

Forschungsberichte



Mirko Meboldt

**Mentale und formale Modellbildung in der  
Produktentstehung – als Beitrag zum integrierten  
Produktentstehungs-Modell (iPeM)**

Mental and formal modelling, a contribution to the integrated  
product development model (iPeM)

Band 29

Herausgeber: o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. A. Albers

Copyright: Institut für Produktentwicklung  
Universität Karlsruhe (TH), 2008

Alle Rechte vorbehalten

Druck: Engelhardt und Bauer Druck- und Verlagsgesellschaft mbH

ISSN 1615-8113

# **Mentale und formale Modellbildung in der Produktentstehung – als Beitrag zum integrierten Produktentstehungs-Modell (iPeM)**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Ingenieurwissenschaften  
von der Fakultät für Maschinenbau der  
Universität Karlsruhe

genehmigte  
Dissertation  
von

Dipl.-Ing. Mirko Meboldt  
aus Mannheim

**Tag der mündlichen Prüfung: 25. Februar 2008**  
**Hauptreferent: o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. A. Albers**  
**Koreferent: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H. Birkhofer**



## **Vorwort des Herausgebers**

Wissen ist einer der entscheidenden Faktoren in den Volkswirtschaften unserer Zeit. Der Unternehmenserfolg wird in der Zukunft mehr denn je davon abhängen, wie schnell ein Unternehmen neues Wissen aufnehmen, zugänglich machen und verwerten kann. Die Aufgabe eines Universitätsinstitutes ist es, hier einen wesentlichen Beitrag zu leisten. In den Forschungsarbeiten wird ständig Wissen generiert. Dieses kann aber nur wirksam und für die Gemeinschaft nutzbar werden, wenn es in geeigneter Form kommuniziert wird. Diese Schriftenreihe dient als eine Plattform zum Transfer und macht damit das Wissenspotenzial aus aktuellen Forschungsarbeiten am Institut für Maschinenkonstruktionslehre und Kraftfahrzeugbau verfügbar.

Die Forschungsfelder des Institutes sind die methodische Entwicklung und das Entwicklungsmanagement, die rechnergestützte Optimierung von hochbelasteten Strukturen und Systemen, die Antriebstechnik mit einem Schwerpunkt auf den Gebieten Antriebsstrangengineering und Tribologie von Lager- und Funktionsreibsystemen, die Mechatronik und der Kraftfahrzeugbau mit dem Schwerpunkt Fahrwerk und Reifen. Die Forschungsberichte werden aus allen diesen Gebieten Beiträge zur wissenschaftlichen Fortentwicklung des Wissens und der zugehörigen Anwendung – sowohl den auf diesen Gebieten tätigen Forschern als auch ganz besonders der anwendenden Industrie – zur Verfügung stellen. Ziel ist es, qualifizierte Beiträge zum Produktentwicklungsprozess zu leisten.

Albert Albers



## **Vorwort zu Band 29**

Der Erfolg von Unternehmen auf den globalisierten Märkten wird entscheidend bestimmt durch eine erfolgreiche Entwicklung neuer Produkte. Hierbei ist sowohl die inventive Arbeit, d.h. das Finden neuer Ansätze und Konzepte, wie auch die innovative Arbeit, d.h. die erfolgreiche Umsetzung dieser Konzepte hin zu erfolgreichen Produkten am Markt gleichermaßen von Bedeutung. Die Produktentwicklung ist dabei gekennzeichnet durch einen zunehmenden interdisziplinären Ansatz, da moderne Systeme immer auch mechatronische Systeme sind. Diese bestehen sowohl aus Elementen des Maschinenbaus wie auch der Elektrotechnik und der Informatik, die erst in ihrem Zusammenwirken die gewünschte Marktlösung darstellen. Sowohl die Globalisierung und die zunehmende Sättigung in den Märkten und damit Wandlung zu Käufermärkten, als auch dieser verstärkt integrierte Ansatz bei der Lösungsgenerierung führt zu einer ständig steigenden Komplexität sowohl der technischen Lösung selbst als auch der Prozesse zu ihrer Generierung. In den Forschungsarbeiten zur Entwicklungsmethodik und zum Entwicklungsmanagement wird am Institut für Produktentwicklung, basierend auf ersten Arbeiten aus den Neunzigerjahren, kontinuierlich an einer neuen ganzheitlichen Lösung zur Beschreibung der Produktentstehungsprozesse und der für sie notwendigen Methoden gearbeitet. Der Kernansatz ist dabei, die heutigen noch verbreiteten phasenorientierten Modelle zu überwinden und die Produktentstehungsprozesse aus grundlegenden „Aktivitäten“ aufgebaut zu verstehen. Diese Aktivitäten werden bei der jeweils individuellen Entwicklung eines neuen Produktes entlang des Zeitstrahls angeordnet und bilden dann die individuellen Phasen der Produktentwicklung für ein bestimmtes Entwicklungsprojekt. Diese Kernidee überwindet die aus den vergangenen Jahrzehnten oft beobachteten Probleme der Phasenmodelle, die in der Praxis so nicht realisiert werden konnten und schlägt eine flexible Kombination von Aktivitätenmodellen für die Produktentstehung in Kombination mit einem Managementmodell zur zeitlichen Steuerung und zum Controlling vor. Die Ansätze beruhen auf den Grundlagen des Systems Engineering und nehmen die Arbeiten aus vielen Wissenschaftsbereichen auf, um sie zu einem geschlossenen Ansatz – dem iPeM-Modell – zusammenzuführen. Mit der Umsetzung dieser Konzepte wird es möglich, den Produktentstehungsprozess jeweils individuell zu formulieren, wie es der Unterzeichner aus seiner eigenen Tätigkeit in der Industrie wie auch aus vielen Projekten mit Industriepartnern in der realen Produktentwicklung immer wieder erfahren hat. Das iPeM-Konzept lautet also, die Produktentstehung durch grundlegende Aktivitäten zu beschreiben, die für den individuellen Produktentstehungsprozess jeweils problemangepasst auf dem Zeitstrahl angeordnet werden. Dieser Ansatz zeigt in ersten Umsetzungen bereits seine hohe Flexibilität und führt die Welten der Entwicklungsmethodik und des Entwicklungs-

managements in einem koordinierten System zusammen. Der iPeM ist in mehrjährigen Forschungsarbeiten zum Teil intuitiv und aus pragmatischen Analysen entstanden. Die vorliegende Lösung musste allerdings, um ihre Nachhaltigkeit abzusichern, durch eine grundlegende Einordnung in die Wissenschaftswelt sowie eine Begründung über die Ansätze der Systemforschung abgesichert werden. An dieser Stelle setzt die Arbeit von Herrn Dr.-Ing. Mirko Meboldt an.

Er hat sich zum Ziel gesetzt, das iPeM-Konzept ganzheitlich zu beschreiben und über eine Einordnung in die Systemwissenschaft zu begründen. Ziel war es dabei insbesondere, die unterschiedlichen Ebenen der Modellbildung klar darzulegen und die Ansätze aus dem Komplexitätsmanagement in die Begründung des iPeM zu integrieren. Gleichzeitig werden erstmalig auf dieser Basis systematisch alle Elemente des iPeM definiert, um damit die weiteren Forschungsarbeiten zu strukturieren. Durch die Entwicklung eines informationstechnisch unterstützten Werkzeugs zur strukturierten Informationsverarbeitung auf der Basis der Aktivitäten-Matrix des iPeM hat Herr Dr.-Ing. Mirko Meboldt ebenfalls erste umsetzungsorientierte Ansätze vorgelegt. Die Arbeit leistet einen wichtigen Beitrag zur weiteren Erforschung und Definition von Entwicklungsprozessen.

Albert Albers

## Kurzfassung

Die erfolgreiche Entwicklung von Produkten ist für Unternehmen die Basis ihres zukünftigen Erfolges; diesen abzusichern ist Zweck der Methoden und Prozesse der Produktentstehung. Hierzu werden Modelle benötigt, um die Zusammenhänge in der Produktentstehung zu beschreiben und zu optimieren. Der Bedarf nach solchen Modellen ist groß, doch mangelt es bis heute an handhabbaren Modellen, die der realen Komplexität gerecht werden. Die Modelle schaffen es nur partiell, die permanent auftretenden Widersprüche zwischen den Leitparadigmen Qualität, Zeit und Kosten aufzuzeigen und dabei auch einen kreativen Gestaltungsprozess für nachhaltige Lösungen zu unterstützen. Genau diese Paradigmen spiegeln sich in Forschung und Praxis in der Konstruktionsmethodik und den Stage-Gate-Ansätzen wider.

Ziel der Arbeit ist es, die Lücke zwischen diesen Leitparadigmen zu schließen, indem der mentale schöpferische Gestaltungsprozess mit den formalen Beschreibungen der Abläufe in einem konsistenten Modell vereint wird. Die vorliegende Arbeit schafft für das „integrierte Produktentstehungs-Modell“ (iPeM) die wissenschaftstheoretische Grundlage und eine Modellbildungslogik und -sprache für Forschung und Praxis.

Die Arbeit baut auf umfangreichen Studien realer Produktentstehungsprozesse auf, die Erkenntnisgrundlage und Prüfstein des iPeM sind. An Hand dieser zeigt sich, dass die Produktentstehung im Ganzen durch ein hohes Maß an Vernetzung, Unschärfe, Dynamik und Unvollständigkeit gekennzeichnet ist. Diese Realität muss auch im Modell abgebildet werden können. Im iPeM wird die Produktentstehung allgemeingültig durch die Verknüpfung von Zielen, Objekten und Handlungen beschrieben; so wird es möglich, die Realität adäquat abzubilden.

Der vorliegende Forschungsbericht leitet das Modell aus Forschungsdisziplinen ab, die sich mit dem Umgang mit Komplexität beschäftigen: der Kybernetik, Erkenntnis- und Systemtheorie.

Der Ansatz begründet unterschiedliche Modellebenen für die Produktentstehung und verbindet auf der obersten Ebene Denkmodelle, die auf Basis intersubjektiver mentaler Modelle beschrieben werden, mit Work-Flow-Modellen des operativen Managements auf der untersten Ebene. Auf Basis der unterschiedlichen Modellebenen wird eine konsistente systemtechnische Logik geschaffen, die sowohl den mentalen als auch den formalen Anforderungen der Modellbildung gerecht wird. Dies ist die Grundlage für die Modellierung der realen Abläufe komplexer Produktentstehungsprozesse und der Grundstein für eine Philosophie der Produktentstehung.



## **abstract**

The future success of companies is based on the successful development of new products. To ensure this, methods and processes are the core of the product development. To describe and optimize the interactions in product development processes, models are needed to represent real workflows and activities. There is a great demand for these models, but, in reality, few can handle such complexity. Existing models are able only partially to show permanently appearing conflicts between the guiding paradigms of Quality, Time and Costs, and to support a creative design process for sustainable solutions. These guiding paradigms are reflected in the characteristics of design methodology and the Stage-Gate approaches in research and practice.

The objective of the work is to bridge the gap between the guiding paradigms by combining the thought-driven design process with the formal description process in one consistent model. Based on the fundamental philosophy of science, this doctoral thesis works with the "Integrated Product Development Model" (iPeM) which acts as a foundation for a product development process that models logic and language for research and practice.

Fundamental to this work are extensive studies of different product development processes that are scientifically objective and, accordingly, represent the benchmark of the iPeM. The studies have shown that product development overall is affected by a high degree of interactions, fuzziness, dynamics and incompleteness. This reality must be reproduced in the model. The iPeM describes the product development on the basis of interactions between targets, objects and operations and, with this basic logic, it is possible to represent an adequate reality in the model.

The presented research report conducts the model out of research disciplines which work with complexity: cybernetics, epistemology and system theory.

The approach establishes and links the various layers within the model for product development; on the highest level, the inter-subjective thought-driven model, and on the lowest level, operative management, or the work flow model. On the basis of presenting different model layers, a consistent system technique with a well defined logic is specified and is based on mental and formal modelling. This approach enables the modelling of real processes for complex development processes, enabling them to become the cornerstone for a product development philosophy.



## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers, der mich während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktentwicklung IPEK in einzigartiger Weise förderte. Er hatte stets das Vertrauen in den Erfolg meiner Arbeit und gab mir Freiräume, den Dingen auf den Grund zu gehen. Seine ambitionierten Zielsetzungen und seine Fähigkeit, Barrieren zu überwinden, um Erfolgreiches zu schaffen, haben mich stark geprägt.

Für die Übernahme des Korreferates und die fruchtbaren Diskussionen zu meinem Forschungsthema bin ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Herbert Birkhofer vom Institut für Produktentwicklung und Maschinenelemente der Universität Darmstadt sehr dankbar. Des weiteren danke ich Herrn Professor Dr.-Ing. Jürgen Fleischer für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission.

Eine Dissertation zu vollenden ist ohne den Rückhalt im Umfeld nicht möglich. Ich danke den Kolleginnen und Kollegen im 8.OG des Maschinenbauhochhauses, die eine Arbeitsatmosphäre schufen, die einzigartig war. Die Diskussionskultur und der Teamgeist in der Forschungsgruppe Entwicklungsmethodik und -management trugen zum Gelingen meiner Arbeit bei. Die Lehrstuhljahre werden mir immer in guter Erinnerung bleiben.

Auf meinem Weg haben mich viele begleitet, mein größter Dank gilt meinen Eltern, die mir die Neugierde und den Willen gegeben haben, mich Herausforderungen zu stellen. In der Endphase meiner wissenschaftlichen Arbeit danke ich meiner Partnerin Dani für ihre unschätzbare Unterstützung in allen Lebensbereichen.

Ebenso danke ich meinem Freund Jochen, der mich schon in Jugendjahren ermutigt hat, mich nicht nur der Technik zu verschreiben, sondern auch den Geisteswissenschaften zu widmen.

Mirko Meboldt



# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Stand der Forschung – Produktentstehung .....	4
2.1	Innovation .....	7
2.1.1	Die Selektion von Inventionen .....	10
2.1.2	Erfolgsfaktoren .....	11
2.1.3	Innovationsdilemma und -paradoxon .....	13
2.1.4	Technology-Push versus Demand-Pull .....	16
2.1.5	Evolutionäre Innovation .....	16
2.1.6	Zwischenfazit .....	18
2.2	Prozesse und Modelle der Produktentstehung .....	19
2.2.1	Die Entwicklung der Konstruktionsmethodik .....	20
2.2.2	Das Prinzip Taylor .....	25
2.2.3	Post-Taylorismus .....	27
2.2.4	Prozessansätze in der Produktentstehung .....	31
2.2.5	Wissenschaft und Produktentstehung .....	49
2.2.6	Modelle .....	51
2.2.7	Prozessmodellierung .....	58
2.2.8	Zwischenfazit .....	60
2.3	Information und Wissen .....	61
2.3.1	Wissen .....	62
2.3.2	Theorie des Informationsbegriffs .....	64
2.3.3	Wissensarbeit und -management .....	66
2.3.4	Information im Produktentstehungsprozess .....	71
2.3.5	Ontologien .....	73
2.3.6	Semantische Lücke .....	75
2.3.7	Zwischenfazit .....	76
2.4	System- und Modelltheorie .....	77
2.4.1	Grundlage zu Systemen .....	78
2.4.2	Einteilung von Systemen .....	86
2.4.3	Entwicklung der Systemtheorie .....	87
2.4.4	Systemansätze in der Konstruktionsmethodik .....	92
2.4.5	Systemtechnik .....	98
2.4.6	Konstruktivismus .....	99
2.4.7	Modelltheorie .....	101
2.4.8	Intersubjektivität .....	103
2.4.9	Referenz- und Metamodelle .....	104
2.4.10	Zwischenfazit .....	106
2.5	Denken und Problemlösung .....	107
2.5.1	Analyse und Synthese in der Wissenschaft .....	108
2.5.2	Das Wesen von Problemen .....	113
2.5.3	Problemlösen .....	119
2.5.4	Beschränkte Rationalität .....	121
2.5.5	Denken in Systemen .....	122
2.5.6	Problemlösungsprozess .....	124
2.5.7	SPALTEN .....	128
2.5.8	Das Drei-Welten-Modell .....	131
2.5.9	Zwischenfazit .....	132
2.6	Grenzen von Methoden und Prozessen .....	133
2.6.2	Prozess- und Wissensarbeit .....	135
2.6.3	„Synoptische Totalplanung“ versus „muddling through“ .....	137
2.6.4	Dynamik der Produktentstehung .....	139
2.6.5	Kritik an der Entwicklungsmethodik .....	141
2.6.6	Zwischenfazit .....	143

3	Zielsetzung .....	144
3.1	Entwicklungsmethodik ist mehr als ein Werkzeugkasten.....	145
3.2	Modell des Produktentstehungsprozesses.....	146
3.3	Motivation für den neuen Ansatz.....	147
4	Das integrierte Produktentstehungs-Modell (iPeM) .....	149
4.1	Grundlagen des iPeM .....	150
4.1.1	Einfachheit ist nicht das Gegenteil von Komplexität.....	150
4.1.2	Systemansatz .....	154
4.1.3	Basisdefinition der ZHO-Systeme – Ziel-, Handlungs- und Objektsystem .....	158
4.1.4	Die Systemumwelt des iPeM.....	159
4.2	Prozessmodellierung des iPeM.....	160
4.2.1	Aktivitäten zur Modellierung der Produktentstehung .....	160
4.2.2	Makro-Aktivitäten des Lebenszyklus .....	161
4.2.3	Aktivitätscluster der Gestaltung .....	168
4.2.4	Mikro-Aktivitäten des iPeM – SPALTEN.....	169
4.2.5	Die SPALTEN-Aktivitätenmatrix aus Mikro- & Makro-Logik .....	173
4.2.6	Operatives Management .....	178
4.2.7	Trennung von Aktivitäten und Phasen.....	179
4.2.8	Wissensmanagement .....	183
4.2.9	Der Gestalter in der Produktentstehung .....	184
4.3	Ziel- und Objektsystem im iPeM .....	185
4.3.1	Zielsystem – Konkretisieren, Erweitern und Verändern .....	188
4.3.2	Zielsystem und Produktgenerationen .....	190
4.3.3	Ableitung von Arbeitsdokumenten aus dem Zielsystem.....	192
4.4	Hypothesen des ZHO-Modells .....	194
4.5	Beschreibung des iPeM .....	195
4.5.1	Einführung in das Modell .....	197
4.5.2	Die Modellebenen des iPeM.....	200
4.5.3	Das integrierte Produktentstehungs-Modell (iPeM).....	207
4.5.4	iPeM – Komplexitätsbeherrschung im PEP.....	211
4.6	Beispiel des iPeM anhand der Mikrotechnik.....	212
4.6.1	Der $\mu$ -PEP.....	213
4.6.2	$\mu$ -PEP-Referenzprozess im iPeM.....	215
4.7	Umsetzung des iPeM in einem IT-System .....	218
4.7.1	WIKI – Semantische Media-WIKI .....	219
4.7.2	WIKI-Gärtner – Organisatorische Integration .....	219
4.7.3	Die iPeM-WIKI-Plattform.....	220
5	Zusammenfassung und Ausblick .....	228
6	Literaturverzeichnis.....	230

## 1 Einleitung

Die erfolgreiche Entwicklung von Produkten ist heute mehr denn je durch Komplexität gekennzeichnet. In Wissenschaft und Praxis zielen umfangreiche Bemühungen darauf ab, diese inhärente Komplexität zu beherrschen, da eine erfolgreiche Ausdifferenzierung von Komplexität für Unternehmen Wettbewerbsfähigkeit bedeutet. Doch dieses Vorhaben ist nicht einfach umzusetzen, da sich Komplexität ähnlich wie Entropie verhält: Man kann sie nicht vernichten<sup>1</sup> – reduziert man sie an einer Stelle, taucht sie an einer anderen Stelle wieder auf.

Ein Beispiel aus der Praxis hierfür ist die Digitalisierung der Produktentstehung: Durch Product Life-Cycle Management (PLM) und Product Data Management (PDM) Systeme ist die Produktentstehung nur partiell einfacher geworden. Das Bestreben nach immer feineren Controllinginstrumenten und umfangreicheren IT-Systemen zur Komplexitätsbewältigung löst Teilprobleme und nicht das Problem in seiner Gesamtheit. Vergessen wird dabei häufig, dass es Menschen sind, die hochkomplexe Zusammenhänge allein durch ihre mentalen Fähigkeiten erschließen, auf Basis vager Randbedingungen Situationen einschätzen, Entscheidungen treffen und letztendlich Produkte entwickeln. Die menschliche Fähigkeit des ganzheitlichen, vernetzten und assoziativen Denkens ist die zentrale Instanz. Es mangelt nicht an Methoden oder Prozessen, es fehlt vielmehr an einheitlichen Modellbildungsstrategien für komplexe Systeme.

Die vorliegende Forschungsarbeit setzt an der Notwendigkeit einer intersubjektiven Modellbildungsstrategie zur Beschreibung der Zusammenhänge in der Produktentstehung an. Methodische „Kochrezepte“ helfen bei komplexen Problemstellungen nicht weiter, gefordert ist die Fähigkeit, mit Komplexität umgehen zu können. Grundlage hierfür ist eine ganzheitliche Entwicklungsphilosophie, deren Selbstverständnis sich in der Systemtheorie und Kybernetik begründet. Nur so wird man der Kontingenz und Vielfalt der Produktentstehung gerecht.

Der klassische Fokus liegt stark auf der Beschreibung von Modellen, jedoch nicht auf offenen Modellbildungsstrategien. Doch ist gerade im Umgang mit Komplexität nicht ein festes Modell, sondern die zweckorientierte Modellbildung mit Hilfe einer intersubjektiv etablierten Modellbildungsstrategie entscheidend. Diese Strategie zeigt sich in Modellen wie beispielsweise dem Modell „Wirkflächenpaare und Leit-

---

<sup>1</sup> Vgl. Luhmann 1984, S. 92.

stützstrukturen“ (C&CM)<sup>2</sup> von ALBERS. Das Modell beschreibt mit drei Grundhypothesen den Zusammenhang von Funktion und Gestalt technischer Systeme. Der Erfolg des Modells liegt darin begründet, dass es in der Modellbildung auf simplen Regeln beruht und in der Anwendung trotz seiner Einfachheit die volle Komplexität der Realität erschließen kann. Der Schlüssel eines erfolgreichen Modells liegt in der Simplexität<sup>3</sup> – der simplen Modellbildung für komplexe Systeme. Die Komplexität des realen Systems kann in der Modellbildung maximal reduziert werden, ohne dass die Gesamtkomplexität außer Acht gelassen wird. Durch die Verbindung von Einfachheit und Dynamik in der Modellbildung entsteht eine effiziente Strategie im Umgang mit Komplexität. Auf dieser Basis wurde mit dem C&CM ein leistungsfähiger Ansatz geschaffen. Die Strategie der Simplexität bildet auch die Grundlage dieser Forschungsarbeit.

Ziel dieser Forschungsarbeit ist die Entwicklung einer ganzheitlichen Modellbildungsstrategie zur Beschreibung der Abläufe und Zusammenhänge in der Produktentstehung. Die ganzheitliche Modellbildungsstrategie dieser Arbeit beginnt auf Basis mentaler Modelle für Akteure in der Produktentwicklung und unterstützt mit unterschiedlichen Modellebenen die systematische Entwicklung operativer Instrumente.

Ausgehend von praxisorientierten Innovations- und Entwicklungsprozessen wird der Ansatz auf einem Fundament wissenschaftstheoretischer Grundlagen aufgebaut. Auf diesem wird das integrierte Produktentstehungs-Modell (iPeM) entwickelt, das auf den Forschungsaktivitäten des Instituts für Produktentwicklung (IPEK) der Universität Karlsruhe (TH) im Bereich der Systeme, Methoden und Prozesse der Produktentstehung basiert. Der Grundstein des iPeM liegt in den Arbeiten über Core Team Management und Simultaneous Engineering von ALBERS<sup>4</sup> zu Beginn der 1990er-Jahre, an denen die Forschungsansätze am Institut für Produktentwicklung erwachsen sind. Die Ansätze begründen sich nicht nur auf Forschungsarbeiten, sondern orientieren sich an intuitiven und pragmatischen Strategien, die sich in der Praxis als erfolgreich erwiesen haben. Aufbauend auf den Forschungsarbeiten der letzten 12 Jahre wird aus den einzelnen Ansätzen der ganzheitliche iPeM-Ansatz entwickelt und mit einem umfassenden Stand der Forschung abgegrenzt und begründet.

---

<sup>2</sup> Vgl. Albers 2002a.

<sup>3</sup> Kunstwort das sich aus Simplizität und Komplexität zusammensetzt. Siehe Kap. 4.1.1.1, S. 152.

<sup>4</sup> Vgl. Albers 1993 und 1994.

In Kapitel 2 wird die Grundlage aus einer praxisorientierten Betrachtung gelegt, die im zweiten Teil des Kapitels mit einer theoretischen Betrachtung aus Sicht der Epistemologie, System- und Modelltheorie abgeschlossen wird. Auf Basis dieser Grundlage wird in der Arbeit eine Philosophie der Produktentstehung begründet, die sich auf die Erkenntnis stützt, dass sich Komplexität nicht beherrschen lässt. Entscheidend ist vielmehr, dass man nur lernen kann, mit Komplexität effizient umzugehen und zu leben. In der Produktentstehung hat dies zur Folge, dass das für Ingenieure so vertraute Prinzip der Kausalität von Ursache und Wirkung bei komplexen Problemstellungen keine Gültigkeit mehr besitzt.

Für erfolgreiche Produktentstehungsprozesse bedarf es Menschen, die im Team mit komplexen Problemstellungen umgehen können. Dies funktioniert dann besonders effizient, wenn ein gemeinsames Problem- bzw. Systemverständnis vorhanden ist und eine gemeinsame Problemlösungsphilosophie etabliert ist. Hierzu baut das iPeM gezielt auf mentalen Modellen auf. Sind gemeinsame mentale Modelle im Denken und Handeln der Akteure verankert, werden Modellbildungen und systematische Problemlösungen zu intersubjektiven Routinen. Wird dies in Entwicklungsstrukturen etabliert, schafft man ein erfolgreiches Werkzeug zum Umgang mit Komplexität. Dieser Grundansatz wird im iPeM gezielt unterstützt und durch eine Produktentstehungsphilosophie etabliert. Die Beherrschung von intersubjektiven mentalen Modellen im Team ist eine Kunst, die es zu erlernen und zu perfektionieren gilt. Hierzu nimmt das Karlsruher Lehrmodell für Produktentwicklung (KaLeP)<sup>5</sup> seit 1996 eine zentrale Position im Karlsruher Modell von ALBERS ein. Mit diesem Verständnis knüpft die Entwicklungsphilosophie des iPeM an die Grundlagen Ferdinand REDTENBACHERS an. Er gründete seine Forschung auf dem Ansatz, dass die Bewältigung der Gesamtkomplexität in der Konstruktion auf einem hohen Maß an Erfahrung und Kunst beruht:

*„Das Erfinden und Machen des Technikers beruht nicht bloß auf Wissenschaft und Handwerk, sondern auch, und zwar in nicht geringem Grade, auf Geistestätigkeiten, die künstlerisch genannt werden müssen.“<sup>6</sup>*

Aufbauend auf dem Stand der Technik wird in Kapitel 3 die Zielsetzung des iPeM präzisiert; in Kapitel 4 werden die einzelnen Elemente des iPeM dargestellt und das Gesamtmodell entwickelt. Am Ende werden die Einsatzpotenziale des iPeM in Form zweier Beispiele aufgezeigt.

---

<sup>5</sup> Albers 1999b und Albers 2006b.

<sup>6</sup> Redtenbacher Zitat aus Hellige 1995, 137f.

## 2 Stand der Forschung – Produktentstehung

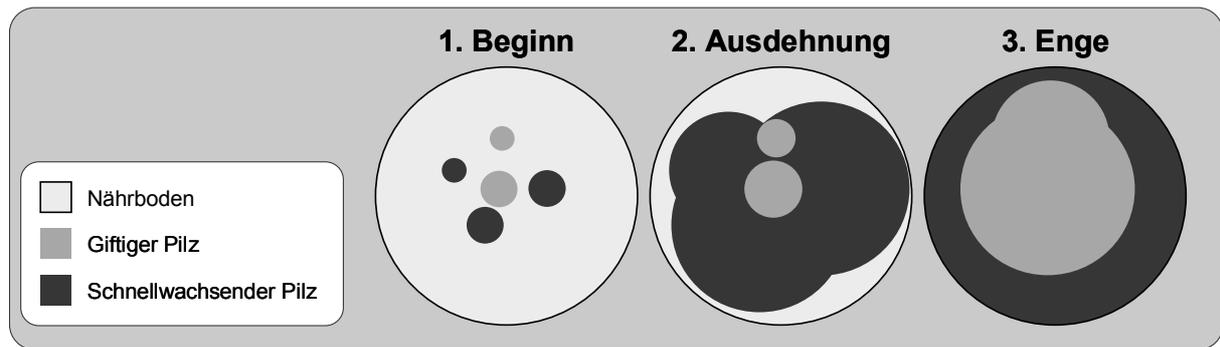
Die erfolgreiche Produktentwicklung ist für Unternehmen überlebenswichtig, doch fällt es Unternehmen zunehmend schwerer, erfolgreich Produkte zu entwickeln und mit ihnen auf dem Markt zu bestehen. Durch die Globalisierung wachsen die weltweiten Märkte zusammen, sodass sich Unternehmen mit globalen Konkurrenten messen müssen. Auch die Spielart der Unternehmen im globalen Wettbewerb hat sich in den letzten Jahrzehnten drastisch verändert: Konkurrenten bedienen sich geistigen Eigentums, so dass Plagiate zur existenziellen Bedrohung für viele Unternehmen werden. So ist eine gänzlich neue Dynamik entstanden, die zu einem verschärften Marktdruck auf Unternehmen führt. Dieser nimmt in Zukunft weiter zu, weil der Markt mit seiner Globalisierung die Grenzen der Ausbreitung erreicht hat, sodass im beengten Raum ein Verdrängungswettbewerb einsetzt. Ein solcher verstärkter Marktdruck ist aber nicht einfach nur ein verschärfter Qualitäts-, Preis-, Termin- oder Kundendruck, dem alle Unternehmen in demselben Maße ausgesetzt sind; Marktdruck wird auch immer von Unternehmen erzeugt, denen irgendetwas leichter fällt. Die Unternehmen, die Marktdruck erzeugen, zeichnen sich meist durch Innovationsfähigkeit und Flexibilität aus – sie können ihre Konkurrenten überraschen und sind selbst gegen Überraschungen robust.<sup>7</sup>

Globalisierte Märkte und die zunehmende Bedeutung von Innovationen lassen sich mit einem Modell der Natur verdeutlichen: WOHLAND zieht einen Vergleich mit Mikroben heran, die auf einem Nährboden in einer Petrischale wachsen. Die Mikroben breiten sich in der Petrischale aus, bis sie den Nährboden schließlich ganz bedecken. Die Pilze mit dem Merkmal „schnelles Wachstum“ sind überlegen und beherrschen bald den Großteil der Fläche. Sobald aber kein Ausdehnungsraum mehr vorhanden ist, verändern sich die Lebensbedingungen: Plötzlich sind die giftigen Pilze die „innovativen“ und verdrängen die schnell wachsenden.<sup>8</sup>

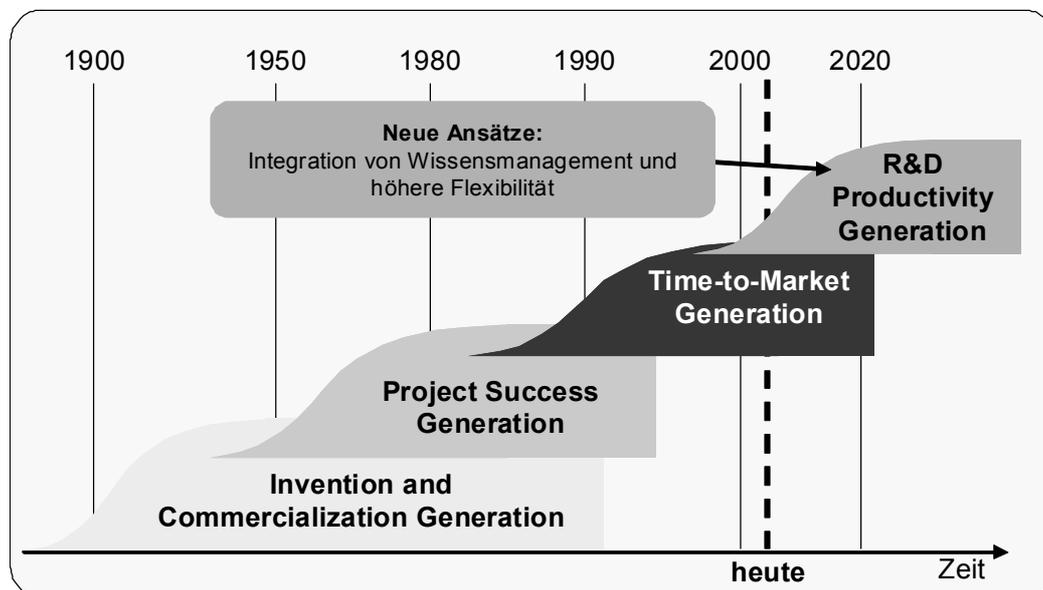
---

<sup>7</sup> Vgl. Wohland 2007, S. 14.

<sup>8</sup> Ebda, S. 13.

Abbildung 2-1: Mikrobe in einer Petrischale<sup>9</sup>

Die zentrale Herausforderung in Innovations- und Produktentstehungsprozessen liegt in dem Versuch, Komplexität zu beherrschen, die sich in der Dynamik der Märkte und den multitechnologischen, hoch integrierten Produkten begründet. Bis zur letzten Jahrtausendwende war die Entwicklung von Prozessen für die Produktentstehung noch stark von der Reduktion der Entwicklungszeit getrieben. Inzwischen ist in vielen Bereichen der Grenznutzen der Zeitreduktion in der Produktentstehung erreicht oder schon überschritten. Es zeichnet sich eine Neuorientierung der Produktentstehung ab, die sich stärker auf Forschungstransfer und Entwicklungsqualität konzentriert. McGRATH beschreibt diesen Paradigmenwechsel in der Produktentwicklung als Übergang von der Time-to-Market-Generation zur Forschungs- und Entwicklungsproduktivitätsgeneration (Abbildung 2-2) der Produktentstehungsprozesse.

Abbildung 2-2: Die vier Generationen der Produktentwicklung<sup>10</sup>

Die Philosophie der heute vorherrschenden Ansätze liegt darin, dass sich aus Methoden und Prozessen Projektpläne ergeben, deren disziplinierte Abarbeitung zur

<sup>9</sup> Wohland 2007, S.14.

<sup>10</sup> McGrath 2004, S. 4.

Lösung führt – diese Vorgehensweise macht Kompliziertes trivial. Doch reicht dies heute nicht mehr allein aus, um im globalen Innovationswettbewerb erfolgreich zu bestehen. Die verstärkte Forderung nach erfolgreicher Innovation in globalen Märkten führt zu einer Komplexität, der die standardisierten linearen Prozesse nur bedingt gewachsen sind.

Diese Komplexität in der Produktentwicklung ist nicht komplett neu – neu ist nur, dass Komplexität nicht länger ignoriert werden kann. Der Umgang mit Komplexität wird zum entscheidenden Wettbewerbsvorteil. Der komplexe Anteil kann allerdings nicht allein auf der Basis von Wissen bearbeitet werden: Die Komplexität der Zusammenhänge ist standardisierten analytischen Verfahren nur begrenzt zugänglich. Wo Probleme von großer Unschärfe und Unwissen gekennzeichnet sind, braucht man Kreativität, Ideenreichtum und Improvisation, um Lösungen zu finden. ALBERS sieht eines der zentralen Probleme darin, dass sich die heutige Produktentstehung, die durch Komplexität und Multidisziplinarität gekennzeichnet ist, nicht mehr auf Grundlage von Anforderungen und sequenziellen Vorgehensmodellen beherrschen lässt. Vielmehr bedarf es für die erfolgreiche Produktentstehung zunächst eines Entfaltungsraums, der zunächst nur durch Ziele und Rahmenbedingungen begrenzt wird. Erst durch die Definition dieses Entfaltungsraums kann der Prozess gestaltet werden.<sup>11</sup>

In diesem, durch ein System von Zielen aufgespannten Raum, ist es die Aufgabe, einen Weg – den Prozess – zum erfolgreichen Produkt – nämlich der Lösung des Problems – zu finden. Dieser Prozess ist immer individuell. Diese Denkweise wird in der Prozessgestaltung der Produktentstehung bis heute nur bedingt berücksichtigt. ALBERS begründet auf dieser Grundlage seine Hypothese, dass es den allgemeingültigen Produktentwicklungsprozess nicht gibt und nicht geben kann. Entwicklungsprozesse ergeben sich immer aus spezifischen Randbedingungen und sind somit immer individuell. Sie bedürfen einer individuellen Planung im Vorfeld und der kontinuierlichen Anpassung von vernetzten Aktivitäten während der Entwicklung,<sup>12</sup> d.h. durch ein Zusammenwirken eines Ziel- und eines Objektsystems während der Entwicklung selbst. Der Produktentstehungsprozess kann nur auf Basis eines Modells beschrieben werden, auf dessen Basis der individuelle Produktentstehungsprozess modelliert werden kann. Dieses Verständnis für Produktentstehungsprozesse stellt die vorherrschenden Phasenmodelle und sequenziellen Vorgehensmodelle in Frage, denn diese können die in der Realität auftretenden Iterationsschleifen nicht abbilden.

---

<sup>11</sup> Vgl. Albers 2007b.

<sup>12</sup> Vgl. Albers 2008.

## 2.1 Innovation

Der Begriff der Innovation wird heutzutage fast inflationär verwendet: Jedes Unternehmen möchte innovativ sein, jedes Produkt wird als innovativ angepriesen. Innovation steht für das Fundament der Standortsicherung<sup>13</sup> im globalen Wettbewerb. Jedoch ist der Begriff nicht eindeutig definiert; oft wird er umgangssprachlich als Synonym für den „technischen“ oder „technologischen Wandel“, die „Differenzierung von Produkten“ oder das „Produktivitätswachstum“ verwendet. Im wissenschaftlichen Verständnis wird zwischen Prozess- und Produktinnovationen differenziert; bei Prozessinnovationen erfolgt die Neuerung innerhalb des Produktionsprozesses, während Produktinnovationen die Verbesserung der Produkte erfassen<sup>14</sup>.

Die Anfänge des innovationstheoretischen Diskurses gehen auf den österreichischen Ökonomen Joseph A. SCHUMPETER<sup>15</sup> zurück. Er war nach den Ökonomen Adam SMITH und Karl MARX<sup>16</sup> der erste, der Innovationen in einem gesamtwirtschaftlichen Zusammenhang betrachtete und somit die Grundlage der heutigen Innovationstheorie setzte. In seiner Theorie unterscheidet er zwischen drei hintereinander folgenden Teilphasen: der Invention, der Innovation und der Diffusion<sup>17</sup>. In der Inventionsphase wird die Produktidee in ein Konzept überführt; auf dieser Basis findet die Entwicklung eines neuen Produkts oder Prozesses statt. In der Innovationsphase wird das entwickelte Produkt oder Verfahren in den Markt eingeführt. Die Diffusionsphase beschreibt die Phase, in der sich die Innovation am Markt durchsetzt und verbreitet. Dieser Ansatz wurde von ROPHOHL durch eine weitere vorgelagerte Phase erweitert. Er definierte die vier Phasen der technischen Ontogenese, in der er die Kognition als Input der wissenschaftlichen Forschung vor die Invention setzt.<sup>18</sup>

---

<sup>13</sup> Dies zeigt sich deutlich an der im Jahr 2007 gestarteten Kampagne „Die Hightech-Strategie für Deutschland“ der deutschen Bundesregierung durch das BMBF.

<sup>14</sup> Vgl. Voß 2003, S. 14.

<sup>15</sup> Vgl. Schumpeter 1997.

<sup>16</sup> Smith erkannte bereits im 18. Jh. eine verstärkte Spezialisierung in der wissenschaftlichen Forschung auf Innovationen in der Maschinenbauindustrie (Hauptwerk von A. Smith, Wohlstand der Nationen – Eine Untersuchung seiner Natur und seiner Ursachen, London 1776). Marx beschrieb im nachfolgenden Jahrhundert technische Innovationen als die wesentlich treibende Kraft der wirtschaftlichen Entwicklung und des Wettbewerbs: „Die Bourgeoisie kann nicht existieren ohne fortwährende Revolutionierung ihrer Produktionsmittel“ (Karl Marx und Friedrich Engels, Das kommunistische Manifest).

<sup>17</sup> Diese drei Phasen sind bis heute die Grundlage von Innovationsprozessen; kritisiert wird heute lediglich die Trennschärfe der Phasen, wie sie von Schumpeter definiert wurde.

<sup>18</sup> Vgl. Ropohl 1999, S. 273.

ROPOHL legt hierdurch die vier Phasen der technischen Ontogenese fest:

- **Kognition** – wissenschaftliche Erkenntnis
- **Invention** – zweckorientierte technische Konzipierung
- **Innovation** – technische/wirtschaftliche Realisierung
- **Diffusion** – gesellschaftliche Verwendung

Innovation steht im Verständnis von SCHUMPETER für eine neue Technologie, die Bestehendes ersetzt und revolutioniert. Inkrementelle Innovationen, die kontinuierliche Weiterentwicklung und Verbesserung von Produkten in kleinen Schritten, sieht er nicht als Innovation, da hier die kleinen Veränderungen dominieren, die als kontinuierliche Anpassungen als Reaktion auf Veränderungen vollzogen werden. Er sieht dies als Gleichgewicht, da von diesen Anpassungen keine ernsthaften Entwicklungen oder Gefahren ausgehen. In Innovationen sieht SCHUMPETER somit in erster Linie den Prozess einer „schöpferischen Zerstörung“, der technischen Fortschritt und Wachstum erst ermöglicht. Nach dem Verständnis der „schöpferischen Zerstörung“ ist eine Innovation erst dann eine Innovation, wenn sie sich am Markt durchsetzt und Bestehendes verdrängt. Das bedeutet, Innovation ist die wirtschaftliche Nutzung der Invention.<sup>19</sup>

Das Problem der gezielten Innovation besteht darin, dass eine Innovation erst ex post erkannt wird. Es gibt viele Inventionen, aber ob sie einen neuen Markt bzw. Marktwachstum begründen, kann erst nach ihrer Durchsetzung festgestellt werden, denn vorher ist per definitionem keine Marktnachfrage vorhanden.<sup>20</sup> Es ist folglich nicht möglich, ex ante das Marktpotenzial von Innovationen zu bestimmen und genaue Absatzprognosen zu erstellen.<sup>21</sup> Die Nachfrage nach Innovationen, so SCHUMPETERS Feststellung, entsteht erst nach dem Angebot.<sup>22</sup>

SCHUMPETER legt mit dieser Theorie gleichzeitig die Grundlage für Technologielebenszyklen, denn die Durchsetzung einer Innovation zieht einen Technologiewechsel nach sich. Die Leistungsfähigkeit der neuen Technologie übersteigt die der etablierten Technologie, so dass die Leistungsfähigkeit der Technologie allgemein ansteigt und sich für diese neue Einsatzfelder ergeben. Die Kunden wenden sich der neuen Technologie zu und die alte Technologie wird substituiert - es kommt zu einem Technologiesprung bzw. Technologiewechsel.

---

<sup>19</sup> Vgl. Schumpeter 1961, S. 91.

<sup>20</sup> Dies wird in der Technology-Push-Hypothese begründet: Die Nachfrage einer Innovation wird erst durch das Vorhandensein im Markt geschaffen.

<sup>21</sup> Vgl. Debus 2002, S. 96.

<sup>22</sup> Vgl. Schumpeter 1997, S. 100.

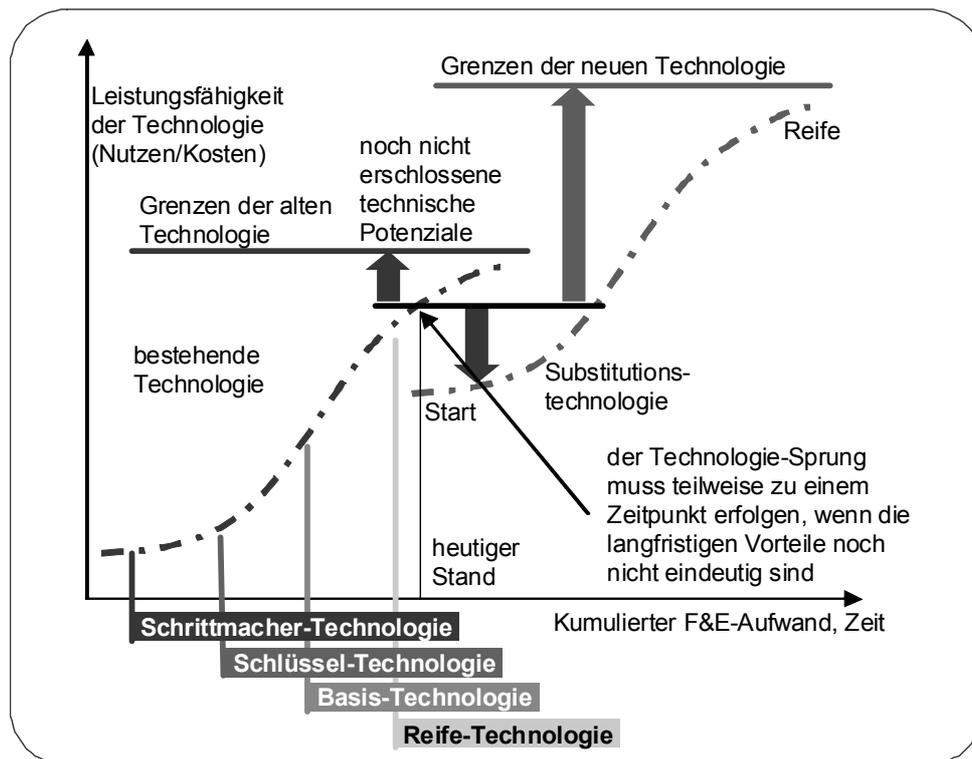


Abbildung 2-3: S-förmiger Technologielebenszyklus<sup>23</sup>

Trotz der Unvorhersehbarkeit von Innovationen wird seit SCHUMPETER am Königsweg zur Innovation geforscht. Doch neben dem nicht vorhersagbaren Erfolg am Markt beinhaltet die Innovation eine Invention, die genauso wenig vorausgeplant werden kann. Aus diesen beiden immanenten Elementen der Innovation lassen sich die beiden wesentlichen Schwierigkeiten von gezielten Innovationen bzw. Innovationsprozessen ableiten:

- Woher kommt Invention?
- Wie kann der Erfolg am Markt abgesichert werden?

