertikal, horizontal, parallel, hintereinander
	Größe	klein, groß, schmal, breit, niedrig, hoch
	Zahl	einfach, doppelt, mehrfach, ungeteilt, geteilt
Wirkbewegung	Art	ruhend, translatorisch, rotatorisch
	Form	gleichförmig, ungleichförmig, oszillierend (eben und räumlich)
	Richtung	in x, y, z – Richtung und / oder um x, y, z – Achse
	Betrag	Höhe der Geschwindigkeit
	Zahl	eine, mehrere, zusammengesetzte Bewegungen
Stoffeigenschaften	Art	fest, flüssig, gasförmig
	Form	starr, elastisch, plastisch, zähflüssig
	Richtung	Festkörper, Körner, Pulver, Staub

Bild 2-6: Eigenschaften, die in einem Wirkmodell zu detaillieren sind.

¹ ARIZ = АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ (=Algorithmus zur erfinderischen Problemlösung); gängig ist die Abkürzung ARIZ (HERB et al. 2000, S. 209), in der Literatur liegt jedoch auch die Abkürzung ARIS vor (ALTSCHULLER & SELJUZKI 1984, S. 99), die leicht mit Aris verwechselt werden kann (SCHEER 2001).

² Nach HUBKA (1988, S. 69) ist ein Wirkmodell eine Organstruktur (Organ Structure).

Die Gesamtlösung wird durch Kombination der Teillösungen erarbeitet und eine Detaillierung durch z. B. überschlägige Berechnungen unterstützt, womit eine qualifizierte frühe Bewertung der Alternativen stattfinden kann (PAHL & BEITZ 1993, S. 52).

Ein Beispiel für das Wirkmodell ist die Umsetzung der Funktion „Kraft vergrößern“ durch die Verwendung eines Hebels. Hier werden ebenso die Problemmodelle von GRAMANN (2004 S. 81ff) eingeordnet, die über die Funktionsbeschreibung hinausgehen, indem sie das Problem auf einer detaillierteren Ebene analysieren und damit die Gestaltung von Bauteilen in einem Bauteilmodell vorbereiten.

Bauteilmodell

Als Fortführung des Funktions- und Wirkmodells wird im Bauteilmodell die technische Realisierung von Funktionen, unter Beachtung von physikalischen Effekten und Randbedingungen, verwirklicht. Der Übergang von einer funktionalen zu einer materiellen Lösung wird durch Definition der exakten topologischen Eigenschaften durchgeführt, sowie durch Berücksichtigung von anderen Sichtweisen erreicht (z. B. Montage, Fertigung oder Komplexitätsstufen¹). Hierzu werden Gestaltungsprinzipien als Unterstützung für die Konzeption in frühen Entwicklungsphasen (KRAUSE 1994, S. 27; PAHL & BEITZ 1993, S. 282ff) und Gestaltungsrichtlinien für die Detaillierung eines Bauteils in späteren Phasen (PAHL & BEITZ 1993, S. 318) bereitgestellt.

Gestaltungsprinzipien	Gestaltungsrichtlinien
<ul style="list-style-type: none"> • Prinzipien der Krafteinleitung • Prinzip der Aufgabenteilung • Prinzip der Selbsthilfe • Prinzip der Stabilität und Bistabilität • etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fertigungsgerecht • Montagegerecht • Recyclinggerecht • Risikogerecht • Ergonomiegerecht • etc.

Bild 2-7: Was ist bei der Detaillierung eines Bauteils zu berücksichtigen?

Das Bauteilmodell ist für das Individuum die Grundlage für Fertigung und Montage, hier werden die optimalen Fertigungsmöglichkeiten erarbeitet und die Montage auf das Produkt vorbereitet (z. B. Erstellen von Vorrichtungen).

¹Z. B. Komplexitätsstufe (KOLLER 1994, S. 26): 1=Ecken, Spitzen; 2=Kante; 3=Wirkfläche; 4=Wirkflächenpaar; 5=Teilkörper; 6=Bauteil; 7=Baugruppe; 8=Maschine; 9=Anlage; 10=technisches System; oder auch nach Funktion-Wirkstruktur-Bauteil

Um jede Form von Information eines Bauteils in ein Bauteilmodell einzufügen, findet sich dieses vielfach bei dem Einsatz von CAD wieder. Dies stellt nicht das einzige Einsatzgebiet dar, eine Alternative ist z. B. das Kostenmodell. Im CAD stehen die Modelle meist in Form eines 3-D Modells zur Verfügung, das über Schnittstellen (z. B. STEP, IGES¹) zwischen CAD-Systemen (z. B. CATIA[®], Pro/Engineer[®]) ausgetauscht werden kann. Die Schnittstellen unterstützen dabei Darstellungsformen, bei denen man Kanten-, Flächen- und Volumenmodelle unterscheidet. Die Betrachtung der Schnittstellen erscheint deswegen interessant, da hier bereits ein Wechsel von Modellen und differenzierten Betrachtungsweisen des Problems unterstützt wird; dieser Gedanke wird später noch einmal aufgegriffen.

Prozessmodell

Die Beschreibung von Handlungen, denen zusätzlich noch Personen, Dokumente etc. zugeordnet werden können, ist in einem Prozessmodell zusammengefasst (z. B. ein Produktentwicklungsprozess). Kennzeichnend für Prozessmodelle sind die Berücksichtigung von Schnittstellen (HUMMEL 2002, S. 94) sowie die Definition der Überführung von Ein- zu Ausgangsgrößen. Es können zwei Fälle unterschieden werden:

- Basierend auf Tätigkeiten: Durch die Handlung eines Individuums oder durch den Algorithmus eines Programms wird eine Adaption durchgeführt, etwas Neues wird geschaffen oder etwas Vorhandenes gelöscht. Die Unternehmensprozesse werden z. B. als ein Bündel von Aktivitäten bezeichnet, für das ein oder mehrere unterschiedliche Impulse benötigt werden, um für den Kunden ein Ergebnis von Wert zu erzeugen (HAMMER & CHAMPY 1994, S. 35f).
- Basierend auf mathematischem Zusammenhang: Damit können die Ergebnisse berechnet werden, die aufgrund eines Zusammenhangs (z. B. physikalisch, chemisch, betriebswirtschaftlich) bestehen; dies begünstigt eine Simulation.

Unter Beachtung der Randbedingungen kann ein Prozessmodell u. a. für Handlungsvorgänge herangezogen werden und so eine Veränderung herbeiführen. Damit ist ein Vergleich zwischen den beabsichtigten und den durchgeführten Handlungen möglich. Die Randbedingungen können für einen Entwicklungsprozess die Ressourcen oder für einen mechanischen Simulationsprozess die wirkenden Kräfte, Momente und Lagerungen sein.

¹ STEP = Standard of the Exchange of Product Model Data; IGES: Initial Graphics Exchange Specifications

Diskussion der inhaltlich orientierten Modelle

Im Folgenden werden die inhaltlichen Modelle allgemein diskutiert, anschließend folgt eine Betrachtung der unterschiedlichen Ausprägungen – Funktions-, Wirk-, Bauteil- und Prozessmodell.

Individuelle Modelle sind mit „einer“ inhaltlichen Orientierung, die meist eine phasenspezifische Ausrichtung besitzt, nur eingeschränkt denkbar. Zum einen wird der Wechsel zwischen Detaillierungsgraden in der Entwicklung kaum unterstützt und zum anderen werden Adaptionen einer Methode an situationsspezifische Randbedingungen kaum Beachtung geschenkt. Bei den inhaltlich orientierten Modellen sind die Symbole meist vorbelegt, d. h., es wird definiert, welche Symbole für die Objekte des Ergebnisses herangezogen werden. Der Erwartungshaltung gegenüber inhaltlich orientierten Modellen, dass sie von „selbst“ das Problem lösen, muss entschieden entgegengetreten werden, sie können lediglich als Hilfestellung verstanden werden. So kann z. B. eine wiederholte Anwendung eines methodischen Vorgehens unter immer gleichen Randbedingungen zu einer eingeschränkten Sichtweise führen, die einer systemischen Analyse (mit mehr als einer inhaltlichen Orientierung) im Weg steht.¹

Funktionsmodelle bewirken ein Problem durch mangelndes Verständnis des Funktionsbegriffs selbst und durch ihre abstrakte Situationsbetrachtung, die in der Industrie den Ruf einer nicht zweckorientierten Produktentwicklung nach sich zieht. Dies lässt auf die nicht näher beschriebenen Randbedingungen schließen, die in der Praxis einen wesentlichen Einfluss auf die Aufgabenbeschreibung haben, um schnell zu einem fertigen Produkt zu gelangen. Da sich das Produkt eines Unternehmens meist nur unerheblich ändert², wird eine ständige Erarbeitung eines Funktionsmodells als müßig angesehen. Obwohl hinreichend anerkannt ist, dass eine intensive Analyse die Ausarbeitung einer Lösung signifikant vereinfachen kann, existiert doch bei dem Individuum der Wunsch nach einer schnellen Konkretisierung; dies ist darauf zurückzuführen, dass in dieser Phase meist keine klaren und sicheren Informationen vorliegen. Der Vorteil, mit dem Kunden eine funktionsorientierte Betrachtung und ein einheitliches Verständnis aufzubauen (z. B. der Begriffe oder Auswirkungen von Anforderungen), wird in der schnelllebigen Zeit der immer kürzeren Produktentwicklungszyklen unterbewertet.

¹ Demgemäß kann z. B. eine beständige Anwendung eines Fehlerbaums keine neuen Fehler aufdecken, wenn dieser unter stets identischen Randbedingungen angewendet wird und keine neuen Kenntnisse eingearbeitet werden.

² Darunter soll nicht verstanden werden, dass die Produkte eines Unternehmens nicht neue Funktionen zur Verfügung stellen können. Vielmehr ist hierunter die Konzentration eines Unternehmens auf ein Marktsegment zu verstehen (z. B. Automobilmarkt). Unternehmen wie z. B. NOKIA[®], das sich von einer Papierfabrik zu einem Hersteller von Mobiltelefonen gewandelt hat, werden hier als Sonderfall eingestuft.

Bisher hat das Wirkmodell eine rein physikalische Orientierung; in der Literatur wird es nicht als Vorbereitung eines Prozessmodells diskutiert. In der Zukunft besteht die Möglichkeit – vergleichbar mit der physikalischen Ausprägung von Wirkmodellen – eine Sammlung von prozessualen Eingangs- und Ausgangsmodulen zu erarbeiten, sodass der Wirkmodellgedanke auch bei Prozessen angewendet werden kann. Dieser Ansatz wurde bereits in der Forschung begonnen (BICHLMAIER 2000), hat jedoch in der Praxis noch keine allzu große Verbreitung gefunden. Mit der Umsetzung des Gedankens kann die Reaktionsgeschwindigkeit bei Prozessänderungen durch das Heranziehen vordefinierter Prozessbausteine erhöht werden.

Eine Herausforderung für Bauteilmodelle ist die Bereitstellung von Sichtweisen (z. B. Fertigung, Montage), sodass ein Individuum nur die relevanten Informationen erhält, die häufig in verschiedenen Datenformaten (z. B. analog, digital) gespeichert sind. Dies macht eine Zusammenführung für eine umfangreiche Analyse (z. B. Kostenanalyse, FMEA¹) schwierig bis unmöglich. Aufgrund der zahlreichen Bauteilinformationen in der Produktentwicklung resultieren Probleme bei dem Zugriff von mehreren Individuen auf die Informationen (z. B. Versionierung). Deswegen ergibt sich eine enge Verknüpfung zu PDM-Systemen (und damit zu nachgelagerten Prozessmodellen), die zwar die Probleme lösen können, jedoch die Nachteile eines Standards mit sich bringen.

Im Vergleich zu den vorherigen Modellen ist das Prozessmodell eine Darstellung, bei der unterschiedliche Disziplinen zusammenfassend visualisiert werden. Die Anwendung ist stark durch ein politisches Umfeld geprägt, bei dem entschieden werden muss, wer wann welche Informationen bekommt. Entscheidungen, die mit diesem Modell dokumentiert werden, haben damit auch starke psychologische Nebeneffekte, da Individuen gezielt im Informationsfluss aus- oder eingeschlossen werden können.

Es steht noch aus, dem Individuum die Eigenschaften der eingesetzten Modelle zu vermitteln, um diese in anderen Modellen aufzugreifen. Als Beispiel seien hier die nützlichen und schädlichen Funktionen aus dem TRIZ-Funktionsmodell genannt, die in der Prozessanalyse grundsätzlich eingesetzt werden können (DEMERS 2000).

2.2.3 Strukturorientierte Unterscheidung

Nach der inhaltlichen Betrachtung von Modellen im vorhergehenden Kapitel wird im Folgenden eine strukturorientierte Betrachtung durchgeführt, die nicht nur als grafische Darstellung von Informationen verstanden werden soll, sondern auch die zeitliche Abfolge berücksichtigt. Die Strukturen und ihr Umgang leiten sich aus den vorhandenen Modellen in der Produktentwicklung sowie den Beobachtungen aus der Erkenntnistheorie ab, z. B.

¹ FMEA = **F**ailure **M**ode and **E**ffects **A**nalysis (Fehlermöglichkeiten- und -einfluß Analyse)

der Bedarf einer wechselnden Strukturmöglichkeit bei Detaillierungsgraden (KELLER 1990, S. 58ff).

	Morphologie	Relation	Taxonomie	Veränderung
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> Abbildung von materiellen/strukturellen Zusammenhängen Auflistung von Eigenschaften und möglichen Realisierungen 	<ul style="list-style-type: none"> Einfluss von Objekten zueinander Betrachtung von gleichen/unterschiedlichen Objektklassen 	<ul style="list-style-type: none"> Berücksichtigung von charakteristischen Eigenschaften Identifikation von Gemeinsamkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> Zeitliche, räumliche oder materielle Änderung von Zuständen
Einsatz	<ul style="list-style-type: none"> Abstrakte Lösungsbeschreibung Hohe Verbreitung in der Biologie Fortgeschrittene Lösungssuche für Konzepte 	<ul style="list-style-type: none"> Systemverständnis fördern Analyse von Problem und Optimierungspotenzial identifizieren 	<ul style="list-style-type: none"> Klassifizierung (Identifizierung von spezifischen und allgemeinen Eigenschaften) 	<ul style="list-style-type: none"> Versuch/Experiment Simulation/Szenario Logistikplanung Anwendung von unterschiedlichen Eingangsdaten für Sensibilität
Beispiel	<ul style="list-style-type: none"> Morphologischer Kasten Methode der Feldüberdeckung Methode der Negation und Konstruktion 	<ul style="list-style-type: none"> DSM Wirkstruktur 	<ul style="list-style-type: none"> Taxonomie der Biologie Anforderungen für Produktklassen 	<ul style="list-style-type: none"> Klimamodelle Kinematische, thermische Simulation
Diskussion	<ul style="list-style-type: none"> Berücksichtigung von strukturiertem und heuristischem Vorgehen Das Zerlegen des Gesamtproblems in Teilprobleme ist nicht immer einfach 	<ul style="list-style-type: none"> Gut für Erarbeitung von Verständnis Aufwendig, wenn gute Schlussfolgerung abgeleitet werden soll 	<ul style="list-style-type: none"> Einfache Erstanwendung Gefahr einer Stereotypenbildung 	<ul style="list-style-type: none"> Sicherheit des Verhaltens stark von Eingangsdaten und Systemkomplexität abhängig Veränderungen sind abhängig von Anzahl und Qualität der Eingangsdaten

Bild 2-5: Gegenüberstellung strukturell orientierter Modelle

Morphologischer Ansatz

Eine strukturierte Analyse kann mit einem morphologischen Ansatz durchgeführt werden (BÖHM & WENGER 1996, S. 204), bei dem die erforderlichen recherchierten alternativen Lösungsansätze einzuordnen und zu kombinieren sind; dies setzt die Unterteilung des Problems in Teilaufgaben bereits voraus. Die Morphologie liegt in ihrem ursprünglichen Gedanken in drei Formen vor: der systematischen Feldüberdeckung, dem Morphologischen Kasten sowie der Negation und Konstruktion (ZWICKY 1966). Der Morphologische Kasten ist die weitverbreiteste Anwendung, er zeichnet sich aus durch die Auflistung systembeschreibender Parameter und deren Ausprägungen in einer Tabelle, in der alle vorhandenen Lösungen systematisch in einem 1-dimensionalen Ordnungsschemata geordnet werden. Durch die Anwendung eines mehr-dimensionalen Morphologischen Kastens kön-

nen „weiße Felder“ identifiziert werden, diese können Hinweise darauf geben, wo nach weiteren Realisierungen zu suchen ist. Aus der sinnvollen Kombination der Ausprägungen werden Gesamtlösungsansätze generiert, die u. a. hinsichtlich der zu erfüllenden Anforderungen zu bewerten sind.

Die Morphologie grenzt sich zu den anderen Darstellungen ab, da hier nicht eine Situation (z. B. ein mögliches Bauteilkonzept) abgebildet, sondern die gleichzeitige Darstellung von Alternativen verfolgt wird.

Relation

Zwei Objekte werden durch eine Relation in Verbindung gesetzt. Bei der Relation kann unterschieden werden nach einfacher Weiterleitung, Verzweigung oder Zusammenführung von Objekten (EHRENSPIEL 2003, S. 674). Damit wird Struktur beschrieben, die einer vernetzten, hierarchischen oder sequenziellen bzw. parallelen Darstellung gleicht. Abhängig von der inhaltlichen Orientierung können der Relation unterschiedliche Charakteristika zugeschrieben werden (z. B. in einem Funktionsmodell können Energie, Stoff oder Signal übertragen werden). Mithilfe der Relation kann das System durch positive und negative Rückkopplungen¹ auf äußere Einflüsse und innere Veränderungen reagieren.

Häufig werden lediglich die vorhandenen Verknüpfungen dargestellt und die Nicht-Verknüpfungen vernachlässigt. Für den Fall, dass nur wenige und/oder unsichere Informationen (z. B. bzgl. Qualität) vorliegen ist es hilfreich, die Nicht-Relationen aufzuführen. Damit kann bei der Lösungssuche der Zusammenhang durch einen definierten Lösungsraum besser beschrieben werden und eine erhöhte Dokumentationsmöglichkeit bietet die Weitergabe von mehreren Informationen an. In dieser Arbeit werden auch Tabellen (z. B. die DSM²) den Relationen zugeordnet.

Den relationsorientierten Modellen werden oft die kybernetischen oder systemtheoretischen Philosophien zugeordnet, da die grafischen Darstellungen in der Literatur meist auf eine vernetzte Struktur zurückgreifen. Damit wird man den jeweiligen Philosophien nicht

¹ Rückkopplungen sind Einflüsse auf Objekte, die bereits einmal in dem System in einer Ursache-Wirkungskette integriert sind. Negative Rückkopplungen wirken stabilisierend auf das System (nicht jedoch im Sinne von gleich bleibend), indem die Änderung eines Objekts eine entgegengesetzte Reaktion gegenüber dem Systemverhalten bewirkt, sodass das Eingangssignal reduziert wird. Positive dagegen wirken destabilisierend, da eine Änderung eines Objekts eine gleichgerichtete Reaktion zum Systemverhalten hervorruft, sodass das Eingangssignal in das System ständig erhöht wird (ULRICH & PROBST 1995, S. 46f; GANDOLFI 2001, S. 29ff; DÖRNER 1999, S. 110).

² DSM = **D**esign **S**tructure **M**atrix (STEWART 1981), auch häufig Einflussmatrix oder Matrix

im Geringsten gerecht, da sie sich zahlreicher Strukturierungsmöglichkeiten bedienen, um das Verhalten eines Systems möglichst realitätsnah abzubilden.¹

Taxonomie

Eine Taxonomie ist eine Sortierung von Objekten in Gruppen; dabei ist das Denken in Taxonomien ein dem Menschen vertrautes Verfahren (siehe auch Schematheorie in Kapitel 2.3).

Um eine Taxonomie aufzubauen, müssen Eigenschaften definiert werden, die sich aus Gemeinsamkeiten der zu untersuchenden Gegenstände ergeben. Das Fachwort hierfür ist Nomenklatur (QUICKE 1993, S. 82): Jedes Objekt bekommt seinen Namen (in der Biologie basierend auf dem Linnéschen System²). Voraussetzung für die Definition von Eigenschaften ist der Vergleich mit anderen Objekten (RIEPPEL 1988; HARVEY & PAGEL 1991, S. 11ff). Eine Taxonomie ergibt sich dann, wenn unterschiedliche Objekte aufgrund ihrer Eigenschaften zusammengefasst werden können. Daraufhin werden die Objekte in überschaubare Klassen geordnet.

Veränderungen

Unter einer zeitlichen oder räumlichen Veränderung soll die dynamische Eigenschaft eines Systems Berücksichtigung finden, dadurch wird der Prozesscharakter hervorgehoben.

Das Reaktionsverhalten eines Systems auf äußere Einflüsse kann durch das Ergänzen oder Reduzieren von Objekten und Relationen modifiziert werden (Gandolfi 2001), daneben können Einflüsse durch das System selbst kompensiert werden. Andernfalls gelangt das System in einen anderen Gleichgewichtszustand.³

Eine Veränderung kann z. B. nach folgenden Kriterien stattfinden:

- Zeit

Durch die Berücksichtigung einer zeitlichen Veränderung kann eine Simulation durchgeführt werden, d. h., mit der Zeit kann eine Ursache unmittelbar eine Wirkung nach sich ziehen oder das System antwortet auch mit einer verzögerten Wirkung. Darüber hinaus können z. B. Kreisschlüsse durch eine Beobachtung über die Zeit identifiziert werden.

¹ Die Kybernetik berücksichtigt neben den Relationen auch die Dynamik, mit der das Verhalten eines Systems zugänglich gemacht werden kann (DÖRNER 1974, S. 4ff).

² Ausprägungen die in der Biologie vorliegen, sind: Domäne, Reich, Stamm, Klasse, Ordnung, Familie, Gattung, Art (Linné, *Methodus botanicus* 1736 zitiert nach CABBELL & REECE 2003, S. 581;)

³ Es ist besonders schwer dieses Verhalten zu beobachten, eines der wenigen beobachteten Phänomene ist die Veränderung der Strömungsrichtung im Mittelmeer (GANDOLF 2001, S. 163).

- Raum

Bei räumlichen Änderungen liegt eine physikalische Vorstellung zugrunde, bei der eine räumliche Ursache eine räumliche Wirkung nach sich zieht (z. B. Hebel).

Diskussion der strukturell orientierten Modelle

Mit jeder der vorgestellten Strukturen sind Stärken und Schwächen verbunden (Bild 2-5). Damit die Vorzüge unterschiedlicher Strukturen genutzt werden können, muss die Transformation von einer Struktur in eine andere ermöglicht werden; dafür werden meistens keine Hilfestellungen bereitgestellt.

Bei einer morphologischen Darstellung ist auf eine Konsistenz der ausgewählten Kombination zu achten. Nicht behandelte (weiße) Felder können aufgedeckt werden, wenn eine n-dimensionale Morphologie verwendet wird. Daraus lassen sich weitere Untersuchungsfelder definieren, sodass auch Informationslücken aufgedeckt werden können.

Die Darstellungsform mithilfe von Relationen kommt der Forderung einer lernfreundlichen Darstellung nach¹, damit ist der Einsatz von Relationen für unterschiedliche Abstraktionsebenen denkbar z. B. abstrakte (das ganze Problem betreffend) oder spezifische (Berechnungen). Die Anwendung der vorgestellten Komplexitätsstufen bleibt offen, da weder eine Anwendung noch eine Erweiterung auf andere Bereiche diskutiert worden ist (z. B. Komplexitätsstufen von Funktionen). Ein häufiges Hilfsmittel bei der Entwicklung eines Produkts ist die Matrix. Eine Interpretation der sich daraus ergebenden Aktiv- und Passivsummen ist für eine operative Anwendung häufig schwierig, da qualitative oder quantitative Eigenschaftsänderungen des Objekts nur eingeschränkt simuliert werden können.

Auf der einen Seite entsprechen taxonomische Systeme der Art und Weise, mit der Menschen Schemata bilden, auf der anderen Seite existiert die Herausforderung, Merkmale so zu bestimmen, dass sie eine Einmaligkeit besitzen und eine strukturelle Erleichterung darstellen. In der Praxis steht man dem Problem gegenüber, dass ein Objekt mehrere Eigenschaften gleichzeitig besitzt, sodass eine eindeutige Zuordnung schwer möglich ist. Ob diese dann in eine hierarchische Struktur (wie in der Biologie) gebracht werden oder in eine andere, bleibt offen. Die Gefahr, die bei den taxonomischen Systemen besteht, ist die Entstehung von (falschen) Stereotypen, die auf ein Ausbrechen bei der Lösungssuche und bei dem Problemverständnis hemmend wirken können.

Bei der Untersuchung von Veränderungen ist eine Simulation des Systemverhaltens in Bezug auf Eingangsdaten möglich. Um die Informationen abzusichern, ist eine Kombina-

¹ Die Betrachtung von Systemwissen wird durch eine zunehmende Betrachtung der Vernetzung unterstützt, wodurch die Relation im Mittelpunkt stehen, z. B. kann unterschieden werden nach Relations-, Vorzeichen-, und Stärkewissen (z. B. ULRICH & PROBST 1995, S. 114ff).

tion von Plausibilitäts- und Sensibilitätsanalyse (z. B. durch eine Variation der Gewichtung und durch geringe Veränderung der Eingangsdaten) förderlich.

2.2.4 Zweckorientierte Unterscheidung

Der Zweck eines Modells bestimmt im Wesentlichen, welcher Aufwand bei der Erstellung investiert werden soll. Der Zweck wird durch die weitere Verwendung bestimmt, so z. B., welche Schlussfolgerungen aus dem Modell gezogen werden oder auch welche Tragweite und Sicherheit die Schlussfolgerungen aufzuweisen haben.

Quantitative Modelle

Ist eine Analyse geplant, bei der u. a. das Optimierungspotenzial eines Bauteils oder Prozesses festgestellt werden soll, so ist dies im Allgemeinen auf Basis eines quantitativen Modells leichter. Dieses versucht, einen formalistischen Zusammenhang abzubilden, bei dem Objekte eines Modells sich gegenseitig beeinflussen. Bei der Erarbeitung von Algorithmen sind bestimmte Anforderungen zu berücksichtigen (Endlichkeit, Definiertheit, Eingabe, Ausgabe, Effektivität) (JOEREBEN & SEBASTIAN 1998, S. 5).

Qualitative Modelle

Eine Beschreibung von Modellen aufgrund von ersten (auch unsicheren) Informationen findet sich in einem qualitativen Modell wieder. Der Modellierung liegt ein stark diskursiver Charakter zugrunde der die Aufgabe hat, eine kritisierbare Darstellung des Problemverständnisses zur Verfügung zu stellen. Aus diesem Grund ist ein qualitatives Modell tendenziell schneller zu erstellen als ein quantitatives, bei dem die Beschaffung der Information häufig aufwendig ist.

Ein qualitatives Modell eignet sich besonders in der Anfangsphase, in der eine Begriffsklärung erforderlich ist. Besonders die qualitative Betrachtung eines Problems fördert das Systemverständnis (VESTER 1999, S. 20).

Diskussion der zweckorientierten Modelle

Quantitative Modelle werden meist sehr exakt interpretiert, ohne sich über die Sicherheit der Informationen Gedanken zu machen, womit sich das Individuum in einer scheinbaren Sicherheit wiegt. Es kann jedoch bei quantitativen Modellen auch dazu kommen, dass Zahlen lediglich einen qualitativen Charakter haben und so nicht für eine schlüssige Argumentation herangezogen werden können. Probleme bei der Interpretation von Zahlen kann es z. B. bei einem Ansatz von LINDEMANN et al. (2002) geben, bei dem die quantitativen Zahlen lediglich qualitativen Charakter haben. Hier wird eine Beurteilung eines Entwick-

lungsprozesses durch die Diskussion von Aspekten (Prozessfähigkeit, Prozessaktivität, Prozessergebnisse) durchgeführt, denen eine quantitative Erfüllung zugeordnet wird. Eine Stärke der quantitativen Modelle liegt in der Verknüpfung mit mathematischen Methoden.

Die qualitativen Modelle eignen sich für die erste Einschätzung eines Problems. Simulationen lassen sich jedoch wegen des fehlendem mathematischen Zusammenhangs nicht durchführen, sodass diese Modelle lediglich Informationen speichern können. Die Anwendung von heuristischen Methoden ist möglich.

Nachdem die Modelle aus der Sicht der Konstruktionswissenschaft betrachtet worden sind, folgt nun eine Darstellung der Erkenntnisse ausgewählter Disziplinen. Von besonderem Interesse sind Aussagen zu den Thematiken Wahrnehmung und Schlussfolgerung, die bei dem Umgang mit Modellen von Interesse sind.

2.3 Erkenntnisse aus ausgewählten Disziplinen

Beginnt man, die Konstruktionswissenschaft zu verlassen, fallen viele Erklärungsansätze aus anderen Disziplinen (z. B. Neurologie, Psychologie, Linguistik) auf, denen bei der Anwendung von Methoden in gleicher oder modifizierter Form eine Bedeutung zugesprochen werden kann (z. B. Semiotik¹). Die Disziplinen wurden so ausgewählt, dass sie einen Einblick in die Handlung des Individuums erlauben und damit das Verständnis für sein Verhalten in bestimmten Situationen diskutieren können (so ist z. B. die Soziologie in der nachstehenden Untersuchung ausgeblendet worden, da diese die Interaktion mehrere Individuen betrachtet). Bei dem Umgang mit Modellen sind hier besonders die Erklärungsansätze zur Schematheorie oder auch zur Lerntheorie zu nennen.

Es wurde eine Zuordnung der Semiotik und der Begriffe im Wissensmanagement auf die Weise vorgeschlagen, dass sich die Syntax mit dem Übergang von Zeichen auf Daten, die Semantik mit dem Übergang von Daten auf Informationen und die Pragmatik mit dem Übergang von Information auf Wissen beschäftigt (BODENDORF 2003, S. 1). Dies kann auf die Kommunikation zwischen Sender und Empfänger übertragen (SHANNON 1998, S. 19ff) und auf den Diskurs des Individuums mit dem Modell erweitert werden; Modellierung setzt jedoch ein Sprachverständnis voraus, in dem das Problem formuliert und damit eine Kommunikation zwischen Individuen unterstützt werden kann. Die Eigenschaften der

¹ Gerade in diesem Beispiel ist jedoch zu beobachten, dass der Erklärungsansatz der Linguistik zur Semiotik nicht vollständig übernommen worden ist. Die Semiotik (LENK 1998, S. 146) wird häufig bzgl. der Syntax und der Semantik zitiert. Dass die Individualität durch die dazugehörige Pragmatik kaum diskutiert wird ist eine Vernachlässigung, auf die eine falsche Modellanwendung/-einführung zurückgeführt werden kann. Dies führt dazu, dass in der Praxis der Anwender zwar als wichtiger Einfluss bei der Analyse erkannt worden ist, jedoch eine methodische Unterstützung, wie es bei Problemen in einer Software im Unternehmen vorliegt (z. B. Software-Hotline), ausbleibt (SCHLÖGL 2001, S. 207).

Umgangssprache wie z. B. Adressfunktion, Regulationsfunktion und Codierungsfunktion (DÖRNER 1976, S. 55) sind zu berücksichtigen, um den kontextgerechten Umgang sicherzustellen.

Das zu erarbeitende Verständnis hängt nicht von der Methode ab (WAGENSCHNEIN 1999, S. 51), sondern von der konstruktivistischen Handlung selbst (LENK 1998, S. 13; MATURANA & VARELA 1987, S. 31). Diese besteht in dem Diskurs mit dem Problem, bei dem die Anpassbarkeit einer Methode über deren Nützlichkeit entscheidet (WUKETITS 2002, S. 15), also lässt sich der Bedarf an einer Adaption der Methode an besondere Randbedingungen feststellen. Als Beispiele seien an dieser Stelle die Anwendung einer FEM¹-Berechnung aufgeführt, die ihren größten Nutzen in einem speziellen Einsatzgebiet bietet (z. B. Festigkeitsberechnung oder Strömungsberechnung), oder Brainstorming, das ständig an seine Randbedingungen (z. B. Anzahl der beteiligten Individuen, Dauer) anzupassen ist und damit eine breite Einsatzmöglichkeit bereitstellt. Der Nutzen eines wechselnden Problemmodells, um Probleme zu lösen, wird in der Psychologie weit höher eingeschätzt als in der Konstruktionsforschung (GRAMANN 2004, S. 38).

Das Ziel einer Theorie der individuellen Modellbildung besteht nicht darin, die Tätigkeiten bei der Modellierung bereits etablierter Reaktionen zu erklären, sondern darin, Aufschluss zu geben, wie Individuen durch Wahrnehmen eines Modells neue Schlussfolgerungen erwerben können. Andere Disziplinen liefern Hinweise darauf, dass die Modellbildung in der Analyse von hoher Signifikanz ist:

- Pädagogik: Frühe Stadien des Lernens, Erinnerns und der Reproduktion setzen symbolische Repräsentation voraus. Dies wird unterstützt durch die Aussage, dass die Korrelation der Ereignisse in einem Modell wichtig ist und das Verstehen und Schlussfolgern fördert (BANDURA 1976, S. 12, 206; BREDEKAMP 1998, S. 31).
- Psychologie: Individuelle Problemmodelle reduzieren die für die Aufnahme von Informationen erforderliche Gedächtnisleistung (FUNKE 2003, S. 203), somit kann die Aufmerksamkeit auch auf andere Aspekte (z. B. Konsistenz der Information, Interpretation der Zusammenhänge) gelenkt werden.
- Neurologie: Sich Bilder vorzustellen ist nur ein Bestandteil der Gehirnrepräsentation; vielmehr gehört dazu auch, Informationen über Objekte heranzuziehen und zu wissen, wofür diese eingesetzt werden können. Damit wird das Verhalten auf Basis von Wissen über die Welt ausgerichtet, sodass ein intelligentes Sehen als schnelles Problemlösen einzustufen ist² (GREGORY 2001, S. 22f).

¹ FEM = Finite Element Methode

² Das Thema der Visualisierung wurde bereits in den 1990er Jahren im Umweltschutz als eine wichtige Hilfestellung bei dem Verstehen und Visualisieren von Informationen des Systems erkannt (DENZER 1992; GRÜTZNER 1991) und zeigt bis heute seine durchgängige Aktualität (SCHULZE et al. 2004).

Bei der Auseinandersetzung mit einem Problem tritt eine Verbindung von Wahrnehmung und Schlussfolgerung innerhalb der Analyse durch die Schematheorie¹ auf (ALMS 1984, S. 10; RIEDL 2000, S. 52; DUNCKER 1935, S. 55ff; HEILEMANN, S. 48ff) (Bild 2-6). Dies unterstützt das Individuum dabei, die Situation zu verstehen, Fehler zu finden und Informationslücken aufzuspüren.

Analyse und Synthese² können als Grundelemente des Denkprozesses bezeichnet werden (PATZAK 1982, S. 112), die abwechselnd stattfinden (RIEDL 2000, S. 6). Um den Denkprozess zu unterstützen, ist der Umgang mit individualisierten Modellen von Interesse, bei dem Erklärungsansätze aus der Pädagogik herangezogen werden. Der Prozess der analytischen Informationsaufnahme (Wahrnehmung) ist ebenso erforderlich wie der der synthetischen Informationsinterpretation (Schlussfolgerungen). Um den Unterschied zwischen Wahrnehmung und Schlussfolgerung zu verdeutlichen, werden im Folgenden deren Eigenschaften gegenübergestellt (in Anlehnung RIEDL 2000, S. 53ff):

¹ Schema ist eine Form von Regeln der produktiven Vorstellung, durch welche das Verständnis in der Lage ist, seine Kategorien anzuwenden; Schemata sind abstrakte Strukturen, die das im Gedächtnis gespeicherte Wissen repräsentieren.

² Analyse im Sinne einer Untersuchung von einzelnen Elementen eines Systems und Synthese im Sinne einer Untersuchung des Zusammenspiels von Elementen, um eine Gesamtheit zu betrachten.

Umgang mit Modellen (Kapitel 2.3.1)

	Wahrnehmung (Kapitel 2.3.2)	Schlussfolgerung (Kapitel 2.3.3)
Beschreibung	<ul style="list-style-type: none"> • Analytische Betrachtung von Gegenständen • Angeborene individuelle Fähigkeit • Ändert sich u. U. nicht, wenn die Schlussfolgerung sich ändert 	<ul style="list-style-type: none"> • Synthetische Betrachtung von Verknüpfungen • Zu erlernende Fähigkeit • Ändert sich, wenn sich die Wahrnehmung ändert
Beispiel	<ul style="list-style-type: none"> • Gegenstände bzgl. Eigenschaften über Sinnesorgane wahrnehmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Induktive Schlussfolgerung (z. B. repräsentative) • Deduktive Schlussfolgerung (z. B. syllogistische) • Abduktive Schlussfolgerung (z. B. subsumierende)
Diskussion	<ul style="list-style-type: none"> • Ist eine Vorbedingung für Schlussfolgerungen, jedoch mit dieser auch in ständiger Wechselbeziehung • Unmittelbare Weitergabe nicht möglich durch implizite Charakteristika • Hat den Anschein einer Wahrheit 	<ul style="list-style-type: none"> • Kann durch explizite Charakteristika gut weitergegeben werden • In ständiger Wechselbeziehung zur Wahrnehmung

Sprache und Schemata
Formen der Schlussfolgerungen
Optische Täuschung
Kognitive Täuschung

Bild 2-6: Unterscheidung zwischen der Wahrnehmung und der Schlussfolgerung (nähere Erläuterung im nachfolgenden Text)

In der Psychologie wird eine Denkforschung betrieben, bei der Wahrnehmung und Schlussfolgerung nicht voneinander getrennt sind. Die Denkforschung hat es sich zum Ziel gesetzt, Methoden für die Veränderung und Optimierung des Denkens bereitzustellen (DÖRNER 1976, S. 23). Bei der Untersuchung haben sich Denkgewohnheiten herauskristallisiert, die sich unterschiedlichen Ausprägungen von Wissen¹ zuweisen lassen.

Bei der Wahrnehmung kann man ebenso wie bei der Schlussfolgerung einem Trugschluss erliegen, dieser wird unter dem Gesichtspunkt der visuellen oder kognitiven Täuschung behandelt.

¹ Ausprägungen können nach SPECHT (1989, S. 6ff) sein: Faktenwissen, kausales, typologisches, terminologisches, relatives/kontextabhängiges, abgeleitetes Wissen. Probleme bei Akquise und Repräsentation von heuristischem, vagem, temporalem, unsicherem, ungenauem, unvollständigem und Metawissen, oder implizites, explizites, deklaratives und prozedurales Wissen (NONAKA & TAKEUCHI 1995, S. 62).

2.3.1 Umgang mit Methoden

Die Anwendung von Methoden lässt sich durch pädagogische Erklärungsansätze interpretieren, da der Umgang mit Methoden zum Lösen eines Problems Parallelen zu dem Erarbeiten eines Lerninhalts aufzeigt. Darauf aufbauend werden Wahrnehmung und Schlussfolgerung für die Analyse des Problems diskutiert.

Beobachtet man die Wahrnehmung in einem frühen Entwicklungsstadium des Menschen, so wird mühevoll zwischen einem Tatbestand (der Wirklichkeit) und einem Modell unterschieden (WAGENSCHNEIDER 1999, S. 13, S. 70f). Diese Differenzierung wird im weiteren Verlauf der Entwicklung jedoch immer unbewusster, sodass häufig beide Welten miteinander zu verschmelzen scheinen. Das Heranziehen von Modellen fördert eine Diskussion über den Unterschied von Wirklichkeit und Modell (THOMPSON 2001, S. 96).

Die Lerntheorien (STEINMETZ & NAHRSTEDT 2004, S. 176ff) – Behaviorismus, Konstruktivismus und Kognitivismus – aus der Psychologie können helfen, den Umgang mit den Methoden zu erklären und bereits identifizierte Schwachstellen aufzugreifen, um bei Anwendung einer Methode bereits auf diese Erfahrungen zurückgreifen zu können. Nachstehend werden die drei Theorien des Lernens kurz beschrieben und eine Übertragung auf den Umgang mit Methoden diskutiert.

Behaviorismus

Der Behaviorismus beschäftigt sich mit Reizen die eine bestimmte Reaktion hervorrufen. Das lernende Individuum selber wird als Blackbox betrachtet, eine Maschine, in die man nicht hineinsehen kann und bei der intern stattfindende Lernprozesse nicht beachtet werden. Eine Betrachtungsweise für die Blackbox ist, dass die Funktionsweise des Menschen durch die Erschließung von Input (Reiz) und Output (Reaktion) erfolgt, mit denen ein Individuum konditioniert wird. Eine andere Position innerhalb des Behaviorismus vertritt die These des Trial-and-Error-Verhaltens, man geht davon aus, dass Lernen durch Belohnung und Bestrafung gesteuert werden kann (EDELMAAN 1996, S. 108). Komplexere Inhalte werden dafür in kleine Lernschritte unterteilt und dem Lernenden in einer bestimmten Reihenfolge vermittelt.

Diese Darstellung erläutert die dogmatisch starre Anwendung von Methoden in der Produktentwicklung, bei der man sich eine Methode angeeignet (Input durch Schulung, Bücher etc.) und darauf hin angewendet (Output) hat. Liegt keine passende Methode für das Problem vor, wird eine nach außen hin undurchschaubare Reihe an Versuchen durchgeführt, um doch noch mit den bestehenden Mitteln eine Lösung zu erarbeiten. Eine vollständige Kenntnis über das Einsatzgebiet der zur Verfügung stehenden Mittel liegt nicht vor, sodass hier viel Zeit für nicht ergebnisorientierte Lösungssuchen investiert wird. Eine Interpretation der Methodik wird bei beiden Ausprägungen des Behaviorismus –

Reiz/Reaktion und Trial-and-Error (MILLER et al. 1960) – nicht durchgeführt, sodass die Enttäuschung bei der Methodenanwendung zwangsläufig in einer kritischen Haltung enden muss.

Der Behaviorismus erklärt die verbreitete Methodenanwendung, bei der eine selbstständige Erweiterung einer Methode nicht durchgeführt wird. Für die Anwendung aufwendiger Methoden (z. B. QFD¹, Szenariotechnik, Matrix) kann dieser Erklärungsansatz den falschen Umgang verdeutlichen, indem das Individuum z. B. Zahlen bei der Bewertung zu einer kritiklosen oder zu einer dogmatisch starren Interpretation neigt.

Kognitivismus

Aus der Kombination von Empirismus und Rationalismus ergab sich der Kognitivismus, bei dem innere Denk- und Verstehensprozesse der Lernenden eine zentrale Rolle spielen. Im Vergleich zu der Blackbox-Vorstellung beim Behaviorismus wird Lernen nun als innerer Informationsverarbeitungsprozess gesehen, bei dem das Gehirn Eingaben verarbeitet und daraus Ausgaben anfertigt. Auf das lernende Individuum wirken Informationen, welche es decodiert und in sein internes Schema einfügt.

Im Kognitivismus liegen mehrere Formen des Lernens vor – assoziativ bedeutungserzeugendes, generatives Lernen sowie deduktives (wahrheitserhaltendes Denken) und induktives Schließen (gehaltserweiterndes Denken), Analogiebildung u. a. Die kognitive Psychologie lehnt die Vorstellung ab, dass Wahrnehmung und Verhalten von Reizen kontrolliert werden (vgl. Behaviourismus) und betont Hintergrundwissen und logische Denkprozesse (GREGORY 2001, S. 17).

Durch diesen Erklärungsansatz werden besonders die kreativen Methoden der Konstruktionswissenschaft erklärt. Als der Kognitivismus als Erklärungsansatz entwickelt wurde, führte man von wissenschaftlicher Seite aus viele Untersuchungen zur kreativen Lösungssuche durch (SCHRÖDER 1992).

Der Kognitivismus ermöglicht den Zugang zu einer besseren Anpassung der Methode an die Randbedingung, da – im Gegensatz zum Behaviourismus – die Relation der Objekte hinterfragt wird. Methoden werden somit leistungsfähiger und können komplexere Probleme abbilden.

Konstruktivismus

Im Konstruktivismus wird die Auffassung vertreten, dass Wissen durch eine interne subjektive Konstruktion von Ideen und Konzepten entsteht, dabei werden die Interaktionen mit der Umwelt betont. Im Konstruktivismus gewinnt die individuelle Wahrnehmung, Interpretation und Konstruktion an Bedeutung. Es herrscht das Bild eines aktiven Lernenden,

¹ QFD = Quality Function Deployment

der neues Wissen aufbaut, indem er auf Vorwissen zugreift und dadurch zusätzliche individuelle Schemata aufgebaut, verknüpft, reorganisiert und modifiziert. Der konstruktivistische Ansatz erlaubt die Definition eigener Symbole, die eine Interpretation ermöglichen (RIEDL 2000, S. 37).

Diskussion der Lerntheorien

Bei der Anwendung der drei Lerntheorien ist die Psychologie selbst noch in zwei Lager gespalten, wie man den denkenden bzw. lernenden Menschen beschreiben kann.

1. Hypothese

Um einen hohen Kenntnisstand zu erreichen, sind alle drei Erklärungsansätze gültig, d. h., das Individuum setzt sich bei der Bearbeitung eines neuen Themas mit den Inhalten zuerst „behavioristisch“ auseinander. Gelingt es ihm, die 1:1-Anwendung zu überwinden, bei der die Erklärungen aus der Literatur ohne Modifikation angewendet werden, kommt es darauf aufbauend zu einem „kognitiven“ und im weiteren Verlauf zu einem „konstruktivistischen“ Umgang mit dem neuen Thema (SEEL 2000).

2. Hypothese

Sie setzt voraus, dass mit den drei Erklärungsansätzen der historische Erkenntnisweg der Psychologie dokumentiert ist, bei dem behavioristischen (1920-1960) und kognitiven (ca. 1960-1990) Erklärungsansatz keine Gültigkeit mehr zukommt. Jedes Phänomen kann damit durch den konstruktivistischen Erklärungsansatz (seit ca. 1990) beschrieben werden (EDELMAAN 1996).

Da sich selbst die Fachwelt noch nicht über die Anwendung der Erklärungsansätze einig ist, vertritt der Verfasser hier die Ansicht, dass die vorgestellten Erklärungsansätze durchlebt werden. Dies lässt sich auf Beobachtungen zurückführen, wie Studenten und Ingenieure mit Methoden umgehen.

Es wird deutlich, dass eine freie Interpretation der Umwelt möglich ist. In Bezug auf die Methodenanwendung ergibt sich die Möglichkeit der Konstruktion eines eigenen Modells, da Informationen beschafft und in einen generellen Kontext eingebettet werden. Bei der Informationsbeschaffung bedient man sich Mechanismen wie u. a. Kombination und Transformation. Dies macht sich z. B. das TRIZ-Funktionsmodell zunutze, bei der eine Hilfestellung über Fragstellungen angeboten wird.

Da der Konstruktivismus unterschiedliche Wirklichkeiten zulässt (WATZLAWICK & KREUZER 2001, S. 31), wird eine Darstellung von mehreren Disziplinen erlaubt. Veränderungen an der Methode werden aus einer konstruktivistischen Motivation heraus dann durchgeführt, wenn man zu einer zusätzlichen Hypothese kommen möchte oder versucht, Annahmen zu explizieren.

2.3.2 Wahrnehmung

Es liegt keine einheitliche Meinung vor, ob die Wahrnehmung als eine Voraussetzung für das Schlussfolgern eingestuft wird (DUNKER 1935, S. 55) oder ob die Wahrnehmung nicht für die Schlussfolgerung erforderlich ist (POPPER 2002, S. 20). In beiden Fällen gilt, dass grafische Informationen besser im Gedächtnis behalten werden als Wörter (WESSELLS 1994, S. 280), sodass die Modelle eine überwiegend grafische Komponente aufweisen sollten.

Randbedingungen und Erklärungsansätze der Wahrnehmung

Die Wahrnehmung ist gekoppelt an Erwartung¹, Erfahrung und Verständnis, die von der Situation² abhängig sind (POPPER 2002, S. 138; GREGORY 2001, S. 9). Es können nur Erwartungen aufkommen, die man formulieren kann, andere können nicht begründet werden³. Aus dieser scheinbaren Trivialität leitet sich die Bedeutung der Sprache für die Analyse ab, gleichzeitig unterliegt man bei der Reproduktion der Informationen – die man von anderen Individuen bekommen hat – der Gefahr, diese zu verfälschen. Dies lässt sich u. a. auf die Einordnung, Bezeichnung, Abstraktion, Systematisierung und Bewertung der Informationen zurückführen (WAGENSCHNEIDER 1999, S. 10) und betont die Bedeutung der Identifizierung von Scheinerkenntnissen (WAGENSCHNEIDER 1999, S. 71). Ihnen kann durch eine selbstkritische Reflexion von Schlussfolgerungen entgegengewirkt werden.

An dieser Stelle kann die klassische Sicht einer passiven Wahrnehmung aufgegriffen werden (GREGORY 2001, S. 10), da nämlich die Wahrnehmung in der Literatur zunehmend als aktiver Vorgang eingestuft wird (GREGORY 2001, S. 63ff; LENK 1998, S. 12). Hiermit lässt sich begründen, dass für den Wahrnehmungsprozess Zeit investiert werden muss (WESSELLS 1994, S. 49), um eine hinreichende Verarbeitung sicherzustellen. Dies hat sich bereits bei der Lösungssuche durch die Inkubationszeit etabliert, jedoch muss die Akzeptanz

¹ Bei der Entwicklung des Gehirns ist zu beobachten, dass bei Lebewesen eine Umgestaltung der Verbindungen im Gehirn erfolgt. Um die Auswirkungen einer Umgestaltung auf die Erwartungshaltung zu untersuchen wurde folgendes Experiment durchgeführt: Man hat eine Katze in einen Raum mit horizontalen Linien aufwachsen lassen und eine andere in einem Raum mit vertikalen Linien. Nach der erwähnten Umgestaltung wurden die beiden Katzen in den jeweils anderen Raum gebracht. Das zu beachtende Phänomen bestand darin, dass sich die Katzen nur orientieren konnten, wenn sie ihren Kopf um 90° drehten und sich somit die Erfüllung der Erwartungshaltung – geprägt durch das Aufwachsen in einem anderen Raum – ermöglichte (SCHNABEL & SENTKER 2000).

² Beispiel für situationsspezifische Wahrnehmung: Ob ein Gegenstand leichter oder schwerer erkannt wird, hängt u. a. ab von dem Grad der Gebundenheit des Gegenstandes. Ein Schimpanse, der einen Stock benötigt, kann Schwierigkeiten haben, in einem am Baum befindlichen Ast den Stock zu erkennen, ihn „loszusehen“ (DUNKER 1935, S. 102).

³ In Anlehnung an WITTGENSTEIN (2001, S. 253): Wovon man nicht sprechen kann, darüber muss man schweigen.

für die Expositionszeit eines Problems auch hinsichtlich des Wahrnehmens geschaffen werden (WAGENSCHN 1999, S. 81).

Bei der Wahrnehmung von Informationen muss deutlich gemacht werden, dass die Sinnesorgane lediglich auf quantitative Änderungen reagieren können und dies einen Wechsel in der Ausprägung der dargestellten Informationen voraussetzt und Selektivität bei der Wahrnehmung zur Folge hat (v. FOERSTER 1999, S. 29; EISENHARDT et al. 1995, S. 66; LENK 1998, S. 124; GREGORY 2001, S. 245). Die visuelle Wahrnehmung findet in drei Arbeitsbereichen statt: (in Anlehnung an SCHNABEL & SENTKER 2000, S. 142):

1. Farbe, Form¹, Bewegung, Helligkeit
2. Wahrnehmungsorganisation: Interaktion von Farbe und Helligkeit
3. Wiedererkennen/Mustersuche oder funktionale Beziehung (FUNKE 2003, S. 83)

Es liegen Erklärungshypothesen vor, die Wahrnehmung über das physiologische Phänomen hinaus zu beschreiben (in Anlehnung an RIEDL 2000, S. 61ff; v. FOERSTER 1999, S. 81):

- Hypothese vom anscheinend Wahren: Diese Hypothese der Wahrnehmung stützt sich auf eine empirische Wahrheit, bei der die Erfahrungen des Individuums von signifikanter Bedeutung sind. Die Stärke hierbei ist das Wahrnehmen zusammenhängender Ereignisse. Als Schwäche der Hypothese ist die eingeschränkte Einsatzmöglichkeit in komplexen Problemstellungen aufzuführen (Beispiele werden bei den optischen Täuschungen vorgestellt).
- Hypothese vom Ver-Gleichbaren: Hier greift man auf das Wiedererkennen und die Gestaltwahrnehmung zurück. Es können mittels dieser Hypothese noch keine Emergenzen² beobachtet werden. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass eine Grenze definiert und eine Sprache vorausgesetzt werden muss, damit ein Vergleich überhaupt möglich ist. Die Vergleichbarkeit von Produkten oder Prozessen stellt auch in der Entwicklung eine hohe Herausforderung dar.
- Hypothese des relativen Standpunkts: Jede Wahrnehmung ist von dem Bezugssystem abhängig, in dem sich ein Individuum befindet (relativistische Ansicht, die im Wesentlichen durch Einstein vorangetrieben wurde). Die Umgebung des Individuums ist in diesem Augenblick einmalig und nicht wiederholbar. Hierdurch wird der Individualismus der Wahrnehmung erklärt, da sich niemand in die Situation ei-

¹ Aus der Gestalttheorie können folgende Formen wahrgenommen werden: Nähe, Geschlossenheit, gute Fortsetzung, Ähnlichkeit, Prägnanz, gleiche Region (FUNKE 2003, S. 46)

² Emergenz nach einem Verständnis von EISENHARDT et al. (1995, S. 133), hier wird ein System betrachtet, bei dem eine wesentliche Veränderung beobachtet wird, sodass neue Eigenschaften entstehen. Emergenzen in diesem Sinne sind noch nicht beobachtet worden, z. B. ein Übergang von einer Kugel zu einem Torus.

nes anderen „wirklich“ hineinversetzen kann; eine Nachvollziehbarkeit kann nach dieser Auffassung nie erreicht werden.

- Hypothese des beeinflussten Untersuchungsgegenstandes: Sobald ein Untersuchungsgegenstand wahrgenommen wird, wird dieser umgehend durch das Individuum beeinflusst und erschwert so die Möglichkeit einer Schlussfolgerung. Zieht man die Unschärferelation heran, so ist z. B. ein Faktor (Ort) genau messbar, die Messung einer zweiten Größe (Impuls) ist aufgrund der Beeinflussung während der Messung nicht möglich. Dies führt eine Schlussfolgerung ad absurdum, bei der die gleichzeitige Existenz beider Faktoren vorliegt (diese Aussagen lassen sich auf die Unschärfe im Sinne von Heisenberg zurückführen). Vorteil dieser Darstellung ist der Hinweis, dass ein Ergebnis immer auf seine Gültigkeit hin zu untersuchen ist; Schwächen treten jedoch bei der Unmöglichkeit einer Planung auf.

Ausgehend von diesen Grundlagen stellt sich die Frage, welchen Einfluss die Wahrnehmung von Informationen in einer Problemsituation auf das Lösen eines Problems hat. Da bei der Wahrnehmung von Schrift und Bild nicht wertfrei über die Inhalte gedacht, d. h. nicht nichtinterpretatorisch wahrgenommen werden kann (LENK 1998, S. 14ff), führt dies zu einer besonderen Relevanz der beiden Themen Sprache und Schematheorie, die im Folgenden näher betrachtet werden.

Sprache und Schemata

In der folgenden Diskussion wird die schriftliche Ausprägung der Sprache kurz aufgegriffen, da Parallelen zu der grafischen Modellierung eines Problems identifiziert worden sind. Sprache – im vorliegenden Sinn – baut auf Buchstaben auf, die wiederum Wörter bilden und eine Kombination von Wörtern zu Sätzen vermittelt Informationen; dabei können diese durch die morphologischen Eigenschaften der Sprache auf mehrere Arten vermittelt werden (EISENBERG 1998, S. 70). Die Ähnlichkeit zur Sprache wird deutlich, wenn die Darstellung von Informationen in Modellen mit dem elementaren Sprachaufbau und der Morphologie verglichen wird. So verfolgt die Sprache das Ziel die Wirklichkeit zu ordnen (KELLER 1990, S. 117); ähnliches sollen später die vorgestellten Prinzipien (in Kapitel 5) bei dem Individuum leisten, das das Problem zu ordnen hat. Was in der Sprache der Struktur Wort - Satz - Text entspricht, findet sich in einem Modell mit Objekt/Relation - Teilmodell - Modell wieder. Analog zu der aufgeführten Morphologie der Sprache können durch eine Umgestaltung der Objekte und Relationen andere Informationen dargestellt werden. In beiden Fällen – Sprache und Modell – wird eine Grundlage geschaffen, um aus den vorliegenden Informationen Schlussfolgerungen zu ziehen und so entweder ein Verständnis aufzubauen oder Handlungsmaßnahmen in die Wege zu leiten.

Bei der Betrachtung der Schriftsprache im Rahmen der Analyse soll auf einen historischen Rückblick der gesprochenen Sprachen verzichtet werden¹. Es ist lediglich festzuhalten, dass die Analysesprache im Rahmen dieser Arbeit einen Ansatz der Polygenese² verfolgt, bei dem sich die Sprache aus Bestandteilen anderer (vorhandenen) Sprachen bzw. Standardmodelle zusammensetzt.

Sprache verfolgt das Ziel von Ausdruck, Kundgabe und Darstellung (BÜHLER 1965). Damit die Möglichkeiten der Sprache ausgeschöpft werden können, muss die Bedeutung der Worte definiert sein (LENK 1998, S. 128); darüber hinaus muss, dem Kontext entsprechend, eine Sprachstruktur (CHOMSKY 1978) und eine Sprachauswahl getroffen werden (POPPER 2002, S. 121; LENK 1998, S. 254). Durch den Gebrauch von Sprache ist man überhaupt erst in der Lage, den Unterschied zwischen wahren und falschen Aussagen zu bestimmen; damit übt die Sprache einen suggestiven Charakter auf das Individuum aus (POPPER 2002, S. 121). Dies begründet den hohen Stellenwert der Wortwahl als wichtigen Bestandteil der Begriffsbeschreibung³, die einzuführen ist, um Schlussfolgerungen in einem Denkprozess zu unterstützen (STROBL 1998, S. 102).

Die wahrgenommenen Informationen – sei es in Sprach- oder Modellform – werden unmittelbar in ein bereits vorhandenes Wissenssystem des Individuums eingeordnet (WESSELLS 1994, S. 327f). Abhängig von dem Kontext werden also, um die Umwelt erschließen zu können, Verhaltens- und Verstehensschemata aktiviert, sodass damit das logische Verarbeiten von Informationen in Schemata gefördert wird (EISENHARDT et al. 1995, S. 19).

Die oben aufgeführte Integration von Information in Schemata steht am Ende des Prozesses, der in der Schematheorie behandelt wird (ALBA & HASHER 1983). Der Theorie zu folge durchlaufen Informationen folgende Phasen (BREDENKAMP 1998, S.84ff):

1. Selektion: Kriterien wie z. B. Wichtigkeit oder Vorkenntnisse werden herangezogen, um zu beurteilen, ob eine Information in ein Schema eingebunden wird oder nicht.
2. Abstraktion: Hierunter wird die Bedeutung und nicht die exakte Darstellung verstanden, die in vorhandene Schemata eingebunden wird.
3. Interpretation: Vorhandene Lücken werden mittels der Interpretation geschlossen, sodass die dem Individuum vorliegenden Informationen in seinem subjektiven Verständnis schlüssig erscheinen.

¹ Eine Beschreibung über die Entstehung der Schrift (HAARMANN 2002) oder Sprache (ROSS 2000).

² Im Gegensatz zu einer Monogenese, bei der sich eine Sprache aus einer Ursprache weiterentwickelt hat (z. B. durch die Evolution)

³ Es haben z. B. die Begriffe krachen und prallen eine unterschiedliche Wirkung (WESSELLS 1994, S. 208) auf die Einschätzung einer Geschwindigkeit eines Autos durch Geschworene in einem Gericht.

4. Integration: Vorhandene Informationsbausteine werden durch das Verbinden mit anderen zu einem Teilkontext zusammengeschlossen, um einen Gesamtkontext ermitteln zu können.

Die Betrachtung des Zugriffs auf Schemata selber, um einen Erinnerungsvorgang zu erklären, ist nicht Gegenstand der Schematheorie. Problematisch ist jedoch das taxonomische Denken, dies hat die Entstehung von Stereotypen zur Folge; eine einmal entstandene Struktur ist dann kaum zu revidieren. Nichtsdestotrotz sind Stereotypen in besonderen Situationen zweckmäßig (LENK 1998, S. 98), um die Wahrnehmung durch klassifizierendes Denken zu unterstützen.

Optische Täuschung

Die optischen Täuschungen haben Relevanz für das vorliegende Thema, da durch sie die Qualität der Information sowie der Schlussfolgerung beeinflusst wird. Fehler bei der Wahrnehmung lassen sich auf sprachliche und optische Täuschungen zurückführen, da Täuschung als ein Teil der Wahrnehmung von ihrem Umfeld abhängig ist¹. Ausgelöst werden kann eine Täuschung durch Störungen des Nervensystems oder inkorrekte Hypothesen (GREGORY 2001, S. 10).

Optische Täuschungen lassen sich differenzieren nach (GREGORY 2001, S. 250ff):

- Fiktion: Bei einer Fiktion ist man nicht in der Lage Objektwissen heranzuziehen, um den vermeidlichen Fehler in der Vorstellung zu identifizieren.
- Paradoxon: Bei optischen Paradoxa handelt es sich um einen Widerspruch, bei dem eine logische, topologische Erklärung eines Objekts als unmöglich erscheint.
- Doppeldeutigkeit: Die Doppeldeutigkeit eines Objekts ergibt sich aus einer kontextabhängigen Wahrnehmung. Diese kann differenziert sein, obwohl sich die Eingangsinformationen nicht verändern; das hängt mit der Uneindeutigkeit von Wahrnehmung zusammen.
- Verzerrung: Bei einer Verzerrung wirken auf einen Untersuchungsgegenstand Randbedingungen die dazu führen, dass die geometrischen Abmessungen – obwohl objektiv identisch – unterschiedlich erscheinen. Die Ursache einer Verzerrung festzustellen ist außerordentlich schwierig, da sie entweder auf einen physiologischen oder einen kognitiven Ursprung zurückgeführt werden kann.

Obwohl die Klassifikationen aus der optischen Wahrnehmung entstanden sind, lassen sie sich auch auf die sprachliche Wahrnehmung anwenden, bei der Begriffe z. B. einer Dop-

¹ Es unterliegen Individuen die in einer „Kreiskultur“ (z. B. Zulus) aufgewachsen sind nicht so stark perspektivischen Täuschungen, wie Individuen einer „rechtwinkligen“ westlichen Kultur (GREGORY 2001, S. 187).

peldeutigkeit zugeschrieben werden können (in der Linguistik: homonym, z. B. Bank zum Sitzen oder Geld verwalten). Die Erklärung der optischen Täuschungen findet durch einen physikalischen Erklärungsansatz statt, in dem die Täuschung vor dem Auge liegt – also in der Realität – sodass sie unabhängig vom Betrachter ist.

Wie sind diese Täuschungen in der Realität zu beobachten? Eine Untersuchung in der Tierwelt ergab, dass sich das Fell bzw. die Haut eines Tieres nicht nur zur Tarnung ausgebildet hat, sondern auch um die Größe und Form (dunkle Farben) oder die Bewegung (helle Farben) in Szene zu setzen und sich somit die Verzerrung als Ausprägung einer optischen Täuschung zunutze macht (ZAHAVI & ZAHAVI 1998, S. 105, 171ff).

Eine optische Täuschung (hier: Fiktion) im positiven Sinne findet sich in der medizinischen Anwendung wieder. Musste einem Patienten eine Hand amputiert werden, so kann es vorkommen, dass die nicht vorhandene Hand verkrampft und zu Phantomschmerzen führt. Lange Zeit wurden diese Patienten mit Schmerzmitteln behandelt. Eine Untersuchung hat jedoch ein erstaunliches Phänomen aufgedeckt: Legt der Patient beide Arme nebeneinander und dazwischen einen Spiegel, so bekommt er die Vorstellung er hätte zwei Hände. Bringt der Patient dann die gesunde Hand in die verkrampfte Stellung der Amputierten und öffnet diese zur Entkrampfung, dann führt dies zu einer schmerzfreien, entkrampften „amputierten“ Hand, ganz ohne Medikation (SCHNABEL & SENKTER 2000, S. 137).

2.3.3 Schlussfolgerung

Neben der Wahrnehmung ist die Schlussfolgerung ein relevanter Aspekt für die Problemlösung. Das Individuum muss sich jedoch bewusst sein, dass eine neue Schlussfolgerung gezogen werden kann, ohne dass sich die Wahrnehmung ändert (RIEDL 2000, S. 8). Bei der Schlussfolgerung unterliegt es zwangsläufig einer sprachimmanenten Einschränkung, der nicht entgegen getreten werden kann (WESSELLS 1994, S. 245); kommt auch noch eingeschränkte Sprachkompetenz hinzu, führt dies zu undifferenzierten Schlussfolgerungen (V. FOERSTER 1999, S. 3). Durch den Kontext – in dem die Schlussfolgerung steht – findet eine weitere Einschränkung statt (MATURANA 2001, S. 222); so verlaufen z. B. Entwicklungskurven in biologischen Systemen vielfach in Form von Potenz-, Exponential- oder Wurzelfunktionen. Nimmt man in diesem Fall eine lineare Entwicklung¹ an, kommt man zu falschen Abschätzungen zukünftiger Zustände. Bei Schlussfolgerungen ist anzuführen, dass der oft schwierige Weg zur Erkenntnis im Nachhinein als schlüssig und plausibel empfunden wird und daher nicht hinreichend gewürdigt wird.

¹ Eine Wahrnehmung von Variablen mit linearen oder statischen Eigenschaften fällt naturgemäß leicht, schwieriger wird es, bei asymmetrischem und nicht linearem Verhalten (STROHSCHNEIDER 1988, S. 16f).

Bei den nachfolgenden Formen von Schlussfolgerungen handelt es sich um bewusste, reflexive Kenntniskünfte (in Anlehnung an RIEDL 2000, S. 30), die durch die Wahrnehmung von Informationen und Verknüpfung mit vorhandenem Wissen den Verstehensprozess unterstützen (WESSELLS 1994, S. 326). Universelle Problemlösungsmechanismen sind in ihrer Leistungsfähigkeit eingeschränkt, somit erscheinen sie im Hinblick auf komplexe Probleme ungeeignet (NEWELL 1969). Um komplexen Problemen trotzdem gerecht zu werden, konzentriert man sich auf die Realisierung spezieller Problemlösungsverfahren.

Damit Schlussfolgerungen unter nachvollziehbaren Bedingungen erarbeitet und Verständnisprozesse angestoßen werden, sind Postulate und Grundannahmen zu formulieren (EISENHARDT et al. 1995, S. 134). Während des Schlussfolgerns darf nicht sofort auf Vollständigkeit beharrt werden, da das Individuum sich sonst selbst in einer stressbestimmten Situation wiederfindet (WAGENSCHNEIN 1999, S. 29). Da Informationen meist mehrdeutig sind, ist zu definieren, welche Form des Verständnisses aufgebaut werden soll (in Anlehnung an RIEDL 2000, S. 216):

- Determinantes Verstehen: Betrachtet die Einordbarkeit einer Information, wobei damit kein unmittelbares Verstehen verbunden ist.
- Kausales Verstehen: Hinterfragt, ob Ursache-Wirkungsketten hinreichend identifiziert worden sind (auch HAGMAYER 2000).
- Genetisches Verstehen: Im Mittelpunkt steht der Entstehungsprozess des Ist-Zustands, bei dem die Randbedingungen der Entstehung näher betrachtet werden.
- Funktionsverstehen (lehnt sich an die bereits erwähnte Kybernetik an): Hier wird das Zweckverstehen des Individuums für das System aufgebaut.

Um die aufgeführten Formen des Verstehens zu unterstützen, werden Ausprägungen der Schlussfolgerung zur Verfügung gestellt (deduktive, induktive und abduktive Schlussfolgerungen) oder auch Prinzipien angewendet – z. B. Erschließen, Umformen, Speichern, Verteilen, Umschalten (LENK 1998, S. 248).

Formen der Schlussfolgerung

Die Wurzeln der Schlussfolgerungen finden sich in der Kausalanalyse, Handlungs- und Spieltheorie (FUNKE 2003, S. 141). Bei komplexen Systemen sind Schlussfolgerungen schwierig zu ziehen (JACKSON 1984, S. 58), sodass zuvor eine Untergliederung in Teilsysteme vorgenommen werden muss. Gerade im Fall komplexer Systeme können Fehler durch Hinterfragung von Ursache oder Zweck behoben werden (RIEDL 2000, S. 200f).

Schlussfolgerungen können nach zahlreichen Kriterien unterschieden (HUSSY & GRANZOW 1986, S. 12ff; EBERHARD 1999, S. 127) oder durch bestimmte Fragestellungen analysiert

werden.¹ Im Folgenden wird eine Unterscheidung nach induktiven, deduktiven und abduktiven Schlussfolgerungen vorgenommen; es darf nicht erwartet werden, dass alleine die einzelne Anwendung einer Schlussfolgerung zu dem Verstehen an sich führt – wie so häufig ist es erst das Zusammenspiel der Schlussfolgerungen (EISENHARDT et al. 1995, S. 102). Den deduktiven Schlussfolgerungen wird aufgrund ihres Charakters ein Fokus auf Relationen zugeschrieben, wohingegen den induktiven Schlussfolgerungen eine Objektorientierung zugeordnet wird. Zusätzlich hat die abduktive Schlussfolgerung das Ziel, Erklärungsansätze für die subjektive Schlussfolgerung bereitzustellen. Im weiteren Verlauf soll noch die Anwendung der Schlussfolgerungen betrachtet werden.

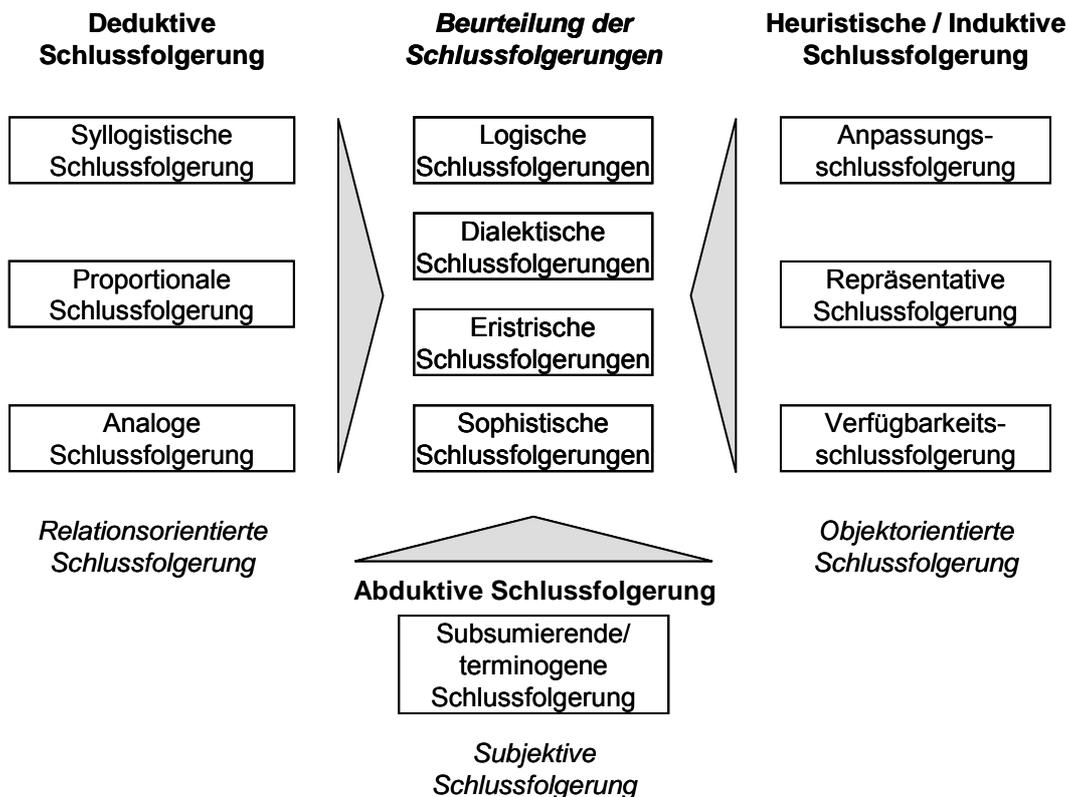


Bild 2-10: Übersicht über die möglichen Schlussfolgerungen bei der Betrachtung eines Problemmodells²

¹ Um zwei Entwicklungen von Betrachtungsweisen – empirisch und rational – zu hinterfragen sowie Begriffe zuzuordnen, bedient sich RIEDL (2000, S. 27) Fragestellungen, wie: 1. die Adaption oder Konstruktion eines Modells, 2. Anwendung von Induktion oder Deduktion, 3. Ursache der Dinge, 4. Primäre Quelle der Wahrheit, 5. Primäre Wirklichkeit, 6. Herkunft des Wissens.

² Um gleich zu Beginn die Formen der Schlussfolgerungen zu unterscheiden, hier eine Gegenüberstellung: *Deduktion* Regel: Alle Bohnen aus diesem Beutel sind weiß, Fall: Diese Bohnen sind aus diesem Beutel, Resultat: Diese Bohnen sind weiß; *Induktion* Fall: Diese Bohnen sind aus diesem Beutel, Resultat: Diese Bohnen sind weiß, Regel: Alle Bohnen aus diesem Beutel sind weiß; *Abduktion* Regel: Alle Bohnen aus diesem Beutel sind weiß, Resultat: Diese Bohnen sind weiß, Fall: Diese Bohnen sind aus diesem Beutel

Bei der Wahrnehmung von Informationen werden diese erst induktiv interpretiert und anschließend für deduktive Schlussfolgerungen herangezogen (EVANS 1994, S. 25; DIERK 2003, S. 99ff).

Deduktive Schlussfolgerung

- **Syllogistische Schlussfolgerung:** Diese besteht aus zwei Prämissen und einer Konklusion (Folgerung). Die Konklusion muss logisch, aber nicht semantisch sinnvoll sein. Der Wahrheitsgehalt der Prämissen wird nicht in Frage gestellt, sondern vorausgesetzt, da die Prämissen Relationen zwischen Objekten beschreiben. Die möglichen Prämissen leiten sich aus der Mengenlehre (SPIES 2004) ab und lauten: <alle>, <kein>, <einige>, <einige nicht>. Syllogismen lassen sich heute als Anwendung der umfassenderen Prädikatenlogik verstehen.

Der Umgang mit Prämissen ist problematisch, da z. B. bei der Anwendung der Prämisse <alle> häufig die Identität mit dem Teilmengenkonzept vertauscht wird: Alle A sind B, heißt nicht automatisch, dass alle B A sind! Im logischen Sinne ist lediglich die <kein> Prämisse eineindeutig, da sie in beide Richtungen gültig ist.

Die Bearbeitung ergibt sich dabei in drei Phasen: 1. Interpretation der (beiden) Prämissen, 2. Kombination der Interpretation, 3. Relation und Konklusion.

Beispiel: Prämisse 1: Alle A sind B, Prämisse 2: Alle B sind C, Konklusion: Alle A sind C.

- **Propositionale Schlussfolgerung¹:** Im Aufbau ergibt sich eine Überschneidung mit dem Syllogismus; beim propositionalen Schlussfolgern führt jedoch eine Aussage (Definition einer Wenn-Dann-Relation) mit einer Annahme (oder auch Feststellung) zu einer Konklusion.

Ein häufiger Fehler ist hierbei die Überführung einer unidirektionalen Verbindung zweier Aussagen in eine Bidirektionale², d. h. <wenn A, dann B> wird häufig in <wenn B, dann A> umgewandelt. Ein weiterer Fehler ist die mangelnde Fähigkeit einer Falsifikation der Annahme³, bei der die Wahrheit der Annahme reflektiert wird. Hier kommt das besondere Problem auf, dass Individuen schwer mit negativen Informationen umgehen können. Negative Formulierungen verbrauchen daher zusätzliche, zeitkonsumierende kognitive Prozesse (HUSSY & GRANZOW 1986, S. 36ff).

Beispiel: Aussage: Wenn A, dann B, Annahme: A, Konklusion: B

¹ Auch konditional-syllogistisch

² In der Psychologie wird auch von einer Bikonditionalhypothese gesprochen.

³ In der Psychologie wird auch von einer Kartenselektionshypothese gesprochen.

- Analoge Schlussfolgerung¹: Gegeben sind zwei Aussagen, die jeweils zwei Aussagen in ein Verhältnis zueinander setzten. Von besonderem Interesse in der ersten Aussage ist die Relation; in der zweiten Aussage ist dann entweder die Relation bezüglich ihrer Gültigkeit zu prüfen oder gemäß einer vorhandenen Relation stimmig zu ergänzen.

Im Vergleich zu den beiden vorher genannten Schlussfolgerungen ergibt sich hier das Ergebnis nicht von selbst, sondern ist stark von den zur Verfügung stehenden Lösungen abhängig. Die Konklusion führt lediglich zu einer wahren oder falschen Aussage und nicht zu einer situationsspezifischen Antwort. Die Anwendung des analogen Schlussfolgerns bietet sich für die Lösung von Teilproblemen an, bei denen schnell auf vorhandene Lösungen zurückgegriffen werden kann.

Schwierigkeiten ergeben sich in der Identifikation von Regeln, somit ist eine adäquate Schlussfolgerung nicht sicherzustellen. Für die Auflösung dieses Problems werden zwei Erklärungsansätze zur Verfügung gestellt: zum einen der Erklärungsansatz mit dem Schwerpunkt innerer Repräsentation (RUMELHART & ABRAHAMSON 1973) und zum anderen der zur Unterstützung von äußerer Repräsentation (STERNBERG 1977).

Beispiel: Aussage 1: A verhält sich zu B, wie Aussage 2: C verhält sich zu D, Konklusion: wahr.

Induktive Schlussfolgerung

Induktive Schlussfolgerungen lassen sich schwer auf andere Domänen (z. B. Übertragung von biologischen Phänomenen auf die technische Anwendung) übertragen, da sie von anwendungsspezifischem empirischen Problemlösungswissen und Steuerungsinformationen durchsetzt sind (STROBL 1998, S. 43).

- Anpassungsschlussfolgerung: Wird dem Individuum eine Information vermittelt, die es nicht unmittelbar in das vorhandene Wissensrepertoire einordnen kann, ist das Individuum verleitet, dieser Information Glauben zu schenken. Die Anpas-

¹ Bei der Anwendung von Analogien wird versucht, jedes Detail zu verstehen, obwohl es in einen größeren Kontext eingebunden ist. Bei dem Detail wird nicht nach der Bedeutung des größeren Umfelds gefragt (WESSELLS 1994, S. 30ff). Ein Beispiel soll das Problem der Analogiebildung verdeutlichen: Nimmt man z. B. an, dass ein Mensch mit ein bis zwei Laib Brot pro Tag auskommen könnte und zieht man nun die geometrische Ähnlichkeit hinzu, so würde einem kleinen Tier (z. B. einem Eichhörnchen) nur ein daumnagelgroßes Stück Brot zustehen (in Wirklichkeit benötigt es jedoch eine halbe Scheibe Brot) (MORRISON & MORRISON 1982, S.6). Auf diese und ähnliche Probleme lassen sich Schwierigkeiten bei einer Umsetzung der Bionik zurückführen, z. B. bei der Analogiebildung auf eine Korrespondenz (Übereinstimmung von äußeren Eigenschaften) oder Kohärenz (Übereinstimmung von Zusammenhängen – innere Eigenschaften) zu achten (RIEDL 2000, S. 21ff). Es stehen nach WESSELLS (1994, S. 273) vier Arten der Analogiebildung zur Verfügung (Kontexteignis, Ort-Zeit, Subjekt-Prädikat, Relation-Objekt).

sungsstrategie ist bei komplexen kognitiven Problemen von besonders hoher Bedeutung.

Mit einem Experiment konnte nachgewiesen werden, wie sich der Anpassungsdruck auswirken kann. Versuchspersonen waren angewiesen, die Länge einer Linie anhand der Vergleichslinien zu bestimmen. In den Gruppen der Versuchspersonen befand sich aber nur jeweils eine „echte“ Versuchsperson. Die Sitzordnung war so arrangiert, dass die „echte“ Versuchsperson ihr Urteil zuletzt abgeben musste. Die „falschen“ Versuchspersonen gaben alle übereinstimmende Fehlurteile ab. 37 von 50 „echten“ Versuchspersonen gaben daraufhin falsche Urteile ab! (DIEKMANN 2002, S. 43)

- Repräsentative Schlussfolgerung: Sie beurteilt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines bestimmten Ereignisses. Währenddessen lässt man sich von Scheinwissen ablenken, sobald eine Schlussfolgerung formuliert wird. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen (HUSSY 1998, S. 54):

Wird angenommen, dass drei Personen eine Münze jeweils sechsmal werfen, so sind Folgende drei Kopf (K) – Zahl (Z) Sequenzen zu beobachten: KKKKKK, ZZZKKK, KZKZKZ. Befragt man Personen, so schätzen sie die letzte Sequenz als die Wahrscheinlichste ein, obwohl für alle Sequenzen eine gleichberechtigte 1/64-Wahrscheinlichkeit besteht. Damit lassen sie sich weniger von der Statistik beeindrucken als von einer wirklichen Beobachtung. Das Einschätzen des dritten Beispiels als das Wahrscheinlichste und damit vermeidlich Repräsentativste ist ein charakteristischer Fehler für diese Art von Schlussfolgerung, sodass die Gefahr der Anwendung von Stereotypen besteht.

- Verfügbarkeitsschlussfolgerung: Einfluss auf die Schlussfolgerung hat die Anschaulichkeit von Information; aus diesem Grund werden anschauliche Informationen für wahrscheinlicher gehalten werden, als weniger Anschauliche. Als Beispiel sei die Darstellung der Informationen einer Matrix in einem Portfolio oder die gleiche Information in der tabellarischen Darstellung zu belassen.

Abduktive Schlussfolgerung

Die hypothetisch gewonnenen Erkenntnisse werden der Abduktion¹ zugeordnet, bei der Schlussfolgerungen durch die Erfahrung abgeleitet werden (SEBEKO & UMIKER-SEBEBOK 1982, S. 32). Die hypothetischen Schlussfolgerungen können dann in einer deduktiven Untersuchung herangezogen werden, um den Wahrheitsgehalt zu hinterfragen (KLAUS 1972, S. 410). Der Erklärungsansatz der Abduktion wurde erarbeitet, da das Wahrgeom-

¹ Alternativ auch Retroduktion (=Rückführung) (EBERHARD 1999, S. 123)

mene mehreren Kategorien zugeordnet werden kann und bestimmte Phänomene mit dem deduktiven und induktiven Schlussfolgern nicht aufgeklärt werden können.

Man kann zwischen zwei Abduktionen unterscheiden: subsumierende und terminogene. Bei der subsumierenden Abduktion werden vorhandene Begriffe für die Erklärung herangezogen, dem gegenüber steht die terminogene Abduktion, bei der nach neuen Begriffen gesucht wird, um das beobachtete Phänomen zuordnen bzw. erklären.

Beurteilung der Schlussfolgerungen

Bildet man Schlussfolgerungen, so ist nur teilweise eine Aussage über deren Nutzen möglich. Dabei strebt das Individuum danach, die Verlässlichkeit seiner Schlussfolgerung und damit der Erkenntnis beurteilen zu können (KELLER 1990, S. 69). Die Schlussfolgerungen können unterschiedliche Erscheinungsformen haben (SCHOPPENHAUER 1995, S. 104): logisch, dialektisch, eristisch, sophistisch¹. Eine andere Unterscheidung erfolgt, indem man sich entscheidet, ob die Schlussfolgerung eine These (Behauptung) oder eine Hypothese (Vermutung) darstellt (EBERHARD 1999, S. 20).

- Logisch: Nimmt man an, dass die verarbeiteten Informationen der Wahrheit entsprechen, so sind auch die abgeleiteten Schlussfolgerungen wahr. Den logischen Schlussfolgerungen kommt eine hohe Bedeutung zu (HUSSY 1998, S. 162), dabei muss berücksichtigt werden, dass sie keiner zeitlichen Abfolge unterliegen (O'CONNOR 1998, S. 119). Einen Überblick über Formen der Logik gibt RIEDL (2000 S. 178).
- Dialektisch: Dies sind als wahr geltende Schlussfolgerungen; Hinführung und Schlussfolgerungen selber erscheinen sinnvoll, können aber keinen abgesicherten Anspruch erheben.
- Eristisch: Die Schlussfolgerungen sind richtig, die Beweisführung hingegen ist falsch.
- Sophistisch: Die Schlussfolgerung ist falsch, erscheint jedoch richtig. Um diese Art von Schlussfolgerungen zu identifizieren, sind z. B. Widersprüche oder Irrtümer aufzudecken. In einem Experiment wurden Studenten befragt, wie ihrer Meinung nach die Sichelform des Mondes zustande kommt. Die Antworten gingen zu einem großen Teil vollkommen an der Wahrheit vorbei (WAGENSCHNEIDER 1999, S. 62).

Die aus den Hypothesen abgeleiteten Schlussfolgerungen können fehlerhaft sein und zu Fiktionen, Verzerrungen der Wirklichkeit oder Paradoxien führen (GREGORY 2001, S. 28). Aus diesem Grund kann die Qualität einer Schlussfolgerung durch eine Falsifikation oder

¹ Obwohl mit vergleichbaren Inhalten gibt es eine Unterscheidung von EVANS (1994, S. 72): gültig-glaubhaft, gültig-unglaubwürdig, ungültig-glaubhaft, ungültig-unglaubwürdig

Verifikation beurteilt werden. Fragt die Verifikation nach der Gültigkeit, so hinterfragt im Gegensatz dazu die Falsifikation (nach POPPER), wann eine Schlussfolgerung nicht gültig ist. Bei der Falsifikation kann dabei eine Widerlegung der Annahmen, Prämissen oder der Konklusion selber erarbeitet werden (SCHOPPENHAUER 1995, S. 36; FEYNMAN 2003, S. 27).

Sogar POPPER sieht jedoch auch in der Falsifikation keine Garantie für einen Erkenntniszugewinn oder wissenschaftlichen Fortschritt (2002 S. 27ff), da die Grenzen der Überprüfung nicht klar definiert sind. Die Überprüfung wird bzgl. dreier Aspekte durchgeführt (Idee der Wahrheit, logischer und empirischer Gehalt und Wahrheitsgehalt). Bei dieser Falsifikation kann man nicht nur feststellen, dass eine Hypothese/These falsch ist, sondern auch warum. Auch wenn die erkenntnistheoretische Idee der Falsifikation sinnvoll erscheint, so konnte in Versuchen genau das Gegenteil festgestellt werden (EVANS 1994, S. 41ff). Versuchspersonen versuchen nicht, die Falschheit der Hypothese aufzuzeigen, sondern suchen Ergebnisse, die die vorliegende Hypothese verifizieren. Empirische Aussagen und induktive Schlussfolgerungen treten nach POPPER nicht auf (RIEDL 2000, S. 34; EVANS 1994, S. 44), d. h., die Falsifikation bedient sich selber der deduktiven Möglichkeiten.

Hindernisse bei der Erarbeitung von Schlussfolgerungen sind, u. a. leichte Irreführung durch Phrasen, Fachsprache, monokausale Denkweise, Unterschätzung von Tendenzen, kurzer Planungshorizont oder hohe Ähnlichkeit zu anderen Situationen (WAGENSCHNEIDER 1999, S. 72; VESTER 1999, S. 39, S.105; DÖRNER 1999, S. 58). Auf eine explizite Trennung des Didaktischen (Lehren) und des Pädagogischen (Lernen) wird hier verzichtet, da sie eng miteinander verknüpft sind (BAECKER 2002, S. 138).

Kognitive Täuschungen¹

Beziehen sich die vorher erörterten optischen Täuschungen überwiegend auf Gegenstände, so behandeln die kognitiven Täuschungen Fehlrurteile, die bei der Verarbeitung von Informationen bei dem Individuum auftauchen können. An dieser Stelle liegt eine Täuschung durch die Interpretation vor, so werden z. B. Objektwissen oder Regeln zwischen vermeidlich gleichberechtigten Objekten falsch angewendet.

Untersucht man logische und syntaktische Täuschungen (HAREL 2002, S. 23), so können diese zurückgeführt werden auf z. B. abstrakten, zufällig realistischen Inhalt, Unbekanntheit oder Unterbewertung von Operatoren, Regelverletzung oder Irrtum sowie Schätzung mit einer schwer kalkulierbaren Aussagekraft (EVANS 1994, S. 65; DÖRNER 1974, S. 51; FUNKE 2003, S. 238; BÖHM & WENGER 1996, S. 295ff). Schätzungen² können unterteilt

¹ Auch: Urteilsfehler (englischer Begriff in der deutschen Literatur ebenso üblich: Bias)

² Bei den zahlreichen Möglichkeiten von Fehlern gilt es, eine Dokumentation über die Information zu einem Fehler zusammenzutragen. Ein Beispiel ist die Übersicht über Einflussfaktoren beim Schätzen von Zeit-

werden in z. B. verfrühte Schätzung (Schätzen bevor Schätzung sinnvoll ist), einmalige Schätzung oder Anpassung der Schätzung an Wünsche, Ist-Zustand und Erwartung.

Neben der Schätzung kann bei der Täuschung auch von Interesse sein, das Nicht-Wissen zu dokumentieren, um eine Abgrenzung zum Wissen zu verdeutlichen (WAGENSCHNEIN 1999, S. 96; DEGELE 2000, S. 269).

Ebenso relevant ist der Aspekt, Täuschungen vergessen zu können, dem eine positive und negative Bedeutung zukommen kann. Betrachtet man kurzzeitiges Vergessen, das sich auf die richtige Schlussfolgerung bezieht, als positiv, so kann man feststellen, dass durch das Vergessen Fixierungen gelöst werden (HUSSY 1998, S. 125) und so der Raum für neue Schlussfolgerungen bereitgestellt wird – dies soll jedoch einen Lernprozess nicht ausschließen. Dem gegenüber steht ein dauerhaftes Vergessen der Täuschung, bei der das Individuum wiederholt eine falsche Schlussfolgerung ableitet und somit keinen Lernprozess durchläuft. Der ausbleibende Lernprozess kann durch eine Reflexion der durch die Täuschung hervorgerufenen Schlussfolgerung dennoch aktiviert werden (GANDOLFI 2001, S. 86; MATORANA 2001, S. 114).

Um Täuschungen entgegenzuwirken, werden in der Literatur sehr allgemeine Vorschläge unterbreitet, z. B. menschliche Intuition ersetzen durch formale Prozeduren, Training, Verbesserung der Umweltbedingungen, Entwicklung von Entscheidungshilfen (EVANS 1994, S. 113; BAECKER 2002, S. 126ff). Dies betont die Notwendigkeit einer operativen Unterstützung des Individuums bei der Analyse und dem Verstehen eines Problems.

Eine falsche Schlussfolgerung spiegelt nicht notwendigerweise eine schlechte Analyse wieder, richtige Schlussfolgerungen setzen allerdings auch keine gute Analyse voraus (EVANS 1994, S. 2). Eine Diskussion dieses Aspekts soll dem Individuum helfen, seine Schlussfolgerungen zunächst selber zu hinterfragen, sodass sie der Arbeitsgruppe später fundiert zur Verfügung stehen, da durch die Tendenz zu „Groupthinking“ eine solche Reflexion nur schwer möglich ist (DÖRNER 1999, S. 55).

2.4 Fazit

Aus Sicht der Forschung stehen zur Strukturierung von Informationen den Konstruktionswissenschaften Modelle zur Verfügung; diese können inhaltliche, strukturelle oder qualitative Ausrichtungen aufweisen. Die in der Produktentwicklung bestehenden inhaltlichen Modelle orientieren sich an dem Reifegrad eines Produkts mit dem Schwerpunkt der Phasenunterstützung und nicht an der integrierten Darstellung von phasenübergreifenden In-

aufwenden, die einen Eindruck von der Vielfalt der Fehler beim Schätzen vermittelt (BÖHM & WENGER 1994, S. 332).

formationen. Die strukturelle Orientierung bietet Möglichkeiten, die Informationen in einen Zusammenhang zu bringen und damit unterschiedliche Formen der Schlussfolgerungen zu unterstützen. Die Diskussion über qualitative Differenzierung bietet die Möglichkeit, sich mit den Eigenschaften von sprach- oder zahlenorientierten Modellen auseinander zu setzen, sodass Modelle diesbezüglich situationsspezifisch verwendet werden können.

Durch die Betrachtung der ausgewählten Disziplinen, die sich mit Wahrnehmung (u. a. Psychologie¹, Pädagogik) und Schlussfolgerung (z. B. Philosophie, Mathematik) beschäftigen, wird ein Eindruck über Schwierigkeiten (z. B. kognitive und optische Täuschungen) und bereits existierende Erklärungsansätze (z. B. Behaviorismus, Konstruktivismus und Kognitivismus) vorgestellt. Dadurch wird die Relevanz einer interdisziplinären Betrachtung unterstrichen, da eine (unbewusste) Überschreitung der normalen Betrachtungsweise des Individuums möglich werden kann, das sich so in einer Situation befindet, in der es lediglich mittelmäßige Schlussfolgerungen definieren kann.

Aus der konstruktionswissenschaftlichen ebenso wie aus der interdisziplinären Betrachtung der Problemstellung individueller Modelle zeigt sich, dass ein präskriptives Verfahren – wie es vielfach angeboten wird – bei einem Individuum nicht die gewünschte Veränderung mit sich bringt. Aus diesem Grund ist für die Analyse eine individuelle und gleichzeitig einfache Unterstützung zu erarbeiten, die sich durch eine Modifizierung, Übertragbarkeit auf andere Situationen in der Produktentwicklung (als die Analyse) sowie eine Unterstützung bei variierendem Einsatz auszeichnet. Infolgedessen werden im weiteren Verlauf der Arbeit Prinzipien für die Analyse entwickelt, die auf den erarbeiteten Informationen über Modelle basieren. Bei der Anwendung der Prinzipien ist dem Umgang im Sinne der diskutierten psychologischen Erklärungsansätze – Behaviorismus, Konstruktivismus und Kognitivismus – eine den Modellen vergleichbar hohe Aufmerksamkeit zu schenken.

¹ Aussagen aus der Psychologie sind für die Praxis schwierig auszulegen. Entweder sind es stark statistische Auswertungen, die lediglich zeigen, was in einer künstlichen Umgebung bedeutsam war, oder der Versuch möglichst realistischer Szenarios führt zu einem stark exemplarischen Charakter, sodass die Überführbarkeit in die Praxis schwierig erscheint. In beiden Ausprägungen erscheinen die Ergebnisse der Experimente auf den ersten Blick entweder trivial oder die praktische Umsetzung ist mit einem imensen Aufwand möglich, wobei der Nutzen nicht einschätzbar ist (hier zeigen sich Parallelen zur Methodenanwendung!).

3 Vorgehensweise der Prinzipien für X

Die nachfolgende Beschreibung stellt ein Vorgehen zur Erarbeitung von Prinzipien dar, das die Methodenkompetenz eines Produktentwicklers unterstützt. Die Beschreibung orientiert sich an dem Münchener Methodenmodell (Lindemann 2004).

Um dem Individuum eine Unterstützung bei der Analyse anzubieten stehen Hilfsmittel – z. B. Checklisten, Prinzipien oder auch Programme – zur Verfügung.