In der Literatur gibt es eine immense Vielfalt von Prozess- und Managementansätzen für Innovationen. Doch wird das Phänomen der geringen Planbarkeit von Innovationen wenig ernst genommen, obwohl es in der Praxis sehr vertraut ist<sup>24</sup>. SCHOLL bringt dieses Problem auf den Punkt: In umfangreichen Studien zeigt er auf, dass die geringe Planbarkeit von Innovationen allenfalls im „Rückspiegel“ auftaucht – genau dann, wenn man erkennt, dass das riesige Angebot an Planungshilfen, Checklisten und Managementkonzepten das Gelingen von Innovationen in der Realität per se nicht sicherstellt.<sup>25</sup>

<sup>23</sup> Meier 2008, S.20.

<sup>24</sup> Vgl. Scholl 2004, S. 5.

<sup>25</sup> Ebda., S. 6.

In der aktuellen Unternehmenspraxis dominieren Phasenmodelle, die den Produktinnovationsprozess im Wesentlichen durch Deliverables und Reviews – Pflichtergebnisse und Entscheidungspunkte – steuern. Doch wird beispielsweise bei diesen Ansätzen in den frühen Phasen die nötige Flut von Ideen unterschätzt. Im Kern konzentrieren sich diese Ansätze auf das Controlling und die betriebswirtschaftliche Einschätzung von Inventionen, aber nicht auf deren Erzeugung. Dieser Zustand ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass Innovationsprozesse von der ökonomischen und betriebswirtschaftlichen Forschung dominiert werden. Die Schwierigkeit besteht darin, dass in der ökonomischen Theorie der technische Fortschritt bzw. technische Innovationen lange Jahre als „black box“ angesehen wurden, in die man nicht hineinschauen wollte, da dies Aufgabe der Techniker ist.<sup>26</sup> Von Kritikern wird hieraus der Vorwurf erhoben, dass die Hauptströmungen der Wirtschaftswissenschaften eine explizite Betrachtung des technologischen Fortschritts für unnötig erachtet und eine detailliertere Untersuchung des Entstehungsprozesses von Innovationen, also einen Blick „inside the black box“ nicht vorgenommen haben. Es lässt sich feststellen, dass die (vorherrschende) ökonomische Theorie ausdrücklich ignorant gegenüber Wissenschaft und Technik ist.<sup>27</sup>

### 2.1.1 Die Selektion von Inventionen

Voraussetzung für kontinuierliche Innovationen in Unternehmen, ist eine Vielzahl von Ideen bzw. Inventionen, die permanent vorgehalten werden müssen. Studien zeigen, dass ein erfolgreiches Produkt auf ungefähr 100 Produktideen beruht, d.h. die Fülle von Produktideen muss permanent im Innovationsprozess erzeugt werden.

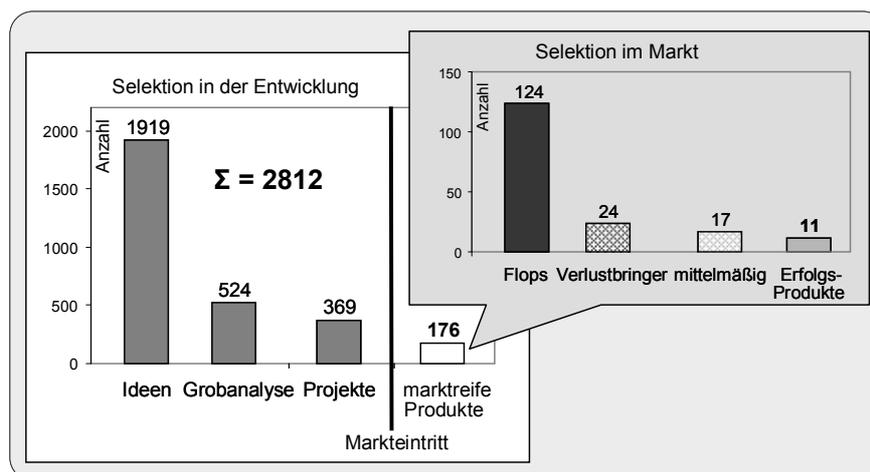


Abbildung 2-4: Anzahl Ideen und Markterfolge<sup>28</sup>

<sup>26</sup> Vgl. Rosenberg 1983.

<sup>27</sup> Vgl. Neveling 2002, S. 11f.

<sup>28</sup> Berth 1993.

Das Verhältnis zwischen Ideen und erfolgreichen Produkten ist über die Jahre konstant geblieben. So hat z.B. BUGGIE<sup>29</sup> in einer Studie gegen Ende der 1970er-Jahre gezeigt, dass von 600 Produktideen nur 30 zu Produkteinführungen wurden. Wenn man diese Zahlen mit aktuellen Studien vergleicht, hat sich an diesem Verhältnis nichts geändert (siehe Kienbaumstudie in Abbildung 2-4).

### 2.1.2 Erfolgsfaktoren

An diesen beiden Erfolgskriterien – der Erzeugung von Invention und der am Markt ausgerichteten zielorientierten betriebswirtschaftlichen Umsetzung – wird der Spagat deutlich, den erfolgreiche Innovationsprozesse leisten müssen. Die Herausforderung liegt in der Balance zwischen zwei gegensätzlichen Paradigmen: Kreative, flexible Strukturen für die Invention und straffe, projektmanagementorientierte Strukturen für die Innovation. Diese Balance ist immer unternehmensindividuell. Es gibt erfolgreiche Unternehmen, in denen der kreative Bereich überwiegt, und solche, in denen das kalkulierte Projektmanagement dominiert.

Zentrum im Innovationsprozess ist jedoch der Mensch; der Mitarbeiter ist Erfolgsfaktor Nummer eins, da er der Ideenlieferant für Inventionen und Innovationen ist. In vielen Studien wird deutlich, dass dieser Erfolgsfaktor nur bedingt in der Kontrolle des Unternehmens liegt. Das Wirksamste, was Unternehmen schaffen können, ist eine Unternehmenskultur, in den Mitarbeiter ihre Ideen teilen und diese dem Unternehmen zukommen lassen. Der geringste Teil der Ideen hat seinen Ursprung direkt im Unternehmen (siehe Abbildung 2-5).

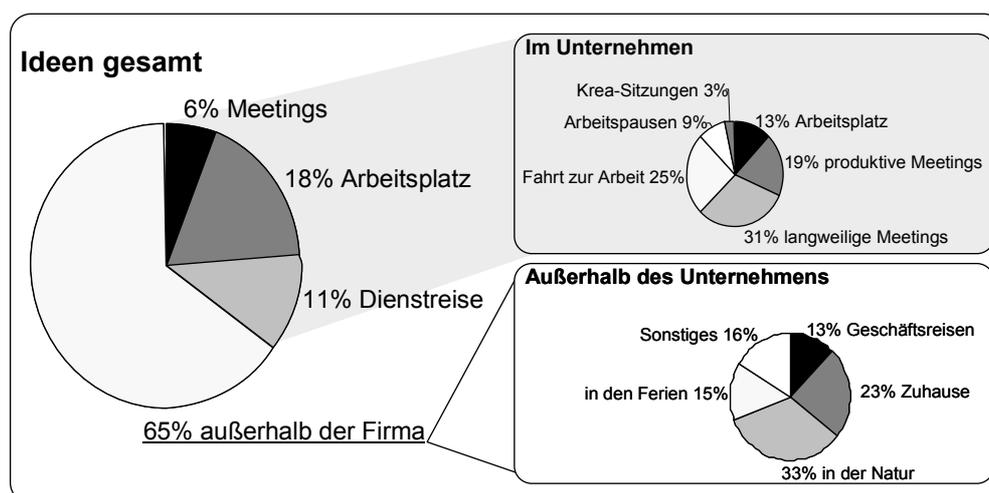


Abbildung 2-5: Ort, an dem Innovationsideen entstehen<sup>30</sup>

<sup>29</sup> Vgl. Buggie 1982, S. 22f.

<sup>30</sup> Vgl. Wahren 2004 S. 106.

In der Studie von BERTH wird deutlich, dass Unternehmen selbst nur indirekt einen Beitrag leisten können, um z.B. Ideen zu stimulieren. Schlüsselpersonen für Ideen sind oft Hauptleistungsträger im operativen Geschäftsalltag und nicht für kreative Arbeiten abkömmlich. Das dringende aktuelle Projektgeschäft verdrängt das Denken über neue Lösungen. Doch es gibt Unternehmen, die auf diese Entwicklung pragmatisch reagiert haben: So hat der Internetdienstleister Google z.B. eine 20%-Regelung für seine Mitarbeiter eingeführt. Konkret heißt das, dass das Unternehmen seinen Entwicklern 20% ihrer Arbeitsleistung, sprich einen Tag pro Woche, als „Kreativ-Zeit“ zur Verfügung stellt, um an Ideen und Projekten zu arbeiten, die nicht direkt mit ihren tagesaktuellen Aufgaben verbunden sind.<sup>31</sup>

Einig ist man sich darüber, dass die Unternehmenskultur ein entscheidender Einflussfaktor auf die Innovationsleistung der Mitarbeiter ist. Unternehmenskultur bedeutet ein gewisses Maß an Homogenität kognitiver Kapazitäten im Unternehmen. Daher ist Innovationsmanagement mit dem Problem konfrontiert, innerhalb der Organisation nur in begrenztem Umfang kreatives Potenzial mobilisieren zu können, wobei die Unternehmenskultur oft einen entscheidenden limitierenden Faktor darstellt.

Das bedeutet, das Innovationsmanagement muss Mitarbeitern Freiräume schaffen, um bei diesen kognitive Kapazitäten freizusetzen. Es geht darum, Mitarbeiter, die an Innovationen arbeiten, vor etablierten Interessen wie Routinetätigkeiten zu schützen. Genau an diesem Punkt treten die Konflikte zwischen innovationsorientierten und routineorientierten Organisationsregimes auf: Während Routinetätigkeiten durch klare Strukturen, Hierarchien und eindeutige Entscheidungen gesteuert werden, benötigen innovationsorientierte Organisationsregimes ein besonders hohes Maß an Zukunftsoffenheit und Flexibilität der Planungs- und Entscheidungsprozesse. MINTZBERG bezeichnet diesen Organisationstyp als „Adhocratie“<sup>32</sup>.

Wie bereits festgestellt wurde, ist die Mobilisierung eines möglichst hohen Anteils an kreativem Potenzial eine wichtige Voraussetzung für erfolgreiche Innovationsprozesse. NOOTEBOOM beschreibt, dass das kreative Potenzial, das innerhalb eines Unternehmens mobilisiert werden kann, durch die Unternehmenskultur begrenzt bleibt – somit ist die Mobilisierung und Nutzbarmachung von externen Innovationsquellen wie z.B. Zulieferern, Beratern oder Universitäten von zentraler Bedeutung.<sup>33</sup> NOOTEBOOM schlägt die gezielte Interaktion im Sinne eines Wissensaustauschs mit

---

<sup>31</sup> Diese Entwicklungsstrategie bringt Brandeins 2007a, S. 74 auf den Punkt: „Bei Google knallt man Ideen an die Wand wie Spaghettis – was hängen bleibt, ist gut.“

<sup>32</sup> Vgl. Mintzberg 1992, S. 335ff.

<sup>33</sup> Vgl. Nootboom 2003, S. 37.

Beratern, Kunden, Zulieferern und Entwicklungspartnern vor. Dadurch wird der Innovationsprozess durch andere Sichtweisen, Problemdefinitionen und Lösungsvorschläge ergänzt.

Der zweite entscheidende Erfolgsfaktor ist die Umsetzung der Invention zur Innovation. Ein viel beachtetes Modell in der Innovationsliteratur ist das Promotorenmodell von WITTE. Er geht davon aus, dass jede Invention in ihrer Entwicklung Individuen braucht, die den Innovationsprozess aktiv fördern und Barrieren beseitigen. WITTE bezeichnet Individuen, die diese Rolle spontan neben ihrer gewohnten Tätigkeit übernehmen, als Promotoren.<sup>34</sup> Dafür untersuchte WITTE Entscheidungsprozesse im Zusammenhang mit Innovationen; auf Basis dieser Untersuchungen entstand das Promotorenmodell mit Fach- und Machtpromotoren. „Den Fachpromotor definieren wir als diejenige Person, die einen Innovationsprozess durch objektspezifisches Fachwissen aktiv und intensiv fördert.“<sup>35</sup> In seinen empirischen Studien identifizierte WITTE Willens- und Fähigkeitsbarrieren in der Umsetzungsphase. Daraus leitete er ein Promotorenmodell zur Bewältigung von Innovationswiderständen ab, welches die zwei wesentlichen Barrieren in Unternehmen abbauen soll:

- Willensbarrieren betreffen vor allem die Akzeptanz und den Ressourceneinsatz durch die Mitarbeiter. Das heißt, der Einsatz von Ressourcen (Arbeitskraft, Zeit, Geld und Sachmittel) wird verweigert und es kommt zu negativen Reaktionen gegenüber allen, die die Neuerung fördern und begrüßen.
- Fähigkeitsbarrieren betreffen das Verständnis für den gesamten Innovationsprozess. Dies ist vor allem bei Lösungsansätzen im eigenen Arbeitsbereich und bei Schwierigkeiten in der Anwendung von neuen Techniken und Systemen festzustellen, wie z.B. der erstmalige Einsatz eines EDV-Systems im gesamten Unternehmen.

Die Promotoren- und Akteurskonzepte, in denen Schlüsselpersonen im Innovationsprozess eine tragende Rolle übernehmen und diesen dadurch voran bringen, sind mittlerweile differenziert ausgearbeitet und empirisch umfangreich untersucht.<sup>36</sup>

### 2.1.3 Innovationsdilemma und -paradoxon

RAMMERT sieht in Innovationsprozessen, die Planung des Unplanbaren und bezeichnet dies als Innovationsdilemma oder -paradoxon.<sup>37</sup> Diese Begriffe greift

---

<sup>34</sup> Vgl. Witte 1973, S. 14f.

<sup>35</sup> Witte 1973, S. 18.

<sup>36</sup> Vgl. Vahs 2005, S. 341, Hauschildt 1999.

<sup>37</sup> Vgl. Rammert 1989.

SCHOLL auf und erweitert sie mit der Beschreibung als die Bemühungen, Innovationen zu beherrschen und gezielt herbeizuführen. Auf der einen Seite gibt es schier unendliche Bemühungen, den Innovationsprozess zu steuern, doch auf der anderen Seite weiß man, dass man nur bedingt Einfluss auf das Gelingen einer Innovation hat.

Das Innovationsparadoxon wird von SCHOLL aus der Erfahrung von widersprüchlichen Aussagen in Innovationsprozessen begründet.

Innovationen können nicht geplant werden:	Innovationen werden geplant:
Die zu lösenden Probleme bei der Produktion neuen Wissens sind ihrer Natur gemäß unbekannt; Irrtümer und Zufälle müssen eine zentrale Rolle im Innovationsprozess spielen.	Schritte ins Unbekannte wurden in Anlehnung an Bekanntes zuversichtlich gegangen; es geht um kleine Wissenslücken, die auf diese Weise schrittweise gefüllt werden können.

**Abbildung 2-6: Innovationsparadoxon<sup>38</sup>**

Es fällt Unternehmen sehr schwer, mit diesem Dilemma umzugehen – unter der hohen Profitorientierung von Unternehmen gewinnt das Innovationscontrolling durch Reviews und Kennzahlen einen immer höheren Stellenwert. Oft wird durch diese Bemühungen der Nährboden für Inventionen entzogen, da diese Instrumente in vielen Fällen kontraproduktiv zu einer innovationsfreundlichen Unternehmenskultur stehen. BURMEISTER legt dar, dass die Instrumente dazu führen, dass jede originelle Idee sofort mit einer Marktpotenzialanalyse drangsaliert wird. Jeder kreative Keim wird unter der strengen Lupe des Innovations-Controllings zerpfückt. Absicherungsstrategien und Zahlenbürokratie herrschen vor, wo Kreativität und Lust an der produktiven Zerstörung<sup>39</sup> gedeihen sollten. Was durch diese Mühle kommt, ist aus Sicht von BURMEISTER leider allzu oft uninspirierter „Mainstream“, getarnt als „Produktpflege“.<sup>40</sup>

Diese Einschätzung von BURMEISTER spiegelt sich in den aktuellen Studien über Innovationsleistungen von Unternehmen wider. Ab Mitte der 1980er Jahre wurden auf Grundlage der Arbeiten von COOPER und KLEINSCHMIDT in fast allen großen Unternehmen der USA, die bis heute vorherrschenden Innovations- und Entwicklungsprozesse eingeführt. Seitdem ist die Innovationsleistung in vielen Unternehmen deutlich zurückgegangen. Die Interpretation dieser neuen Studien ist

<sup>38</sup> Vgl. Scholl 2004, S. 6.

<sup>39</sup> „Zerstörung“ im Sinne des Innovationsbegriffs von Schumpeter.

<sup>40</sup> Vgl. Burmeister 2006, S. 2.

sehr unterschiedlich; sehen die Befürworter von COOPER ihre Instrumente bestätigt, so sehen die Gegner in diesen Studien die massiven Defizite der modernen Innovationsprozesse durch den Rückgang der Innovationsleistung. Fakt aber ist, dass die Anzahl von Innovationen drastisch reduziert wurde und die meiste Weiterentwicklung in Form von Produktpflege stattfindet, was im Sinne SCHUMPETERS keine Innovation mehr ist, sondern nur der Erhalt des Gleichgewichts.

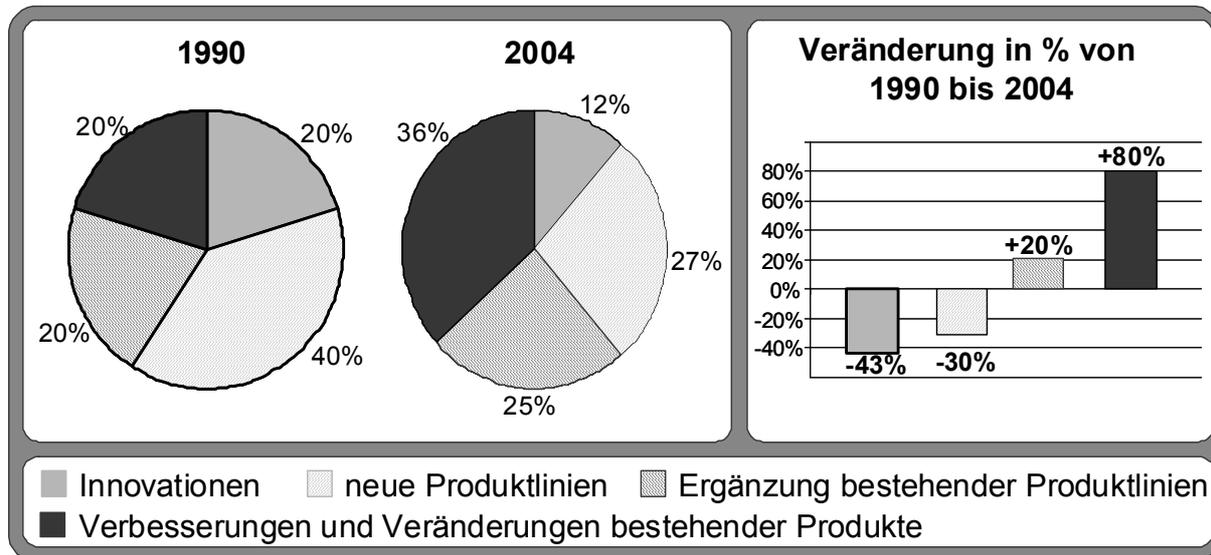


Abbildung 2-7: Sinkende Innovationsleistungen in Unternehmen<sup>41</sup>

Die Euphorie der 1990er-Jahre über die Beherrschbarkeit von Innovationen und ihrer Prozesse ist seit der Jahrtausendwende einer realistischeren Einschätzung gewichen: Innovationen sind im Kern „das Problem der Planung des Unplanbaren unter widrigen Umständen“<sup>42</sup> - darüber sind sich inzwischen große Teile in Wissenschaft und Praxis einig. Innovation hat sich aber „von einem seltenen Phänomen in ein systematisch gesuchtes Ereignis verwandelt. Und doch bleibt ihre Dynamik im Grunde unvorhersehbar und kontingent.“<sup>43</sup> Eine der wichtigsten Voraussetzungen, die durch das Innovationsmanagement geschaffen werden muss, um Invention bzw. Innovation (als unplanbares Ereignis) mit ausreichender Wahrscheinlichkeit herbeiführen zu können, ist die Mobilisierung kreativen Potenzials, eines Selektionsprozesses und der Umsetzung, die die Kreativität nicht beschneidet.

SIEBEL beschreibt in einer Aussage sehr deutlich, wo die wesentlichen Schwierigkeiten und Herausforderungen in Innovationsprozessen liegen:

<sup>41</sup> Eigene Darstellung aus Cooper 2005, S. 23. Sie basiert auf einer PDMA-Studie von Adams und Boike, „PDMA foundation CPAS study reveals new trends“, Comparative Performance Assessment Study (CPAS).

<sup>42</sup> Vgl. Siebel 2001, S. 530ff.

<sup>43</sup> Rammert 2000, S. 3.

*„Was das Problem war, das in einem kreativen Akt gelöst wurde, weiß man erst im Nachhinein. Also weiß man erst im Nachhinein, was man zu Anfang hätte wissen müssen. [...] Planung im Sinne zielverwirklichenden Handelns widerspricht der Logik der Innovation. Wären Innovationen als Ziele formulierbar, d.h. könnten ihre Eigenschaften spezifiziert und ihre Folgeprobleme schon prognostiziert werden, so wären es keine Innovationen im Sinne des qualitativ Neuen. Das eigentliche Ziel innovationsorientierter Planung stellt sich erst am Ende des Prozesses heraus. Deshalb werden Ziele nur als grobe Vorgabe, als prinzipielle Richtungsentscheidungen mit geringer Verbindlichkeit formuliert, also nicht in rechtsförmigen Plänen, sondern mittels verbaler Umschreibungen: Bilder, Symbole, Visionen, allgemeine Perspektiven und Absichtserklärungen treten an die Stelle klar umrissener Ziele.“<sup>44</sup>*

### 2.1.4 Technology-Push versus Demand-Pull

Eine zentrale Frage der wirtschaftswissenschaftlichen Innovationsforschung ist die Frage nach den entscheidenden Triebkräften für Innovationen. Die von SCHUMPETER begründete Hypothese geht von einem Angebotsdruck (Technology-Push) aus. In den 1960er Jahren entwickelt SCHMOOKLER die Hypothese des Nachfragesogs (Demand-Pull).<sup>45</sup> Diese Hypothese schreibt dem Nachfrageverhalten des Marktes den Stimulus für Innovation zu.<sup>46</sup>

Neuere Ansätze gehen über zu problemorientierten Innovationsprozessen, wie z.B. der Ansatz von HERSTATT und VERWORN.<sup>47</sup> HERSTATT beschreibt die Suche nach Innovationsideen als eine Kombination von Problemen und Anforderungen mit den dazu passenden technischen Lösungen. Die Aufteilung zwischen Demand-Pull und Technology-Push ist zwar in dem Ansatz von HERSTATT und VERWORN noch vorhanden, doch liegt der wesentliche Unterschied für den Innovationsprozess darin, dass sie davon ausgehen, dass bei Demand-Pull ein Problem vorliegt für das eine technische Lösung fehlt; beim Technology-Push liegt die Problemlösung vor und es wird ein Markt gesucht.

### 2.1.5 Evolutionäre Innovation

Ende der 1960er-Jahre kommt die erste Kritik an den starren mechanistischen Innovationstheorien auf. Diese Kritik baut darauf auf, dass die Entwicklung einer neuen Technologie nicht über verschiedene Entwicklungsstufen oder Phasen

---

<sup>44</sup> Siebel 2001, S. 530ff.

<sup>45</sup> Der Demand-Pull basiert auf Schumpeters long-term Betrachtungen ökonomischer Entwicklungen und struktureller Veränderungen in kapitalistischen Systemen, während der Technology-Push-Ansatz auf Jakob Schmookler aus dem Jahre 1966 aufbaut, der Investitionen in einen zyklischen Zusammenhang mit Patenten brachte. Vgl. Schmookler 1966.

<sup>46</sup> Vgl. Freeman 1974, S. 164.

<sup>47</sup> Vgl. Herstatt 2006, S. 26.

geradlinig verläuft, sondern dass diese von zahlreichen Iterationen, Rückkopplungsschleifen und Überschneidungen in allen Phasen des Innovationsprozesses geprägt ist.<sup>48</sup> Diese Entwicklung führte dazu, dass die Trennung von Technikentwicklung und -anwendung nicht mehr strikt vorgenommen wurde.

In Anlehnung an evolutionäre Theorien von DARWIN<sup>49</sup> in der Biologie werden seit den sechziger und siebziger Jahren des 20. Jahrhunderts Ansätze für eine evolutionäre Ökonomie entwickelt, mit denen der Prozess des technischen Wandels mit den aus der Biologie bekannten evolutionären Konzepten der Variation, Selektion und Stabilisierung zu erklären versucht wird.

NELSON und WINTER legen die Grundlage in einer evolutionär ökonomischen Theorie. Sie argumentieren, dass Akteure niemals alle möglichen Alternativen fassen können. Hier greifen NELSON und WINTER die Theorie der „begrenzten Rationalität“ (Bounded Rationality) von Herbert SIMON<sup>50</sup> auf. Diese Theorie besagt, dass sich Entscheidungsträger rational unter Abwägung aller Informationen verhalten wollen, jedoch ihre Rationalität durch Informationsbeschaffungskosten, Unsicherheit und Ungewissheit Grenzen gesetzt sind.<sup>51</sup>

Die klassische Mikroökonomie geht vom „homo oeconomicus“ aus, einem rationalen Individuum, dessen Ziel die individuelle Nutzenmaximierung ist. Dieses Konzept legt die Annahme zugrunde, dass solcherart rationale Individuen ein stabiles, konsistentes Zielsystem besitzen: der Entscheidungsträger kennt seine Handlungsalternativen und er weiß, welche Konsequenzen die Wahl einer bestimmten Alternative mit sich bringt.<sup>52</sup> In der Realität laufen Entscheidungen in aller Regel jedoch nicht nach der Prämisse absoluter Rationalität ab. SIMONS Konzept der begrenzten Rationalität beschreibt, wie der Mensch mit seinen begrenzten kognitiven Fähigkeiten der Komplexität in realen Entscheidungssituationen begegnet.<sup>53</sup> Durch diese Theorie gerät nun nicht nur das Ergebnis, sondern der gesamte Prozess der

---

<sup>48</sup> Vgl. Kowol 1998, S. 74ff.

<sup>49</sup> Das wesentliche Merkmal, das auf die Innovationstheorie übertragen wird, ist, dass die Weiterentwicklung nicht durch ein fest geschriebenes Ziel erfolgt, sondern durch Variation und Selektion, wie es Charles Darwin in seiner Theorie über den Ursprung der Arten durch natürliche Auslese oder die Erhaltung der begünstigten Rassen im Kampf ums Dasein beschrieb.

<sup>50</sup> Vgl. Simon 1972. Für seine bahnbrechenden Erforschungen der Entscheidungsprozesse in Wirtschaftsorganisationen – die „Theories of Bounded Rationality“ – erhielt Herbert Simon 1978 den Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften.

<sup>51</sup> Siehe Kap. 2.5.4, Beschränkte Rationalität, S. 121.

<sup>52</sup> Vgl. Größler 2004, S.1.

<sup>53</sup> Vgl. Simon 1994, S. 120.

Entscheidungsfindung von der Informationssuche bis zur Alternativenbewertung in das Blickfeld des wissenschaftlichen als auch des praktischen Interesses.

Diese neue Problemsicht des technischen Wandels führte dazu, dass die Innovationstheorien explizit den stochastischen evolutionären Charakter der Innovation berücksichtigen und der organisierten Komplexität und Diversifikation hinreichend Raum geben.<sup>54</sup> Technisches Handeln lasse sich somit immer weniger als angewandte Wissenschaft, sondern als das „Finden einer durch Ziele umrissenen Idee“, als „technischer Problemlöseweg“ oder als intuitiver „Schöpferakt“ auffassen.<sup>55</sup> Die Konstruktion technischer Artefakte erweise sich unter mikroskopischem Blick vielmehr als sozialer Definitions- und Aushandlungsprozess. Dieser Paradigmenwechsel führte zu der Erkenntnis, dass die institutionelle Differenziertheit und die Vernetzung der unterschiedlichen Akteure massiv an Bedeutung gewonnen haben.<sup>56</sup>

Die evolutionären Innovationsansätze erleben seit der Jahrtausendwende eine Renaissance, doch bleibt die Frage bis heute weitgehend unbeantwortet, wie man diese evolutionären Entwicklungsansätze effizient umsetzen und steuern kann. Auch SCHOLL proklamiert einen durchgängigen evolutionären Ansatz, der Innovation als evolutionären Prozess der Wissensproduktion beschreibt.<sup>57</sup>

### **2.1.6 Zwischenfazit**

Ziel eines jeden Produktentstehungsprozesses ist die Produktdifferenzierung in Bezug auf Kunden- und/oder Anbieternutzen. Speziell die Betriebswirtschaft legt hierbei besonderes Gewicht auf Innovation. Doch Unternehmen werden durch Innovationen immer wieder aufs Neue vor große Herausforderungen gestellt, denn Innovation heißt auch Veränderung. Innovationen sind in Unternehmen gesuchte Ereignisse, doch stellen sie die standardisierten Unternehmensprozesse immer wieder erneut auf die Probe. Prozesse für radikale Innovationen scheinen oft unvereinbar zu sein mit umsetzungsorientierten Entwicklungsprozessen. Hieraus leitet sich die wissenschaftliche Fragestellung ab, wie Innovation und zielorientierte Entwicklung in einem Produktentstehungsprozess-Modell vereint werden können, um einerseits die optimalen Grundlagen für Innovationen zu schaffen, andererseits auch einen optimalen Wirkungsgrad bei der Umsetzung von Innovationen zu erzielen.

---

<sup>54</sup> Vgl. Nelson 1977, S. 48.

<sup>55</sup> Neveling 2002, S. 41 aus Rammert, Soziologische Perspektive.

<sup>56</sup> Vgl. Rammert 1998, S. 193.

<sup>57</sup> Vgl. Scholl 2004, S. 210ff.

## 2.2 Prozesse und Modelle der Produktentstehung

Die Vielfalt von Prozessen und Modellen der Produktentstehung ist in Wissenschaft und Praxis riesig. Seit der Industrialisierung werden in diesem Bereich Ansätze entwickelt, um die Produktentstehung effizient und erfolgreich zu gestalten. Im Folgenden werden die wichtigsten Entwicklungen und bedeutendsten Ansätze aus dem Umfeld der Produktentstehung umrissen. Die erfolgreiche Umsetzung von Produkten setzt eine systematische und konsequente Vorbereitung, Durchführung, Koordination und Kontrolle aller mit ihr verbundenen Aktivitäten und Abläufe voraus. Die Notwendigkeit hierzu ergibt sich im Wesentlichen aus betriebswirtschaftlichen Randbedingungen, da finanzielle, materielle und personelle Ressourcen optimal eingesetzt werden müssen, um wirtschaftlich erfolgreich zu sein.

Die Instrumentarien zur Beschreibung und Beherrschung der Produktentstehung haben ihre Wurzeln im Wesentlichen in zwei unterschiedlichen wissenschaftstheoretischen Domänen, der Betriebswirtschaft und der Technik. Erstere baut auf den theoretischen Wissenschaften der Soziologie und Ökonomie auf und unterscheidet sich hier deutlich von den naturwissenschaftlichen Ingenieursdisziplinen der Technik. Speziell in der wissenschaftlichen Betrachtung führt dies häufig zu Problemen, denn oftmals stehen sich diese beiden Wissenschaftsdisziplinen diametral gegenüber. Die Herausforderung bei der Entwicklung von Produktentstehungsprozessen liegt in der Verknüpfung dieser Bereiche in einem Modell. Sowohl die Ingenieur- als auch die Betriebswissenschaften folgen der Leitdifferenz der klassischen Systemtheorie vom „Ganzen in Teile“. Die Prinzipien von Abstraktion und Reduktion sind in diesem Zusammenhang außerordentlich folgenreich und bedeutsam.<sup>58</sup> Die Folgen dieser Leitdifferenz zeigen sich in formalen und abstrakten Methoden, die nur bedingt praxistauglich sind. In der Erarbeitung wissenschaftlicher Methoden und Prozesse kommt es durch die notwendige Komplexitätsreduktion der Realität dazu, dass entweder die sozialen oder technischen Elemente soweit abstrahiert werden, dass daraus keine angemessenen Lösungen für die Praxis mehr resultieren.

Hieraus lässt sich ein wesentlicher Konflikt ableiten: Stehen bei der Konstruktionsmethodik die Technik und die unmittelbar beteiligten Akteure im Mittelpunkt, so ist es bei den theoretischen Wissenschaften genau umgekehrt: Das soziale System steht im Vordergrund, die Technik selbst ist nur eine Randerscheinung. Klar ist, dass der Einbezug beider wissenschaftlicher Grundlagen für das Gelingen notwendig ist, doch ist das Verhältnis der Wissenschaftsdisziplinen oft von Ignoranz geprägt.<sup>59</sup> In der Wis-

---

<sup>58</sup> Vgl. Fehling 2002, S. 30.

<sup>59</sup> Siehe Kap. 2.2.8, S. 3, Fußnote 27.

senschaftstheorie der Realwissenschaften<sup>60</sup>, zu denen die Betriebswirtschaftslehre sowie die Organisations- und Ingenieurwissenschaften zählen, wird zwischen den angewandten und den theoretischen Wissenschaften unterschieden. ULRICH stellt die beiden Ausprägungen gegenüber und zeigt die unterschiedlichen Auffassungen deutlich auf.

	theoretische Wissenschaften	angewandte Wissenschaften
<b>Problementstehung</b>	▪ in der Wissenschaft selbst	▪ in der Praxis
<b>Art der Probleme</b>	▪ disziplinär	▪ adisziplinär
<b>Forschungsziele</b>	▪ Theorieentwicklung und -prüfung, Erklären der bestehenden Wirklichkeit	▪ Entwerfen möglicher Wirklichkeiten
<b>angestrebte Aussagen</b>	▪ deskriptiv ▪ wertfrei	▪ normativ ▪ wertend
<b>forschungsregulativ</b>	▪ Wahrheit	▪ Nützlichkeit
<b>Fortschrittskriterien</b>	▪ Allgemeingültigkeit ▪ Bestätigungsgrad ▪ Erklärungskraft ▪ Prognosekraft von Theorien	▪ praktische Problemlösungskraft von Modellen und Regeln

Abbildung 2-8: Abgrenzung theoretischer und angewandter Wissenschaften<sup>61</sup>

Der Konflikt dieser beiden Wissenschaftsdomänen zeigt sich deutlich in der Entwicklung der Konstruktionsmethodik von ihren Anfängen bis heute.

### 2.2.1 Die Entwicklung der Konstruktionsmethodik

Die Konstruktionsmethodik befindet sich seit ihrer Begründung im Spannungsfeld von normativen Vorgehensmodellen und dem künstlerisch-gestalterischen Talent des Entwicklers. In der Geschichte der Konstruktionswissenschaft wurde die künstlerische Komponente, die auf individuellem Talent beruht, immer wieder durch

<sup>60</sup> Die Realwissenschaften haben die Beschreibung, Erklärung und Gestaltung empirisch wahrnehmbarer Wirklichkeitsausschnitte zum Ziel. Im Gegensatz dazu stehen die Formalwissenschaften, die sich mit Sprachen und Zeichensystemen sowie Regeln zu deren Verwendung beschäftigen, wie z.B. die Philosophie, die Logik und die Mathematik.

Kliemt 1986, S.150 und Schröder 2003, S. 8.

<sup>61</sup> Ulrich 2001, S. 220.

vorherrschende wirtschaftliche Rationalisierungsmaßnahmen gegenüber normativen Vorgehensmodellen zurückgedrängt. In der Entwicklung der Konstruktionsmethodik zeichnet sich das Wechselspiel dieser beiden Elemente deutlich ab. Dabei ist das vorherrschende Verständnis der Konstruktions- und Entwicklungsprozesse immer eng an die gesamt(volks)wirtschaftliche Entwicklung gekoppelt.

Von ihrem Wesen her besitzt die Konstruktionsmethodik elementare Anknüpfungspunkte zu den theoretischen Wissenschaften, doch zeigt die Historie und die heutige Ausrichtung der Produktentwicklung deutlich, dass die vorherrschenden Ansätze überwiegend aus der angewandten Wissenschaft entstanden sind. Dies zeigt sich auch an der Vita der Wissenschaftler, die alle aus der Praxis heraus die Produktentwicklung maßgeblich prägten: WÖGERBAUER, KESSELRING, RODENACKER, ROTH, KOLLER, PAHL, BEITZ und EHRENSPIEL.<sup>62</sup>

### 2.2.1.1 Die Wurzeln der Konstruktionslehre

Der Grundstein der Konstruktionsmethodik wurde durch die Konstruktionslehre Ferdinand REDTENBACHERS in seinem Werk „Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaus“ von 1852 gelegt. Schon REDTENBACHER betonte, dass der Konstruktionsprozess so viele praktische Besonderheiten aufweist, dass die Konstruktion immer auf der Erfahrung eines geschulten Konstruktionsgefühls, einem ausgebildeten Zusammensetzungssinn, Anordnungssinn und Formensinn beruht.<sup>63</sup> Er beschreibt zwar verschiedene aufeinanderfolgende Konstruktionschritte, doch widerspricht er einem reinen Phasenmodell. Der Konstruktionsprozess ist so vielschichtig und besteht aus einem so engen Geflecht von Konstruktionsentscheidungen, dass der Prozess nicht allgemeingültig zu beschreiben ist. Aus REDTENBACHERS Sicht beruht ein erfolgreicher Konstruktionsprozess immer auf der Kunstfertigkeit und Erfahrung des genialen und tüchtigen Konstrukteurs.

Sein Schüler Franz REULEAUX begründete eine Konstruktionslehre, die auf streng wissenschaftlich-deduktiven Prinzipien beruhte.<sup>64</sup> An REULEAUXs Ansätzen zeigte sich schon vor hundert Jahren eines der wesentlichen Probleme späterer konstruktionsmethodischer Ansätze: Die analytisch gewonnene Reduktion von Komplexität ließ sich in der Synthese nicht einfach umkehren. Wenn überhaupt, wurden die abstrakten Morphologien nur nachträglich aufgepfropft, um den Konstruktionsprozess beschreiben zu können. Dies führte dazu, dass im Einsatz unter realen Umweltbedingungen die analytisch gewonnenen Prinzipien nicht angewendet werden

---

<sup>62</sup> Jänsch 2007, S. 15.

<sup>63</sup> Vgl. Redtenbacher 1952, S. 285.

<sup>64</sup> Siehe Matthiesen 2002, S. 6.

können.<sup>65</sup> Im Konstruktionsprozess führte dies zu einer methodischen Lücke, die bis heute besteht. Die Konstruktionsmethodik besitzt den Anspruch, den Prozess vollständig zu beschreiben, doch der entscheidende Schritt, die gestalterische Synthese, wird bis heute in der tatsächlichen Anwendung in der Praxis methodisch kaum unterstützt.

### **2.2.1.2 Konstruktion zu Anfang des 20. Jahrhunderts**

Bis dahin orientierte sich die Konstruktionslehre im Wesentlichen an den Wirkmechanismen. Durch RIEDLER rückten die verschiedenen konstruktiven Teilaufgaben in den Mittelpunkt. Er beschrieb den Konstruktionsprozess in iterativen Schritten zwischen streng wissenschaftlichen Lösungen, experimenteller Prüfung und der Anpassung an Randbedingungen. Er orientierte sich an einer pragmatischen Konstruktionslehre und stellte wieder die reale Komplexität in den Mittelpunkt. Aus seiner Sicht kann Komplexität nicht einfach weganalysiert werden. Dies führte dazu, dass die wissenschaftlichen Beschreibungen der Konstruktionsprozesse weniger explizit und systematisierbar wurden und der Konstruktionsprozess sich wieder zu einer ganzheitlichen Ingenieurkunst entwickelte.<sup>66</sup>

Mit dem Beginn des 20. Jahrhunderts wurde der Konstruktionsprozess auch stark durch die Rationalisierungsbewegung des Taylorismus geprägt. MENGE wollte die Konstruktionsarbeit nach dem Muster manueller Produktion in rein organisatorischer oder dispositionstechnischer Weise normen und dies durch die weitestgehende Ausschaltung von Denkarbeit im Konstruktionsprozess selbst.<sup>67</sup> Doch erkannte man schnell, dass die tayloristische Arbeitsteilung nur bedingt auf Konstruktionsprozesse übertragbar ist.

Es wurde nach neuen Ansätzen der Rationalisierung der Konstruktion gesucht. KESSELRING entwickelte ein kostenorientiertes Schema der Konstruktionsbewertung und erschloss neue Rationalisierungspotenziale. Parallel zu KESSELRING entwickelte WÖGERBAUER mit seiner „Technik des Konstruierens“ einen Prozess, der die Konstruktion als Wechselspiel zwischen einem rationellen Ablaufplan und einem problemstrukturierenden Aufgabenplan beschreibt. Auch WÖGERBAUER entwickelte ein Phasenmodell, doch tritt dieses vor situationsspezifischen Aufgabenplänen zurück; er beschreibt seinen Konstruktionsprozess mit Hilfe von Feldern aus der Physik. WÖGERBAUER geht davon aus, dass jede Teilaufgabe im Augenblick des

---

<sup>65</sup> Vgl. Hellige 1995 S. 139.

<sup>66</sup> Vgl. Riedler 1896, S. 21.

<sup>67</sup> Menge, Aufgaben und Bedeutung des Konstruktions-Büros in Industrie-Unternehmungen, in: Maschinenbau 3 (1924) 19, S. 679-691, zitiert nach Hellige 1995, S. 144.

geistigen Aufnehmens durch den Entwickler die Menge seiner Vorstellungen in einen Zustand versetzt, die in der Physik als Feld beschrieben werden.<sup>68</sup> Diese Felder beeinflussen durch Wechselwirkungen den individuellen Gestaltungsvorgang. Als solche Felder sieht WÖGERBAUER z.B. das Funktions-, Betriebs-, Werkstoff-, Herstellungs- oder das Kostenfeld. Hierdurch beschreibt er den Konstruktionsprozess als Netz- und Objektstruktur, der keinem sequenziellen Schema folgt. WÖGERBAUER richtet sich auch vehement gegen alle Rationalisierungsmaßnahmen des tayloristischen Prinzips: *„Der Mensch kann nie zur Konstruktionsmaschine dressiert werden, während er wohl zu einem Griffmechanismus abzurichten ist“*<sup>69</sup>. Der entscheidende Schritt von WÖGERBAUER besteht darin, dass er sich in dieser Argumentation nicht mehr auf die Konstruktion als künstlerischen Akt bezieht, sondern die Kompetenz des Konstrukteurs in der Integrationsleistung von Problemlösungs- und Entscheidungsaufgaben und einem systematischen Vorgehen sieht.

### 2.2.1.3 Die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts

An diesen systematischen Ansätzen knüpft in den 1950er-Jahren die Ilmenauer Schule an. HANSEN versteht den Konstruktionsprozess auf Basis von objektiven Bedingungen und Gesetzen, die auf generellen Gesetzmäßigkeiten der Methodik beruhen. Hieraus wird eine logisch zwingende Reihenfolge der Gedankenschritte des Konstruktions- und Entwicklungsprozesses begründet. Das Phasenmodell wird zum Prinzip. HANSEN beschreibt den Konstruktionsprozess durch Phasenbildung, Aufgabenzergliederung, Variantenkombination und -selektion. Der Prozess nimmt schließlich die Form eines Blockschaltbildes an.<sup>70</sup> Der Entwicklungsablauf bekommt den Charakter der Zwangsläufigkeit und vermittelt dem Konstrukteur den Anschein eines geordneten und geregelten Prozesses.

Dieses Verständnis des Konstruktionsprozesses in Kombination mit dem Aufkommen des Computers führte zu einem neuen wissenschaftlichen Fernziel: Nicht nur eine rechnergestützte Konstruktion, sondern der wissenschaftliche Traum der „Konstruktion auf Knopfdruck“ wurde zum Leitgedanken. Diese Bemühungen wurden bis zur Jahrtausendwende z.B. durch die Arbeiten von GRABOWSKI aufrechterhalten.

An diesem rein auf der Logik basierenden Konstruktionsprozess entwickelten sich die streng deduktiven Ansätze von RODENACKER, ROTH und KOLLER. Sie sahen die

---

<sup>68</sup> Vgl. Wögerbauer, Die herstellungswirtschaftliche Ausrichtung des konstruktiven Denkens, in: Werkstattstechnik und Werksleiter, 33 (1939) 15, S. 369-373, Zitat S. 372, zitiert nach Hellige 1995, S. 148.

<sup>69</sup> Wögerbauer 1943, S. 79f.

<sup>70</sup> Vgl. Hansen 1986, S. 33ff.

Beschreibung des Konstruktionsprozesses im Wesentlichen durch Konstruktionsalgorithmen und Restriktionen beschrieben. Die reale Komplexität von Gestalt- und Entscheidungsproblemen wurde zur untergeordneten Randbedingung.