- **Checklisten:** Sie dienen als Hilfsmittel, wobei nacheinander die aufgelisteten Aspekte zu einem definierten Anwendungsbereich durchgegangen werden, um festzustellen, ob sie von Relevanz sind oder nicht. Checklisten liegen z. B. vor für Projektmanagement in Form von Formularen (STETTER 2000, S. 209) oder auch für Produktentwicklung in Form von Konstruktionskatalogen (ROTH 2000a). Schwierigkeiten ergeben sich bei der Anwendung, da die Zusammenstellung der Inhalte von Checklisten als starre Zusammenstellung eingestuft wird. Bei der Verwendung ergreift das Individuum häufig nicht die Initiative die Gültigkeit der Checkliste auf sein Anwendungsgebiet hin zu prüfen, bzw. die Checkliste zu erweitern.
- **Prinzipien:** Die Prinzipien sind im Allgemeinen abstrakter als die Checklisten und stellen eine Richtlinie für die Situation dar. Eine Anwendung findet sich bei der TRIZ-Methode für die Erarbeitung einer Lösung oder Auflösung eines Widerspruchs (ALTSCHULLER 1984, HERB et al. 2000). Prinzipien stellen dem Anwender eine Liste zu beachtender Aspekte zur Verfügung, unterscheiden sich jedoch von den Checklisten dadurch, dass sie in ihrer Darstellung dem Individuum die Anpassung an die jeweilige Problemstellung abverlangen; dies erfordert grundlegende Kompetenzen in dem Anwendungsbereich.
- **Programme:** Hierzu zählen Programme, für die besondere Anwendungsbereiche vorgesehen sind (z. B. CAD, FEM), d. h., eine Adaption an eine Situation ist nicht möglich, da hierfür erforderliche Funktionen in dem Programm nicht enthalten sind.
Die Anwendung ist meist mit einem erhöhten Aufwand verbunden, sei es in den frühen Phasen der Produktentwicklung, in denen einfache überschlägige Berechnungen durchgeführt werden (z. B. mithilfe von Microsoft[®] Excel) oder in späteren Phasen (z. B. CATIA[®], Pro/ENGINEER[®]).

Zieht man Beurteilungskriterien heran, wie z. B. Steuerbarkeit, Erwartungskonformität, Fehlertoleranz, Individualisierbarkeit und Lernförderung (MERTENS 2001, S. 64), so erscheinen – im Vergleich zu einer programmierten Software oder der Checkliste – Prinzipien vor dem Hintergrund der individuellen Analyse als die vielversprechendste Unterstützung.

Um das Vorgehen erst einmal abstrakt vorzustellen, wird von einem zu untersuchenden Ansatz gesprochen. Dabei handelt es sich um einen Ansatz, der in einem Untersuchungsgegenstand zur Lösung eines Problems beiträgt (z. B. helfen Modelle bei der Analyse eines Problems).

3.1 Vorgehen für die Erstellung der Prinzipien für X

Prinzipien haben sich dem Produktentwickler bereits als nützliche Form der Unterstützung gezeigt. Neben der eingangs erwähnten DfX-Philosophie für die Fachkompetenz unterstützende Anwendung ist eine Unterstützung der Methodenkompetenz bereitzustellen. Im Folgenden soll daher ein Vorgehen zur Erzeugung von Prinzipien für die Methodenkompetenz vorgestellt werden, diese müssen ebenso wie bei DfX auf einen besonderen Anwendungsbereich hin spezifisch erarbeitet werden; man kann sich u. a. folgende Teilgebiete vorstellen:

- Prinzipien zur individuellen Modellbildung (vorliegende Arbeit)
- Prinzipien zur Lösungsfindung unter Zeitdruck (JOKELE 2006)
- Prinzipien zur Unterstützung einer strategischen Geschäftsfeldplanung
- Prinzipien zur Klärung von Anforderungen

Die Arbeit widmet sich der individuellen Modellbildung; andere Prinzipien sind in der Forschungslandschaft noch zu erarbeiten. Bei der Erarbeitung der Prinzipien hat sich nachstehendes Vorgehen ergeben:

1	Problemfeld definieren
2	Alternative Ansätze für Untersuchungsgegenstand sammeln
3	Definition von Charakteristika
4	Beurteilung der Ansätze anhand der Charakteristika
5	Ableiten von Prinzipien

Bild 3-1: Vorgehen zur Erarbeitung von Prinzipien für X in fünf Schritten

In den folgenden Kapiteln werden nun für den skizzierten Problembereich der individuellen Modellbildung die einzelnen Schritte ausgearbeitet. Die in Schritt 1 angesprochene Definition des Problemfeldes wurde bereits in Kapitel 1 und 2 vorgenommen. Die Aufführung der Ansätze (hier: Modelle für die Visualisierung einer Analyse) findet im Kapitel 4 statt; hier werden die Methoden nach den zuvor definierten Charakteristika beurteilt. In Kapitel 5 werden die Prinzipien auf Basis der Charakteristika und der Beurteilung erarbeitet.

	Vorgehen für die Erarbeitung von Prinzipien	Exemplarische Anwendung
1	Problemfeld definieren	Individuelle Problemmodelle (Kap. 1+2)
2	Alternative Ansätze für Untersuchungsgegenstand sammeln	TRIZ-Funktionsstruktur, UML, Anforderungsliste, SADT, ... (Kap. 4.1)
3	Definition von Charakteristika	Objekt: Darstellungsform Relation: Verknüpfungsklasse (Kap. 4.1)
4	Beurteilung der Ansätze anhand der Charakteristika	Übersicht über Anzahl der Charakteristika zur Beurteilung eines Modells Kap. 4.2
5	Ableiten von Prinzipien	Prinzip der Bedeutung (Kap. 5)

Bild 3-2: Übersicht der Prinzipienarbeit für die individuelle Modellbildung

1. Schritt: Problemfeld definieren

Der Handlungsbedarf für die Unterstützung einer Situation leitet sich aus einem speziellen Problemfeld ab. In der Regel wurden dafür bereits Lösungsansätze erarbeitet, die entweder direkt oder nach einer Modifizierung angewendet werden können. Aus diesem Grund ist es förderlich, das aufgespannte Problemfeld durch die Betrachtung verschiedener Lösungsansätze aus anderen Disziplinen zu ergänzen.

2. Schritt: Alternative Ansätze für Untersuchungsgegenstand sammeln

Recherchiert man, welche Forschungsergebnisse aus anderen Disziplinen für das zu untersuchende Problemfeld vorliegen, so hilft diese Einarbeitung, weitere Aspekte oder die Möglichkeit eines differenzierteren Vorgehens zu erkennen. Andere Disziplinen ziehen andere Vorgehensweisen heran oder stellen Hilfsmittel zur Verfügung, die das eigene Vorgehen gut ergänzen. Ein grundlegendes Verständnis der anderen Lösungsansätze ist für die spätere Charakterisierung dabei unerlässlich, sodass dieser Schritt zu den aufwendigsten gehört.

3. Schritt: Definition von Charakteristika

Durch die zahlreichen Ansätze, die sich für das Problemfeld ergeben, wird übergreifend in den Disziplinen eine andere Nomenklatur verwendet. Die Definition von Charakteristika hilft dabei, eine Nomenklatur aufzubauen, die über alle Ansätze hinweg angewendet wird; hierfür ist es besonders wichtig sich über die Bedeutung der Charakteristika im Klaren zu sein.

Ein Charakteristikum kann bei der späteren Beurteilung von Ansätzen eine/mehrere Ausprägungen annehmen (z. B. Bild 4-4).

Die Charakteristika haben bei der Erarbeitung der Prinzipien mehrere Aufgaben:

- Die Grundlage für eine einheitliche Beurteilung der Ansätze sicherzustellen.
- Für die Erarbeitung der Prinzipien die Grundlage bereitzustellen (durch Ergänzung/Reduktion von charakteristischen Eigenschaften).
- Das Verständnis für Ansätze und deren Gemeinsamkeiten und Unterschiede fördern; dies ist schwierig, da in verschiedenen Ansätzen eine gleiche Semantik mit einer unterschiedlichen Syntax oder eine unterschiedliche Semantik mit gleicher Syntax einem übergreifenden Verständnis entgegenwirkt.
- Hilfestellung bei der Suche nach dem für eine Situation im Anwendungsbereich benötigten Ansatz bieten.

4. Schritt: Beurteilung der Ansätze anhand der Charakteristika

Die Klarheit der Charakteristika zeigt sich bei der Beurteilung der Ansätze. Die subjektive Beurteilung spiegelt dabei das Verständnis eines Ansatzes wieder und nicht notwendigerweise den intendierten Einsatz in seinem Ursprung.

5. Schritt: Ableiten von Prinzipien

Durch Ergänzung und Reduktion von Prinzipien – abgeleitet von den charakteristischen Eigenschaften der Modelle – kann ein Modell verändert und somit an die Situation individuell angepasst werden.

3.2 Randbedingungen bei der Anwendung

Input/Output

Um den vorliegenden Vorschlag zur Erzeugung von Prinzipien durchführen zu können ist es erforderlich, die Ansätze, die einen Beitrag zur Problemlösung leisten, gegenüberzustellen. Diese Ansätze müssen so weit erarbeitet werden, dass ein hinreichender Kenntnisstand

sichergestellt werden kann. Dies macht die Erarbeitung folgender Informationen notwendig:

- Auflisten der einzelnen Bestandteile eines Ansatzes
- Exemplarische Anwendung eines Beispiels über alle Ansätze hinweg, sodass eine Vergleichbarkeit ähnlicher Darstellungen unterstützt wird.
- Entstehungszeit und ursprüngliche Motivation für den Ansatz sowie die Disziplin aus der dieser entstammt.
- Literaturliste

Als Ergebnis liegt eine zusammenfassende Darstellung der vorhandenen Ansätze vor. Weiter steht eine Grundlage für eine Gegenüberstellung der Ansätze zur Verfügung, bei der die Ähnlichkeit der Ansätze betrachtet wird (siehe Hilfsmittel).

Hilfsmittel

Durch die Beurteilung der bereits vorliegenden Ansätze wird eine Basis geschaffen, von der sich Ähnlichkeiten der vorhandenen Ansätze ableiten lassen. Durch ein bereitgestelltes Hilfsmittel wird die Ähnlichkeit von Ansätzen wie folgt betrachtet:

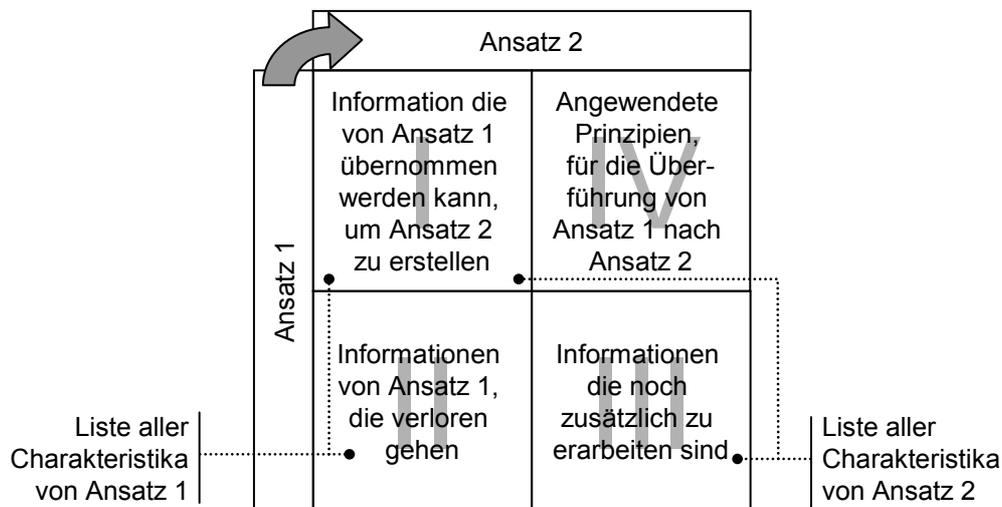


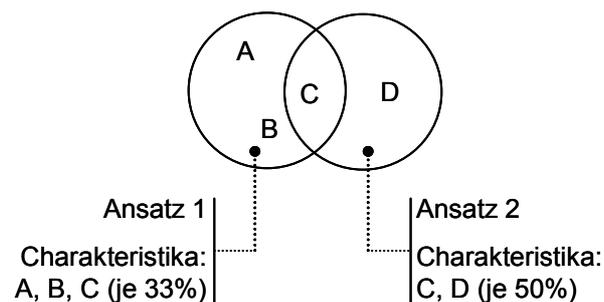
Bild 3-3: Ähnlichkeiten von Ansätzen in einem Problemfeld aufdecken

Bei dem in Bild 3-3 vorgestellten Vergleich wird die Frage gestellt, welche Charakteristika bei einer Überführung von einem Ansatz 1 in den Ansatz 2 übernommen werden können (Feld I), d. h., welche Informationen der beiden Ansätze identisch sind. Um den Unterschied zwischen beiden Ansätzen deutlicher hervorzuheben, werden zum einen Informationen über die Charakteristika die „verloren“ gehen hinterlegt (Feld II); zum anderen werden die noch zusätzlich zu erarbeitenden Charakteristika abgebildet (Feld III). Für die Ü-

berführung von Ansatz 1 nach Ansatz 2 (Feld IV) wird Damit eine Unterstützung zur Erarbeitung der Prinzipien bereitgestellt.

Vergleicht man Methoden, so können die Unterschiede und der Aufwand bei einer Überführung von einem Modell einer Methode in ein anderes betrachtet werden. Bei dem Vergleich der Methoden wurden drei Unterscheidungen durchgeführt, gemäß den Feldern I, II, III in Bild 3-3 bzw. Bild 4-7:

- Feld I: Welche Informationen können bei der Übertragung von einem Modell in ein anderes dargestellt (bzw. wiederverwendet) werden?
- Feld II: Welche Informationen können bei der Übertragung von einem Modell in ein anderes nicht mehr dargestellt werden (gehen also verloren)?
- Feld III: Welche Informationen sind bei der Übertragung von einem Modell in ein anderes zu erarbeiten, damit das Zielmodell dargestellt werden kann?
- Feld IV: Welche Prinzipien sind anzuwenden und zu beachten, sobald eine Transformation von einem Modell in ein anderes stattfindet?



Überführung von Ansatz 1 nach Ansatz 2

- Feld I:
Informationen wieder verwendbar: 33% (C)
- Feld II:
Informationen gehen verloren: 66% (A, B)
- Feld III:
Informationen zu erarbeiten: 50% (D)

Überführung von Ansatz 2 nach Ansatz 1

- Feld I:
Informationen wieder verwendbar: 50% (C)
- Feld II:
Informationen gehen verloren: 50% (D)
- Feld III:
Informationen zu erarbeiten: 66% (A, B)

Bild 3-4: Beschreibung der Unterschiede bezüglich Informationen, die wieder verwendet werden, zu erarbeiten sind oder nicht mehr abgebildet werden können.

Die drei Fragestellungen für den Vergleich der Ansätze sind in Bild 3-4 beschrieben. Das Beispiel geht von einem Ansatz 1 mit drei Charakteristika und einem Ansatz 2 mit zwei Charakteristika aus. Wird der Ansatz 1 in den Ansatz 2 überführt, so ergeben sich die Eigenschaften der Informationen (bezüglich der drei Fragestellungen), wie dies oben abgebildet ist. Es wird deutlich, dass die Richtung der Überführung einen wichtigen Einfluss hat.

Aufgrund der „scheinbaren“ Ähnlichkeit¹ von Ansätzen kann eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt werden; diese kann zu einer neuen Beurteilung eines Ansatzes führen oder die Definition weiterer Charakteristika nach sich ziehen und so neue Unterscheidungen zwischen den Ansätzen aufzeigen.

¹ Hohe Übereinstimmung der charakteristischen Beurteilung

4 Beurteilung von Methoden

Methoden, die im Rahmen der Produktentwicklung zum Einsatz kommen, werden anhand von Charakteristika beurteilt; diese unterteilen sich in Objekte und Relationen. Anschließend findet eine Überprüfung der Ähnlichkeit der Methoden statt, die für eine spätere Transformation zwischen den Modellen wieder aufgegriffen wird. Abschließend werden Anwendungsmöglichkeiten der Charakteristika vorgestellt.

Durch die Betrachtung von Methoden (Bild 4-1) ist man in der Lage deren Charakteristika zu identifizieren, um so die Frage: Warum sind Methoden unterschiedlich? beantworten zu können. Dies ist relevant, da durch die Anwendung eines anderen Modells andere Inhalte oder Inhalte anders abgebildet werden; darüber hinaus ist ein Wechsel einer Methode prinzipiell möglich, da ein in einem Modell abgebildetes Problem in einem anderen Modell dargestellt werden kann. Auf diese Weise kann der stereotypen Anwendung einer bestimmten Methode entgegengewirkt werden, da ein Modell gefunden werden kann, das das Problem nur ähnlich nicht jedoch gleich abbildet und sich damit die Gefahr einer Routine-tätigkeit einstellt (POPPER 2002, S. 16).

4.1 Charakteristika für die Methodenbeurteilung/-bewertung

4.1.1 Methoden für die Erarbeitung der Charakteristika

In dem Problemfeld der individuellen Modelle werden eine Reihe von Standardmodellen zur Visualisierung eines Problems herangezogen. In der vorliegenden Arbeit wurde, um Charakteristika abzuleiten, eine Auswahl an Funktions-, Bauteil- und Prozessmodellen betrachtet. Bei der Untersuchung wurden nicht gezielt Methoden ausgelassen, sodass die Analyse der Methoden noch erweiterbar ist. Mit steigender Anzahl würde die Sicherheit, möglichst viele Charakteristika zu identifizieren, zunehmen und somit auch die in Kapitel 5 abgeleiteten Prinzipien. Weitere Methoden, die bei der Arbeit berücksichtigt werden können, sind z. B. Signposting (CLARKSON & HAMILTON 2000) oder das fallbasierte Schließen (KOLODNER 1997).

<ul style="list-style-type: none"> • Ablaufkarten • Anforderungsliste • Aris • ARIZ • Datenflussdiagramme • Design Structure Matrix • Effektstruktur • Entity-Relationship-Modell • Ereignisgesteuerte Prozesskette • FAST-Modell 	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionsablaufdiagramm • Funktionshierarchiediagramm • Funktionsstruktur, allgemeine • Funktionszuordnungsdiagramm • Jackson-Diagramm • Kontextdiagramm • Morphologischer Kasten • Petri-Netz • Prozessbaustein • SADT / IDEF0 • Strukturgraph 	<ul style="list-style-type: none"> • TRIZ-Funktionsstruktur • TRIZ-Stoff-Feld-Modell • UML - Aktivitätsdiagramm • UML - Anwendungsfalldiagramm • UML - Klassendiagramm • UML - Message Sequence Charts • UML - Sequenzdiagramm • UML - State Charts • Vorgangskettendiagramm • Warnier-Orr-Diagramm
---	---	---

Bild 4-1: Übersicht über die verwendeten Methoden für die Identifizierung von Charakteristik

Die aufgeführten Charakteristika spiegeln den Umfang wieder, den der Verfasser aus seiner Perspektive identifiziert hat. Bild 4-2 führt die Abhängigkeit der Anzahl der identifizierten Charakteristika von der Anzahl der beurteilten Methoden auf. Nach einer ersten Beurteilung von 23 Methoden wurden weitere 8 beurteilt um die Charakteristika zu erweitern. Da weitere Beurteilungen nur unwesentlich mehr Charakteristika hervorgebracht haben, wurde auf eine erneute Erweiterung des Kreises der analysierten Methoden verzichtet.

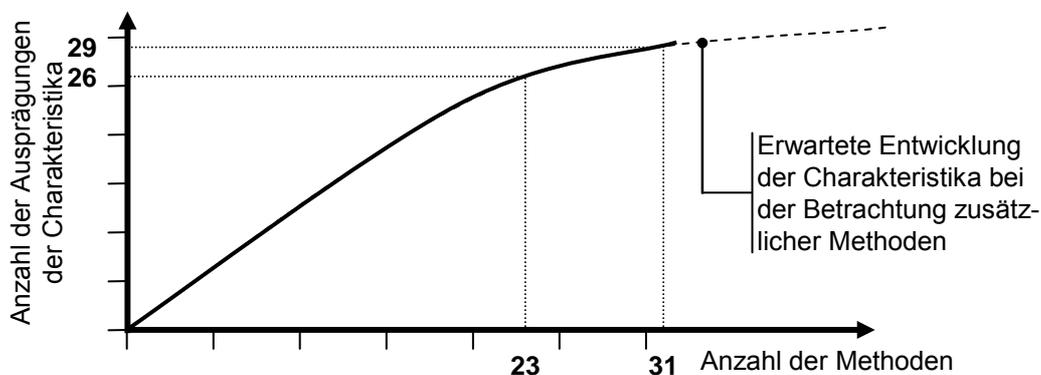


Bild 4-2: Beobachtung der Abhängigkeit von Methoden und identifizierten Charakteristika

Mithilfe der Charakteristika wird eine Methode gefunden, die das Problem nach individuellen Ansprüchen abbilden kann. Auf diese Weise wird erreicht, dass ein Problem die Darstellung festlegt und nicht durch die Methode bestimmt wird, wie das Problem zu betrachten ist. Die Charakteristika für die Betrachtung sind abhängig von dem Untersuchungsgegenstand (im Sinne von Kapitel 3); so sind z. B. für die Bewertung einer Individualisierung von Produkten u. a. folgende Kriterien von Bedeutung (LINDEMANN & PONN 2004): Funktionalität, Anpassbarkeit, Preissegment.

Mit dem Zweck, eine geeignete Methode zu finden wurden bereits Modelle für eine Geschäftsfeldmodellierung verglichen (DREBING 1991). Hier wurden allerdings sehr spezifische Kriterien herangezogen, sodass eine allgemeine Nutzung dieser Arbeit nur eingeschränkt möglich ist. Darüber hinaus ist dabei eine Überführung von einem Modell in ein anderes oder eine Kombination von mehreren Modellen nicht diskutiert worden. Eine weitere Methodenklassifikation sieht die Charakteristika wie z. B. Anwendungsgebiet oder Genauigkeit vor, damit eine Auswahl von Methoden stattfinden kann (GAUSEMEIER et. al 2000, S. 33ff).

4.1.2 Auflistung der Charakteristika

Die Unterscheidung von Objekt und Relation sollte nicht nur in der Weise interpretiert werden, wie das beispielhaft durch das Bild 4-3 veranschaulicht wird. Ein Objekt sollte vielmehr als eine Eigenschaft gesehen werden, die über Relationen mit anderen Eigenschaften in Verbindung steht. Die Charakteristika für die Beurteilung der Methoden werden im Folgenden näher beschrieben; dabei kann jedes Charakteristikum eine oder mehrere Ausprägungen gleichzeitig annehmen.

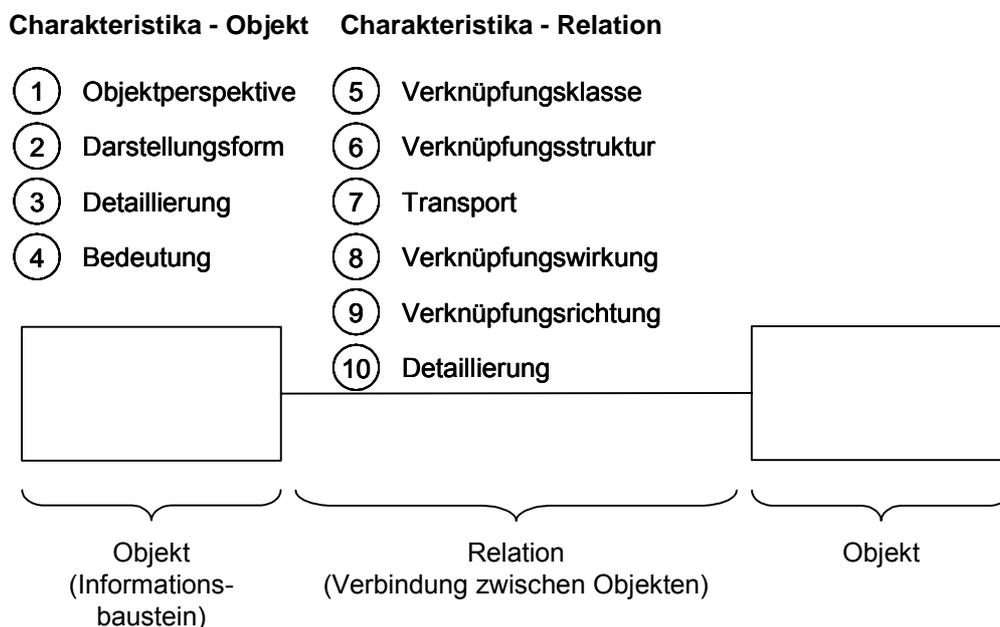


Bild 4-3: Unterscheidung von Objekt und Relation am Beispiel einer prozessualen Verknüpfungsstruktur sowie Überblick über deren Charakteristika

4.1.3 Objekte und Relationen

Die Objekte des zu modellierenden oder des bereits modellierten Systems charakterisieren – gemeinsam mit den Relationen – das Problem. Objekte können durch Charakteristika und deren Ausprägungen konkretisiert werden und ergeben erst durch die Kombination mit den Relationen ein semantisches Abbild des Problems. Die Objektbeschreibung ist abhängig von der Problemstellung und sollte im vorliegenden Fall weiter gefasst werden als in der objektorientierten Darstellung, bei der Objekte u. a. in Klassen zusammengefasst werden.

Bei den direkten Abhängigkeiten zwischen Objekten werden Relationen definiert – indirekte Verknüpfungen sind nicht Bestandteil der zu definierenden Relationen. Relationen können als ein grafisches Element im Sinne einer Linie oder eines Pfeils visualisiert oder auch in einer Tabelle gespeichert werden.

Charakteristika	Beschreibung	Ausprägung
<p>① Objektperspektive</p>	<p>Modelle unterscheiden sich u. a. durch den Inhalt den sie abbilden (können). Dabei ist der Inhalt das wichtigste Charakteristikum für die Auswahl eines Modells. Häufig können Modelle mehrere Objektperspektiven gleichzeitig abbilden.</p>	<p>a, Bei einem Prozess handelt es sich um einen Ablauf, bei dem häufig Tätigkeiten in eine aufeinander aufbauende Reihenfolge gebracht werden. b, Durch die Abbildung eines Produkts werden gegenständliche Elemente berücksichtigt. c, Eine Funktion beschreibt lösungsneutral die Veränderung/Erzeugung eines Objekts. Der Zusammenhang von Funktionen beschreibt den Zweck eines (Teil-) Prozesses oder (Teil-) Produkts, bei dem ein Eingangszustand in einen Ausgangszustand überführt wird oder als gegenseitige Voraussetzung zu verstehen ist. d, Die Rollen berücksichtigen die Interaktion zwischen aktiv beteiligten Individuen bzw. Verantwortlichen eines Dokuments. Rollen können jedoch auch von Produkten/Prozessen eingenommen werden. e, Über einen Zustand kann die zeitliche Veränderung eines Prozesses oder Produkts berücksichtigt werden. Der Zustand wird durch Merkmale sowie deren situationsspezifische Ausprägungen beschrieben. f, Die Dokumente beschreiben wo Informationen abgelegt werden oder wiederzufinden sind.</p>
<p>② Darstellungsform</p>	<p>Es gibt unterschiedliche Formen um Objekte hervorzuheben.</p>	<p>a, Unter einer grafischen Anordnung werden Modelle verstanden, die durch ihre Form (z. B. Kreis, Trapez) die Objektperspektive besonders hervorheben; ausgeschlossen sind triviale grafische Darstellungen (z. B. ausschließliche Verwendung von Kreisen oder Rechtecken) b, Bei der textuellen Darstellungsform wird die Objektperspektive überwiegend durch einen (Fließ-) Text ausgedrückt.</p>
<p>③ Detaillierung</p>	<p>Um die Objekte näher zu beschreiben gibt es die Möglichkeit weitere Informationen zu detaillieren.</p>	<p>a, Die qualitative Beschreibung kann zusätzlich zu der Objektperspektive Informationen in Form eines Texts oder einer Skizze liefern (z. B. Objektperspektive Produkt kann detailliert werden durch Nennung des Fertigungsverfahrens). b, Die quantitative Detaillierung kann gemäß der unterschiedlichen Skalentypen (z. B. Nominalskala) beschrieben werden. Dadurch ist ein relativer oder absoluter Vergleich möglich (z. B. Objektperspektive Produkt kann detailliert werden durch Nennung von Gewicht/Kosten).</p>
<p>④ Bedeutung</p>	<p>In der Analyse können die Objekte eine unterschiedliche Bedeutung aufweisen. So wird bei der Analyse ein Schwerpunkt gesetzt ohne andere Inhalte vollständig zu vernachlässigen.</p>	<p>a, Durch eine Unterscheidung der positiven/negativen Bedeutung kann das Problem eindeutig abgegrenzt werden. Unter einer positiven Bedeutung wird eine nützliche Eigenschaft der Objekte hervorgehoben (vice versa bei negativer Bedeutung). b, Bei der gewichteten Bedeutung können Inhalte gleicher Bedeutung zusammengefasst werden. Die Differenzierung findet durch eine quantitative oder qualitative Bedeutung statt.</p>

Bild 4-4: Beschreibung der Charakteristika von Objekten und deren Ausprägungen

Charakteristika	Beschreibung	Ausprägung
5 Verknüpfungsklasse	Die Objekte können auf unterschiedliche Arten miteinander in Beziehung gesetzt werden, sodass die Wahl der Verknüpfungsklasse die Darstellung des Problems definiert.	a, Wird eine Verknüpfung der Objekte angestrebt, so wird damit ein kausaler Zusammenhang zwischen zwei Objekten dokumentiert. Wird diese Verknüpfungsklasse gewählt, so ist es zu empfehlen die nachfolgenden Charakteristika 6 - 9 gleichermaßen zu spezifizieren. b, Durch eine Klassifizierung wird eine Gemeinsamkeit von Objekten abgebildet. Sind mehrere Objekte zu klassifizieren, so lassen sich Gemeinsamkeiten wie in Bild 4-9 dokumentieren.
6 Verknüpfungsstruktur	Abhängig von dem Problem können die Objekte unterschiedlich angeordnet werden.	a, Die Darstellung durch eine vernetz Struktur erlaubt die Relationen zwischen Objekten gleichen Detaillierungsgrades anzuordnen. b, Die hierarchische Struktur erlaubt eine Betrachtung in über- und untergeordneten Detaillierungsebenen zu berücksichtigen. Dabei kann sich eine Änderung auf abstrakter Ebene (z. B. durch eine Vererbung) auf die darunter liegenden Detaillierungsebenen auswirken. c, Bei der prozessualen Abbildung wird eine räumlich und/oder zeitliche Veränderung des transportierten Inhalts an einen bestimmten Ort zu einer definierten Zeit beschrieben. Dabei wird ein zweckorientierter Algorithmus angewendet, der eine Veränderung an der Ausgangssituation vornimmt.
7 Transport	Durch die Definition der Verknüpfungsstruktur kann beschrieben werden, was über die Verknüpfung transportiert wird.	a, Durch die Information (z. B. Signale, Daten) wird ein Austausch ermöglicht, der die Dokumentation von u. a. Bedingungen ermöglicht. b, Die Energie kann unterschieden werden in u. a. mechanische, elektrische oder thermische Energie. c, Unter Stoff wird der materielle Transport von einem Objekt zu einem anderen verstanden. Dazu gehören auch die Informationen über das Material im Sinne von Farbe, Gewicht, etc.
8 Verknüpfungswirkung	Bei der Relation von Objekten muss eine Änderung bei einem Objekt nicht zwangsläufig eine unmittelbare Änderung in einem anderen Objekt nach sich ziehen.	a, Durch die Änderung eines Objekts kann eine Änderung des verknüpften Objekts zeitlich verzögert auftreten (z. B. bei chemischen Reaktionen). Dadurch wird eine Trägheit des Modells abgebildet bzw. berücksichtigt. b, Relationen können u. U. nur unter bestimmten Randbedingungen eine Gültigkeit aufweisen (z. B. müssen bestimmte Eingangsinformationen vorliegen, damit eine Verknüpfung vorhanden sein kann). c, Eine logische Verknüpfung wird erfasst, wenn eine Ursache-Wirkungskette dokumentiert wird. d, Eine Änderung an einem Objekt kann neben dem häufig linearen Zusammenhang zwischen Objekten auch eine andere Entwicklung bei dem verknüpften Objekt auslösen (z. B. exponentielle oder logarithmische Entwicklung zwischen Objekten).

Charakteristika	Beschreibung	Ausprägung
<p>⑨ Verknüpfungsrichtung</p>	<p>Bei der Verknüpfung zwischen Objekten ist die Abhängigkeitsrichtung zu identifizieren.</p>	<p>a, Eine unidirektionale Relation weist nur eine Richtung auf. Eine Beeinflussung in die entgegengesetzte Richtung ist nicht möglich b, Bei der bidirektionalen Relation liegt eine wechselseitige Abhängigkeit zwischen den Objekten vor. c, Kann keine Aussage gemacht werden wird eine ungerichtete Relation vorausgesetzt, die keine Richtung berücksichtigt.</p>
<p>⑩ Detaillierung</p>	<p>Um Relationen näher beschreiben zu können, werden sie durch weitere Informationen detailliert.</p>	<p>a, Die qualitative Beschreibung kann zusätzlich zu der Relation Informationen in Form von Texten oder Bildern liefern. b, Die quantitative Detaillierung kann gemäß der unterschiedlichen Skalentypen beschrieben werden. Dadurch ist ein relativer oder absoluter Vergleich möglich (z. B. kann eine Relation durch einen Formelzusammenhang die Einflussgrößen auf ein Objekt beschreiben).</p>

Bild 4-5: Beschreibung der Charakteristika von Relationen und deren Ausprägungen

4.2 Ähnlichkeit und Unterschiede von Methoden

4.2.1 Allgemeine Einleitung

Unter Zuhilfenahme der Charakteristika werden die Methoden beurteilt, dabei ist die individuelle Sicht und Fähigkeit mit ihnen umzugehen automatisch berücksichtigt. Es entsteht somit eine ganz individuelle Sichtweise der Methoden, die sicherstellt, dass diese so beurteilt werden, wie sie von dem Individuum in der Vergangenheit verstanden und aus der Literatur interpretiert worden sind. Damit trägt der Vorgang der Beurteilung dem subjektiven Verhalten Rechnung und ermöglicht somit nicht zwangsläufig die Übernahme einer individuellen Beurteilung von Methoden durch andere Individuen.

Von psychologischer Seite aus wurde der Erklärungsansatz von Ohlsson (Theorie des Problemlösens durch Einsicht) intensiv diskutiert (KNOBLICH 1997). In diesem Erklärungsansatz kommt dem Modellwechsel eine wichtige Bedeutung zu, um bei Schwierigkeiten in der Problemlösung voranzukommen. Für den Modellwechsel wird die Ähnlichkeit anhand von Übereinstimmung von Charakteristika zwischen Methoden als ein Kriterium herangezogen.

Es soll versucht werden, die vorhandenen Schemata, in die ein Individuum bei der Problemlösung verfällt (WAGENSCHN 1999, S. 45), aufzulösen oder zumindest eine Hilfestellung dafür zu geben, neue Modelle zu generieren, die durch eine erweiterte Problembeachtung eine neue Sichtweise zur Lösungsfindung eröffnen. Eine hohe Ähnlichkeit auf Basis der Beurteilung durch die Charakteristika liegt vor, sobald eine hohe Übereinstimmung der Charakteristika festzustellen ist. Die Ähnlichkeit der Modelle von Methoden wird im Folgenden auf zwei Arten vorgestellt: eine Anwendungsähnlichkeit und eine mathematische Ähnlichkeit.

Anwendungsähnlichkeit

Das Individuum sollte sich bei der Betrachtung der Ähnlichkeit drei Sichten auf ein System zunutze machen:

- Syntaktisch: Modelle die eine syntaktische Ähnlichkeit haben, vermitteln die gleichen Informationen durch einen anderen grafischen Aufbau; es ist möglich andere Relationen zu bilden. Beispiel ist die Überführung in eine andere Darstellung, wie es bei der Lösung des Vier-Farben-Problems durchgeführt worden ist (BASIEUX 2002, S. 247; CLARK & HOLTON 1994, S. 241).
- Semantisch: Ist das Problem nicht einsichtig, hilft der Wechsel in eine andere Sprachwahl, bei der die bestehenden Relationen beibehalten werden. Dies kann ge-

schehen, indem ein Problem einmal mit und einmal ohne Fachausdrücke beschrieben wird.

- Dynamisch: Eine dynamische Ähnlichkeit liegt vor, wenn unterschiedliche Modelle (semantisch oder syntaktisch) auf Veränderungen die gleichen Reaktionen zeigen.

Diese Ähnlichkeiten können summarisch und subtraktiv angewendet werden, z. B. können syntaktische Ähnlichkeiten von Problemmodellen addiert oder subtrahiert werden, indem die Verknüpfung von zwei unterschiedlichen Abteilungen in einer Organisation zusammengetragen wird. Im Fall der Subtraktion erhält man z. B. die Schnittstellen, da die Verknüpfung zwischen Bauteilen als gleich verstanden wird, im Fall der Addition erhält man ein systemisches Verständnis von beiden Abteilungen. Weiter besteht z. B. ein Anwendungsfall in Kohonen-Netzwerken, in denen die grafische Ähnlichkeit durch die Subtraktion von Buchstaben ein Maß für die Ähnlichkeit liefert (SPITZER 2000, S. 114).

Mathematische Ähnlichkeit

Bei der Überführung von einem Ausschnitt der Realität in ein Modell oder von einem Modell in ein anderes, können aus der Mengenlehre folgende Unterscheidungen abgeleitet werden (in Anlehnung an POTTER 1990, S. 43, siehe auch Anhang):

- Surjektiv (auch Epimorphismus): Jedes Element a einer Menge A kann durch ein Element b einer Menge B beschrieben werden. Bei der Überführung kann ein Element b mehrere Elemente a ausdrücken ($\forall a_i \in A \exists b_j \in B f(a) = b$).
- Injektiv (auch Monomorphismus): Jedes Element a einer Menge A kann durch ein Element b einer Menge B ausgedrückt werden. Während der Transformation wird kein Element b mehrmals verwendet. Es kann auch Elemente b geben, die nicht verwendet werden, um die Elemente a zu beschreiben ($\forall a_i \in A, \forall b_j \in B f(a) = f(b) \Leftrightarrow a = b \quad a \neq b \Leftrightarrow f(a) \neq f(b)$).
- Bijektiv (auch Isomorphismus): Liegen injektive und surjektive Eigenschaften gleichzeitig vor, so spricht man von einer bijektiven Abbildung, d. h., jedes Element a wird genau einem Element b zugeordnet. Die Überführung berücksichtigt, dass jedes verwendete Element b nur einmal für eine Beschreibung von a herangezogen werden kann ($\forall a_i \in A !\exists b_j \in B f(b) = a$).

Die Unterscheidungen sind hilfreich, um die Qualität einer Überführung beurteilen zu können. Z. B. ist bei einer bijektiven Funktion ein einfaches Zurückspringen in das vorherige Modell möglich, bei einer surjektiven oder injektiven Funktion ist das nicht ohne weiteres der Fall. Diese unterschiedlichen Überführungen können helfen, den nachfolgenden Kreislauf einer Modifikation zu betrachten (Bild 4-6); dabei ist es von besonderem Interesse, welche Schwierigkeiten auftreten.

4.2.2 Überführung und Vergleich von Modellen

Zielmodell ist ein standardisiertes Modell	<ul style="list-style-type: none"> • Informationen gehen verloren • Modell bildet allgemeine Situation ab • Keine Regel für die Transformation vorhanden • Austauschbarkeit und Verfügbarkeit der Informationen wird erhöht • Teilautomatische Transformation 	<ul style="list-style-type: none"> • Informationen gehen verloren • Informationen bleiben für eine allgemeine Situation erhalten • Regeln für eine Transformation vorhanden • Austauschbarkeit und Verfügbarkeit bleibt auf gleich hohem Niveau • Automatische Transformation
	... individuelles Modell	<ul style="list-style-type: none"> • Vorhandene und zusätzliche Informationen können abgebildet werden • Situationsspezifische Darstellung • Keine Regel für die Transformation vorhanden • Austauschbarkeit und Verfügbarkeit bleibt auf schlechtem Niveau • Transformation muss manuell durchgeführt werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Vorhandene und zusätzliche Informationen können abgebildet werden • Situationsspezifische Darstellung • Keine Regel für die Transformation vorhanden • Austauschbarkeit und Verfügbarkeit verschlechtert sich • Teilautomatische Transformation
		Ausgangsmodell ist ein ...	
		... individuelles Modell	... standardisiertes Modell

Bild 4-6: Zusammenhänge von unterschiedlichen Modifikationen

Eine Überführung von einem Modell in ein anderes kann in dem vorliegenden Kontext auf unterschiedliche Arten stattfinden. Das Ausgangsmodell kann entweder ein Standardmodell oder ein Individualmodell sein; ebenso kann das Zielmodell unterschieden werden. Für die folgende Untersuchung kann lediglich der Anspruch erhoben werden, die Überführung und den Vergleich von Standardmodellen zu betrachten. Eine Betrachtung der anderen drei Quadranten ist erst möglich, sobald eine Beurteilung nach den vorgestellten Charakteristika stattgefunden hat.

Um einen Vergleich von Modellen durchzuführen, muss eine Beurteilung vorausgegangen sein. Darüber hinaus ist eine Zweckorientierung zu definieren, da ansonsten eine ungerichtete Ähnlichkeit gesucht wird (in Anlehnung an HIENTZ 1995).

Ein Vergleich von Modellen setzt eine gleiche Datenbasis voraus. Im Folgenden handelt es sich um einen qualitativen Vergleich von Modellen, hierzu werden die Beurteilungen der Charakteristika miteinander verglichen.

Wie bereits in Bild 3-2 und Bild 3-3 beschrieben, wurden Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Modellen identifiziert. Exemplarisch ergibt sich bei der Gegenüberstellung einer Anforderungsliste und einer Matrix folgende Darstellung:

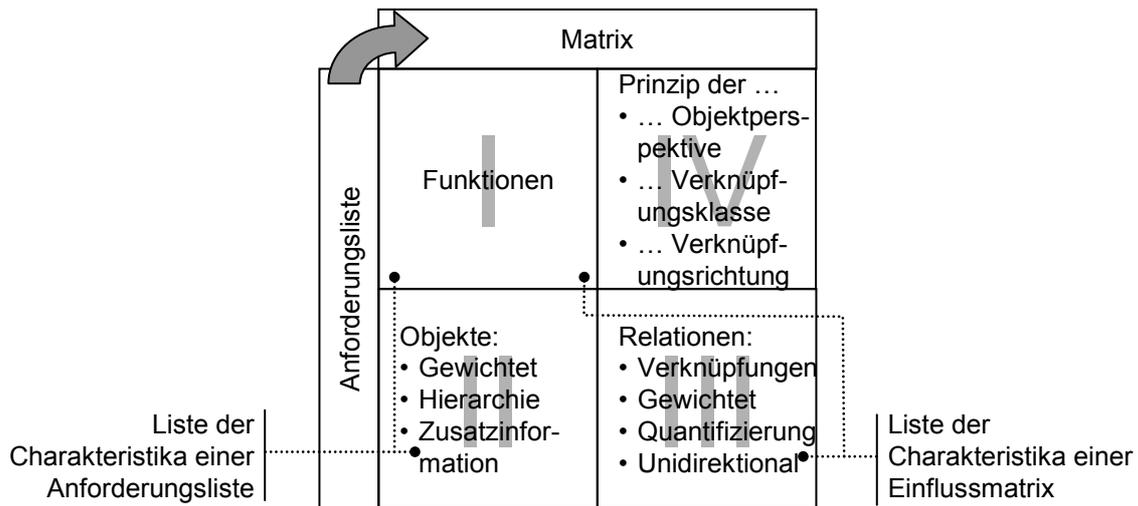


Bild 4-7: Ähnlichkeit einer Anforderungsliste und einer Matrix

Durch eine Gegenüberstellung von 31 Methoden ergibt sich eine Untersuchung von 930 Ähnlichkeiten im Sinne von Bild 4-7. Diese Ähnlichkeiten wurden genutzt, um Prinzipien herauszuarbeiten, da sich die Erarbeitung von neuen Informationen oder der Wegfall von Informationen als eine sinnvolle Möglichkeit zur Individualisierung eines Modells anbietet. Im Anhang 9.3 befindet sich eine Übersicht über die drei Unterscheidungen; dabei wird eine Ähnlichkeit der Modelle in vier Stufen unterschieden. Darüber hinaus wird im Anhang 9.3.4 eine Übersicht über die Zuordnung der Prinzipien in Kapitel 5 vorgestellt, die erforderlich sind, um ein Modell A in ein Modell B zu transformieren.

Betrachtet man die Häufigkeit der eingesetzten Charakteristika (siehe Bild 4-8) so wird deutlich, dass es übergreifende gibt und solche, die weniger häufig verwendet werden. Dadurch wird auch noch einmal die Aussage aus Bild 4-2 unterstrichen, dass es sehr allgemeine Charakteristika von Methoden gibt, die eine hohe Verbreitung haben und somit nicht zu zusätzlichen Charakteristika führen. Durch die Verwendung von übergreifenden Charakteristika (z. B. Verknüpfungsklasse (Verknüpfungen) oder Objektperspektive (Prozess)) lässt sich feststellen, mithilfe welcher Charakteristika die meisten Probleme betrachtet werden.

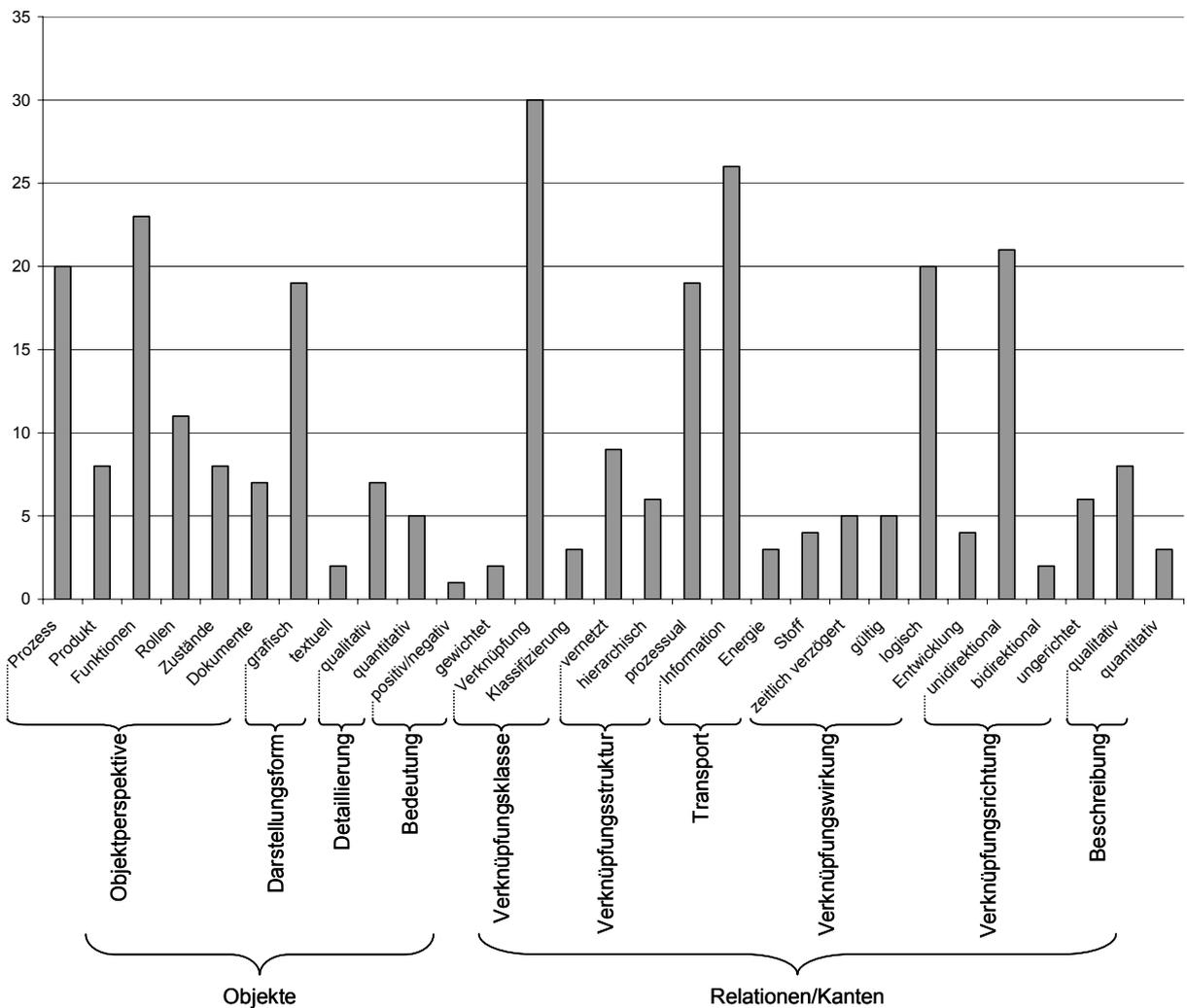


Bild 4-8: Überblick über Anzahl der Charakteristika, die in Methoden verwendet worden sind

Ein Überblick der Methoden bestätigt die oben festgehaltene Vermutung, dass die Methoden sich durch Objekte (hell) und Relationen (dunkel) gleichermaßen beschreiben lassen (siehe Bild 4-9). Weiter lässt sich keine pauschale Aussage ableiten, in dem Sinne, dass sich z. B. Funktionsmodelle durch mehr Charakteristika beschreiben lassen als z. B. Prozessmodelle.

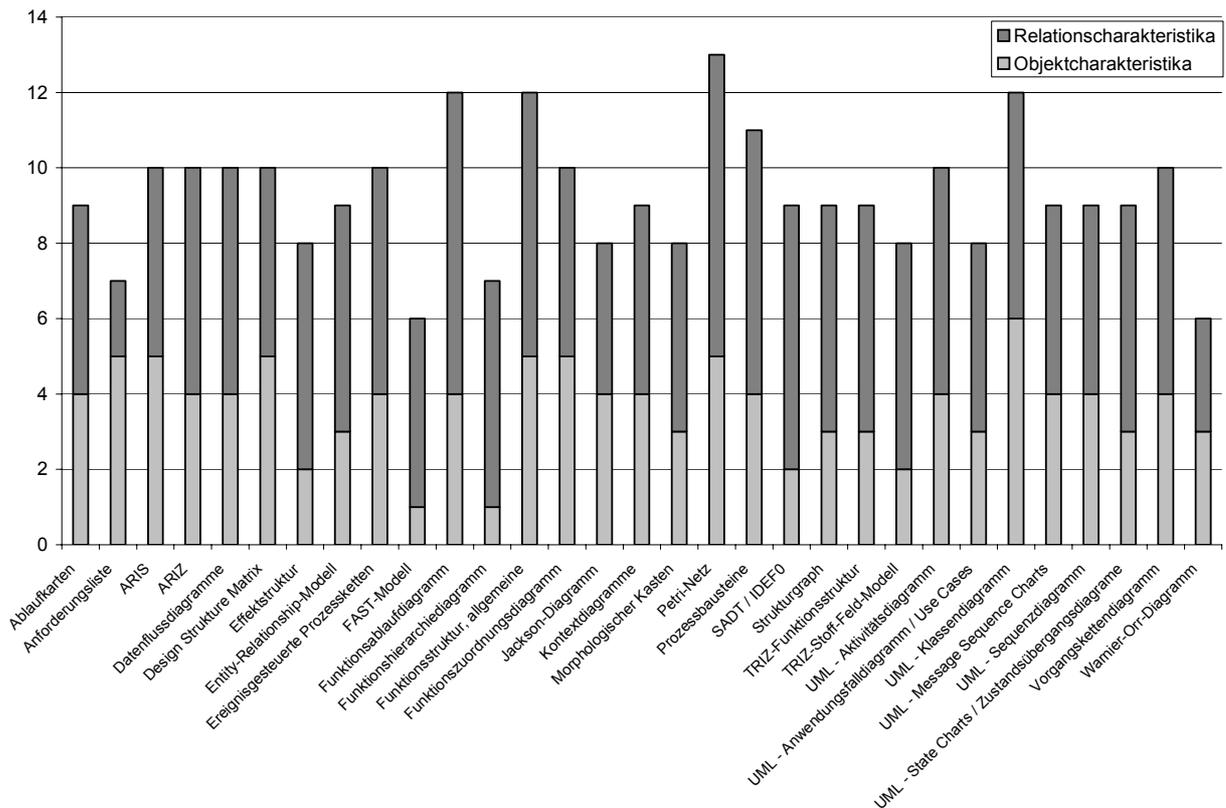


Bild 4-9: Überblick über Anzahl der Charakteristika für die Beurteilung der Methoden

4.3 Modifikation von Methodencharakteristika

Eine Modifikation einer Methode kann durch Ergänzung oder Reduktion von Charakteristika (im Sinne von Kapitel 4.1) oder schlicht durch eine Umgestaltung geschehen. Die Modifikation an einer Methode kann nach folgenden Gesichtspunkten unterschieden werden:

- **Erweiterung/Vereinfachung:** Bei einer Erweiterung können die vorhandenen Bestandteile der Methode herangezogen werden, um eine „Verfeinerung“ des Modells durchzuführen. Hierzu sind keine Kenntnisse über andere Modelle erforderlich. Eine Vereinfachung kann durch die Reduktion von Charakteristika erreicht werden.

Beispiel: Das Funktionsmodell von TRIZ unterscheidet zwischen nützlichen und schädlichen Funktionen. Eine Erweiterung könnte eine Definition von Funktionen darstellen, bei der neutrale Funktionen oder sehr nützliche/schädliche Funktionen unterschieden werden.

- **Ergänzung:** Hat sich das Individuum für eine Methode entschieden und betrachtet zusätzlich andere Methoden, so kann eine Ergänzung durch das Hinzufügen von Charakteristika vorgenommen werden.

Beispiel: Eine Matrix wird in ihrer ursprünglichen Anwendung auf einem Detaillierungsgrad angewendet. Eine Ergänzung liegt vor, wenn die Hierarchieebenen betrachtet werden, bei denen sich die Verknüpfungen auf Basis der darunter liegenden Hierarchieebenen ergeben.

- Kombination: Durch die gleichzeitige Anwendung von zwei oder mehreren Methoden ergibt sich eine Kombination von Modellen.

Beispiel: Ein Morphologischer Kasten wird angewendet, um unterschiedliche Konzepte zu erstellen. Werden Konzepte nicht nur auf Basis der physikalischen Kompatibilität erarbeitet, sondern zusätzlich durch eine Bewertung von Teilfunktionen (z. B. Machbarkeit innerhalb eines definierten Zeitraumes), so wird eine Kombination von zwei Modellen durchgeführt.

- Transformation: Wenn ein Problem in einem Modell nicht bearbeitet werden kann, so ist das Problem in ein anderes Modell zu überführen. Unter Umständen ist eine Transformation in das ursprüngliche Modell erforderlich.

Beispiel: Binäres Zahlenformat aus Kapitel 1 oder auch der Abstraktionswechsel, bei dem die Informationen der Funktionen auf die Bauteile übertragen werden müssen.

- Umgestaltung: Bei der Umgestaltung werden die gleichen Informationen anders angeordnet. Dadurch wird die Wahrnehmung beeinflusst, sodass neue Aspekte in den Mittelpunkt treten¹.

Beispiel: Umkehrung einer hierarchischen Struktur fördert entweder ein synthetisches oder analytisches Verständnis.

Auch wenn die Unterschiede nicht scharf von einander getrennt werden können, kann doch eine Aufwandsabschätzung bei der Modifikation eines Modells durchgeführt werden; z. B. stellt die Erweiterung eine deutlich einfachere Modifikation als eine Transformation dar, da bei einer Erweiterung die Informationen nicht völlig neu zueinander in Verbindung gesetzt werden müssen. Gleichzeitig kann eine differenzierte Betrachtung des Problems mit einer Erweiterung nicht so intensiv durchgeführt werden wie mit einer Transformation. Gerade um die Transformation der Informationen in den Modellen durchzuführen, geben die Grafiken im Anhang einen Eindruck, von welchem Modell in welches eine Transformation mit geringem oder hohem Aufwand möglich ist.

¹ Vertauscht man die oben stehenden Objekte in einer hierarchischen Struktur mit den unten stehenden hat dies einen größeren Einfluss auf die Wahrnehmung als eine Vertauschung der Objekte von links und rechts (GREGORY 2001, S. 181)

4.4 Fazit

Anhand vorhandener Methoden in der Produktentwicklung (z. B. UML, TRIZ) wurde die Frage aufgeworfen, durch welche Eigenschaften sich diese Methoden ähnlich sind bzw. unterscheiden. Zu diesem Zweck wurden Charakteristika ausgearbeitet, die nach Objekten (z. B. Objektperspektive) und nach Relationen zwischen diesen Objekten (z. B. transportierter Inhalt) unterschieden werden, wobei jedes einzelne Charakteristikum Ausprägungen annehmen kann.

Durch eine veränderte Darstellung von Informationen in einem Modell können neue Schwerpunkte bei der Analyse gesetzt werden. Damit Informationen bei einem anderen Modell nicht grundsätzlich neu erarbeitet werden müssen, ist die Ähnlichkeit von Modellen ein Hinweis darauf, welches Modell sich für eine andere Problembetrachtung eignet (dies wird auch noch ausführlich am Ende von Kapitel 5 diskutiert). Durch eine Betrachtung von Informationen die transformiert werden können, Informationen die bei einer Transformation verloren gehen sowie Informationen, die bei einer Transformation noch erarbeitet werden müssen, kann eine geeignete Methode ausgewählt werden.

Neben den hier angesprochenen Transformationen stehen vier weitere Möglichkeiten zur Verfügung, um ein Modell bei der Analyse zu verändern: Erweiterung/Vereinfachung, Ergänzung, Kombination und Umgestaltung.

Für die Industrie kann sich aus der Charakterisierung die Möglichkeit ergeben, Methoden ergebnisorientiert auszuwählen. Für die Forschung kann die Identifizierung nicht vorhandener Kombinationen von Charakteristika helfen, in neuen Methoden eine vorhandene Lücke zu schließen und nicht eine alternative Methode zu einer bereits Vorhandenen zu entwickeln.

Die Beurteilung der Methoden spiegelt lediglich die Einschätzung der an der Beurteilung beteiligten Individuen wieder, sodass eine Verallgemeinerung nicht herbeigeführt werden kann. Damit soll das hier vorgestellte Vorgehen als Beispiel dienen, wobei die Ergebnisse lediglich als exemplarisch und subjektiv geprägt angesehen werden dürfen.

5 Prinzipien für die Analyse von Problemen

Durch die Darstellung von Modellen haben sich Prinzipien für die Adaption von Methoden herausgebildet, die teilweise auf die erarbeiteten Charakteristika zurückgeführt werden können. Diese Prinzipien werden unterschieden in allgemeine Prinzipien (z. B. Systemgrenze, Motivation) und modelladaptierende Prinzipien (z. B. Verknüpfungswirkung). Abschließend werden Einsatzmöglichkeiten der Prinzipien diskutiert (z. B. Informationslücken identifizieren).

Bereits in der Gestalttheorie wurden Prinzipien identifiziert, um einen Erklärungsansatz für die Wahrnehmung zu erarbeiten. Hier wurden zum einen Prinzipien identifiziert wie z. B. Prinzip der Nähe, der Geschlossenheit, der Ähnlichkeit (FUNKE 2003, S. 46) oder zum anderen geometrische Grundelemente z. B. Zylinder, Quader (GREGORY 2001, S. 106ff). Andere Prinzipien, die in der Produktentwicklung zur Verfügung stehen, sind eher auf Beobachtungen zurückzuführen (Zusammenstellung nach LINDEMANN 2004, S. 45ff¹), als auf eine systematische Herleitung der Prinzipien wie im vorliegenden Fall. Nachfolgend werden Prinzipien identifiziert, die bei der Analyse bzw. bei der Adaption von Modellen angewendet werden können. Bei der Anwendung ist nicht der Anspruch zu erheben, dass alle Prinzipien zum Einsatz kommen. So kann ein Prinzip für ein Problem von Bedeutung sein, für ein anderes weniger. Prinzipien können auch im Widerspruch zueinander stehen, so kann z. B. das Prinzip der Systemgrenze im Konflikt mit dem Prinzip der Objektperspektive stehen, wobei sich Letzteres ständig ändert und gleichzeitig eine stabile Systemgrenze angestrebt wird.

Es liegen in der Literatur bereits Regeln und Prinzipien vor, die bei einer Analyse herangezogen werden können, ihre Beschreibung erscheint jedoch für die praktische Anwendung zu abstrakt. Bei den Regeln handelt es sich z. B. um kybernetische Grundregeln² von Sys-

¹ Grundprinzipien: Systemdenken (DAENZER & HUBER 1999), diskursives Vorgehen (WULF 2002), Denken in Alternativen (DAENZER & HUBER 2002), Modalitätenwechsel (LINDEMANN 1999), vom Abstrakten zum Konkreten (PAHL et al. 2003), vom Ganzen zum Detail (DAENZER & HUBER 2002), wiederkehrende Reflexion (nach BADKE-SCHAUB et al. 2004, DÖRNER 1999), Problemzerlegung (DÖRNER 1999)

² Regel 1: Negative Rückkopplung muss über positive Rückkopplung dominieren; Regel 2: Die Systemfunktion muss vom quantitativen Wachstum unabhängig sein; Regel 3: Das System muss funktionsorientiert und nicht produktorientiert arbeiten; Regel 4: Nutzung vorhandener Kräfte nach dem Jiu-Jitsu-Prinzip statt Bekämpfung nach der Boxer-Methode; Regel 5: Mehrfachnutzung von Produkten, Funktionen und Organisationsstrukturen; Regel 6: Recycling: Nutzung von Kreisprozessen zur Abfall- und Abwasserwertung; Regel 7: Symbiose: Gegenseitige Nutzung von Verschiedenartigkeiten durch Kopplung und

temen, die ein Systemverhalten aus einer kybernetischen Sichtweise beschreiben (VESTER 1999, S. 158ff). Es werden zwar Hinweise, jedoch keine konkreten Handlungsempfehlungen für die Analyse ausgesprochen, daneben wird dem Verstehen des Problems nur eine geringe Bedeutung beigemessen. Bei den Prinzipien in der Analyse¹ (z. B. BRAUCHLIN & HEENE 1995, S. 122) fehlen Hilfestellungen, die Prinzipien auf das Individuum abstimmen. Neben den Prinzipien ist Anfang der 90er Jahre auch ein axiomatic design aufgekommen (SUH 1990). Hier wird eine differenzierte Betrachtung des Entwicklers gefördert (z. B. Funktionen, Prozess) und der Versuch unternommen, einen mathematischen Zusammenhang der Betrachtungen herzustellen.²

5.1 Überblick über die Prinzipien

Im Folgenden werden die Prinzipien zur Erstellung und Adaption eines Modells vorgestellt, z. B. lässt sich das Prinzip der Systemgrenze als Prinzip der Systemgrenzenerstellung oder -adaption lesen. Bei der Erarbeitung der Prinzipien ist nochmals hervorzuheben, dass sie sich stark an den erarbeiteten Charakteristika in Kapitel 4 orientieren. Auf diese Art wird sichergestellt, dass jedes Prinzip eine bereits bewährte Anwendung in den Methoden gefunden hat. Eine 1:1-Zuordnung der Prinzipien zu den Charakteristika ist dennoch nicht möglich, da durch die Abstraktion der Charakteristika eine Zusammenlegung oder Aufspaltung vorgenommen worden ist. Die Prinzipien sind in Bild 5-1 in einer empfohlenen, jedoch nicht zwingenden Reihenfolge dargestellt, falls alle Prinzipien sequenziell angewendet werden sollen; eine einzelne Anwendung der Prinzipien ist jedoch ebenfalls möglich. Um das Ziel der einzelnen Prinzipien besser hervorzuheben, sollen deren Fragestellungen helfen, den Nutzen besser einordnen zu können.

Die Motivation die Prinzipien zu differenzieren nach allgemeinen und modelladaptierenden Prinzipien rührt aus dem Gedanken heraus, dass der Einsatz der Ersteren in jeder Entwicklungsphase sinnvoll erscheint (z. B. bei der Lösungssuche sind neben der Systemgrenze ebenso das Ziel und die Motivation zu definieren). Bei den modelladaptierenden Prinzipien wird ein deutlich eingeschränkteres Einsatzgebiet angenommen.

Austausch; Regel 8: Biologisches Design von Produkten, Verfahren und Organisationsformen durch Feedback-Planung

¹ Prinzip 1: Wesentlich ist das Gesamtbild, nicht das Detail; Prinzip 2: Das Denken ist oft spiralförmig, kreisend, mehrere Durchläufe über Soll, Ist usw. sind nötig; Prinzip 3: Sprunghaftes, unlogisch scheinendes Denken kann zu erstaunlich guten Ergebnissen führen; Prinzip 4: Möglichst unterschiedliche Aspekte des Problems sind bewusst zu suchen, unter häufigem Wechsel des Standpunktes; Prinzip 5: Analogien aus völlig anderen Bereichen tragen oft wesentlich zur Klärung des Gesamtproblems bei; Prinzip 6: Zu frühe gedankliche Fixierungen sind zu vermeiden (Gefahr der Bildung von Vorurteilen)

² Eine ausführlichere Darstellung befindet sich bei WULF (2000, S. 18ff)

	Prinzip ...	Fragestellung
allgemeine Prinzipien	... der Systemgrenze	Welche Interaktion besteht zwischen dem betrachteten Untersuchungsgegenstand und seinem Umfeld?
	... des Anwendungsbereichs	Was für Methoden sind für die Analyse sinnvoll?
	... der Grundannahmen	Wie können Selbstverständlichkeiten abgefragt werden?
	... des Ziels und der Motivation	Wie können Erwartungshaltungen an Vorgehen und Ergebnisse erfasst werden?
	... der Reduktion	Wie kann ein Wechsel zwischen den Detaillierungsebenen unterstützt werden?
modelladaptierende Prinzipien	... der Objektperspektive	Welche Inhalte sollen (nicht) erarbeitet werden?
	... der Darstellungsform	Wie kann das Problem dargestellt werden?
	... der Verknüpfungsklasse	Welche semantischen Zusammenhänge liegen zwischen den Objekten vor?
	... der Verknüpfungsstruktur	Welche Anordnung der Objekte soll gewählt werden?
	... des transportierten Inhalts	Welcher Inhalt wird zwischen den Objekten über die Relationen transportiert?
	... der Verknüpfungswirkung	Wie wirkt sich eine Änderung eines Objekts in einem anderen Objekt aus?
	... der Verknüpfungsrichtung	Welche Richtungen hat eine Verknüpfung zwischen den Objekten?
	... der Detaillierung	Welche relevanten, zusätzlichen Informationen können bei den Objekten und Verknüpfungen hinzugefügt werden, die quantitativer oder qualitativer Natur sind?

Bild 5-1: Fragestellungen der allgemeinen und der modelladaptierenden Prinzipien

5.2 Übersicht über die allgemeinen Prinzipien

Neben den aufgeführten Forschungserkenntnissen sollen die Prinzipien in ihrer Summe auch in der Lage sein, die klassischen Problemlösungsstrategien¹ abzudecken. Eine Wertung der Prinzipien wird an dieser Stelle nicht durchgeführt, da es das Ziel ist, Prinzipien für die Problemanalyse und das Problemverständnis bereitzustellen; welche Wirkung sie auf das einzelne Individuum haben, kann an dieser Stelle unmöglich abgeschätzt werden. Nichtsdestotrotz gibt es in der Erkenntnistheorie Einteilungen von Prinzipien in vier Kategorien (EISENHARDT et al. 1995, S. 32); 1. das Unabhängigkeitsprinzip, 2. das Verständlichkeitsprinzip, 3. das Reduzierbarkeitsprinzip, Axiomatisierbarkeitsprinzip sowie 4. das

¹ Mittel-Ziel-Analyse, Algorithmen, Schließen, Heuristik (WESSELLS 1994, S. 356ff); Startpunkt-, Zielpunkt-, Operatorprozedur (DÖRNER 1974, S. 53)

Quantifizierungsprinzip, Berechenbarkeitsprinzip¹. Die Eigenschaften der Prinzipien finden sich auch im Folgenden wieder, z. B. das Axiomatisierbarkeitsprinzip bei der Verknüpfungswirkung, bei der ein mathematischer bzw. ein physikalischer Zusammenhang gesucht wird oder das Quantifizierungsprinzip bei der Detaillierung durch die Bedeutung eines Objekts.

5.2.1 Prinzip der Systemgrenze

Beschreibung

Eine Abgrenzung des zu betrachtenden Inhalts/Systems zu seiner Umwelt² ist erforderlich, um eine Schwerpunktbildung zu unterstützen. Der Detaillierungsgrad ist so zu wählen, dass dieser Auskunft über die Art der Betrachtung gibt. Ein hoher Detaillierungsgrad weist somit auf ein Detailproblem hin, bei dem im Allgemeinen nur ein beschränkter Lösungsraum vorhanden ist. Im Gegensatz dazu steht eine hohe Abstraktion, bei der ein großer Lösungsraum zur Verfügung steht und das Zusammenwirken der einzelnen Objekte (im Sinne von Bild 4-3) im Mittelpunkt steht.

Früher wurde die Systemgrenze streng nach dem technischen Objekt ausgelegt. Dies wirkt heute bezüglich des Entwicklungsprozesses unvollständig. Dies ist darauf zurückzuführen, dass daneben andere Informationen bei der Entwicklung berücksichtigt werden müssen (z. B. Ergonomie, Recycling), die in einem sozio-technischen System zusammengefasst werden (EHRENSPIEL 1995, S. 15). Eine Systemgrenze ist nicht nur in einem soziologischen Verständnis zu verstehen, welches eher dazu verleitet eine Abgrenzung auf gleicher Komplexitätsstufe durchzuführen, sondern auch in einem hierarchischen. Die Systemgrenze hat zudem auch Einfluss auf die zu verwendende Sprache bei der Analyse, sodass hier syntaktische und semantische Bestimmungen festgelegt werden. Mit der Systemgrenze wird ein qualitativer Anspruch beschrieben, da aus ihr hervorgeht, unter welchen Randbedingungen die späteren Schlussfolgerungen zu ziehen sind. Bei der Bearbeitung eines Problems existiert eine „optimale“ Komplexität, d. h., dass eine „enge“ Systemgrenze nicht zwangsläufig eine einfache Systemanalyse nach sich zieht. Durch die Systemgrenze wird die Methode und damit das Modell bestimmt, die dem Detaillierungsgrad entsprechen, z. B. wählt man eher ein Funktionsmodell für eine abstraktere Darstellung als ein Bauteilmodell. Ein Wechsel der Systemgrenze kann helfen, den Lösungsraum gezielt ein-

¹ Beispiel für nicht Berechenbarkeit: Annahme: Der Barbier B. von Sevilla ist ein Mann aus der Stadt Sevilla, Aussage: Der Barbier B. von Sevilla rasiert alle Männer aus der Stadt Sevilla, die sich nicht selber rasieren, Frage: Wer rasiert den Barbier B. von Sevilla? (JOERSEN & SEBASTIAN 1998, S. 17)

² Auf eine Diskussion, dass die Beschreibung einer Umwelt auch ein System darstellt und damit auch gegenüber der Umwelt der Umwelt abgegrenzt werden muss, kann hier nicht eingegangen werden.

zuschränken oder zu erweitern (ähnlich wie bei MZK-Operator¹ bei TRIZ, HERB et al. 2000, S. 77).

Anwendung

- Welche Objekte und Relationen sind zu betrachten? Welche Interaktionen haben Objekte und Relationen zu der Umwelt?
- Welche Randbedingungen sind bei dem Problem zu berücksichtigen und welches Verhalten weisen diese auf (statisch oder dynamisch)?
- Unter welchen Randbedingungen ist eine Veränderung der Systemgrenze unter Berücksichtigung von Schnittstellen möglich oder erforderlich?

Beispiel

- Lassen sich obere oder untere Systemgrenzen für das Problem festlegen? (z. B. die Definition des Lösungsraums, bis zu welcher Hierarchieebene einer Baustruktur Bauteile verändert werden können).

5.2.2 Prinzip des Anwendungsbereiches

Beschreibung

Eine Zuordnung von Methoden zu bestimmten Tätigkeiten oder Phasen der Produktentwicklung ist im Allgemeinen nicht möglich. Auch wenn u. a. durch EHRENSPIEL (2002, S. 322) ein derartiger Vorschlag vorliegt, wird diese Unterteilung durch die Autoren selber kritisch betrachtet. Da bei einer hohen Methodenkompetenz eines Individuums ein Problem ergebnisorientiert gelöst und eine Adaption an die besonderen Randbedingungen durchgeführt werden kann, erscheint eine Unterteilung der Methoden auf diese Art und Weise als nicht zweckmäßig. Eine Klassifizierung der Methoden macht somit lediglich für den Entwickler Sinn, der eine geringe Erfahrung mit der methodischen Vorgehensweise hat; auch der Anwendungsbereich wird durch seine Erfahrungen bestimmt. Darüber hinaus wird der Anwendungsbereich einer Methode auch durch die weitere Verwendung des Modells bestimmt; so kann die Anwendung eines neuen Modells für die Analyse zwar einen zusätzlichen Einblick bereitstellen, die Nützlichkeit der Informationen und der Schlussfolgerungen ist aber schwer einzuschätzen.

¹ MZK-Operator = **M**aterial-**Z**eit-**K**osten-Operator, man versucht sich, durch das kaum/nicht Vorhanden sein oder das unendliche Vorhanden sein eines Operators, in eine Situation zu versetzen, um das Problem zu lösen.

Ergebnis dieses Prinzips soll eine Definition für eine Modellierung sein, bei der eine „wirtschaftliche“ Anwendung eines Modells sichergestellt wird (im Sinne Nutzen-Aufwand).

Anwendung

- Kann eine vorhandene Methode (teilweise) angewendet werden?
 - Wenn ja, dann ist die Methode in ihrer ursprünglichen Ausprägung oder in einer adaptierten Form anzuwenden, sodass u. a. die relevanten Informationen noch berücksichtigt werden können.
 - Wenn nein, dann muss eine neue Methode anhand einer Kombination vorhandener Vorgehen erarbeitet werden (Hilfestellung bei der Suche können die Charakteristika bieten).
- Können die Inhalte noch adäquat in einem Zusammenhang dargestellt werden (ggf. ist eine Modifikation in der Methode erforderlich)?

Beispiele

- Wechsel der Modelldarstellung von einer grafischen Darstellung der Zusammenhänge (z. B. Wirkungsnetz) zu einer verknüpfungsorientierten Darstellung (z. B. Matrix).
- Modifizierung einer SADT-Darstellung, sodass weitere Informationen (z. B. Eingangs- und Ausgangsgrößen von Abteilungen) abgebildet werden können; dies führt zu einer Darstellung mittels Prozessbausteinen (BICHLMAIER 2000).

5.2.3 Prinzip der Grundannahmen

Beschreibung

Um eine geeignete Methodenauswahl und adäquate Anwendung sicherzustellen, ist eine qualitativ hochwertige Informationsbasis erforderlich. Werden Vereinbarungen getroffen und Informationen erhoben, so werden damit häufig selbstverständliche Informationen vermittelt und Scheinwissen aufgedeckt (z. B. Postulate¹, Axiome²). Bei der Informationsbeschaffung schenkt man quantitativen Informationen schneller Vertrauen als qualitativen

¹ Ein Postulat ist eine sachlich oder denkerisch notwendige Annahme, die unbeweisbar oder noch nicht bewiesen, aber durchaus glaubhaft und einsichtig ist (SCHOLZE-STUBENRECHT 1997, S. 647).

² Ein Axiom wird als absolut richtig anerkannter Grundsatz verstanden, der keines Beweises bedarf (SCHOLZE-STUBENRECHT 1997, S. 101).

(FEYNMAN 2003, S.112, HUSSY & GRANZOW 1986, S. 149) und vermeidet eine Reflexion (EVANS 1994, S. 24). Damit wird die Grundlage für Fehler geschaffen, welche z. B. zu nicht aufdeckbaren Missverständnissen führen (die zurückgeführt werden können auf verbale Aussagen, statistische Streuungen, Abhängigkeiten, Schätzungen). Das Prinzip der Grundannahmen soll eine Hilfestellung sein, um vermeintliche Fehler bei der Interpretation zu reduzieren oder unterbewertete Schwachstellen im Nachhinein aufzugreifen, um so die Optimierung bei der nächsten Entwicklung sicherzustellen.

Anwendung

- Hinweise für die Informationsqualität können u. a. sein: Alter der Information, Häufigkeit der Nutzung (Auszug aus HUSSY 1994, S. 172)
- Fragen nach dem Kontext, um Selbstverständlichkeiten zu erfragen (in Anlehnung an RADTKE 1995, S. 57): wofür (Verwendungszweck), was (Informationsgehalt), wie (Darstellungsform), warum (Ursache).
- Zusammentragen von Bedenken an Methoden oder deren Modelle, um eine kritische Diskussion zu ermöglichen.
- Gleiche Informationen aus unterschiedlichen Sichtweisen sollen diskutiert, sowie qualitative und quantitative Beurteilungen in diskursiven Ansätzen provoziert werden (nach LINDEMANN et al. 2002)

Beispiele

- 1986 explodierte die Raumfähre Challenger. Als Grund wurde ein defekter Dichtungsring der Feststoffraketen ausfindig gemacht. Dieser wurde aus ökonomischen Gründen in vier Teilen gefertigt, zusammengebaut und mit O-Ringen ineinander verankert. Sicherheitsbedenken gegenüber der Qualität dieser Ringe und der Festigkeit bezüglich Nachtfrostgefahr waren bekannt. Ursache des Unfalls ist eine durch den vorausgegangenen Nachtfrost unflexibel gewordene Außendichtung in einer der beiden Feststoffraketen, die aufgrund der bekannten Mängel zu einem Abbruch des Starts hätten führen müssen (FEYNMAN 1991).
- Verändern der Grundannahme um damit die Lösung eines veränderten Problems zu ermöglichen.¹

¹ Ein Vater hatte die Erbfolge unter seinen drei Söhnen geregelt. Es ging um die Aufteilung seiner Kamele. Der älteste Sohn sollte die Hälfte des Bestandes erhalten, für den zweiten Sohn war ein Viertel vorgesehen, dem jüngsten war ein Sechstel zugeordnet. Als der Vater starb, waren elf Kamele vorhanden, somit ergab sich die Frage nach einer gerechten Aufteilung. Es kam zum Streit, der vor den Richter getragen wurde. Der Richter stellte eines seiner Kamele zur Verfügung. Mit zwölf Kamelen war die Teilung leicht.

5.2.4 Prinzip des Ziels und der Motivation

Durch eine Definition des Ziels soll den Individuen ein Überblick vermittelt werden, wie der Prozess und/oder die Lösung zu einem Problem aussehen kann. Dafür sind die Randbedingungen zu sammeln (z. B. Dauer, Kosten, Ressourcen, Meilensteine) und der Ursprung des Problems ist zu identifizieren. Um eine Eingrenzung des Ziels vorzunehmen, ist auch eine Beschreibung des Nicht-Ziels förderlich; darüber hinaus sind Kriterien für die Bewertung zu definieren, sodass eine Zielüberprüfung ermöglicht wird. Um ein Ziel zu vermitteln bietet es sich an, anhand eines Beispiels eine exemplarische Anwendung über die relevanten Entwicklungsphasen zu betrachten, damit Probleme der Methodenanwendung auf einem konkreten Niveau verdeutlicht werden können. Durch die exemplarische Anwendung wird nachvollziehbar, aus welchem Grund bestimmte Informationen für die Problemlösung (nicht) erforderlich sind.

Es soll festgestellt werden, ob das gegenwärtige Modell noch die Informationen in der erforderlichen Art abbildet, die nötig sind, um eine weitere Anwendung für spätere Entwicklungsphasen sicherzustellen.

Anwendung

- Definition von Kriterien, anhand derer die Lösung des Problems qualitativ oder quantitativ beurteilt wird.
- Definition von Hilfsmitteln (z. B. Methoden, Programme).
- Vereinbarung darüber, welche Maßnahmen zu ergreifen sind, wenn Zeit, Kostenbudget überschritten oder Qualität nicht erreicht wird.
- Für Methoden sowie Hilfsmittel ist eine Diskussion bezüglich der Chancen und Risiken auf unterschiedlichen Hierarchieebenen aufzeigen (Unternehmen, Abteilung, Individuum).
- Analogien zu ähnlichen Projekten bzw. Problemen aufzeigen.

Beispiele

- Zielformulierung: Es ist ein kompaktes Gebrauchsrads besonders für Körpergrößen mit einem Perzentil ≥ 95 zu entwickeln, mit faltbarem Rahmen und einfacher Handhabung, die sich durch ein geringes Gewicht (< 15 kg) und einen geringen Wartungsaufwand ausdrückt. Ferner soll das Klapprad einen moderaten Verkaufspreis ($< 1.000,00$ €) aufweisen.

Der erste Sohn erhielt sechs Kamele, der zweite drei und der jüngste zwei. Auf diese Art waren elf Kamele verteilt und das zwölfte konnte zurückgegeben werden (in Anlehnung an LUHMANN 2000).

- Handlungsplanungsblatt (JOKELE 2006) mit dem Aufbau: Ziel, Motivation, Vorgehen.

5.2.5 Prinzip der Reduktion

Beschreibung

Eines der wichtigsten Prinzipien der Systemtheorie zum Umgang mit Komplexität ist die Reduktion von Information (verankert im Reduktionismus). Dieses Prinzip ist übergreifend und das abstrakteste Prinzip aller hier vorgestellten, da eine Anwendung auf die anderen beschriebenen Prinzipien immer möglich ist.

Eine Reduktion zieht tendenziell eine Beschleunigung der Wahrnehmung zulasten der Sicherheit des erarbeiteten Verständnisses und der abgeleiteten Schlussfolgerungen nach sich. Eine Ergänzung – als Gegensatz zur Reduktion – bringt neben dem Bestreben nach Vollständigkeit eine zeitaufwendige Bearbeitung mit sich (die Ergänzung findet sich im Holismus wieder).

Anwendung

Reduziert werden kann durch (GENDERKA 1995, S. 82ff):

- Generalisierung (Weglassen von Informationen)
- Spezialisierung (Hinzufügen von Informationen)
- Aggregation bzw. Modifikation (Zusammenführen von Informationen, siehe auch Kapitel 4.3)
- Ergänzende oder reduzierende Anwendung der folgenden modelladaptierenden Prinzipien in Kapitel 5.3
- Ein Wechsel des Abstraktionsniveaus kann auch durch einen Modalitätenwechsel erreicht werden (LINDEMANN 1999). Hierbei wird gezielt die Perspektive auf das Problem verändert, damit vermeidlich gleiche Informationen in einem anderen Licht erscheinen:

– abstrakt und konkret	– geplant und opportunistisch
– Gesamtsystem und Detail	– „bottom up“ und „top down“
– Gestaltung und Berechnung	– bildhaft und begrifflich
– Synthese und Analyse	– bekannt und unbekannt

Auf ein Beispiel wird in diesem Fall verzichtet, da durch die reduzierende und ergänzende Anwendung der folgenden Prinzipien die Anwendung vorgestellt wird.

5.3 Übersicht über „modelladaptierende“ Prinzipien

Um eine Adaption von Modellen durchführen zu können, ist eine Detaillierung der Prinzipien erforderlich, die den Charakteristika der Methoden Rechnung trägt.

5.3.1 Prinzip der Objektperspektive

Beschreibung

Die Komplexität eines Modells hängt neben der Anzahl der Verknüpfungen auch von der Anzahl und der Vielfalt der Informationen ab. Der Vielfalt der Informationen wird durch die Objektperspektiven Rechnung getragen und ist teilweise bereits durch die Systemgrenze bestimmt. Ziel ist dabei die Berücksichtigung von unterschiedlichen Individuen, die ein Produkt oder einen Prozess in den jeweiligen Entwicklungsphasen nutzen bzw. anwenden. Hier spielt der Erfahrungshintergrund des Individuums eine signifikante Rolle, da die Informationen nur mit einem gewissen Erfahrungsschatz wahrgenommen und verarbeitet werden können. Im Allgemeinen kann festgehalten werden, dass durch eine hohe Informationsvielfalt leichter eine Realitätsnähe und damit Gültigkeit des Modells erreicht wird, als durch eine geringe Vielfalt. Gleichzeitig ist im Einzelfall kritisch zu diskutieren, wie groß der Mehrwert durch das Hinzufügen einer weiteren Objektperspektive ist. Der Wechsel oder die Ergänzung einer weiteren Objektperspektive hilft, den Lösungsraum zu vergrößern bzw. zu verkleinern oder auch die Akzeptanz einer späteren Lösung sicherzustellen.

Die Schwierigkeit bei der Anwendung dieses Prinzips ist die Entscheidung, ob Informationen für die Lösung eines Problems von Interesse sind oder nicht; entscheidenden Einfluss auf die Erarbeitung eines Modells hat auch die Zugänglichkeit von Informationen (z. B. keine Zugänglichkeit von Informationen durch Geheimhaltung). Zusätzlich zu den aufgeführten Schwierigkeiten tritt ein Konflikt bei der Beachtung vieler Objektperspektiven auf, da in einem interdisziplinären Umfeld die Sprache der jeweiligen Objektperspektive eine einfache Zusammenführung von Informationen erschwert (z. B. da ein unterschiedliches Begriffsverständnis vorliegt).

Anwendung

- Eine relevante Objektperspektive kann identifiziert werden, wenn man sich in unterschiedliche Situationen hineinversetzt.

- Wenn eine Objektperspektive hinzuzufügen ist bzw. wegfällt, ist eine Begründung festzuhalten (interdisziplinäre Betrachtung des Betrachtungsobjekts).

Beispiele

- Durch Berücksichtigung anderer Disziplinen können Missverständnisse gezielt identifiziert werden, die Handlungsfreiräume einschränken oder aufdecken (z. B. Bionik, Mechatronik).
- Im Rahmen eines interdisziplinären Projekts (zwischen Maschinenbau und Medizin) musste Material für die Fertigung eines Prototyps nach der Oberflächentauglichkeit für den Kontakt mit Blut ausgewählt werden. Nach Fertigstellung des Prototyps stellte sich heraus, dass die Materialwahl falsch war, da ein Projektbeteiligter bei der Aufgabenklärung implizite Informationen dem Projektpartner nicht verdeutlichen konnte und so eine Objektperspektive vernachlässigt worden ist (LINDEMANN et al. 2003, S. 102ff).

5.3.2 Prinzip der Darstellungsform

Beschreibung

Die beiden Ausprägungen von Darstellungsformen – textuell und grafisch – lassen sich auf allen Abstraktionsebenen anwenden (z. B. grafische Darstellung von Anforderungen auf abstraktem Niveau oder die grafische Darstellung von Bauteilen auf konkretem Niveau). Die Alternativen unterscheiden sich durch ihre Eigenschaften, so ist z. B. für die (heuristische) Lösungssuche eine textbasierte Darstellungsform der Informationen förderlicher als eine grafische Darstellungsform (z. B. die abgeleiteten Fragestellungen aus einer TRIZ-Funktionsstruktur); dies ist auf den qualitativen und generierenden Charakter zurückzuführen, der einen hohen Interpretationsspielraum lässt. Weitere textuelle Eigenschaften sind geeignet für: Detailinformationen, feste Reihenfolge der Informationsvermittlung durch sequenzielle Informationswahrnehmung, falsche (geschriebene) Sprachwahl, Informationen über Verknüpfungen sind schwerer dokumentierbar als über Objekte. Für die analytische Auswertung von Informationen ist hingegen eine grafische bzw. eine relationsorientierte Darstellung vorteilhaft, da dadurch der immanente quantitative und dokumentierende Charakter leichter ausgewertet werden kann. Zusätzlich verfügen die grafischen Darstellungsformen über die Eigenschaften: Zusammenhänge darstellen, Wahrnehmung des Startobjekts und seiner Relationen ist nicht vorgeschrieben und damit individuell möglich, bildhafte Darstellung geeignet, um Sprachbarrieren zu überwinden.

Die Auswahl der Darstellungsform ist u. a. von Anzahl und Verschiedenartigkeit der Verknüpfungen und Objekte abhängig (vergleiche Beispiel von Wirkungsnetz und Matrix)

sowie von der Wirkung auf das Individuum (z. B. Entwicklungstendenzen von Systemen werden bei geringem Kenntnisstand meist als linear angenommen). Zusätzlich wird die Darstellungsform durch das Ziel bestimmt, dass ein Modell einen bestimmten Zweck zu erfüllen hat. Auch wenn bei der Anwendung dieses Prinzips eine Empfehlung gegeben wird, hängt diese von den individuellen Fähigkeiten (z. B. textuelle Ausdrucksmöglichkeit) sowie von den technischen Randbedingungen (z. B. Verfügbarkeit von Software) ab.

Anwendung

- Kann bei einer textuellen Darstellung auf negative Formulierungen verzichtet werden?
- Bei der Überführung von einer grafischen in eine textuelle Darstellung ist zu berücksichtigen:
 - Bei einer sequenziellen textuellen Beschreibung ist ein Beginn der Beschreibung zu definieren.
 - Aus welcher Sichtweise (z. B.: Entwickler, Kunde) wird das Dokument gelesen, sodass die geschriebene Sprache dem Leser angepasst werden kann?
- Bei der Überführung von einer textuellen in eine grafische Darstellung ist zu berücksichtigen:
 - Zwischen welchen Objekten können Relationen definiert werden?
 - Als Zwischenschritt können Stichpunkte über Objekte und Relationen zusammengefasst werden.

Beispiele

- Problemformulierungen, die aus einem TRIZ-Funktionsmodell abgeleitet werden, fördern die kreative Lösungssuche.
- Darstellung von Objekten und Relationen durch Software (z. B. MindManager[©], TheBrainTM).
- Analyse von Objekten und Relationen durch Portfoliodarstellung, bei der mehrere Faktoren gleichzeitig dargestellt werden können (z. B. durch 1. Achse, 2. Achse, Größe, Farbe).

5.3.3 Prinzip der Verknüpfungsklasse

Beschreibung

Besteht eine Gemeinsamkeit im Sinne von Klassen oder ein semantischer Zusammenhang zwischen Objekten, kann eine Verknüpfungsklasse ausgewählt werden, u. a. kausal, logisch. Eine Detaillierung vorhandener Relationen kann mithilfe der nachfolgenden Ausprägungen umgesetzt werden (z. B. Verknüpfungsrichtung); durch die Auswahl einer bestimmten Ausprägung wird die Form der später abgeleiteten Schlussfolgerungen bestimmt (wie in Kapitel 2 bereits vorgestellt).

Obwohl in Kapitel 2 die Morphologie zu der strukturellen Orientierung gezählt worden ist, wird sie im Folgenden der Verknüpfungsklasse zugeordnet, da die Verknüpfung zwischen den Objekten in einem 1 oder n dimensional Zusammenhang wesentliche Auswirkungen auf die weitere Handlung haben kann (im Sinne von weißen Feldern, die weitere Entwicklungsaufgaben definieren können).

Eine Relation kann in folgende Klassen unterteilt sein:

- **Logisch:** Eine logische Relation ist schlüssig, hinterfragt jedoch nicht, ob es sich auch um eine realistische Abbildung von Zusammenhängen handeln kann (z. B. 1. Prämisse: Alle Autos fliegen, 2. Prämisse: Alles was fliegt hat Flügel, Konklusion: Alle Autos haben Flügel).
- **Kausal:** Liegt eine Relation von Ursache und Wirkung vor, so wird von einer kausalen Relation gesprochen.
- **Taxonomisch:** Wird eine Zusammengehörigkeit aufgrund der Eigenschaften von Objekten identifiziert, können diese in Klassen zusammengeführt werden.
- **Probabilistisch:** Liegt eine Relation vor, kann es zum einen sein, dass sie nur in einigen Varianten des Produkts oder Prozesses auftritt und somit nicht immer von Bedeutung ist. Zum anderen kann eine Relation unsicher sein, im Sinne eines nicht abgesicherten, sondern lediglich vermuteten Zusammenhangs.
- **Morphologisch:** Durch eine Kombination von Ausprägungen der Eigenschaften eines Produkts oder Prozesses können zahlreiche Alternativen generiert werden, die auf ihre Plausibilität hin zu prüfen sind.

Anwendung

- Die Identifizierung von Gemeinsamkeiten der Objekte führt zu einer Taxonomie der Objekte. Hier können die Regeln der Mengenlehre helfen, die klassifizierten Objekte weiter zu analysieren.

- Um von einer logischen zu einer kausalen Verknüpfung zu kommen, sind Bedingungen zu definieren, bei denen die Kausalität erfüllt ist.
- Um von einer kausalen zu einer logischen Verknüpfung zu kommen, sind die Randbedingungen zu prüfen, unter denen ein logischer Zusammenhang besteht.

Beispiel

- Funktionsstrukturen basieren meist auf einem kausalen Zusammenhang, da eine Funktion einer anderen vorausgeht.

5.3.4 Prinzip der Verknüpfungsstruktur

Beschreibung

Unabhängig davon, welche der vorher aufgeführten semantischen Verknüpfungen in der Problemsituation vorliegen, gibt es drei Möglichkeiten, die Objekte grafisch anzuordnen (vernetzt, hierarchisch¹, prozessual). Eine Verschachtelung der Verknüpfungsstrukturen ist durchaus möglich und bietet damit auch die Möglichkeiten, weitere Fragestellungen zu formulieren. Ziel der Anwendung dieses Prinzips ist die Identifikation zusätzlicher Relationen oder Objekte, bzw. eine Veränderung der hervorgehobenen Informationen durch eine andere Verknüpfungsstruktur.

Anwendung

- Befindet man sich in einer „reinen“ Verknüpfungsstruktur (hierarchisch, prozessual oder vernetzt), ist die Frage nach dem Vorhandensein anderer Verknüpfungsstrukturen zu stellen, z. B.:
 - Besteht in einer vernetzten Verknüpfungsstruktur eine hierarchische Ordnung?
 - Besteht in einer prozessualen Abfolge eine Vernetzung zu anderen (noch nicht betrachteten) Prozessen?
 - Gibt es Verknüpfungsstrukturen, die einer Objektperspektive zugeordnet werden können?
- Vernetzte Darstellung wird in eine prozessuale Darstellung überführt:

¹ Im Software Engineering wird dies in der UML auch als Aggregation bezeichnet und durch  visualisiert (jedes Objekt 1 enthält Teilobjekte von Objekt 2).

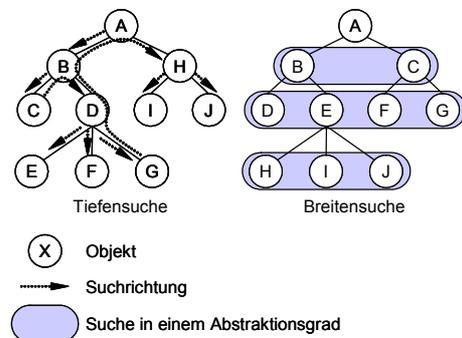
- Zeitlichen Start- und Endpunkt definieren
- Vernetzte Darstellung wird in eine hierarchische Darstellung überführt:
 - Ober- und Untersysteme definieren
 - Vererbung von Eigenschaften identifizieren
 - Verknüpfungen nach der Idee der Breitensuche¹
- Prozessuale Darstellung wird in eine vernetzte Darstellung überführt:
 - Prozessualen Zustand definieren (u. a. zeitlich, räumlich)
- Prozessuale Darstellung wird in eine hierarchische Darstellung überführt:
 - Prozessphasen geben einen Hinweis auf eine zusammengehörige Gruppe, die in einer Hierarchieebene zusammengefasst werden kann.
- Hierarchische Darstellung wird in eine vernetzte Darstellung überführt:
 - Zu untersuchende Hierarchieebene auswählen
 - Verknüpfungen nach der Idee der Tiefensuche (vergleiche Fußnote „Breitensuche“)
- Hierarchische Darstellung wird in eine prozessuale Darstellung überführt:
 - Hierarchieebene auswählen
 - Zeitliche Abfolge innerhalb einer Hierarchieebene definieren

Beispiel

- Eine Baugruppe besteht aus Bauteilen (hierarchische Darstellung).

¹ Breitensuche: In einer Struktur werden Objekte eines Abstraktionsgrades betrachtet. Ein Wechsel findet statt, wenn ein Abstraktionsgrad durchsucht worden ist (LUGER 2002, S. 93ff).

Tiefensuche: In einer Struktur werden untergeordnete Objekte (z. B. B) und deren Nachfolgeobjekte (z. B. C, D) untersucht. Eine Suche in einem anderen Ast erfolgt erst, wenn es bei einem Objekt keine Nachfolgeobjekte gibt (z. B. E, F, G). Bei der Anwendung einer Tiefensuche in einer Baugruppe ändert sich ständig der Abstraktionsgrad.



Die Buchstaben geben Reihenfolge der Suche an.

- Eine Entwicklung von einem Bauteil oder einer Baugruppe wird prozessual abgebildet, indem Entwicklungsstufen, Hilfsmittel und beteiligte Personen miteinander in Verbindung gebracht werden.