Die Konstruktionssystematik KOLLERS sieht die Systematik physikalischer Effekte und Prinziplösungen als die kleinsten relevanten Konstruktionselemente an, die in festen Synthese- und Analyseschritten ausgewählt, variiert, kombiniert und selektiert werden. Er sieht hierin eine Analogie zum Periodensystem der Chemie, in dem es eine feste Anzahl kleinster Elemente gibt, aus denen alles aufgebaut ist. Diese Phase der Konstruktionsmethodik hatte ihren wissenschaftlichen Anspruch vor allem in der theoretischen Funktion-Elemente-Gestalt-Synthese und ging an der realen Komplexität der Konstruktion vorbei.

PAHL und BEITZ orientierten sich wieder stärker an realen Konstruktionsabläufen. BEITZ passte Elemente der Systems-Engineering-Methoden aus dem amerikanischen Raumfahrtprogramm an die Bedürfnisse der Konstruktion an.<sup>71</sup> Die individuelle Fähigkeit des Konstrukteurs rückte wieder stärker in das Interesse und strenge normative Ablaufpläne wurden nur für begrenzt realisierbar erachtet.<sup>72</sup> Der Konstruktionsprozess wurde in einem umfangreichen Bündel an Regeln, Normen und Richtlinien zusammengefasst und mündete in der VDI-Richtlinie 2221 (s. Kapitel 2.2.4.2). Durch die Arbeit von EHRENSPIEL wurden integrierende, teamorientierte Aspekte der Konstruktion noch stärker in den Mittelpunkt des Entwicklungsprozesses gestellt.

#### **2.2.1.4 Das vorläufige Ende der Entwicklung der Konstruktionsmethodik**

Durch die Verkürzung der Entwicklungszeiten fanden die Ansätze des Simultaneous und Concurrent Engineering (SE/CE) in den 1990er-Jahren Einzug in den Entwicklungsprozess. Durch die Parallelisierung der sequenziellen Arbeitsschritte wurde der Konstruktionsprozess drastisch beschleunigt und es wurden die quasi-tayloristischen Phasenmodelle des Konstruktionsprozesses in Frage gestellt. Hieraus resultiert der wachsende Informations- und Kommunikationsbedarf im Entwicklungsprozess. Das Wissensmanagement sowie fachübergreifende, teambasierte Ansätze nehmen eine zentrale Bedeutung ein. Bei diesen Ansätzen steht die zeitliche und vor allem inhaltliche Selbstorganisation der Produktentwicklung im Vordergrund; gleichzeitig findet in dieser Entwicklung die konstruktionsmethodische Entwicklung ihr vorläufiges Ende. In Unternehmen haben Phase-Review-Ansätze wie Stage-Gate die Oberhand

---

<sup>71</sup> Vgl. Beitz 1971, Systemtechnik im Ingenieurbereich, in: VDI-Berichte Nr. 174, Düsseldorf 1971 zitiert nach Hellige, S. 158.

<sup>72</sup> Vgl. Pahl 1997.

gewonnen, in denen dem verantwortlichen Team nur noch Ziele und Termine vorgegeben und Ressourcen koordiniert werden. Ergebnisse werden anhand von Reviews durch das Top-Management beurteilt. Der eigentliche Konstruktionsprozess ist aus Unternehmenssicht in den Hintergrund gedrängt worden.

Ein zweiter wesentlicher Aspekt ist die flächendeckende Computerisierung des Konstruktionsprozesses. Konstruktionsalgorithmen und umfassende Konstruktionswissenssysteme werden für die zentralen Erfolgsfaktoren gehalten. Durch diesen Fokus rücken die realen kooperativen Abläufe zwischen interdisziplinären Akteuren, die wirklichen Iterationsschleifen, die phasenübergreifende Zusammenarbeit und die realen Ziel- und Bewertungskonflikte an den Rand der wissenschaftlichen Betrachtung. Logische Ebenenmodelle und normative Vorgehensmodelle liefern keine Beschreibung der Konstruktionsabläufe in der praktischen Anwendung. Die dominanten Phasengrenzen, einseitige CAD-Orientierung, mangelndes Kontingenzbewusstsein und die Vernachlässigung sozialer Elemente haben den entscheidenden konstruktiven Gestaltungsprozess in der wissenschaftlichen Weiterentwicklung in dieser Phase eher gehemmt als gefördert.

Doch erlebt die Konstruktionsmethodik in jüngster Zeit eine Renaissance: Der Ruf nach Innovation und Differenzierung im globalen Wettbewerb speziell durch steigenden Marktdruck der aufstrebenden Regionen in Asien macht ein erneutes Umdenken in der Produktentstehung erforderlich. Um die bis heute vorherrschenden Probleme und den nötigen Wandel im Verständnis von industriellen Prozessen darzulegen, ist der wissenschaftliche Ursprung der Unternehmensprozesse von entscheidender Bedeutung. Das effiziente Prinzip der Arbeitsteilung von Taylor ist bis heute zugleich Erfolgs- als auch Beschränkungsfaktor in Unternehmensprozessen.

### **2.2.2 Das Prinzip Taylor**

Der Ursprung der fast hundertjährigen Geschichte des Managements von industriellen Prozessen geht maßgeblich auf Frederick Winslow TAYLORS Arbeit „Die wissenschaftliche Betriebsführung“ zurück.<sup>73</sup> Er legt dar, dass die Leitung und Verwaltung von Unternehmensprozessen eine wirkliche Wissenschaft darstellt, die auf klar definierten Gesetzen, Regeln und Grundsätzen beruht. TAYLOR betrachtet Firmenabläufe als Machtkampf zwischen der Führung und den Arbeitern, den diese gewinnen, solange sie die Arbeit kennen und beherrschen. Um die Machtverteilung zugunsten des Arbeitgebers zu erreichen, empfahl er eine Trennung zwischen

---

<sup>73</sup> Frederick Winslow Taylor, US-amerikanischer Ingenieur und Arbeitswissenschaftler veröffentlichte 1911 sein Hauptwerk „The Principles of Scientific Management“ und führte 1913 die Fließbandproduktion für das Ford T-Modell ein.

Leitungs- und Ausführungsarbeiten. Mit „Scientific Management“ kann der Leitungsstab nach TAYLOR Wissen sammeln und auf (wiederkehrende) Arbeit anwenden.<sup>74</sup>

Bis heute finden sich diese Elemente in der modernen Prozessgestaltung wieder. Die bestehenden Managementtheorien wie Total Quality Management (TQM), Kaizen sowie Business Process Reengineering sind Neuformulierungen tayloristischer Prinzipien, die bis in die 1990er-Jahre erfolgreich funktionierten, weil das „Scientific Management“ stets gleiche Randbedingungen vorfand. Unter dynamischen Randbedingungen, die wissensintensive und -flexible Prozesse benötigen, führt dieser Ansatz jedoch in die Havarie.<sup>75</sup>

TAYLOR definierte mehrere Schritte für die erfolgreiche Prozessgestaltung:

- Prozesse werden aus ‚Best Practice‘-Projekten abgeleitet.
- Die Abläufe sind danach zu standardisieren.
- Arbeiter dürfen ihre Tätigkeit nicht selbst optimieren.
- Strenge Teilung von Management und Arbeit.
- Ein Arbeiter macht nur das, was ihm gesagt wird, und nichts Anderes.
- Die natürliche Begabung des Arbeiters muss gegeben sein.
- Motivation erfolgt über Erfolgskontrolle.
- Anreiz durch Mehrbezahlung, zwischen 30 und 100%.
- Die Veränderung muss in kleinen Schritten erfolgen.

Die Motivation von TAYLOR lag in der Suche nach Wegen zur Erhöhung der nationalen Leistungsfähigkeit. Seine Grundannahmen sind heute – fast 100 Jahre später – aktueller denn je:

*„Wir sehen, wie die Wälder dahinschwinden, die Wasserkräfte vergeudet, der Boden und seine Schätze in das Meer gewaschen werden; die Erschöpfung der Kohlen und Erzlager ist nur noch eine Frage der Zeit. Weniger offensichtlich, weniger leicht zahlenmäßig darstellbar und deshalb leider bisher nur hier und da in ihrer Bedeutung erkannt ist die viel größere tagtägliche Vergeudung menschlicher Arbeitskraft durch ungeschickte, unangebrachte oder unwirksame Maßnahmen, die Präsident Roosevelt als Grund für die geringe nationale Leistungsfähigkeit bezeichnet.“<sup>76</sup>*

Übertragen auf heute ist es nicht mehr die Vergeudung menschlicher Arbeitskraft im Sinne der materiellen Produktion, sondern die Verschwendung von Intelligenz und Wissen<sup>77</sup>, die zu einer verringerten Innovationsfähigkeit führt. Taylor proklamierte,

---

<sup>74</sup> Vgl. Schütt 2000.

<sup>75</sup> Vgl. Wohland 2007, S. 13.

<sup>76</sup> Taylor 1913, S. 2.

<sup>77</sup> Siehe Dueck 2006.

dass mit Beginn der Massenproduktion nicht mehr die Persönlichkeit an erster Stelle, sondern dass in Zukunft die Organisation und das System an erste Stelle treten:

*"In the past the man has been first; in the future the system must be first."*<sup>78</sup>

In der Wissensgesellschaft des 21. Jahrhunderts relativiert sich diese These, da der wesentliche Produktionsfaktor nicht mehr die manuelle Arbeit ist, sondern die Fähigkeit, Informationen zu verarbeiten und Kenntnisse sowie Fähigkeiten auf die Produktion zunehmend komplexer Güter- und Dienstleistungen anzuwenden.<sup>79</sup> Der Taylorismus wurde entwickelt, um Prozessarbeit zu optimieren, doch diese Mechanismen sind nur sehr bedingt für Wissensarbeit geeignet. Um dies genau darzulegen, ist es wichtig, das Menschenbild genauer zu betrachten, von dem TAYLOR in seinen Arbeiten ausgeht. Er stellte die These auf, dass „Sich-um-die-Arbeit-Drücken“ das größte Übel darstellt, an dem die arbeitende Bevölkerung kranke. TAYLOR setzte sich zum Ziel, das „Sich-Drücken“ in jeglicher Form auszumerzen.<sup>80</sup> Er ging davon aus, dass es dem angeborenen Instinkt und der Neigung des Menschen entspringe, nicht mehr zu arbeiten, als unumgänglich nötig ist. TAYLOR sah darin den bewussten Vorsatz von Arbeitern, den Arbeitgeber in Ungewissheit zu lassen, wie schnell die Arbeit tatsächlich verrichtet werden kann. Aus diesem Grund ist das Messen der Arbeitsleistung die elementare Grundlage bei der Prozessgestaltung. Doch ist die Messung von Wissensarbeit wesentlich komplexer als die Messung von manueller Arbeit und die Ineffizienz von Prozessen ist nicht mehr ausschließlich in dem Sich-Drücken begründet, sondern vor allem in Innovationsmüdigkeit.

Ein deutlicher Wandel im Verständnis von Unternehmensprozessen hat seit den 1980er-Jahren begonnen. Durch das Aufkommen des Simultaneous und Concurrent Engineering und die verstärkte Integration von Teamarbeit wurden die tayloristischen Prinzipien der Arbeitsteilung aufgeweicht.

### **2.2.3 Post-Taylorismus**

Bis in die 1980er-Jahre konnten sich die Entwicklung und Konstruktion als relativ geschlossene Bereiche vom restlichen Teil des Unternehmens abgrenzen. Die Unternehmensprozesse liefen überwiegend sequenziell ab und Verknüpfungen zu anderen Bereichen konnten als statischer Informationsgeber berücksichtigt werden. Die sequenziellen Entwicklungsprozesse wiesen einen hohen Grad der Arbeitsteilung auf. Die drastischen Verkürzungen der Lebenszyklen sowie die Parallelisierung von Entwicklungsabläufen in den letzten 25 Jahren haben dazu

---

<sup>78</sup> Taylor 1913, S. 4.

<sup>79</sup> Vgl. Europäische Kommission 2003, S. 9.

<sup>80</sup> Vgl. Taylor 1913, S. 12.

geführt, dass heute kein Bereich mehr als losgelöste Einheit im Unternehmen gesehen werden kann. Die integrierten Ansätze haben in der weltweiten Forschung und Praxis ab den 1990er-Jahren erfolgreich Einzug gehalten.

Die Weiterentwicklung der PEP ist bis heute sehr stark von den drastischen marktgetriebenen Forderungen nach kürzeren Time-to-Market-Zeiten bestimmt. In den letzten 20 Jahren führte dies in der Produktentstehung zu gänzlich neuen Strategien und Ansätzen. Die größten Erfolge wurden in den 1990er-Jahren durch die Integration von neuen Managementansätzen in den PEP erzielt. MCGRATH sieht diese Entwicklung, die Mitte der 1980er-Jahre begann und bis zur Jahrtausendwende andauerte, als eine eigene Generation von PEP an, die „TTM – Time-to-Market-Generation“<sup>81</sup>. Im Wesentlichen sind hier die Ansätze des Simultaneous Engineerings, des Concurrent Engineerings, des Core Team Managements und der Integrierten Produktentwicklung zu nennen<sup>82</sup>, die ALBERS zu Beginn der 1990er-Jahre im Bereich der Automobilindustrie entwickelte, etablierte und damit eine Grundlage moderner teambasierter Produktentstehungsprozesse legte. Im Mittelpunkt dieser Entwicklung stehen ganzheitliche Ansätze, die im Gegensatz zur sequenziellen Prozessgestaltung des Wasserfallmodells<sup>83</sup> oder des „Over the Wall Engineerings“, die Produktentwicklung als hoch integrierten und stark verzahnten Prozess begreifen und beschreiben. Voraussetzung für diese Ansätze ist ein ständiger Informationsaustausch zwischen den einzelnen Bereichen, die am PEP beteiligt sind, wie zum Beispiel Entwicklung, Konstruktion, Fertigung, Vertrieb und Marketing. Im deutschsprachigen Raum sind die Grundlagen dieser Ansätze durch EHRENSPIEL gelegt worden.<sup>84</sup>

Die entscheidenden Fortschritte in der Verkürzung der Entwicklungszeiten wurden durch die Ansätze des Simultaneous Engineerings (SE) und Concurrent Engineerings (CE) in Kombination mit verantwortlichen Projekt-Kernteams<sup>85</sup> erreicht. Inzwischen sind diese Ansätze in nahezu allen existierenden Produktentstehungsprozessen integriert und aus der Praxis nicht mehr wegzudenken.

---

<sup>81</sup> Vgl. McGrath 2004, S. 12ff.

<sup>82</sup> Vgl. Albers 1993 und Albers 1994.

<sup>83</sup> Im Wasserfallmodell hat jede Phase einen exakt definierten Start- und Endpunkt. Erweiterungen des einfachen Modells (Wasserfallmodell mit Rücksprung) erlauben ein schrittweises „Aufwärtslaufen“ der Kaskade, sofern in der aktuellen Phase etwas schief laufen sollte, um den Fehler auf der nächst höheren Stufe lösen zu können.

<sup>84</sup> Vgl. Ehrlenspiel 1995, S. 148ff.

<sup>85</sup> Vgl. McGrath 2004, S. 182.

### 2.2.3.1 Simultaneous Engineering und Concurrent Engineering

Simultaneous und Concurrent Engineering werden in den meisten Fällen synonym verwendet. Beide haben die Reduktion von Zielkonflikten, Informationsverlusten und Änderungsschleifen durch Integration einzelner Aktivitäten in die Prozesskette zum Ziel. Während beim SE-Gedanken stärker die Parallelisierung der Produkt- und Prozessgestaltung zur Zeitreduktion im Vordergrund steht, wird das CE stärker von Kosten- und Qualitätsaspekten bestimmt.<sup>86</sup> Dieses Verständnis deckt sich auch mit den Ursprüngen der Ansätze. SE wurde in der Automobilindustrie zur Reduktion der Entwicklungszeiten, das CE hingegen wurde vom U.S. Department of Defence entwickelt, um in der militärischen Entwicklung bei höherer Qualität eine bessere Kostenkontrolle zu erzielen.

#### Simultaneous Engineering

Sobald in einem Prozessschritt genügend Informationen erarbeitet wurden, wird parallel der nächste Arbeitsablauf begonnen. Dies führt teilweise zu Mehrarbeit, da nicht mit dem endgültigen Informationsstand gearbeitet wird, sondern sich die Arbeitsgrundlage jederzeit verändern kann. Dafür können aber Fehler schneller erkannt und rechtzeitig beseitigt werden, bevor sie in einer späteren Phase durch Rekursionsschleifen hohe Kosten verursachen. Dies setzt voraus, dass Entwicklung, Konstruktion, Fertigung, Montage, Vertrieb, Marketing etc. bei Produktinnovationen gleichzeitig am Entwicklungsprozess beteiligt werden. Mitarbeiter aus allen Abteilungen bilden interdisziplinäre Teams mit dem Ziel, die vielfältigen und oft komplexen Abhängigkeiten bei der Entwicklung neuer Produkte frühzeitig zu erkennen und in die Strategie einzubeziehen.<sup>87</sup>

#### Concurrent Engineering

VANJA sieht in Concurrent Engineering lediglich die Parallelisierung von Aufgaben, die in Teilaufgaben zerlegt und parallel abgearbeitet werden. Die Ergebnisse werden abschließend zu einer Gesamtlösung zusammengeführt. Demnach definiert VANJA CE als Parallelisierung gleicher Tätigkeiten.<sup>88</sup> Doch im allgemeinen Verständnis wird das CE auch als übergreifende Strategie im gesamten Entwicklungsprozess verstanden. Die Definition der Society for Concurrent Product Development definiert Concurrent Engineering als einen systematischen Ansatz zur integrierten, überlappenden Planung eines Produkts und der zugehörigen Prozesse. Dieser

---

<sup>86</sup> Vgl. Klabunde 2003, S. 16.

<sup>87</sup> Vgl. Liessmann 1997.

<sup>88</sup> Vgl. CE-Verständnis nach Vanja 2005, S. 375-376.

Ansatz soll die Entwickler von Anfang an dazu anhalten, sämtliche Phasen des Produktlebenszyklus von der Konzeption bis zu Entsorgung zu berücksichtigen<sup>89</sup>.

Die Begriffe CE und SE werden in dieser Arbeit als synonym verstanden. Zentrale Bedeutung bei diesen Ansätzen hat die Teamarbeit. Parallel zu der Entwicklung des SE/CE wurden die teamorientierten Entwicklungsansätze in der Praxis etabliert.

### 2.2.3.2 Kern-Team

Inzwischen sind Entwicklungsprozesse stark von Teamarbeit geprägt. Die wissenschaftliche Grundlage für teambasierte Produktentstehungsprozesse wurde durch IKUJIRO und NONAKA gelegt. In ihren Studien über Entwicklungsprozesse identifizierten sie durch Interviews in Unternehmen, die sie mit Vorstandsmitgliedern bis hin zu jungen Ingenieuren durchgeführt haben, dass es sechs elementare Erfolgsfaktoren im individuellen Umgang mit Entwicklungsprozessen gibt, die für den Projekterfolg maßgeblich sind:

- eingebaute Instabilität
- selbstorganisierende Projektteams
- Überlappungen in den Entwicklungsphasen
- Vielseitigkeit mit einer Lernkultur
- subtile Steuerung
- Kultur einer lernenden Organisation.

IKUJIRO und NONAKA sagen aber auch, dass die einzelnen Elemente für sich nicht zu einer Verkürzung und besseren Qualität des Entwicklungsprozesses führen, aber im richtigen Zusammenspiel ein hohes Potenzial freisetzen. Ausgehend von diesen Studien entwickelten sie einen ganzheitlichen teambasierten Ansatz, den sie mit einer Mannschaftssportart vergleichen, den „Rugby-Approach“:

*„... under the rugby approach, the product development process emerges from the constant interaction of a hand picked, multidisciplinary team whose members work together from start to finish. Rather than moving in defined, highly structured stages, the process is born out of the team members' interplay.“<sup>90</sup>*

Aufbauend auf dem Rugby-Approach wurden eine Vielzahl von Ansätzen auf Basis der Grundgedanken von IKUJIRO und NONAKA entwickelt, wie z.B. das Core-Team-Management und die SCRUM-Ansätze.<sup>91</sup> Diese Ansätze schaffen eine vollständige Team-Philosophie; sie setzen das Team ins Zentrum des Entwicklungsprojektes und

---

<sup>89</sup> Definition nach Pennel und Winner, Pennel 1989, S. 647-655.

<sup>90</sup> Takeuchi 1986, S. 2f.

<sup>91</sup> Vgl. Schwaber 2007, William 2007.

schaffen ein umfassendes teamorientiertes Regelwerk für die Zusammenarbeit: Angefangen von inhaltlichen und zeitlichen Vorgaben für tägliche Kurzmeetings bis hin zu umfangreichen Empfehlungen, wie die Teamprozesse optimal strukturiert werden.

In dieser Phase entstanden aus der Praxis heraus viele neue Ansätze für die Produktentwicklung, die den realen Abläufen der Entwicklungs- und Konstruktionsprozesse besser gerecht wurden. ALBERS entwickelte in der Praxis einen teamorientierten Ansatz<sup>92</sup>. Auf dessen Basis entstanden eine Reihe von Instrumenten zur systematischen Problemlösung. Aufbauend auf diesen Erfahrungen konzipierte ALBERS daraufhin den teamorientierten SPALTEN-Ansatz zur Problemlösung, der eine Vielzahl operativer Instrumente beinhaltet.<sup>93</sup> Es ist ein ganzheitlicher Ansatz mit sieben unterschiedlichen Aktivitätsclustern, die in unterschiedlichen Zyklen durchlaufen werden können. Zentrales Element von SPALTEN ist das PLT-Problemlösungsteam<sup>94</sup>, welches vor jeder neuen SPALTEN-Aktivität hinsichtlich seiner Eignung und Problemlösungskompetenz in Bezug auf die aktuelle Aktivität überprüft wird und gegebenenfalls neu zusammengesetzt wird.<sup>95</sup>

## 2.2.4 Prozessansätze in der Produktentstehung

Es ist schwierig, die Ansätze der Produktentstehung genau zu kategorisieren, da die Unterschiede oft nur gering und die Ziele sehr ähnlich sind. Eine detaillierte Differenzierung aller Ansätze im Bereich der Produktentstehung würde auch nicht zielführend sein. Aus diesem Grund ist die Unterscheidung nur auf einem sehr abstrakten Niveau möglich. Die Unterscheidungsmerkmale, die hier zugrunde gelegt werden, lassen sich in drei Hauptkategorien einteilen: in die Management-, die Entwicklungs- und die Front-End- Ansätze (Frühphase).

### Outputorientierte Managementansätze

Die outputorientierten Managementansätze sind davon geprägt, dass sie den gesamten Produktentstehungsprozess im Wesentlichen auf strategische Ziele und betriebswirtschaftliche Elemente reduzieren, das zu entwickelnde System selbst steht im Hintergrund. Fokus dieser Ansätze liegt im operativen Controlling und der Gestaltung der Organisation. Diese Elemente finden sich zum Teil auch in den entwicklungsgetriebenen Ansätzen, doch steht von Seiten der Managementansätze die Profitabsicherung im Vordergrund, die Technik ist dagegen sekundär.

---

<sup>92</sup> Vgl. Albers 1993, S. 5.

<sup>93</sup> Vgl. Albers 2002b, Albers 2003a.

<sup>94</sup> Saak 2006. S.17.

<sup>95</sup> Der SPALTEN-Ansatz ist in Kapitel 2.5.7 SPALTEN, S. 128 detailliert beschrieben, die Integration in den iPeM ist in Kapitel 4.1.8 Mikro-Aktivitäten des iPeM – SPALTEN, S. 170, beschrieben.

### **Entwicklungsgetriebene Ansätze**

Diese Ansätze sind stark von der Technik und den zu entwickelnden Systemen geprägt. Bei ihnen steht die Arbeit der Entwickler im Vordergrund. Ziel dieser Ansätze ist eine optimale Unterstützung der Akteure durch geeignete Methoden und Werkzeuge. Diese Ansätze sind im Wesentlichen aus der Konstruktions- und Entwicklungsmethodik erwachsen.

### **Front-End-Ansätze**

Die Front-End-Ansätze sind sehr stark von betriebswirtschaftlichen und Marketing-orientierten Aspekten getrieben. Die Ansätze konzentrieren sich auf die Produktstrategie und das Produktportfolio. Die Schwerpunkte liegen auf neuen Zielgruppen, Märkten, der Identifikation von Kundenbedürfnissen, neuen Technologien und der Budget- und Risikoabschätzung. Bei diesen Ansätzen herrscht die Erkenntnis vor, dass die frühe Phase von hoher Unsicherheit dominiert wird und eher chaotisch als geordnet abläuft. Mit den Front-End-Ansätzen kommt es zu einer starken Durchmischung von Entwicklungs- und Managementkomponenten, doch sind sie auf der technischen Ebene meist wenig konkret.

Im Folgenden werden die wichtigsten Ansätze dieser drei Bereiche kurz erläutert.

#### **2.2.4.1 Managementansätze**

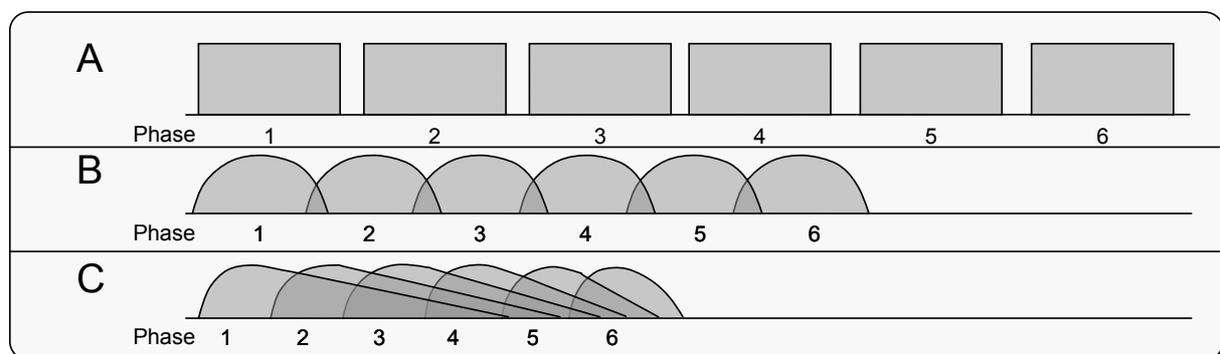
Die managementorientierten Entwicklungsprozesse sind maßgeblich durch ihre starke Phasenorientierung gekennzeichnet. Die Ansätze haben sich im Laufe der Jahre stark gewandelt, um den Anforderungen komplexer Produkte, kürzerer Entwicklungszeiten, höherer Qualität und niedrigeren Entwicklungskosten gerecht zu werden. Die ersten Produktentstehungsprozesse wurden in den 1950er-Jahren von der NASA entwickelt. Die Verbindung der einzelnen Phasen ist hauptsächlich durch eine Supplier-to-Customer-Beziehung gegeben<sup>96</sup>. Jede Phase ist Kunde der vorhergehenden Arbeitsphase und ist für die Abnahme von Umfang und Qualität selbst verantwortlich. In diesen Prozessen gibt es wenige begleitende zentrale Kontrolleinheiten. Die Entwicklungsprojekte werden durch eine starke Outputoptimierung und Gesamtprozessbetrachtung dominiert. Die Notwendigkeit, den Zeitbedarf des Prozesses zu verringern und die Anzahl der Fehlentwicklungen weiter zu senken, führte zu Ansätzen, bei denen eine funktionsübergreifende Zusammenarbeit in den Mittelpunkt rückte.

---

<sup>96</sup> Vgl. Takeuchi 1986, S. 3. Bis in die 1980er Jahre basierten die meisten Entwicklungsprozesse auf den Prozessen der National Aeronautics and Space Administration's der USA, die PPP-Prozesse „Phased Program Planning“.

Um die Prozesse und Ergebnisse besser zu kontrollieren, wurden in den einzelnen Phasen Gates und Phasen-Reviews zwischengeschaltet. Dadurch wurde eine höhere Transparenz der Prozesse erreicht. Vor jedem Neueintritt in eine nachfolgende Phase ist ein Management-Review oder ein Quality-Gate vorgesehen. Dort wird eine Go-, No Go- (KILL) oder Hold On-Entscheidung getroffen. Bis zu diesem definierten Management-Review müssen alle Arbeiten, die in einer Phase durchgeführt werden, abgeschlossen sein.

Bis in die 1980er-Jahre dominierte diese Art von Prozessen. 1986 veröffentlichten TAKEUCHI und NONAKA das erste umfassende Konzept, in dem die strenge sequenzielle Prozessabfolge in Frage gestellt wurde, und sie plädieren für den vernetzten teamorientierten Entwicklungsprozess (Abbildung 2-9).



**Abbildung 2-9: Sequenzielle (A) versus überlappende (B und C) Phasen<sup>97</sup>**

Aufbauend auf diesen Grundgedanken von TAKEUCHI und NONAKA entwickelte COOPER den Stage-Gate-Ansatz und leitete drei Generationen von Entwicklungsprozessen daraus ab. COOPER ging davon aus, dass der Produktentstehungs- und Innovationsprozess als logische Abfolge von Phasen definiert werden kann. Ausgehend von den rein sequenziellen Prozessen entwickelt er die 2. Generation. Der Prozess zeichnete sich durch eine intensivere Einbeziehung der unterstützenden Tätigkeiten (z.B. Marktanalyse, Wettbewerb, Finanzierung, Produktionsmöglichkeiten) in den frühen Phasen aus und hatte dadurch eine höhere Erfolgsquote und eine stärkere Marktorientierung<sup>98</sup>. Ausgehend von den Schwächen der 2. Generation konzipierte Cooper die 3. Generation, in der die festen Gates durch so genannte Fuzzy-Gates wieder aufgehoben wurden. Doch diese 3. Generation blieb von COOPER eine Forderung, es mangelt an Strukturen und Instrumenten, um dies konsequent durchzusetzen.

<sup>97</sup> Vgl. Takeuchi 1986, S. 4.

<sup>98</sup> Vgl. Cooper 1994, S. 5ff.

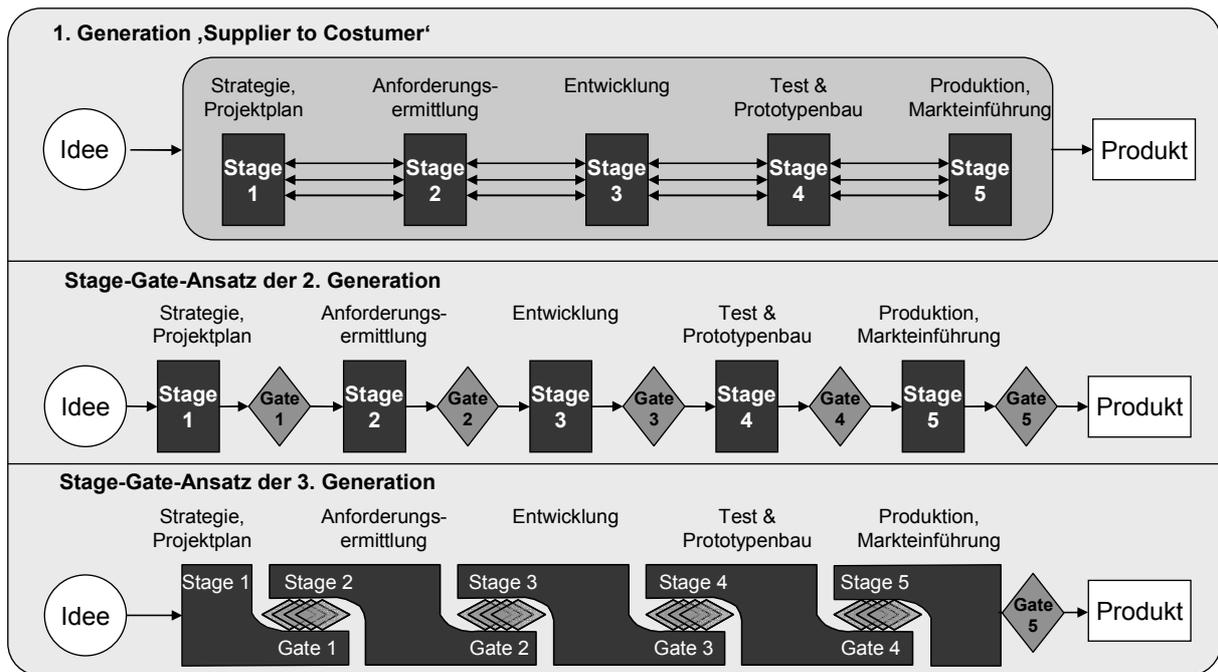


Abbildung 2-10: Die drei Generationen von Entwicklungsprozessen<sup>99</sup>

Die 3. Generation zeichnet sich neben den so genannten Fuzzy-Gates durch einen Prozess aus, der auf den vier Forderungen von COOPER basiert: Die ‚Vier F‘ der 3. Generation<sup>100</sup>:

- **Fluid and Adaptable:** Aktivitäten müssen nicht zwingend mit einer Phase verbunden sein, sondern können auch phasenübergreifend ausgeführt werden oder komplett in einer anderen Phase stattfinden. Langandauernde Aktivitäten werden schon in früheren Phasen begonnen. Insgesamt ergibt sich ein Prozess, in dem die einzelnen Phasen schwimmen und sich überlappen.
- **Fuzzy Gates:** Es gibt keine absoluten Zustände in der Entscheidungsphase. Vielmehr gibt es verschiedene Stufen. Dies bedeutet, dass der Prozess unter bestimmten Bedingungen fortgesetzt werden kann, sollten einige Aufgaben noch nicht zur Zufriedenheit erledigt worden sein. Dies gilt jedoch nicht für alle Aufgaben, sondern nur für bestimmte, die nicht kritisch für die Projektförderung sind.
- **Focused:** Jede Entscheidung wird unter Berücksichtigung des gesamten Produktentwicklungsportfolios getroffen. Die begrenzten Ressourcen müssen sinnvoll auf die vorhandenen Projekte verteilt werden. Hierbei wird immer die gesamte Innovationstätigkeit eines Unternehmens im Auge behalten.
- **Flexible:** Flexible steht für die Anpassung des Innovationsprozesses an die Dynamik der Rahmenbedingungen. Er ist kein starres Gebilde mehr, sondern

<sup>99</sup> Vgl. Cooper 1994, S. 2f., Darstellung aus Meboldt 2002, S. 10.

<sup>100</sup> Vgl. Cooper 1994, S. 9.

verändert sich ständig. Das Entwicklungsteam entscheidet, welche Phasen und Prozesse zur Entwicklung eines speziellen Produkts benötigt werden. So muss nicht bei jedem Projekt jede Phase durchlaufen werden.

COOPER schlägt also ein intelligentes System vor, das sich den Gegebenheiten anpasst. Die Entscheidungsfindung in den Gates wird durch die unscharfen Entscheidungsmöglichkeiten hierbei ebenfalls wesentlich komplexer. Die Entwicklung der Innovationsprozesse zeigt deutlich, dass die heutigen und zukünftigen Modelle mehr und mehr auf einer Vernetzung und Integration aller Bereiche in den Innovationsprozessen aufbauen. Dem Vorgehen dieser modernen Prozesse liegt kein mechanistisches Modell mehr zugrunde, vielmehr beruht es auf einem strategischen Denkprozess, der in einem personal- oder organisationsgeprägten Managementansatz zum Ausdruck kommt. Die modernen komplexen und vernetzten Produktentwicklungsprozesse erfordern ein hohes Maß an Koordination, Kontrolle und transparenten Entscheidungsprozessen. Diese Management-Ansätze sind ohne eine detaillierte Integration der Technik des Produkts nicht mehr zu realisieren.

#### **2.2.4.2 Entwicklungsansätze**

Wie schon in Kapitel 2.2.1 „Die Entwicklung der Konstruktionsmethodik“ dargelegt wurde, besitzen die aus der klassischen Konstruktion entstandenen Ansätze große Bedeutung für die heutigen ganzheitlichen Produktentstehungsprozesse. Doch liegt in diesen Ansätzen, die aus den ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen entstanden sind, eine hohe methodische Orientierung. Kern dieser methodischen Ansätze ist die Unterstützung des Konstrukteurs, des Entwicklers und weiterer Akteure. Die Entwicklung selbst versteht sich als unternehmerischer Prozess, welcher Marktanforderungen aufgreift, ein Entwicklungsergebnis hervorbringt, und sie in ein Produkt umsetzt. *„Die Produktentwicklung umfasst vor allem die Aufgabe der Definition und Realisierung technischer Produktspezifikationen, insbesondere Konzept- und Ideenentwicklung, Vorentwicklung, Grobentwurf, Detailentwicklung und Konstruktion, Versuchsplanung, bis hin zum Produktionsbeginn.“*<sup>101</sup>

#### **VDI 2220**

Die VDI-Richtlinie 2220 beschreibt den Schritt der Produktplanung in Form einer systematischen Suche und Auswahl zukunftssträchtiger Produktideen und deren weiteren Verfolgung auf Basis der Unternehmensziele.

---

<sup>101</sup> Definition von Lindemann, zitiert nach Weiß 2006, S. 8.

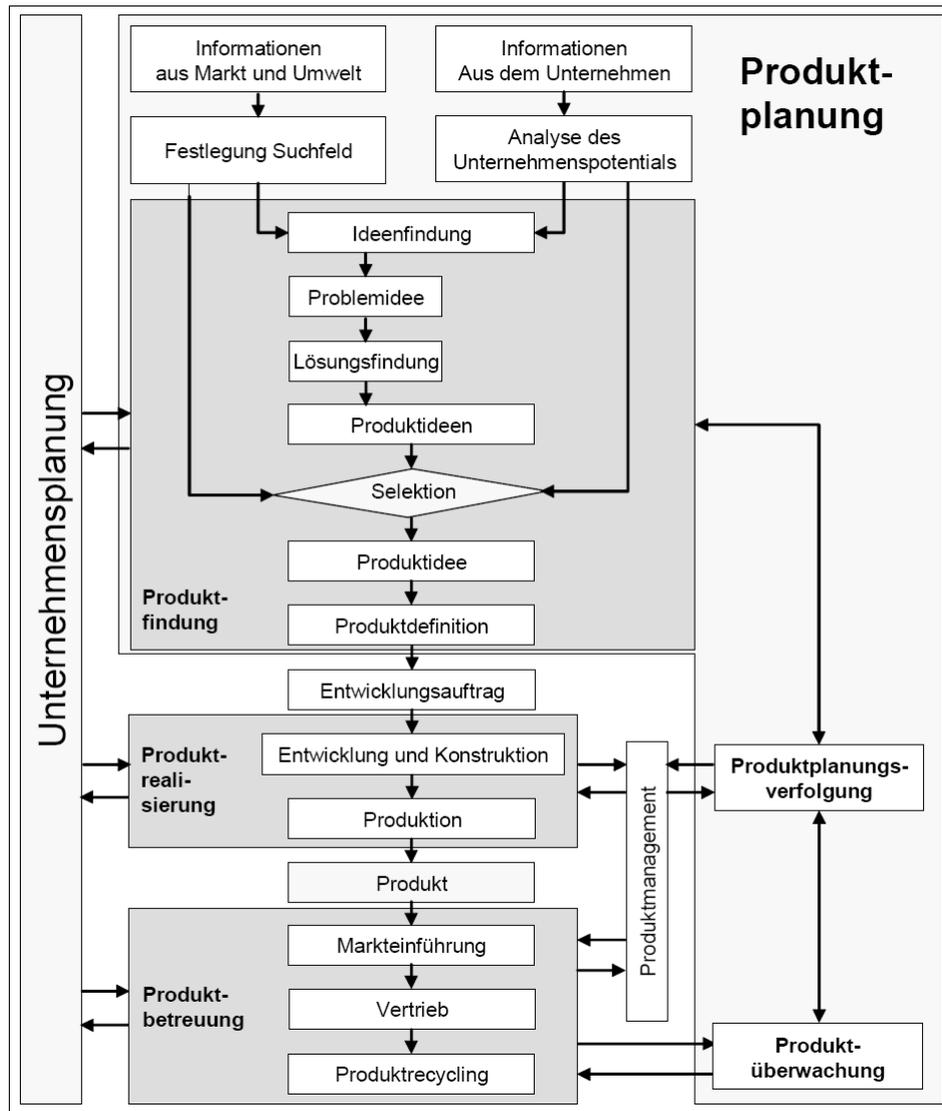


Abbildung 2-11: Produktplanung nach VDI 2220<sup>102</sup>

Der Ablaufplan der Produktplanung ist in die Schritte Produktfindung, -planungsverfolgung und -überwachung gegliedert. Der Schwerpunkt der VDI 2220 liegt in der Methodenunterstützung. Mögliche interne und externe Informationsquellen werden berücksichtigt, wobei die Einbeziehung von Unschärfe und Dynamik der Informationen unzureichend ist. Besonders hervorzuheben ist die vorgesehene Produktplanungsverfolgung, die durch Sammlung und Rückführung von Informationen während der Realisierung Möglichkeiten zur Optimierung des Prozesses vorsieht, doch werden konkrete Hinweise zur Aufbereitung von Informationen nicht gegeben. Somit kann eine unterstützende Wirkung hinsichtlich des Gesamtprozesses nicht sichergestellt werden.<sup>103</sup>

<sup>102</sup> VDI 2220 1980, S. 3.

<sup>103</sup> Vgl. Seidel 2005, S. 23.

## VDI 2221

Die VDI Richtlinie 2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ liegt seit 1986 im Weißdruck vor. Sie sieht sich als wertvolles Instrument für den Konstrukteur, das ihn im Entwicklungsprozess unterstützt. Die Richtlinie wirkt in der Struktur und Anwendung sehr starr, obwohl sie selbst explizit den Anspruch erhebt, dies nicht zu sein.<sup>104</sup> Doch gehen die Rückwirkungen und Iterationsschritte, wie sie in der Praxis stark verbreitet sind, in der Darstellung komplett unter, siehe Abbildung 2-12.

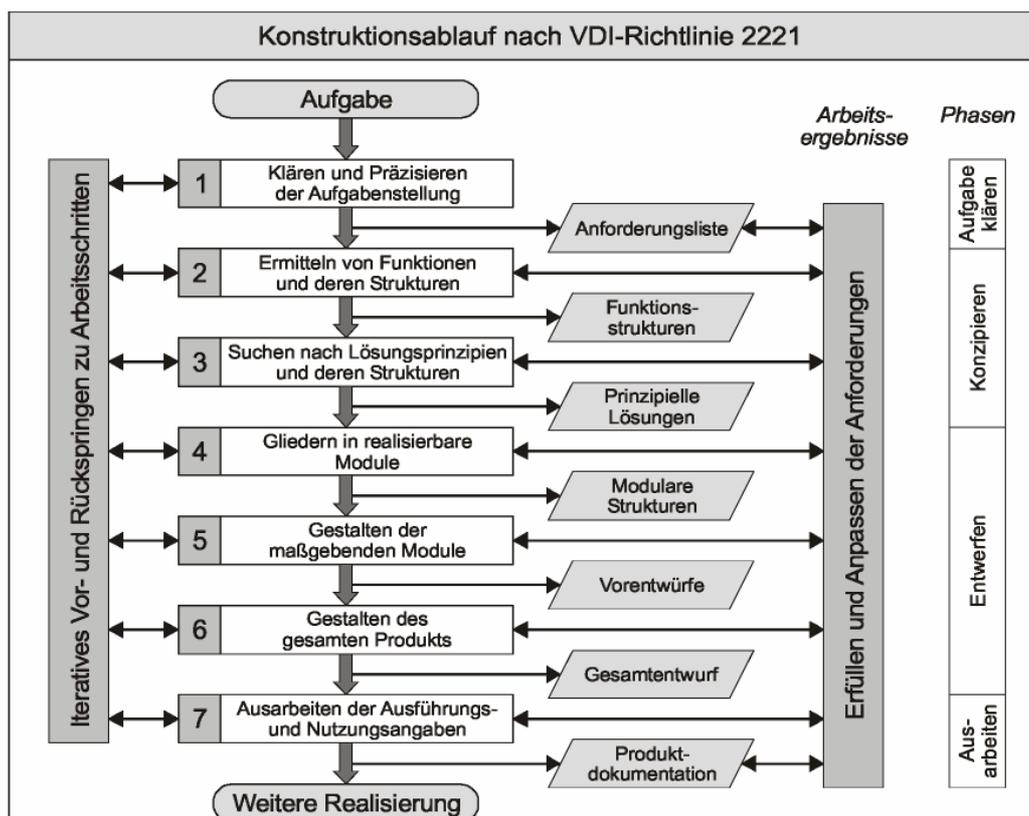


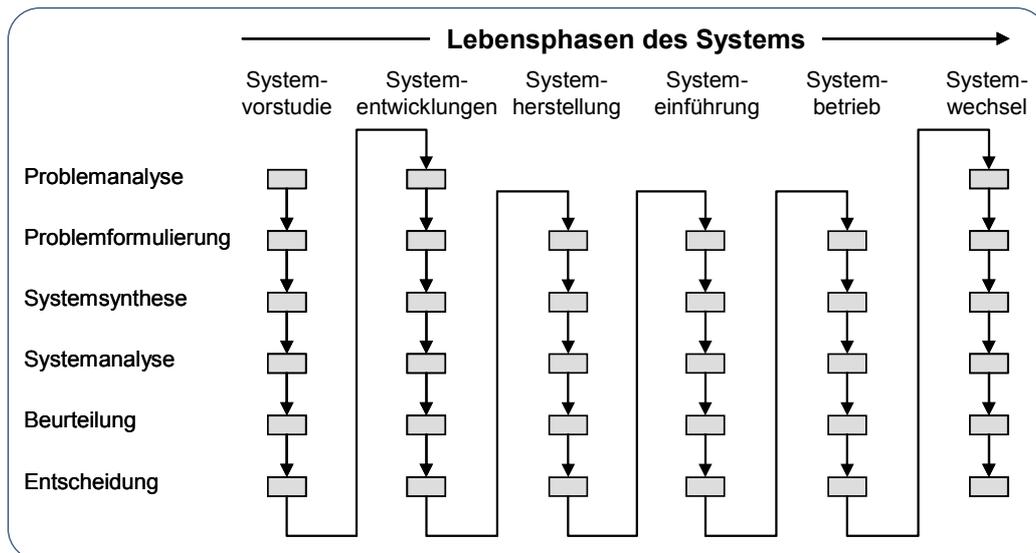
Abbildung 2-12: Vorgehen beim Entwickeln technischer Produkte<sup>105</sup>

Eine der entscheidenden Eigenschaften der VDI 2221 ist die Integration eines Problemlösungszyklus' in den Entwicklungsprozess. Dies geht insbesondere auf die Arbeiten der Autoren der VDI 2221 zurück<sup>106</sup>. Sie stützen sich bei diesem Vorgehen auf die Erkenntnisse der Kybernetik, nach der eine Aufgliederung des Problemlösungsprozesses in parallel laufende Lösungswege eine wirksame und wirtschaftliche Vorgehensweise zur Lösung komplexer Probleme ist. Doch ist der Problemlösungsprozess stark sequenziell und es gibt keine Iterationsschleifen.