5.3.5 Prinzip des transportierten Inhalts

Beschreibung

Ist es bekannt, ob man Information, Energie oder Stoff zwischen den Objekten austauscht, so sind besondere Eigenschaften zu beachten. Information hat z. B. die Eigenschaften, dass sie leicht vervielfältigt werden kann und die Aktualität an unterschiedlichen Standorten nicht immer sichergestellt ist. Verwendet man Information als transportierten Inhalt, muss auf die Unterscheidung zu verwandten Begriffen hingewiesen werden¹. Bei Stoffen ist z. B. der Aggregatzustand von Bedeutung, um die Funktionsfähigkeit des Produkts beurteilen zu können.

Im Gegensatz zu den vorangegangenen Prinzipien geht es nicht um die Überführung von einer Form in eine andere, sondern um das Ergänzen oder Weglassen eines transportierten Inhalts.

Anwendung

- Spezifizierung des transportierten Inhalts:
 - Information (z. B. implizite/explicite Informationen, Messgröße, Anzeige, Daten, Steuerimpuls)
 - Energie (z. B. mechanisch, hydraulisch, pneumatisch, elektrisch, magnetisch, optisch, thermisch, chemisch, nuklear, biologisch)
 - Stoff (z. B. Gas, Flüssigkeit, feste Körper, Staub, Endprodukt, Bauteil)

Beispiele

- Alle drei Ausprägungen des transportierten Inhalts werden meist in Funktionsstrukturen verwendet (z. B. von der Energiequelle ist elektrische Energie zu dem Verbraucher zu führen).

¹ Wie bei Begriffen im Allgemeinen ist auf deren korrekte Anwendung zu achten. Bei dem Beispiel der Begriffe Information und Wissen kann es zu einem unterschiedlichen Verständnis kommen. Betrachtet man die Definition von Wissen in der Linguistik (wo Wissen implizit vorhanden ist), so ist es gerade das Ziel der Künstlichen Intelligenz, das Wissen zu explizieren.

- In Prozessen findet häufig ein Transport von Informationen zwischen den Prozessschritten statt.

5.3.6 Prinzip der Verknüpfungswirkung

Beschreibung

Die Änderung einer Eingangsgröße kann zu unterschiedlichen Wirkungen in einem System führen; so kann z. B. durch eine lange Verknüpfungskette eine Wirkung mit erheblichem zeitlichen Unterschied zu ihrer Ursache erscheinen. In Kombination mit dem nachfolgenden Prinzip der Verknüpfungsrichtung ist dies bei der Ableitung von Schlussfolgerungen eine wichtige Randbedingung. Darüber hinaus können Ursachen eine unterschiedliche Tiefen- und Breitenwirkung haben (in Anlehnung an das Prinzip der Verknüpfungsstruktur, bei dem die Tiefen- und Breitensuche vorgestellt worden ist). Bei der Interpretation des Verhaltens eines Systems kann es helfen, kleine Szenarios durchzuführen¹, um das Verhalten kennen zu lernen oder zu verifizieren. Ziel muss es nicht sein, ein dynamisches System in ein statisches System zu überführen, um es besser verstehen und steuern zu können². Das Denken in Konsequenzfragen hat sich bereits bei Konstrukteuren als unterstützend für ihre Problemlösung herausgestellt (TENZER 2004, S. 76).

Anwendung

- Zeitliche Wirkung
Über lange und kurze Verknüpfungsketten kann eine Wirkung schnell oder langsam erkennbar werden bzw. sich auswirken (z. B. chemische Reaktion).
- Räumliche Wirkung
Durch die räumliche Entfernung von zwei physikalischen Objekten oder Funktionen kann der Änderung eines Objekts eine Änderung eines anderen Objekts an einem anderen Ort folgen (z. B. Hebel, Kolben).
- Funktionale Wirkung

¹ Es kann unterschieden werden, ob bei der Durchführung eines Szenarios die Veränderung eines Objekts (in Anlehnung an eulerische Betrachtungsweise in der Strömungstechnik) beobachtet oder ob die Veränderung einer Relation(skette) untersucht wird (in Anlehnung an lagrangesche Betrachtungsweise in der Strömungstechnik).

² Z. B. wurde bei Osteroperose-Patienten festgestellt, dass eine konstante Kalziumkonzentration vorliegt. Bei gesunden Menschen hingegen gibt es immer wieder unterschiedliche Kalziumkonzentrationen um einen Mittelwert. Hier führt also ein dynamisches Verhalten zu einem „gesunden“ System (GANDOLFI 2001, S. 125).

Es liegt ein algorithmischer Zusammenhang zwischen Objekten vor, der z. B. eine diskrete oder kontinuierliche Wirkung beschreibt (z. B. Kräftegleichgewicht an einem Hebel).

- Bedeutung

Die Dominanz sowie die Gültigkeit von Zusammenhängen unter besonderen Randbedingungen mehrerer Wirkungen soll unterschieden werden (z. B. Hauptfunktion: Auto soll fahren, Nebenfunktion: Getränk). Hierzu gehören auch die Regeln, sodass bestimmte Objekte nur zum Tragen kommen, wenn Randbedingungen und/oder Informationen vorliegen. Die Unterscheidung der Bedeutung kann bei Zielkonflikten helfen zu entscheiden, welchem Aspekt eine höhere Aufmerksamkeit zu schenken ist.

Beispiele

- Funktionales Beispiel mit dem Schwerpunkt der zeitlichen Wirkung ist der Jäger-Beute Zusammenhang, bei dem sich ein Gleichgewicht einzustellen hat. Hier wird ein dynamisches System betrachtet, bei dem der Jäger die Beute jagt, durch den hohen Konsum erhöht sich die Anzahl der Jäger. Dies resultiert in einer verminderten Anzahl der Beutetiere, sodass nicht alle Jäger ernährt werden können. Die Anzahl der Jäger sinkt und so kann die Beute ihre Anzahl erhöhen.
- Betrachtet man die Verknüpfungswirkung unter dem Gesichtspunkt der Bedeutung, so stehen viele Entwicklungsprojekte unter dem Erfolgsdruck entweder Kosten einzusparen oder ein besonderes innovatives Produkt zu entwickeln.

5.3.7 Prinzip der Verknüpfungsrichtung

Beschreibung

Um eine Verknüpfung zu detaillieren, kann u. a. die Frage nach der Richtung gestellt werden, d. h., dass eine Unterscheidung zwischen einer unidirektionalen und bidirektionalen Verknüpfung durchzuführen ist. Bei der Analyse der Verknüpfungen ist es entscheidend, ob durch die Definition von Verknüpfungsrichtungen eine positive oder negative Rückkopplung stattfindet.

Anwendung

- Es ist festzustellen, ob ...
 - ... ein Objekt durch andere Objekte beeinflusst wird (unidirektional).

- ... ein Objekt andere Objekte beeinflusst (unidirektional).
- ... ein Objekt mit anderen Objekten in einer Wechselwirkung steht (bidirektional).
- Bei einer Abbildung der Realität in einem Modell oder bei der Übertragung von Informationen von einem Modell in ein anderes ist zu definieren, welche Zuordnung von Informationen stattfinden kann:
 - Alle Informationen können übertragen werden, sodass alle Elemente des Zielmodells oder nur Teile des Zielmodells genutzt werden (surjektiv und injektiv).
 - Alle Informationen können zwischen beiden Modellen beliebig ausgetauscht werden (bijektiv).
- Der Zusammenhang von Objekten kann durch eine Kardinalität und dem dazugehörigen Assoziationstyp näher beschrieben werden. Die Kardinalität legt fest, wie viele Objekte einer Objektmenge (z. B. Kunde) mit Objekten einer anderen Objektmenge (z. B. Produkt) in Beziehung stehen können. Eine Assoziation¹ ist eine Ausprägung einer vorhandenen Kardinalität und kann unterschieden werden:

Kardinalität	Wird gelesen als ...	Assoziation
[1,1]	genau eine	1 (von eindeutig)
[0,1]	keine oder genau eine	c (von can = kann)
[1,*]	mindestens eine bis sehr viele	m (von multiple)
[0,*]	beliebig viele	mc (von multiple can)

Bild 5-2: Unterschiedliche Ausprägungen von Kardinalitäten

Beispiele

- Die Interaktion zwischen Bauteilen ist festzustellen, z. B. ob Bauteil A Bauteil B bei geometrischen Änderungen beeinflusst oder umgekehrt (dies hat Einfluss auf eine Änderungsreihenfolge).
- Bei der Definition von Schnittstellen zwischen Programmen ist festzuhalten, welche Informationen zwischen beiden Programmen ausgetauscht werden bzw. welche Informationen lediglich in einem Programm bleiben.

¹ Neben der Assoziation liegen aus der Darstellung von Klassendiagrammen (Bestandteil von UML) zusätzliche Beziehungen vor: Aggregation (bereits bei dem Prinzip der Verknüpfungsstruktur verwendet) und Abhängigkeit (Überschneidung mit den Prinzip der Verknüpfungsklasse und des transportierten Inhalts)

5.3.8 Prinzip der Detaillierung einer Verknüpfung/eines Objekts

Beschreibung

Es ist zu unterscheiden, ob eine Detaillierung bei der Informationserhebung durchgeführt (d. h. zusätzliche, bisher nicht erfasste Informationen in das Modell einfügen) oder Teil eines Ergebnisses sein soll (d. h. zu erarbeiten ist). Eine Unterscheidung ist dann sinnvoll, sobald viele Objekte in dem Modell vorliegen und eine Differenzierung nicht mehr ohne weiteres durchführbar ist. Zusätzlich ist eine Detaillierung nach Wichtigkeit (z. B. Kundenrelevanz von Funktionen) oder nach weiteren Eigenschaften des Untersuchungsgegenstandes (z. B. Lebensdauer von Bauteilen) sinnvoll, um mit unterschiedlichen Sichten die Objekte zu betrachten.

Anwendung

- Eine quantitative Detaillierung der Objekte kann mithilfe einer der folgenden Skalentypen durchgeführt werden (eine ausführliche Darstellung befindet sich auch bei DREBING (1991, S. 33ff), ROTH (2000b, S. 236):

	Beschreibung	Beispiel
Nominalskala	Skalenwerte werden nur nach dem Kriterium ob ein Merkmal einen Wert hat (=) oder nicht (≠) beurteilt. Sie nimmt lediglich eine Klasseneinteilungen vor und verweigert dadurch die Möglichkeit der Festlegung einer Rangordnung sowie der mathematischen Verknüpfung.	rot, grün, blau,... ja, nein =, ≠ nützlich, schädlich
Ordinalskala bzw. Rangskala	Skalenwerte werden nicht nur nach dem Kriterium gleich oder verschieden beurteilt, sondern können außerdem in einer natürlichen Reihenfolge geordnet werden (<, >). Die Ordinalskala kann lediglich komparative Unterschiede darlegen, aber keine Differenzen der Ausprägungen.	mehr, gleich, weniger =, ≠, <, >
Intervallskala	Metrische Skala, die keinen natürlichen Nullpunkt und keine natürliche Einheit besitzt. Sie ermöglicht die Darstellung von Information mit relativem Skalenbezug, sodass Differenzen und Summen verglichen werden können (a-b, =, ≠, <, >, c-d). Es sind keine Aussagen über das Verhältnis der Daten möglich.	Längengrade der Erde a-b, =, ≠, <, >, c-d

	Beschreibung	Beispiel
Verhältnisskala	Metrische Skala, die einen natürlichen Nullpunkt, aber keine natürliche Einheit besitzt. Multiplikation oder Division ist hier erlaubt (a/b , =, ≠, <, >, c/d).	Entfernungen, Flächen, Gewicht, $a-b$, =, ≠, <, >, $c-d$ a/b , =, ≠, <, >, c/d
Kardinalskala bzw. metrische Skala	Skalenwerte mit reellen Zahlen, die alle Ordnungseigenschaften der reellen Zahlen besitzen. Mithilfe einer Kardinalskala kann das Ausmaß von Wirksamkeitsunterschieden gemessen werden; sie ermöglicht das Messen bei quantitativen Merkmalen mit konstanten Abständen und willkürlicher Festlegung des Nullpunktes oder festem natürlichen Nullpunkt. Spezialfall Absolutskala: Eine Kardinalskala mit einem natürlichen Nullpunkt und einer natürlichen Einheit heißt Absolutskala	Zahlenbereich R =, ≠, <, >, und $a-b$, =, ≠, <, >, $c-d$ a/b , =, ≠, <, >, c/d

- Eine qualitative Detaillierung kann mittels Checklisten durchgeführt werden.

Beispiele

- Ergebnis einer Matrix kann die Bedeutung von z. B. Bauteilen sein, die durch eine Aktiv- und Passivsumme dargestellt wird. Damit wird der Einfluss auf oder der Einfluss von dem Gesamtsystem auf ein spezielles Bauteil analysiert.
- Bei dem TRIZ-Funktionsmodell ist eine Unterscheidung der Funktionen in schädliche und nützliche Funktionen möglich. Diese Unterscheidung wird bereits bei der Informationserhebung durchgeführt.

5.4 Anwendung der Prinzipien

Neben der Anwendung der Prinzipien für die Überführung von einem Modell in ein anderes, können die Prinzipien weitere Anwendungen für Schlussfolgerungen zulassen. Ob die Prinzipien ein zusätzliches Einsatzgebiet erlauben, liegt an der subjektiven Einschätzung des Individuums. Einer weiteren Diskussion, welchen Randbedingungen das Individuum unterliegt, wie die Randbedingungen beurteilt werden, mit welcher Sicherheit die Beurteilung durchgeführt wird etc., wird hier nicht nachgegangen.

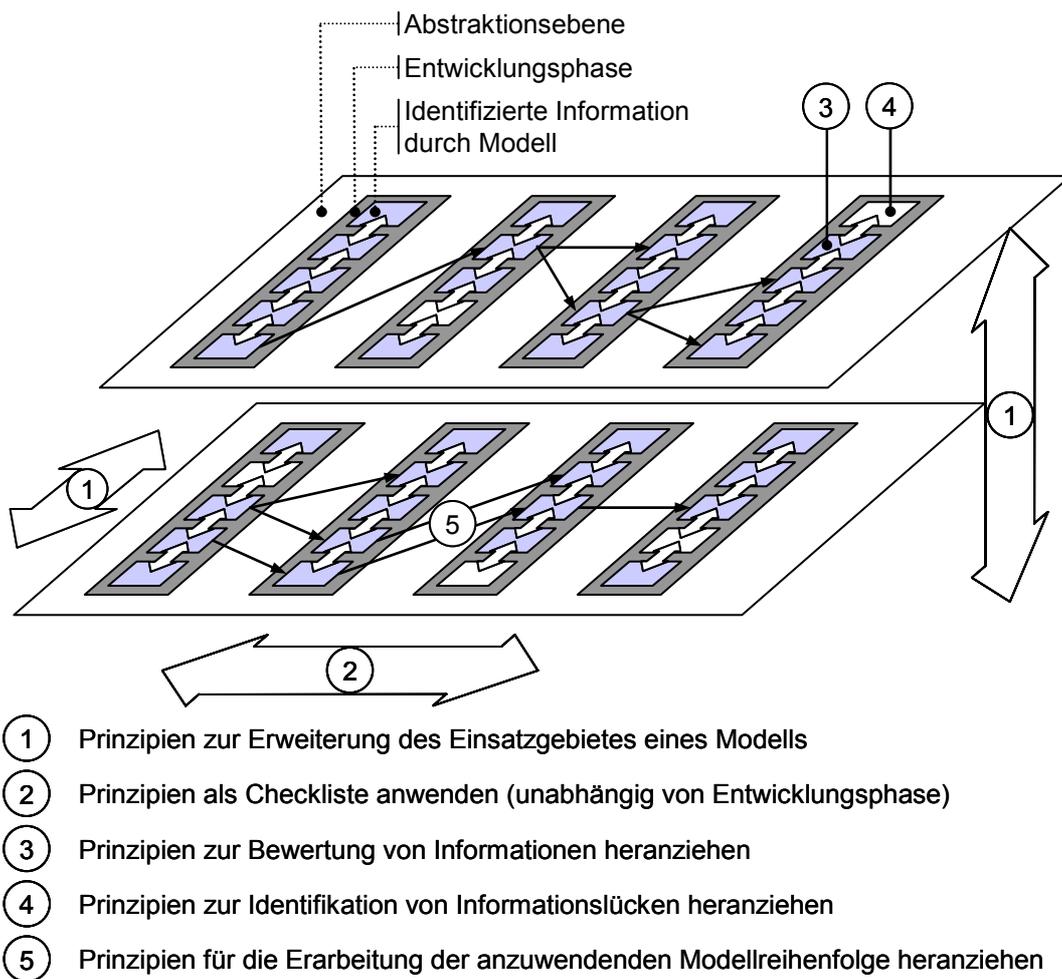


Bild 5-3: Anwendung der Prinzipien zur Verbesserung eines Modells innerhalb einer Phase/Detaillierung oder zur Überführung der vorhandenen Informationen

5.4.1 Erweitertes Einsatzgebiet

Die Prinzipien können angewendet werden, um eine Modifikation der Modelle zu erreichen. Dadurch wird das Einsatzgebiet einer Methode erweitert, sodass ein Modell nicht nur in seinem ursprünglichen Anwendungsfeld (z. B. ein Funktionsmodell wird lediglich zur Strukturierung von Funktionen herangezogen) sondern auch in anderen Bereichen angewendet werden kann (wie bereits erwähnt: TRIZ wird in der Regel für die Funktionsmodellierung herangezogen, kann jedoch auch bei der Prozessmodellierung angewendet werden (DEMERS 2000)).

Neben der Anwendung der Prinzipien zur Modifikation von Modellen, können die Prinzipien selber auch für andere Bereiche als zu Modellierung von Problemen – wie im vorliegenden Fall – herangezogen werden, so z. B. bei der Definition von Maßnahmen in Trou-

bleshootingsituationen, wo sich Prinzipien unter einer anderen Perspektive wiederfinden (JOKELE 2006).

In welcher Form eine Methode an ein anderes Einsatzgebiet angepasst werden kann wurde in Kapitel 4.3 vorgestellt. Die Prinzipien können helfen, die vorgestellten Modifikationsarten umzusetzen.

5.4.2 Prinzipien als Checkliste

Wurde ein Problem in einem Modell abgebildet, kann mit der Anwendung einzelner Prinzipien festgestellt werden, ob zusätzliche Informationen für das Problem als relevant erscheinen (z. B. die Wirkung einer zeitlichen Veränderung eines Objekts auf andere verknüpfte Objekte). Dadurch kann sichergestellt werden, dass möglichst viele Informationen in dem Modell berücksichtigt worden sind. Ähnliche Anwendungen von Prinzipien finden sich bei TRIZ¹ (ALTSCHULLER 1984) oder in der Checkliste von Osborn² (OSBORN 1957) wieder.

5.4.3 Bewertung von Information und Informationslücken identifizieren

Durch die Anwendung der Prinzipien können mögliche Informationen auf ihre Relevanz hin geprüft werden, d. h., dass durch die Prinzipien ein Spektrum an potenziell interessanten Informationen identifiziert wird. Dabei bestimmt jedoch die Situation, was als wichtig erachtet wird.

Wenn ein Prinzip nicht angewendet werden kann, ist das ein Hinweis darauf, dass spezielle Informationen nicht erarbeitbar sind oder dass die Objekte oder Relationen, die man beeinflussen bzw. verändern wollte, weder beeinflussbar noch erhebbar sind.

5.4.4 Kette der Modellerstellung

Bei der Anwendung der Prinzipien kann eine Reihenfolge von Modellen erarbeitet werden, die auch die in Kapitel 4.2 angesprochene Ähnlichkeit berücksichtigt. Es kann entweder

¹ Auszug der 40 Prinzipien von TRIZ: Prinzip der Zerlegung; Prinzip der Abtrennung; Prinzip der örtlichen Qualität; Prinzip der Asymmetrie; Prinzip der Kopplung; Prinzip der Universalität; Prinzip der "Steckpuppe" (Matrjoschka); Prinzip der Gegenmasse; Prinzip der vorherigen Gegenwirkung; Prinzip der vorherigen Wirkung; Prinzip der Funktionsumkehr; Prinzip der Dynamisierung, Prinzip der periodischen Wirkung

² Anpassen, Verändern, Ersetzen, Vergrößern, Verkleinern, Umordnen, Umkehren, Kombinieren

eine Erweiterung eines Modells innerhalb eines Detaillierungsgrads stattfinden oder eine Überführung in die nächste Detaillierungsstufe erfolgen.

Die Erarbeitung der Reihenfolge orientiert sich neben dem Kenntnisstand zu den Modellen auch an einer strategischen Anwendung. Hier kann zwischen zwei Fällen unterschieden werden:

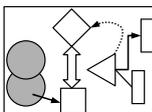
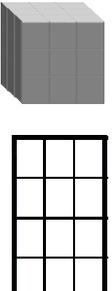
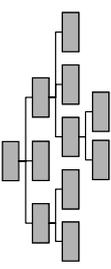
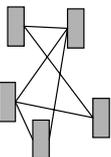
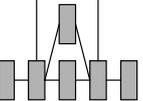
- Eine Reihenfolge von Modellen, die sich durch sehr ähnliche Charakteristika auszeichnet. Dadurch erscheint es plausibel, dass Informationen aus anderen Modellen wiederverwendbar sind; so kann eine schnelle Produktentwicklung unterstützt werden. Solche Modellketten finden sich bereits in umfangreichen Methoden (z. B. Szenariotechnik nach GAUSEMEIER et. al 1995) wieder, bei der u. a. eine Matrix und eine Portfoliodarstellung nacheinander eingesetzt werden.
- Alternativ steht eine Reihenfolge von Modellen zur Verfügung, die sich durch heterogene Charakteristika auszeichnet, d. h., die Modelle die aufeinander folgen, erfordern unterschiedliche Informationen. So ist eine höhere Absicherung möglich, da unterschiedliche Sichtweisen beleuchtet werden. Damit geht jedoch einher, dass eine längere Produktentwicklungszeit in Kauf genommen werden muss.

Auf diese Art und Weise wird das Individuum in die Lage versetzt, sich Gedanken über den Einsatz einer Methode zu machen, da die Anwendung eines Modells als vorbereitende Tätigkeit für die Anwendung eines anderen Modells verstanden wird.

Greift man sich die Überführung von einem Modell zu einem anderen als einen Spezialfall heraus, so muss man sich bewusst machen, dass u. U. Informationen verloren gehen, bzw. nicht weiter verwendet werden (können). Die Ähnlichkeit der Modelle wird im Anhang unter Kapitel 9.3 vorgestellt.

5.4.5 Modellierungssprache zusammenstellen

Aus den unterschiedlichen Gebieten (z. B. der Logik) werden teilweise Vorschläge bereitgestellt, wie die Modelle in einer grafischen Darstellung aussehen können. Im Folgenden wird dies für die Prinzipien 1 bis 5 nicht vorgestellt, da bei diesen eine geringere grafische Ausdrucksmöglichkeit besteht, die teilweise durch die Visualisierung der Prinzipien 6 bis 13 implizit mit geschieht. Basierend auf diesen Darstellungsvorschlägen ist das Individuum in der Lage, eine individuelle Modellsprache – durch die morphologische Kombination – zusammenzustellen. Durch die Kombination lassen sich daraus die bestehenden standardisierten Modelle extrahieren oder es ergeben sich neue Kombinationsmöglichkeiten, sodass ein individuelles Modell entsteht.

<p>6. Prinzip der Objekt-perspektive</p>	<p>a) Technische Anforderungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Qualität • Festigkeit • Lebensdauer • Montierbarkeit • Verschleiß <p>g) Aufgabenerkunft</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produktplanung • Kundenauftrag • Fertigungs- und Prüfbereich • Konstruktionsauftrag 	<p>b) Technische Umgebung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sonderwerkzeuge • Transportprobleme • Wartung • Instandhaltung • Einbaubedingungen <p>h) Fertigung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einzel- und Kleinteilfertigung • Serien- und Massenfertigung 	<p>c) Umwelt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsschutz • Ergonomie • Design • Sicherheit • Recycling <p>i) Ziele</p> <ul style="list-style-type: none"> • Funktionsoptimierung • Kostenminimierung • Designbetonung • Gewichtsminimierung 	<p>d) Gesetze, Normen, Patente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schutzrechte • Anschlussmaße • Werkstoffvorschriften • TÜV • Garanzzeit <p>j) Branche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maschinenbau • Elektrotechnische Industrie • Chemie- und Verfahrenstechnik • Software 	<p>e) Zeit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Terminplan • Zulieferer • Inbetriebnahmezeit • Reparaturzeit • Versuchszeit <p>k) Markt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kunden • Länder • Zielgruppen 	<p>f) Personal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zuarbeit • Beratung • Schulung • Werbung • Kundendienst
<p>7. Prinzip der Darstellungsform</p>	<p>a) Textlich</p> <p>ABCABCABC ABCABCABC ABCABCABC ABCABCABC ABCABCABC</p>	<p>b) Grafisch</p> 	<p>b) Proportional</p> <p>Aussage: Wenn A, dann C Annahme: A Schlussfolgerung: C (?)</p> <p>Aussage: Wenn A, dann C Annahme: C Schlussfolgerung: A (?)</p> <p>Aussage: Wenn A, dann C Annahme: $\neg A$ Schlussfolgerung: C (?)</p> <p>Aussage: Wenn A, dann C Annahme: $\neg C$ Schlussfolgerung: A (?)</p>	<p>c) Probabilistisch</p> <p>0%-100% Prozentuale Abschätzung</p> <p>d) Logisch</p> <ul style="list-style-type: none"> • \wedge Konjunktion • \vee Disjunktion • \neg Negation <p>e) Morphologisch</p> 	<p>f) Klassifikation</p> <p>Alle (A)</p> <p>Kein (K)</p> <p>Einige (E)</p> <p>Einige nicht (EN) Partiiell vermeinend</p>	
<p>8. Prinzip der Verknüpfungs-klasse</p>	<p>a) Kausal</p> <p>Direkte Ursache Kausalkette</p> <p>Alternative Ursache</p> <p>Multiple Wirkung</p> <p>Komplexe Ursache</p> <p>Hemmende Ursache</p> <p>Wechselwirkung</p> <p>Kausalzyklus</p>	<p>a) Hierarchisch</p> 	<p>b) Vernetzt</p> 	<p>c) Information/Signal</p>		
<p>9. Prinzip der Verknüpfungsstruktur</p>	<p>a) Energie</p> <p>-----</p>	<p>b) Stoff</p> <p>_____</p>	<p>c) Prozessual</p> 			
<p>10. Prinzip des transportierten Inhalts</p>	<p>a) Energie</p> <p>-----</p>	<p>b) Stoff</p> <p>_____</p>	<p>c) Information/Signal</p> <p>_____</p>			

11. Prinzip der Verknüpfungswirkung	a) Zeitliche Wirkung		b) Funktionale Wirkung		c) Bedeutung		
	unmittelbar	kurzfristig	mittelfristig	langfristig	0-1	0-1-2-3	0-1-3-9/0-1-1,5-1,7
12. Prinzip der Verknüpfungsrichtung	a) Räumliche Wirkung		b) Homomorphismus		c) Kardinalität		
	keine	gering	mittel	groß	[1,1]	[0,1]	keine oder genau eine c (von can = kann)
13. Prinzip der Detaillierung einer Verknüpfung / eines Objekts	a) quantitativ		b) qualitativ		c) Kardinalität		
	0	1	***,***	ordinal	Information	[1,1]	genau eine 1 (von eindeutig)
		A>B>C		Energie		[1,1]	keine oder genau eine c (von can = kann)
		Verhältnis		Stoff		[1,1]	keine oder genau eine c (von can = kann)
		absolut		Eigenschaft		[1,1]	keine oder genau eine c (von can = kann)
		absolut		Eingangsgroßen		[1,1]	keine oder genau eine c (von can = kann)
				Ausgangsgroßen		[1,1]	keine oder genau eine c (von can = kann)
				Anzeige		[1,1]	keine oder genau eine c (von can = kann)
				Überwachungsgeräte		[1,1]	keine oder genau eine c (von can = kann)
				Kosten		[1,1]	keine oder genau eine c (von can = kann)
				Herstellkosten		[1,1]	keine oder genau eine c (von can = kann)
				Werkzeugkosten		[1,1]	keine oder genau eine c (von can = kann)
				Amortisation		[1,1]	keine oder genau eine c (von can = kann)
				Stückkosten		[1,1]	keine oder genau eine c (von can = kann)

5.5 Fazit

Im Rahmen der Entwicklung von Prinzipien wurden fünf allgemeine Prinzipien aus der Problemanalyse (z. B. das Prinzip der Systemgrenze) sowie acht modelladaptierende Prinzipien (z. B. das Prinzip des transportierten Inhalts) abgeleitet. Die allgemeinen Prinzipien können auch in anderen Bereichen (z. B. Anforderungskklärung) Verwendung finden; die Prinzipien für die Modelladaption wurden für den speziellen Fall der individuellen Modellbildung abgeleitet und basieren auf den Eigenschaften, die sich andere Modelle für die Analyse eines Problems zunutze machen.

Für die Anwendung der Prinzipien wurden unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten identifiziert (z. B. Identifikation von Informationslücken). Die beschriebenen Einsatzmöglichkeiten sollen die breite Anwendungsmöglichkeit verdeutlichen, wobei weitere Verwendungszwecke nicht ausgeschlossen werden sollen.

Ebenso wie bei der Identifikation der Charakteristika in Kapitel 4 kann durch eine Betrachtung weiterer Modelle die Anzahl der Prinzipien erweitert werden. Die vorgestellten Prinzipien müssen für eine produktive Anwendung an die Randbedingung des Individuums angepasst werden. Hierzu gilt es u. a. zu berücksichtigen, welche Modelle in dem Unternehmen des Individuums zum Einsatz kommen, bzw. welche Erfahrungen mit diesen gesammelt worden sind.

6 Anwendung der Prinzipien in der Praxis

Um die Informationen für die Problemlösung zusammenzutragen, hat sich ein Vorgehen in der Industrie herauskristallisiert, das sich durch alle nachfolgenden praktischen Anwendungen der Prinzipien durchzieht. Diese stammen aus der Antriebstechnik, Zulieferindustrie, Medizintechnik und Verkehrstechnik. Neben der Methodenanwendung für die Modellerstellung werden auch die Schwierigkeiten betrachtet, die bei der jeweiligen Modellerstellung zu bewältigen sind. Abgeschlossen wird mit einer Diskussion des prinzipiengestützten Ansatzes aus der wissenschaftlichen Perspektive.

6.1 Vorgehen bei der Modellierung

Die folgenden vier Schritte spiegeln wider, wie sich das Vorgehen bei der Anwendung im Rahmen der Praxisbeispiele dargestellt hat, sodass eine Unterscheidung nach Zieldefinition, Sprachdefinition, Informationserhebung sowie einer Verifikation und Reflexion vorgenommen werden kann.

	Vorgehen für die Erarbeitung des Modells	Tätigkeiten bei der Durchführung
1	Zieldefinition	Kriterien und Prioritäten festlegen, Randbedingungen definieren
2	Sprachdefinition	Form und weitere Verwendung des Ergebnisses bestimmen
3	Informationserhebung	Implizite Informationen erfassen, Checklisten erarbeiten
4	Verifikation und Reflexion	Ergebnisqualität und Vorgehen reflektieren

Bild 6-1: Beobachtetes Vorgehen bei der Erarbeitung eines Modells in der Praxis

6.1.1 Zieldefinition

Die Zieldefinition findet durch die Beschreibung der auszuwählenden Charakteristika (welche Objekte und welche Relationen sind in dem Modell abzubilden) statt. Dadurch

kann das Modell anhand der definierten Charakteristika daraufhin überprüft werden, ob die beabsichtigten Informationen erarbeitet worden sind. In der Zieldefinition werden die oftmals unklaren, zu anspruchsvollen oder sogar widersprüchlichen Vorstellungen der Initiatoren eines Projekts deutlich. Durch das Ziel ist man in der Lage, das zu erarbeitende Modell mithilfe anderer Individuen zu erstellen; dadurch werden die Handlungen der Individuen gelenkt.

Anhand der Ziele kann festgestellt werden, welche Sichten und Kompetenzen für die erfolgreiche Bearbeitung des Problems erforderlich sind, sodass auch die Randbedingungen näher beschrieben werden können. Durch die Ziele wird eine Trennung zwischen wesentlichen und unwesentlichen Eigenschaften des Problems ermöglicht.

Die Ziele müssen mit anderen Zielen in Verbindung gebracht werden, damit das Teilziel in das Gesamtziel eingeordnet werden kann; Teilziele müssen definiert werden, um eine Abweichung von dem Gesamtziel frühzeitig zu erkennen.

6.1.2 Sprachdefinition

Obwohl im Mittelpunkt der vorangegangenen Diskussion die Unterstützung des Individuums stand, wird in der Praxis das Ergebnis einer Handlung in der Regel mehreren Individuen zukommen. Damit das Ergebnis in Handlungen anderer Individuen eingesetzt werden kann, wird im Rahmen der Anwendung in der Industrie die eingesetzte gesprochene Sprache identifiziert und angewendet. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Ergebnisse weiterverwendet werden können, sodass die Objekte und Relationen sich an der Unternehmens- und Individuensprache anlehnen. Die eingesetzte gesprochene Sprache setzt sich aus der Fachsprache des Unternehmens zusammen, jedoch auch aus den für Probleme bereits eingesetzten Modellen.

6.1.3 Informationserhebung

Die Informationen stellen die Grundlage für die Erarbeitung eines Modells dar und können über unterschiedliche Quellen Einzug in das Modell finden. In den aufgeführten Praxisbeispielen wurden Checklisten, Interviews¹, Prinzipien und abschließende Hypothesenbildung² oder die Durchführung eines diskursiven Workshops¹ herangezogen.

¹ Zustandsfragen (Wie viel?), Abhängigkeitsfragen (Wovon abhängig?), Effektf Fragen (Was bewirkt?), Komponentenfragen (Was gehört [nicht] dazu?), Subordinationsfragen, Superordinationsfragen (Was ist unter- oder übergeordnet?) (FUNKE 2003, S. 172)

² Hypothesen können den bereits vorgestellten deduktiven Schlussfolgerungen zugeordnet werden.

6.1.4 Verifizierung und Reflexion

Eine Verifizierung von Objekten und Relationen findet durch die Anwendung der Prinzipien statt, indem Schlussfolgerungen abgeleitet und die Falsifikation bzw. Verifikation von Hypothesen bestätigt wird. Bei der Anwendung des hier vorgestellten prinzipiengestützten Ansatzes der Analyse steht meist eine Anwendung der Prinzipien in einer Kleingruppe (2-3 Personen) im Mittelpunkt. Der streng individuelle Gedanke lässt sich in der Praxis lediglich in so fern umsetzen, dass sich die Individuen als Vorbereitung an den Prinzipien orientieren; Einzelergebnisse der Individuen durch die Prinzipien werden im Folgenden nicht vorgestellt.

Die Verifizierung der Modelle findet durch einen Plausibilitäts- oder Sensibilitätstest statt. Bei dem Plausibilitätstest werden Verbindungen hinzugefügt oder weggelassen und die Auswirkung untersucht. Der Sensibilitätstest untersucht die bestehenden Objekte und Relation in Bezug auf Veränderungen der Eingangsinformationen.

6.2 Anwendung des prinzipiengestützten Ansatzes

In diesem Kapitel werden vier Beispiele behandelt. Eine erste Anwendung im Anlagenbau dient dabei als Machbarkeitsstudie; hier werden Informationen zu einem Produkt (Kosten, Gewicht, Funktionen) aus unterschiedlichen Quellen zusammenfassend dargestellt, um eine Änderung von Informationen in einem gesamten Kontext beurteilen zu können.² Ein weiteres Beispiel eines Automobilzulieferers dient dazu, die breite Anwendungsmöglichkeit der erarbeiteten Prinzipien zu betrachten. Hierzu wird zum einen die Produktkomplexität (Anzahl der Relationen und Objekte) im Vergleich zur ersten exemplarischen Anwendung im Anlagenbau gesteigert; zum anderen werden die Gedanken auf eine prozessuale Problemstellung angewendet. Bei dem Beispiel der Erarbeitung eines Prototyps für Verkehrsmittel steht der Produktentwickler bei dem Umgang mit den Prinzipien im Mittelpunkt, sodass mehr die Anwendung der Prinzipien betrachtet wird, als die grafische

¹ Dieser Ansatz zeichnet sich durch die gezielte Diskussion in drei Gruppen (z. B. Innovationsfähigkeit) aus, die wiederum in 17 Kriterien unterteilt sind (z. B. Kooperation der Individuen, Organisationskultur) aus. Das Vorgehen bedient sich im wesentlichen spezifischen Fragestellungen, mit deren Hilfe die beteiligten Personen die Beschreibung von Situationen mit ihren Vor- und Nachteilen diskutieren sollen. Nach dem vermeidlichen Ende der Diskussion werden die Teilnehmer gebeten, die Güte des diskutierten Teilaspekts auf einer Skala einzuschätzen, wodurch die Diskussion nochmals vertieft wird. Vorsicht bietet sich bei der Interpretation der quantifizierten Werte an, die u. U. lediglich qualitativen Charakter aufweisen. Der Ansatz leitet sich aus dem EFQM Modell ab (LINDEMANN et al. 2002).

² U. a. durchgeführt und dokumentiert durch die Semestarbeiten von MÜLLER (2002) und DEUBZER (2002).

Umsetzung.¹ Im letzten Beispiel wird ein Operationshilfsmittel in der Medizintechnik entwickelt, das bei Knieprothesen eingesetzt wird.² Das Beispiel wird herangezogen, um aufzuzeigen, dass auch ohne Anwendung von Prinzipien eine erfolgreiche Produktentwicklung durchgeführt werden kann, sobald man standardisierte Modelle heranzieht.

6.2.1 Neues Konzept im Anlagenbau

Ziel

Im Anlagenbau gibt es technische Einrichtungen, um eine Turbine aus dem Stillstand heraus zu beschleunigen. Da die Turbinen immer größere Abmessungen annehmen, ist es Ziel des Projekts, ein Konzept zu erarbeiten, das den neuen Randbedingungen Rechnung trägt (z. B. schnelle Beschleunigungszeiten trotz hoher Massenträgheit der Turbinen). Nachdem das Projekt abgeschlossen wurde, ging es um eine Machbarkeitsuntersuchung, bei der die zusammenfassende Darstellung von Informationen untersucht werden sollte. Dadurch sollte die Wirkung einer Änderung (z. B. einer Funktion oder eines Bauteils) in einem umfassenden Umfeld beurteilt werden.

Randbedingungen

Im Rahmen einer Reihe von Workshops wurden Informationen wie z. B. Kosten, Funktionen oder Bauteile zusammengetragen. Der Zugang zu diesen Informationen war ständig möglich, sodass jede erforderliche Information recherchiert und dem gesamten Kontext zugeordnet werden konnte.

Vorgehen bei der Modellerstellung

Während der Analyse wurde ein prozessuales und ein vernetztes Funktionsmodell sowie eine Bauteilstruktur aus den vorhandenen Informationen erarbeitet. Die bauteilbezogenen Informationen über z. B. Gewicht, Kosten konnten direkt zugeordnet werden; funktionsbezogene Informationen wie z. B. nützliche und schädliche Funktionen oder auch die gegenseitige Beeinflussung konnten ebenso berücksichtigt werden. Auf diese Art entstanden ein Funktionsmodell und Bauteilmodell bei denen die Informationen aus unterschiedlichen Quellen zusammengetragen werden konnten.

¹ U. a. durchgeführt und dokumentiert durch die Semestarbeit von MÜLLER (2004)

² U. a. durchgeführt und dokumentiert durch die Semestarbeit von SAFFARI (2004)

Schwierigkeiten

Bei der Zusammenführung von Informationen des vernetzten und des prozessualen Funktionsmodells steht eine Entscheidung an, ob die Informationen des vernetzten Funktionsmodells an das prozessuale angehängt werden oder vice versa. Beide Alternativen sind gleichberechtigt und es war hier das subjektive Empfinden der beteiligten Individuen, dass ein prozessualer Grundaufbau, bei dem die vernetzten Informationen integriert werden, die bessere Alternative für die Visualisierung darstellt.

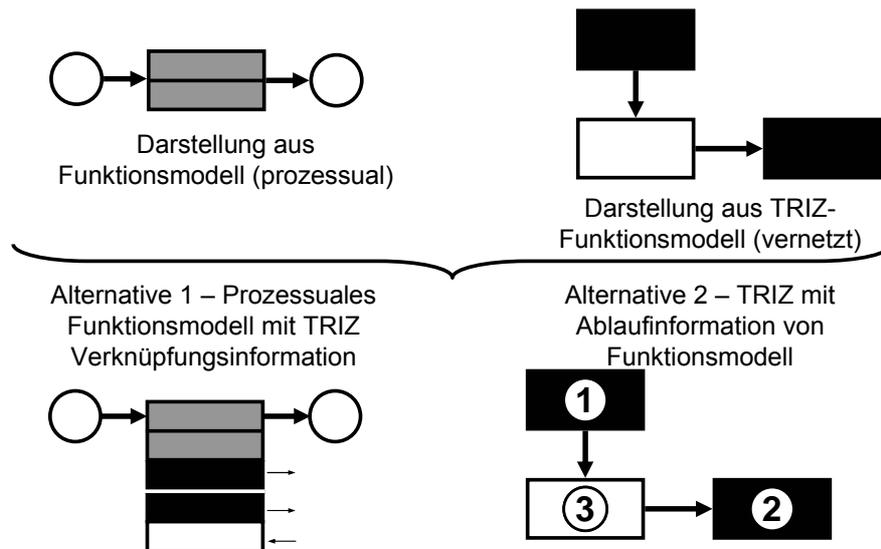


Bild 6-2: Konflikt bei der zusammenfassenden Darstellung von prozessualen und vernetzten Informationen des Funktionsmodells

Da es sich in dem vorliegenden Fall um einen ersten prinzipiellen Versuch der Modellierung von Informationen aus unterschiedlichen Quellen handelt, wird hier die Schwachstelle eines mangelnden Automatismus deutlich. Dies lässt sich zum einen auf die geringe Erfahrung, wie die Objekte und ihre Relationen grafisch anzuordnen sind, zurückführen. Zum anderen liegt die Ursache in den sich ändernden Informationen, die eine Adaption des gesamten Modells nach sich ziehen. So werden z. B. die Informationen über Kosten der Bauteile herangezogen, um eine Sortierung durchzuführen, eine Sortierung nach einem neuen Aspekt ergibt eine abweichende Reihenfolge. Dies führte dazu, dass die Bauteile später gar nicht mehr sortiert, sondern die Informationen gemäß einer ABC-Analyse unterschiedlich gefärbt werden.

Ergebnis

Ergebnis ist die Zusammenstellung aller erarbeiteten Informationen auf einem Blatt Papier, sodass die Informationen „manuell“ integriert werden. Auf diese Weise ergibt sich die Darstellung einer hierarchischen Baustruktur sowie eines ablauforientierten Funktionsmo-

dells, die über die realisierten Funktionen eines Bauteils miteinander in Verbindung stehen. Bei dem ablauforientierten Funktionsmodell wird neben dem Ablauf auch die Beeinflussung auf andere Funktionen abgebildet, indem der Funktion Felder hinzugefügt werden:

- Weiße Felder für Verknüpfung zu einer anderen Funktion
- Schwarze Felder für Verknüpfungen von einer anderen Funktion.

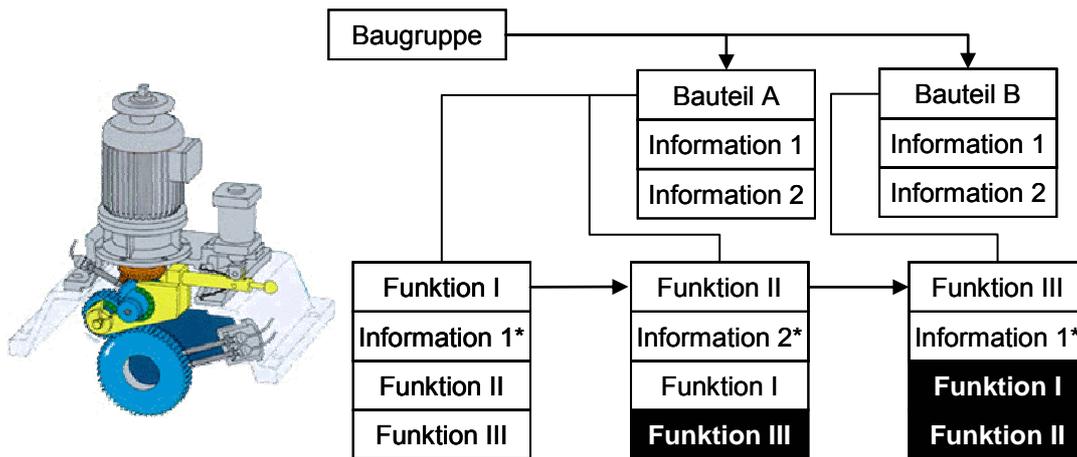


Bild 6-3: Darstellung des Ergebnisses im Rahmen eines Projekts in der Antriebstechnik

Für die Erarbeitung der Inhalte sind folgende Prinzipien von Interesse:

- Prinzip der Darstellungsform: Die Entscheidung fiel auf eine grafische Darstellung, da sich dadurch – aus Sicht der Beteiligten – die Informationen aus den Quellen am einfachsten zuordnen ließen.
- Prinzip der Verknüpfungsrichtung: Bei der Analyse der Zusammenhänge wurden Relationen innerhalb eines Bereichs (z. B. zwischen Bauteilen oder zwischen Funktionen) und bereichsübergreifend (hier zwischen Bauteilen und Funktionen) dokumentiert.
- Prinzip der Detaillierung: Wurde dadurch realisiert, dass Informationen wie z. B. Kosten, Gewicht und Material Bauteilen zugeordnet worden sind. Diese bauteilbezogenen Informationen wurden auf Funktionen übertragen, so z. B. die Funktionskosten oder das Funktionsgewicht.

Schlussfolgerung

Die vorhandene Informationsbasis wird herangezogen, eine Verbindung beider Modelle – Funktions- und Bauteilmodell – ermöglicht eine Betrachtung der bauteilbezogenen Informationen aus funktionaler Sicht. Auf diese Weise können fiktive Funktionskosten oder -gewichte erarbeitet werden; umgekehrt kann festgestellt werden, ob Bauteile tendenziell

nützliche oder schädliche Funktionen realisieren. Auch wenn diese Form der Informationsübertragung wissenschaftlich nicht abgesichert ist, liefert sie dennoch eine interessante Sicht auf die Funktionen und Bauteile. Dies führt zu der Frage, ob für die Realisierung einer Nebenfunktion wirklich hohe Kosten gebunden werden sollen oder ob es sich hier um ein Optimierungspotenzial handelt.

6.2.2 Produkt- und Prozessanalyse bei Zulieferer

Ziel

Im Mittelpunkt steht die Anwendung einer matrixgestützten Analyse, bei der Objekte auf ihre gegenseitige Beeinflussung hin untersucht werden. Als Untersuchungsgegenstand im Rahmen des Projekts stehen zum einen Bauteile und Systemfunktionen zur Verfügung, zum anderen Prozessschritte mit verwendeten Dokumenten und beteiligten Abteilungen. Im ersten Fall steht die Identifikation von Bauteilen an, die als Standardbauteile über mehrere Abgasanlagen hinweg ausgelegt werden können; im zweiten Fall handelt es sich um eine Analyse bezüglich der Konsistenz der im Unternehmen bereits vorliegenden Prozessbeschreibung. Darüber hinaus soll das Modell der Prozessbausteine (BICHLMAIER 2000) auf seine Anwendbarkeit hin überprüft werden, die sich an die SADT-Modellierung anlehnt und sich die Kompatibilität von Prozessschritten über Ein- und Ausgangsinformationen zunutze macht.

Randbedingungen

Bei der Untersuchung des Produkts werden ca. 50 Bauteile (z. B. Nachschalldämpfer) sowie ca. 40 Funktionen (z. B. Schwingung beeinflussen) auf ihre Abhängigkeiten hin untersucht (bauteilinterne, funktionsinterne und übergreifende Relationen). Eine Herausforderung besteht in der Definition der relevanten Funktionen und der Klärung des jeweiligen Begriffsverständnisses, da sich durch die Beteiligung von mehreren Abteilungen – als Folge der Sichtweise in Bezug auf das gleiche Produkt – differenzierte Begriffsverständnisse gebildet haben.