<sup>104</sup> Vgl. VDI 2221 1993, S. 11.

<sup>105</sup> Ebda., S. 28.

<sup>106</sup> Blass, Franke, Daenzer, Doerner und Lindemann, siehe VDI 2221.



**Abbildung 2-13: Systemtechnisches Vorgehensmodell aus der VDI 2221<sup>107</sup>**

Die Richtlinie besitzt eine umfangreiche Methodensammlung mit Literaturverweisen, auf die Entwickler zurückgreifen können. Doch seit ihrer Veröffentlichung gibt es aus Wissenschaft und Praxis immer wieder Einwände, die den Nutzen dieser Richtlinie in Frage stellen. ALBERS kritisiert im Besonderen den streng sequenziellen Problemlösungsprozess, der über die Lebensphasen gelegt ist.<sup>108</sup> Auch BIRKHOFFER sieht die VDI-Richtlinie 2221 kritisch. WEIß fasst die wesentlichen Kritikpunkte zusammen:

- fehlende klare Nachvollziehbarkeit ganzer Entwicklungsprojekte, da das betont flexible Durchlaufen der Arbeitsschritte nicht gegeben ist.
- Keine Präzisierung der angesprochenen Iterationsthematik und Abgrenzung zu Rekursionen.
- Zu abstrakt-methodische Vertiefung der einzelnen Arbeitsschritte.
- Keine explizite Trennung von Prozessen und Ergebnis.
- Die Beherrschung genutzter, generierter Inhalte und ihrer Verknüpfung werden nicht hinreichend dargelegt.<sup>109</sup>

BIRKHOFFER kritisiert insbesondere, dass in realen Entwicklungsprozessen der grundlegende Ablauf eingehalten wird, doch treten dennoch völlig andere Ausprägungen in der Realität in Erscheinung. Eine Vielzahl von Determinanten, wie Aufgabe, Produkt, Unternehmen oder Fertigungsart, beeinflussen letztlich u.a. den Grad der Vernetzung und der Verschachtelung sowie den Iterationsprozess.<sup>110</sup>

<sup>107</sup> Ebda., S. 3.

<sup>108</sup> Vgl. Albers 2006a.

<sup>109</sup> Vgl. Weiß 2006, S. 10.

<sup>110</sup> Vgl. Birkhofer, nach Weiß 2006, S. 11.

### HUBKA und EDER

Auch HUBKA und EDER erkennen, dass Entwicklungsprozesse niemals wirklich in den vorausgeplanten Sequenzen ablaufen. Sie zeigen auf, dass es typische und signifikante Unterscheidungen in verschiedenen Produktentwicklungsprozessen gibt. Sie kritisieren die bestehenden Vorgehensmodelle mit ihrem Anspruch der Allgemeingültigkeit. In der Praxis dienen die bestehenden Vorgehensmodelle nur als Vorbild zur Ausarbeitung eigener Handlungspläne, sie müssen immer konkretisiert und an die spezifischen Abläufe angepasst werden. Dieses Anpassen und Konkretisieren des idealisierten, allgemeingültigen Vorgehens erfordert aber umfangreiche methodische Kenntnisse, die in der Praxis selten sind. HUBKA und EDER schlagen hierzu ein situatives Vorgehensmodell vor, das dem Entwickler Hinweise und Ratschläge zur Gestaltung des Vorgehens gibt und hilft, die zentrale Leitfrage, was (als Nächstes) zu tun sei, zu beantworten.<sup>111</sup>

Sie vergleichen hierzu den Ablauf einer Neuproduktentwicklung und einer Anpassungsentwicklung (Abbildung 2-15). Dazu tragen HUBKA und EDER in einem zeitlichen Template die geplanten Entwicklungsaktivitäten ein, wobei sie zur Planung in dem Diagramm Iterationsschleifen und Sprünge zu anderen Entwicklungsphasen ergänzen. HUBKA und EDER zeigen dies exemplarisch an zwei Typen von Entwicklungsprozessen auf. Dies ist der erste Versuch, die wirklichen und real auftretenden Iterationsschleifen der Produktentwicklung systematisch abzubilden.

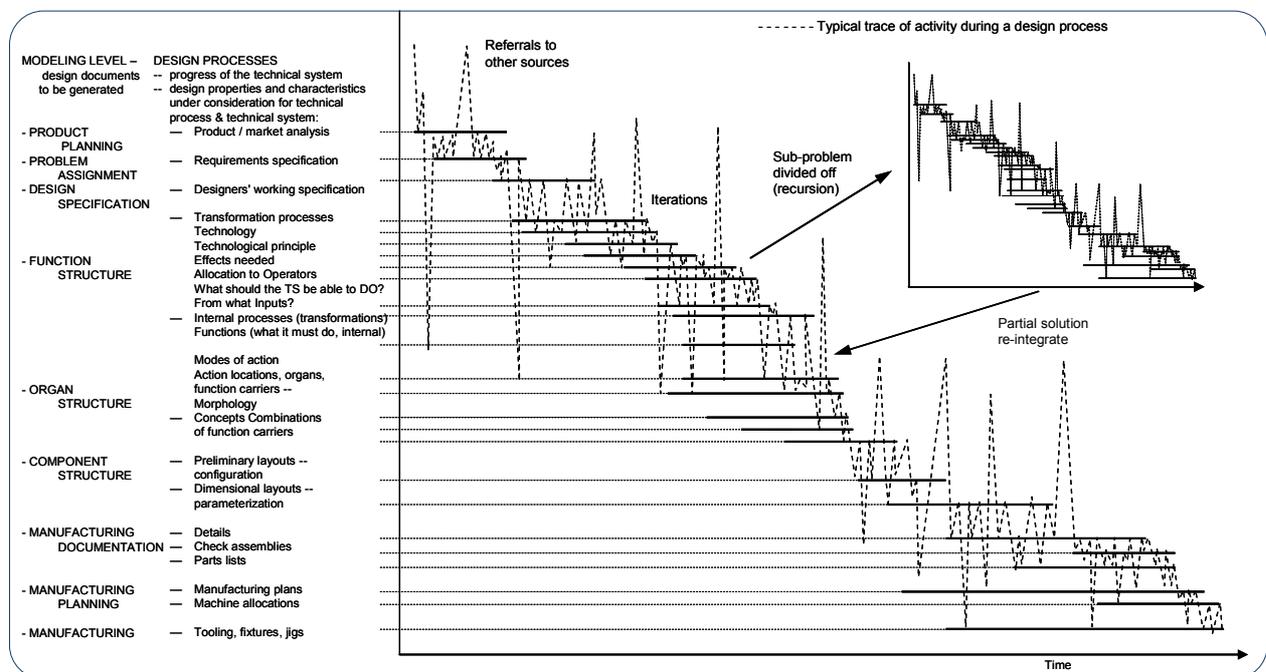


Abbildung 2-14: Anpassungsentwicklungsablauf von HUBKA und EDER

<sup>111</sup> Vgl. Hubka 1992, S. 121f.

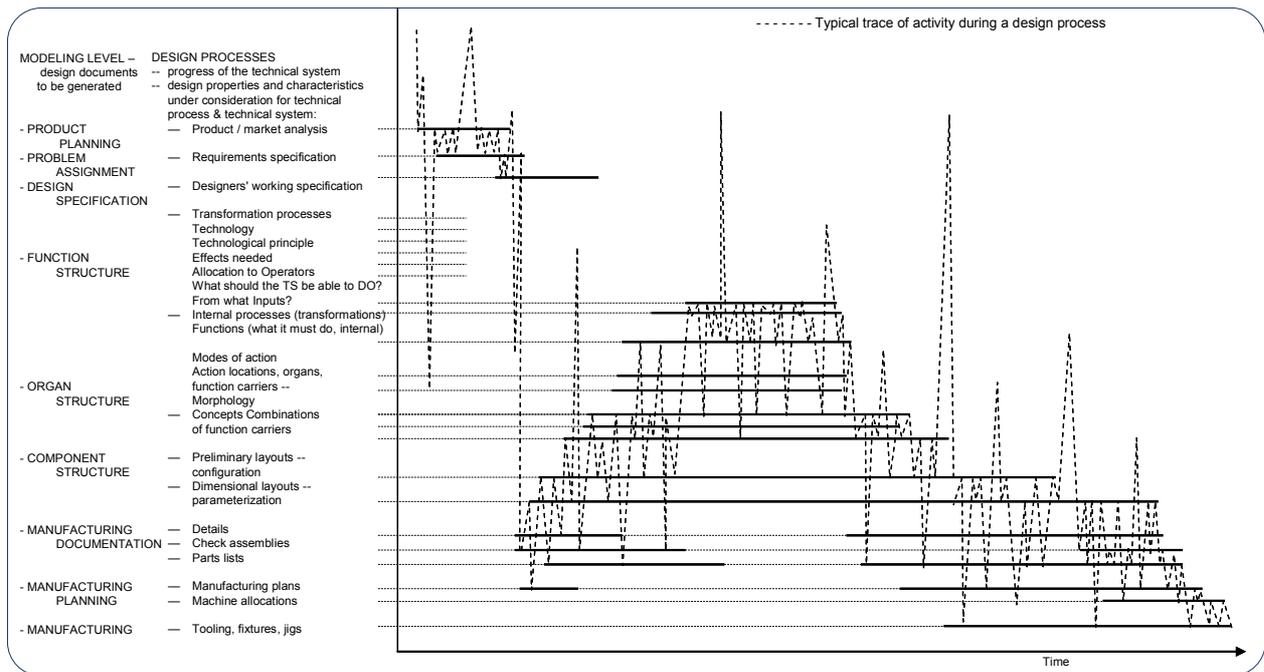


Abbildung 2-15: Neukonstruktionsablauf von HUBKA und EDER<sup>112</sup>

## Die Integrierte Produktentwicklung

EHRENSPIEL baut auf den VDI-Richtlinien auf. Durch die „Integrierte Produktentwicklung“ wurde der bisherige Betrachtungsbereich der Konstruktionsmethodik stark in Richtung ganzheitlicher Unternehmensprozesse gelenkt. Bei der Integrierten Produktentwicklung handelt es sich nicht mehr um eine abgegrenzte, streng definierte Methodik, sondern um eine systematische Zusammenstellung von Methoden und Arbeitstechniken aus mehreren Fachdisziplinen. EHRENSPIEL schafft einen interdisziplinären Produktentwicklungsprozess, der den Anforderungen moderner industrieller Prozesse besser gerecht wird.

Durch diesen integrativen Ansatz erweitert EHRENSPIEL die Verbindung von Problemlösungsmethoden und teamorientierten Entwicklungsprozessen. Die logische Struktur eines Produktentwicklungsprozesses ergibt sich nach wie vor aus der Makro-Logik eines Vorgehensplans und der Mikro-Logik nachgeordneter Vorgehenszyklen. Das Lösen konkreter Problemstellungen wird darüber hinaus durch Strategien und Einzelmethode aus der klassischen Konstruktionsmethodik unterstützt. Erst durch diesen integrierten Ansatz wurde es möglich, Konzepte wie Simultaneous Engineering in der Produktentwicklung umfassend zu realisieren.

Im Zusammenhang mit dieser Arbeit bleibt festzuhalten, dass sich die Integrierte Produktentwicklung bei der Lösung konkreter technischer Problemstellungen eng an der klassischen Konstruktionsmethodik orientiert.

<sup>112</sup> Hubka 1996, S. 166.

## Produktentwicklung und methodische Unterstützung

Der Gedanke der methodischen Unterstützung hat in den entwicklungsorientierten Ansätzen eine hohe Bedeutung. Aufbauend auf den methodischen Ideen der VDI 2221 gab es in den 1990er-Jahren eine Vielzahl von forschungs- und industrienahen Projekten zur methodischen Prozessbeschreibung und -unterstützung.<sup>113</sup> Doch die wenigsten haben sich in der praktischen Anwendung etabliert. Der Grundgedanke war, dem Entwickler möglichst umfassende Methodensammlungen in anwendungsgerechter Form bereitzustellen, auf die er problemorientiert zugreifen kann. Doch die meisten dieser Portale werden heutzutage nur noch zu Lehr- und Ausbildungszwecken verwendet. WEIß gibt in seiner Arbeit einen umfangreichen Überblick über die Portale, die in den 1990er Jahren entstanden sind. Die Schwerpunkte variieren und reichen von isoliert methodischen Ansätzen über didaktische bis hin zu integrativen Ansätzen.<sup>114</sup>

Im Ganzen weisen die methodischen Prozesse im realen Einsatz in der Produktentstehung große Mängel auf. WEIß gibt in seiner Arbeit eine detaillierte Analyse dieser Ansätze und fasst Ihre Schwächen zusammen:

- unzureichende Unterstützung der frühen Phasen
- unzureichende Berücksichtigung methodischer Sichtweisen
- Dominanz starrer, statischer Konstrukte
- unzureichende Beachtung von Inhalt und Prozess
- Grenzen in der Beherrschbarkeit komplexer Strukturen
- geringe flexible, kontextabhängige Navigation.

### 2.2.4.3 Front-End-Ansätze

In den letzten Jahren ist ein wachsendes Interesse an den frühen Phasen der Produktentwicklung zu beobachten<sup>115</sup>. Die große Bedeutung kommt ihnen zu, da hier die Ideen für den zukünftigen Markterfolg geboren wurden. Hier muss permanent eine große Anzahl an Ideen vorgehalten werden, um das zukünftige Produktportfolio konkurrenzfähig zu halten. In dieser Phase werden Produktideen erzeugt, Produktkonzepte erarbeitet, ausgewählt und verfeinert. Aufbauend auf diesen

---

<sup>113</sup> Die Wichtigsten sind hier: LINDEMANN CiDaD: <http://cidad.pe.mw.tu-muenchen.de/>, FRANKE GINA Methodos: <http://www.gina-net.de/>, KRAUSE iVIP: <http://www.ivip.de/>, SPATH und ALBERS MAP-Tool: <http://www.uni-karlsruhe.de/~map>, BIRKHOFFER Pinngate: <http://www.pinngate.de>, TheKey: Webseite nicht mehr aktiv.

<sup>114</sup> Vgl. Weiß 2006, S. 37.

<sup>115</sup> Vgl. Kahn 2003, S. 193.

Ergebnissen werden Entwicklungsprojekte definiert. Diese Aktivitäten erfordern Kreativität, erfolgen unter hoher Unsicherheit.

Die frühen Phasen der Produktentwicklung werden daher häufig als „fuzzy“, also als unscharf und verschwommen, charakterisiert, daher auch der Begriff „Fuzzy-Front-End“<sup>116</sup>. Ein Konzept, das die frühe Phase verlässt, wird durch eine abschließende Go-KILL-Entscheidung getroffen und durch ein so genanntes „Money-Gate“, in dem das Entwicklungsbudget freigegeben wird, in die Produktentwicklung überführt.

Die frühe Phase der Produktentwicklung ist die Brücke zwischen der strategischen Planung des Unternehmens, den Wachstumszielen, Zielmärkten, Technologien und der konkreten Produktentwicklung.<sup>117</sup> Gleichzeitig werden in den frühen Phasen signifikante Entscheidungen mit hoher Tragweite getroffen, die die Qualität, die Kosten und die Entwicklungszeit von Neuproduktentwicklungsprojekten maßgeblich beeinflussen.

Die frühen Phasen des Innovationsprozesses gehören theoretisch und praktisch zu den wenig durchdrungenen Problemstellungen des Innovationsmanagements. In den letzten Jahren ist die Anzahl der Publikationen jedoch stark angestiegen, wodurch die zunehmende Aufmerksamkeit der Forschung widerspiegelt wird. Auch in der Praxis rücken die frühen Innovationsphasen mehr und mehr in den Fokus des Interesses.<sup>118</sup> Allerdings bleibt die bisherige Forschung zumeist die Antwort auf die Frage schuldig, welche Front-End-Aktivitäten, Verfahren und Instrumente ein Projekt erfolgreich machen und inwiefern das Front-End aufgrund seiner Charakteristika – allen voran einer hohen Unsicherheit – durch andere Methoden und Instrumente gestaltet werden muss.

Viele Autoren halten die frühe Phase zudem für nicht planbar.<sup>119</sup> Praktiker sehen sich damit vor dem Problem, einen strategisch relevanten, erfolgskritischen Prozess zu gestalten, der aus wissenschaftlicher Sicht für nicht planbar gehalten wird. Die Folge ist, dass es an konkreten Instrumenten und Methoden für das Management der frühen Phase mangelt.<sup>120</sup>

Aus Sicht von ALBERS werden die frühen Phasen der Produktentwicklung zu theoretisch und umsetzungsfern verstanden. Für heutige Innovationen besitzt die Validierungsphase eine zentrale Bedeutung, doch wird die Validierung bis heute

---

<sup>116</sup> Herstatt 2006, S. 8.

<sup>117</sup> Vgl. Jetter 2005, S. 3.

<sup>118</sup> Vgl. Verworn 2005, S. 5.

<sup>119</sup> Vgl. Herstatt 2006, S. 11.

<sup>120</sup> Vgl. Jetter 2005, S. 4.

kaum als Element der frühen Phase angesehen. Das klassische Verständnis der frühen Phase reicht heute nicht mehr aus; denn nicht die Definition möglicher innovativer Eigenschaften macht eine Innovation aus, sondern das Beherrschen dieser Eigenschaften in einem konkreten System. Dies wird erst in der Validierung sichergestellt, sodass ALBERS eine Erweiterung der frühen Phase fordert, die die Validierung miteinschließt.<sup>121</sup>

### **Discovery-Stage von Cooper**

Der in der Praxis am weitesten verbreitete Ansatz ist der erweiterte Stage-Gate-Prozess. COOPER, EDGETT und KLEINSCHMIDT schalten dem klassischen Stage-Gate-Entwicklungsprozess eine „Discovery Stage“ (Abbildung 2-16) als sequenziellen Prozess der frühen Phase vor.<sup>122</sup> Dieser Front-End-Prozess besitzt noch drei Gates und zwei Stages der Technologieentwicklung. Zusätzlich gibt es noch eine zentrale Ideensammlung zwischen Discovery Stage und dem eigentlichen Stage-Gate-Prozess. Gescheiterte Ideen werden gespeichert und es gibt ein Feedback an den Ideengeber. Hierdurch wird ein gewisses Ideenmanagement in den Prozess mit aufgenommen.

Die separat vorgeschalteten Front-End-Prozesse sind am weitesten verbreitet; auch KHURANA und ROSENTHAL fokussieren in ihrem Ansatz ganz gezielt ein separates Front-End.<sup>123</sup> Die separaten Prozesse sind produkt- und branchenunabhängig und können beliebigen PEP vorgeschaltet werden. Besonders großen Wert wird auf Visionen und Strategie gelegt, doch fehlen in den meisten Ansätzen, wie auch bei KHURANA und ROSENTHAL, konkrete Elemente wie Wissens-, Technologie- und Ideenmanagement.

---

<sup>121</sup> Albers 2008.

<sup>122</sup> Vgl. Cooper 2002, S. 16-28.

<sup>123</sup> Vgl. Khurana 1997, S. 104ff.

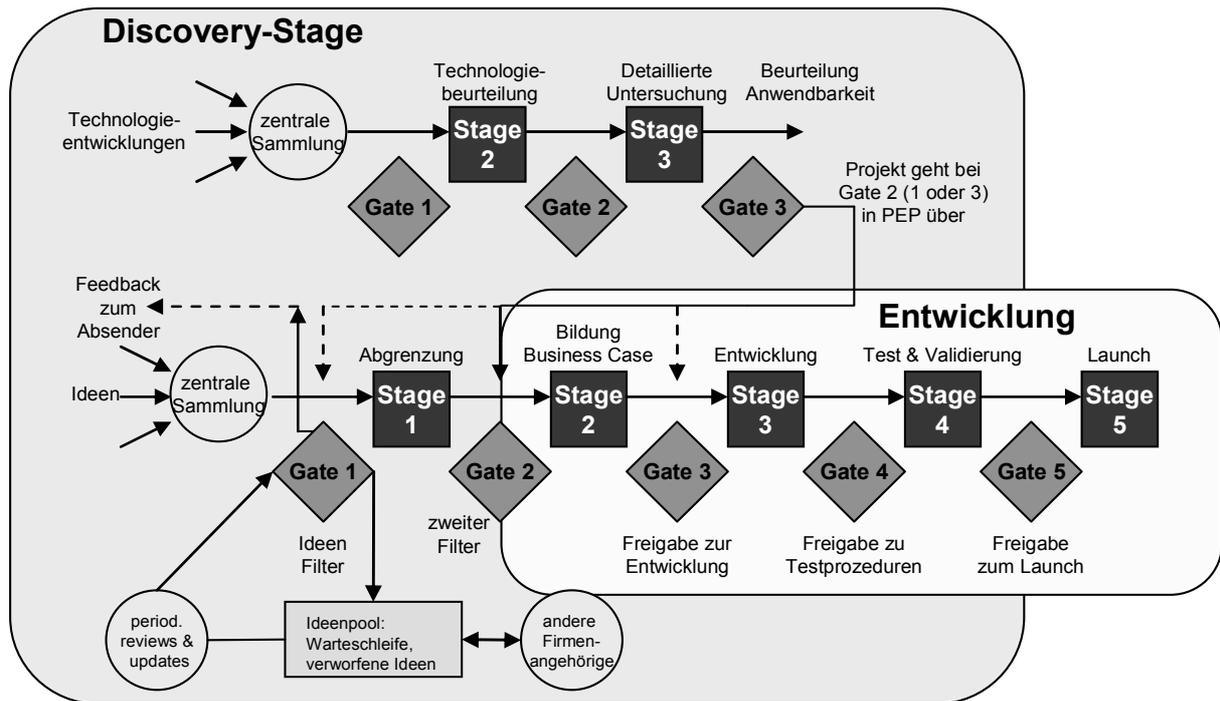


Abbildung 2-16: Stage-Gate Process with Discovery-Stage<sup>124</sup>

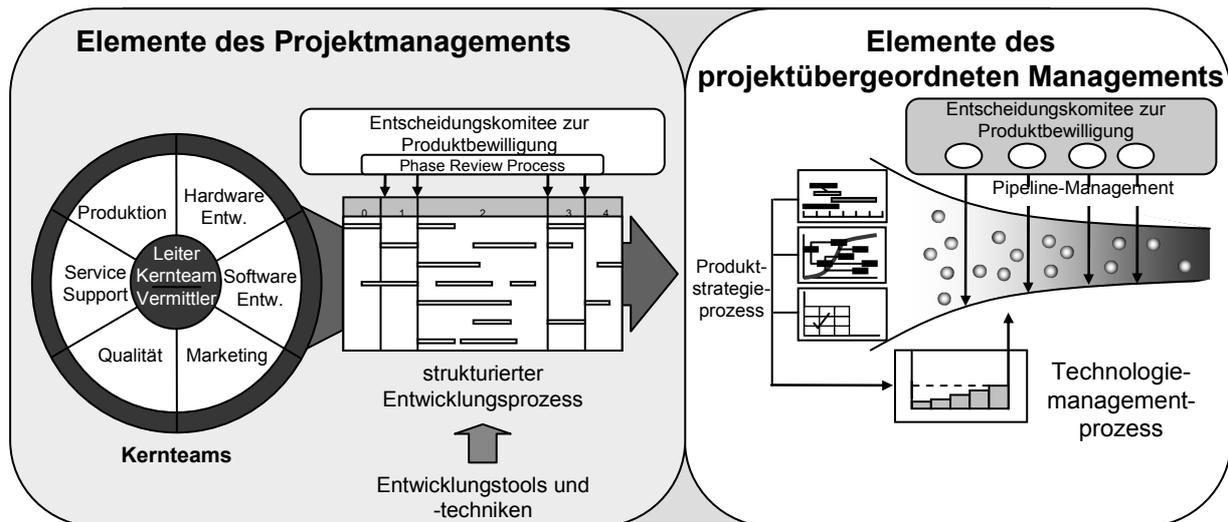
### Product and Cycle-Time Excellence PACE

Der PACE-Ansatz von McGRATH ist ein komplettes Set an Rahmenbedingungen und Vorschriften für den gesamten Produktentstehungsprozess.<sup>125</sup> Die Produktentwicklung wird darin in sieben Elemente unterteilt, die mit separaten Vorschriften und Richtlinien beschrieben werden. Die sieben Elemente sind 1. Entscheidungsfindung, 2. Organisation des Projektteams, 3. Struktur der Entwicklungsaktivität, 4. Entwicklungstools und -techniken, 5. Produktstrategie, 6. Technologiemanagement und 7. Pipelinemanagement. Zusätzlich betrachtet PACE zwei unterschiedliche Managementdimensionen: das Projektmanagement und das projektübergeordnete Management.<sup>126</sup>

<sup>124</sup> Vgl. Vgl. Cooper 2002, S. 16-28.

<sup>125</sup> Vgl. McGrath 1996 und McGrath 2004.

<sup>126</sup> Vgl. Gilmore 1995, S. 78ff.

Abbildung 2-17: PACE für die frühe Phase<sup>127</sup>

PACE baut auf einer sehr genau vorgeschriebenen Projektteamorganisation auf. Für jedes Projekt werden interdisziplinäre Kernteams aus verschiedenen Unternehmensbereichen wie z.B. aus Entwicklung, Produktion, Marketing und Service zusammengestellt. Die Mitglieder dieses Kernteams sind wiederum Schnittstellen zu anderen Teams. Wichtige Projektentscheidungen werden nur durch das übergeordnete Management getroffen. Das so genannte Pipelinemanagement von PACE gibt ein Gerüst für die Verknüpfung verschiedener Managementbereiche vor. Diese sind: Topmanagement, Produktmanagement und Funktionsbereiche. Kritische Prozesse und Funktionen sind darin durch die Hauptaktivitäten „strategische Abwägung“, „Befüllung der Pipeline mit Projekten bzw. Entscheidungen“ und „Abgleich funktionaler Dienstleistungen“ verknüpft.<sup>128</sup>

PACE ist einer der umfassendsten Ansätze, denn er integriert verschiedene Disziplinen wie Organisationsstruktur, Entwicklungsprozess und Methodik. PACE setzt den Schwerpunkt auf methodische und organisatorische Strukturierung mit klarer Einbindung des Projektmanagements und des Boards. Vordefinierte detaillierte Checklisten und Entscheidungshilfen wie bei Stage-Gate-Prozessen sind nicht umgesetzt, da der Prozess flexibel bleiben soll. In dieser umfassenden PACE-Philosophie finden sich ähnliche Elemente wie in den teambasierten Ansätzen von ALBERS wieder.<sup>129</sup> Diese Verknüpfung von Elementen des Projektmanagements und des übergeordneten Managements besitzen auch starken Einfluss auf das iPeM. Entscheidend ist jedoch, dass der PACE-Ansatz die Kernproblematik auf der Arbeitsebene der Entwicklung nicht berücksichtigt, da er sich als Topmanagement-

<sup>127</sup> Vgl. McGrath 1996, S. 17ff.

<sup>128</sup> Vgl. McGrath 1996, McGrath 2004.

<sup>129</sup> Albers 1993.

Instrument der Unternehmensführung und als Projektmanagement versteht, aber nicht die Entwickler selbst einbindet. Der iPeM-Ansatz ergänzt die Ebenen noch durch eine Aktivitätenebene, in der die Inhalte auf der Entwicklungsebene abgebildet werden. Somit stellt das iPeM gezielt auch ein Instrument für Entwickler dar.<sup>130</sup>

### Marktorientierte Front-End-Ansätze

Neben diesen Ansätzen, die sich sehr stark am Projektmanagement orientieren, gibt es eine Vielzahl von Ansätzen, die in der frühen Phase den Kunden und den Markt ins Zentrum rücken. Der „Value Proposition Process“ von HUGHES ist ein Innovationsprozess, der das kontinuierliche Lernen, die Erhöhung der Informationssicherheit und den Fokus auf Wertsteigerungen für den Kunden in den Mittelpunkt stellt. Neben klassischen Phase-Review-Elementen stehen vier Leitfragen im Zentrum des Prozesses. Hierdurch werden systematisch der Marktwert, der Geschäftswert und die Einschätzung eigener Lösungen und Planungen im Vergleich zum Wettbewerb hinterfragt. Durch das mehrfache Durchlaufen der Schleifen findet eine ständige Kontrolle dieser Parameter statt, die die Reaktionsfähigkeit auf sich ändernde Bedingungen erhöht.

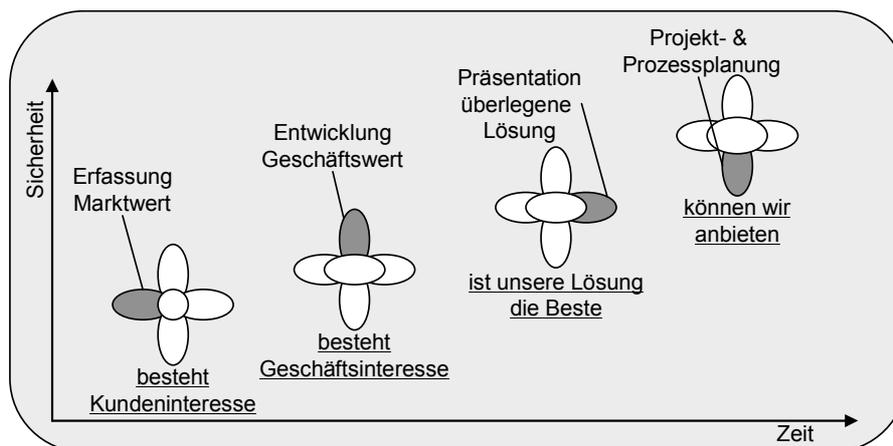


Abbildung 2-18: Value Proposition Process<sup>131</sup>

### Front-End-Innovation als Kreisprozess

KOEN beschreibt seinen „Front End of Innovation“ als Kreisprozess, der aus fünf verschiedenen Kreissegmenten besteht. Die Segmente bzw. Teilschritte müssen bearbeitet werden, jedoch nicht in einer vordefinierten Reihenfolge:

- **Chancenidentifikation:** Identifikation von technischen Chancen oder Geschäftsmöglichkeiten. Dabei können kleinere Veränderungen bis hin zu Durchbruchmöglichkeiten betrachtet werden.

<sup>130</sup> Vgl. Albers 2006a.

<sup>131</sup> Vgl. Hughes 1996, S. 34.

- **Chancenanalyse:** Marktstudien, Fokusgruppen oder wissenschaftliche Experimente können für die erste Analyse eingesetzt werden. Harte, quantifizierbare Messungen sind nicht angebracht.
- **Ideengeneration:** Hier wird aus einer ersten Chance eine konkrete Idee entwickelt, wobei etliche Iterationen in Zusammenarbeit mit Kunden und verschiedenen Fachbereichen möglich sind.
- **Ideenauswahl:** Eine individuelle Auswahl, aber auch eine formalisierte oder Portfolio-gestützte Auswahl ist möglich. Eine finanzielle Einschätzung ist aufgrund der hohen Unsicherheit kaum möglich.
- **Konzept- und Technologieentwicklung:** Hier werden das Geschäftsmodell („Business Case“) entwickelt und erste Annahmen über Kundenbedarf und Technologiebewertung durchgeführt. Diese Stufe wird häufig auch als Beginn des Produktentwicklungsprozesses angesehen.<sup>132</sup>

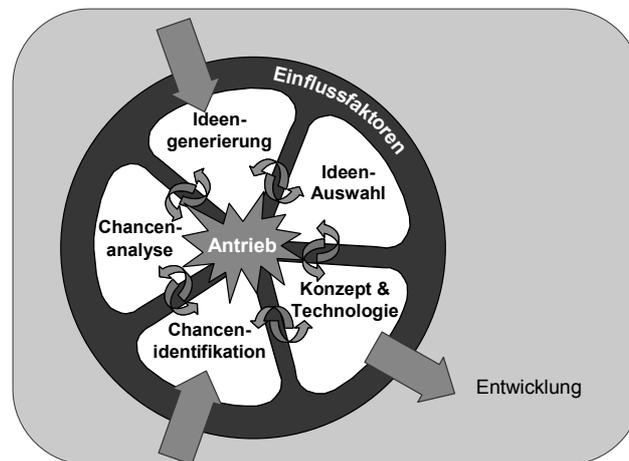


Abbildung 2-19: Fuzzy-Front-End von KOEN<sup>133</sup>

KOEN zeigt in seinen Untersuchungen, dass nicht die Ideengenerierung der kritische Schritt ist, vielmehr sind die Chancenidentifikation und die Realisierung der Idee in einem Konzept entscheidend. Dieses Verständnis deckt sich mit dem der frühen Phase von ALBERS, der der Validierung im Sinne von KOEN als Schritt der Realisierung der Idee die höchste Bedeutung zumisst. Dieses Verständnis der frühen Phase wurde der Entwicklung des iPeM zugrunde gelegt.

### Zyklusorientierter Ansatz von Gausemeier

Im Gegensatz zu den vorgenannten, sequenziell angelegten Modellen teilt GAUSEMEIER den Innovationsprozess in drei sich überlappende Zyklen ein. Hierbei ist

<sup>132</sup> Vgl. Koen 2001, S. 50f.

<sup>133</sup> Vgl. Koen 2002, S. 8.

der erste Zyklus „Von den Erfolgspotenzialen zur erfolgversprechenden Produktkonzeption“ das Front-End.<sup>134</sup>

**Erster Zyklus:** Dieser Zyklus charakterisiert das Vorgehen vom Finden der Erfolgspotenziale der Zukunft bis zur erfolgversprechenden Produktkonzeption – der sog. „Prinzipiellen Lösung“. Er umfasst die Aufgabenbereiche Potenzialfindung, Produktfindung, Geschäftsplanung und Produktkonzipierung.

**Zweiter Zyklus:** Dieser Zyklus entspricht der eigentlichen Produktentwicklung bzw. – aus Sicht des Maschinenbaus – der Konstruktion. Wesentliche Aufgabe ist hierbei die Verfeinerung der domänenübergreifenden Prinzipillösung durch die Experten der Domänen Mechanik, Steuerungs- und Regelungstechnik, Elektronik und Softwaretechnik, die in ihren Domänen den weiteren Entwurf und die Ausarbeitung vornehmen.

**Dritter Zyklus:** Der dritte Zyklus beschreibt den Ablauf von der Produktkonzeption bis hin zum erfolgreichen Markteintritt. Fokus liegt hier auf der Planung des Herstellprozesses bis hin zum Serienanlauf.

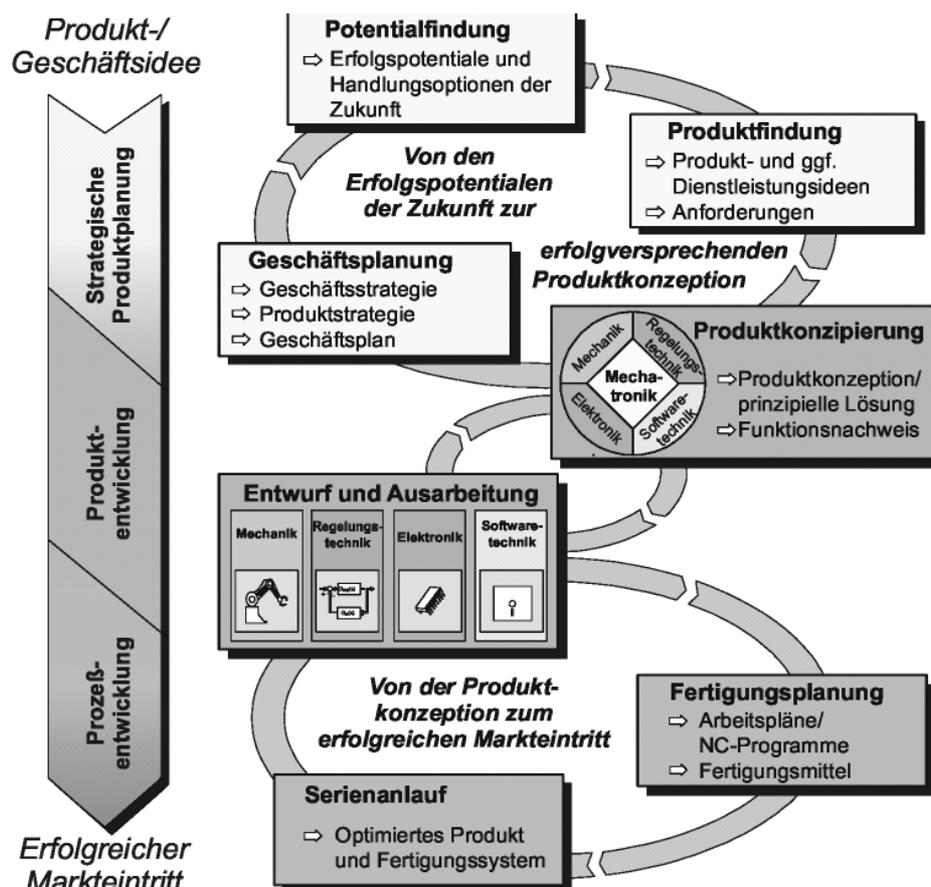


Abbildung 2-20: Produktinnovationsprozess nach GAUSEMEIER<sup>135</sup>

<sup>134</sup> Vgl. Gausemeier 2002.

<sup>135</sup> Vgl. Gausemeier 2002, S. 8.

Der Schwerpunkt dieses Ansatzes liegt in einer ganzheitlichen Sichtweise des Produktentstehungsprozesses. Er ist jedoch bezüglich der Umsetzung in der Unternehmensorganisation sehr allgemein und berücksichtigt keinerlei umsetzungsorientierte Workflows.

### 2.2.5 Wissenschaft und Produktentstehung

In der Wissenschaft existieren unterschiedliche Forschungsmethoden. In den Realwissenschaften ist der induktiv-empiristische und der deduktiv-theoriekritische Erkenntnisweg vorherrschend. Diese beiden Methoden leiten sich aus den beiden Grundelementen der Erkenntnistheorie ab, dem Rationalismus und dem Empirismus. Letzterer ist eng mit der Methode der Induktion verbunden, Ersterer steht im engen Zusammenhang mit den Methoden der Deduktion.<sup>136</sup> Zusätzlich ist die Hermeneutik von Bedeutung, sie stellt in den Realwissenschaften keinen eigenständigen Erkenntnisweg dar, ist aber eine wichtige Methode für die Ergebniserzielung.

Folgend werden elementare Begriffe der Wissenschaftstheorie aufgeführt, die für die Beschreibung des Innovationsverfahren fruchtbar sind:<sup>137</sup>

**Induktion** ist ein Begriff der Logik und bedeutet den Schluss vom Besonderen auf das Allgemeine. Vom kritisch-rationalistischen Standpunkt kommt den induktiv gewonnen Aussagen nur ein bestimmter Grad an Bewährung, aber nie Gewissheit zu.

**Deduktion** ist die Beweisführung in der Logik durch die Ableitung vom Besonderen aus dem Allgemeinen. Die Deduktion steht im Gegensatz zur Induktion.

**Empirie** ist die Erfahrungswissenschaft; durch sie werden Erkenntnisse aus der Ableitung und Sammlung von Beobachtungen gewonnen.

**Hermeneutische Komponente:** Die Hermeneutik ist die Lehre und Kunst von der Auslegung, Deutung und des Verstehens von Situationen und Texten. Da es im Sinne des Konstruktivismus keine Objektivität gibt, rückt das Verstehen ins Zentrum. Ziel der Hermeneutik besteht in Vermittlung subjektiver Sinneszusammenhänge.<sup>138</sup> Wie oben gezeigt, stützen die Realwissenschaften ihre Aussagen auf die Methoden der Induktion und Deduktion, doch ist es von entscheidender Bedeutung, dass diese Erkenntnisse auch intersubjektiv nachvollziehbar, d.h. verständlich sind.

---

<sup>136</sup> Vgl. Schanz 1988, S. 42ff.

<sup>137</sup> Brockhaus Multimedial 2007.

<sup>138</sup> Vgl. Speck 1980, S. 273ff.

### 2.2.5.1 Bedeutung am Beispiel der Konstruktionswissenschaft

Viele Erkenntnisse der konstruktionsmethodischen Forschung kommen aus der induktiv-empiristischen Forschung. Die Forschungsergebnisse werden aus der Praxis abgeleitet und in Methoden und Prozessen zusammengefasst. Dabei ist das Vorgehensmuster immer gleich: Sobald für einen Zusammenhang auf induktiv-empiristischem Wege eine gewisse empirische Evidenz bewiesen ist, gilt er als bestätigt. Die Anwendung auf singuläre Problemfälle ist dann Sache einer wissenschaftlich unspektakulären „tautologischen Transformation“<sup>139</sup>. Hinzu kommt, dass die Problemstellungen und Betrachtungsbereiche von empirischen Untersuchungen oft so eng und isoliert gewählt werden müssen, um den Untersuchungsaufwand im Rahmen zu halten, dass der zugrunde gelegte Betrachtungsbereich nicht mehr repräsentativ für reale Problemstellungen ist.

Doch gegen diese idealisierte Vorgehensweise gibt es eine Reihe von Einwänden, denn gerade durch dieses Vorgehen wurde in der Konstruktionsmethodik eine Lücke zwischen Theorie und Praxis geschaffen. Bis heute wird von theoretischer Seite die mangelnde Akzeptanz der Konstruktionsmethodik in der Praxis und umgekehrt die Nicht-Anwendbarkeit der Methoden beklagt. Die erkenntnisfördernde Wirkung und der praktische Nutzen der induktiv-empiristischen Forschung wird von vielen bezweifelt, weil die Forscher sich zumeist auf eine stark vereinfachte Abbildung der Wirklichkeit konzentrieren und die Ergebnisse in der Theorie richtig, unter realen Bedingungen jedoch nicht mehr viabel sind<sup>140</sup>. Dies zeigt sich z.B. deutlich an den konstruktionsmethodischen Arbeiten über die Gestaltsynthese (s. Kap. 2.2.1.3).

Die empirische Forschung im Bereich der Konstruktionsforschung ist für die Validierung von wissenschaftlichen Thesen eminent wichtig. Doch zeigt es sich auch, dass Ergebnisse aus rein empirischer Forschung oft zu Ergebnissen führen, die unter den Randbedingungen realer Konstruktionsprozesse nicht aussagekräftig sind. Die Ergebnisse der empirischen Forschungen führen in den meisten Fällen lediglich zu einer Potenzierung existierender Handlungsmuster – wirklich neue Ansätze entstehen daraus nicht.<sup>141</sup> Über Jahrzehnte haben die empirischen Ansätze in der Konstruktionsmethodik keine wirklich neuen Erkenntnisse hervorgebracht.

Im Gegensatz zum induktiv-empirischen Weg stellt bei der deduktiv-theoriekritischen Wissenschaft die Erfahrung nicht den Baustein der Theorie dar, sondern deren

---

<sup>139</sup> Frank 2003, S. 284.

<sup>140</sup> Vgl. Frank 1997, S.27f.

<sup>141</sup> Vgl. Frank 2003, S. 284.

Prüfstein.<sup>142</sup> Denn die empirische Forschung bildet zwar statistische Aussagen, ist aber im konkreten Einzelfall so gut wie nutzlos. Doch in der Praxis des Entwickelns geht es immer um das Konkrete, um den Einzelfall, nicht um den Durchschnitt. Wichtig für die Praxis sind „Best Practice“-Beispiele, die auf Einzelfällen beruhen.

Aus deduktiv-theoriekritischer Forschung können neue Ansätze entstehen. Ein Beispiel hierfür ist der Ansatz von ALBERS und MATTHIESEN über den Zusammenhang von Funktion und Gestalt<sup>143</sup>. Das Modell „Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen“ (C&CM) ist aus einem deduktiv-theoriekritischen Erkenntnisweg hervorgegangen und nicht aus einer empirischen Untersuchung.

## 2.2.6 Modelle

Neben den Prozessen (2.2.4 Prozessansätze in der Produktentstehung) besitzen auch Modelle eine große Bedeutung in der Produktentstehung. Modelle haben die Aufgabe, den komplexen Produktentstehungsprozess zu veranschaulichen und daraus konkrete Maßnahmen abzuleiten. Im Folgenden werden ausgewählte Modelle der Produktentstehung vorgestellt.

### 2.2.6.1 Grundmodell des Produktlebenszyklus

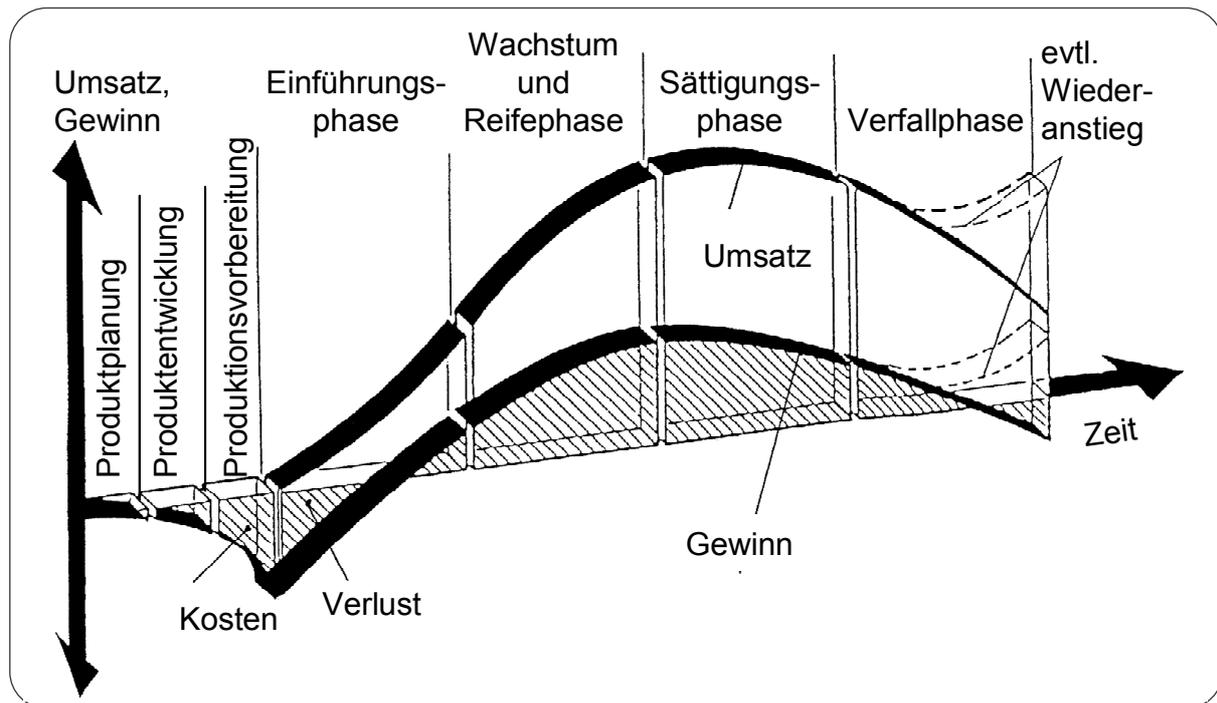
Die ersten Produktlebenszyklusbetrachtungen gehen auf den Ökonomen VERNON und eine Untersuchung auf Zyklen im Welthandel zurück. Im Rahmen seiner Produktlebenszyklustheorie brachte VERNON den Zusammenhang von Handel und Investition erstmals in einen dynamischen Kontext. Sein Erklärungsansatz, der sich primär auf den US-amerikanischen Handel mit Industrieprodukten bezieht, unterteilt den Lebenszyklus der Produkte in eine Innovations-, eine Ausreifungs- und eine Standardisierungsphase. VERNON erweiterte sein Modell und veröffentlichte es im Jahre 1966<sup>144</sup> mit vier Produktphasen: 1. Entwicklung und Einführung, 2. Wachstum, 3. Reife/Sättigung und 4. Schrumpfung/Degeneration. Aus der ökonomischen Grundbetrachtung wurde in der Lebenszyklustheorie von VERNON nur die Time-in-Market betrachtet; Im Kontext der Produktentstehung wurde das Lebenszyklusmodell mit drei Phasen vor dem Markteintritt erweitert. Die drei plus vier Phasen finden sich in Lebenszyklusbetrachtungen wieder. Unterschiede treten jedoch im Detaillierungsgrad und in den Schwerpunkten der Betrachtungen auf.

---

<sup>142</sup> Vgl. Borchert 2004, S. 12.

<sup>143</sup> Vgl. Albers 2002a.

<sup>144</sup> Vgl. Vernon 1966, S. 199.

Abbildung 2-21: Produktlebenszyklus<sup>145</sup>

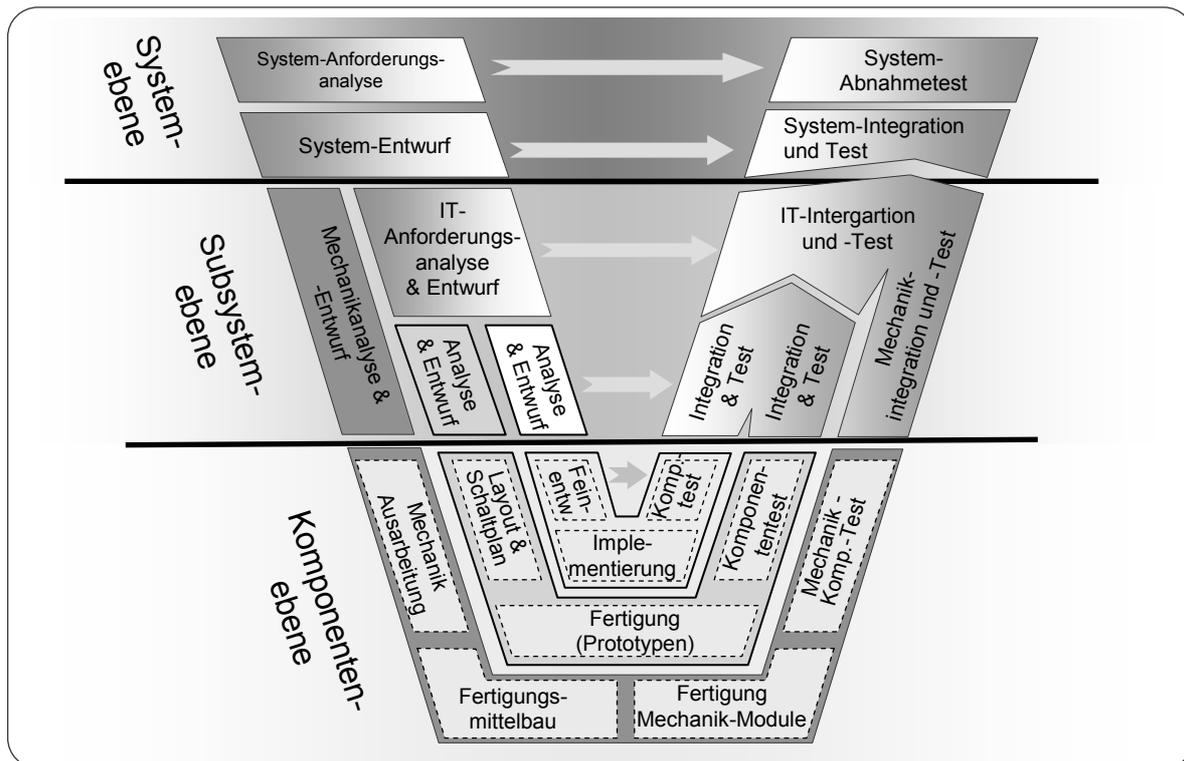
### 2.2.6.2 V-Modell

Durch die Zunahme der mechatronischen Systeme in der Entwicklung wurde im Jahre 2004 eine eigene Richtlinie zur Entwicklung mechatronischer Systeme fertig gestellt und veröffentlicht, die VDI 2206. Sie verbindet die klassischen Ansätze der Entwicklung aus der VDI 2221 mit dem V-Modell aus der Softwareentwicklung.

Auf der Makroebene hat sich das V-Modell als Vorgehensmodell etabliert, das so genannte Drei-Ebenen-Modell, welches eine Verfeinerung des prinzipiellen Phasenkonzepts für Produktentwicklungsprozesse abbildet.<sup>146</sup> Die Herausforderung in der Mechatronik ist die enge multidisziplinäre Zusammenarbeit über Phasengrenzen hinweg, da die einzelnen Entwicklungsaktivitäten nicht mehr losgelöst, sondern im mechatronischen Gesamtzusammenhang erfolgen müssen. Das Drei-Ebenen-Modell nimmt eine Einteilung in System-, Modul- und Komponentenebene vor. Anhand dieser Einteilung lassen sich verschiedene Tätigkeitsbereiche im Entwicklungsprozess ableiten (siehe Abbildung 2-22).

<sup>145</sup> Vgl. Ehrlenspiel 1995, S. 43.

<sup>146</sup> Vgl. Kuttig 2005, S. 15f.

Abbildung 2-22: V-Modell der Mechatronik<sup>147</sup>

### 2.2.6.3 Partitur-Modell

Wie schon im V-Modell dargestellt wurde, kommt der Konzept-Phase in der Produktentwicklung eine sehr große Bedeutung zu, da in ihr schon alle wesentlichen Eigenschaften und Einflüsse aller beteiligten Bereiche des Produktlebenszyklus berücksichtigt werden müssen. ANDREASEN und OLESEN haben mit dem Partitur-Modell ein Modell zur Unterstützung des Entwicklers in der Konzept-Phase entwickelt. Die Entscheidungen, die in der Konzeptionsphase getroffen und festgelegt werden, sind von entscheidender Bedeutung, da zu diesem Zeitpunkt die größten Einflussmöglichkeiten auf Kosten, Qualität, Durchlaufzeit, Risiko etc. gegeben sind. Allerdings beklagt ANDREASEN, dass die Konzept-Phase in der Industrie zu wenig berücksichtigt wird und hier entscheidende Wettbewerbsvorteile verspielt werden. Oft werden bevorzugt alte, bewährte Konzepte weiterentwickelt anstatt von Grund auf neu gestaltet. Die konzeptionelle Arbeit ist in der Praxis vielen Ingenieuren nicht vertraut, so dass sie zu früh zur Detailgestaltung und Ausarbeitung der Produkte übergehen. Ein zusätzliches Problem der Konzept-Phase besteht darin, dass sie von Seiten der EDV so gut wie gar nicht und wenn, nur sehr geringfügig

<sup>147</sup> Vgl. VDI 2206 2004, S. 22.

unterstützt wird. Softwareanbieter versuchen glaubhaft zu machen, dass der Produktentwicklungsprozess erst mit dem ersten CAD-Modell beginnt.<sup>148</sup>

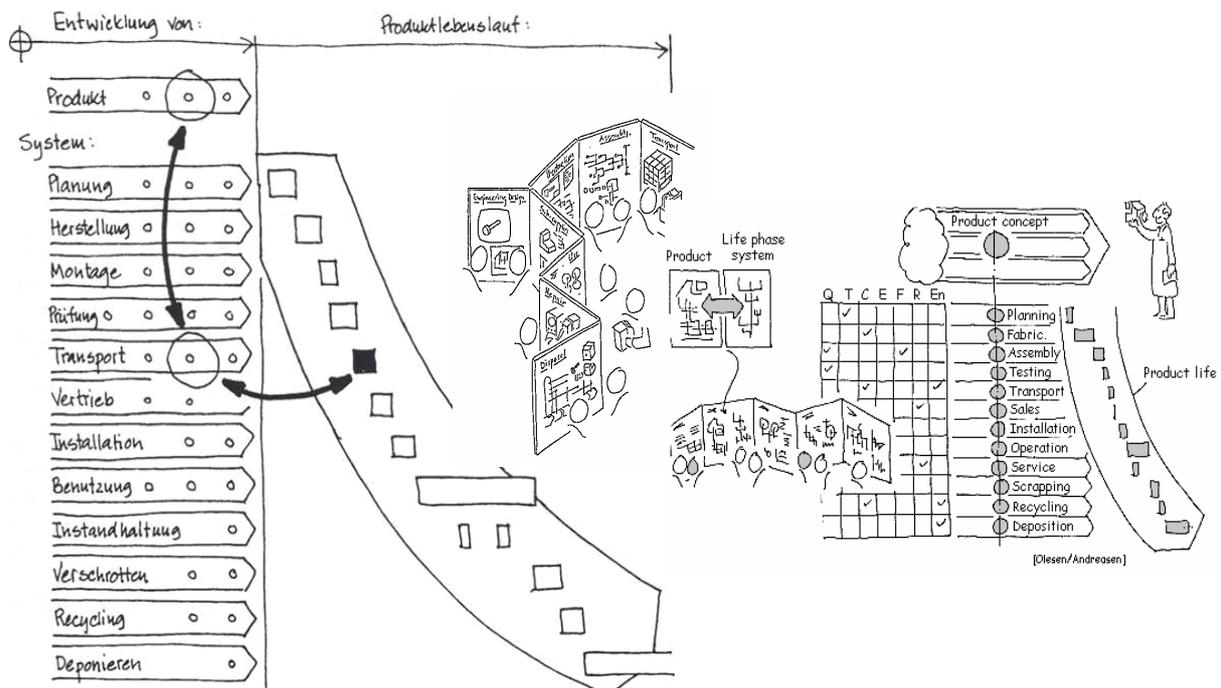


Abbildung 2-23: Partitur-Modell<sup>149</sup>

Das Partitur-Modell von ANDREASEN und OLESEN ist ein mentales Modell, das die Wichtigkeit der konzeptionellen Phase unterstützt und den „Design for X“-Gedanken in der Konzept-Phase fördert. Ziel dieses Modells ist, die Berücksichtigung sämtlicher Interessenten und Anforderungen in der Konzeptionsphase zu unterstützen.

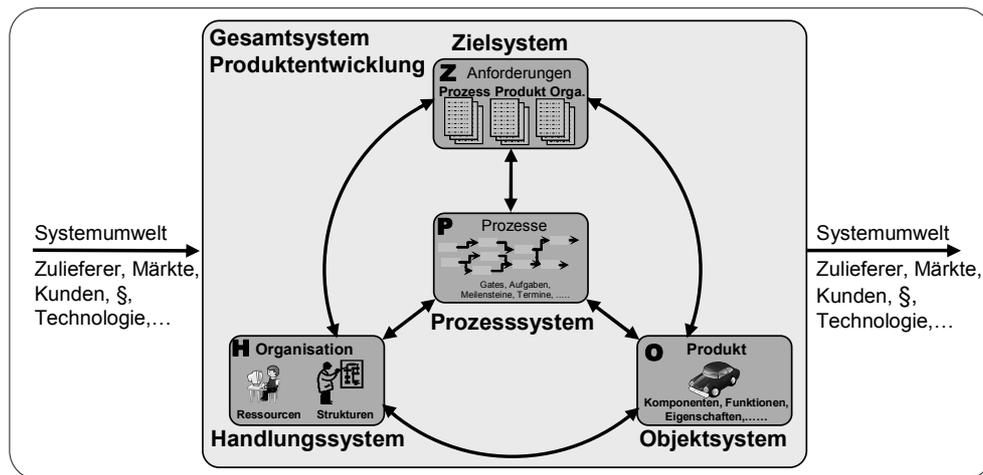
#### 2.2.6.4 ZOPH-Modell

Am Lehrstuhl für Raumfahrttechnik der Universität München unter Prof. WALTER wurde ein ganzheitlicher „Systems Engineering-Ansatz“ für die Produktentwicklung entwickelt. Das ZOPH-Modell<sup>150</sup> teilt den Entwicklungsprozess im Unternehmen in vier Elemente auf: Ziel-, Objekt-, Prozess- und Handlungssystem (ZOPH). Aus der Sicht von IGENBERG und NEGELE sind die bestehenden Ansätze zur Beschreibung von Produktentwicklungsprozessen ungenügend, da sie Produkt, Prozess und Organisation getrennt voneinander betrachten. Das ZOPH-Modell beschreibt die Produktentwicklung als Gesamtsystem. Aufbauend auf dem ZOPH-Modell entwickelte NEGELE ein datenbankunterstütztes System zu einer systemtechnischen Methodik mit einem Ansatz zur ganzheitlichen Modellierung der Produktentwicklung.

<sup>148</sup> Vgl. Andreasen 2005, S. 304ff.

<sup>149</sup> Andreasen 2005, S. 305.

<sup>150</sup> Negele 1998, Walter 1994

Abbildung 2-24: ZOPH-Modell<sup>151</sup>

Die Definitionen von NEGELE zu den vier Systemen sind in Kapitel 2.4.4 beschrieben. Alle Teilsysteme sind nicht statisch, sondern unterliegen zeitlichen Änderungen und sind somit dynamische Systeme. Besonders im Prozesssystem werden während der Entwicklung erhebliche Änderungen bezüglich der modellierten Prozesse, Abläufe, Ergebnisse, Verknüpfungen und Randbedingungen vorgenommen. Neben der Abbildung in einem Datenbanksystem mit Projektmanagementunterstützung ist das ZOPH-Modell ein sehr aussagekräftiges mentales Modell der Produktentstehung. Mit seiner Hilfe können komplexe Probleme der Produktentstehung systematisch zergliedert werden, ohne die Vernetzung der Elemente untereinander zu vernachlässigen. NEGELE und FRICKE prüfen das Modell in der Vorentwicklung von BMW weiter.

### 2.2.6.5 C&CM

Das Elementmodell „Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen“ (Contact & Channel Model, C&CM) von ALBERS und MATTHIESEN ist ein konstruktionsmethodisches Modell zur Beschreibung des Zusammenhangs von Funktion und Gestalt technischer Systeme.<sup>152</sup> Es basiert auf den kleinsten gemeinsamen Grundelementen eines jeden technischen Systems, Wirkflächenpaare (WFP) und Leitstützstruktur (LSS). Wirkflächenpaare sind generalisierte Oberflächen von Körpern, die in Wechselwirkung mit anderen Körpern, Flüssigkeiten und Feldern treten und somit die technische Funktion erzeugen.

Auf Basis von drei Grundhypothesen schafft das Modell die Grundlage, um mit Logik und einer Modellsprache technische Systeme zu modellieren und damit den Zusammenhang von Funktion und Gestalt komplexer Systeme klar zu beschreiben.

<sup>151</sup> Browning 2006, S. 107.

<sup>152</sup> Albers 2002a und Matthiesen 2002.

### Grundhypothese I

Jedes Grundelement eines technischen Systems erfüllt seine Funktion durch eine Wechselwirkung mit mindestens einem anderen Grundelement.

Die eigentliche Funktion – und damit die gewünschte Wirkung – wird erst durch den Kontakt einer Fläche mit einer anderen möglich. Diese Flächen sind Wirkflächen und bilden zusammen ein Wirkflächenpaar.<sup>153</sup>

### Grundhypothese II

Die Funktion eines technischen Systems oder eines technischen Teilsystems wird grundsätzlich über mindestens zwei Wirkflächenpaare und eine sie verbindende Leitstützstruktur verwirklicht.

Funktionsbestimmend sind dabei allein die Eigenschaften und Wechselwirkungen der beiden Wirkflächenpaare und der sie verbindenden Leitstützstruktur.

Spielen Felder für die Funktionserfüllung eine Rolle, so ist die Wechselwirkung der Leitstützstruktur des Feldes mit mindestens zwei weiteren Leitstützstrukturen zusätzlich funktionserfüllend.<sup>154</sup>

### Grundhypothese III

Jedes System, das Funktionen erfüllt, besteht aus den Grundelementen Wirkflächenpaar und Leitstützstruktur, die in beliebiger Anzahl, Anordnung und Form auftreten können.

Ein Wirkflächenpaar setzt sich aus genau zwei Wirkflächen zusammen.<sup>155</sup>

#### 2.2.6.6 Reifegradmodelle

Reifegradssysteme zur Messung des Projektfortschritts gehören seit Jahren zum Stand der Technik. Seit Ende der 1990er-Jahre und der Weiterentwicklung von Qualitätsmanagement-Normen gewinnen auch Prozessreifegradssysteme zunehmend an Bedeutung. Zur Prozessreifegradmessung hat sich das CMM (Capability Maturity Model) bzw. CMMI (Capability Maturity Model Integrated) aus der Softwareentwicklung etabliert. Das Modell wurde im Auftrag des amerikanischen Department of Defense (DoD) am Software Engineering Institute (SEI) der Carnegie-Mellon University zur Beurteilung der Lieferzuverlässigkeit entwickelt. Gleichzeitig wurde im Auftrag der Europäischen Union (EU) ein vergleichbares Modell Bootstrap als

---

<sup>153</sup> Albers 2002a und Matthiesen 2002, S. 53.

<sup>154</sup> Albers 2002a und Matthiesen 2002, S. 54.

<sup>155</sup> Ebd.

europäische Variante geplant und entwickelt. Das Modell sollte besser an die europäischen Bedürfnisse angepasst werden, doch konnte es sich nicht durchsetzen und wurde aus diesem Grund im Jahre 2003 eingestellt.<sup>156</sup> Beim CMMI handelt es sich um eine Weiterentwicklung des CMM. Das CMM war sehr stark auf die Softwareentwicklung ausgerichtet und auf andere Bereiche schlecht übertragbar. Der Betrachtungsfokus dieses erweiterten Modells geht über den Software-Engineering-Prozess hinaus. Das CMMI deckt die Themen Systems Engineering, Software Engineering, Integrated Product and Process Development und Supplier Integration ab.<sup>157</sup>

Inhaltlich sind die fünf Reifegradstufen wie folgt definiert:<sup>158</sup>

**Reifegrad 1 – initial:** Auf dieser Stufe sind die Prozesse als ad-hoc oder chaotisch charakterisiert. Die Prozesse sind wenig oder nicht definiert. Der Erfolg eines Projektes ist in erster Linie vom Einsatz und der Kompetenz einzelner Mitarbeiter abhängig. Wenn Personen nicht verfügbar sind, kommt es häufig vor, dass Informationen nicht auffindbar sind. Dem Reifegrad 1 sind keine Anforderungen und demzufolge keine Prozessgebiete zugeordnet.

**Reifegrad 2 – gemanagt:** In dieser Stufe wird gefordert, dass die wesentlichen Managementprozesse etabliert sind, um Kosten, Zeitplan und Funktionalität von Projekten zu planen und zu steuern. Reifegrad 2 enthält detaillierte Anforderungen an das Projektmanagement.

**Reifegrad 3 – definiert:** Auf dieser Stufe wird der Schwerpunkt der Arbeit von Organisation und Management-Aktivitäten an den Projekten auf Entwicklungsaktivitäten verlagert. Die Anforderungen dieser Stufe sind auf die Vereinheitlichung der Prozesse für die gesamte Organisation gerichtet.

**Reifegrad 4 – quantitativ gemanagt:** Auf dieser Stufe werden intensiv Metriken und Kennzahlen eingeführt und benutzt, um den Prozess und die Produkte quantitativ beurteilen zu können. Die Ergebnisse der Messungen werden dann gezielt eingesetzt, um eine bessere Entscheidungsgrundlage für Verbesserungsaktivitäten zur Verfügung zu stellen.

**Reifegrad 5 – optimierend:** Dies ist die höchste Stufe im Modell, sie bezieht sich auf kontinuierliche Verbesserung, um eine Optimierung der Prozesse und der damit verbundenen Produkte zu bewirken.

---

<sup>156</sup> Vgl. Fuchs 2006, S. 39.

<sup>157</sup> Vgl. CMMI 2002, S. 3.

<sup>158</sup> Vgl. Balazova 2004, S. 37f.

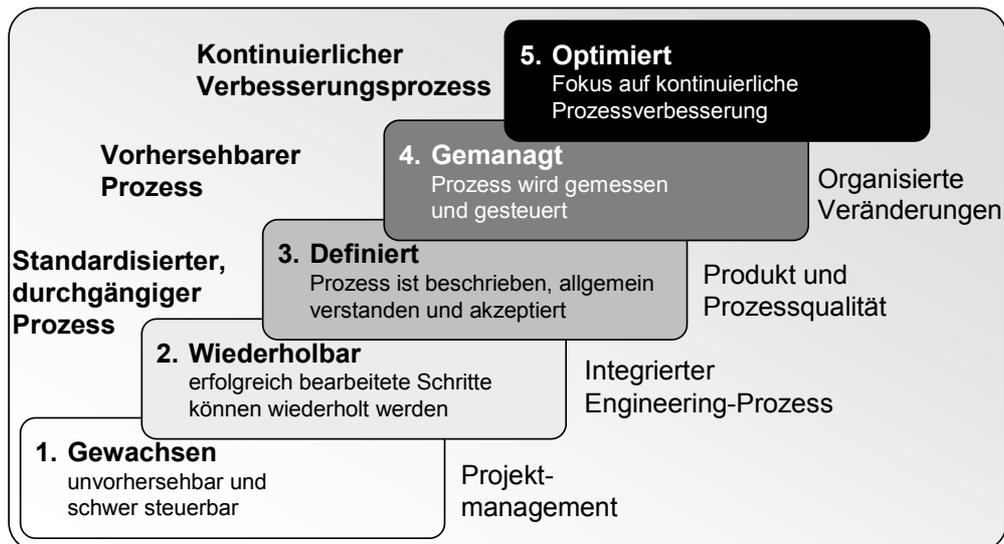


Abbildung 2-25: Die fünf Stufen des Capability Maturity Model Integration (CMMI)<sup>159</sup>

Die wichtigste Zielsetzung des CMMI ist die Reduzierung von Risiko und Messung der Qualität aller Prozesse und Fähigkeiten in den Entwicklungsprojekten, doch ist der Aufwand, den eine CMMI-Einführung mit sich bringt, immens.

### 2.2.7 Prozessmodellierung

Die Prozessmodellierung ist ebenso alt wie die industriellen Prozesse selbst. Gemeinsam mit Frederick W. TAYLOR arbeitete Henry L. GANTT an der Organisation von industriellen Prozessen; 1919 veröffentlichte er sein Werk „Organisation der Arbeit“, in dem er das heutige Gantt-Diagramm zur Abbildung von Prozessen vorstellte. Mit der zunehmenden Vernetzung von Geschäftsprozessen sind auch die Anforderungen an die Prozessmodellierung gestiegen. Heute existieren eine Reihe von Prozessmodellierungssprachen mit eigenen Darstellungsarten und Notation.<sup>160</sup> Diese Prozessmodellierungssprachen stellen die Grundlage der Geschäftsprozessmodellierung und der Workflow-Management-Systeme dar.

Die „Ereignisgesteuerte Prozesskette“ (EPK) hat sich in der Praxis als Beschreibungsmittel für betriebliche Abläufe etabliert. Die Methode wurde im Jahr 1991 von Prof. SCHEER am Institut für Wirtschaftsinformatik (IWi) der Universität des Saarlandes in Zusammenarbeit mit der SAP AG zur Geschäftsprozessmodellierung entwickelt. Gemeinsam mit dem ARIS-Konzept („Architektur integrierter Informationssysteme“) bildet sie die Basis für Anwendungs-Software und Workflow-Engines, mit deren Hilfe Prozesse definiert, erzeugt und deren Ausführung verwaltet werden können. Moderne Systeme sind in der Lage, die Prozessdefinitionen zu

<sup>159</sup> Vgl. CMMI 2002.

<sup>160</sup> UML „Unified Modeling Language“, BPMN „Business Process Modeling Notation“, SOM „Semantisches Objektmodell“, EPK „Ereignisgesteuerten Prozesskette“.

interpretieren, mit Teilnehmern zu kommunizieren und andere Applikationen aufzurufen.

Dabei geht es in der Geschäftsprozessmodellierung darum, die Wertschöpfungskette in einer Organisation von ihrem Anfang bis zum Ende darzustellen. Dabei baut ARIS auf fünf so genannte Sichten auf. Diese fünf Sichten sind die Organisations-, die Daten-, die Leistungs-, die Funktions- und die Steuerungssicht auf einen Prozess. Diese Einteilung bricht die Komplexität auf fünf Facetten herunter; so kann die Prozessmodellierung einfacher gestaltet werden. Jede Sicht des ARIS-Konzeptes gibt das Modell eines Geschäftsprozesses unter einem bestimmten Aspekt wieder:

- Funktionssicht: Funktionsbaum
- Organisationssicht: Organigramm
- Datensicht: Entity-Relationship-Modell
- Leistungssicht: Produktbaum
- Steuerungssicht: Ereignisgesteuerte Prozesskette.

Dabei besitzt jede Beschreibungssicht des ARIS drei Beschreibungsebenen. Diese sind eingeteilt in Fachkonzept, Datenverarbeitungskonzept und Implementierungsebene:

- Fachkonzept: Strukturierte Darstellung, das Beschreibungsmodell
- Datenverarbeitungskonzept: Umsetzung des Fachkonzeptes
- Implementierungsebene: Realisierung der beschriebenen Prozessteile.

Diese drei Ebenen sind in der Modellierung von Informationssystemen sehr erfolgreich. Auf oberster Ebene steht ein Metamodell, welches die Regeln und Notationsformen für die Beschreibung vorgibt, ohne konkrete Ereignisse, Funktionen oder Objekte zu benennen. Die darunterliegenden Abstraktionsstufen bilden das Referenzprozess- und Implementierungsmodell. Das Referenzmodell ist auf Wiederverwendung ausgelegt, muss aber immer wieder neu an die spezifischen Randbedingungen angepasst werden – es besitzt somit einen empfehlenden Charakter.<sup>161</sup> Es besteht aus empirisch erhobenen Best-Practice-Beispielen oder aus theoretischen Überlegungen und schafft erhebliche Einsparungen bei der Gestaltung von optimalen Abläufen. Referenzmodelle können nach dem ARIS-Konzept beschrieben und gespeichert werden.<sup>162</sup>

Dabei müssen Referenzmodelle nicht vollständige Modelle eines Anwendungsbereichs sein, sie können auch als Entwurfsmuster oder Patterns aufgefasst werden.

---

<sup>161</sup> Vgl. Lassmann 2006, S. 313.

<sup>162</sup> Vgl. Scheer 1996, S. 14.

Patterns beschreiben einfache und kleine Lösungen für wiederkehrende Probleme, die sich in der Entwurfspraxis bewährt haben. Diese Referenzen dienen nicht als genereller Bezugspunkt zur Modellierung eines vollständigen Problembereichs, sondern sind Referenzbausteine zur Modellierung.<sup>163</sup> Auf unterster Ebene steht das Implementierungsmodell, die Anpassung an die reale Prozessumwelt.

Die Ansätze der Prozessmodellierung sind in der Produktentwicklung noch wenig genutzt. Dies liegt daran, dass die Prozessmodellierung extrem schwierig ist. Der überwiegende Teil der Prozesse in der Produktentstehung sind keine deterministischen Anwendungsprozesse, sondern vor allem kontingente Wissensprozesse. Diese werden hauptsächlich durch die selbst hervorgebrachte Erkenntnis gesteuert und nicht durch vordefinierte Ereignisse bestimmt.<sup>164</sup> Dadurch ist die Übertragbarkeit und Anwendung solcher Systeme in der Produktentstehung schwierig; denn die nötige Granularität der Planung ist in vielen Bereichen der Produktentstehung nicht gegeben.

Die Prozessmodellierung stellt aus technischer Sicht kein Problem dar, doch existieren bis heute keine ganzheitlichen Modelle, die den Fuzzy-Charakter realer Entwicklungsprozesse so gerecht werden, dass Prozesse auf Ebene der Aktivitäten hinreichend modellierbar sind. Durch den Aktivitätenansatz<sup>165</sup> des iPeM wird ein Modell, mit dem die Prozessmodellierung in der Produktentstehung auf Ebene der Aktivitäten einsetzbar wird, geschaffen.

### **2.2.8 Zwischenfazit**

In diesem Kapitel wurden die Wurzeln sowie die Entwicklung der wichtigsten Strömungen im Bereich der Produktentstehungsprozesse aufgezeigt. Anhand dieses Überblicks wird die Vielschichtigkeit der Produktentstehung deutlich. Die Aspekte der einzelnen Ansätze sind für sich genommen alle essentiell; doch im Zusammenwirken in der Produktentstehung stehen sich viele Elemente der einzelnen Ansätze widersprüchlich gegenüber. Die Stärke der einzelnen Ansätze hängt stark von den äußeren Randbedingungen und den inneren Gegebenheiten der Produktentstehung ab. Die einzelnen Elemente müssen somit situativ und kontextbezogen an den Produktentstehungsprozess angepasst werden. Der Aspekt der Prozessmodellierung ist in der Produktentstehung noch wenig fundiert und die Nutzung von durchgängigen Prozess- und Modellebenen mit Patternkonzepten bietet große Potenziale zur Weiterentwicklung und Optimierung von Produktentstehungsprozessen.

---

<sup>163</sup> Vgl. Winter 2000, S. 107.

<sup>164</sup> Vgl. Mayer 2006, S. 23.

<sup>165</sup> Albers 2008.

## 2.3 Information und Wissen

Die Bedeutung von Information und Wissen für die Wettbewerbsfähigkeit ist unbestritten und vergrößert sich zunehmend. Das Zitat „*Wissen ist Macht*“<sup>166</sup>, welches Francis BACON zugeschrieben wird, offenbart diese Tendenz schon vor über 400 Jahren. Heutzutage bedeutet Wissen für Unternehmen Wettbewerbsfähigkeit im globalen Markt. Doch ist die effiziente und zielgerichtete Nutzung des in den Mitarbeitern schlummernden Wissens für die Unternehmenswertsteigerung ein anspruchsvolles Ziel, welches die Forschung seit langer Zeit intensiv beschäftigt.

Die Produktentstehung ist einer der wissensintensivsten Bereiche im Unternehmen; hier läuft das Wissen zusammen, welches für die erfolgreiche Gestaltung eines Produkts nötig ist, damit es später den Anforderungen aller Akteure gerecht wird und am Markt erfolgreich ist.

Speziell durch das Front-Loading und die Virtualisierung der Produktentstehung kommt dem Wissen eine stetig wachsende Bedeutung zu. Bei den Entwicklungsaktivitäten des Profils, der Idee, des Konzepts und der Validierung ist das primäre Ziel nicht die Entwicklung der Produkthardware, sondern die Aneignung und Bereitstellung des nötigen Wissens, um die Produkthardware erfolgreich umzusetzen. Das in diesen Aktivitäten generierte Wissen muss dann in der Gestalt-Realisierung vorhanden sein und zielgerichtet zur Verfügung gestellt werden. In den letzten Jahren haben sich in der Praxis viele Informations- und Wissensmanagement-Systeme etabliert. In der Produktentwicklung zählen Informationssysteme wie PLM- und PDM-Systeme zum Stand der Technik. Doch speziell in der frühen Phase der Produktentstehung tun sich Wissensmanagement-Systeme noch sehr schwer. Nutzen diese Informations- und Wissensmanagement-Systeme das Produkt selbst als Informationsträger, stellt sich in der frühen Gestaltungsaktivitäten die Herausforderung darin, dass die Produktgestalt noch sehr vage und unscharf ist, da das Produkt in diesen Phasen erst sehr vage beschrieben ist. Erschwerend kommt hinzu, dass in den frühen Phasen auf Grund der hohen Komplexität und Dynamik nur begrenzt standardisierte Tools, Methoden und Werkzeuge eingesetzt werden können.

Seit Jahrzehnten wird am Königsweg des Wissensmanagements geforscht, doch gelten die Ansätze der ersten beiden Generationen aus Sicht vieler als weitgehend

---

<sup>166</sup> Francis Bacon selbst hat Wissen und Macht in diesen expliziten Zusammenhang gebracht, wie es ihm zugeschrieben wird. Wohl aber wollte er sein Verständnis von der inhaltlichen und methodischen Nähe von Macht und Wissen zum Ausdruck bringen: „The roads to human power and to human knowledge lie close together, and are nearly the same“ (Bacon zit. nach Ritter 1998, S. 596).

gescheitert. Durch die Euphorie des Wissensmanagements in den 1990er-Jahren haben viele geglaubt, dass sich Wissen in Datenbanken managen lassen würde, doch gilt diese Ansicht als nicht tragfähig. Die Komplexität von Wissen wurde von Seiten der Softwareentwickler und der Technik gänzlich unterschätzt, wenn nicht gar schlichtweg ignoriert.

### 2.3.1 Wissen

Um das Thema Wissensmanagement in der Produktentstehung weiter zu beleuchten, ist es zunächst nötig, den Begriff „Wissen“ selbst genau zu definieren. Der Begriff ist auf theoretischer Ebene nicht unproblematisch, da für das Wort „Wissen“ selbst keine allgemeingültige Definition existiert, obwohl Philosophie und Wissenschaft den Wissensbegriff seit über 2000 Jahren diskutieren. In der Literatur finden sich unzählige und oft unterschiedliche Wissensdefinitionen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Wissen kein absoluter Begriff, sondern immer subjektiv ist. Dies zeigt sich in einem der ältesten Definitionsversuche aus dem Dialog PLATOS mit seinem Schüler THEAITETOS.<sup>167</sup>

Demnach „weiß“ ein erkennendes Subjekt um einen Sachverhalt, wenn

- der Sachverhalt tatsächlich besteht
- das Subjekt glaubt, dass der Sachverhalt bestünde
- das Subjekt Belege für das Bestehen des Sachverhaltes besitzt.

Schon an dieser ursprünglichen Definition von Wissen wird deutlich, dass Wissen immer subjektiv ist und nicht losgelöst von Wissensträgern existieren kann. Wissen kann somit als die Gesamtheit der Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten, die eine Person zur Lösung von Problemen einsetzen kann, definiert werden.<sup>168</sup> Von NORTH wurde ein durchgängiges Modell entwickelt, in dem er die verschiedenen Formen von Wissen beschreibt und sie im Kontext von Daten bis hin zur strategischen Handlungskompetenz einordnet.<sup>169</sup> Auf Basis dieses Modells hat er einen Ansatz zur wissensorientierten Unternehmensführung entwickelt, der die einzelnen wissenskonstituierenden Elemente in einer Treppe abbildet (siehe Abbildung 2-26).

Um ein eindeutiges Verständnis von „Wissen“ im Umfeld von Unternehmensprozessen zu schaffen, werden im Folgenden die wichtigsten Begriffe im Umfeld kurz definiert. An unterster Stelle stehen Zeichen und Daten, die erst zu Informationen werden, wenn ein Bezug bzw. ein Kontext hergestellt ist. Informationen können somit

---

<sup>167</sup> Siehe Meyer 2006, S. 2.

<sup>168</sup> Vgl. Schütt 2000, S. 41.

<sup>169</sup> Vgl. North 1999, S. 40ff.

in diesem Verständnis unabhängig vom Menschen gespeichert werden, sie können quasi als Gut gehandelt werden. Um Wissen aufzubauen, müssen Informationen zu einem Zeitpunkt interpretiert und handlungsorientiert (sinnstiftend) in einen Kontext gebracht werden (zweckdienliche Vernetzung). Informationen sind der Rohstoff, aus dem Wissen generiert wird.<sup>170</sup> Wissen entsteht nicht durch die Anhäufung von Informationen, sondern wird auf dem Hintergrund von Vorwissen interpretiert und entsteht aus den kognitiven Fähigkeiten der beteiligten Menschen, Informationen zu speichern und zu verarbeiten. Wissen ist somit ein dynamischer, menschlicher Prozess.

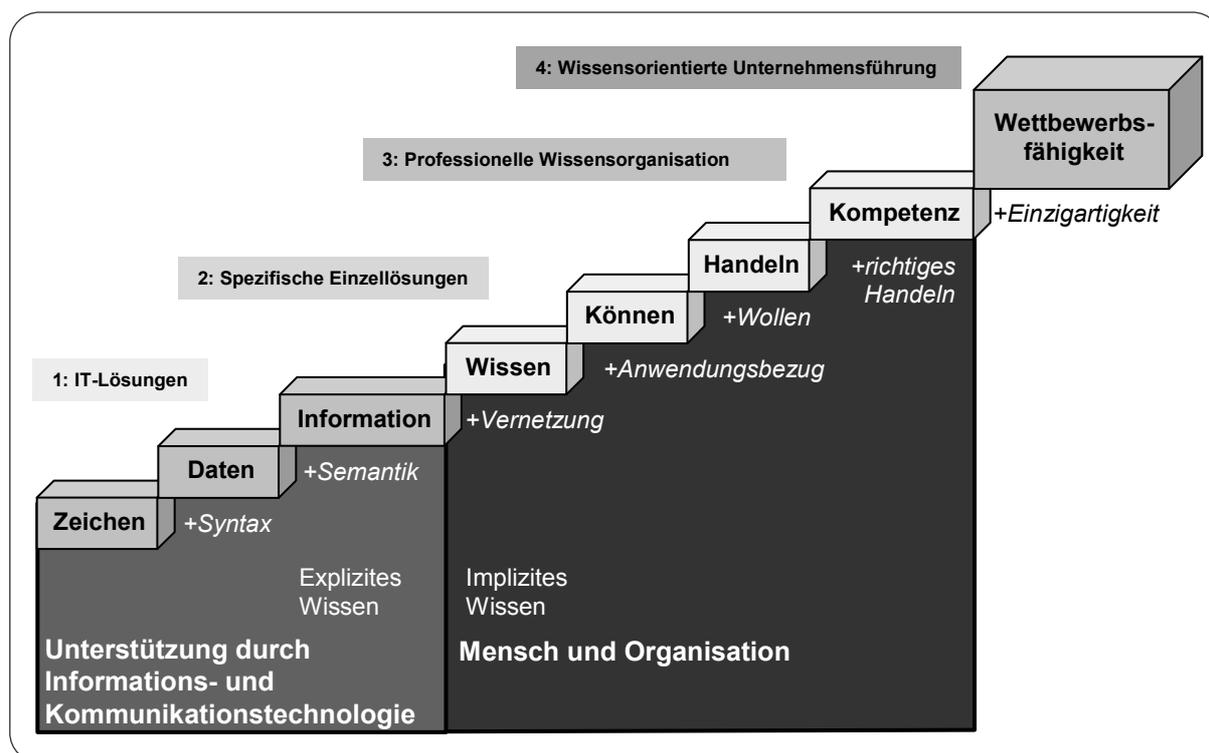


Abbildung 2-26: Wissenstreppe nach NORTH<sup>171</sup>

Der Begriff Wissen selbst wird in der Literatur in explizites und implizites (tazites oder stilles) Wissen unterteilt. Explizites Wissen ist formulierbares und reproduzierbares (objektives) Wissen und kann durch formale, systematische Sprache, z.B. durch Wörter oder Zahlen, vermittelt und in seiner Anwendung logisch nachvollzogen werden. Implizites oder auch tazites Wissen genannt, ist Wissen, das sprachlich nicht direkt vermittelbar ist, sondern verborgenes Wissen bezeichnet, das in den kognitiven Fähigkeiten und Schemata der Akteure, aber auch in organisationalen Routinen eingelagert ist. Polanyi folgert daraus die Existenz einer so genannten „stillen Dimension“ des Wissens, die nicht artikulierbar ist; er bezeichnet dies als

<sup>170</sup> Vgl. North 2000, S. 8.

<sup>171</sup> North 1999, S. 41.

„tacit knowledge“<sup>172</sup> (implizites Wissen). Deutlich wird dieser Begriff am Beispiel der Wiedererkennung von Gesichtern: Wir erkennen jemanden augenblicklich wieder, kommen aber in Schwierigkeiten, wenn man die einzelnen Gesichtsmerkmale, ihre Proportionen und Relationen untereinander genau beschreiben soll.

### 2.3.2 Theorie des Informationsbegriffs

Der Begriff „Information“ ist wissenschaftlich genauso schwer wie der Wissensbegriff zu fassen, da viele Definitionen pragmatisch, zweckorientiert und wenig fundiert sind. Im Folgenden wird eine wissenschaftlich fundierte Definition des Informationsbegriffs dargelegt. Einig ist man sich darin, dass Information Energie oder Materie als Träger benötigt, aber selbst keines von beiden ist. Dies ist ein anerkanntes Axiom:

*"Information is information not matter or energy"*<sup>173</sup>

Die Schwierigkeit des Informationsbegriffs liegt im Subjekt-Objekt-Problem, dem zentralen Problem der Erkenntnistheorie und dem Denken überhaupt: Die Frage besteht darin, wie die prinzipiell zweigliedrige Relation zwischen (erkennendem) Subjekt und (zu erkennendem beziehungsweise erkanntem) Objekt (Gegenstand) zu bestimmen ist sowie ob und gegebenenfalls inwieweit das Subjekt im Erkennen aktiv Einfluss auf das Objekt nimmt und dieses somit verändert.<sup>174</sup>

Auf der Suche nach einer Definition stößt man auf das in diesem Zusammenhang viel zitierte Sender-Kanal-Empfänger-Modell der Informationstheorie von den Mathematikern SHANNON und WEAVER von 1948. Das Modell ist ein rein quantitatives Konzept der Signalübertragung und für die Definition des Informationsbegriffs völlig bedeutungslos. Die Theorie beschreibt die Signaldurchlasseigenschaften eines Übertragungskanals und den Einfluss von Störung und Rauschen.<sup>175</sup> SHANNON und WEAVER entwickelten ein mathematisches Modell zur Informationsübertragung in der Nachrichtentechnik, in dem die Zeichen, die Signale, nicht aber deren Bedeutung entscheidend sind. Bei der Übermittlung einer Nachricht werden aus informationstheoretischer Sicht Zeichen – nicht Bedeutungen – übertragen; diese Art der Information kann nicht der Bedeutung gleichgesetzt werden.

Die Arbeiten von Ernst Ulrich und Carl Friedrich VON WEIZSÄCKER sowie dessen Schülers LYRE schaffen eine umfassende Informationstheorie. Wichtig für ihren Informationsbegriff ist die ursprüngliche Bedeutung aus dessen lateinischer Herkunft:

---

<sup>172</sup> Vgl. Polanyi 1985, S. 14.

<sup>173</sup> Wiener 1961, S. 132.

<sup>174</sup> Vgl. Brockhaus Multimedial 2007.

<sup>175</sup> Vgl. Shannon 1976.

Der Begriff leitet sich aus „informatio“ – Vorstellung, Begriff, Unterweisung – ab und „informare“ – formen, gestalten, vorstellen, unterrichten. Bis ins 18. Jahrhundert wurde unter diesem Begriff die „Gestaltung der Materie durch die Form“ verstanden, doch diese ursprüngliche Bedeutung ging verloren. Heute wird der Information im Wesentlichen die Bedeutung der „Wissensvermittlung“ zugewiesen.

In der Arbeit „Die Quantentheorie der Information“<sup>176</sup> baut LYRE die Ansätze von WEIZSÄCKER zu einem „Satzsystem des vollständigen Informationsbegriffs“ aus. WEIZSÄCKER formulierte seine Vorstellung von Information als Formung so:

*„Information ist das Maß einer Menge von Form (...). Form ist weder Materie noch Bewusstsein, aber sie ist eine Eigenschaft von materiellen Körpern, und sie ist für das Bewusstsein wissbar. Wir können sagen: Materie hat Form, Bewusstsein kennt Form“.*<sup>177</sup>

Für den Aufbau des Informationsbegriffs stützt LYRE sich außerdem auf die Arbeit „Foundation of the theory of signs“<sup>178</sup> des Semiotikers MORRIS und zeigt auf, dass Information drei Dimensionen besitzt: die syntaktische (objektive Dimension), die semantische (subjektive Dimension) und die pragmatische (dynamische Dimension). Durch diese Dreiteilung wird das Subjekt-Objekt-Dilemma des Informationsbegriffs aufgehoben.

**Der syntaktische Aspekt** der Information basiert auf der nachrichtentechnischen Informationstheorie, die für die potenzielle Information steht.

**Der semantische Aspekt** der Information - „Information ist nur, was verstanden wird“<sup>179</sup> - bedeutet, dass Sender und Empfänger die gleiche semantische Ebene benutzen und somit die Bedeutung erfassen können.