Das Unternehmen hat im Rahmen der Zertifizierung nach ISO9000 u. a. seine Prozessschritte in der Entwicklung dokumentiert, die 50 einzelnen Prozessschritte wurden jedoch nicht miteinander in Verbindung gebracht. Die vorhandenen Eingangs- und Ausgangsinformationen konzentrieren sich auf den Zugriff auf eines oder mehrere der 85 Prozessdokumente und Datenbankzugriffe. Diese Prozessschritte werden intranetbasiert allen Mitarbeitern im Unternehmen zur Verfügung gestellt, mit dem Ziel, ein einheitliches Prozessverständnis aufzubauen.

Vorgehen bei der Modellerstellung

Bei der Explizierung der Relationen in einer Matrix zwischen Bauteilen und Funktionen wurden mehrere abteilungsübergreifende Besprechungen einberufen; bei denen jeweils die gleichen Personen anwesend waren, um dasselbe Begriffsverständnis über die Beurteilung der Relationen sicherzustellen. Die Relationen wurde ungewichtet bewertet, d. h., es wurde nur beurteilt, ob eine Relation zwischen Bauteilen vorliegt; eine Unterscheidung wie intensiv diese Relation ist, wurde nicht getroffen, um Diskussionen und damit Bearbeitungszeit einzusparen.

Ebenso wie bei der Produktanalyse wurde bei der Prozessanalyse die Matrix herangezogen. Wurden bei der Produktanalyse die Relationen aus der Kommunikation mit Mitarbeitern gewonnen, so wurden die Relationen bei der Prozessanalyse lediglich auf Basis der vorliegenden Prozessdokumentation abgeleitet.

Schwierigkeiten

Obwohl die Matrix eine weit verbreitete Methode darstellt, ist die Erarbeitung eines unmittelbaren Nutzens für den Industriepartner nicht trivial. Die Auswertung der Bauteile und Funktionen, die einen wesentlichen Einfluss auf das gesamte System der Abgasanlage haben, scheint nicht auszureichen. Bei dem Ausfüllen der Matrix wird beobachtet, dass mit den verwendeten Begriffen zu Beginn noch sehr unscharf umgegangen wird. Auf diese Weise liegt beim Ausfüllen zu Beginn ein anderes Verständnis vor, als beim Ausfüllen der letzten Verknüpfungen.¹ Für die Bauteile und Funktionen wird versucht, ein Komplexitätsmaß abzuleiten, um die Sensibilität bei Änderungen besser einschätzen zu können. Gedanken zu einem linearen oder polynomischen Zusammenhang mussten aufgegeben werden, da die Aussagekraft nicht intensiver hinterfragt werden konnte. Nichtsdestotrotz werden die Gedanken zu dem Komplexitätsgrad im letzten Abschnitt des Anhangs aufgeführt.

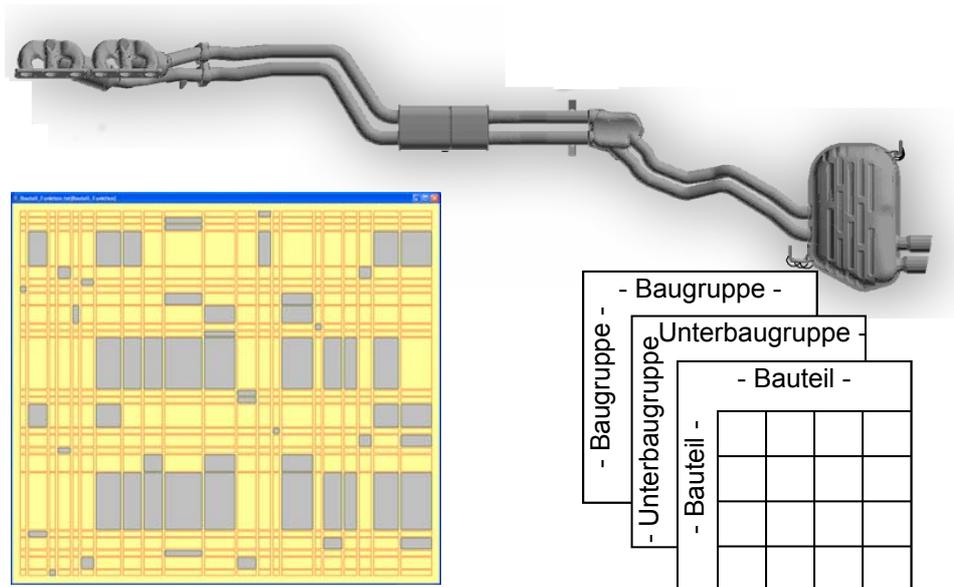
Bei der Prozessanalyse wird eine Nummerierung der Teilprozesse angewendet, dies deutet auf eine Ordnung der Teilprozesse nach Abteilungen und Hierarchieebenen hin, die sich im späteren Verlauf als nicht konsistent und damit als nicht verwendbar erweist. Die Darstellung der Teilprozesse wird auf unterschiedlichen Hierarchieebenen sowie von unterschiedlichen Personen durchgeführt. Die damit verbundenen Differenzen des Detaillierungsgrades und der verwendeten Begriffe erschweren ebenfalls die genaue Zuordnung der Teilprozesse zueinander. Die Analyse von Dokumenten und die nur geringe Anzahl von Besprechungen zur Verifizierung der Hypothesen impliziert eine Reihe an Vermutungen, sodass die erarbeiteten Ergebnisse nicht den angestrebten abgesicherten Stand erreichen konnten.

¹ Diese Aussage lässt sich nicht nur bei diesem Beispiel erkennen, sondern ist bereits ein von der Forschung abgesichertes Phänomen (STROHSCHNEIDER 1988, S. 13).

Ergebnis

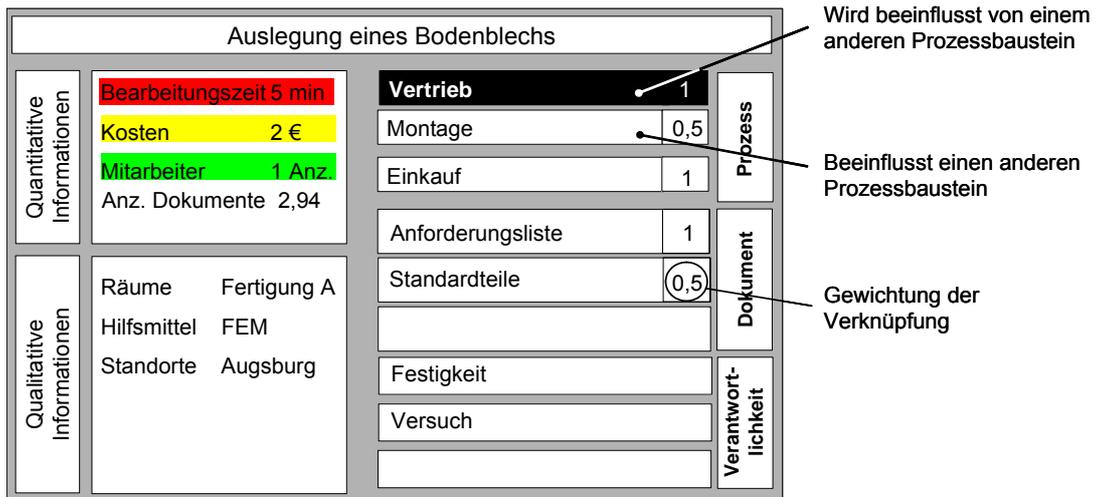
Die Analyse erfordert ein Hilfsmittel, das über einen Automatismus verfügt, um sich ständig ändernde Zusammenhänge analysieren zu können. Hierzu wird ein Programm in Microsoft[®] Excel entwickelt¹, das die Grundsätze der Matrix umsetzen kann. Erweitert wird der klassische Ansatz der Matrix um die Abbildung von unterschiedlichen Hierarchieebenen und einfachen Analysen (z. B. ABC-Analyse, Portfoliodarstellung, bidirektionale Relationen) sowie einer zusammenfassenden Darstellung aller betrachteten Informationen (z. B. semantische Übersicht, bei der die Bauteilinformationen zusammengetragen werden, oder auch systemische Übersicht, bei der die Relationen zwischen Bauteilen und Funktionen über unterschiedliche Hierarchieebenen zusammengetragen werden). Hervorzuheben ist die breite Einsatzmöglichkeit des Programms, das nicht nur für eine Produktanalyse, sondern auch für beliebig viele andere Untersuchungsgegenstände herangezogen werden kann (z. B. Prozessanalyse). Das Programm hat den Vorteil, dass das erarbeitete Ergebnis in Microsoft[®] Excel den Teilnehmern der Besprechung übergeben werden kann, ohne dass eine andere Software zu installieren oder zu erlernen ist. Die Darstellung der Ergebnisse aus dem Microsoft[®] Excel-Programm wird um ein Java[™]-Programm der Universität Augsburg ergänzt, bei der eine Clusteranalyse z. B. bei der Produktanalyse hilft, die Möglichkeit einer Integral- oder Differenzialbauweise abzuschätzen. Bei der Prozessanalyse werden hauptsächlich Schwierigkeiten bei der mangelnden Interaktion durch die Eingangs- und Ausgangsinformationen identifiziert.

¹ Verknüpfungs-Analyse Tool = VerA Tool



Clusteranalyse und ABC-Analyse der Zusammenhänge über die Objektperspektive hinaus (Bauteile, Funktionen)

Beeinflussung von gleichen Objekten auf unterschiedlichen Hierarchieebenen



Zusammenfassende Darstellung von Informationen (hier: Prozess)

Bild 6-4: Darstellung der Ergebnisse bei Zulieferer in Automotivbranche

Folgende Prinzipien sind dabei von Interesse:

- Prinzip der Systemgrenze: Dies wurde hier gezielt eingesetzt, indem man zu Beginn der Analyse die Zusammenhänge auf alle Varianten aufgeweitet hat. Dadurch ist bei der Auswertung eine Interpretation der Ergebnisse erschwert worden, sodass das Prinzip hier nicht optimal eingesetzt worden ist.
- Prinzip der Objektperspektive: Durch die Anwendung dieses Prinzips konnte identifiziert werden, dass zwei Abteilungen die Verknüpfung anders definiert haben

(Abteilung A hat doppelt (!) so viele Verknüpfungen definiert wie Abteilung B). Zusätzlich ist man dazu übergegangen, den klassischen Ansatz der Matrix nicht nur auf einer Hierarchieebene anzuwenden, sondern auch über Hierarchien hinweg.

Schlussfolgerung

Die Informationsaufnahme der Zusammenhänge für die Matrix nahm wesentlich mehr Zeit in Anspruch, als dies im Voraus eingeschätzt wurde. Für die Diskussionen mit Beteiligten aus drei Abteilungen werden ca. vier Tage beansprucht. Darüber hinaus hat sich eine Fehlerquelle bei der Diskussion der Zusammenhänge erwiesen, indem an mehreren gleichzeitig vorhandenen Eventualitäten (z. B. die Positionierung eines Sensors an mehreren Stellen bei unterschiedlichen Varianten der Abgasanlage) festgehalten wurde und die Zusammenhänge nicht an einem konkreten Beispielprodukt analysiert worden sind. Auch wenn die Analyse mittels der Unterscheidung „Relation vorhanden“ bzw. „nicht vorhanden“ bereits gute Ergebnisse liefert, kann eine Steigerung der Realitätsnähe durch gewichtete Zusammenhänge leichter erreicht werden.

Für die Prozessanalyse ergibt sich die Notwendigkeit, dass die Dokumentation der Prozessschritte nicht durch mehrere Personen durchgeführt werden kann, sondern redaktionell noch überarbeitet werden muss, um Detaillierungsgrad und einheitliche Begriffsverwendung sicherzustellen.

6.2.3 Verkehrsmittel für die tägliche Anwendung

Ziel

Vorhandene Klappräder sind bei geringem Gewicht kostspielig, darüber hinaus sind die Konzepte meist nur für Personen mittleren Größenperzentils ausgelegt. Aus diesem Grund ist ein kompaktes Gebrauchsrads mit normalen Rädern – und nicht mit Hartgummirädern ohne Schlauch – zu entwickeln, um ein annähernd gleiches Fahrverhalten zu erreichen wie bei den klassischen Rädern, die nicht zusammengeklappt werden können.

Randbedingungen

Es soll ein neues Konzept erarbeitet werden, bei dem die Ansprüche an den zu entwickelnden Prototypen, im Sinne einer möglichst realistischen Umsetzung, sehr hoch sind. Dazu sind ein neuer Klappmechanismus zu entwickeln und die entsprechenden Materialien zu definieren. Die Bearbeitung der Problemstellung findet durch einen methodenerfahrenen Entwickler statt, sodass auf einen guten Kenntnisstand aufgebaut werden kann.

Vorgehen bei der Modellerstellung

Die während des Entwicklungsprozesses erstellten Modelle bauten im Projektfortschritt aufeinander auf, sodass sowohl unidirektionale als auch bidirektionale Informationsflüsse zwischen den Modellen möglich sind, die in Form von Iterationsschleifen zur Modelloptimierung oder als Information für das weitere Vorgehen dienen. Hierunter ist zu verstehen, dass bei bidirektionalem Informationsfluss die Informationen für das Modell des jeweils nächst höheren Detaillierungsgrades als Voraussetzung gelten, der Rückfluss von Informationen jedoch lediglich unterstützenden Charakter für die Optimierung des vorhergegangenen Modells hat. Die Vernetzung der Modelle erfolgte dabei nicht nur in einer sukzessiven Folge, vielmehr wird in späteren Entwicklungsphasen oft wieder auf Informationen aus Modellen der Analysephase (z. B. des Zielkatalogs) zurückgegriffen.

Schwierigkeiten

In diesem Beispiel bestand im Wesentlichen eine Herausforderung in der Bestimmung des richtigen Detaillierungsgrads bei dem Funktionsmodell, sowie bei der weiteren Verwendung des Funktionsmodells. War das erste Funktionsmodell zu detailliert und hat damit nicht mehr die Kernfunktionen hervorgehoben (z. B. Helligkeit erzeugen für die Erarbeitung einer Fahrradlampe) war das anschließend erarbeitete Funktionsmodell zu abstrakt, sodass die ursprüngliche Aufgabenstellung sich nicht wiedergefunden hat. Das Funktionsmodell konnte erst dann weiter verwendet werden, nachdem Teile des Funktionsmodells durch Module von einander getrennt worden waren, sodass eine Teilbearbeitung ermöglicht worden ist.

Ergebnis

Die Forderungen nach geringem Gewicht und der Eignung für große Personen konnten erfüllt werden. Neben den konkreten Entwicklungsaufgaben wurde auch Wert auf die Dokumentation des Prozesses bzw. des Prozessfortschritts gelegt. Es wurde deutlich, dass ein dogmatisch starres Vorgehen nicht realisierbar ist, vielmehr basiert der Entwicklungsvorgang und damit die Erstellung der Produktmodelle auf einer Vielzahl von Iterationsschritten zwischen den einzelnen Phasen. Der Informationsstand konnte nur so kontinuierlich erhöht und qualitativ verbessert werden.

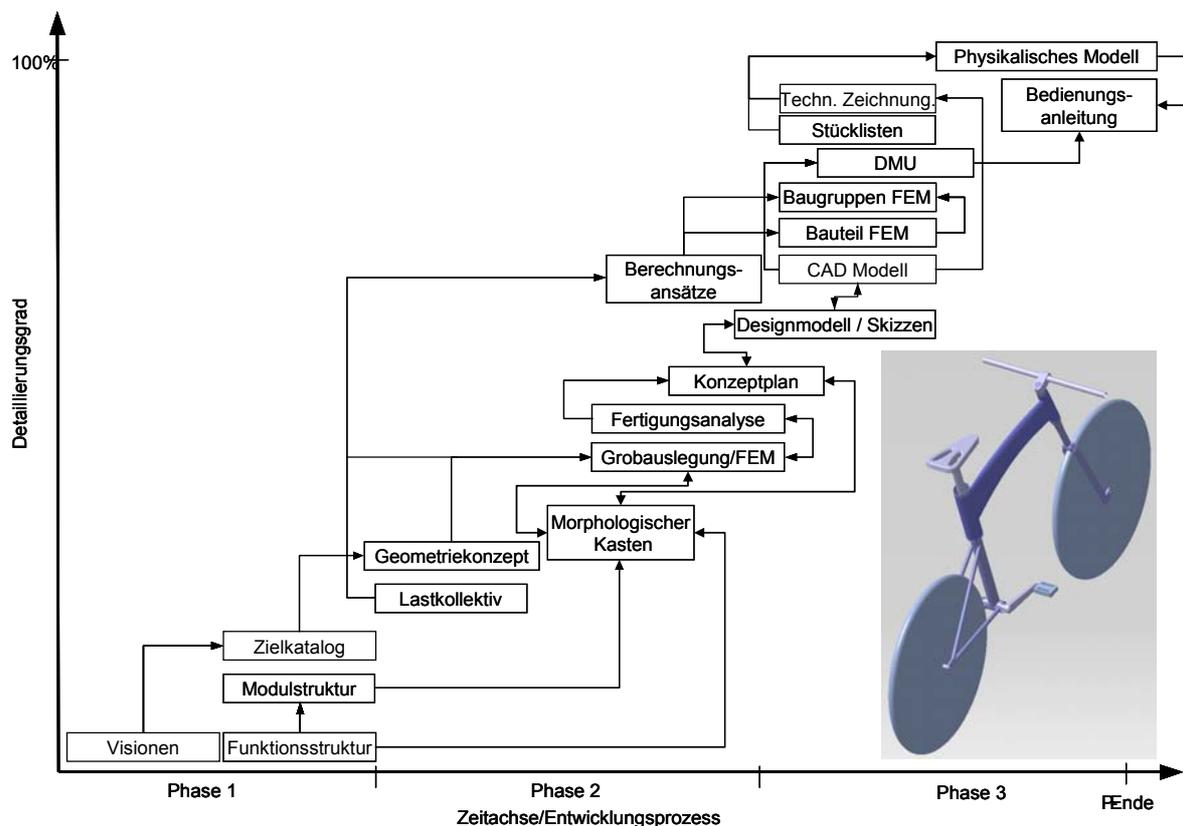


Bild 6-5: Überblick über die eingesetzten Modelle und Zwischenergebnisse im Rahmen der Entwicklung eines Verkehrsmittels

Die Modelle, die im Rahmen der Arbeit aufgegriffen worden sind, sind in Bild 6-5 zusammenfassend dargestellt. Zusätzlich wurde die Interaktion dokumentiert; welche Informationen zwischen den Modellen ausgetauscht worden sind und ob die Modelle eine Voraussetzung waren, um ein Modell zu erstellen oder ob es sich um eine Unterstützung bei der Modellerstellung handelte, bei der die Qualität des Modells gesteigert worden ist.

Angewendet wurden für die Entwicklung des Verkehrsmittels folgende Prinzipien:

- Prinzip des Anwendungsbereichs: Die Methoden, wie z. B. Morphologischer Kasten wurden an die Situation angepasst und aus Sicht des Entwicklers dahin gehend erweitert, dass die Morphologie über Hierarchieebenen hinweg – und damit wiederholt – angewendet worden ist. Dies steht im Gegensatz zu einer einmaligen Anwendung in einer spezifischen Entwicklungsphase.
- Prinzip der Verknüpfungswirkung: Da bei der Entwicklung eines Fahrrads teilweise keine mathematischen Zusammenhänge vorliegen, wurde eine tabellarische Gegenüberstellung gewählt, bei der die Veränderung einer Variablen auf eine andere abgebildet worden ist.

Schlussfolgerung

Die Anpassungen in dieser Produktentwicklung haben sich auf Ergänzungen – im obigen Sinne – beschränkt, sodass der Aufwand für den Einsatz der Modelle als nicht aufwendig sondern methodisch unterstützend eingeschätzt wurde. Besonders unterstützend war die bewusste Anwendung von Modellen, um sicherzustellen, dass unterschiedliche Aspekte über die Entwicklungsphasen hinweg von Relevanz sind.

6.2.4 Operationshilfsmittel in der Medizintechnik

Ziel

Ziel ist die Generierung von einem oder mehreren Prototypen medizinischer Operationshilfsmittel zur Durchführung von Knieprothesenoperationen. Herausforderung ist es, während der Fixierung, in der die erforderlichen Schnitte für die Knieprothese durchgeführt werden, eine Verschiebung des Operationshilfsmittels zu vermeiden. Aus wissenschaftlicher Sicht liegt das Interesse in der Analyse der Anwendung der eingesetzten Methoden und deren Modelle.

Randbedingungen

Die Randbedingung mit der größten Auswirkung auf die Durchführung des Projekts ist der zur Verfügung gestellte Zeitrahmen (im vorliegenden Beispiel zwei Monate). Des Weiteren sind Kenntnisse über die existierenden Methoden im Vorfeld der Entwicklung zu vermitteln, sodass mehr Zeit auf die Methodenschulung selber aufgewendet werden muss, als auf die eigentliche Adaption eines vorhandenen Methodenrepertoires.

Durch die Entwicklung eines neuen Konzepts kann nur in geringem Umfang auf Erfahrungen mit dem Operationshilfsmittel zurückgegriffen werden, lediglich die Schwachstellen des existierenden Produkts sowie der Operationsablauf sind bekannt.

Vorgehen bei der Modellerstellung

Zunächst wurde in interdisziplinären Besprechungen der Versuch unternommen, eine möglichst vollständige Anforderungssammlung an das Operationshilfsmittel durchzuführen; diese wurde um eine Klassifizierung und Gewichtung der Anforderungen erweitert. Anschließend wurde zunächst ein Funktionenhierarchiediagramm erstellt, das sich jedoch als nicht zweckmäßig herausstellte, da weder eine gegenseitige Beeinflussung noch eine zeitliche Abfolge Berücksichtigung finden konnte. Aus diesem Grund wurde ein weiteres Modell, ein Funktionsmodell nach TRIZ erarbeitet, das dem Realitätsanspruch gerecht wurde. Mithilfe des Morphologischen Kastens wurden abschließend die Teillösungen generiert.

Die Auswahl bezüglich der eingesetzten Methoden fand zu Beginn statt, d. h., es wurden Ansprüche an die Prozessbeschreibung sowie an die Lösungssuche formuliert. Diese Methodenauswahl wurde im Laufe der Entwicklung noch um weitere Methoden ergänzt, da sich das Anwendungsgebiet anders darstellte, als zunächst angenommen (z. B. vorhandenes Methodenrepertoire).

Schwierigkeiten

Wie sich nach der Präsentation des Prototyps auf einer Messe herausstellte, wurde der erste Fehler bereits bei der Erhebung der Anforderungen, beziehungsweise bei der Festlegung der Systemgrenze, begangen. Die Sammlung der Anforderungen orientierte sich zwar am Standardprozess für Knieoperationen, hinterfragt jedoch nicht eine parallel ablaufende Veränderung des Operationsprozesses, bei dem nun ein seitlicher und nicht mehr frontaler Zugang zum Kniegelenk gewählt wurde.

Eine weitere Schwierigkeit während des Projekts war die unberechtigte Erwartung an eine Methode. Sie wurde als Garantie betrachtet, in die man die Eingangsinformationen einführt und nahezu automatisch lösungsgerechte Ergebnisse generiert; die tatsächlich benötigte Kreativleistung wurde unterschätzt. Diese Beobachtung betrifft allerdings nicht alle Projektphasen; sie konzentrierte sich im Wesentlichen auf den Bereich der Problemstrukturierung und Lösungsgenerierung.

Ergebnis

Aus produkttechnischer Sicht entstand ein Prototyp, welcher den überwiegenden Teil der Spezifikationen in erwünschtem Maße erfüllte (kritisch bei der Ausführung des Prototyps war ein Spiel in der Feinjustierung vom Ausgleich der Verschiebungen während der Fixierung). Aus Sicht der Methodenanwendung fand eine standardisierte Anwendung statt, bei der Informationen von einem Modell zu einem anderen wie in Bild 6-6 ausgetauscht worden sind.

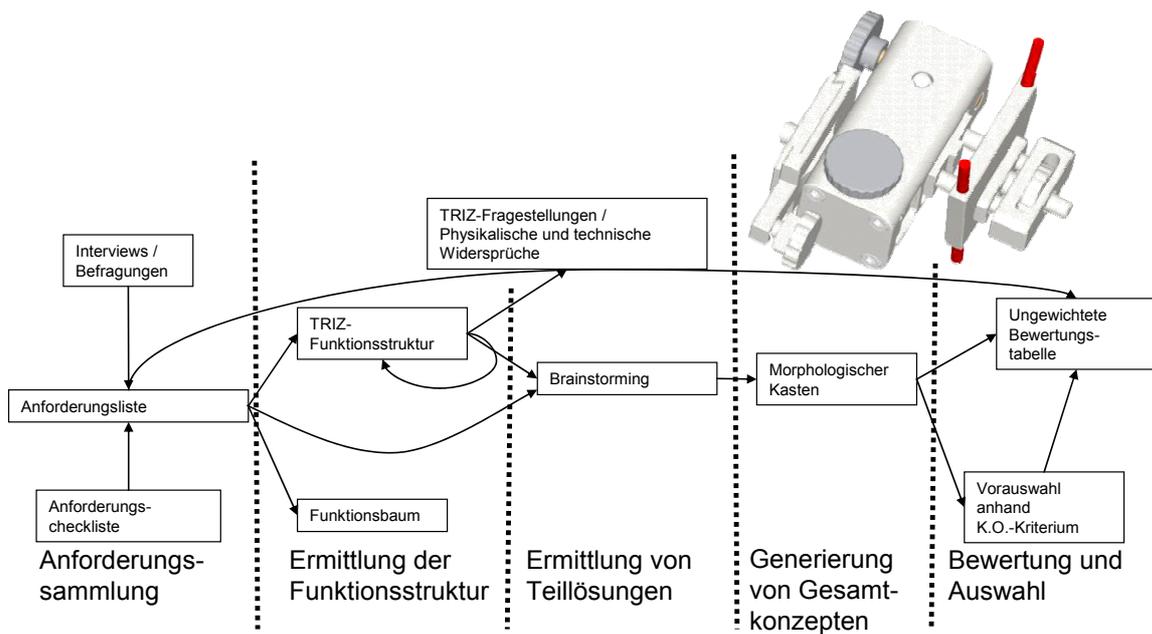


Bild 6-6: Überblick über die eingesetzten Modelle im Rahmen der Entwicklung eines medizinischen Hilfsmittels

Im Voraus wurden die Modelle so weit wie möglich ausgewählt, um bereits absehen zu können, für welche weitere Verwendung die Informationen erarbeitet werden.

Schlussfolgerung

Eine zusammenfassende Darstellung aller Informationen, wie bei den anderen Beispielen, fand nicht statt. Das Beispiel spiegelt wieder, dass eine Entwicklung unter zeitlich extremen Bedingungen und mit einem geringen Kenntnisstand erfolgreich durchgeführt werden kann. Eine Adaption von Methoden oder Modellen kann dann erst bei einem fundierten Kenntnisstand des Entwicklers angewendet werden, sodass den spezifischen Randbedingungen (z. B. die Ermittlung von individuell vorliegenden Informationen) Rechnung getragen werden kann.

6.3 Diskussion

Auch wenn die Beispiele eine Verifizierung der Nützlichkeit der erarbeiteten Prinzipien nahe legen, kann daraus nicht geschlossen werden, dass der wissenschaftliche Ansatz trivial in der Anwendung ist und ständig in der Praxis verwendet werden kann. Der geschilderte Konflikt bei der Zusammenführung der Funktionsmodelle – im Beispiel der Antriebstechnik – verursacht einen großen Aufwand bezüglich der Zusammenführung von vernetzten und prozessualen Informationen, ebenso stellt sich die aufwendige Entwicklung des

Vorgehens für die Analyse von verknüpften Bauteilen dar – wie es am Beispiel des Automobilzulieferers deutlich wird. Die scheinbare Einfachheit der vorgestellten Lösung spiegelt an dieser Stelle die zahlreichen Irrwege, die bei der Erarbeitung der Modelle gegangen werden, nicht wider. Aus diesem Grund handelt es sich bei dem Prinzipienansatz um einen individuellen Lösungsweg, dessen Nützlichkeit in der Praxis noch weiter beobachtet werden muss, dies führt zu dem Problem der Verifizierung. Es stellt sich die Frage, wie der individuelle Nutzen für den Einzelnen oder wie der „Unnutzen“ bei der Anwendung der Prinzipien durch ein anderes Individuum nachgewiesen werden kann. Um die Praxistauglichkeit der Prinzipien für Abteilungen, Unternehmen und Branchen sicherzustellen, erliegt der prinzipiengestützte Ansatz den gleichen Herausforderungen, wie die Praxistauglichkeit der Methoden und Modelle selber; nämlich, dass sie an die Randbedingungen angepasst werden müssen, sodass z. B. bei der Objektperspektive unterschiedliche Gesichtspunkte gemäß den produktrelevanten Bedingungen abgesichert werden.

Ursprünglich wurde eine Strategie, bei der sich jedes Individuum sein eigenes Problemmodell erarbeitet, verfolgt. In der Praxis zeigt dieser Ansatz Tendenzen zu einer Kleingruppenanwendung (2-3 Personen); hier definiert sich eine Kleingruppe von Problembearbeitern ein problemspezifisches Modell (u. a. Anforderungen und grafischer Aufbau). Die Modifikation hin zu der Kleingruppenanwendung wird zugunsten einer Diskussion über die Inhalte des Problems durchgeführt, um durch die Verifikation oder Falsifikation das Verständnis der Individuen zu fördern. Trotz der Erweiterung auf die Kleingruppen ist dennoch nicht zu erwarten, dass ausgeprägte individuelle Modelle entstehen, die lediglich aus der Sichtweise des modellgenerierenden Individuums sinnvoll erscheinen, sondern dass die Modelle auch für andere Kleingruppen verständlich sind.

In Kapitel 3 wurde die Benutzerfreundlichkeit in Bezug auf die Erarbeitung von Prinzipien aufgegriffen, die nachfolgend behandelt werden soll. Die Aufgabenangemessenheit wird durch die allgemeinen Prinzipien abgedeckt; hier wird u. a. der Detaillierungsgrad definiert, der den Ansprüchen des Individuums bezüglich der Problemlösung genügen muss. Die Erwartungskonformität und die Steuerbarkeit werden durch die individuellen Anforderungen an eine Modellierungsart sichergestellt, da nicht die Methodenanwendung sondern die inhaltliche Abbildung problemrelevanter Informationen im Mittelpunkt stehen soll. Durch die Diskussion der Anwendung von Modellen in Kapitel 2 wird eine Individualisierung sichergestellt (durch die Wahl des Umgangs mit einem Modell). Mit der individuellen Anwendung geht auch eine lerngerechte Benutzung des Ansatzes einher. Die Selbstbeschreibungsfähigkeit ist abhängig davon, in wie fern das Individuum sich auf eine eigene Darstellungsform einlassen möchte.

Die Orientierung des Themas hätte stärker unter die Perspektive des Wissensmanagements gestellt werden können, doch ein Einblick in die Literatur – die an dieser Stelle wenig konkrete Hilfestellung für den Problemlöser gibt – hat dazu nicht veranlasst. Neben vielen anderen Ansätzen leisten z. B. die Wissensbausteine (PROBST & ROMHARDT 1997) zwar

einen wissenschaftlichen Erklärungsansatz für den Umgang mit Informationen, leiten jedoch wenig operative Maßnahmen her.

In einigen Bereichen der Arbeit wird der Versuch unternommen, eine erste vorläufige Theorie zu erarbeiten, um damit eine vorhandene Lücke bei dem Verstehen von Problemen zu schließen. Hiermit soll eine Diskussionsgrundlage geschaffen werden, um das zu Beginn aufgezeigte Defizit bei der Lösung von Problemen zu beheben.

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung

Eingangs wird das Forschungsgebiet der individuellen Modellbildung bei der Problemanalyse beschrieben. Bei den Ausführungen in der Einleitung wird die Sichtweise der Forschung, ebenso wie die der Industrie berücksichtigt, um die Schwierigkeiten bei der Analyse von Problemen zu schildern. Die Defizite bei der Problemanalyse werden in der Forschung z. B. in der mangelnden Unterstützung von Modellen in der Problemanalyse gesehen; bei den Beobachtungen in der Industrie können z. B. die fehlenden Kenntnisse für die Definition eines Modells abgeleitet werden. Um diesen und weiteren vorgestellten Schwierigkeiten zu begegnen, ist der Einsatz von Methoden (z. B. Funktionsablaufdiagramme, Prozessmodelle nach UML) ebenso als zweckdienlich einzustufen, wie eine prinzipiengestützte Analyse und Modifikation. Zu Beginn wird bereits intensiv auf die Bedeutung des Individuums, das es bei dem Aufbau eines Problemverständnisses und bei der Ableitung von Schlussfolgerungen zu unterstützen gilt und den subjektiven Charakter der Arbeit hingewiesen. So soll sichergestellt werden, dass die Ergebnisse als Vorschlag und nicht zur dogmatisch starren Anwendung dienen. Ziel der Arbeit ist es nicht, dem Individuum ein neues Modell aufzuzwingen, sondern Prinzipien zu erarbeiten, die eine Analyse und damit das Analysemodell selber leichter an das Problem adaptieren.

In Kapitel 2 wird ein Einblick in die konstruktionswissenschaftliche Sicht von Methoden gegeben. Weiter wird erörtert, aus welchen anderen Disziplinen Informationen bereitgestellt werden können. Bei der Betrachtung der Methoden aus einer konstruktionswissenschaftlichen Perspektive steht eine Diskussion bezüglich des Einsatzes von Computern und Software sowie eine Gegenüberstellung von standardisierten und individualisierten Modellen an. In Bezug auf den Einsatz von Computern wird eine kritische Grundeinstellung eingenommen, da die Praxis zeigt, dass Ergebnissen von Software allzuleicht Glauben geschenkt wird und sich ein Selbstverständnis etabliert hat, dass die Software Probleme lösen kann, was sie de facto nicht leistet (auch wenn in Einzelfällen sich Vorteile abzeichnen). Bei der Gegenüberstellung von individualisierten und standardisierten Modellen geht es neben dem Aufbau eines Begriffsverständnisses darum, die Eigenschaften beider Ausprägungen zu beleuchten (z. B. nach den Kriterium Umgang mit den beiden Ausprägungen präskriptiv für Standardmodelle und intuitiv für Individualmodelle), sodass ein gezielter Einsatz von Methoden stattfinden kann. Im zweiten Abschnitt des Kapitels werden relevante Erkenntnisse und Erfahrungen aus anderen Disziplinen herangezogen, die sich bei

dem Umgang mit Modellen als hilfreich erweisen. So steht eine pädagogische Betrachtung an, demgemäß der Umgang mit Methoden auf Erklärungsansätze des Behaviorismus, Kognitivismus und des Konstruktivismus zurückgeführt werden kann. Darauf aufbauend wird die Wahrnehmung und die Erarbeitung von Schlussfolgerungen als wesentlich erachtet. Bei der Wahrnehmung wird u. a. das Thema der Sprache erörtert, da der Sprachwahl in einem Modell eine große Bedeutung für die weitere Verarbeitung von Informationen zukommt (z. B. ob eine systematische oder heuristische Lösungssuche durchgeführt werden soll). Bei den Schlussfolgerungen werden die vorhandenen Alternativen aus der Logik und der Wissenschaftstheorie aufgegriffen (deduktive, induktive und abduktive Schlussfolgerungen). Ein Vorschlag für deren praktische Anwendung wird vorgestellt, um eine Beurteilung bezüglich der Aussagekraft durchzuführen, die sich auf die Dialektik stützt (logisch, dialektisch, eristisch, sophistisch).

Das Kapitel 3 stellt ein Vorgehen zur Erarbeitung von Prinzipien vor. Hierdurch soll die Grundmotivation der Arbeit unterstrichen werden, wie Prinzipien für die Modelladaption erarbeitet werden können. Es wird auch aufgezeigt, wie Prinzipien in anderen Untersuchungsbereichen (z. B. Anforderungsmanagement) nachvollziehbar zur Verfügung gestellt werden können.

Ziel des Kapitels 4 ist die Vorstellung von Methoden, die mithilfe objektorientierter (z. B. Objektperspektive) und relationsorientierter (z. B. Verknüpfungswirkung) Charakteristika beurteilt werden. Die Beurteilung verfolgt die Intension festzustellen, aufgrund welcher Eigenschaften sich Methoden der Produktentwicklung unterscheiden. Da im Rahmen der Produktentwicklung meist mehrere Modelle zum Einsatz kommen, wird eine Gegenüberstellung der Methoden durchgeführt. Dabei wird identifiziert, welche Informationen bei einer Transformation weiter verwendet werden können, welche verloren gehen und welche noch zu erarbeiten sind, damit das neue Modell mit seinen Eigenschaften erarbeitet werden kann.

Nach der speziellen Betrachtung der Methoden führt in Kapitel 5 eine Abstraktion der Modellcharakteristika zur Erarbeitung von Prinzipien. Diese Prinzipien stehen im vorliegenden Fall in engem Zusammenhang mit den vorher identifizierten Charakteristika. Die explizite Unterscheidung nach Objekt und Relation (wie bei den Charakteristika im vorherigen Kapitel) wird bei den Prinzipien als nicht sinnvoll erachtet, dagegen wird eine Unterteilung nach allgemeinen Prinzipien (z. B. Systemgrenze, Ziel und Motivation) und modelladaptierenden Prinzipien (z. B. Darstellungsform, transportierter Inhalt) als handlungsorientierter eingeschätzt.

Abschließend wird in Kapitel 6 die Anwendung der Prinzipien in der Praxis beobachtet. Dabei werden Produktentwicklungen ebenso wie Prozessverbesserungen aus den Bereichen Antriebstechnik, Automotiv, einfache Verkehrsmittel und Medizintechnik vorgestellt. Ergebnis der Prinzipienanwendungen in diesen Projekten ist, dass sich ein gezielter Ein-

satz von Modellen als förderlich erweist, um Informationen zusammenzutragen. Der streng individuelle Fokus, den die Arbeit zu Beginn verfolgt hat, muss in der Praxis auf Kleingruppen (2-3 Personen) aufgeweitet werden, da sich der diskursive und reflektive Umgang mit Informationen als wesentlich herausstellte. Die Auswahl der Methode ist neben den bereits angesprochenen Kriterien in Kapitel 2 u. a. auch abhängig von dem Kenntnisstand des Individuums (Anwenders), den zeitlichen Randbedingungen bei einer ersten Anwendung von Methoden oder auch von der Bereitschaft, sich auf Änderungen einzulassen.

Insgesamt hat die Arbeit das Ziel verfolgt, eine wissenschaftliche Herleitung praktisch anwendbarer Prinzipien vorzustellen.

7.2 Ausblick

Die durchgeführten Untersuchungen und die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen können u. a. in einer der folgenden Ausprägungen hinterfragt oder weiterentwickelt werden.

Herangezogene Methoden

Die Methoden für die Ableitung von Prinzipien wurden auf unterschiedliche Weise erarbeitet (z. B. basiert TRIZ auf der Untersuchung von Patenten). Berücksichtigt man die Entstehung eines Modells, so können die Entwicklung und das Verständnis einer Methode mit dem letztlich verwendeten Modell zu einem tieferen Verständnis und damit zu weiteren Charakteristika führen.

Darüber hinaus können die herangezogenen Modelle durch eine Betrachtung anderer Disziplinen erweitert werden. Es führen Ansätze aus der Medizin zur Identifizierung von implizitem Wissen des Patienten. Dies ermöglicht es, das Krankheitsbild zu vervollständigen und damit eine bessere Therapie zu finden.

Die Beurteilung der Methoden verfolgte das Ziel, das individuelle Verständnis der Methoden zu identifizieren und damit die Überführung zwischen Modellen und Charakteristika zu erarbeiten. Wird die Beurteilung durch mehrere Individuen betrachtet kann festgestellt werden, ob sich tatsächlich ein individuelles Verständnis der Methode herauskristallisiert, oder ob diese von mehreren Individuen gleich eingeschätzt werden. Im letzteren Fall kann der vorgestellte prinzipiengestützte Ansatz eine breitere Anwendung finden.

Prinzipien erzeugen bei weiteren Untersuchungsgegenständen

Durch die Vorstellung des Vorgehens in Kapitel 3 für die Erarbeitung von Prinzipien, die sich auf konkrete Untersuchungsgegenstände beziehen, steht eine Anwendung auf weitere Gebiete aus, so z. B. Kriterien für Adaption von Simultaneous Engineering (LAUFENBERG, S. 87), Adaption von rechnergestützten Verfahren in der Produktentwicklung (PÄZTOLD,

1991), oder Prinzipien für die Einführung von Methoden (Ansätze hierzu liefert VIERTL-BÖCK 2000) sowie für einen upgradegerechten Entwicklungsprozess (MÖRTL 2002).

Expertengrad einfließen lassen

Der Umgang mit Methoden wurde im Rahmen der Arbeit von einer pädagogischen Perspektive aus betrachtet. Diese Diskussion kann um die Betrachtung des Kenntnisstandes des Anwenders erweitert werden. Demgemäß ist zu erwarten, dass Experten einen anderen Anspruch an Modelle bei der Problemlösung haben, jedoch auch an die Prinzipien, die ihnen dabei helfen, eine schnelle und konsistente Analyse durchzuführen. Im Gegensatz dazu hat ein Laie, der in einem Themengebiet lediglich über rudimentäre Kenntnisse verfügt, wenig Anknüpfungspunkte zu dem behandelten Untersuchungsgegenstand. Hier kann ein Einblick in bereits durchgeführte Diskussionen weiterhelfen, das Themenfeld zu bearbeiten (FAIRLIE 1999; FUNKE 2003).

Ergänzen um weitere psychologische/interdisziplinäre Aspekte

Viele Aspekte der Psychologie mussten ausgeblendet werden, so z. B. das Thema der Motivation und Emotion (die eine Auswirkung auf unsere Wahrnehmung und Informationsverarbeitung haben). Ein weiteres Thema, das nicht behandelt wurde, befasst sich mit den Gedächtnismodellen bei dem Erlernen und Verstehen von Informationen (psychologische Betrachtung von Gedächtnismodellen: BREDEKAMP 1998; WESSELLS 1994 oder eine Zusammenstellung aus technischer Perspektive: GRAMANN 2003). Eine Beleuchtung weiterer Aspekte kann dazu führen, bei der Erarbeitung und dem Umgang mit den Prinzipien die Anwendungsergonomie zu verbessern.

Neben der tieferen Betrachtung der psychologischen Aspekte leisten andere Disziplinen einen weiteren Beitrag, um den vorgestellten Ansatz zu unterstützen, z. B. die Soziologie, die die Systemtheorie beeinflusste, oder die Evolutionstheorie (BAECKER 2002). Vorher wurde eine Unterscheidung zwischen dem was „außen“ (Wahrnehmung) und dem was „innen“ (Schlussfolgern) passiert vorgenommen. Da sich die Systemtheorie mit dem Äußeren beschäftigt, können von dieser noch weitere Prinzipien erwartet werden, wie z. B. bei der zusätzlichen Betrachtung der Evolutionstheorie, die einen Fokus auf die inneren Veränderungen hat.

Betrachtung von anderen Phasen der Produktentwicklung

Im Rahmen der Modellbildung wurde ein Schwerpunkt auf die Analysephase gerichtet. Eine intensive Betrachtung bezüglich der vor- oder nachgelagerten Entwicklungsphasen (z. B. Bewertung) kann noch vorgenommen werden. Diese können sich jedoch auch auf die Entwicklung des Modells selber beziehen (hier wurde die Generierung eines Modells untersucht), sodass die Pflege und Archivierung des Modells mehr in den Mittelpunkt

rückt (z. B. Versionierung, Verteilung, Verifizierung der Informationen in dem Modell). Bei der Versionierung kann die Entwicklung des Modells selber Hinweise auf das Vorgehen geben, sodass Fehler im Laufe der Entwicklung identifiziert und in einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess umgesetzt werden können. In diesem Fall sind Eigenschaften bei dem Austausch von Informationen von Relevanz, die bereits diskutiert worden sind (RADTKE 1995).

Definition und Nutzen von einheitlichen Begriffen

Dem Thema der Verwendung von Begriffen ist in Zukunft eine höhere Aufmerksamkeit zu widmen, da durch die zunehmende interdisziplinäre Zusammenarbeit Begriffe unterschiedlich verstanden werden (z. B. dem Begriff Wissen wird in der künstlichen Intelligenz bezüglich ihrer Explizierbarkeit eine andere Bedeutung zugeschrieben als in der Linguistik). Aus diesem Grund musste in der vorliegenden Arbeit der Verfasser das Begriffsverständnis der unterschiedlichen Autoren in die bestehende Begriffswelt implementieren.

Ein Überblick über das differenzierte Verständnis in unterschiedlichen Disziplinen von zentralen Begriffen (z. B. Problem, Methode, Wissen) kann dazu beitragen, Missverständnissen vorzubeugen. Disziplinen, die hier von Interesse sein können, sind u. a. Psychologie, Soziologie, Mathematik, Informatik, Kunst.

Was ist modellierbar?

Bei der Diskussion wurde stets die Modellierbarkeit einer Situation bzw. eines Problems vorausgesetzt. Eine weitere Fragestellung kann sich mit dem Thema auseinandersetzen, was im Rahmen der Produktentwicklung überhaupt modellierbar ist. Geredes kann berücksichtigt werden, welcher Aufwand bei der Modellierung als gerechtfertigt erscheint.

Durch zwei Denkorientierungen, Solipsismus und Repräsentationalismus, wird die Möglichkeit zur Verfügung gestellt, eine Theoriebildung von zwei Seiten anzugehen (PULM 2004, S. 20). Besteht im Solipsismus die Wirklichkeit im Individuum und im Repräsentationalismus die Wirklichkeit durch den Umgang mit objektiven Informationen, so wird hier der erste Ansatz verfolgt. Das wissenschaftliche Vorgehen orientiert sich dabei an einer induktiven-empirischen¹ Vorgehensweise, sodass eine deduktiv-theoriekritische Abhandlung des Themas andere Arbeiten zu leisten haben.

Abgeschlossen werden soll die Arbeit mit zwei Erkenntnissen, die der Autor während der Arbeit gewonnen hat, womit wohlwissend um seinen eingeschränkten Einblick und der

¹ Kurzdefinition nach EBERHARD et al. (1999, S. 32): Der induktiv-empirische Erkenntnisweg zeichnet sich durch Verallgemeinerung wiederholt beobachteter Erfahrungen zu einer umfassenden Theorie aus.

einfachen Erfahrung in diesem Themengebiet der problemorientierten Modellierung, die Trivialität einer Methodenanwendung hervorgehoben werden soll. Zum einen muss sich der verantwortliche Ingenieur bewusst sein, dass manche Problemstellungen nicht (besser) abgebildet werden können, also die frühzeitige Erkenntnis erlangen, dass Probleme nicht anders analysiert werden können, als dies bereits untersucht worden ist. Zum anderen, dass letztendlich alle vorgestellten Methoden die gleiche Aussage treffen, indem unterschiedliche Objekte in einen Zusammenhang gebracht werden. Die Verfasser der unterschiedlichen Methoden setzten hierzu lediglich verschiedene Sprachen bzw. Sprachelemente ein. Eine gewichtige Fragestellung bleibt jedoch trotz der unterschiedlichen Methoden immer noch unbeantwortet: die Wahl der richtigen Systemgrenze für ein Problem. Daraus darf jedoch nicht geschlossen werden, dass diese Frage überhaupt beantwortet werden kann, hier lohnt es sich in Zukunft abzuschätzen, was lösbar erscheint und was nicht. Die Philosophie hat dies bereits vorgemacht, indem sie zu der Erkenntnis gekommen ist, dass die Berechenbarkeit eines mathematischen Algorithmus nicht berechenbar ist und damit die Mathematik entscheidend beeinflusst.