**Der pragmatische Aspekt** der Information - „Information ist nur, was Information erzeugt“<sup>180</sup> - ist die Objektivierung des Wirkaspekts einer Information. Wird die Information verstanden, folgt eine Reaktion. Der pragmatische Informationsgehalt ist dann besonders hoch, wenn Erstmaligkeit und Bestätigung hoch sind – oder, um es umgekehrt zu formulieren: Eine Information, die ein zweites Mal überliefert wird, behält zwar ihren Sinn, verliert aber ihren Informationswert.<sup>181</sup> Auch wenn die pragmatische Information logischerweise nicht streng formalisierbar ist, gilt: Jede Information verändert den Empfänger.

---

<sup>176</sup> Lyre 1998.

<sup>177</sup> Weizsäcker 1985, S. 167.

<sup>178</sup> Morris 1938.

<sup>179</sup> Weizsäcker 1979, S. 351.

<sup>180</sup> Ebda., S. 352.

<sup>181</sup> Vgl. Luhmann 1996, S.41.

Abschließend relativiert WEIZSÄCKER den Informationsbegriff durch die Problematik der Sprache:

*„Die ganz in Information verwandelte Sprache ist die gehärtete Spitze einer nicht gehärteten Masse. Dass es Sprache als Information gibt, darf niemand vergessen, der über Sprache redet. Dass Sprache als Information uns nur möglich ist auf dem Hintergrund einer Sprache, die nicht in eindeutige Information verwandelt ist, darf niemand vergessen, der über Information redet. Was Sprache ist, ist damit nicht ausgesprochen, sondern von einer bestimmten Seite her als Frage aufgeworfen.“<sup>182</sup>*

### 2.3.3 Wissensarbeit und -management

Das 20. Jahrhundert ist vom Strukturwandel der Industrie- zur Wissensgesellschaft<sup>183</sup> geprägt. Diese Veränderungen spiegeln sich ebenso in den Managementansätzen der letzten 100 Jahre wieder. So legte TAYLOR zu Beginn des letzten Jahrhunderts die Grundlagen der Managementtheorie auf Basis manueller Tätigkeit dar; gegen Ende des letzten Jahrhunderts standen hingegen Wissensarbeit und -management im Zentrum der Managementtheorie. Mit Beginn der 1990er-Jahre haben die Managementwissenschaften begonnen, sich intensiv mit Wissensarbeit, Wissensmanagement und wissensbasierten Organisationen auseinanderzusetzen.<sup>184</sup> Doch wurde die Bedeutung von Wissen schon wesentlich früher als zentraler Wohlfandsfaktor in der Ökonomie proklamiert. In den 1950er-Jahren wurde durch die Arbeiten von HABERLER, MACHLUP und DRUCKER aus der Schule der österreichischen Nationalökonomie die Bedeutung von Wissen als wirtschaftlichem Faktor dargelegt. DRUCKER gilt als der Begründer des heutigen Wissensbegriffs im Management. Schon 1969 bezeichnete er in seinem Buch „The Age of Discontinuity“, das Management als die Transformation von Wissen in Nutzen.<sup>185</sup> Der daraus entstandene Begriff „Wissensmanagement“ wird aber bis heute kontrovers diskutiert. Viele Fachleute vertreten die These, dass man Wissen nicht managen kann. Eine allgemeine anerkannte Definition des Begriffs „Wissensmanagement“ liefert REINMANN-ROTHMAIER:

---

<sup>182</sup> Weizsäcker 1979, S. 60.

<sup>183</sup> Vgl. OECD 1996.

<sup>184</sup> Vgl. Willke 1998, S. 162.

<sup>185</sup> Vgl. Drucker 1969.

*„Wissensmanagement bezeichnet den bewussten und systematischen Umgang mit der Ressource Wissen und den zielgerichteten Einsatz von Wissen in Organisationen. Damit umfasst Wissensmanagement die Gesamtheit aller Konzepte, Strategien und Methoden zur Schaffung einer intelligenten und lernenden Organisation. In diesem Sinne bilden Mensch, Organisation und Technik gemeinsam die drei Standbeine des Wissensmanagements.“<sup>186</sup>*

Hingegen sieht MALIK den modischen Begriff „Wissensmanagement“ als inhaltsleer, denn letztlich geht es nur um das zielgerichtete Verfügbar-Machen von Informationen. Er vergleicht den Begriff damit, dass es ungefähr genauso aussagekräftig sei, wenn im Zusammenhang mit der Entstehung von Beethoven-Symphonien von Soundmanagement geredet oder die Kunst Claude Monets als Pinselmanagement bezeichnet werde. So bringt es PRUSAK, Leiter des IBM Instituts für Wissensmanagement, auf den Punkt:

*„Man kann Wissen nicht managen, so wie man Liebe, Patriotismus oder seine Kinder nicht managen kann. Aber man kann ein Umfeld schaffen, in dem Wissen gedeiht.“<sup>187</sup>*

MALIK bestätigt dies mit der Aussage, dass man nicht Wissen, sondern nur Mitarbeiter managen kann.

Konsens besteht darin, dass Wissen mit hoher Wahrscheinlichkeit die wichtigste Ressource der aktuellen und künftigen Wirtschaft ist. Unternehmen, denen es gelingt, über Dokumentenmanagement hinauszukommen, werden deutliche Konkurrenzvorteile besitzen. Hierzu muss Wissen produktiv gemacht werden – und das gelingt nur durch das Management der Wissensarbeit und der Mitarbeiter.<sup>188</sup>

An diesem Diskurs wird deutlich, dass zum Wissensmanagement wesentlich mehr als nur ein EDV-Projekt gehört, mit dem vorhandenes Wissen dokumentiert wird. So sagt SCHÜTT, dass die Technik lediglich 20 bis 30 Prozent des Erfolges des Wissensmanagements ausmacht. Der Rest muss durch Veränderung der Unternehmenskultur kommen. Wenn sich durch die Bedeutung des Wissens die Gewichtung der Produktionsfaktoren ändert und Wissen in den Vordergrund tritt, dann ist das nicht nur ein abstrakter Unternehmenseffekt, sondern betrifft alle Akteure, da sich das Wertesystem des Unternehmens ändert.<sup>189</sup> Doch hier stecken auch die größten Barrieren einer wissensorientierten Unternehmenskultur, denn Wissensmanagement scheitert nicht an mangelnder EDV, sondern an der

---

<sup>186</sup> Reinmann-Rothmeier 2001, S. 9.

<sup>187</sup> Larry Prusak, Executive Director IBM Institute for Knowledge Management, in einem Interview für das deutsche Handelsblatt im April 1988, zitiert nach Puntschart 2006, S. 23.

<sup>188</sup> Vgl. Malik 2001, S. 2.

<sup>189</sup> Vgl. Schütt 2000a, S. 136-137.

Einstellung der Mitarbeiter im Umgang mit ihrem geistigen Kapital.<sup>190</sup> Dies zu erreichen erfordert ein Umdenken aller Akteure, denn in einem wissensorientierten Unternehmen sind nicht mehr nur „Mitarbeiter“ gefragt, sondern „Mitdenker“, die ihre Intelligenz, ihre Lernfähigkeit und ihr Wissen dem Unternehmen zur Verfügung stellen.<sup>191</sup> Diese Entwicklung vom technisch-orientierten Wissensmanagement zum wissensbasierten Unternehmen spiegelt sich in den ersten drei Generationen des Wissensmanagements wider.

### **1. Generation**

Die ersten Publikationen zum Thema Wissensmanagement gehen auf das Jahr 1975 zurück. Die frühen Konzepte und Systeme hatten zum Ziel, menschliche Entscheidungsträger möglichst zeitnah mit gewünschten Informationen zu versorgen, um die Qualität der Entscheidungen zu erhöhen.<sup>192</sup> Diese Ansätze verliefen ohne nennenswerte Erfolge. In den 1980er-Jahren begann sich das bis dahin ausschließlich technik-orientierte Wissensmanagement zu wandeln, es erlangte seine Bedeutung als Managementaufgabe.<sup>193</sup> In vielen Unternehmen wurde die Position des „Chief Knowledge Officers“ (CKO) geschaffen. Das neu geschaffene Gebiet Wissensmanagement blieb aber vorerst mangels Erfahrung sehr theoretisch und die CKOs stifteten in der Praxis so gut wie keinen Nutzen.<sup>194</sup>

### **2. Generation**

Der Wechsel zur 2. Generation schlägt sich im folgenden Denkschema nieder: Stellte sich zu Beginn der 1. Generation die Frage, wie man verhindern könnte, das Rad zweimal zu erfinden, war in der 2. Generation Leitfrage, wie Unternehmen vorhandenes Wissen besser nutzen könnten. Erfolgreich in dieser Generation wurde das im Jahre 1995 veröffentlichte SECI-Modell von NONAKA und TAKEUCHI.<sup>195</sup> Dieses Modell, die sog. Wissensspirale, integriert gezielt soziale und organisatorische Elemente. Es wird nicht mehr nur die bloße Speicherung, sondern erstmals auch die Frage nach der Generierung von Wissen aufgeworfen. Das Unternehmen wurde erstmals als Wissen „produzierende“ Einheit dargestellt.<sup>196</sup> Der Artikel „The Knowledge Creating Company“, in dem das Modell vorgestellt wurde, gehört heute

---

<sup>190</sup> Vgl. Below 2001, S. 67.

<sup>191</sup> Vgl. North 1999, 119ff.

<sup>192</sup> Vgl. Snowden 2002, S. 100.

<sup>193</sup> Vgl. Mühlethaler 2005, S. 35.

<sup>194</sup> Vgl. Schütt 2003a, S. 1.

<sup>195</sup> Vgl. Nonaka 1991, 96ff.

<sup>196</sup> Vgl. Schreyögg 2003, S.5.

zu den bekanntesten und am häufigsten zitierten Ansätzen des Wissensmanagements.<sup>197</sup> Das im deutschsprachigen Raum etablierteste Modell des Wissensmanagements ist das auf den Grundlagen des SECI-Modells aufbauende Modell der „Bausteine des Wissensmanagements“ von PROBST, RAUB und ROMHARDT.<sup>198</sup>

Aber auch diese Wissensmanagementsysteme erfüllen – trotz korrekter Konzipierung – die Erwartungen nicht im erhofften Maße. SCHNEIDER legt in dem Buch „Die sieben Todsünden des Wissensmanagements“ sehr genau die Kernprobleme dar, die bei der Implementierung dieser Ansätze entstehen.<sup>199</sup> Die Systeme scheitern im Wesentlichen an zwei Elementen, die gleichermaßen auf Mitarbeiter und Management zurückzuführen sind: Mangelnde Motivation und Zeitnot von Seiten der Mitarbeiter führen dazu, dass vorhandene Systeme nicht genutzt und sie kein Bestandteil der täglichen Arbeit werden. Auf der anderen Seite steigen zunächst die Kosten solcher Systeme stärker als der Nutzwert, da zusätzliche Ressourcen zum systematischen Aufbau, zur Aktualisierung und Wartung der Systeme von Seiten des Managements oft unterschätzt und nicht im ausreichenden Maße zur Verfügung gestellt werden.

### 3. Generation

Die 3. Generation<sup>200</sup> begründet sich in der Veröffentlichung „The Concept of Ba“<sup>201</sup> von NONAKA aus dem Jahre 1998. NONAKA zog darin sein SECI-Modell weitgehend zurück und entzog damit den Ansätzen der zweiten Generation die Grundlage. „Ba“ ist ein japanisches Wort mit einer vielschichtigen Bedeutung und kann nur unzureichend übersetzt werden. Sinngemäß bedeutet „Ba“ Raum, in dem etwas geschieht. NONAKA erklärt damit, warum der Wissensaustausch in eingespielten Teams oft schnell und fruchtbar verläuft. Je geringer die räumliche und zeitliche Distanz zwischen den Austauschenden in gemeinsamen Räumen ist, desto eher können sie sich gegenseitig bei Explikation und Handlung beobachten (Idealfall: gleicher Ort, gleiche Zeit). Dabei bietet „Ba“ einen physischen, mentalen, virtuellen Raum für Beziehungen, aus dem Wissensbildung resultiert. Wird Wissen getrennt von seinem „Ba“ eingesetzt, so wird es zur Information. NONAKA schloss sich hiermit der Meinung anderer Vordenker wie SNOWDEN an.<sup>202</sup> Beide gehen davon aus, dass

---

<sup>197</sup> Vgl. Serenko 2004, S. 195.

<sup>198</sup> Siehe Probst 1999.

<sup>199</sup> Vgl. Schneider 2001, S. 92.

<sup>200</sup> Vgl. Snowden 2002 S. 6 ff., Meyer 2006, Schütt 2003a.

<sup>201</sup> Nonaka 1998.

<sup>202</sup> Vgl. Schütt 2003b S. 453.

stilles und explizites Wissen keine zwei dezidierten Zustände von Wissen sein können, sondern dass Wissen grundsätzlich immer aus beiden Arten besteht, allerdings in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen. Hiermit knüpft die 3. Generation an die Grundlagen von DRUCKER an, der den Weg zum wissensorientierten Unternehmen darin sah, Organisationen so umzubauen, dass man nicht mehr nur im Team, sondern als Team arbeitet.<sup>203</sup>

### 2.3.3.1 HANSE-Modell von Snowden

Nach der Entwicklung der stark technik-orientierten Ansätze der ersten beiden Generationen, die zum Großteil scheiterten, werden in der dritten Generation alltagstauglichere Modelle entwickelt. Das HANSE-Modell (engl. ASHEN) von SNOWDEN ist ein Modell der 3. Generation, das sich langsam zu etablieren beginnt. Es zielt stärker darauf ab, das Wissensbedürfnis im Unternehmen darzustellen.<sup>204</sup> Es ist ein Modell, das trotz seiner Einfachheit der Komplexität des Wissens gerecht wird. Es unterstützt die explizite Beschreibung des in Unternehmen auftretenden Wissensflusses und hilft ihn zu optimieren. ‚HANSE‘ steht für **H**euristiken, **A**rtefakte, **N**atürliche Begabung, **S**kills (Fähigkeiten) und **E**r Erfahrungen.

**Heuristiken:** Heuristiken sind Erfahrungsregeln. Manche Heuristiken sind z.B. als Verfahrensanweisung dokumentiert, andere kennt man im Unternehmen seit Jahren, ohne dass sie irgendwo niedergeschrieben sind. Damit können sie sowohl explizites als auch stilles Wissen des Unternehmens sein. Ähnlich wie im komplexen Straßenverkehr, wo einfache, leicht merkbare Regeln helfen, sind Heuristiken im Geschäftsalltag ideal, um mit der zunehmenden Komplexität umzugehen und Wissen zu verbreiten.

**Artefakte:** Mit dem Begriff Artefakte sind in diesem Zusammenhang alle dokumentierten Wissensbestandteile eines Unternehmens gemeint: Artefakte sind dokumentierte Wissensbausteine und damit immer explizit. Doch ist der Zugriff auf diese Artefakte oft schwierig und eher implizit. Die richtigen Informationen müssen den richtigen Personen zum richtigen Zeitpunkt bekannt und zugänglich sein, sonst stehen die Artefakte dem Unternehmen nicht zur Verfügung, obwohl sie im Unternehmen vorhanden sind.

**Natürliche Begabungen:** Natürliche Begabung verweist in Richtung Genialität, die in irgendeiner Weise im Menschen steckt: Natürliche Begabungen hat jeder, aber nicht für alle Tätigkeiten. Natürliche Begabungen sind stilles Wissen in Extremform:

---

<sup>203</sup> Drucker 1993.

<sup>204</sup> Snowden 2000, S. 14-17.

Sie lassen sich nicht weitervermitteln. Trotzdem kommt es in jedem Prozess darauf an, die richtigen natürlichen Begabungen beteiligt zu haben.

**Skills:** Skills beschreiben Fertigkeiten, Geschicklichkeit, Können; der Begriff der Skills lässt sich nur schwer übersetzen und ist am besten mit „Fähigkeiten“ zu umschreiben. Dabei kommt es in diesem Zusammenhang darauf an, dass die Skills im Sinne von Zeit und Qualität messbar sind. Skills sind zunächst stilles Wissen, sie lassen sich aber mit einigen Abstrichen gut dokumentieren und schulen.

**Erfahrungen:** Erfahrungen sind Lehren aus der Vergangenheit; sie sind ein weiterer wichtiger Wissensfaktor und sind im Wesentlichen stilles Wissen. Sie können speziell bei Entscheidungen unter Unsicherheit von hoher Bedeutung sein.

Die Einteilung des HANSE-Modells in die oben dargestellten Kategorien ermöglicht, die Art des benötigten Wissens genauer zu identifizieren. So können z.B. Schulungen zum Aufbau von Skills genutzt, die Zugriffe auf Artefakte verbessert und etablierte Heuristiken gezielt herausgearbeitet werden. Das HANSE-Modell versucht, das Wissensmanagement pragmatisch und in der Praxis greifbar zu gestalten und ist durch seine Simplexität sehr erfolgreich.

### 2.3.4 Information im Produktentstehungsprozess

Wie im Kapitel zuvor dargelegt, ist die Produktentstehung ein wissensintensiver Prozess. Vereinfacht kann dieser als systematischer Prozess der Wissens- bzw. Informationsgenerierung, -selektion und -weitergabe betrachtet werden. Doch ist dies oft schwierig, da die Produktentstehung nur bedingt ein durchgängiger Prozess ist. Der nötige Wechsel von eingesetzten Methoden, Werkzeugen und Personen in Entwicklungsphasen führt unweigerlich zu Informationsverlusten. Außerdem kommt hinzu, dass aufgrund zunehmender Komplexität der Produkte und verkürzter Entwicklungszeiten einzelne Teilelemente zunehmend dynamischer und undurchsichtiger werden. Um dem entgegenzuwirken, sind klare Kommunikationsstrukturen zu einem wesentlichen Erfolgsfaktor geworden. Ohne gut funktionierende Kommunikation zwischen den Akteuren im Entwicklungsprojekt ist ein gut funktionierender Produktentstehungsprozess kaum vorstellbar. Doch zeigen die Erkenntnisse aus der Kommunikationsforschung, dass Kommunikation zwischen Menschen niemals absolut und vollständig erfolgt. Auf Basis empirischer Studien in Innovationsprozessen wurden vier grundlegende Arten von Kommunikationsproblemen aufgezeigt, die gehäuft bei misslungenen Innovationsprozessen aufgetreten sind. SCHOLL bezeichnet diese Kommunikationsprobleme als Informationspathologie. Ein zusätzliches Problem ist die immanente Unschärfe zu Beginn der Produktentstehung. Informationen sind oftmals noch abstrakt und

einseitig und werden deshalb nicht als entscheidungsrelevante Erkenntnisse berücksichtigt.<sup>205</sup>

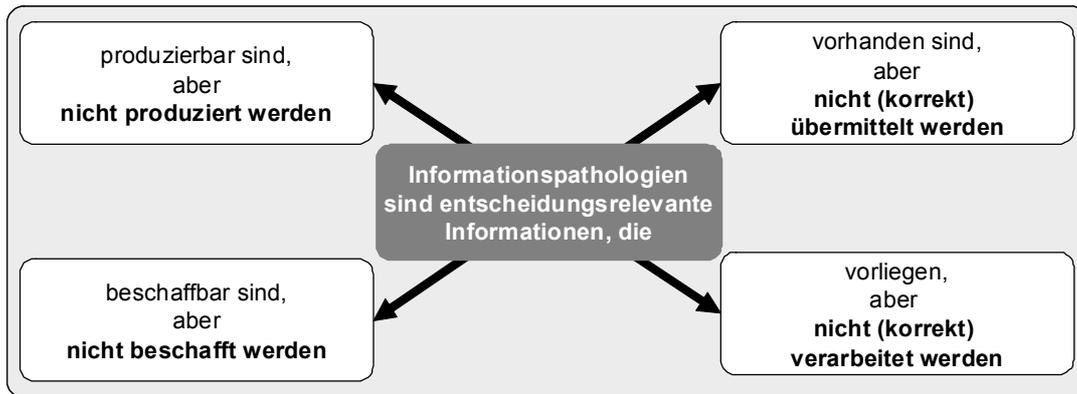


Abbildung 2-27: Definition von Informationspathologien<sup>206</sup>

SCHOLL führt die Ursachen der Informationspathologien auf fünf wesentliche Kategorien zurück.

**Mangelndes Problembewusstsein:** mangelnde Informationssuche, mangelnde Grundkenntnisse, Betriebsblindheit.

**Wunschdenken:** selektive, verzerrte Informationsaufnahme, Abwertung Anderer, Selbstüberschätzung, Unterschätzung des Problems oder der Meinung Anderer.

**Verständigungsprobleme:** Ressortegoismen, persönliche Antipathie, Trennung von Informationsverarbeitung und Entscheidung, zu lange Informationswege mit vielen Zwischenstationen, Verständigungsfehler, unzureichende Konsensbildung, Harmonie statt Kritik (als Aspekt des Groupthink<sup>207</sup>).

**Machtausübung:** Nichtweitergabe von Informationen, Behinderung der Informationsgewinnung, mangelnde Partizipation, Beschönigung schlechter Nachrichten nach oben in der Hierarchie, versuchte Interessensdurchsetzung durch Zielverschleierung, Ignoranz der Meinung Anderer, Manipulation von Informationen, unnötige Einmischung und Verzögerungstaktik.

**Unangemessene Vorstellungen von Wissen:** Erfahrung wird gegen Erkenntnis ausgespielt und umgekehrt, Interessenbezogenheit (politischer Zuschnitt) des Wissens wird nicht erkannt, Kultur der Fehlervermeidung hemmt Lernen durch Ausprobieren.

<sup>205</sup> Vgl. Scholl 2004, S.74.

<sup>206</sup> Ebda., S. 27.

<sup>207</sup> Vgl. Janis 1982.

### 2.3.5 Ontologien

Für den effizienten Umgang mit Information und Wissen ist eine einheitliche Darstellung, Gestaltung und Gliederung nach sachlichen und logischen Zusammenhängen von entscheidender Bedeutung. Diese zugrunde gelegten Begriffssysteme sind Voraussetzung für ein gemeinsames Verständnis. Eindimensionale hierarchische Klassifizierungssysteme werden z.B. in der Biologie schon sehr lange verwendet. Der schwedische Naturforscher Carl von LINNÉ entwickelte Mitte des 18. Jahrhunderts eine Nomenklatur, um alle Organismen binominal zu benennen und zu klassifizieren. Diese Systematik von Klassen und Unterklassen wird bis heute verwendet, um Organismen zu benennen und in die entsprechen Arten, Gattungen, Familien usw. systematisch einzuordnen. Auch in der Technik haben sich hierarchische Klassifikationssysteme etabliert.<sup>208</sup> Diese sind Voraussetzung für das (Wieder-)Auffinden von Information und Wissen.

Nach DIN-Norm werden Klassifikationen wie folgt definiert:

*Klassifikationssysteme sind Hilfsmittel zur Ordnung von Gegenständen oder Wissen über Gegenstände. Eine Klassifikation ist eine strukturierte Darstellung von Klassen und der zwischen den Klassen bestehenden Begriffsbeziehungen, wobei die Klassen durch – von natürlichen Sprachen unabhängigen – Notationen repräsentiert werden.*<sup>209</sup>

Das bekannteste technische Klassifizierungssystem ist die Internationale Patentklassifikation (IPC). Sie gehört zu den monohierarchischen, präkoordinierten Klassifikationssystemen. Sie dient weltweit einheitlich zur Klassifikation der Schwerpunkte und der wichtigsten Bestandteile von Erfindungen; die entsprechenden Notationen werden auf den Patentschriften aufgedruckt. Die IPC umfasst in ihrem Begriffsumfang die gesamte Technik und solche Teile der angewandten Naturwissenschaften, die in den meisten Ländern dem Patentschutz zugänglich sind. Sie ist somit ein wesentliches Hilfsmittel für das Einordnen und Auffinden von Patentdokumenten.<sup>210</sup>

Von allen Ordnungsprinzipien ist die Klassifikation das einfachste. Es beruht auf dem Grundsatz: „Jedes Ding (jeder Sachverhalt) an seinen Platz“<sup>211</sup>. Klassifikationssysteme sind in spezifischen Anwendungsbereichen sehr erfolgreich, doch stoßen sie bei komplexen und unscharfen Strukturen schnell an ihre Grenzen. Seit einigen Jahren haben sich für diese Anwendungen Ontologien etabliert.

---

<sup>208</sup> Vgl. DIN 32705 1987.

<sup>209</sup> DIN 32705 1987.

<sup>210</sup> Vgl. Stock 2000, S. 73-76.

<sup>211</sup> Gaus 1995, S. 61.

Der Begriff der Ontologie stammt ursprünglich aus der Philosophie und bezeichnet die philosophische Grunddisziplin der allgemeinen Metaphysik und der Lehre vom Sein.<sup>212</sup> Der Begriff geht auf ARISTOTELES' Theorie der Prädikation zurück: dem Versuch, die Dinge in der Welt zu klassifizieren. Die Forschungsarbeiten auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz adaptierten den Begriff der Ontologie, um damit das zu beschreiben, was mit einem Computer repräsentiert werden kann. Der Gegenstand einer Ontologie ist die Konzeptualisierung einer bestimmten Domäne. Die Strukturen dieser Konzeptualisierung reichen je nach Komplexität der zu repräsentierenden Domäne von einfachen Taxonomien bis hin zu hochkomplexen Netzwerken einschließlich der mit Konzepten und Relationen verbundenen Axiome.<sup>213</sup>

Ontologien können als (formal)sprachliche Konzeptualisierung eines Realitätsausschnittes betrachtet werden. Eine Ontologie ist aber nicht ein Abbild von Objekten der Welt, sondern eine explizite Spezifikation der Vorstellungen und Begriffe, die wir in unseren Köpfen über sie haben. Dementsprechend gibt es unzählige Möglichkeiten, Ontologien aufzubauen und nicht nur die eine eindeutig richtige Möglichkeit. Ontologien basieren somit immer auf dem Verständnis des Betrachters und stehen somit in enger Verwandtschaft zur Semantik<sup>214</sup>. Ontologien beinhalten immer ein Vokabular zur Repräsentation und Kommunikation von Domänenwissen mit einer zusätzlichen Beschreibung der Beziehungen zwischen den Elementen. Dieses Vokabular ist ein begrenzter kontrollier- und erweiterbarer Wortschatz, der eine eindeutige Interpretation von Klassen und Relationen ermöglicht. Dieses Konzept schafft ein einheitliches Verständnis für verschiedene Akteure innerhalb einer abgegrenzten Begriffswelt.<sup>215</sup> Es dient der Unterstützung der Kommunikation und schafft somit ein definiertes Begriffsverständnis, klare Entitäten (Modell der Beziehung zwischen Elementen) und deren Beschreibung. Mit Hilfe dieser standardisierten Terminologie und der Beziehungen zwischen den Begriffen wird ein Wissensbereich beschrieben.

Ontologien haben vor allem für das Wissensmanagement mittels Datenbanken und Informationssystemen einen großen Nutzen, da Informationen, die auf Ontologien aufbauen, maschinenlesbar und -interpretierbar sind. Ontologien werden aber erst für Informationssysteme nutzbar, wenn ihre Konzeptualisierungen explizit spezifiziert

---

<sup>212</sup> Vgl. Brockhaus Multimedial 2007.

<sup>213</sup> Vgl. Funkat 2003, S. 99.

<sup>214</sup> Semantik: Bedeutungslehre, die Lehre von der inhaltlichen Bedeutung der Sprache und Zeichen.

<sup>215</sup> Vgl. Uschold 1996, S. 5.

werden. Nach GRUBER werden fünf objektive Kriterien zum Entwurf von Ontologien für geteilte Konzepte hervorgehoben:

- **Klarheit (Clarity):** Die in einer Ontologie beschriebenen Definitionen sollten objektiv und unabhängig vom sozialen oder technischen Kontext sein. Eine Definition sollte (wenn möglich) in logischen Axiomen gemacht und in einer natürlichen Sprache dokumentiert werden.
- **Kohärenz (Coherence):** Eine Ontologie sollte zusammenhängend sein. Das bedeutet, dass die Inferenzen in keinem Widerspruch zu den gemachten Definitionen stehen. Die für die Definitionen eingesetzten Axiome sollten logisch konsistent sein.
- **Erweiterbarkeit (Extendibility):** Es sollte möglich sein, über das existierende Vokabular neue Terminologien zu definieren, ohne dass die existierenden Definitionen wiederholt geprüft und korrigiert werden müssen.
- **Minimale Verwendung von Implementationsdetails** (Minimal encoding bias): Die Konzipierung einer Ontologie sollte nicht auf einer teilweisen Kodierung abhängig von der späteren Implementierung erfolgen.
- **Minimale ontologische Festlegungen** (Minimal ontological commitment): Eine Ontologie sollte eine minimale, aber ausreichende Menge an Behauptungen über die Domäne haben, die sie modelliert.<sup>216</sup>

Durch die Ontologie wird ein explizites allgemeingültiges Verständnis von Strukturen geschaffen. Eigenschaften von Informationen und Zusammenhängen können vererbt werden. Die Potenziale zum Einsatz von Ontologien liegen darin begründet, dass durch die semantische Suche Sichten auf Basis von generischen Referenzen automatisch erzeugt werden können. Von entscheidender Bedeutung ist dabei, dass die Ontologie explizit gemacht wird und intersubjektiv verstanden wird. Wie bei der allgemeinen Sprache müssen Ontologien eines bestimmten Betrachtungsbereiches in der Kommunikation eindeutig sein, damit sie funktionieren „...*Sprache ist mein Instrument, aber zur gleichen Zeit auch mein Problem.*“<sup>217</sup>

### 2.3.6 Semantische Lücke

Besonders für die interdisziplinäre Zusammenarbeit besitzen Ontologien eine große Bedeutung. Denn oft wird unter dem gleichen Begriff etwas Unterschiedliches verstanden. Dieses Problem wird als semantische Lücke bezeichnet. Hiermit ist der bedeutungsbezogene Unterschied zwischen zwei Beschreibungen eines Objekts gemeint, der dadurch entsteht, dass verschiedene Repräsentationsformen (z.B.

---

<sup>216</sup> Vgl. Gruber 1993, S. 2f.

<sup>217</sup> Zitat von Maturana, dem Begründer des radikalen Konstruktivismus in: Schmidt 1992, S. 90f.

Sprache, Prozessmodelle) gewählt werden. Dieses Problem tritt besonders dort zutage, wo eine Abbildung realer Zusammenhänge in formaler, struktureller Repräsentation erfolgen muss. Speziell in Entwicklungsprozessen mit den unterschiedlichen Phasen, Zielsetzungen, Inhalten und Akteuren ist semantische Eindeutigkeit von zentraler Bedeutung. In den frühen Phasen besteht dieses Problem nochmals in verschärftem Maße, da lediglich eine mehr oder weniger vage Vorstellung hinsichtlich der Ziele und Inhalte existiert. Diese Probleme führen oft zu Fehlentscheidungen und unnötigen Iterationsschleifen. Um diese semantische Lücke zu schließen, ist die explizite interdisziplinäre Bereitstellung von Informationsinhalten von größter Bedeutung.<sup>218</sup>

### **2.3.7 Zwischenfazit**

Wissens- und Informationsmanagement ist zum geflügelten Wort in Wissenschaft und Praxis geworden. Doch sind viele Ansätze des Wissensmanagements mit Vorsicht zu betrachten, denn es gibt bis heute nur sehr wenige Beispiele für umfassende, funktionierende Anwendungen. Von Seiten der Wissenschaft werden die Ansätze des Wissensmanagements aus der Praxis oft grundsätzlich in Frage gestellt. Die meisten Ansätze in Wissenschaft und Praxis gehen bei genauerer Betrachtung nicht über Datenbanken, Informations- und Expertensysteme hinaus.

Unumstritten hingegen ist, dass Wissen die wichtigste Ressource in modernen Unternehmen ist. Es geht in den neuen Ansätzen verstärkt um wissensbasierte Prozesse, denn Wissen an sich kann nicht gemanagt werden – es können nur Strukturen, Prozesse und Rahmenbedingungen geschaffen werden, in dem Wissen gedeiht.

---

<sup>218</sup> Vgl. Zwicker 1998, S. 5.

## 2.4 System- und Modelltheorie

Alle Wissenschaftsdisziplinen versuchen, Systeme zu beschreiben und Modelle zu entwickeln, die ihnen wiederum dazu dienen, ihren Forschungsbereich zu beschreiben und abzubilden. Mitte des letzten Jahrhunderts wurden durch umfangreiche Forschungsarbeiten die Grundlagen für allgemeingültige Theorien für Systeme und Modelle gelegt.

Auch für die Technik sind diese Erkenntnisse von großer Bedeutung. Der technische Ableger der Systemtheorie ist die Systemtechnik. Ihr Ansatz nimmt die Position einer ingenieurwissenschaftlichen Disziplin ein und kann somit als angewandte Wissenschaft vom zweckrationalen Handeln beim Lösen komplexer Probleme der Praxis verstanden werden.

Die Produktentstehung ist ein System, das aus weit mehr als technischen Elementen besteht; in ihr arbeiten Menschen daran, technische Systeme zu erschaffen. Sie ist somit ein sozio-technisches System aus einer dialektischen Einheit des Menschen mit den von ihm hervorgebrachten technischen Gebilden, Verfahren und Einwirkungsobjekten bei Entwicklung, Herstellung, Einsatz, Reproduktion und Recycling.<sup>219</sup> Der soziale Aspekt wird aus technischer Sicht oft vernachlässigt, obwohl schon der Begriff „Technik“ dieses Element mit einschließt; denn Technik umfasst die gegenständlichen Artefakte, deren Entstehung und Verwendung.<sup>220</sup> Die Erkenntnis, Unternehmen als sozio-technische Systeme zu begreifen, ist daraus erwachsen, dass die zwischen Menschen stattfindenden Interaktionen und die technische Ebene nicht getrennt voneinander betrachtet werden können. Nur in der gemeinsamen Betrachtung kann eine optimale Gestaltung erreicht werden. Nach ROPOHL erlaubt es die Allgemeine Systemtheorie, soziale und technische Phänomene zusammenzuführen.<sup>221</sup>

Im folgenden Kapitel werden die Anfänge und die verschiedenen Strömungen der Systemwissenschaft dargelegt, weil die Erkenntnisse der System- und Modelltheorie für die Beschreibung der Produktentstehung essentiell sind. Mit der Etablierung der Systemwissenschaften haben sich die Forschungsrichtungen Kybernetik, Entscheidungstheorie, Systemtheorie, Systemtechnik und Modelltheorie zu eigenständigen Wissenschaftsdisziplinen entwickelt. Die Gemeinsamkeit dieser Disziplinen ist die Auseinandersetzung mit dem Verhalten komplexer Systeme. Auf Basis dieser Forschung haben sich allgemeingültige Methoden zur Analyse,

---

<sup>219</sup> Vgl. Banse 2002, S. 131.

<sup>220</sup> Vgl. Ropohl 1979, S. 43.

<sup>221</sup> Vgl. Ropohl 1999, S. 66ff.

Modellierung und Bewertung etabliert, die in allen Wissenschaftsbereichen anwendbar sind.

### 2.4.1 Grundlage zu Systemen

Bevor die wissenschaftstheoretischen Erkenntnisse der Systemtheorie erläutert werden, ist ein einheitliches Begriffsverständnis Voraussetzung. Zunächst stellt sich die Frage, was als „System“ verstanden werden kann.

Die Wurzeln des Systemdenkens liegen in der griechischen Philosophie. In seinem Werk „Metaphysik“<sup>222</sup> befasst sich Aristoteles unter anderem mit der Einordnung und Abgrenzung des Systembegriffs. Unter einem System wird eine von der Umwelt abgrenzbare Einheit verstanden, deren Elemente untereinander (innen) ausgeprägtere Beziehungen besitzen als zu anderen Elementen (außen); im Zusammenspiel der einzelnen Elemente ergeben diese eine höhere Qualität als die Summe der einzelnen Elemente (Emergenz). Ein System ist die Gesamtheit miteinander verknüpfter und sich gegenseitig beeinflussender Elemente, die entsprechend einem bestimmten Zweck organisiert sind.

Die klassische Sicht impliziert, dass Systeme aus Elementen und Beziehungen zwischen diesen bestehen, betont jedoch deren Differenz zur Umwelt.<sup>223</sup> Jedes System besitzt somit eine Systemgrenze. Lebende, physische und soziale Systeme erzeugen diese Grenzen selbst und werden als „autopoietische Systeme“<sup>224</sup> bezeichnet. Grenzen von künstlichen Systemen wie Maschinen bzw. technischen Systemen sind im Gegensatz zu denen sozialer Systeme starr, fehlerintolerant, programmiert und streng determiniert.<sup>225</sup>

Die inneren Wirkweisen und Wechselbeziehungen von Systemen erscheinen oft als schwer durchschaubar und werden daher als komplex bezeichnet. Die Beschreibung von Systemen erfordert einen hohen Aufwand der Analyse und Kenntnis der zugrunde liegenden Mechanismen und inneren Beziehungen. Um Systeme zu beschreiben und abzubilden, werden Modelle entwickelt, die das reale Systemverhalten repräsentieren können. Nach FORRESTER haben Menschen keine Alternative zum Denken und Handeln gemäß Modellvorstellungen. Es handelt sich in allen Fällen um Abbildungen eines Systems auf ein Modell, welches die wichtigsten Charakteristika des realen Systems wiedergibt. Modelle sind mentale, gegenständliche, mathematische, symbolische oder sprachliche Abbildungen von

---

<sup>222</sup> Aristoteles 1907, S. 314-316.

<sup>223</sup> Vgl. Pulm 2004, S. 19.

<sup>224</sup> Luhmann 1994, S. 16.

<sup>225</sup> Vgl. Luhmann 1994, S. 54.

Systemen.<sup>226</sup> Sie repräsentieren das Verständnis eines Systems oder einer Situation sowie deren relevante Systemelemente und deren Relationen. Modelle werden mit der Absicht konstruiert, ein System für den Betrachter fassbar, kommunizierbar, interpretierbar und vorhersagbar zu machen.

#### 2.4.1.1 Kompliziertheit versus Komplexität

Im Zusammenhang mit Systemen werden oft die Begriffe „kompliziert“ und „komplex“ verwendet. Diese beiden Begriffe sind aber keineswegs Synonyme – die beiden Begriffe haben eine unterschiedliche Bedeutung und besitzen etymologisch unterschiedliche Wortstämme.

Das Wort „kompliziert“ stammt vom lateinischen „complicare“ und bedeutet verwickelt, verflochten, undurchsichtig. Das Komplizierte ist wie ein Knäuel, in dem kein Zusammenhang erkennbar ist, es ist aber grundsätzlich lösbar. Wird ein Sachverhalt als kompliziert bezeichnet, wird damit zum Ausdruck gebracht, dass es schwierig ist, ihn zu verstehen. Kompliziert ist alles, was Personen mangels ihrer individuellen Fähigkeiten nicht beherrschen. Kompliziertes lässt sich theoretisch vollständig verstehen, beschreiben und somit lösen.

„Komplexität“ hingegen leitet sich aus dem lateinischen Wort „complexus“ – „umfassend“ – ab.<sup>227</sup> Komplexität ist also das Ganze, der Zusammenhang. Systeme werden oft als komplex bezeichnet, doch ist die Komplexität keine rein objektive systemimmanente Eigenschaft. DÖRNER beschreibt Komplexität als eine subjektive Größe.<sup>228</sup> Diese Ansicht basiert auf dem konstruktivistischen Verständnis, dass Komplexität erst durch den Betrachter entsteht. Komplexität ist somit ein Maß für die Unbestimmbarkeit, einen Möglichkeitsüberschuss bzw. für einen Mangel an Informationen.<sup>229</sup> Daraus resultiert Unsicherheit, die sich betriebswirtschaftlich vorrangig in Form von Planungs- und Entscheidungsproblemen äußert. LUHMANN beschreibt, dass ein komplexes System entsteht, wenn auf Grund der beschränkten Relationierbarkeit der Elemente nicht mehr jedes Element jederzeit mit jedem anderen verknüpft sein kann.<sup>230</sup>

Das begriffliche Verständnis der Komplexität veränderte sich mit der Entwicklung der Systemtheorie. Die ersten Veröffentlichungen zu diesem Thema aus den 1960er-Jahren basierten noch auf einer sehr schlichten Definition des Begriffs, so z.B. die

---

<sup>226</sup> Vgl. Wegehaupt 2004, S. 67.

<sup>227</sup> Brandeins 2006, S. 46.

<sup>228</sup> Vgl. Dörner 1998, S. 61f.

<sup>229</sup> Vgl. Luhmann 1994, S. 66.

<sup>230</sup> Ebda., S. 46.

Definition aus dem viel zitierten Artikel „The Architecture of Complexity“ von SIMON, der Komplexität nur in der großen Anzahl von Teilen und Relationen sieht: „...by a complex system I mean one made up of a large number of parts that have many interactions“.<sup>231</sup> Neuere Arbeiten differenzieren den Begriff Komplexität wesentlich detaillierter. ULRICH und PROBST beschreiben Komplexität durch die Dimensionen Vielzahl/Vielfalt und Veränderlichkeit/Dynamik.

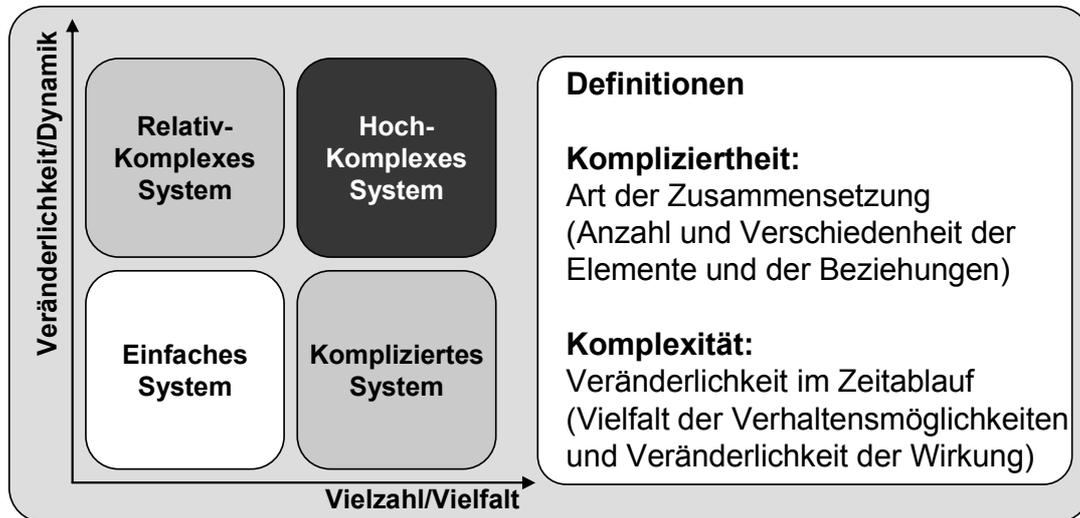


Abbildung 2-28: Systeme nach Vielfalt und Dynamik<sup>232</sup>

ULRICH und PROBST sehen in der Komplexität ein Maß für die Dynamik (Veränderlichkeit) der Elemente und der Wirkungsverläufe zwischen den Elementen eines Systems und seiner Veränderlichkeit im Zeitablauf bzw. der Vielfalt seiner Verhaltensmöglichkeiten.<sup>233</sup> Komplexe Systeme weisen darüber hinaus eine Eigendynamik auf, die Struktur ist nicht nur kompliziert, sondern der innere Zustand verändert sich auch permanent.

Zur Strukturierung des weiteren Umgangs mit dem Begriff Komplexität können nach LUDWIG fünf Merkmale von Komplexität auf verschiedenen Ebenen unterschieden werden:<sup>234</sup>

- **Vernetztheit:** In komplexen Systemen hängt alles mit allem zusammen. Jede Variable beeinflusst eine Vielzahl anderer Variablen und wird von ebenso vielen beeinflusst.
- **Eigendynamik:** Ein System verändert sich selbständig, auch ohne externe Ursachen.

<sup>231</sup> Vgl. Simon 1994, S. 183f.

<sup>232</sup> Ebda., S. 61.

<sup>233</sup> Vgl. Ulrich 1988, S. 60f.

<sup>234</sup> Vgl. Wegehaupt 2004, S. 39, angelehnt an Ludwig 2000, S. 23.

- **Intransparenz durch Unübersichtlichkeit:** Zu viele Variablen bestimmen den Systemzustand, sodass eine gleichzeitige Erfassung aller nicht möglich ist.
- **Intransparenz durch Unvollständigkeit:** Viele Verknüpfungen und Eigenschaften eines Systems sind kaum oder gar nicht sichtbar.
- **Ungenauigkeit, Vagheit und Unschärfe:** Viele sichtbaren Verknüpfungen und Eigenschaften von Variablen sind nicht eindeutig bestimmbar.

Zusätzlich zu den fünf Elementen der Komplexitätsdefinition von ULRICH ist die Vielzieligkeit ein weiteres entscheidendes Maß komplexer Entscheidungsprobleme.

- **Polytelie** (Vielzieligkeit) der Entscheidungssituation: In einer komplexen Situation gibt es meistens nicht nur ein Ziel, sondern mehrere, unter Umständen sogar sich widersprechende Ziele.<sup>235</sup>

Diese Unterscheidung zwischen Kompliziertheit und Komplexität findet sich auch bei FOERSTER wieder; er sieht hier den Unterschied zwischen der Kybernetik erster Ordnung für triviale Maschinen und zweiter Ordnung für nicht-triviale Maschinen. Den Begriff „Maschine“ versteht FOERSTER nicht im Sinne einer Anordnung von Zahnrädern, Knöpfen und Hebeln, sondern als die Summe definierter funktionaler Eigenschaften einer abstrakten Einheit. Die so genannten „trivialen“ Maschinen verändern ihren operationellen Eigenzustand nicht, d. h. sie realisieren immer die gleiche Funktion. Die so genannten „nicht-trivialen“ Maschinen verändern ihren operationellen Eigenzustand, d. h. sie realisieren verschiedene Funktionen in Abhängigkeit ihrer Geschichte und Wahrnehmung.<sup>236</sup>

#### 2.4.1.2 Kybernetik – die Wissenschaft zur Steuerung komplexer Systeme

ULRICH und PROBST gehen sogar davon aus, dass hochkomplexe Systeme ihre Konfiguration so fundamental verändern, dass sich ihre Wirkung nicht mehr so einfach prognostizieren lässt. Sie weisen derart viele mögliche Systemzustände auf, dass eine sichere Voraussage ihrer Funktion schließlich unmöglich bleibt.<sup>237</sup>

In dem Bestreben der Kybernetik, hochkomplexe Systeme trotz ihrer Widrigkeiten zu steuern, liegt der Ursprung dessen, was wir heute als Systemtheorie bezeichnen. Die Anfänge der Systemtheorie gehen auf das Buch „Cybernetics – or control and communication in the animal and the machine“ des Mathematikers WIENER von 1948 zurück, der mit diesem Werk auch den Begriff der Kybernetik prägte.<sup>238</sup>

---

<sup>235</sup> Funke 1992, S. 6.

<sup>236</sup> Foerster 1993, S. 126-160.

<sup>237</sup> Vgl. Ulrich 1988, S. 62f.

<sup>238</sup> Vgl. Wiener 1948.

Der Begriff „Kybernetik“ stammt aus dem Altgriechischen und bedeutet so viel wie Steuermannskunst. Die ersten systemtheoretischen Betrachtungen entstanden aus dem Versuch, Selbststeuerungsvorgänge in der Natur zu beschreiben. Die Grundlagen wurden maßgeblich durch BERTALANFFY gelegt. Er entwickelte eine Theorie der Selbstregulierungsfähigkeit offener biologischer Systeme und strebte durch deren Verallgemeinerung die Allgemeine Systemtheorie an.<sup>239</sup>

Komplexität entsteht dann, wenn ein Systemverhalten vorausgeplant werden soll. Biologische Systeme, die selbst nicht planen, wie z.B. Organismen entwickeln sich durch eine Komplexitätsbewältigung ex post – reaktiv ohne zielgerichtete Steuerung –, während Systeme mit einem zielorientierten Verhalten eine Bewältigung ex ante betreiben.<sup>240</sup> Wie können sich Systeme in der Natur ohne zu planen so perfekt anpassen? Es scheint, als sei die Natur Meister im Umgang mit Komplexität, und dies ohne zielgerichtete Planung.

Der Schlüssel hierzu ist die eigene Vielfalt, die sich in der Natur widerspiegelt. Dies hat DARWIN in der Evolutionstheorie begründet. Er hat beobachtet, dass jede Art über eine Variationsbreite ihrer Individuen verfügt und allein die individuelle Variation Veränderungen und somit Evolution erst ermöglicht.<sup>241</sup> Die Steuerung erfolgt durch die Rückkopplung der Systemumwelt, die schließlich zur Selektion führt. Der Erfolg der nicht zielgerichteten Steuerung liegt in der Varietät.<sup>242</sup> Im Umkehrschluss gilt aber auch: Wo Vielfalt reduziert wird, wird Entwicklung unterbunden.

WIENER identifiziert die Rückkopplung als zentrales Element der Steuerung komplexer Systeme. Über diesen Mechanismus nimmt das System Informationen auf, die für die Kontrollfunktion unerlässlich sind. WIENER geht davon aus, dass die Steuerung komplexer elektrischer oder mechanischer Systeme nur durch Rückkopplung möglich ist. Hierzu muss das System aus dem bisherigen Erfolg oder Misserfolg lernen. WIENER analysiert mit kybernetischem Instrumentarium auch das Lernen von Menschen und Tieren; er sieht die Rückkopplung eng mit dem Wunsch verbunden, ein bestimmtes Ziel zu erreichen, und spannt damit die Brücke zum allgemeinen willensgesteuerten Handeln.<sup>243</sup> Gleichzeitig entwickelt er Grundgedanken zu lernenden Maschinen, indem er Thesen über die Funktion der Rückkopplung in Systemen aufstellt:

---

<sup>239</sup> Vgl. Bertalanffy 1951.

<sup>240</sup> Vgl. Wegehaupt 2004, S. 41.

<sup>241</sup> Vgl. Darwin 1884, S. 10f.

<sup>242</sup> Carl von Linné prägte den Begriff der Varietät als jede Abweichung vom durchschnittlichen Arttypus.

<sup>243</sup> Vgl. Wiener 1948, S. 19.

- Sie liefern Informationen über die Folgen einer Reaktion und ihren wesentlichen Merkmalen, z.B. im Hinblick auf Raum, Zeit, Richtung und Intensität.
- Sie sorgen für positive oder negative Verstärkung, je nachdem, ob die Reaktion angemessen war oder nicht.
- Sie vermitteln die Motivation zur Fortführung einer Handlung, indem sie dazu beitragen, das eigene Verhalten vorhersagbar und damit steuerbar zu machen.

Aus diesen Erkenntnissen lassen sich vier aufeinander aufbauende Gegenstandsstrukturen der Kybernetik ableiten, die für alle Systeme gelten:

1. Messung, Codierung und Übertragung von Information
2. Algorithmen und Systeme der Informationsverarbeitung
3. zielgerichtete Umweltlenkung (speziell: Regelung)
4. Zielverfolgung im Einflussbereich anderer Subjekte.<sup>244</sup>

Auf Basis dieser Arbeit hat die Kybernetik auch Einzug in die Organisationstheorie und Betriebswirtschaft gehalten. BEER übertrug die Ansätze der Kybernetik auf die Unternehmensführung. Doch bleibt die Antwort, wie man komplexe Systeme konkret steuern und beherrschen kann, vage. Der Soziologe BAECKER – ein Schüler LUHMANN – bringt es auf den Punkt:

*„Man kann nicht steuern, sondern nur kitzeln. Man versucht, Rahmen oder Impulse zu setzen, damit das System etwas damit tut. Man kann nicht vorhersehen, was das System macht, aber darauf setzen, dass es irgend etwas macht. Sie müssen Ihren Steuerungs-begriff aufgeben und die Hoffnung, das System komplett zu verstehen. Aber wenn eine Interaktion etwas bewirkt, können Sie versuchen, etwas daraus zu lernen.“<sup>245</sup>*

Die größte Errungenschaft der Kybernetik liegt darin, dass Grundprinzipien der Regelung und Steuerung gefunden wurden, die auf alle Systeme zutreffen. Diese Prinzipien der Kybernetik gelten in organischen, elektronischen, technischen sowie in Sozial- und Wirtschaftssystemen.<sup>246</sup> Durch diese Erkenntnisse wurde die Grundlage

---

<sup>244</sup> Definition der Gesellschaft für Kybernetik vom Symposium im Wien vom 8. Juni 1999. Dabei kann Verarbeitung und raumzeitliche Übertragung von Information in und zwischen Subjekten (Anthropokybernetik) oder auf der biologischen Ebene (Biokybernetik) oder auch in Maschinen (Konstruktkybernetik) erfolgen, aber auch als vom Seinsbereich unabhängige Struktur betrachtet werden (allgemeine Kybernetik). In allen diesen vier Bereichen führt die Analyse auf vier aufeinander aufbauende Gegenstandsstrukturen.

<sup>245</sup> Zitat von Dirk Baecker, zitiert nach Brandeins 2006, S. 115.

<sup>246</sup> Vgl. Beer 1973, S. 18.

einer Inter- und Multidisziplinarität der wissenschaftlichen Betrachtungs- und Vorgehensweisen gelegt, die einer allgemeinen Theorie über Systeme und Modelle mit allgemeinem Geltungsanspruch den Weg bereitete.<sup>247</sup>

### 2.4.1.3 Umgang mit Komplexität

Für Individuen und Unternehmen führt Komplexität zu Entscheidungsdruck und Entscheidungsproblemen. Doch gleichzeitig stellt Komplexität die Chance unternehmerischer Betätigung dar, indem durch zielgerichtete erfolgreiche Ausdifferenzierung des Systems die Komplexität für die Umwelt zunimmt; aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist dies Wettbewerbsfähigkeit. Im Umgang mit Komplexität gibt es viele Ansätze; bedeutend im deutschsprachigen Raum sind die der St. Gallener und der Münchner Schule.<sup>248</sup> Im Kern gehen alle Ansätze davon aus, dass sich Komplexität nicht aufheben oder schlicht reduzieren lässt, Komplexität „an sich“ entzieht sich der Beherrschung radikal. Ziel dieser Ansätze ist, erfolgreiche Handlungsstrategien im Umgang mit Komplexität zu entwickeln. Die Grundzüge aller Ansätze liegen in der Triade der Hegel'schen Dialektik begründet:

**These (Bewahrung):** Die Komplexität eines Systems muss bewahrt werden, sonst resultieren keine angemessenen Lösungen.

**Antithese (Negation):** Der Umgang mit Systemen erfordert eine Komplexitätsreduktion. Die Modellbildung stellt eine Negation der Komplexität dar, da sie Aufbau und Ablauf der Aufgabenbewältigung wenigstens grundsätzlich festlegt, wodurch die Komplexität der Aufgabenbewältigung durch den Menschen in eine Interaktionskomplexität transformiert wird.

**Synthese (Emporhebung):** Bei der Nutzung von Modellen erfolgt stets (irgend-) eine Synthese. Sie bleibt eine Leistung des Menschen.

### 2.4.1.4 Bedeutung von Flexibilität

Aus Sicht eines Beobachters lässt sich zielorientierte Planung in komplexen Situationen wie folgt trefflich beschreiben: Es kommt immer noch etwas nach, es gibt niemals den Punkt, an dem man alles verstanden hat und das System vollständig beschreiben kann – es wird immer Überraschungen geben. Diese Regel ist alt,

---

<sup>247</sup> Vgl. Stachowiak 1983, S. 113.

<sup>248</sup> Die St. Gallener Schule geht auf Arbeiten von Malik und Probst zurück, die im Konzept der spontanen Ordnung von Hayek gründen. Die Münchner Schule gründet sich auf die Arbeiten von Kirsch, der in einer enormen intellektuellen Leistung den Ansatz der modernen Systemtheorie von Luhmann mit Habermas' Theorie kommunikativen Handelns auf die betriebswirtschaftliche Führungslehre überträgt.

einfach zu verstehen<sup>249</sup> – und doch schwer auf den von Kontrolle dominierten Unternehmensprozess zu übertragen.

Als Helmut SCHMIDT einmal gefragt wurde, wie er es geschafft hat, in komplexen politischen Situationen die richtigen Entscheidungen zu treffen, hat er folgendes geantwortet:

*„Mit Entscheidungen in komplexen Situationen verhält es sich wie in einer guten Ehe, 50 Prozent muss funktionieren, der Rest ist Flow“<sup>250</sup>.*

Man kann über diese Aussage schmunzeln, doch trifft sie den Kern im Umgang mit Komplexität: Man kann nicht alles kontrollieren, sondern muss sich im System zum Teil auch treiben lassen - man benötigt schlichtweg Flexibilität.

Der Begriff Flexibilität ist hier die adaptive Antwort auf den Umgang mit Unsicherheiten. Dabei wird Flexibilität als eine System- und Elementeigenschaft verstanden, die für die Komplexitätsbewältigung erforderlich ist. Demnach sind Komplexität und Flexibilität zwei eng miteinander verwobene Betrachtungsfelder der Systemgestaltung. Flexibilität ist das Maß an Eigenkomplexität einer Organisation, das innere Freiheitsgrade im Umgang mit äußerer Komplexität schafft.<sup>251</sup> Damit induziert der Begriff Flexibilität ein Maß an Reaktionsfähigkeit, das es erlaubt, von einem vordefinierten Muster abzuweichen und ein angestrebtes Ziel dennoch zu erreichen.

#### **2.4.1.5 Die Theorie der Wissenschaft**

Durch die Systemtheorie wurde eine übergreifende interdisziplinäre Wissenschaft begründet. Dadurch nimmt sie eine zentrale Rolle auch in der Wissenschaftstheorie ein. Diese beschäftigt sich mit den Voraussetzungen, Methoden und Zielen von Wissenschaft und ihrer Prinzipien und Formen der Erkenntnisgewinnung. Ihre Methodik wurde maßgeblich durch die Arbeit „Die Logik der Forschung“ von POPPER geprägt. Kernziel der Wissenschaftstheorie ist es, die Grundlagen guter Wissenschaft zu beschreiben. In der Wissenschaftstheorie ist die Systemtheorie eine Meta-Theorie anderer Wissenschaftsbereiche; sie bietet ein transdisziplinäres Regelwerk für fachspezifische Wissenschaftsdisziplinen.

Die Wissenschaft selbst ist ergebnisoffen, denn sie selbst verschiebt ihre Grenzen durch den eigenen Fortschritt, hinter dessen Grenze nur Vermutung, aber kein Wissen existiert. Um Vermutungen zu äußern, braucht man pragmatische

---

<sup>249</sup> Vgl. Brandeins 2006, S. 46.

<sup>250</sup> Zitat vom deutschen Altkanzler Helmut Schmidt aus einem Interview.

<sup>251</sup> Vgl. Wegehaupt 2004, S. 44ff.

Situationsmodelle; diese wiederum erfordern eine völlig andere Ordnung des Wissens, die sich jenseits der Disziplinen aufspannt: Pragmatische Situationsmodelle erfordern Transdisziplinen. Sie grenzen ihre Fragestellungen in anderer Weise als Disziplinen ab - sie haben mit anderen Worten ein ganz anderes Selbstverständnis.

KUHN hat das Selbstverständnis einer Einzeldisziplin ihr Paradigma genannt und zählt dazu:

- Definition der Probleme
- Sprache und Begrifflichkeit
- Denkmodelle
- Methoden
- Qualitätskriterien.<sup>252</sup>

Diese Aspekte eines Wissenschaftsparadigmas ergänzen sich mit den Forschungszielen der transdisziplinären Systemwissenschaften. Diese eruieren

- nicht nur die Aussagen, Methoden und Theorien einzelner Disziplinen, sondern auch gemeinsame Probleme und Strukturen
- die wissenschaftlichen Erkenntnis-, Denk-, und Forschungsprozesse nicht nur in ihren linguistischen, sondern auch in den oben erwähnten anderen Aspekten
- die Wirkungen des wissenschaftlichen Handelns, der Wissensproduktion, -organisation und -vermittlung in Bezug auf die Umwelt.

## 2.4.2 Einteilung von Systemen

Nachdem im Kapitel zuvor die grundlegenden Eigenschaften von Systemen erläutert wurden, werden im Folgenden Klassifikationskriterien zur Einordnung von Systemen dargelegt.<sup>253</sup>

- natürlich – künstlich: Natürliche Systeme entstehen ohne menschliches Zutun (z.B. Lebewesen), künstliche sind vom Menschen geschaffen (z.B. Maschinen). Gemischte Systeme, die sowohl natürliche als auch künstliche Elemente enthalten, werden auch als sozio-technische Systeme bezeichnet (z.B. Unternehmen)
- materiell – immateriell: Bei materiellen Systemen sind die Elemente verkörpert, bei immateriellen nicht

---

<sup>252</sup> Vgl. Ropohl 2005, S. 26, Kuhn 1976, S. 186ff.

<sup>253</sup> Vgl. Rupprecht 2002, S. 10f.

- real – ideell: Reale Systeme sind beobachtbar und ihre Elemente und Elementbeziehungen sind zumindest teilweise gegenständlicher Art (z.B. Verkehrswege); ideelle Systeme existieren hingegen nur als Idee (z.B. das Periodensystem der chemischen Elemente)
- offen – geschlossen: In einem offenen System bestehen Beziehungen zur Umwelt außerhalb des Systems oder zu einem anderen System; bei geschlossenen Systemen gibt es keine Beziehungen über die Systemgrenzen hinweg (z.B. idealtypischer Brennvorgang in einer Glühlampe); geschlossene Systeme sind allerdings nicht abgeschlossen, es kann Energie über die Systemgrenze austauschen, jedoch keine Materie
- deterministisch – stochastisch: Ist das Verhalten eines Systems bezüglich des gegenseitigen Einwirkens der Elemente voraussagbar, so wird es als deterministisches System bezeichnet (z.B. einfache Maschinen). Bei stochastischen (probabilistischen) Systemen kann das Verhalten nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit vorhergesagt werden
- statisch - dynamisch: Im Gegensatz zu dynamischen Systemen unterliegen bei statischen Systemen die Elemente und Beziehungen keinen Veränderungen.

### 2.4.3 Entwicklung der Systemtheorie

Die Systemtheorie ist, wie zuvor schon aufgezeigt, ein umfassender Wissenschaftsbereich mit unterschiedlichen Ausrichtungen und Auswirkungen auf nahezu alle Wissenschaftsdisziplinen. Einen vollständigen Überblick über die Systemtheorie zu geben, würde den Rahmen sprengen. In den folgenden Kapiteln werden die wichtigsten, für den Kontext dieser Arbeit relevanten Erkenntnisse dargelegt. Gegenstand der Systemtheorie ist die abstrakte Auseinandersetzung sowie die Ableitung formalisierbarer Eigenschaften von Systemen.

Die elementarste Betrachtung der Systemtheorie ist die der Black-Box. Durch sie wird ein System von der Umwelt abgegrenzt und es werden nur die Transformationseigenschaften der In- und Output-Beziehung des Systems betrachtet. Die Transformationsmöglichkeiten des Systems sind seine Funktionen.

Die ersten systemtheoretischen Ansätze gingen davon aus, dass sich Systeme durch die schlichte Zergliederung in einzelne Teilelemente beschreiben lassen. Doch werden durch diesen Ansatz Emergenzeffekte des Systems eliminiert, d. h. die Eigenschaften werden vernachlässigt, die erst durch das Zusammenwirken der miteinander verbundenen Teilelemente eines Systems entstehen. Umso stärker die Ausprägung der Emergenz ist, umso geringer wird die Aussagefähigkeit einer Systembeschreibung auf Basis reduktionistischer Ansätze. Gerade komplexe

Systeme weisen eine Vielzahl von Eigenschaften und Beziehungen auf, die sich nicht in den einzelnen Elementen finden lassen.

Die reduktionistischen Ansätze sind aus der Technik erwachsen. Sie haben sich mit dem Durchbruch des logisch-naturwissenschaftlichen Weltbilds durchgesetzt, in dem die Erklär- und Reproduzierbarkeit eines Phänomens zum Paradigma geworden ist. Das System wird vom Beobachter als unabhängig angesehen und die Annahmen basieren auf linear-kausalen Zusammenhängen. Hieraus folgt die klassische Leitdifferenz der Systemtheorie mit den Prinzipien „Abstraktion“ und „Reduktion“.<sup>254</sup>

Der Biologe BERTALANFFY zeigte in seinen Arbeiten auf, dass linear- und monokausale Betrachtungsweisen und lineare Beziehungen die zentralen Zusammenhänge in komplexen Systemen jedoch nicht erfassen können. Dabei zweifelte er aber nicht das Kausalprinzip als solches an.

Die neueren Ansätze ergänzen das ingenieurmäßig technische Weltbild, indem sie den Beobachter Teil des Systems werden lassen. Der Grundsatz der vollständigen Erklärbarkeit fällt, System und Umwelt werden zur neuen Leitdifferenz.<sup>255</sup>

Mit diesen Erkenntnissen wird die anfängliche Annahme von geschlossenen Systemen durch prinzipiell offene ersetzt. Daraus folgt die moderne Theorie autopoietischer (selbstreferenzieller) Systeme mit der Leitdifferenz von Identität und Differenz.<sup>256</sup>

Diese Annahme ist sehr weit reichend; So sagt sie aus, dass Differenz durch Kommunikation geschieht. Jede Unterscheidung muss in die Welt eingeführt werden. Es gibt somit keine feste Welt, die unabhängig von einem Beobachter ist, es existiert nur das, was ein Beobachter differenzieren kann.

#### **2.4.3.1 Systemtheorie sozialer Systeme**

LUHMANN vereinte die Anfänge der Systemtheorie zur umfassenden Systemtheorie der sozialen Systeme. Sein Werk wird heute wie damals kontrovers diskutiert, so hat HABERMAS einmal gesagt: „*Alles falsch, aber auf höchstem Niveau*“<sup>257</sup>; LUHMANN'S Werk stellt jedoch eines der zentralen Schlüsselwerke der modernen Systemtheorie dar. Er knüpft an die Arbeiten der Biologen MATURANA und VARELA an, die in den 1970er-Jahren eine bis heute maßgebende kybernetische Theorie entwickelten<sup>258</sup>. Sie bauten ihre Untersuchungen auf biologischen Systemen auf und prägten den

---

<sup>254</sup> Luhmann 1994, S. 19ff.

<sup>255</sup> Ebda., S. 22ff.

<sup>256</sup> Ebda., S. 25ff.

<sup>257</sup> Radio Bremen 2002.

<sup>258</sup> Siehe Maturana 1990.

Begriff der Autopoiesis<sup>259</sup> und der Selbstreferentialität. Autopoietische Systeme schaffen und erhalten sich selbst, somit ist die Autopoiesis das charakteristische Organisationsmerkmal von Lebewesen bzw. lebenden Systemen. Selbstreferentialität bezeichnet die Fähigkeit jedes lebendigen Systems, einen Bezug zu sich selbst in Abgrenzung zur Umwelt herzustellen.

Auf Basis von Erkenntnissen der Neurowissenschaften nimmt LUHMANN das Nervensystem als geschlossenes System an. Er begründet hierdurch den operativen Konstruktivismus, in dem er davon ausgeht, dass die Realität nur durch kognitive Operationen entsteht.<sup>260</sup> Dies bedeutet, dass jede Person die Welt anders sieht, da die Umwelt nur Anstoß für die eigene Modellbildung ist. Er negiert mit dieser Annahme nicht die Existenz einer Realität an sich, LUHMANN geht lediglich davon aus, dass es keine andere Möglichkeit gibt, als Realität zu konstruieren und Beobachter zu beobachten, wie sie Realität konstruieren. Jede Theorie, jedes Modell stellt eine Konstruktion dar und sonst nichts. Er geht weiter davon aus, dass Information nur innerhalb eines geschlossenen Systems Gültigkeit besitzt und nicht in ein anderes System übertragen werden kann. Dieses Kontrollproblem der Kommunikation bezeichnet er als „doppelte Kontingenz“ (doppelte Unberechenbarkeit).

Den Begriff der doppelten Kontingenz greift LUHMANN aus der Handlungstheorie von PARSON auf. Die einfachste Form eines sozialen Systems besteht aus zwei Akteuren, Ego und Alter. Wenn diese zusammentreffen, kommt es zu sozialem Handeln. Hierbei entsteht das Problem einer wechselseitigen Unsicherheit über die Erwartungen des jeweils anderen: Wenn Alter sein Verhalten davon abhängig macht, wie Ego handelt und Ego wiederum sein Verhalten an Alter anschließen will. Der reine, nicht weiter elaborierte Zirkel selbstreferentieller Bestimmung macht Handeln unbestimmbar.<sup>261</sup> Indem Ego und Alter sich jeweils aufeinander bezogen verhalten, grenzen sie sich gegenseitig ein. Beide sagen nicht mehr, was sie alles sagen könnten, sondern nur noch, was zum bereits Gesagten passt. Hierdurch reduziert sich die Kontingenz und es entsteht Ordnung.<sup>262</sup> LUHMANN erweitert den Begriff der doppelten Kontingenz auf System und Umwelt. Das erfolgreiche Verhalten einer Person hängt somit nicht nur davon ab, was die Person in Bezug auf eine bestimmte

---

<sup>259</sup> Altgriech; auto ‚selbst‘ und poiesis ‚schaffen‘.

<sup>260</sup> Vgl. Luhmann 1996, S. 17f.

<sup>261</sup> Vgl. Parsons 1951, S. 15f.

<sup>262</sup> Luhmann beschreibt dies mit einem Satz: Ich tue, was du willst, wenn du tust, was ich will. (Luhmann 1984, S. 166).

äußere Bedingung tut, sondern auch vom Verhalten der Umwelt, das Verhalten ist doppelt kontingent.

LUHMANN sieht die Lösung des zielgerichteten Umgangs mit Komplexität im Prinzip der „Ordnung aus Chaos“. Die Ordnung entsteht aus einer Anzahl von vielen Handlungsmöglichkeiten und Beziehungen in einer komplexen Welt. Für LUHMANN ist die doppelte Kontingenz Teil des Chaos und Teil der Ordnung zugleich.<sup>263</sup> Dies bedeutet jedoch, dass entgegen den Methoden der Naturwissenschaften aus sozialen Systemen keine klaren isolierbaren Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge ableitbar sind.<sup>264</sup> Dieses Prinzip „Ordnung aus Chaos“ beschreibt LUHMANN mit dem angemessenen Verhältnis von Komplexität und Transparenz.<sup>265</sup>

### 2.4.3.2 Systemtheorie der Technik

Aufbauend auf der allgemeinen Systemtheorie entwickelt ROPOHL in den 1970er Jahren eine Systemtheorie der Technik. Die Charakteristik der Systemtheorie besteht darin, dass sie fachübergreifend ist und ein interdisziplinäres Integrationspotenzial aufweist. Da die Technik selbst interdisziplinär ist, sieht ROPOHL große Chancen, mit der Systemtheorie soziotechnische Systeme zu beschreiben. Hierzu schlägt ROPOHL drei Teilsysteme der Technikgenese vor:

**Handlungssystem:** Ist ein System, das eine Ausgangssituation in eine Endsituation überführt. Dabei transformiert es Information, Energie und Materie. Es bildet die Zusammenführung von Menschen und Artefakten.

**Objektsystem:** Das Objektsystem ist ein Teilsystem des Handlungssystems und transformiert lediglich Energie und Materie.

**Zielsystem:** Die Koordination erfolgt über ein zieldefinierendes System, welches die Regeln der Kommunikation bestimmt.<sup>266</sup>

ROPOHL entwickelt auf Basis dieser drei Systeme eine Systemtheorie der Technik. Auf der Grundlage des mathematischen Modellbegriffs von STACHOWIAK beschreibt ROPOHL ein System S als ein Quadrupel aus den Mengen  $\alpha$ ,  $\varphi$ ,  $\sigma$  und  $\pi$ . Dabei ist  $\alpha$  eine Menge von Attributen  $A_i$ ,  $\varphi$  eine Menge von Funktionen  $F_j$ ,  $\sigma$  eine Menge von Subsystemen  $S'_k$  und  $\pi$  eine Menge von Relationen  $P_m$ , welche die Struktur eines Systems darstellen. Die ersten beiden Mengen  $\alpha$  und  $\varphi$  repräsentieren die äußeren Eigenschaften eines Systems und dessen Funktionen, welche die

---

<sup>263</sup> Ebda., S. 159.

<sup>264</sup> Vgl. Lembke 2001, S. 22.

<sup>265</sup> Vgl. Luhmann 1984, S.9.

<sup>266</sup> Vgl. Ropohl 1979, S. 32ff.

Beziehungen zwischen den Attributen darstellen. Die beiden Mengen  $\sigma$  und  $\pi$  sind die „inneren“ Bestandteile eines Systems, wobei die Subsysteme über Beziehungen – den Relationen – miteinander verbunden sind.

$$S = (\alpha, \varphi, \sigma, \pi) \text{ mit } \alpha = \{A_i\}, \varphi = \{F_j\}, \sigma = \{S'_k\}, \pi = \{P_m\}$$

und  $i \in I, j \in J, k \in K, m \in M$  ( $I, J, K, M \sim \mathbb{N}$ )

Mit dem Begriff Handlungssystem greift ROPOHL auf den Handlungsbegriff KEMPSKIS zurück: „*Handeln ist die Transformation einer Situation in eine andere. Diese Umformung einer Situation folgt einer Maxime und im idealen Falle derart, dass mit der Ausgangssituation und der Maxime des Handelnden die Endsituation festgelegt ist.*“<sup>267</sup> In der von KEMPSKI eingeführten Definition des Handelns wird der Begriff Situation verwendet. Unter Situation versteht ROPOHL das Handlungssystem selbst und seine Umgebung. Die Funktionen des Handlungssystems beschreiben die Veränderung der Umgebung und des eigenen Zustands. Um dies zu erreichen, plant das Handlungssystem sein Vorgehen und handelt dementsprechend. Nach Abschluss seiner Handlungen überprüft es, ob das Ergebnis mit den gesetzten Zielen übereinstimmt. Ist dies der Fall, ist der Handlungsablauf abgeschlossen, wenn nicht, wird eine Rückkopplung eingeleitet bis die selbst gesetzte Ziele erfüllt sind.

Bei der Definition des Begriffes „Ziel“ stützt sich ROPOHL auf den VDI-Ausschuss Technikbewertung, welcher den Begriff wie folgt definiert:

*„Ein Ziel ist ein als möglich vorgestellter Sachverhalt, dessen Verwirklichung erstrebt wird. Sachverhalte sind beispielsweise Zustände, Gegenstände, Handlungen, Prozesse, Beziehungen. Wenn der Zielcharakter eines angesprochenen Sachverhaltes aus dem Zusammenhang eindeutig ersichtlich ist, genügt häufig schon die Kennzeichnung des Sachverhaltes.“*<sup>268</sup>

ROPOHL erweitert diese Definition, indem er den Begriff „Ziel“ zum Oberbegriff für jeden endgültigen Entwurf möglicher Sachverhalte oder Klassen von Sachverhalten erklärt. Im Gegensatz zu den bisher eingeführten Systemen sind Ziele keine realen Gegenstände oder aktive Instanzen. Das Zielsystem ist eine rein abstrakte, strukturelle Form. Ziele können nur als sprachliche Formulierungen von Vorstellungen in einem Handlungssystem vorkommen.<sup>269</sup>

Das Sachsystem sieht ROPOHL als Artefakt, als Transformationsergebnis des Zielsystems durch das Handlungssystem. Aus ROPOHLS Sicht fehlt aber ein universelles Beschreibungsmodell für Artefakte, um die Technik selbst in einem Modell abzubilden. ROPOHL fordert eine allgemeine Systemtheorie der Artefakte,

<sup>267</sup> Vgl. Kempfski 1964, S. 297ff.

<sup>268</sup> Ropohl 1978, S. 197, die Richtlinie erschien 1991 im 'Weißdruck' als VDI-Richtlinie 3780.

<sup>269</sup> Vgl. Ropohl 1999, S. 152.

doch hält er selbst diese Theorie für nicht umsetzbar.<sup>270</sup> Eine Systemtheorie der Artefakte, auf deren Basis beliebige technische Systeme beschrieben werden können, wurde erst durch das C&CM von ALBERS und MATTHIESEN geschaffen. In Kombination dieser Modelle und auf dem Fundament der allgemeinen System- und Modelltheorie ist die Grundlage eines Modells der Produktentstehung mit umfassendem Geltungsanspruch geschaffen worden. Die drei Systeme – Ziel-, Handlungs- und Objektsystem – können nach ROPOHL unterschiedliche Strukturen aufweisen. Hierzu entwickelt ROPOHL drei Systemdarstellungen auf Basis der Black Box und der Transformationseigenschaften des Systems durch seine innere Beschaffenheit: Systeme können entweder durch ein funktionales, ein hierarchisches oder durch ein struktureles Systemkonzept beschrieben werden.

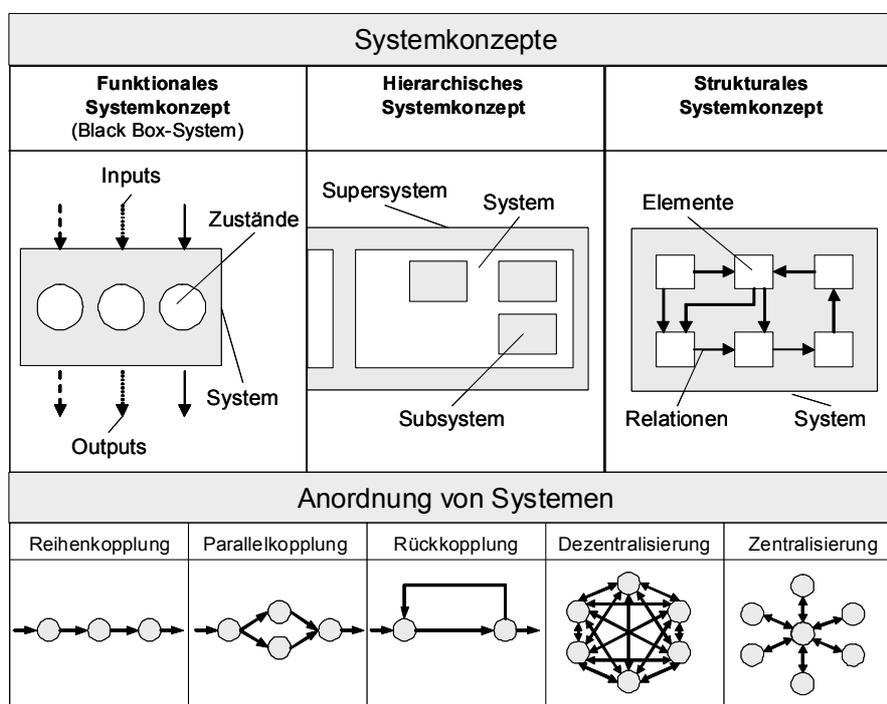


Abbildung 2-29: Systemkonzepte und Anordnung von Systemen <sup>271</sup>

#### 2.4.4 Systemansätze in der Konstruktionsmethodik

Die Systemtheorie hat im Laufe der Zeit einen steten Einfluss auf die Konstruktionsmethodik genommen. Durch die Impulse aus der Systemtheorie sind eine Vielzahl systemtechnischer Methoden entstanden. Doch im Wesentlichen sind diese auf der Ebene von systemtheoretischen Teilbetrachtungen oder systemtechnischen Methoden stehen geblieben. Es gibt kaum Ansätze, die die Systemtheorie konsequent als Ganzes auf die Produktentstehung übertragen.

<sup>270</sup> Vgl. Ropohl 1979, S 96-97.

<sup>271</sup> Ropohl 1999, S. 75-77.

Lediglich der Ansatz von ROPOHOL, das ZOPH-Modell<sup>272</sup> und das iPeM mit dem Karlsruher Verständnis für Produktentstehung von ALBERS<sup>273</sup> integrieren Umwelt, Mensch und Organisation zu einem ganzheitlichen Systemansatz der Produktentwicklung.

Auch EHRENSPIEL greift in seiner „Integrierten Produktentwicklung“ systemtheoretische Ansätze auf, doch werden auch von ihm die sozialen Systemelemente nicht konsequent umgesetzt. Die systemtheoretischen Elemente sind nur theoretische Randbetrachtungen und haben auf den Konstruktionsprozess nur sehr geringen Einfluss.

Mit der Verwissenschaftlichung der Ingenieurdisziplin wurde verstärkt an systematischen, methodischen Vorgehensweisen gearbeitet, um spezifizierte Anforderungen in konkrete Lösungen umzusetzen.<sup>274</sup> Die Ingenieurwissenschaft bedient sich hier der analytischen Herangehensweise im Problemlösungsprozess und nutzt die Systemtheorie für die gedankliche Modellbildung zur Synthese von Lösungen.<sup>275</sup> Ausgangspunkt des methodischen Problemlösens ist die Problemformulierung und damit die Definition von Zielen und Randbedingungen, die später für die Entscheidungsfindung herangezogen werden. Analog der hierarchischen Systemanalyse wird dazu das Gesamtproblem in Teil- und Einzelprobleme zergliedert. An dieser Stelle ist der Einsatz der Systemtheorie sehr erfolgreich, da sie durch die formale, abstrakte Terminologie ein allgemein verwendbares Fundament für die Analyse darstellt.<sup>276</sup>

HUBKA beschreibt die Konstruktionsmethodik als Identifikation geeigneter Mittel für den Konstruktionsprozess und als Tätigkeit, in der durch einen kreativen Akt technische Probleme gelöst werden.<sup>277</sup> ROTH sieht den Ausgangspunkt vieler Problemlösungen in der Abstraktion bewährter Lösungen und der Variation bewährter Effekte zur Identifikation substanziiell neuer Lösungen.<sup>278</sup> Bei überschaubaren Problemen kann der erfahrene Ingenieur dabei intuitiv Lösungen finden. Komplexe Probleme besitzen jedoch eine Vielzahl unterschiedlicher Anforderungen,

---

<sup>272</sup> Systemtechnischer Ansatz in der Produktentwicklung: Ziel-, Objekt-, Prozess- und Handlungssystem.

<sup>273</sup> Albers 2007a.

<sup>274</sup> Vgl. Rodenacker 1994, S. 1.

<sup>275</sup> Vgl. Ehrlenspiel 1995, S. 77 und VDI-Richtlinie 2221, S. 3.

<sup>276</sup> Vgl. Ropohl 1999, S. 88.

<sup>277</sup> Vgl. Hubka 1992, S. 3.

<sup>278</sup> Vgl. Roth 1994, S. 2.

deren einzelne Synthese und Bewertung kaum mehr rein mental bewältigt werden kann.<sup>279</sup>

Die Ingenieurwissenschaften beschäftigen sich in erster Linie mit Sach- oder Objektsystemen. Diese sind ganz allgemein – für die Erfüllung bestimmter Zwecke – künstlich erzeugte Gebilde.<sup>280</sup> Da sich die Ingenieurwissenschaften auch mit den methodischen und sozialen Aspekten auseinandersetzen, ist es nur konsequent, Systeme zu definieren, in denen Sachsysteme entstehen und verwendet werden. Hierfür wird das von ROPOHL propagierte Handlungssystem in den Konstruktionsprozess eingeführt.<sup>281</sup> Für dieses ist zweckgerichtetes Handeln, für das Sachsystem Nutzwertorientierung von entscheidender Bedeutung. Um dies zu realisieren, erfordert es die bewusste Bestimmung von Zielen und Anforderungen für das Zielsystem. Die drei Systeme stehen in einer engen wechselseitigen Beziehung zueinander. Die Rück-Beziehung in Form von Restriktionen aus dem Handlungs- und Sachsystem heraus wirken in das Zielsystem und umgekehrt. Solche Restriktionen begrenzen – insbesondere bei bereits bestehenden Strukturen – den möglichen Lösungsraum.

Diese Gedanken zur ganzheitlichen systemtheoretischen Betrachtung der Produktentwicklung haben in den Entwicklungsprozess nur sehr bedingt Einfluss gefunden. Lediglich die Systemtechnik hat sich im Bereich der Konstruktionsmethodik etabliert. Das Ziel- und das Handlungssystem wurden zwar in der Entwicklungsmethodik und Produktentwicklung theoretisch immer wieder aufgegriffen, aber letztendlich auf Anforderungslisten und vordefinierte Prozessschemata reduziert.

In der Konstruktionswissenschaft werden die drei Systembegriffe des Ziel-, Objekt-, und Handlungssystems von verschiedenen Autoren unterschiedlich beschrieben (von manchen Autoren wird das Handlungssystem durch ein Prozesssystem ergänzt). Im Folgenden wird ein exemplarischer Überblick über das unterschiedliche Verständnis dieser Begriffe aufgezeigt.

Die Definitionen des auf der Systemtheorie basierenden Modells der Produktentstehung von ALBERS auf Basis der Ziel-, Objekt- und Handlungssysteme werden in dieser Forschungsarbeit hergeleitet und definiert. Aus diesem Grund befinden sich die Definitionen im Systemverständnis von ALBERS in Kapitel 4.<sup>282</sup>

---

<sup>279</sup> Vgl. Breiing 1997, S. 7.

<sup>280</sup> Vgl. Ropohl 1999, S. 120; Patzak 1982, S. 31-32; Pahl 1997, S. 36; Ehrlenspiel 1995, S. 19-21.

<sup>281</sup> Vgl. Ropohl 1999, S. 89; Patzak 1982, S. 31; Ehrlenspiel 1995, S. 19.

<sup>282</sup> Siehe Kapitel 4.1.2 Systemansatz auf S. 154ff.

#### 2.4.4.1 Definitionen des Zielsystems in der Produktentwicklung

**EHRENSPIEL:** Zielsysteme stellen die Menge der Zielvorgaben – die Anforderungen – und deren Verknüpfungen dar. Im Zielsystem werden die Anforderungen strukturiert, eventuell hierarchisch nach der Wichtigkeit oder gemäß der zeitlichen Abfolge der Teilziele. Ergebnisse sind Anforderungslisten und Pflichten- oder Lastenhefte. Sie sind Grundlage für die Beurteilung jedes entstehenden Sachsystems und des Entwicklungs- bzw. Handlungsprozesses. Großen Einfluss auf das Zielsystem hat natürlich der Markt bzw. der Nutzer, für den das Produkt erstellt wird.<sup>283</sup>

**NEGELE:** Im Zielsystem werden Ziele und Anforderungen abgelegt, die beschreiben, welche Ergebnisse in einem Entwicklungsvorhaben bzw. in den notwendigen (Teil-) Prozessen erarbeitet werden sollen und unter welchen Randbedingungen dies geschehen soll. Es werden alle Ziele und deren Zusammenhänge und Abhängigkeiten beschrieben, die für die Entwicklung der richtigen Lösung relevant sind, nicht jedoch die Lösung selbst. Ziele beziehen sich auf einen gedanklich vorweggenommenen bzw. geplanten (Soll-)Zustand, der, ausgehend von einer Situations- bzw. Problemanalyse (Ist-Zustand), angestrebt wird. Dem Zielsystem sind somit Inhalte zugeordnet, die das angestrebte Handlungsergebnis selbst und die Randbedingungen und Umstände (z.B. bezüglich terminlicher, wirtschaftlicher, qualitätsbezogener Zielsetzungen) seiner Realisierung charakterisieren. Beispiele hierfür sind: Probleme bzw. Wünsche, Ziele, Anforderungen, Pflichten, Pläne, gesetzliche Regelungen, Normen etc.<sup>284</sup>

**STEINMEIER:** Zielsysteme stellen als abstrakte Systeme das angestrebte Ziel, d. h. das Handlungsergebnis als Endzustand in Form einer Zielhierarchie sowie unter Umständen als zeitliche Folge von Teilzielen dar. Zielsysteme treten in Form von Pflichtenheften, Lastenheften, Anforderungslisten u.ä. auf.<sup>285</sup>

**WENZEL:** Zielsysteme sind abstrakte, künstliche Systeme und enthalten verbalisierte Bewusstseinsinhalte. Sie beschreiben das Ziel eines Entwicklungsvorgangs, ohne den Prozess anzugeben. Typische Erscheinungsformen sind z.B. das Lastenheft, das Pflichtenheft und die Anforderungsliste.<sup>286</sup>

---

<sup>283</sup> Vgl. Ehrlenspiel 2003, S. 18.

<sup>284</sup> Vgl. Negele 1998, S. 54 und S. 141.

<sup>285</sup> Vgl. Steinmeier 1999, S. 51.

<sup>286</sup> Vgl. Wenzel 2003, S. 43.

**PATZAK:** Das Zielsystem enthält alle terminlichen, wirtschaftlichen und qualitätsbezogenen Zielvorgaben eines Entwicklungsprojektes bezüglich des angestrebten Handlungsergebnisses.<sup>287</sup>

#### 2.4.4.2 Definitionen des Sach- bzw. Objektsystems in der Produktentwicklung

**EHRLENSPIEL:** Sachsysteme sind in der Technik, die aus der Arbeit der Ingenieure, Techniker usw. entstehenden technischen Gebilde wie Maschinen, Maschinenteile, Geräte, Apparate, also technische Systeme. Sachsysteme sind das Objekt des Handlungssystems. Dieses Objekt muss nicht immer ein materielles Gebilde sein, sondern kann auch immateriell sein, wie es z.B. bei Software der Fall ist.<sup>288</sup>

**NEGELE:** Im Objektsystem werden die Ergebnisse der Entwicklung bzw. Entwicklungsprozesse und -aktivitäten modelliert. Diese umfassen das zu erstellende (End-)Produkt (z.B. in funktionaler, hierarchischer Beschreibung, ...) mit allen Zusatzleistungen sowie allen Zwischenergebnissen (Zeichnungen, Modellen, Prototypen, etc.), die auf dem Weg zur Realisierung und für den Einsatz der Problemlösung notwendig sind. Die Elemente des Objektsystems sind dabei Voraussetzung, (zu bearbeitender) Gegenstand bzw. Ergebnis der im Entwicklungsprozess durchgeführten Aktivität.<sup>289</sup>

**PATZAK:** Objektsysteme sind konkrete oder abstrakte Systeme, Einwirkungsgegenstände bzw. Handlungsergebnis von Wirksystemen bei Realisierung von Programmsystemen mit der Ausrichtung auf das Zielsystem der vollzogenen Aktivitäten. Objektsysteme treten als beliebige Systeme auf.<sup>290</sup>

**STEINMEIER:** Im Mittelpunkt des Gesamtsystems Produktentwicklung steht das Sach-/Objektsystem – das Produkt.<sup>291</sup>

**WENZEL:** Objektsysteme umfassen alle zur Zielerreichung notwendigen Handlungsergebnisse. Diese können neben dem Endprodukt auch Zwischenergebnisse sein.<sup>292</sup>

#### 2.4.4.3 Definitionen des Handlungssystems in der Produktentwicklung

**EHRLENSPIEL:** Handlungssysteme enthalten strukturierte Aktivitäten, die z.B. zur Zielerfüllung eines zu erstellenden Sachsystems nötig sind. Dazu gehören

---

<sup>287</sup> Vgl. Patzak 1982, S. 31.

<sup>288</sup> Vgl. Ehrlenspiel 2003, S. 20.

<sup>289</sup> Vgl. Negele 1998, S. 54 und S. 147.

<sup>290</sup> Vgl. Patzak 1982, S. 31ff.

<sup>291</sup> Vgl. Steinmeier 1999, S. 32.

<sup>292</sup> Vgl. Wenzel 2003, S. 43.