8 Literatur

- AKIYAMA, K. (1989)
Function analysis: Systematic Improvement of Quality and Performance.
Tokyo, Japan: Japan Standards Association 1989.
- ALBA, J.; HASHER, L. (1983)
Is Memory Semantic. In: Cooper, H. (Ed.): Psychological Bulletin 93.
Washington: American Psychological Association 1983.
- ALMS, W. (1984)
Der Einfluß von Zeitdruck auf das Problemlösen.
München: tuduv. Verlagsgesellschaft mbH 1984.
- ALTSCHULLER, G. S. (1984)
Erfinden - Wege zur Lösung technischer Probleme.
Berlin: VEB Verlag 1984.
- ALTSCHULLER, G. S.; SELJUZKI, A. (1983)
Flügel für Ikarus.
Moskau: MIR 1983.
- AMBROSY, S. (1997)
Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung.
Aachen: Shaker (Konstruktionstechnik München, Band 26, zugl. München: TU, Diss. 1997.) 1997.
- ANDREASEN, M. M.; KÄHLER, S.; LUND, T. (1988)
Design for Assembly.
New York: Springer Verlag 1988.
- BADKE-SCHAUB, P.; FRANKENBERGER, E.; (2004)
Management Kritischer Situationen.
Heidelberg: Springer Verlag 2004.
- BAECKER, D. (2002)
Wozu Systeme?.
Berlin: Kulturverlag Kadmos 2002.
- BALDWIN, C.; CLARK, K. B. (2000)
Design Rules.
Boston: MIT Press 2000.
- BALZERT, H. (2000)
Lehrbuch der Software-Technik. (2. Auflage)
Berlin: Spektrum Akademischer Verlag 2000.
- BANDURA, A. (1976)
Lernen am Modell --- Ansätze zu einer sozial-kognitiven Lerntheorie.
Stuttgart: Klett 1976.

- BASIEUX, P. (2000)
Die Architektur der Mathematik – Denken in Strukturen.
Hamburg: Rowohlt 2000.
- BEITZ, W.; GROTE, K.-H. (2001)
Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau. (20. Auflage)
Heidelberg: Springer Verlag 2001.
- BENHARD, J.; WENZEL, S. (2004)
Eine Taxonomie für Visualisierungsverfahren zur Anwendung in der Simulation in Produktion und Logistik. In: Schulze, T.; Schlechtweg, S.; Hinz, V. (Hrsg.): SIMVIS 2004 – Simulation and Visualization, Magdeburg, 4.-5. März 2004, Vortrag
Magdeburg: Mdprint Medientcenter 2004.
- BERGER, B. (2004)
Modularisierung von Wissen in der Produktentwicklung - Ein Beitrag zur einheitlichen Aufbereitung und individuellen Nutzung in Lehre und Praxis.
Düsseldorf: VDI-Verlag (Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1 Nr. 376) 2004.
- BICHLMAIER, C. (2000)
Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen.
München: Utz (Produktentwicklung München, Band 39, zugl. München: TU, Diss. 2000.) 2000.
- BODENDORF, F. (2003)
Daten- und Wissensmanagement.
Heidelberg: Springer Verlag 2003.
- BÖHM, R.; WENGER, S. (1996)
Methoden und Techniken der System-Entwicklung. (2. Auflage)
Zürich: vdf Hochschulverlag AG 1996.
- BÖTTCHER, U. (2001)
Programmierung.
Nackenheim: Herdt-Verlag 2001.
- BOURNE, L. E. (1971)
The psychology of thinking.
Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall 1971.
- BRAUCHLIN, E., HEENE, R. (1995)
Problemlösungs- und Entscheidungsmethodik. (4. Auflage)
Bern: Haupt 1995.
- BREDENKAMP, J. (1998)
Lernen, Erinnern, Vergessen.
München: C. H. Beck 1998.
- BREIING, A., FLEMMING, M. (1993)
Theorie und Methode des Konstruierens.
Heidelberg: Springer Verlag 1993.
- BÜHLER, K. (1965)
Sprachtheorie. (2. Auflage)
Stuttgart: Fischer 1965.

- CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B. (2003)
Biologie. (6. Auflage)
Berlin: Spektrum Akademischer Verlag 2003.
- CARSTENGERDES, W. (2003)
Mathematik und Management: Unterschiedliche Disziplinen - gleiche Methoden. In: Hirsch, U.; Dueck, G. (Hrsg.): Management by Mathematics, S. 51-60.
Wiesbaden: Vieweg 2003.
- CHOMSKY, N. (1978)
Aspekte der Syntax-Theorie. (2. Auflage)
Frankfurt: suhrkamp 1978.
- CLARK, J.; HOLTON, D. A. (1994)
Graphentheorie.
Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 1994.
- CLARKSON, P. J.; HAMILTON, J. (2000)
Signposting: A Parameter-driven Task-based Model of the Design Process. In: Finger, S.; Blessing, L. (Ed.): Research in Engineering Design, Vol. 12, S. 18-38.
Heidelberg: Springer Verlag 2000.
- CONRAD, K.-J. (1998)
Grundlagen der Konstruktionslehre.
München: Hanser 1998.
- DAENZER, W. F.; HUBER, F. (1999)
Systems Engineering. (10. Auflage)
Zürich: Industrielle Organisation 1999.
- DANNEHL, S. (2003)
Informationen managen hilft kräftig sparen. In: VDI nachrichten 12. September 2003, Nr. 37.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2003.
- DEGELE, N. (2000)
Informiertes Wissen.
Frankfurt: Campus 2000.
- DELEUZE, G. (1992)
Woran erkennt man Strukturalismus?.
Berlin: Merve 1992.
- DEMARCO, T. (1978)
Structured Analysis and system specification.
New York: Yourdon 1978.
- DEMERS, M. (2000)
Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen.
München: Dr. Hut (Produktentwicklung München, Band 40, zugl. München: TU, Diss. 2002.) 2000.
- DENZER, R. (1992)
Visualisierung in komplexen Systemen und deren Anwendung im Umweltschutz.
Karlsruhe: Universität Kaiserslautern 1992.

- DEUBZER, F. (2002)
Entwicklung eines innovativen Konzepts für Rotordrehvorrichtungen - Entwicklung und Implementierung eines Rechnerwerkzeugs zur Situationsanalyse (Unveröffentlichte Semesterarbeit).
München: TU-München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, zugl. München: TU, Semesterarbeit 2000.
2002.
- DEVLIN, K. (2003)
Das Mathe-Gen. (2. Auflage)
München: DTV 2003.
- DIEKMANN, A. (2002)
Empirische Sozialforschung. (9. Auflage)
Hamburg: Rowohlt 2002.
- DIERK, U. (2003)
Management Learning bei Siemens. In: Hirsch, U.; Dueck, G. (Hrsg.): Management by Mathematics, S. 97-104.
Wiesbaden: Vieweg 2003.
- DÖRNER, D. (1999)
Die Logik des Mißlingens.
Hamburg: Rowohlt 1999.
- DÖRNER, D. (1976)
Problemlösen als Informationsverarbeitung.
Kohlhammer: Berlin 1976.
- DÖRNER, D. (1974)
Die kognitive Organisation beim Problemlösen.
Stuttgart: Hans Huber 1974.
- DREBING, U. (1991)
Zur Metrik der Merkmalsbeschreibung für Produktdarstellende Modelle beim Konstruieren.
Braunschweig: Institut für Konstruktionslehre (zugl. Braunschweig, Diss. 1991.) 1991.
- DUNCKER, K. (1935)
Zur Psychologie des produktiven Denkens.
Heidelberg: Springer Verlag 1935.
- EBERHARD, K. (1999)
Einführung in die Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie. (2. Auflage)
Stuttgart: Kohlhammer 1999.
- EDELMANN, W. (1996)
Lernpsychologie. (5. Auflage)
Weinheim: Psychologie Verlags Union 1996.
- EHRENSPIEL, K. (2003)
Integrierte Produktentwicklung, Methoden für Prozeßorganisation, Produkterstellung und Konstruktion.
(2. Auflage)
München: Hanser 2003.

- EHRENSPIEL, K. (1999)
Practicians - How they are Designing? ... and why?. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Ed.): Proceedings of ICED 99, Munich, 24.-26. August 1999, S. 2/721-726.
München: Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau (Schriftenreihe WDK 26). 1999.
- EIGNER, M.; STELZER, R. (2001)
Produktdatenmanagement-Systeme.
Heidelberg: Springer Verlag 2001.
- EISENBERG, P. (1998)
Duden-4 Die Grammatik. (6. Auflage)
Mannheim: Dudenverlag 1998.
- EISENHARDT, P.; KURTH, D.; STIEHL, H. (1995)
Wie Neues entsteht.
Hamburg: Rowohlt 1995.
- EVANS, J. (1994)
Bias in Human Reasoning. (2. Auflage)
Hove: LEA 1994.
- FAIRLIE, B. (1999)
Zur Verarbeitung von Berechnungsverfahren und Informationsunschärfen bei der rechnerunterstützten Produktauswahl.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1999.
- FEYMAN, R. P. (2003)
Was soll das alles?. (3. Auflage)
München: Piper 2003.
- FUNKE, J. (2003)
Problemlösendes Denken.
Stuttgart: Kohlhammer 2003.
- GANDOLFI, A. (2001)
Von Menschen und Ameisen, Denken in komplexen Zusammenhängen.
Zürich: Orell Füssli 2001.
- GAUSEMEIER, J.; LINDEMANN, U.; REINHART, G.; WIENDAHL, H.-P. (2000)
Kooperatives Produktengineering – Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens.
Paderborn: HNI 2000.
- GAUSEMEIER, J.; FINK, A.; SCHLAKE, O. (1995)
Szenario-Management: Planen und Führen mit Szenarien
München: Hanser 1995.
- GENDERKA, M. (1995)
Objektorientierte Methode zur Entwicklung von Produktmodellen als Basis Integrierter Ingenieurssysteme.
Aachen: Shaker 1995.
- GIPOULIS, A. (1998)
Modelle für effektive Konstruktionsprozesse.
Aachen: Shaker (Konstruktionstechnik München, Band 27, zugl. München: TU, Diss. 1998.) 1998.

- GIMPEL, B., HERB, R., HERB, T. (2000)
Ideen finden, Produkte entwickeln mit TRIZ.
München: Hanser 2000.
- GRABOWSKI, H., GEIGER, K. (1997)
Neue Wege der Produktentwicklung.
Stuttgart: Raabe 1997.
- GRABOWSKI, H., ANDERL, R., POLLY, A. (1993)
Integriertes Produktmodell.
Berlin: Beuth Verlag GmbH 1993.
- GRAMANN, J. (2004)
Problemmodelle und Bionik als Methode.
München: Dr. Hut (Produktentwicklung München, Band 55, zugl. München: TU, Diss. 2004.) 2004.
- GRAUMANN, C.-F. (1964)
Phänomenologie und deskriptive Psychologie des Denkens. In: R. Bergius (Ed.): Allgemeine Psychologie. I. Der Aufbau des Erkennens. 2. Halbband: Lernen und Denken (pp. 493-518).
Göttingen: Hogrefe 1964.
- GREGORY, R. L. (2001)
Psychologie des Sehens.
Hamburg: Rowohlt 2001.
- GRÜTZNER, R. (1991)
Simulation im Umweltschutz - Anwendung, Anforderung, Visualisierung.
Heidelberg: Springer Verlag 1991.
- GÜNTHER, J. (1998)
Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess.
Aachen: Shaker (Konstruktionstechnik München, Band 30, zugl. München: TU, Diss. 1998.) 1998.
- HAARMANN, H. (2002)
Geschichte der Schrift.
München: C. H. Beck 2002.
- HAGMAYER, Y. C. (2000)
Denken mit und über Kausalmodelle.
Göttingen: Georg-August-Universität 2000.
- HAMMER, M.; CHAMPY, J. (1994)
Reengineering the corporation.
New York: HarperCollins 1994.
- HANSEN, H. R.; NEUMANN, G. (2001)
Wirtschaftsinformatik 1. (8. Auflage)
Stuttgart: Lucius & Lucius 2001.
- HAREL, D. (2002)
Das Affenpuzzle.
Heidelberg: Springer Verlag 2002.

- HARS, A. (1994)
Referenzdatenmodelle.
Wiesbaden: Gabler Verlag 1994.
- HATLEY, D.; PIRBHAI, I. A. (1987)
Strategies for real-time system specification.
New York: Dorset House Publ. 1987.
- HEILMANN, W.-R. (2003)
Die Mathematik, die Mathematiker und ich. In:Hirsch, U.; Dueck, G. (Hrsg.): Management by Mathematics, S. 37-50.
Wiesbaden: Vieweg 2003.
- HERB, R. (1998)
TRIZ - Der Weg zum konkurrenzlosen Erfolgsprodukt.
Landsberg: Moderne Industrie 1998.
- HERB, R., HERB, T., KOHNHAUSER, V. (2000)
TRIZ - Der systematische Weg zur Innovation.
Landsberg: Moderne Industrie 2000.
- HIENTZ, H. (1995)
Ähnlichkeit von Prozessmodellen.
Kaiserslautern: Universität Kaiserslautern, Fachbereich Informatik 1995.
- HUANG, G. Q. (1996)
Design for X: Concurrent Engineering Imperatives.
London: Chapman & Hall 1996.
- HUBKA, V. (1988)
Theory of technical systems.
New York: Springer Verlag 1988.
- HUMMEL, T. R. (2002)
Qualitätsmanagement. (3. Auflage)
München: Hanser 2002.
- HUSSY, W. (1998)
Denken und Problemlösen. In: H. Spada (Hrsg.): Lehrbuch der Allgemeinen Psychologie. (2. Auflage)
Stuttgart: Kohlhammer 1998.
- HUSSY, W. (1986)
Denkpsychologie - Band 2.
Stuttgart: Kohlhammer 1986.
- HUSSY, W.; GRANZOW, S. (1986)
Determinanten komplexen Problemlösens 2.
Trier: Dr. Walter Hussy 1986.
- IMAI, M. (1992)
Kaizen - der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb. (4. Auflage)
München : Wirtschaftsverl. Langen Müller/Herbig 1992.

- INHELDER, B.; PIAGET, J. (1958)
The growth of logical thinking : From childhood to adolescence. An essay on the construction of formal operational structures.
New York: Basic Books 1958.
- IRLINGER, R. (1999)
Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung.
Aachen: Shaker (Konstruktionstechnik München, Band 31, zugl. München: TU, Diss. 1999.) 1999.
- JACKSON, K. F. (1984)
Die Kunst der Problemlösung. (2. Auflage)
Landsberg: Verlag Moderne Industrie 1984.
- JACKSON, M. (2001)
Problem Frames.
Reading: Addison-Wesley 2001.
- JENKINS, H. M.; WARD, W. C. (1965)
Judgement of contingency between responses and outcomes. In: Psychological Monographs, 79, (1, Whole No. 594).
Heidelberg: Springer Verlag 1965.
- JOEREBEN, A.; SEBASTIAN, H.-J. (1998)
Problemlösung mit Modellen und Algorithmen.
Stuttgart: Teubner 1998.
- JOKELE, B. (2006)
Krisenmanagement - Produktentwicklung in zeitkritischen Situationen.
München: Produktentwicklung München, Dissertation in Vorbereitung 2006.
- JORDEN, W. (1983)
Die Diskrepanz zwischen Konstruktionspraxis und Konstruktionsmethodik. In: Hubka, V. (Ed.): Proceedings of ICED 83, Kopenhagen.
Zürich: Edition Heurista 1983.
- KAAS, M. A. (1977)
Elemente der mathematischen Logik.
München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag 1977.
- KAISER, J. (1997)
Vernetztes Gestalten von Produkten und Produktionsprozessen mit Produktmodellen.
Berlin: Springer Verlag 1997.
- KELLER, A. (1990)
Allgemeine Erkenntnistheorie. (2. Auflage)
Stuttgart: Kohlhammer 1990.
- KELLER, S. (2000)
Entwicklung einer Methode zur integrierten Modellierung von Strukturen und Prozessen in Produktionsunternehmen.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2000.

- KLAUS, G. (1972)
Kybernetik und Erkenntnistheorie (4. Auflage).
Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaft 1972.
- KLEIN, B. (2002)
TRIZ/TIPS - Methodik des erfinderischen Problemlösens.
München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag 2002.
- KLIX, F. (1971)
Information und Verhalten.
Bern: Huber 1971.
- KOLODNER, J. (1997)
Case-based Reasoning.
San Mateo: Morgan Kaufmann 1997.
- KNOBLICH, G. (1997)
Repräsentationswechsel als Grundlage von Einsicht.
Hamburg: Dissertation 1997.
- KOLLER, R. (1975)
Konstruktionslehre für den Maschinenbau. (3. Auflage)
Berlin: Springer Verlag 1975.
- KRAUSE, W. (1994)
Grundlagen der Konstruktion. (7. Auflage)
München: Hanser 1994.
- LAUFENBERG, L. (1996)
Methodik zur integrierten Projektgestaltung für die situative Umsetzung des Simultaneous Engineerings.
Aachen: Shaker 1996.
- LENK, H. (1998)
Einführung in die Erkenntnistheorie.
München: Wilhelm Fink Verlag 1998.
- LINDEMANN, U. (2004)
Methodische Entwicklung technischer Systeme.
Berlin: Springer Verlag 2004.
- LINDEMANN, U.; BRAUN, T.; PECQUET, N.; PONN, J.; COLLIN, H. (2004)
Competence in Design and Development - Transfer von Produktentwicklungs-Know-how in Lehre und Praxis. In: Spur, G. (Hrsg.): ZWF 11/2004
München: Hanser 2004.
- LINDEMANN, U.; PONN, J. (2004)
Produktindividualisierung - wirtschaftliche Planung und Gestaltung. In: Lindemann, U. (Hrsg.): Industriekolloquium des Sonderforschungsbereichs 582 - Maknahe Produktion individualisierter Produkte, München, 29. April 2004, S. 4.1-4.16.
München: Lehrstuhl für Produktentwicklung 2004.
- LINDEMANN, U.; JUNG, C.; GRAMANN, J. (2003)
Fremddisziplinär bestimmte mechatronische Entwicklungsprojekte. In: Spur, G. (Hrsg.): ZWF 3/2003
München: Hanser 2003.

- LINDEMANN, U.; FUCHS, D. K.; JOKELE, B.; BAUMBERGER, C.; SCHUMANN, F. J. (2002)
Entwicklungsmanagement, Wissensbasierte Systeme, Problemlösung. In: Meerkamm, H. (Hrsg.): Design for X-Beiträge zum 13. Symposium, Neukirchen, 10.-11. Oktober 2002, S. 131-138.
Erlangen: Lehrstuhl für Konstruktionstechnik 2002.
- LINDEMANN, U. (1999)
A model of design processes of individual designers. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Ed.): Proceedings of ICED 99, Munich, 24.-26. August 1999, S. 2/757-762
München: Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau (Schriftenreihe WDK 26). 1999.
- LÜER, G.; SPADA, H. (1990)
Denken und Problemlösen. In H. Spada (Hrsg.), Lehrbuch der Allgemeinen Psychologie.
Bern: Verlag Huber 1990.
- LUGER, G. F. (2002)
Artificial Intelligence - Structures and Strategies for Complex Problem Solving. (4. Auflage)
New York: Addison-Wesley 2002.
- LUHMANN, N. (2000)
Die Rückgabe des zwölften Kamels: Zum Sinn einer soziologischen Analyse des Rechts. In: Zeitschrift für Rechtssoziologie 21-2000, S. 3-60.
Stuttgart: Lucius & Lucius 2000.
- MAURER, M.; LINDEMANN, U. (2004)
New Development, Trends and Applications of Intelligent Multi-Agent Systems Identification of Structural Characteristics in Product Spectra. In: Negoita, M.G.; Howlett, R. J.; Jain, L. C. (Ed.), Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems: 8th International Conference, KES 2004, Wellington, New Zealand, September 20-25, 2004, Proceedings, Part I, S.1157-1163.
Berlin: Springer Verlag 2004.
- MARCA, D. A.; MCGOWAN, C. L. (1987)
SADT - Structured Analysis and Design Technique.
New York: McGraw-Hill 1987.
- MATURANA, H. R. (2001)
Was ist Erkennen? Die Welt entsteht im Auge des Betrachters.
München: Goldmann 2001.
- MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. (1987)
Der Baum der Erkenntnis - Die biologischen Wurzeln menschlichen Erkennens.
München: Goldmann 1987.
- MEERKAMM, H. (2003)
Design for X.
Erlangen: Lehrstuhl für Konstruktionstechnik 2003.
- MERTENS, P. (2001)
Lexikon der Wirtschaftsinformatik. (4. Auflage)
Berlin: Springer Verlag 2001.
- MILLER, G. A.; GALANTER, E.; PRIBRAM, K. H. (1960)
Plans and the Structure of Behaviour.
New York: Holt 1960.

- MORRISON, X.; MORRISON, X. (1982)
Powers of Ten.
New York : Scientific American Books 1982.
- MÖRTL, M. (2002)
Entwicklungsmanagement für langlebige, upgradinggerechte Produkte.
München: Dr. Hut (Produktentwicklung München, Band 51, zugl. München: TU, Diss. 2002.) 2002.
- MÜLLER, M. (2002)
Entwicklung eines innovativen Konzepts für Rotordrehvorrichtungen - Entwicklung und Implementierung eines Rechnerwerkzeugs zur kriteriengestützten Lösungsauswahl (Unveröffentlichte Semesterarbeit).
München: TU-München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, zugl. München: TU, Semesterarbeit 2000. 2002.
- MÜLLER, M. (2004)
Entwicklung eines Klapprades (Unveröffentlichte Semesterarbeit).
München: TU-München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, zugl. München: TU, Semesterarbeit 2000. 2004.
- NEFF, T.; JUNGE, M.; VIRT, W.; HERTEL, G.; BELLMANN, K. (2001)
Ein Ansatz zur Bewertung modularer Fahrzeugkonzepte im Spannungsfeld von Standardisierung und Differenzierung, In: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen, VDI-Berichte 1645.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2001.
- NEWELL, A.; ERNST, G. W. (1969)
GPS: A case study in generality and problem solving.
New York: Academic Pr. 1969.
- NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. (1995)
The Knowledge-Creating Company.
New York: Oxford University Press 1995.
- O'CONNOR, J.; MCDERMOTT, I. (1998)
Systemisches Denken verstehen & nutzen.
Freiburg: VAK 1998.
- OSBORN, A. F. (1957)
Applied Imagination. Principles and procedures of creative problemsolving.
New York: Scribner 1957.
- PAHL, G., BEITZ, W. (1993)
Konstruktionslehre, Methoden und Anwendung. (3. Auflage)
Berlin: Springer Verlag 1993.
- PATZAK, G. (1982)
Systemtechnik - Planung komplexer innovativer Systeme.
Berlin: Springer Verlag 1982.
- PÄTZOLD, B. (1991)
Integration rechnerunterstützter Verfahren für die Konstruktion auf der Basis eines objektorientierten Produktmodellansatzes.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1991.

- PIAGET, J. (1980)
Der Strukturalismus.
Stuttgart: Klett-Cotta 1980.
- PLÖTZNER, R.; BODEMER, D.; HOPPE, H. U.; TEWISSEN, F. (2000)
Kooperatives Problemlösen auf der Grundlage gemeinsamer Visualisierungen. In: Reichwald, R.; Schlichter, J. (Hrsg.), Verteiltes Arbeiten – Arbeiten der Zukunft, CSCW-2000, München, 11.-13. September 2000, S. 91-102.
Stuttgart: Teubner 2000.
- POPPER, K. R. (2002)
Alles Leben ist Problemlösen.
München: Piper 2002.
- POTTER, M. D. (1994)
Mengentheorie.
Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 1994.
- PRIGOGINE, I. (1998)
Die Gesetze des Chaos.
Frankfurt: Insel 1998.
- PROBST, G.; ROMHARDT, K. (1997)
Bausteine des Wissensmanagements.
Wiesbaden: Gabler Verlag 1997.
- PULM, U. (2004)
Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut (Produktentwicklung München, Band 56, zugl. München: TU, Diss. 2004.) 2004.
- PUTZ-OSTERLOH, W. (1981)
Problemlöseprozesse und Intelligenzleistung.
Wien: Huber 1981.
- RADTKE, M. (1995)
Konzept zur Gestaltung prozeß- und integrationsgerechter Produktmodelle.
Kaiserslautern: Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation 1995.
- RIEDL, R. (2000)
Strukturen der Komplexität.
Berlin: Springer Verlag 2000.
- ROBERTSON, P.K. (1991)
An Methodology for choosing Data Representations. In: IEEE Computer Graphics & Application 11 (1991) 3, S. 56-67.
Los Alamitos: IEEE Computer Society Press 1991.
- ROSS, P. E. (2000)
Streit um Wörter. In: Spektrum der Wissenschaft, Dossier 1/2000: Die Evolution der Sprache, S. 6-15.
Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 2000.
- ROTH, K. (2000a)
Konstruieren mit Konstruktionskatalogen Band 1. (3. Auflage)
Berlin: Springer Verlag 2000a.

- ROTH, K. (2000b)
Konstruieren mit Konstruktionskatalogen Band 2. (3. Auflage)
Berlin: Springer Verlag 2000b.
- RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I.; BOOCH, G. (1999)
The unified Modeling Language - Reference Manual.
New York: Addison-Wesley 1999.
- RUMELHART, D. E.; ABRAHAMSON, A. A. (1973)
A model for analogical reasoning. In: *Cognitive Psychology*, 5, 1-28.
New York: Psychology Press 1973.
- SAFFARI, A. (2004)
Entwicklung einer Vorrichtung zum genauen Positionieren einer Schnittebene für Knieoperationen unter dokumentiertem Methodeneinsatz (Unveröffentlichte Semesterarbeit).
München: TU-München: Lehrstuhl für Produktentwicklung, zugl. München: TU, Semesterarbeit 2000.
2004.
- SAVRANSKY, S. D. (2001)
Engineering of Creativity - Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving.
London: CRC Press 2001.
- SCHEER, A. - W. (2001)
ARIS - Modellierungsmethoden, Methamodelle, Anwendungen. (4. Auflage)
Berlin: Springer Verlag 2001.
- SCHEER, A.-W. (1998)
Wirtschaftsinformatik. (2. Auflage)
Berlin: Springer Verlag 1998.
- SCHEER, A.-W. (1990)
EDV-orientierte Betriebswirtschaftslehre. (4. Auflage)
Berlin: Springer Verlag 1990.
- SCHLÖGL, C. (2001)
Bestandsaufnahme Informationsmanagement.
Wiesbaden: Deutscher Universitäts Verlag 2001.
- SCHNABEL, U.; SENTKER, A. (2000)
Wie kommt die Welt in den Kopf?.
Hamburg: Rowohlt 2000.
- SCHOLZE-STUBENRECHT, W. (1997)
Duden-5 Das Fremdwörterbuch. (6. Auflage)
Mannheim: Dudenverlag 1997.
- SCHOPENHAUER, A. (1995)
Die Kunst, Recht zu behalten.
Frankfurt: Insel 1995.
- SCHREGENBERGER, J. W. (1982)
Methodenbewusstes Problemlösen.
Bern: Haupt 1982.

- SCHRÖDER, H. (1992)
Grundbegriffe der pädagogischen Psychologie.
Stuttgart: Klett 1992.
- SCHULZE, T.; SCHLECHTWEG, S.; HINZ, V. (2004)
Simulation und Visualisierung 2004.
Magdeburg: Mdprint Mediencenter 2004.
- SCHWANKL, L. (2002)
Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut (Produktentwicklung München, Band 49, zugl. München: TU, Diss. 2002.) 2002.
- SEBEOK, T. A.; UMIKER-SEBEOK, J. (1982)
Du kennst meine Methode.
Frankfurt am Main: Suhrkamp 1982.
- SEEL, N. M. (2000)
Psychologie des Lernens.
München: Reinhardt 2000.
- SHANNON, C. (1998)
The mathematical theory of communication. (17. Auflage)
Urbana: University of Illinois Press 1998.
- SPECHT, D. (1989)
Wissensbasierte Systeme im Produktionsbetrieb.
München: Hanser 1989.
- SPIES, M. (2004)
Einführung in die Logik - Werkzeuge für Wissenspräsentation und Wissensmanagement.
Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 2004.
- SPITZER, M. (2000)
Geist im Netz - Modelle für Lernen, Denken und Handeln.
Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 2000.
- STAHLKNECHT, P.; HASENKAMP, U. (2002)
Einführung in die Wirtschaftsinformatik. (10. Auflage)
Berlin: Springer Verlag 2002.
- STEINMETZ, R.; NAHRSTEDT, K. (2004)
Multimedia applications. (3. Auflage)
Berlin: Springer Verlag 2004.
- STERMAN, J. D. (2000)
Business Dynamics - Systems Thinking and Modelling of a complex world.
New York: McGraw-Hill 2000.
- STERNBERG, R. J. (1977)
Intelligence, information processing and analogical reasoning.
Hillsdale, N.J.: Erlbaum 1977.

- STETTER, R. (2000)
Method implementation in integrated product development.
München: Dr. Hut (Produktentwicklung München, Band 41, zugl. München: TU, Diss. 2002.) 2000.
- STEWART, D. V. (1981)
The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex System. In: IEEE 3. August 1981, P. 71-74
- STROBL, G. (1998)
Entwicklung und Wiederverwendung wissensbasierter Produktmodelle auf der Grundlage formaler Ontologien.
München: Utz 1998.
- STROEBE, W.; NIJSTAD, B. (2003)
Störe meine Kreise nicht! In: Spektrum der Wissenschaft Gehirn & Geist, Heft 2/2003, S.26-31.
Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 2003.
- STROHSCHNEIDER, S. (1988)
Zur Funktion des Wissenserwerbs beim Umgang mit komplexen Problemen.
Bamberg: Lehrstuhl Psychologie II, Universität Bamberg 1988.
- SUH, N. P. (1988)
The Principles of Design.
Oxford: Oxford University Press 1988.
- SUPPES, P. (1970)
A Probabilistic Theory of Causality.
Amsterdam: North-Holland Publishing Company 1970.
- TENZER, E. (2004)
Schweigen ist Silber, Reden ist Gold. In: Bild der Wissenschaft 08/2004.
Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt 2004.
- THALHEIM, B. (2000)
Entity-Relationship.
Berlin: Springer Verlag 2000.
- THEUS, M. (1996)
Theorie und Anwendung Interaktiver Statistischer Graphik.
Augsburg: Universität Augsburg 1996.
- THOMPSON, R. F. (2001)
Das Gehirn. (3. Auflage)
Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag 2001.
- ULRICH, H.; PROBST, G. (1995)
Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln. (4. Auflage)
Bern: Haupt 1995.
- V. FOERSTER, H. (1999)
Sicht und Einsicht - Versuche zu einer operativen Erkenntnistheorie.
Heidelberg: Carl-Auer-Systeme Verlag 1999.

- VESTER, F. (1999)
Neuland des Denkens.
München: dtv 1999.
- VIERTLBÖCK, M. (2000)
Modell der Methoden- und Hilfsmiteleinführung im Bereich der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut (Produktentwicklung München, Band 42, zugl. München: TU, Diss. 2000.) 2000.
- VOGEL, H. (1974)
Problemtheorie in Technik und Mechanik.
Rostock: Universität 1974.
- WAGENSCHNIG, M. (1999)
Verstehen lernen.
Weinheim: Beltz 1999.
- WATZLAWICK, P.; KREUZER, F. (2001)
Die Unsicherheit der Wirklichkeit.
München: Piper 2001.
- WESSELS, M. (1994)
Kognitive Psychologie. (3. Auflage)
München: Reinhardt 1994.
- WITTGENSTEIN, L. (2001)
Logisch-philosophische Abhandlung - Tractatus logico-philosophicus. (2. Auflage)
Frankfurt: suhrkamp 2001.
- WUKETIS, F. M. (2002)
Was ist Sozialbiologie.
München: C. H. Beck 2002.
- WULF, J. (2002)
Elementarmethoden zur Lösungssuche.
München: Dr. Hut (Produktentwicklung München, Band 50, zugl. München: TU, Diss. 2002.) 2002.
- ZAHAVI, A.; ZAHAVI, A. (1998)
Signale der Verständigung - Das Handicap-Prinzip.
Frankfurt: Insel 1998.
- ZANGEMEISTER, C. (1976)
Nutzwertanalyse in der Systemtechnik.
München: Wittmann 1976.
- ZANKER, W. (1999)
Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden.
Aachen: Shaker (Konstruktionstechnik München, Band 36, zugl. München: TU, Diss. 1999.) 1999.
- ZENCK, P. (2003)
Die drei Begabungen des Managers. In: Hirsch, U.; Dueck, G. (Hrsg.): Management by Mathematics, S. 11-20.
Wiesbaden: Vieweg 2003.

ZOBEL, D. (2002)

Systematisches Erfinden. (2. Auflage)
Renningen: expert Verlag 2002.

ZWICKY, F. (1966)

Entdecken, Erfinden, Forschen im Morphologischen Weltbild.
München: Droemersch 1966.

9 Anhang

9.1	ÜBERBLICK ÜBER BEURTEILTE MODELLE (MIT LITERATURANGABEN).....	37
9.2	MODELLÜBERBLICK – ARTEN	37
9.3	MODELLÜBERBLICK – ÄHNLICHKEITEN.....	37
9.3.1	<i>Zu erarbeitende Informationen (vgl. Feld I in Bild 3-3).....</i>	37
9.3.2	<i>Informationen, die bei der Transformation „verloren“ gehen (vgl. Feld II in Bild 3-3).....</i>	37
9.3.3	<i>Informationen, die in ein anderes Modell transformiert werden können (vgl. Feld III in Bild 3-3).....</i>	37
9.3.4	<i>Prinzipienanwendung bei Modellüberführung (Feld IV in Bild 3-3).....</i>	37
9.4	ÜBERBLICK ÜBER DIE PRINZIPIEN.....	37
9.5	GEDANKEN ZUR MATRIX (GRAFENTHEORIE).....	37
9.6	DISSERTATIONSVERZEICHNIS DES LEHRSTUHL FÜR PRODUKTENTWICKLUNG.....	37

9.1 Überblick über beurteilte Methoden (mit Literaturangaben)

Im Folgenden werden die Quellen der betrachteten Methoden in einer Übersicht dargestellt, um eine Vertiefung der einen oder anderen Methode leichter zugänglich zu machen.

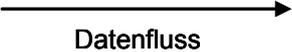
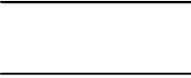
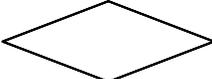
Ablaufkarten	DAENZER 1999
Anforderungsliste	EHRENSPIEL 2003, DREBING 1991, CONRAD 1998
Aris	SCHEER 1998, 2001, MERTENS 2001, HANSEN & NEUMANN 2001, HARS 1994
ARIZ	HERB 2000, ALTSCHULLER & SELJUZKI 1984
Datenflussdiagramme	DEMARCO 1978, HATLEY & PIRBHAI 1987, MARTIN 1987, MC MENAMIN & PALMER 1984, BÖTTCHER 2001
Design Strukturmatrix	STEWART 1987, BALDWIN & CLARK 2000
Effektstruktur	EHRENSPIEL 2003
Entity-Relationship-Modell	THALHEIM 2000, SCHEER 1990, 1998, STAHLKNECHT & HASENKAMP 2002
Ereignisgesteuerte Prozessketten	KELLER 2000, SCHEER 1998, STAHLKNECHT & HASENKAMP 2002
FAST-Modell	AKIYAMA 1994

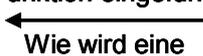
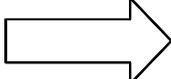
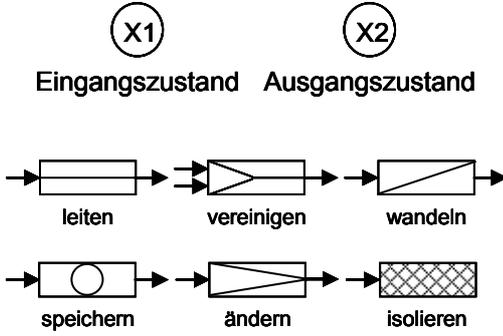
Funktionsablaufdiagramm	EHRENSPIEL 2003, PAHL & BEITZ 1993, KOLLER 1994
Funktionshierarchiediagr.	STAHLKNECHT & HASENKAMP 2002, HANSEN & NEUMANN 2001
Funktionsstruktur, allg.	DREBING 1991, CONRAD 1998, ROTH 2000a
Funktionszuordnungsdiagr.	
Jackson-Diagramm	KELLER 2000, STAHLKNECHT & HASENKAMP 2002, BÖTTCHER 2001
Kontextdiagramme	JACKSON 2001
Morphologischer Kasten	CONRAD 1998, ROTH 2000, BÖHM 1996
Petri-Netz	KELLER 2000, BALZERT 2000, STAHLKNECHT & HASENKAMP 2002
Prozessbausteine	BICHLMAIER 2000
SADT / IDEF0	KELLER 2000, STAHLKNECHT & HASENKAMP 2002, MERTENS 2001
Strukturgraph	
TRIZ-Stoff-Feld-Modell	ZOBEL 2002
TRIZ-Funktionsstruktur	ALTSCHULLER 1996, KLEIN 2002, GIMPEL et. al 2000, ZOBEL 2002
UML - Aktivitätsdiagramm	BALZERT 1999, KELLER 2000, SCHEER 1990, 1998
UML - Anwendungsfall- diagramm/Use Cases	
UML - Klassendiagramm	
UML - Message Sequence Charts	
UML - Sequenzdiagramm	
UML - State Charts/ Zu- standsübergangsdiagramme	
Vorgangskettendiagramm	SCHEER 1990, 1998
Warnier-Orr-Diagramm	BÖTTCHER 2001

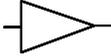
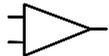
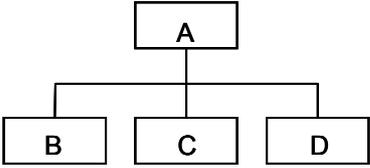
9.2 Methodenüberblick – Arten

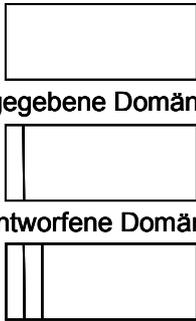
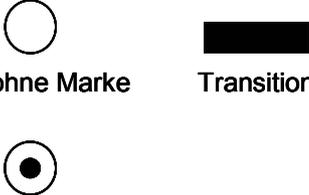
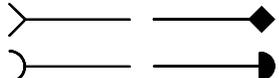
Um einen Eindruck zu vermitteln, welche Modelle die unterschiedlichen Methoden hervorbringen können, wird die Nomenklatur bzgl. Relationen und Objekte der Modelle vorgestellt. Hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass es teilweise schwierig erscheint, einen praktikablen Unterschied zwischen den Modellen zu identifizieren, sodass sich der Anwender von einer Vielzahl an Methoden nicht zu sehr beeindruckt lassen sollte.

Namen	Relationen	Objekte																									
Ablaufkarten		<table border="1" data-bbox="850 371 1313 539"> <thead> <tr> <th>Nr</th> <th>Ablaufstufen</th> <th>Verricht</th> <th>Position 1</th> <th>Position 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Stufe 1</td> <td>O I T S</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Stufe 2</td> <td>O I T S</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Stufe 3</td> <td>O I T S</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Stufe 4</td> <td>O I T S</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> • O (Operation) für beliebige Bearbeitungsschritte • I (Inspection) für Kontrollvorgänge • T (Transport) von einer Stelle zur nächsten • S (Stopover) ablaufbedingte Verzögerungen 	Nr	Ablaufstufen	Verricht	Position 1	Position 2	1	Stufe 1	O I T S			2	Stufe 2	O I T S			3	Stufe 3	O I T S			4	Stufe 4	O I T S		
Nr	Ablaufstufen	Verricht	Position 1	Position 2																							
1	Stufe 1	O I T S																									
2	Stufe 2	O I T S																									
3	Stufe 3	O I T S																									
4	Stufe 4	O I T S																									
Anforderungsliste		<div style="text-align: center;">  <p>Anforderung</p> </div>																									
Aris	<p>Organisationsfluss  Funktionsfluss </p> <p style="text-align: center;">  Konnektor „und“  Konnektor „oder“ </p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  Zustand </div> <div style="text-align: center;">  Bearbeiter </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  Vorgang, Funktion </div> <div style="text-align: center;">  Ereignis </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  Organisationseinheit </div>																									
Ariz	<p style="text-align: center;">  Nützliche Auswirkung  Schädliche Auswirkung  Unzureichende Auswirkung </p>	<div style="text-align: center;">  Parameter </div>																									

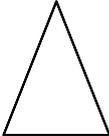
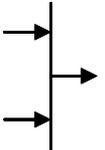
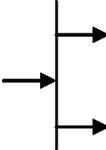
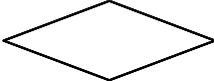
Namen	Relationen	Objekte																																				
Datenflussdiagramm		 <p>Datenquelle</p>  <p>Datenspeicher</p>  <p>Prozess</p>																																				
Design Structure Matrix	<p>0-1 binär</p> <p>0-1-2-3 linear</p> <p>0-1-3-9 progressiv</p> <p>0-1-1,5-1,7 degressiv</p>	<table border="1" data-bbox="922 831 1246 1149"> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>D</td> <td>E</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td>X</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>X</td> <td></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td style="background-color: #cccccc;"></td> </tr> </table>		A	B	C	D	E	A		X		X		B						C	X				X	D			X			E		X			
	A	B	C	D	E																																	
A		X		X																																		
B																																						
C	X				X																																	
D			X																																			
E		X																																				
Effektstruktur	 <p>A Einflussgröße/ Variable</p>	 <p>B Formel</p>																																				
Entity-Relationship-Modell	<p>A:A</p> <p>Relation</p> <p>Kardinalitäten (A:A) :</p> <p>1:1 1:n m:1 m:n</p> <p>n,m ∈ [1,2,...]</p>	 <p>Entity / Entitytyp</p>  <p>Beziehung</p>  <p>Attribut</p>																																				

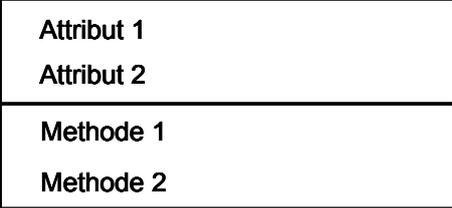
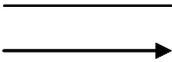
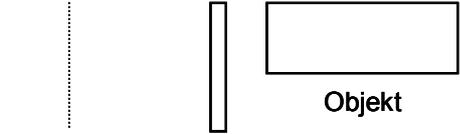
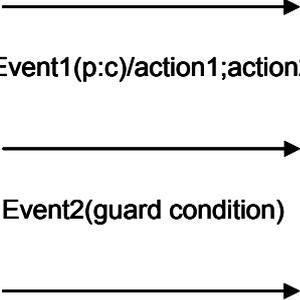
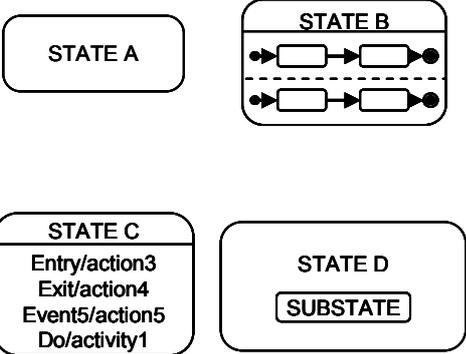
Namen	Relationen	Objekte
Ereignisgesteuerte Prozesskette (EPK)	 Konnektor „und“  Konnektor „oder“  Konnektor „XOR“	 Funktion  Ereignis
FAST-Modell	 Relation Warum wurde eine Funktion eingeführt  Wie wird eine Funktion verwendet	 Funktion
Funktionsablaufdiagramm	 Energie  Signal  Stoff	
Funktionshierarchiediagramm	 Relation	 Objekt

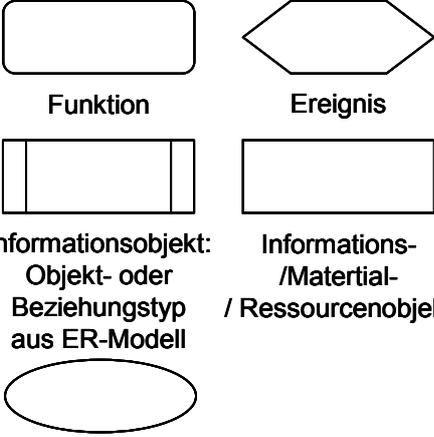
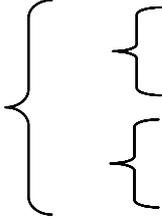
Namen	Relationen	Objekte
<p>Funktionsstruktur, allgemeine</p>	<p style="text-align: center;">  Relation </p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center; margin: 5px;">  Funktion Zeit ändern Speichern </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;">  Funktion Ort ändern Leiten </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;">  Funktion Qualität, Quantität ändern Wandeln </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;">  Funktion Menge, Anzahl ändern </div> </div>
<p>Funktions- zuordnungs- diagramm</p>	<p style="text-align: center;">  Relation </p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center; margin: 5px;">  Person </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;">  Modul </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;">  Anwendungs- system </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;">  Funktion </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;">  Informations- träger </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;">  Organisations- einheit </div> </div>
<p>Jacksondiagramm</p>	<p style="text-align: center;">  Relation </p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;"> Sequenz $A = [B + C + D]$ Auswahl $A = [B C D]$ </p> <p style="text-align: center;"> + = und = oder </p>

Namen	Relationen	Objekte																														
Kontextdiagramm	 <p>Schnittstelle</p>	 <p>gegebene Domäne</p> <p>entworfenene Domäne</p> <p>Maschinendomäne</p>																														
Morphologischer Kasten		<table border="1" data-bbox="874 795 1326 1128"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="5">Lösungsalternativen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Charakteristikum 1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Charakteristikum 2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Charakteristikum 3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Charakteristikum 4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Lösungsalternativen					Charakteristikum 1						Charakteristikum 2						Charakteristikum 3						Charakteristikum 4					
	Lösungsalternativen																															
Charakteristikum 1																																
Charakteristikum 2																																
Charakteristikum 3																																
Charakteristikum 4																																
Petri-Netz	 <p>Relation</p>	 <p>Stelle ohne Marke</p> <p>Transition</p> <p>Stelle mit Marke</p>																														
Prozessbaustein	 <p>Nutzung und Definition je nach Anwendungsfall</p>	<table border="1" data-bbox="850 1525 1350 1771"> <thead> <tr> <th>Eingang</th> <th rowspan="5">Tätigkeits- beschreibung</th> <th>Ausgang</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Allgemein</td> <td>Allgemein</td> </tr> <tr> <td>Produkt</td> <td>Produkt</td> </tr> <tr> <td>Montagevorgang</td> <td>Montagevorgang</td> </tr> <tr> <td>Montageanlage</td> <td>Montageanlage</td> </tr> </tbody> </table>	Eingang	Tätigkeits- beschreibung	Ausgang	Allgemein	Allgemein	Produkt	Produkt	Montagevorgang	Montagevorgang	Montageanlage	Montageanlage																			
Eingang	Tätigkeits- beschreibung	Ausgang																														
Allgemein		Allgemein																														
Produkt		Produkt																														
Montagevorgang		Montagevorgang																														
Montageanlage		Montageanlage																														

Namen	Relationen	Objekte
SADT / IDEF0	<p style="text-align: center;"> Eingabedaten Ausgabedaten Steuerdaten Mittel </p>	<p style="text-align: center;"> Funktion/ Aktivität </p>
Strukturgraph	<p style="text-align: center;"> x steht für: s: statische Kopplung b: bewegte Kopplung a: aufgehobene Kopplung st: starre Kopplung el: elastische Kopplung </p>	<p style="text-align: center;"> Objekt </p>
TRIZ- Funktionsstruktur	<p style="text-align: center;"> Wird benötigt für Wurde eingeführt um zu vermeiden verursacht </p>	<p style="text-align: center;"> Schädliche Funktion Nützliche Funktion </p>

Namen	Relationen	Objekte
<p>Triz Stoff-Feld</p>	<p>  unspezifizierte Wirkung,  erwünschte Wirkung  Wechselwirkung notwendige Wirkung oder Wechselwirkung, die  entsprechend den Bedingungen der Aufgabe verbessert werden kann  unbefriedigende Wirkung oder Wechselwirkung, die entsprechend den Bedingungen der Aufgabe verbessert werden muss  gibt Richtung an von „gegeben“ zu „erhalten“  Feld am Eingang: „Feld wirkt ...“ Feld am Ausgang: „Feld lässt sich gut durch die Wirkung ... beeinflussen (ändern, nachweisen, messen).“  </p>	<p>symbolische Form eines WEPOLS</p> 
<p>UML – Aktivitätsdiagramm</p>	<p>  Synchronisation  Splitting  Transition </p>	<p>  Aktivität  Objekt  Anfangszustand  Endzustand  Aggregation  Komposition </p>
<p>UML – Anwendungsfalldiagramm</p>		<p>  Anwendungsfall  Akteure </p>

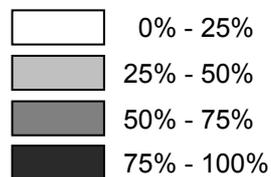
Namen	Relationen	Objekte
UML – Klassendiagramm	Multiplizität 2 <hr/> Multiplizität 1	
UML – Message Sequence Chart		
UML – Sequenzdiagramm	 <p>Nachrichten</p>	 <p>Lebenslinie Objekt-lebenslinie Objekt</p>
UML – State Chart	 <p>Event1(p:c)/action1;action2</p> <p>Event2(guard condition)</p> <p>Event3</p>	

Namen	Relationen	Objekte
Vorgangsketten- diagramm	 <p>Verknüpfungsoperatoren</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Kontrollfluss</p> <p style="text-align: center;">→</p> <p>Informations- /Datenfluss</p> <p style="text-align: center;">—</p> <p>Ressourcen- /Organisations- einheitenzuordnung</p>	 <p>Funktion</p> <p>Ereignis</p> <p>Informationsobjekt: Objekt- oder Beziehungstyp aus ER-Modell</p> <p>Informations- /Material- / Ressourcenobjekt</p> <p>Organisationseinheit</p>
Warnier-Orr- Diagramm		<p>Gruppe</p> <p>Untergruppe1.1</p> <p>Untergruppe1.1.1</p> <p>Untergruppe1.1.2</p>

9.3 Modellüberblick – Ähnlichkeiten

In diesem Überblick wird die Ähnlichkeit der Modelle auf zwei Abstraktionsstufen vorgestellt. Die Tabellen die in Abschnitt 9.3.1 bis 9.3.3 vorgestellt werden, basieren auf einem Vergleich der Charakteristika die in Kapitel 4 vorgestellt worden sind. Diese Tabellen erheben damit einen konkreten Anspruch, der sich auf die Eigenschaften der Modelle bezieht. Bei der Tabelle in Abschnitt 9.3.4 werden die Prinzipien aus Kapitel 5 vorgestellt, die dann zum Einsatz kommen, sobald eine Transformation des einen Modells in das andere durchgeführt werden soll. Dass sich dabei die Prinzipien an den Charakteristika orientieren wurde bereits erwähnt, gleichzeitig stellen die Prinzipien eine abstrakte Hilfestellung dar, die bei der Transformation eingesetzt werden kann.

Die Ähnlichkeit der Modelle ergibt sich dann aus der Beurteilung der Eigenschaften der Modelle. Die Graustufen in der Tabelle stehen für Prozentzahlen in den Bereichen:



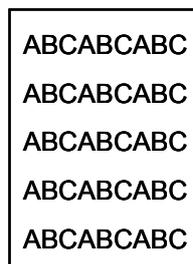
Die Prozentzahlen ergeben sich dann durch das in Bild 3-4 vorgestellte Vorgehen.

9.4 Überblick über die Prinzipien

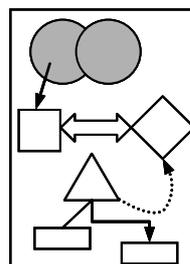
6. Prinzip der Objektperspektive

<i>Technische Anforderungen</i>	<i>Technische Umgebung</i>	<i>Umwelt</i>
Qualität Festigkeit Lebensdauer Montierbarkeit Verschleiß	Sonderwerkzeuge Transportprobleme Wartung Instandhaltung Einbaubedingungen	Arbeitsschutz Ergonomie Design Sicherheit Recycling
<i>Gesetze, Normen, Patente</i>	<i>Zeit</i>	<i>Personal</i>
Schutzrechte Anschlussmaße Werkstoffvorschriften TÜV Garantiezeit	Terminplan Zulieferteile Inbetriebnahmezeit Reparaturzeit Versuchszeit	Zuarbeit Beratung Schulung Werbung Kundendienst
<i>Aufgabenherkunft</i>	<i>Markt</i>	<i>Fertigung</i>
Produktplanung Kundenauftrag Fertigungs- und Prüffeldbereich Konstruktionsauftrag	Kunden Länder Zielgruppen	Einzel- und Kleinserienfertigung Serien- und Massenfertigung
<i>Ziele</i>	<i>Branche</i>	
Funktionsoptimierung Kostenminimierung Designbetonung Gewichtsminimierung	Maschinenbau Elektrotechn. Industrie Chemie- und Verfahrenstechnik Software	

7. Prinzip der Verknüpfungsklasse

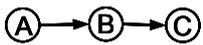
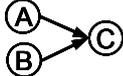
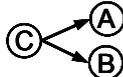
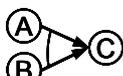
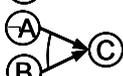
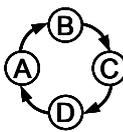
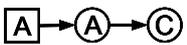


Textlich



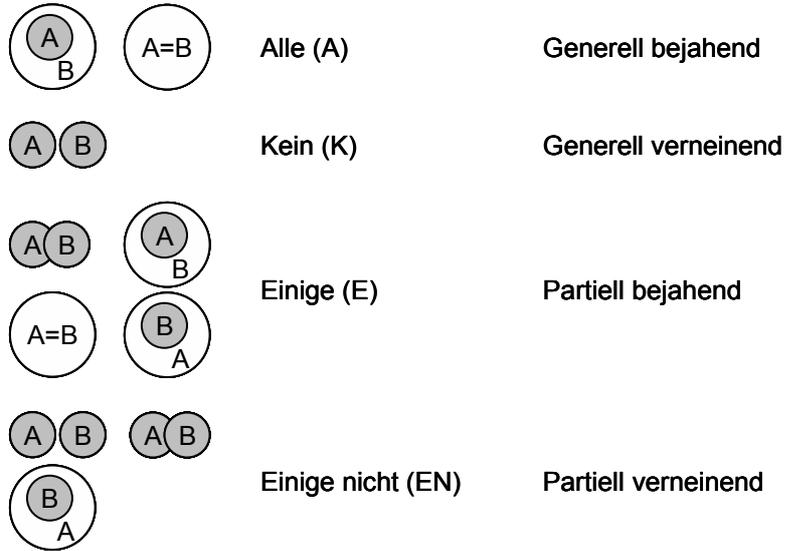
Grafisch

8. Prinzip der Verknüpfungsklasse

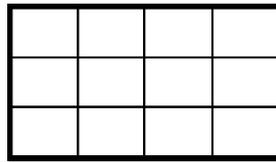
<i>Logisch</i>	∧ Konjunktion	∨ Disjunktion	¬ Negation
<i>Kausal</i>		$A \rightarrow B$	Direkte Ursache
		$(A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow C)$	Kausalkette
		$A \vee B \rightarrow C$	Alternative Ursache
		$(C \rightarrow A) \wedge (C \rightarrow B)$	Multiple Wirkung
		$AB \rightarrow C$	Komplexe Ursache
		$\neg AB \rightarrow C$	Hemmende Ursache
		$(A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow A)$	Wechselwirkung
		$(A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow C) \wedge (C \rightarrow D) \wedge (D \rightarrow A)$	Kausalzyklus
<i>Proportional</i>		Aussage: Wenn A, dann C Annahme: A Schlussfolgerung: C (?)	Bejahen der Voraussetzung (modus ponens)
		Aussage: Wenn A, dann C Annahme: C Schlussfolgerung: A (?)	Bejahen der Konsequenz
		Aussage: Wenn A, dann C Annahme: ¬A Schlussfolgerung: C (?)	Verneinen der Voraussetzung
		Aussage: Wenn A, dann C Annahme: ¬C Schlussfolgerung: A (?)	Verneinen der Konsequenz (modus tollens)
<i>Probalistisch</i>	0%-100%	Prozentuale Abschätzung	

8. Prinzip der Verknüpfungsklasse (Fortsetzung)

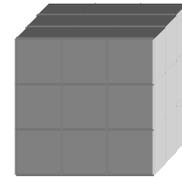
Klassifikation



Morphologisch

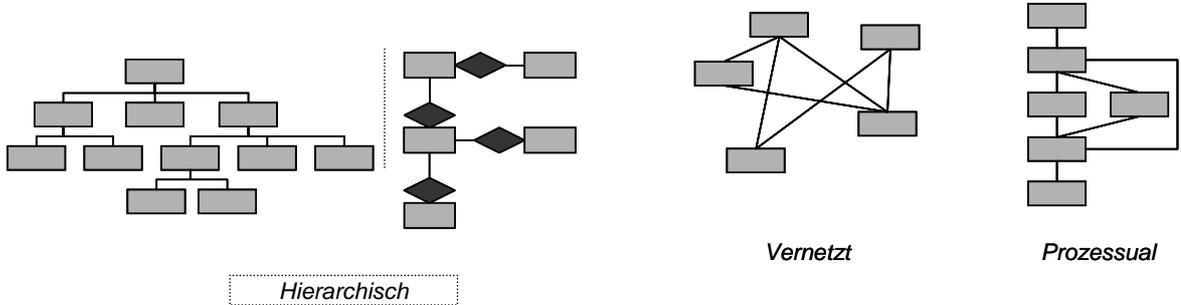


1-Dimensional



n-Dimensional

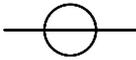
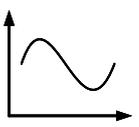
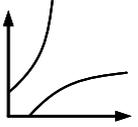
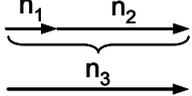
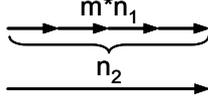
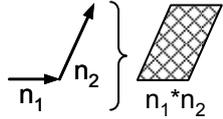
9. Prinzip der Verknüpfungsstruktur



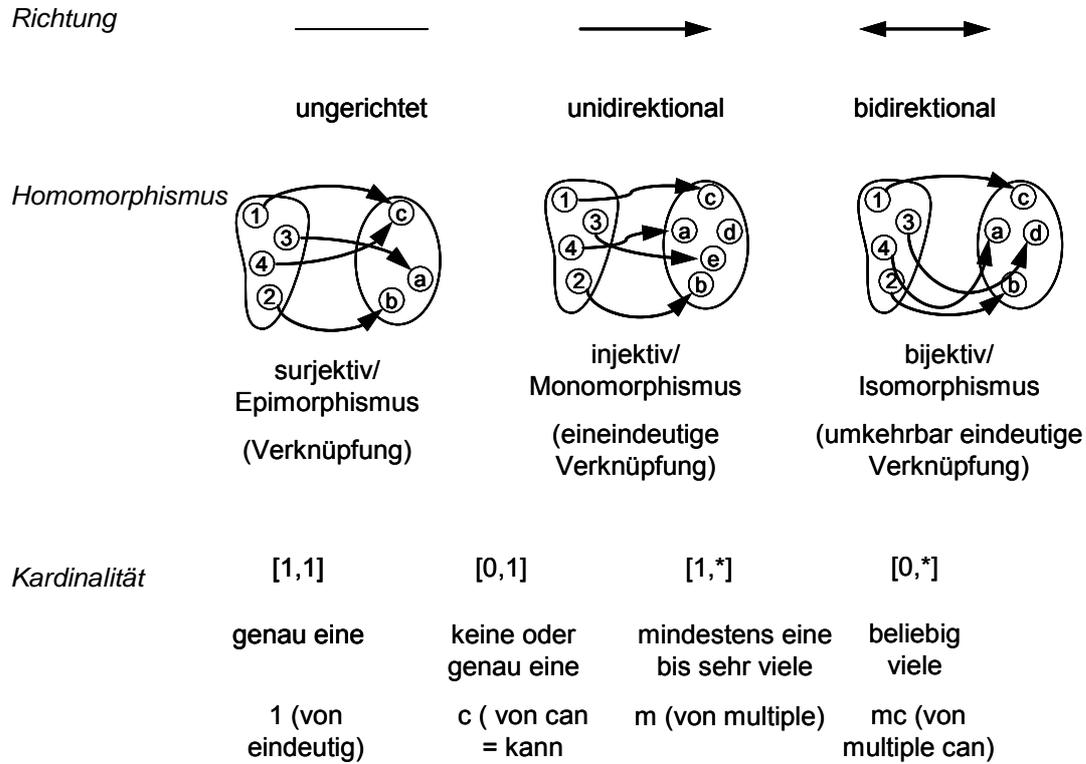
10. Prinzip des transportierten Inhalts



11. Prinzip der Verknüpfungswirkung

<i>Zeitliche Wirkung</i>				
	unmittelbar	kurzfristig	mittelfristig	langfristig
<i>Räumliche Wirkung</i>				
	keine	gering	mittel	groß
<i>Funktional Wirkung</i>				
	polynomisch	trigonometrisch	exponentiell/ logarithmisch	
				
	Vektorprodukt	Vervielfachung (skalar)	Skalprodukt	
<i>Bedeutung</i>	0-1	0-1-2-3	0-1-3-9/0-1-1,5-1,7	
	binär	linear	progressiv/degressiv	

12. Prinzip der Verknüpfungsrichtung



13. Prinzip der Detaillierung einer Verknüpfung / eines Objekts

<i>quantitativ</i>	0 1 nominal	*, **, *** ordinal	——— Intervall	A>B<C Verhältnis	Kelvin-Skala absolut	
<i>qualitativ</i>	Energie Leistung Wirkungsgrad Temperatur Arbeitsaufnahme	Stoff Eigenschaften Hilfsstoffe Werkstoff	Information Eingangsgroßen Ausgangsgroßen Anzeige Überwachungsgeräte	Geometrie Größe (Höhe, Breite) Anzahl Anordnung Form	Kinematik Bewegungsart Bewegungsrichtung Geschwindigkeit Beschleunigung	Kosten Herstellkosten Werkzeugkosten Amortisation Stückkosten

9.5 Gedanken zur Matrix (Grafentheorie)

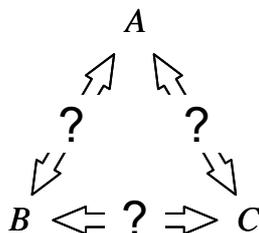
Im Folgenden sollen Gedanken zu der Grafentheorie vorgestellt werden, der zwar nicht eine intensive wissenschaftliche Auseinandersetzung vorausgegangen ist; viel mehr steht im Mittelpunkt eine pragmatische Anwendung der kausalen Logik auf eine grafische Darstellung. Ziel der nachfolgenden Diskussion ist die im Maschinenbau gängige Matrix¹ mit weniger Ausgangsinformationen nutzbar zu machen. Während bei der klassischen Anwendung der Matrix die Richtung der Verknüpfung zwischen den Objekten bekannt sein muss, reicht es in dem vorliegenden Ansatz zu wissen, welche (ungerichteten) Verknüpfungen vorliegen und welche nicht vorliegen. Eine Anwendung des Ansatzes kann sich als Alternative verstehen, die bei dem Umgang mit hoher Unsicherheit ihre Anwendung finden kann. Darüber hinaus ist die Dokumentation von Zusammenhängen (z. B. $A \rightarrow B$) und Nicht-Zusammenhängen ($\neg A \rightarrow \neg B$) von Interesse. Betrachtet werden sollen:

- Die Aufdeckung einer vorhandenen Verknüpfung, basierend auf einer diagonalen Summenbildung.
- Die Wahrscheinlichkeit eine Verknüpfungsrichtung mithilfe der Kontingenz ($A \rightarrow B$ oder $B \rightarrow A$)
- Die Sensibilität von Objekten auf Änderung der gegenseitigen Beeinflussung (z. B. bei vorhanden sein einer hierarchischen Anordnung)
- Eine Clusteranalyse von Objekten zur Bearbeitung von Verknüpfungen

Die vier vorzustellenden Schritte können als ein integriertes Vorgehen verstanden werden. Durch die ersten beiden Schritte wird ein früherer Einsatz der Matrix unterstützt. Die letzten beiden Inhalte (Sensibilität, Clusteranalyse) setzen einander nicht voraus, sondern beide Ansätze stellen eine Alternative oder Ergänzung dar. Um die aufgeführten Gedanken vorzustellen, wird unterschieden zwischen einem vorhandenen (A , B , C) oder nicht vorhanden ($\neg A$, $\neg B$, $\neg C$) Element. Zwischen den Elementen liegt der Kenntnisstand vor, wie er exemplarisch in Bild 9-1 veranschaulicht wird (d. h., es ist keine Richtung der Verknüpfung bekannt, sodass eine Unterscheidung von Ursache und Wirkung nicht vorgenommen werden kann).

¹ Unter Berücksichtigung, dass die Zeilen die Spalten beeinflussen (wie es im europäischen Raum üblich ist, jedoch sich von der Spalten-beeinflussen-Zeilen Betrachtung des überwiegend amerikanischen Sichtweise abgrenzt).

	A	B	C
A			x
B			x
C	x		



	A	¬A	B	¬B	C	¬C
A			18	10	3	3
¬A			1	9	2	4
B					12	8
¬B					1	7
C						
¬C						

Klassischer Ansatz der Matrix durch gerichteten Zusammenhang der Elemente

Zusammenhang der Elemente A, B, C

Ausfüllen einer Matrix durch (nicht) vorhandene Zusammenhänge der Elemente

Bild 9-1: Links: klassisches Beispiel einer Matrix, rechts: Beispiel für die Diskussion von diagonaler Summenbildung, Wahrscheinlichkeit einer Verknüpfungsrichtung, der Sensibilität und einer Clusteranalyse (die Verknüpfungswerte stellen eine Einschätzung über den Zusammenhang dar, die Buchstaben werden für die nachfolgenden Zusammenhänge herangezogen)

Diagonale Summenbildung

Liegt einem Individuum eine Darstellung wie in Bild 9-1 vor, so ist vorzugsweise das Phänomen zu beobachten, dass eine Einschätzung über das vorhanden sein einer Verknüpfung über die Summenbildung der Diagonalen stattfindet (INHELDER & PIAGET 1958).

	B	¬B
A	a	b
¬A	c	d

$$\Delta D = (a + d) - (b + c)$$

Das Ergebnis kann lediglich das relative vorhanden sein einer Relation darstellen, diese steht im Verhältnis zu den anderen vorliegenden Verknüpfungen in einer größeren Matrix und ist zu beurteilen. Durch die Analyse der Diagonalsumme kann die Anzahl der nachfolgend zu untersuchenden Verknüpfungen reduziert werden, bei denen eine Verknüpfungsrichtung noch zu ermitteln ist.

Wird die Idee der Bildung der Diagonalsumme auf eine $n \times n$ -Matrix erweitert, muss für jede Kombination der Objekte eine Diagonalsumme gebildet werden, wobei die Matrix lediglich in einer Hälfte ausgefüllt werden muss, da die Matrix aufgrund der Unbekannten Verknüpfungsrichtung symmetrisch wäre. Für eine $n=3$ Matrix ergeben sich folgende Diagonalsummen (Beispiel rechts aus Bild 9-1):

$$D_{AB} = (AB + \neg A \neg B) - (A \neg B + B \neg A) = 16$$

$$D_{AC} = (AC + \neg A \neg C) - (A \neg C + B \neg C) = 2$$

$$D_{BC} = (BC + \neg B \neg C) - (B \neg C + C \neg B) = 10$$

Bei dem vorliegenden Beispiel ergibt sich eine Kausalkette mit folgendem Zusammenhang: $A - B - C$, da sich der Zusammenhang AB und BC, verglichen zu dem Zusammenhang AC, stark darstellt. Es sei an dieser Stelle hervorgehoben, dass lediglich diskutiert worden ist, dass ein Zusammenhang vorliegt. In welche Richtung dieser sich darstellt, ist noch nicht diskutiert worden.

Wahrscheinlichkeit der Verknüpfungsrichtung (Kontingenz)

In Anlehnung an die Ergebnisse von JENKINS & WARD (1965) ist die Kontingenz ein Maß für die Wahrscheinlichkeit einer Verknüpfungsrichtung. Diese Wahrscheinlichkeiten können ermittelt werden durch folgenden Zusammenhang:

	B	¬B
A	a	b
¬A	c	d

$$\Delta P_{A \rightarrow B} = a / (a + b) - c / (c + d)$$

$$\Delta P_{B \rightarrow A} = a / (a + c) - b / (b + d)$$

$$\Delta P_{A \rightarrow \neg B} = b / (a + b) - d / (c + d)$$

$$\Delta P_{B \rightarrow \neg A} = c / (a + c) - d / (b + d)$$

Liegt eine Unsicherheit in dem Zusammenhang von Objekten vor, können jedoch Aussagen über Verknüpfungen und Nicht-Verknüpfungen gemacht werden, so kann mithilfe der Wahrscheinlichkeiten eine kausale Kette vorgeschlagen werden. Liegen in einer $n \times n$ -Matrix von einem Objekt mehrere Verknüpfungen mit ähnlicher Wahrscheinlichkeit vor, so ist dies ein Hinweis auf eine Verzweigung oder Zusammenführung. Ergibt sich bei der Wahrscheinlichkeit $\Delta P_{A \rightarrow B} \approx \Delta P_{B \rightarrow A}$ ist dies ein Hinweis auf eine bidirektionale Verknüpfung.

Für das vorgestellte Beispiel in Bild 9-1 ergibt sich folgende Konstellation:

$$\Delta P_{A \rightarrow B} = 0,54$$

$$\Delta P_{B \rightarrow A} = 0,42$$

$$\Delta P_{A \rightarrow \neg B} = -0,54$$

$$\Delta P_{B \rightarrow \neg A} = -0,42$$

$$\Delta P_{B \rightarrow C} = 0,48$$

$$\Delta P_{C \rightarrow B} = 0,39$$

$$\Delta P_{B \rightarrow \neg C} = -0,48$$

$$\Delta P_{C \rightarrow \neg B} = -0,39$$

	A	B	C
A		5,4	
B	4,2		4,8
C		3,9	

Durch die Diagonalsumme hat sich ergeben, dass ein Zusammenhang zwischen A und C unwahrscheinlich erscheint, sodass auf eine Berechnung hier verzichtet worden ist. Nun liegt eine Matrix vor, wie diese u. a. im Maschinenbau für eine Systemanalyse bereits häufig eingesetzt wird und für die Sensibilitätsanalyse angewendet werden kann (MAURER & LINDEMANN 2004).

Sensibilitätsanalyse

Bisher wurde eine existierende Verknüpfung auf ihre Richtung hin untersucht. Nun soll die Sensibilität (Ψ) einer Änderung der Verknüpfungswerte auf das gesamte Objekt hin untersucht werden (es ist auch eine Untersuchung auf eine Änderung der Wahrscheinlichkeiten möglich, die hier nicht näher diskutiert werden soll). Ändert sich der Verknüpfungswert, kann eine einfache Einschätzung mithilfe der Analysen aus einer Matrix durchgeführt werden. Hier werden die Aktivsumme (S_A) und die Passivsumme (S_P) herangezogen, um die Aktivität ($S_A \cdot S_P$) und die Kritikalität (S_A / S_P) eines Objekts zu beurteilen (AMBROSY 1996).

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die Objekte unter einer einfachen oder einer erweiterten Sensibilität zu betrachten. Die einfache Sensibilität ist grundsätzlich immer möglich, bei der erweiterten Sensibilität ist das Vorhandensein von hierarchischen Strukturen erforderlich.

Für die Sensibilität werden folgende Annahmen getroffen:

- Es liegt keine Sensibilität vor für den Fall $S_A = 0 \wedge S_P = 0$ vor.
- Es liegt eine hohe Sensibilität für den Fall $S_A \approx S_P$ vor.
- Die Sensibilität steigt mit dem Abstand zum Ursprung.

Durch die Annahmen ergeben sich durch die Aktiv- und Passivsumme zum einen die Komplexität (Λ) und der Abstand (ε), die in Kombination einen Hinweis auf die Sensibilität geben:

$$\Lambda(S_A, S_P) = 1 - \frac{4}{\pi} \cdot \left| \alpha(S_A, S_P) - \frac{\pi}{4} \right|, \text{ mit } \alpha(S_A, S_P) = \begin{cases} \frac{\pi}{2}, S_A = 0 \\ \arctan \frac{S_P}{S_A}, S_A \neq 0 \end{cases}$$

Mit diesem Ausdruck wird die maximale Sensibilität erreicht, wenn ein Objekt auf der Winkelhalbierenden liegt und die minimale Sensibilität bei $S_A = 0 \wedge S_P = 0$. Der Abstand ergibt sich durch:

$$\varepsilon(S_A, S_P) = \sqrt{S_A^2 + S_P^2}$$

Damit kann die einfache Sensibilität ermittelt werden durch:

$$\Psi(S_A, S_P) = \Lambda(S_A, S_P) \bullet \varepsilon(S_A, S_P)$$

Um die einfache Sensibilität durch das Beispiel zu veranschaulichen, greifen wir auf die Matrix zurück, die uns nach der Betrachtung der Verknüpfungsrichtung zur Verfügung steht.

	A	B	C	Σ_{Akt}	Λ	ε	Ψ
A		5,4		5,4	0,84	6,8	5,7
B	4,2		4,8	9,0	0,96	12,9	12,4
C		3,9		3,9	0,88	6,2	5,5
Σ_{Pas}	4,2	9,3	4,8				

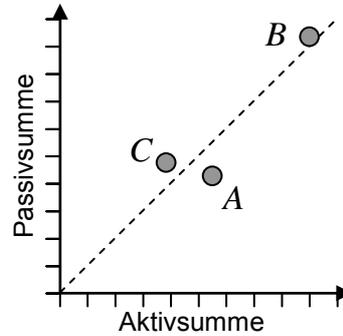


Bild 9-2: Sensibilität von Elementen anhand eines einfachen Beispiels

In Bild 9-2 fällt auf, dass Elemente, die den gleichen Streckenabstand vom Ursprung und den gleichen Winkelabstand von der Diagonalen haben, die gleiche Sensibilität aufweisen. Damit wird dem Umstand nicht Rechnung getragen, dass ein Element eine aktivere Rolle in dem System einnimmt (hier A) als ein anderes Element (hier C).

Während die einfache Sensibilität davon ausgeht, dass eine Änderung bei einem Objekt immer einen gleichen Änderungsaufwand nach sich zieht, geht die erweiterte Sensibilität von einer differenzierten Betrachtung aus. In dem vorliegenden Fall wurde eine hierarchische Aufgliederung in Baugruppen, Unterbaugruppen und Bauteile vorgegeben (siehe Beispiel aus der Automotivbranche in Kapitel 6). Einflüsse können auf jeder dieser drei Ebenen betrachtet werden. Wenn nun ein einzelnes Bauteil betrachtet wird, beeinflusst es Bauteile, die in der gleichen Unterbaugruppe liegen, Bauteile, die in der gleichen Baugruppe, aber nicht in der gleichen Unterbaugruppe liegen und Bauteile, die in einer anderen Baugruppe liegen. Ebenso wird es auch von Bauteilen dieser drei Kategorien beeinflusst. Im ersten Fall spricht man von einem internen Einfluss, im zweiten Fall von einem externen Einfluss erster Ordnung und im dritten Fall von einem externen Einfluss zweiter Ordnung. Diese Einflüsse haben alle unterschiedliche Auswirkungen auf die Sensibilität. Es ist nahe liegend, dass externe Einflüsse die Sensibilität stärker erhöhen als interne und dass die zweiter Ordnung eine noch größere Sensibilität nach sich ziehen als die erster Ordnung. Dementsprechend werden für jede dieser Ebenen getrennte Aktiv- und Passivsummen gebildet, die wir hier mit $S_{A,i}$ bzw. $S_{P,i}$ für die internen und $S_{A,e1}$ bzw. $S_{P,e1}$ und $S_{A,e2}$ bzw. $S_{P,e2}$ für die externen Einflüsse erster und zweiter Ordnung bezeichnen wollen. Aus diesen getrennten Aktiv- und Passivsummen lassen sich die getrennten einfachen Sensibilitäten berechnen:

$$\Psi_{e,i} = \Psi_e(S_{A,i}, S_{P,i}); \Psi_{e,e1} = \Psi_e(S_{A,e1}, S_{P,e1}); \Psi_{e,e2} = \Psi_e(S_{A,e2}, S_{P,e2})$$

Um nach dieser Aufspaltung wieder zu einer einzigen (erweiterten) Sensibilität zurückzukommen, müssen die drei einfachen Sensibilitäten geeignet gewichtet zusammengesetzt werden. Dafür gibt es grundsätzlich die folgenden Möglichkeiten:

- Linear $\Psi = c_0 \cdot \Psi_{e,i} + c_1 \cdot \Psi_{e,e1} + c_2 \cdot \Psi_{e,e2}$ mit $c_0, c_1, c_2 \in \mathfrak{R}^+$
- Polynomiell $\Psi = c_0 \cdot \Psi_{e,i}^{n_0} + c_1 \cdot \Psi_{e,e1}^{n_1} + c_2 \cdot \Psi_{e,e2}^{n_2}$ mit $c_0, c_1, c_2, n_0, n_1, n_2 \in \mathfrak{R}^+$
- Exponentiell $\Psi = c_0 \cdot \Psi_{e,i} + \exp(c_1 \cdot \Psi_{e,e1}) + \exp(c_2 \cdot \Psi_{e,e2})$ mit $c_0, c_1, c_2 \in \mathfrak{R}^+$

Eine Anwendung eines logarithmischen Zusammenhanges erwies sich nach einigen einfachen Testläufen als nicht zweckmäßig, da hier externe Einflüsse zunehmend einen schwächeren Einfluss ausüben würden. All diese Kombinationsmöglichkeiten beruhen auf einer Addition der durch monotone Funktionen gewichteten einfachen Sensibilität. Eine Multiplikation erwies sich als ungeeignet, da dann z. B. Objekte, die keine externen Einflüsse zweiter Ordnung aufweisen, automatisch die Sensibilität 0 erhielten.

Die bisher betrachtete Sensibilität hat sich auf Daten der Verknüpfungen innerhalb einer Objektklasse gestützt (hier Bauteile). Die Sensibilität lässt sich jedoch auch auf andere Objektklassen (z. B. Funktionen) erweitern, die zusätzlich auch noch gewichtet werden können. Auf eine algorithmische Betrachtung des Zusammenhangs soll an dieser Stelle verzichtet werden, soviel sei jedoch angemerkt:

- Je mehr Funktionen ein Bauteil erfüllt, desto höher ist die Sensibilität.
- Je komplexer diese Funktionen sind, desto höher ist die Sensibilität.
- Je mehr ein Bauteil zur Erfüllung einer Funktion beiträgt – d. h. je höher die Gewichtung in der Matrix ist – desto höher ist die Sensibilität.
- Ein Bauteil, das lediglich zur Erfüllung einer einzigen Funktion mit Gewichtung 2 beiträgt, ist weniger sensibel als ein Bauteil, das jeweils mit Gewichtung 1 zur Erfüllung von zwei Funktionen beiträgt.

Interaktionsanalyse

Liegt eine $m \times n$ – Matrix mit unterschiedlichen Objektklassen (z. B. Bauteil und Funktion) vor, kann eine Interaktionsanalyse mit dem Ziel einer Differenzierungs- oder Integrationsstrategie zur Beherrschung der Komplexität angewendet werden. Dazu werden die Objekte (J_1) der ersten Objektklasse den Objekten (J_2) der zweiten Objektklasse zugeordnet. Durch die Zuordnung der Objektklassen kann eine ABC-Analyse für jede Objektklasse abgeleitet werden:

$$1. \text{ Objektklasse: } \sum_{j=1}^n J_{\tilde{i},j} = 1 \text{ mit } \tilde{i} = 1 \dots m$$

$$2. \text{ Objektklasse: } \sum_{i=1}^m J_{i,\tilde{j}} = 1 \text{ mit } \tilde{j} = 1 \dots n$$

Durch eine Kreuzung der beiden ABC-Analysen kann ein Mosaik-Plott erstellt werden. Die Erstellung wird durch eine Software (Mondrian¹) unterstützt, die eine grafische, interaktive Analyse der Verknüpfungen erlaubt (THEUS 1996). Im Gegensatz zu der ABC-Analyse, bei der die quantitative Eigenschaft durch die Höhe ausgedrückt wird, wird bei der Darstellung in dem Mosaik-Plott auf eine quantitative Breite zurückgegriffen.

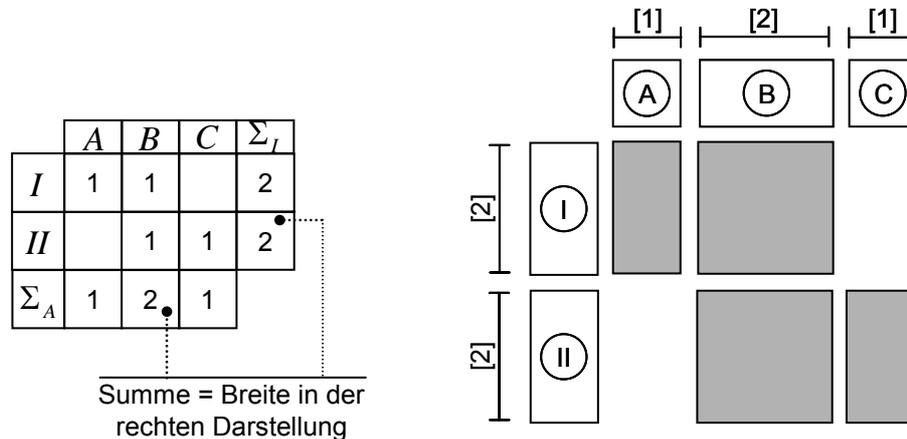


Bild 9-3: Beispiel für eine Clusteranalyse anhand eines einfachen Beispiels

Informationen die sich aus der Clusteranalyse ableiten lassen sind z. B. eine hohe Verknüpfungsanzahl, die sich zwar aus der Matrix auch ableiten lässt, jedoch in der Clusteranalyse besser vermittelt wird. Hieraus lassen sich bei einer Verknüpfung von Bauteilen und Funktionen, Bauteile identifizieren, die sehr viele Funktionen realisieren und vice versa. Um die Sicherheit eines Bauteils zu gewährleisten, kann in der weiteren Entwicklung versucht werden, ein Bauteil weniger Funktionen realisieren zu lassen.

Aus dieser Analyse kann die Kardinalität eines Objektes bestimmt werden, woraus sich folgende Hypothese aufstellen lassen:

- 1:1 Kardinalität oder $\exists \tilde{i}, \tilde{j} \sum_{i=1}^m J_{i,\tilde{j}} = 1 \wedge \sum_{j=1}^n J_{\tilde{i},j} = 1$ mit $\tilde{i} = 1 \dots m, \tilde{j} = 1 \dots n$

Objekte mit dieser Kardinalität können standardisiert werden, da eine Berücksichtigung durch ein anderes Bauteil nicht vorzunehmen ist. In diesem Fall können beide Objekte standardisiert werden.

- 1:n oder m:1 Kardinalität oder $\exists \tilde{i}, \tilde{j} \sum_{i=1}^m J_{i,\tilde{j}} \neq 1 \wedge \sum_{j=1}^n J_{\tilde{i},j} \neq 1$ mit $\tilde{i} = 1 \dots m, \tilde{j} = 1 \dots n$

Bei dem Objekt mit der Kardinalität 1 kann ebenfalls standardisiert werden, da nur eine einfache Abhängigkeit vorliegt.

¹ Download an der Universität Augsburg, Lehrstuhl für Rechnerorientierte Statistik und Datenanalyse, <http://stats.math.uni-augsburg.de/mondrian/> (30. September 2004)

- n:m Kardinalität oder $\exists \tilde{i}, \tilde{j} \sum_{i=1}^m J_{i,\tilde{j}} > 1 \wedge \sum_{j=1}^n J_{\tilde{i},j} > 1$ mit $\tilde{i} = 1 \dots m, \tilde{j} = 1 \dots n$

Sind Objekte mehrfach verknüpft, ist eine Differenzierung zu überlegen, da eine Überlastung eines Objektes vorliegen kann (z. B. ein Bauteil, das viele Funktionen realisiert).

Durch die aufgestellten Hypothesen lässt sich zum einen die Qualität der aufgestellten Verknüpfungen ableiten, zum anderen lassen sich konstruktive Maßnahmen definieren (z. B. Produktion einer Standardkomponente bei einer 1:1 Kardinalität).

9.6 Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls für Produktentwicklung

Lehrstuhl für Produktentwicklung

Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching

Dissertationen betreut von

- Prof. Dr.-Ing. W. Rodenacker,
- Prof. Dr.-Ing. K. Ehrlenspiel und
- Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann

- D1 COLLIN, H.:
Entwicklung eines Einwalzenkalenders nach einer systematischen Konstruktionsmethode. München: TU, Diss. 1969.
- D2 OTT, J.:
Untersuchungen und Vorrichtungen zum Offen-End-Spinnen.
München: TU, Diss. 1971.
- D3 STEINWACHS, H.:
Informationsgewinnung an bandförmigen Produkten für die Konstruktion der Produktmaschine.
München: TU, Diss. 1971.
- D4 SCHMETTOW, D.:
Entwicklung eines Rehabilitationsgerätes für Schwerstkörperbehinderte.
München: TU, Diss. 1972.
- D5 LUBITZSCH, W.:
Die Entwicklung eines Maschinensystems zur Verarbeitung von chemischen Endlosfasern.
München: TU, Diss. 1974.
- D6 SCHEITENBERGER, H.:
Entwurf und Optimierung eines Getriebesystems für einen Rotationsquerschneider mit allgemeingültigen Methoden.
München: TU, Diss. 1974.
- D7 BAUMGARTH, R.:
Die Vereinfachung von Geräten zur Konstanthaltung physikalischer Größen.
München: TU, Diss. 1976.
- D8 MAUDERER, E.:
Beitrag zum konstruktionsmethodischen Vorgehen durchgeführt am Beispiel eines Hochleistungsschalter-Antriebs.
München: TU, Diss. 1976.
- D9 SCHÄFER, J.:
Die Anwendung des methodischen Konstruierens auf verfahrenstechnische Aufgabenstellungen.
München: TU, Diss. 1977.

- D10 WEBER, J.:
Extruder mit Feststoffpumpe – Ein Beitrag zum Methodischen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1978.
- D11 HEISIG, R.:
Längencodierer mit Hilfsbewegung.
München: TU, Diss. 1979.
- D12 KIEWERT, A.:
Systematische Erarbeitung von Hilfsmitteln zum kostenarmen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1979.
- D13 LINDEMANN, U.:
Systemtechnische Betrachtung des Konstruktionsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Herstellkostenbeeinflussung beim Festlegen der Gestalt.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1980. (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften Reihe 1, Nr. 60)
Zugl. München: TU, Diss. 1980.
- D14 NJOYA, G.:
Untersuchungen zur Kinematik im Wälzlager bei synchron umlaufenden Innen- und Außenringen.
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D15 HENKEL, G.:
Theoretische und experimentelle Untersuchungen ebener konzentrisch gewellter Kreisringmembranen.
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D16 BALKEN, J.:
Systematische Entwicklung von Gleichlaufgelenken.
München: TU, Diss. 1981.
- D17 PETRA, H.:
Systematik, Erweiterung und Einschränkung von Lastausgleichslösungen für Standgetriebe mit zwei Leistungswegen – Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1981.
- D18 BAUMANN, G.:
Ein Kosteninformationssystem für die Gestaltungsphase im Betriebsmittelbau.
München: TU, Diss. 1982.
- D19 FISCHER, D.:
Kostenanalyse von Stirnzahnrädern. Erarbeitung und Vergleich von Hilfsmitteln zur Kostenfrüherkennung.
München: TU, Diss. 1983.
- D20 AUGUSTIN, W.:
Sicherheitstechnik und Konstruktionsmethodiken – Sicherheitsgerechtes Konstruieren. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz 1985.
Zugl. München: TU, Diss. 1984.
- D21 RUTZ, A.:
Konstruieren als gedanklicher Prozeß.
München: TU, Diss. 1985.
- D22 SAUERMAN, H. J.:
Eine Produktkostenplanung für Unternehmen des Maschinenbaues.
München: TU, Diss. 1986.

- D23 HAFNER, J.:
Entscheidungshilfen für das kostengünstige Konstruieren von Schweiß- und Gußgehäusen. München: TU, Diss. 1987.
- D24 JOHN, T.:
Systematische Entwicklung von homokinetischen Wellenkupplungen.
München: TU, Diss. 1987.
- D25 FIGEL, K.:
Optimieren beim Konstruieren.
München: Hanser 1988.
Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Figel, K.: Integration automatisierter Optimierungsverfahren in den rechnerunterstützten Konstruktionsprozeß.

Reihe Konstruktionstechnik München

- D26 TROPSCHUH, P. F.:
Rechnerunterstützung für das Projektieren mit Hilfe eines wissensbasierten Systems.
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 1)
Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Tropschuh, P. F.: Rechnerunterstützung für das Projektieren am Beispiel Schiffsgetriebe.
- D27 PICKEL, H.:
Kostenmodelle als Hilfsmittel zum Kostengünstigen Konstruieren.
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 2)
Zugl. München: TU, Diss. 1988.
- D28 KITTSTEINER, H.-J.:
Die Auswahl und Gestaltung von kostengünstigen Welle-Nabe-Verbindungen.
München: Hanser 1990. (Konstruktionstechnik München, Band 3)
Zugl. München: TU, Diss. 1989.
- D29 HILLEBRAND, A.:
Ein Kosteninformationssystem für die Neukonstruktion mit der Möglichkeit zum Anschluß an ein CAD-System.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 4)
Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D30 DYLLA, N.:
Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 5)
Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D31 MÜLLER, R.
Datenbankgestützte Teilverwaltung und Wiederholteilsuche.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 6)
Zugl. München: TU, Diss. 1990.
- D32 NEESE, J.:
Methodik einer wissensbasierten Schadenanalyse am Beispiel Wälzlagerungen.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 7)
Zugl. München: TU, Diss. 1991.
- D33 SCHAAL, S.:
Integrierte Wissensverarbeitung mit CAD – Am Beispiel der konstruktionsbegleitenden Kalkulation.
München: Hanser 1992. (Konstruktionstechnik München, Band 8)
Zugl. München: TU, Diss. 1991.

- D34 BRAUNSPERGER, M.:
Qualitätssicherung im Entwicklungsablauf – Konzept einer präventiven Qualitätssicherung für die Automobilindustrie.
München: Hanser 1993. (Konstruktionstechnik München, Band 9)
Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D35 FEICHTER, E.:
Systematischer Entwicklungsprozeß am Beispiel von elastischen Radialversatzkupplungen.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 10)
Zugl. München: TU, Diss. 1992.
- D36 WEINBRENNER, V.:
Produktlogik als Hilfsmittel zum Automatisieren von Varianten- und Anpassungskonstruktionen.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 11)
Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D37 WACH, J. J.:
Problemspezifische Hilfsmittel für die Integrierte Produktentwicklung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 12)
Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D38 LENK, E.:
Zur Problematik der technischen Bewertung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 13)
Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D39 STUFFER, R.:
Planung und Steuerung der Integrierten Produktentwicklung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 14)
Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D40 SCHIEBELER, R.:
Kostengünstig Konstruieren mit einer rechnergestützten Konstruktionsberatung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 15)
Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D41 BRUCKNER, J.:
Kostengünstige Wärmebehandlung durch Entscheidungsunterstützung in Konstruktion und Härterei.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 16)
Zugl. München: TU, Diss. 1993.
- D42 WELLNIAK, R.:
Das Produktmodell im rechnerintegrierten Konstruktionsarbeitsplatz.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 17)
Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D43 SCHLÜTER, A.:
Gestaltung von Schnappverbindungen für montagegerechte Produkte.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 18)
Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D44 WOLFRAM, M.:
Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 19)
Zugl. München: TU, Diss. 1994.

- D45 STOLZ, P.:
Aufbau technischer Informationssysteme in Konstruktion und Entwicklung am Beispiel eines elektronischen Zeichnungsarchives.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 20)
Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D46 STOLL, G.:
Montagegerechte Produkte mit feature-basiertem CAD.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 21)
Zugl. München: TU, Diss. 1994.
- D47 STEINER, J. M.:
Rechnergestütztes Kostensenken im praktischen Einsatz.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 22)
Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D48 HUBER, T.:
Senken von Montagezeiten und -kosten im Getriebebau.
München: Hanser 1995. (Konstruktionstechnik München, Band 23)
Zugl. München: TU, Diss. 1995.
- D49 DANNER, S.:
Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 24)
Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D50 MERAT, P.:
Rechnergestützte Auftragsabwicklung an einem Praxisbeispiel.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 25)
Zugl. München: TU, Diss. 1996 u. d. T.: MERAT, P.: Rechnergestütztes Produktleitsystem
- D51 AMBROSY, S.:
Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1997. (Konstruktionstechnik München, Band 26)
Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D52 GIAPOLIS, A.:
Modelle für effektive Konstruktionsprozesse.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 27)
Zugl. München: TU, Diss. 1996.
- D53 STEINMEIER, E.:
Realisierung eines systemtechnischen Produktmodells – Einsatz in der Pkw-Entwicklung
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 28)
Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D54 KLEEDÖRFER, R.:
Prozeß- und Änderungsmanagement der Integrierten Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 29)
Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D55 GÜNTHER, J.:
Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozeß.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 30)
Zugl. München: TU, Diss. 1998.
- D56 BIERSACK, H.:
Methode für Kraftleinleitungsstellenkonstruktion in Blechstrukturen.
München: TU, Diss. 1998.

- D57 IRLINGER, R.:
Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 31)
Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D58 EILETZ, R.:
Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte – am Bsp. PKW-Entwicklung.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 32)
Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D59 STÖBER, R.:
Zielkostenmanagement in integrierten Produkterstellungsprozessen.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 33)
Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D60 PHLEPS, U.:
Recyclinggerechte Produktdefinition – Methodische Unterstützung für Upgrading und Verwertung.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 34)
Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D61 BERNARD, R.:
Early Evaluation of Product Properties within the Integrated Product Development.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 35)
Zugl. München: TU, Diss. 1999.
- D62 ZANKER, W.:
Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 36)
Zugl. München: TU, Diss. 1999.

Reihe Produktentwicklung München

- D63 ALLMANSBERGER, G.:
Erweiterung der Konstruktionsmethodik zur Unterstützung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 37)
Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D64 ABMANN, G.:
Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 38)
Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D65 BICHLMAIER, C.:
Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 39)
Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D66 DEMERS, M. T.:
Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 40)
Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D67 STETTER, R.:
Method Implementation in Integrated Product Development.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 41)
Zugl. München: TU, Diss. 2000.

- D68 VIERTLBÖCK, M.:
Modell der Methoden- und Hilfsmiteleinführung im Bereich der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 42)
Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D69 COLLIN, H.:
Management von Produkt-Informationen in kleinen und mittelständischen Unternehmen.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 43)
Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D70 REISCHL, C.:
Simulation von Produktkosten in der Entwicklungsphase.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 44)
Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D71 GAUL, H.-D.:
Verteilte Produktentwicklung - Perspektiven und Modell zur Optimierung.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 45)
Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D72 GIERHARDT, H.:
Global verteilte Produktentwicklungsprojekte – Ein Vorgehensmodell auf der operativen Ebene.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 46)
Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D73 SCHOEN, S.:
Gestaltung und Unterstützung von Community of Practice.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 47)
Zugl. München: TU, Diss. 2000.
- D74 BENDER, B.:
Zielorientiertes Kooperationsmanagement.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 48)
Zugl. München: TU, Diss. 2001.
- D75 SCHWANKL, L.:
Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 49)
Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D76 WULF, J.:
Elementarmethoden zur Lösungssuche.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 50)
Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D77 MÖRTL, M.:
Entwicklungsmanagement für langlebige, upgradinggerechte Produkte.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 51)
Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D78 GERST, M.:
Strategische Produktentscheidungen in der integrierten Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung, Band 52)
Zugl. München: TU, Diss. 2002.
- D79 AMFT, M.:
Phasenübergreifende bidirektionale Integration von Gestaltung und Berechnung.
München: Dr. Hut 2003. (Produktentwicklung, Band 53)
Zugl. München: TU, Diss. 2002.

- D80 FÖRSTER, M.:
Variantenmanagement nach Fusionen in Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus.
München: TU, Diss. 2003 (Produktentwicklung, Band 54)
Zugl. München: TU, Diss. 2003
- D81 GRAMANN, J.:
Problemmodelle und Bionik als Methode.
München: TU, Diss. 2004. (Produktentwicklung, Band 55)
Zugl. München: TU, Diss. 2004.
- D82 PULM, U.:
Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung.
München: TU, Diss. 2004. (Produktentwicklung, Band 56)
Zugl. München: TU, Diss. 2004.
- D83 HUTTERER, P.:
Reflexive Dialoge und Denkbausteine für die methodische Produktentwicklung.
München: TU, Diss. 2005. (Produktentwicklung, Band 57)
Zugl. München: Dr. Hut, 2005.
- D84 FUCHS, D.:
Konstruktionsprinzipien für die Problemanalyse in der Produktentwicklung.
München: TU, Diss. 2006. (Produktentwicklung, Band 58)
Zugl. München: TU, Diss 2005.