Menschen, Sachmittel und Handlungen. Ergebnisse sind Projekt-, Vorgehens- und Terminpläne sowie Beschreibungen der Aufbau- und Ablauforganisation.<sup>293</sup>

**NEGELE:** Im Handlungssystem werden die Aufbauorganisation der Produkterstellung und die personellen und sachlichen Ressourcen modelliert. Elemente des Handlungssystems können somit Aktionsträger bzw. organisatorische Einrichtungen zur Ausführung der zur Zielerreichung erforderlichen Handlung sein oder unterstützende sachliche Mittel, wie z.B. Prüfstände, CAD-Arbeitsplätze, spezielles Know-How, etc. Dem Handlungs(träger)system zugeordnet sind Personen, organisatorische Einheiten und Strukturen, welche die zur Zielerreichung erforderlichen Handlungen ausführen, sowie sachliche Ressourcen, die eine Durchführung der Handlung unterstützen.<sup>294</sup>

**PATZAK:** Wirksysteme sind als konkrete Systeme die Träger der Aktivitäten. Sie setzen sich in ihrer allgemeinen Form (als sozio-technische Systeme) aus belebten und unbelebten Komponenten zusammen, deren Zusammenwirken durch formelle, aber auch informelle Beziehungsmuster (Organisation) ermöglicht wird. Wirksysteme, im Falle, dass der Mensch als Systembestandteil auftritt, auch Arbeitssystem oder Handlungssystem (zweckneutrale Betrachtung) genannt, treten als Organisation, Unternehmen bzw. als Sachmittelsystem auf.<sup>295</sup>

**STEINMEIER:** Handlungssysteme sind durch Handlungen konstituiert und konkret. Als soziale Systeme haben sie keine natürlichen, empirisch erfahrbaren Grenzen. Dies schafft das System selbst durch eigene Handlungen und Kommunikation. Das Handlungssystem erstellt das Zielsystem und das Sachsystem.<sup>296</sup>

**WENZEL:** Das Handlungssystem beinhaltet die an den Handlungen zur Zielerreichung beteiligten bzw. ausführenden Personen, Organisationseinheiten, Sachmittel und Ressourcen.<sup>297</sup>

#### 2.4.4.4 Definitionen des Prozesssystems in der Produktentwicklung

**NEGELE:** Im Prozesssystem werden die in der Produktentwicklung ausgeführten Handlungen als (Teil-)Prozesse, Vorgänge und Ereignisse abgebildet. Darüber hinaus werden die Verknüpfungen, Abhängigkeiten und Flüsse (Information,

---

<sup>293</sup> Vgl. Ehrlenspiel 2003, S. 20.

<sup>294</sup> Vgl. Negele 1998, S. 54 und S. 162.

<sup>295</sup> Vgl. Patzak 1982, S. 31.

<sup>296</sup> Vgl. Steinmeier 1999, S. 62.

<sup>297</sup> Vgl. Wenzel 2003, S. 43.

Material, etc.) zwischen den Vorgängen modelliert. Output der Prozesse sind die Objekte des Objektsystems gemäß den Vorgaben des Zielsystems.<sup>298</sup>

**PATZAK:** Programmsysteme stellen die zu setzenden Aktivitäten als Mittel zur Zielerreichung dar. Sie liefern in Form von Plänen Aufschluss über die Art und Weise der durchzuführenden Aktivitäten. Programmsysteme treten in Form von Aufgabenplänen/Vorhabensplänen auf.<sup>299</sup>

**WENZEL:** Dem Prozesssystem zugeordnet sind die zur Erzeugung der Objekte bzw. (Zwischen-)Ergebnisse notwendigen Handlungen, wie z.B. Prozesse, Tätigkeiten, Ereignisse oder Vorgehensmodelle.<sup>300</sup>

### 2.4.5 Systemtechnik

Die Systemtechnik<sup>301</sup> ist ein konkreter Anwendungsbereich der Systemtheorie. Sie ist eine systemwissenschaftliche Methode und umfasst die Anwendung technischer Hilfsmittel bei der Planung und Gestaltung komplexer technischer Systeme.<sup>302</sup> Sie stellt auf der einen Seite neue Betrachtungsweisen dar, auf der anderen Seite liefert sie formalanalytische Instrumente für Anwendungsbereiche. Sie ist keine neue Methode an sich, sondern unterstützt Methoden des rationalen menschlichen Handelns durch eine ganzheitliche Betrachtungsweise des Anwendungsbereiches und ist im überwiegenden Sinne eine heuristische Methode. Hierdurch wird die Analyse von Elementen und Beziehungen in einem System systematisiert, die zu Beginn noch weitestgehend unbekannt sind. Die Systemtechnik ist mehr als eine Methode, sie beruht zum großen Teil auf Denkstrategien, die es erleichtern, komplexe Systemen zu verstehen. Die Autoren aus dem Bereich der Systemtechnik sind sich darüber einig, dass die Systemtechnik als Methode eine nur bedingt lehrbare Tätigkeit ist, sondern auch Talent erfordert. Doch ist ihr Systemansatz eine essenzielle terminologische und methodologische Basis für interdisziplinäre Arbeit an technischen Systemen. Sie ergänzt die klassischen Ingenieur Tätigkeiten wie Erfinden, Konstruieren, Entwickeln und Berechnen durch eine systematische ganzheitliche Betrachtung.

Die Systemtechnik ist stark durch das angelsächsische Systems-Engineering geprägt, da es dort unter diesem Begriff weiterentwickelt worden ist. In seinem

---

<sup>298</sup> Vgl. Negele 1998, S. 54 und S. 152.

<sup>299</sup> Vgl. Patzak 1982, S. 31.

<sup>300</sup> Vgl. Wenzel 2003, S. 43.

<sup>301</sup> Der deutsche Begriff der Systemtechnik ist synonym zum englischen Begriff des Systems Engineering.

<sup>302</sup> Vgl. Patzak 1982, S. 13f.

Grundverständnis und in den Zielen ist es der Entwicklungsmethodik aber sehr ähnlich. MÜLLER beschrieb schon in 1970er-Jahren die „Systematischen Heuristiken“ als geistige Arbeitstechnik zur systematischen Problemlösung. Er beschreibt ein Methodensystem für Problemlösungsprozesse im Bereich Naturwissenschaft und Technik. Die „Systematischen Heuristiken“ bauen sich nach MÜLLER als Prinzipien wiederkehrender Problemklassen mit Methoden auf, die sich in der Vergangenheit in spezifischen Problemsituationen als erfolgreich erwiesen haben. Er beschreibt diese Methodensammlungen mit der Situation, in der sie erfolgreich waren, als eine Programmbibliothek, die zur Wiederverwendung bereitgestellt wird.<sup>303</sup>

### 2.4.6 Konstruktivismus

Zentrales Element der System- und Modelltheorie ist die mentale Modellbildung, denn jede menschliche Erkenntnis basiert auf einer mentalen Konstruktion. Der Konstruktivismus begründet sich auf den Arbeiten des Soziologen LUHMANN, des Psychologen GLASERFELD, des Kybernetikers FOERSTER und der Biologen MATURANA und VALERA. Die Autoren gehen davon aus, dass die Grundlage jeder Erkenntnis die Konstruktion eines Beobachters ist. Realität ist das Resultat der Wahrnehmung eines Beobachters. Der klassische naturwissenschaftliche Ansatz, der den Beobachter als objektiven, neutralen, außen stehenden Beobachter sieht, der die Fakten beschreibt, ist eine Illusion. „Harte Fakten“ existieren nur auf Basis konstruierter Modelle. Der Konstruktivismus geht davon aus, dass alles abhängig von bereits bestehenden Konstruktionen ist – denn auch die Behauptung, dass dies so ist, beruht letztlich nur auf einer Konstruktion.

Im Konstruktivismus ist das „erkennende Subjekt“ mitwirkender Beobachter und somit Gestalter und Bestandteil der Realität. Keine Konstruktion oder Unterscheidung kann für sich alleine stehen, sie steht immer in einem Kontext und muss in die Erfahrung des Beobachters passen. Wahrnehmen, Erkennen und Verstehen sind subjektive Prozesse.

Die subjektive Empfindung der Realität lässt sich am Beispiel der Rot-Grün-Farbenblindheit gut erläutern. Es gibt für eine farbenblinde Person keinen Unterschied zwischen Rot und Grün; die Farben existieren demnach nur subjektiv. Die Beschaffenheit der Welt bezieht sich somit auf den Standpunkt des Beobachters, der infolge der Trennung von Beobachter und Beobachtetem immer unerfassbar bleibt. FOERSTER geht über diesen Standpunkt hinaus, denn Beobachtungen ohne einen Beobachter gibt es nicht: *„Die Umwelt, die wir wahrnehmen, ist unsere Erfindung“*<sup>304</sup>.

---

<sup>303</sup> Müller 1970.

<sup>304</sup> Foerster 1996, S. 26.

Auch in den Naturwissenschaften wurde durch die Relativitätstheorie von EINSTEIN, die Unschärferelation von HEISENBERG oder das Gedankenexperiment mit SCHRÖDINGERS Katze gezeigt, dass Beobachtungen relativ sind und der Beobachter nur die Ergebnisse seiner Beobachtungen wahrnimmt.

Der Konstruktivismus sieht Objektivität als einen nicht erreichbaren Zustand an, da eine Trennung zwischen Beobachter und Beobachtungsobjekt nicht möglich ist. Folglich müssen auch beide gleichzeitig betrachtet werden. Durch FOERSTER wird dies in der Kybernetik 2. Ordnung begründet: Die Beobachtung 2. Ordnung schließt den Beobachter in das System mit ein – die Beobachtung des Beobachters. Anhand der Kybernetik der 2. Ordnung wird deutlich, dass es zweitrangig ist, ob Theorien und Modelle etwas über die Beschaffenheit der realen Welt aussagen. Von Bedeutung ist nur, dass sie funktionieren – oder wie es VON GLASERSFELD formuliert, ob sie „viabel“<sup>305</sup> sind, also sich als lebensfähig in der Welt der Erfahrungen erweisen. Das bedeutet, die entscheidenden Kategorien zur Beurteilung der Wirklichkeit sind nicht Wahrheit und Objektivität, sondern Konsens, Brauchbarkeit und Nützlichkeit.

#### **2.4.6.1 Beobachtung und das Subjekt-Objekt-Dilemma**

Unter Beobachtung wird die Feststellung eines Unterschieds, der einen Unterschied ausmacht, verstanden.<sup>306</sup> Ein Beobachter unterscheidet immer eine Grenze, durch welche ein Raum, Zustand oder Inhalt auf der Innenseite der Grenze von einem Raum, Zustand oder Inhalt auf der Außenseite getrennt wird. Unterschiede in der physischen Welt erzeugen nach BATESON Unterschiede in der mentalen Welt unter der Voraussetzung, dass der Unterschied erkannt wird.

Ein treffliches Beispiel ist die Interpretation einer technischen Zeichnung. Wenn ein Beobachter eine technische Zeichnung eines unbekanntes Systems vor sich sieht, versucht er Unterschiede zu erkennen – er sucht die Grenzen in Form von Wirkflächenpaaren, Leitstützstrukturen<sup>307</sup> und Freiheitsgraden. Der Beobachter erschließt das System durch eine mentale Konstruktion und leidet daraus die Bedeutung, die Funktion des Systems, ab. Dies ist kein einmaliger, sondern ein selbstreferentieller Prozess der Beobachtung des Objektes und der subjektiven Konstruktion. Mit fortschreitender Erkenntnis werden am Objekt andere Unterschiede wahrgenommen: Die Beobachtung verändert sich, obwohl das Objekt gleich bleibt. Das bedeutet, das erkennende Subjekt kann nicht losgelöst vom zu erkennenden Objekt betrachtet werden. Diese Subjekt-Objekt-Trennung (im übertragenen Sinne

---

<sup>305</sup> Glasersfeld 1992, S. 30.

<sup>306</sup> Bateson 1981, S. 582: „Ein Unterschied, der einen Unterschied macht“.

<sup>307</sup> Vgl. Albers 2002a.

die Trennung von „Sein“ und „Bewusstsein“) ist eines der Grundprobleme der Epistemologie (Erkenntnistheorie) und des Denkens überhaupt.

Bei der Beobachtung eines Objekts erfährt der Beobachter nur die für ihn relevanten und erkennbaren Eigenschaften, er nimmt Unterscheidungen vor. Die Unterscheidung ist durch den, der sie trifft, aber unbeobachtbar. Eine entsprechend zielgerichtete Reflexion kann zwar diese erste Unterscheidung erkennen, jedoch wird das Problem damit auf eine höhere Ebene verlagert. Jetzt ist die zweite Unterscheidung nicht beobachtbar und das Vorgehen führt in einen unendlichen Regress.<sup>308</sup> LUHMANN bezeichnet dies als den „blinden Fleck“ des Beobachters.

Daher ist es auch aus dieser Sicht unbedingt notwendig, die Unterscheidungen, auf denen ein Modell basiert, offen zu legen. Die Bedeutung dieser Forderung wird noch klarer, wenn man bedenkt, dass nicht nur die Interpretation, sondern auch die Kommunikation auf den Operationen „Unterscheiden“ und „Bezeichnen“ beruht.<sup>309</sup>

### 2.4.7 Modelltheorie

Modelle<sup>310</sup> besitzen im Kontext der Konstruktion und der Produktentstehung eine große Bedeutung. Sie dienen zur Ermittlung von Zusammenhängen und werden eingesetzt, um komplexe Abläufe zu beschreiben, zu interpretieren und zu berechnen. Hierbei ist der Entwickler selbst oft Modellkonstrukteur und -nutzer zugleich. Der Modellbegriff ist sehr weit gefasst und bezieht materielle Objekte und Theorien mit ein.<sup>311</sup>

In den 1970er-Jahren entwickelte STACHOWIAK die allgemeine Modelltheorie, die in breiten Kreisen der Wissenschaft Zuspruch fand. Die Begriffe der Modelltheorie sind allgemein gültig und domänenübergreifend anwendbar. Im Bereich der Wissenschaft unterscheidet STACHOWIAK zwischen unterschiedlichen Modellzwecken:

- Demonstrationsmodelle (didaktische Modelle) zur Veranschaulichung von Zusammenhängen
- Experimentalmodelle zur Ermittlung (heuristische Modelle) und Überprüfung von Hypothesen
- theoretische Modelle zur Vermittlung von Erkenntnissen über Sachverhalte

---

<sup>308</sup> Vgl. Schlitt 2003, S. 85.

<sup>309</sup> Vgl. Luhmann 1991, S. 67.

<sup>310</sup> Aus etymologischer Sicht bedeutet der Begriff „Modell“ Muster bzw. Form, Vorbild, Entwurf oder Person als Gegenstand bildnerischer oder fotografischer Darstellung. Ursprünglich stammt „Modell“ aus der italienischen Renaissance und leitet sich aus dem Wort „modello“, dem Maßstab in der Architektur ab. Brockhaus Multimedial 2007.

<sup>311</sup> Vgl. Stachowiak 1983, S.129.

- operative Modelle möglicher Zielaußenwelten zur Bereitstellung von Entscheidungs- und Planungshilfen.

STACHOWIAK sieht in der Modellbildung die erkenntnismäßige Gestaltung und Aufbereitung der Welt durch modellierende Subjekte. Durch diese Sichtweise greift er in seiner Theorie ein zentrales Wesensmerkmal des Konstruktivismus mit auf. In seiner allgemeinen Modelltheorie definiert STACHOWIAK drei wesentliche Eigenschaften von Modellen: das Abbildungs-, das Verkürzungsmerkmal und das pragmatische Merkmal.<sup>312</sup>

### **Abbildungsmerkmal**

*„Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können.“*<sup>313</sup> Als Original sieht STACHOWIAK grundsätzlich jede von einem natürlichen oder maschinellen kognitiven Subjekt erfahrbare, allgemein erzeugbare Entität.<sup>314</sup> Das Original kann räumliche Konfigurationen und raumzeitliche Vorgänge darstellen. Damit umfasst das Abbildungsmerkmal auch die Vorbild- und Entwurfsfunktion. Somit wird unter dem Begriff der Abbildung die Zuordnung von Modell- zu Original-Attributen im mathematischen Sinne verstanden.<sup>315</sup>

### **Verkürzungsmerkmal**

*„Modelle erfassen im Allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und/oder Modellbenutzern relevant scheinen.“*<sup>316</sup> Bei der Modellbildung werden nicht nur irrelevante Original-Attribute weggelassen (Präterition), sondern auch neue Modell-Attribute hinzugefügt, denen kein originaleitiges Attribut entspricht (Abundanz). Diese Verkürzungen, die bei der Modellbildung vorgenommen werden, führen dazu, dass die Originaleigenschaften nie eindeutig, objektiv und vollständig bestimmbar sind. Aus diesem Grund existieren in der Regel zu einem Original unterschiedliche Modelle, da es unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet werden kann. Zur Bestimmung der Verkürzung des Originals im Modell, muss Modellnutzern bekannt sein, welche Eigenschaften des Originals vom Modell erfasst werden und welche nicht. Dies setzt die Kenntnis aller Attribute – sowohl des Originals als auch des Modells – voraus, doch sind diese,

---

<sup>312</sup> Vgl. Stachowiak 1973, S. 131.

<sup>313</sup> Stachowiak 1973, S. 131.

<sup>314</sup> Entität wird im Sinne Stachowiaks als Synonym zu einem Informationsobjekt verstanden. Als Entität wird ein eindeutig zu bestimmendes Objekt bezeichnet, dem Informationen zugeordnet werden.

<sup>315</sup> Vgl. Stachowiak 1973, S. 287f.

<sup>316</sup> Ebda., S. 132.

wenn überhaupt, nur für den Modellerschaffer greifbar. Dies bedeutet, dass ein eindeutiger Original-Modell-Vergleich, der die Nachvollziehbarkeit der Auswahl der im Modell abgebildeten Originalattribute gestattet, in der Regel nicht oder nur schwer möglich ist. In der Modellbildung muss der Modellkonstrukteur eine zweckorientierte Auswahl „sinnvoll“ abzubildender Originaleigenschaften treffen.

### **Pragmatisches Merkmal**

*„Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion 1.) für bestimmte – erkennende und/oder handelnde, modellbenutzende – Subjekte, 2.) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und 3.) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen.“<sup>317</sup>*

Modelle sind somit nicht nur Modelle von etwas, sondern auch Modelle für jemanden, die zu einem bestimmten Zeitpunkt eine Funktion mit einem bestimmten Zweck erfüllen. Diese dreifach pragmatische Relativierung des Modellbegriffs führt dazu, dass eine Modellanalyse nicht nur die Frage beantworten muss, wovon etwas Modell ist, sondern auch für wen, wann und wozu. Dies bezeichnet STACHOWIAK als Pragmatismus: die Orientierung am Nützlichen. Hieraus leitet er die Realisation eines fünfstelligen Prädikats der „Original-Modell-modellierendes-Subjekt“-Beziehung ab; Danach ist M ein Modell des Originals O für den Verwender V für die Zeitspanne t bezüglich der Intention Z.

#### **2.4.7.1 Modellbildung**

Anhand der Modelltheorie wird klar, dass Modelle auf Basis einer subjektiv wahrgenommenen Realität in einem mehrstufigen Prozess konstruiert werden. Ein Modellnutzer muss das Ergebnis dieser Konstruktion zunächst erfassen und interpretieren. Auf Basis der subjektiven Wahrnehmung bildet er wieder ein mentales Modell, um die Inhalte eines externen Modells für den Zweck der Analyse oder der Gestaltung nutzen zu können. Durch die notwendige Einbeziehung der Kommunikation zwischen Subjekten im Rahmen der Modellbildung und -nutzung ist der explizite Charakter von Modellen von entscheidender Bedeutung. Denn nur durch explizite Modelle kann die mentale Interpretation und Synthese auf Basis von Modellen erfolgen. Entscheidend ist hier die Bedeutung der Intersubjektivität von Modellen.

#### **2.4.8 Intersubjektivität**

Eine zentrale Forderung in der Bearbeitung komplexer Probleme ist die intersubjektive Nachvollziehbarkeit von Resultaten einschließlich ihrer Begründungen.

---

<sup>317</sup> Stachowiak 1973, S. 133f.

Dies gehört zu den grundlegenden methodologischen Prinzipien des wissenschaftlichen Arbeitens. Forderung der Intersubjektivität ist, dass Kausalketten und Behauptungen auf übereinstimmende Wahrnehmung von Individuen zurückgeführt werden können. Das bedeutet, dass Erkenntnisse nicht auf ein einzelnes Individuum beschränkt sind, sondern dass andere Individuen unter denselben Randbedingungen die Schlussfolgerungen nachvollziehen können.

Dies ist auch in der „Theorie des kommunikativen Handelns“ von HABERMAS postuliert. Speziell in der Sprache kommt der Intersubjektivität ein zentraler Stellenwert zu. Die sprachlich etablierte Intersubjektivität (dies bezieht sich nicht nur auf die Sprache an sich, sondern auch auf die spezifische Modellsprache) geht jeder objekt- und zielgerichteten gemeinsamen Erkenntnis voraus.<sup>318</sup> Im Kern geht es bei der Intersubjektivität um die Schnittmenge der subjektiven Erkenntnis und einer kollektiven transparenten Objektivität. Zusammenfassend ist die Bedingung für die Möglichkeit der Intersubjektivität die Beherrschung eines gemeinsamen Modellverständnisses.

#### **2.4.9 Referenz- und Metamodelle**

Bei der Entwicklung von Modellen ist es wichtig, zwischen Referenz- und Metamodellen zu differenzieren. Diese sind abstrakte Modelle, die kein konkretes Instanzwissen enthalten, und dienen der Entwicklung und der Ableitung formaler Modelle. Beispielsweise ist die Sprache ein Metamodell: Sie beschreibt mit Hilfe einer Syntax – der Grammatik – wie ihre Elemente – der Wortschatz – ohne konkrete Inhalte zu benutzen sind. Das Metamodell gibt somit die Struktur ohne konkrete Anwendung vor.

Referenzprozessmodelle sind spezifische Modelle für Anwendungsbereiche. Dies lässt sich am Beispiel der Sprache weiter ausführen: Der formale Aufbau eines Briefs kann als Referenzmodell angesehen werden: Er beschreibt die Inhalte eines Briefs: Adressat, Betreff, Anrede, Datum, Absender etc.

Der Unterschied wird in der Gegenüberstellung von Meta- und Referenzmodell in Abbildung 2-30 noch einmal deutlich gemacht<sup>319</sup>.

---

<sup>318</sup> Vgl. Habermas 1988, S. 198-202.

<sup>319</sup> Vgl. Hars 1994, S. 12ff.

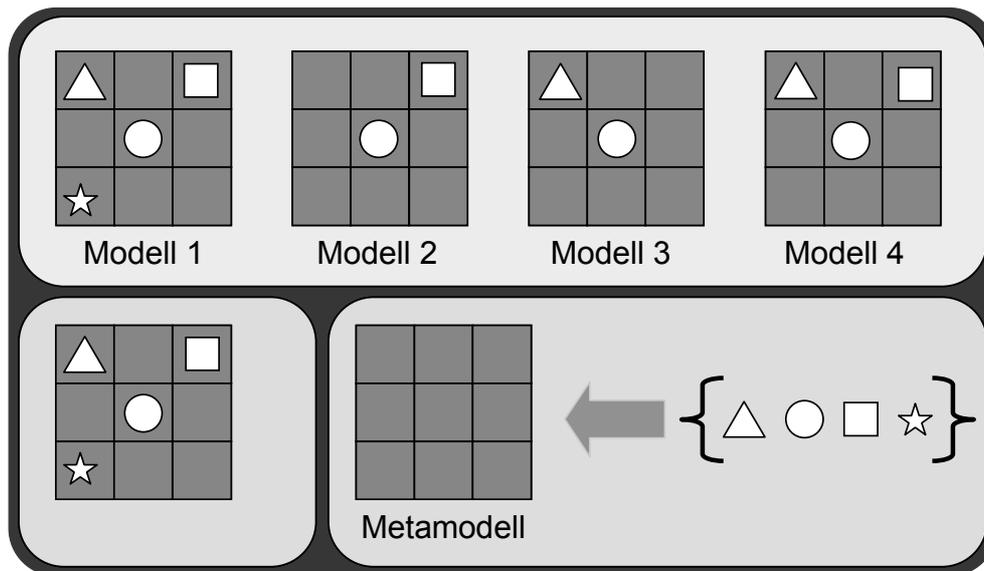


Abbildung 2-30: Gegenüberstellung von Metamodell und Referenzmodell<sup>320</sup>

Die Modelle 1 bis 4 stellen symbolische Abbildungen eines jeweils in einem anderen individuellen Kontext gestalteten Systems dar. Das Metamodell gibt an, dass in einem Quadrat mit neun Feldern jedes der Felder mit einem von vier Symbolen belegt werden oder frei bleiben kann. Im Referenzmodell unten links sind Übereinstimmungen zwischen den verschiedenen Modellen 1 bis 4 festgehalten. Es stellt ein inhaltlich abstrahiertes Modell dar, für welches die geringsten Anpassungen zur Entwicklung der vier kontextspezifischen Modelle erforderlich sind. Im Kontext von Modell 1 bzw. Modell 2 muss das Referenzmodell lediglich um ein Symbol ergänzt bzw. bereinigt werden. Zur kontextspezifischen Entwicklung von Modell 3 wird das Rechteck im Referenzmodell durch einen Stern ersetzt. Für Modell 4 ist das Referenzmodell ohne kontextspezifische Modifikationen anwendbar. Ohne Referenzmodell hätten in jedem Modell alle neun Felder neu belegt werden müssen.<sup>321</sup>

<sup>320</sup> Ebda., S. 54.

<sup>321</sup> Vgl. Rupprecht 2002, S. 53f.

### 2.4.10 Zwischenfazit

Die System- und Modellwissenschaften haben durch ihre übergreifenden Theorien fundamentale Grundlagen in der Wissenschaft gelegt. Die systemtechnischen Ansätze in der Produktentwicklung werden überwiegend aber nur als Methoden in der Produktentstehung verstanden und nicht als deren Basis. Die Ansätze der System- und Modelltheorie haben zwar schon früh Einfluss auf die Produktentstehung erhalten, doch sind sie nur Randerscheinungen. EHRENSPIEL greift wie viele andere zwar immer wieder Elemente der Systemtheorie<sup>322</sup> auf, doch setzt er sie nicht konsequent um; somit wird er auch nicht den wirklichen Systemeigenschaften gerecht. Hierbei sind auch die Komponenten der Erkenntnistheorie von entscheidender Bedeutung, nämlich dass Objektivität eigentlich nicht existiert und alles Denken in Modellen stattfindet. Die Produktentstehung hat sich bis heute stärker auf die Beschreibung von Modellen konzentriert als auf den Schritt der Modellbildung.

---

<sup>322</sup> Vgl. Ehrlenspiel 1995, S.19f.

## 2.5 Denken und Problemlösung

In der Entwicklungs- und Konstruktionsmethodik besitzen Problemformulierung und Problemlösung einen hohen Stellenwert. HUBKA, ROTH, EHRENSPIEL, PAHL und BEITZ sehen wie viele andere Autoren die technische Problemlösung als die zentrale Aufgabe der Ingenieurstätigkeit. In der VDI-Richtlinie 2221 wurde dies auch explizit verankert, indem der Konstruktionsprozess mit einem allgemeinen Problemlösungszyklus überlagert worden ist. Dieser orientiert sich am allgemeinen Vorgehen menschlicher Problemlösungsstrategien und unterstützt den Entwickler systematisch. Denn trotz der hohen Leistungsfähigkeit des menschlichen Denkens und Problemlösens, besitzt das menschliche Gehirn nur beschränkt die Fähigkeit, mit komplexen Sachverhalten umzugehen.<sup>323</sup> Problemlösungsprozesse versuchen gezielt, menschliche Problemlösungsfähigkeit zu steigern. Entscheidend bei der Problemlösung ist der Aufbau einer umfassenden problemorientierten Informations- und Wissensbasis, die durch systematische Analysen, Dokumentationen und Modellierungen kausaler Zusammenhänge geschaffen werden. Wiederholen sich ähnliche Probleme, so ist es möglich, bewährte Handlungsmuster in Methoden zu verallgemeinern.

Die mangelnde Fähigkeit, komplexe Probleme zu lösen, wurde intensiv untersucht und kann neben Dynamik und Unschärfe auf den Aufbau des menschlichen Gedächtnisses zurückgeführt werden. Das Kurzzeitgedächtnis, welches alle Denkvorgänge steuert, kann etwa sieben Informationseinheiten, so genannte „Chunks“, gleichzeitig vorhalten; wenn ein neuer Chunk hinzukommt, wird ein anderer vergessen. Diese einfache Beschränkung wurde in vielen Experimenten bestätigt und im Jahre 1956 von MILLER in seinem berühmten Artikel „The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information“<sup>324</sup> veröffentlicht. Durch Strukturierung von Informationseinheiten kann diese Kapazität vergrößert werden; mit Hilfe der Strukturierung versucht der Mensch, bei komplexen Problemen Hierarchien und Teilprobleme zu bilden. Doch entziehen sich komplexe Probleme der Zerlegung.<sup>325</sup>

Auf Basis dieser Einschränkung der menschlichen Problemlösungsfähigkeit wurden Strategien, Methoden und Handlungsmuster erforscht und entwickelt, um Personen in komplexe Entscheidungsprozesse ein effizientes Instrumentarium an die Hand zu geben. Die wichtigsten Methoden hierzu sind die Analyse und die Synthese. In der

---

<sup>323</sup> Vgl. Dörner 1983.

<sup>324</sup> Miller 1956, S. 81.

<sup>325</sup> Vgl. Simon 1962, S. 473.

Konstruktionsmethodik wird zwischen Analyse- und Syntheseproblemen unterschieden<sup>326</sup>, doch ist diese Unterscheidung von theoretischer Natur.

### **2.5.1 Analyse und Synthese in der Wissenschaft**

Analyse und Synthese sind universelle Methoden der Wissenschaft. Auch in der Produktentwicklung kommt diesen beiden Methoden eine hohe Bedeutung zu. In den Ingenieurwissenschaften werden sie oft als voneinander getrennte Methoden angesehen, doch ist diese Trennung aus erkenntnistheoretischer Sicht nicht möglich.

Die Analyse folgt der Leitdifferenz „ein Ganzes in Teile“, während die Synthese vom Einzelnen zu einem neuen Ganzen führt. Beide Schritte erfordern die menschliche Erkenntnisleistung, doch liegt ein grundlegender Unterschied darin, dass der Analyse ein logischer Charakter zugesprochen wird, die Synthese dagegen als kreative Erkenntnisleistung gilt. In der Realität erfolgt der Schritt der Analyse nicht immer logisch und eindeutig; von der Synthese wird wiederum eine logische und nachvollziehbare Kausalität gefordert. Beide Vorgehensweisen werden als zentrale Methoden der wissenschaftlichen Erkenntnis seit PLATON angewendet.

#### **2.5.1.1 Methodische Unterscheidung von Analyse und Synthese**

Analyse und Synthese sind Methoden, die dazu dienen, Probleme zu lösen (oder Theoreme zu beweisen). Aus wissenschaftstheoretischer Sicht besitzen sie die gleiche Funktion; Ihre Unterscheidung begründet sich somit nur in der Art und Weise ihres Vorgehens.<sup>327</sup> Die Analyse löst ein Problem (oder beweist ein Theorem), indem sie es auf einfachere Probleme (Theoreme) und letztlich auf als wahr anerkannte Prinzipien zurückführt. Bei der Synthese geschieht dies umgekehrt, von den einfacheren Problemen (Theoremen) bzw. von den Prinzipien ausgehend wird das betreffende Problem (Theorem) abgeleitet. Der Unterschied zwischen Analyse und Synthese ist also lediglich methodologischer Natur und besteht in einem Richtungsgegensatz.<sup>328</sup> Die Analyse besitzt jedoch gegenüber der Synthese eine vorrangige Bedeutung, da sie erst die Bedingungen für die Synthese liefert. Denn bevor man überhaupt unter Anwendung der synthetischen Methode von den Prinzipien aus in systematischer Form eine Wissenschaft errichten kann, müssen die Prinzipien zunächst aufgestellt werden – und dies kann nur die Analyse leisten. Die daraus abgeleiteten Aussagen besitzen unter logischen Gesichtspunkten zwei Arten von Gegenständen: Begriffe (Subjekte) und Aussagen (Prädikate).

---

<sup>326</sup> Vgl. Ehrlenspiel 1995, S. 55.

<sup>327</sup> Vgl. Schneider 1974, S. 11.

<sup>328</sup> Vgl. „Die philosophischen Schriften von Leibniz“, Band VII, S. 296f., die Schneider 1974, S. 12, heranzführt.

Aus diesen beiden Gesichtspunkten leitet sich auch die Fundierung einer Wissenschaft ab: die Explikation der verwendeten Begriffe und die in der Begründung aufgestellten Lehrsätze der Definitionen und Beweise.<sup>329</sup> Nach LEIBNIZ sind hierbei drei verschiedene Aspekte desselben Gegenstandsbereichs von entscheidender Bedeutung: der formal-syntaktische, der semantische bzw. kognitive und der ontologische. Es geht wie in der formalen Logik vor allem um die Vereinfachung, Abkürzung des Denkens und die Präzisierung der Sprache, um die in der natürlichen Sprache auftretenden Vieldeutigkeiten zu vermeiden.<sup>330</sup>

LEIBNIZ erweitert die Betrachtung der Analyse und der Synthese und geht davon aus, dass bei beiden immer eine Idee der Ursprung ist. Leibniz unterscheidet eine „obskure Idee“ von einer „klaren Idee“ oder Erkenntnis. Obskur<sup>331</sup> ist eine Idee, wenn sie nicht hinreichend von ähnlichen anderen Sachen zu unterscheiden ist. Klar dagegen ist eine Idee, wenn man durch sie eine vorgestellte Sache (wieder)erkennen und von anderen Sachen unterscheiden kann. Eine klare Idee kann wiederum „konfus“ oder „distinkt“ sein<sup>332</sup>. Eine „konfuse“ Idee zeichnet sich dadurch aus, dass man subjektiv die Idee unterscheiden kann, aber man nicht fähig ist, die Unterscheidungen aufzuzählen, um die Idee hinreichend von anderen Sachen zu unterscheiden. Durch eine „konfuse“ Idee kann man eine Sache erkennen und unterscheiden, jedoch nicht angeben, wodurch sie sich unterscheidet. Es ist folglich eine Idee, die nur von der Person selbst von anderen Sachen unterschieden werden kann. Demgegenüber ist eine Idee „distinkt“, wenn die Merkmale angegeben werden können, die eine Idee hinreichend differenzieren.<sup>333</sup>

Es ist klar, dass eine obskure Idee noch keine Erkenntnis von einem Objekt vermittelt. Auch bei der konfusen Idee kann man noch nicht von einer Analyse sprechen. Leibniz führt als Beispiel oft die so genannte einfache Sinnesqualität an: Man kann z.B. blau von rot unterscheiden aber von beiden Farben kein Unterscheidungsmerkmal angeben. Will man deutlich machen, welche Farbe man meint bzw. was man unter einer bestimmten Farbe versteht, so kann man lediglich auf sie hinweisen, d. h. die sinnliche Wahrnehmung anderer auf sie lenken. Daher kann man einem blinden Menschen auch nicht erklären, was „blau“ bedeutet.

---

<sup>329</sup> Vgl. Schneider 1974, S. 22.

<sup>330</sup> Ebd., S. 27.

<sup>331</sup> Obskur, lat. = dunkel, unbekannt, fragwürdig, Brockhaus multimedial 2007.

<sup>332</sup> Konfus bezeichnet einen Zustand von Verwirrung, Zerstreutheit und auch Unklarheit, meist im geistigen, aber auch im physikalischen Sinne. Distinkt (lat. von *distinguere* = unterscheiden) heißt unterschieden, klar. Distinktion heißt klarmachendes Urteil, Unterscheidung, Brockhaus multimedial 2007.

<sup>333</sup> Die Philosophischen Schriften von Leibniz, Band IV, S. 422ff, zitiert nach Schneider 1974, S. 48f.

### 2.5.1.2 Aussagecharakter von Analyse und Synthese

Jedes Urteil eines Subjektes, gleichgültig ob analytisch oder synthetisch, ist eine Verbindung von Subjekt und Prädikat<sup>334</sup>. Dieses Urteil bringt eine Differenz und zugleich eine Einheit des Einzelnen und Allgemeinen zum Ausdruck. Die Einheit von Unterschied und Identität wird durch HEGEL zum zentralen Element – wenn etwas so ist, ist es nicht anders. In logischen Systemen wird Identität über Ununterscheidbarkeit eingeführt: Das Identitätsprinzip besagt, dass ein Gegenstand A genau dann mit einem Gegenstand B identisch ist, wenn sich zwischen A und B kein Unterschied finden lässt.<sup>335</sup>

KANT beschreibt den Weg zur wissenschaftlichen Erkenntnis als Dialektik, sie ist eine Strategie der Validierung von Erkenntnissen. Verschiedene Beobachter, Datenquellen, Theorien, Methoden, Hypothesen und Perspektiven werden am selben Objekt ausprobiert und zu einer nachvollziehbaren Erkenntnis zusammengeführt. Hier greift KANT das Verständnis von PLATON auf: Ein Gedanke, eine Idee erzeugt erst in ihrem Werden und ihrer wechselseitigen Durchdringung den Inhalt der Erkenntnis.<sup>336</sup> KANT erweitert den Begriff der Dialektik und des analytischen und synthetischen Urteilens. Er trennt die Aussagenstruktur und Form der Verteidigung von Aussagen. „Analytisch“ und „synthetisch“ sind Prädikate für Urteile. Analytische Aussagen sind nicht kontingent, sie beruhen auf Logik und sind immer wahr oder immer falsch. Bei diesen Aussagen bestehen nach KANT per definitionem weder Anlass noch Berechtigung, über das Urteil hinauszugehen und Erfahrung in Anspruch zu nehmen, um die Aussage zu beweisen. Synthetische Aussagen sind kontingent: Aufgrund von Logik können diese sowohl wahr als auch falsch sein.

- Bei analytischen Urteilen ist das Prädikat bereits im Subjekt enthalten; streng genommen ist dies kein neues Wissen.
- Bei synthetischen Urteilen enthält das Subjekt das Prädikat noch nicht; sie beruhen auf Beobachtung und Erfahrung.

Des Weiteren benutzt KANT die Apriorizität, um den Aussagecharakter von Analyse und Synthese voneinander zu differenzieren: Ein Subjekt erkennt etwas a priori genau dann, wenn es bei seiner Urteilsbildung keine weiteren „sensorischen Daten“ mehr heranziehen muss. Das Erkennen „a posteriori“ erfolgt dann, wenn das Subjekt noch weitere „sensorischen Daten“ benötigt, um die Aussage als evident zu erachten.

---

<sup>334</sup> Prädikat heißt dasjenige Glied eines Urteils, welches die Aussage enthält.

<sup>335</sup> Dies ist das Leibniz-Gesetz der Identität.

<sup>336</sup> Vgl. Cassirer 1902, S. 200.

- A priori: Verteidigung einer Aussage ohne Beobachtung (logisch)  
(a priori: lat. vom Früheren her)
- A posteriori: Verteidigung einer Aussage mit Beobachtung (empirisch)  
(a posteriori: lat. von dem was nachher kommt)

Aus diesen zwei Dimensionen von Aussagen leitet er vier unterschiedliche Aussageformen ab:

	a priori	a posteriori
analytisch	„Ein Dreieck hat drei Ecken“ → tautologisch (Logik)	(Logisch nicht möglich)
synthetisch	„Kein Mensch kann gleichzeitig in Moskau und in New York sein“ → allgemein und notwendig (Mathematik und reine Physik)	„Körper sind schwer“ → empirisch (Induktion)

Abbildung 2-31: Urteilarten

Aus diesen vier Aussagetypen leitet KANT ab, dass analytische Aussagen, die a priori verteidigt werden, und synthetische Aussagen, die a posteriori verteidigt werden, unproblematisch sind. Analytische Aussagen, die a posteriori verteidigt werden, sind logisch nicht möglich; synthetische Aussagen, die a priori verteidigt werden können, sind Streitbar und müssen bewiesen werden.<sup>337</sup>

### 2.5.1.3 Unterscheidung von Analyse und Synthese

Die Unterscheidung von Analyse und Synthese ist nur von logischer und erkenntnistheoretischer Natur. Aus psychologischer Sicht dagegen ist die Unterscheidung eigentlich nicht möglich, denn was für uns heute ein synthetisches Urteil ist, ist morgen ein analytisches, und was für den Laien ein synthetisches, ist für den Experten ein analytisches Urteil. Auch wenn aus theoretischer Sicht die Unterscheidung so wichtig ist, ist sie praktisch eigentlich nicht zu trennen. Hinzu kommt, dass die Bildung von Begriffen in unseren Sprachen nicht definitiv gegeben ist und das Verständnis von Begriffen mehr subjektiv als logisch ist.

In der Anwendung im Sinne einer kognitiven Operation tauchen die Analyse und Synthese so gut wie nicht in Reinform<sup>338</sup> auf, sie gehen fließend ineinander über. Doch kann in Übereinstimmung mit LEIBNIZ und im Anschluss an die Terminologie

<sup>337</sup> Vgl. Immanuel Kant, Kritik der reinen Vernunft, Von dem Unterschiede der reinen und empirischen Erkenntnis. Kant-W Bd. 3, S. 45ff., Digitale Bibliothek 2004.

<sup>338</sup> Vgl. Schneider 1974, S. 13.

von KANT die Analyse als ein regressives/reproduktives und die Synthese als progressives/produktives Verfahren bezeichnet werden.

#### **2.5.1.4 Die Aktivitäten Analyse und Synthese**

Trotz der Untrennbarkeit von Analyse und Synthese vom erkenntnistheoretischen Standpunkt aus ist die Aktivität der Analyse und Synthese in der Produktentstehung sehr wohl zu trennen. Die Situationsanalyse des SPALTEN-Ansatzes von ALBERS zeigt dieses sehr deutlich<sup>339</sup>. Die Analyse bezieht sich explizit nur auf das Sammeln von Informationen, das Aufklären der Situation von System und Systemumwelt. In der Analyse geht es – gemäß der Maxime „ein Ganzes in Teile“ – um die Zergliederung einer Situation oder eines Systems in verarbeitbare Teilelemente. Die Ergebnisse der Situationsanalyse müssen klar und eindeutig sein. Interpretation und Schlüsse dürfen nur der Problemeingrenzung zugeordnet werden, hier wird die Aktivität Analyse durch die Aktivität Synthese ergänzt. Durch Interpretationen und Schlüsse werden Hypothesen aufgestellt, die es dann zu beweisen oder zu widerlegen gilt. Die Schlüsse, die in der Problemeingrenzung gezogen werden, können erst im Nachhinein durch empirische Untersuchungen bestätigt werden. Die Trennung besteht, da die Analyse nur belastbare Aussagen enthalten soll – synthetische Urteile müssen sich erst als evident herausstellen und dieses ist Teil der Problemeingrenzung<sup>340</sup>.

#### **2.5.1.5 Falsifikationstheorie**

Die wissenschaftliche Dialektik wird häufig kritisiert. POPPER sieht die Dialektik nur eine Variante einer Trial-and-Error-Methode. Er leitet den Fehler (Error) als zentrales Element der Wissenschaftstheorie ab. Einsichten und Erkenntnisse entstehen durch das Erkennen von Fehlern innerhalb einer Theorie. Nach POPPER entsteht wissenschaftlicher Fortschritt dadurch, dass bestehende Theorien falsifiziert werden. Eine letzte Begründung des Wissens gibt es demnach nicht. Bestehendes wird schrittweise verbessert, indem aufgezeigt wird, was daran falsch ist. POPPER sieht in der Dialektik nicht das wissenschaftliche Widerlegen, sondern den Kampf von Überzeugungen und Ideologien. Für ihn ist die dialektische Triade eine empirisch-deskriptive Theorie, vergleichbar zum Beispiel mit der Theorie, die besagt, dass die meisten lebenden Organismen während eines Stadiums ihrer Entwicklung an Umfang zunehmen.<sup>341</sup> In der gleichen Weise wie solche Theorien ist die Dialektik nicht ohne Ausnahme anwendbar – es sei denn, wir erzwingen dialektische

---

<sup>339</sup> Albers 2003a.

<sup>340</sup> Siehe Kapitel 2.5.7 SPALTEN, S. 128.

<sup>341</sup> Vgl. Popper 1968, S. 174.

Interpretationen. Ebenso wie solche Theorien hat die Dialektik keine besondere Verwandtschaft zur Logik.

## 2.5.2 Das Wesen von Problemen

Um Problemlösungsmethoden darzulegen, ist es zunächst von Bedeutung, zu präzisieren, welche charakteristischen Eigenschaften ein Problem kennzeichnen und wann eine Situation ein Problem darstellt. Generell kann ein Problem als Diskrepanz zwischen einem unerwünschten Ausgangszustand – dem „IST-Zustand“ – und einem erwünschten End- oder Zielzustand – dem „SOLL-Zustand“ – aufgefasst werden.<sup>342</sup> Zu dieser Diskrepanz kommt zusätzlich noch eine Barriere, die verhindert, dass der IST- direkt in den SOLL-Zustand überführt werden kann. Diese Definition knüpft an das Verständnis der menschlichen Problemlösung in der Psychologie an, in der ein Problem bzw. eine Problemlösung allgemein wie folgt definiert wird:

*„Unter Problemlösen versteht man das Bestreben, einen gegebenen Zustand (Ausgangs- oder Ist-Zustand) in einen anderen, gewünschten Zustand (Ziel- oder Soll-Zustand) zu überführen, wobei es gilt, eine Barriere zu überwinden, die sich zwischen Ausgangs- und Zielzustand befindet.“<sup>343</sup>*

Dieses Definition geht auf den Psychologen KÖHLER und seinen Schüler DUNCKER zurück. Sie gehen davon aus, dass ein Problem dann entsteht, wenn ein Lebewesen ein Ziel hat und nicht weiß, wie es dieses erreichen soll. Hierbei sind drei Elemente von Bedeutung: Zuerst besteht der unerwünschte Anfangszustand, dann der erwünschte Zielzustand und zuletzt eine Barriere. In Versuchen mit Menschenaffen wurden von KÖHLER im Jahre 1921 die drei wesentlichen Schritte der Problemlösung dargelegt:<sup>344</sup>

1. Zielgerichtetheit
2. Zerlegung in Teilziele
3. Auswahl der Operatoren

KÖHLER definiert auf Basis dieser Untersuchungen ein Problem als Transformation eines Ausgangszustandes in den Zielzustand, deren einzusetzende Operatoren nicht auf den ersten Blick offensichtlich sind, sondern erst gesucht werden müssen. Aus seiner Sicht sind Situations- bzw. Konfliktsanalyse die entscheidenden Schritte in der Problemlösung.<sup>345</sup>

---

<sup>342</sup> Vgl. Albers 2002b.

<sup>343</sup> Hussy 1984, S. 114.

<sup>344</sup> Vgl. Köhler 1921, S. 90ff.

<sup>345</sup> Vgl. Duncker 1935, S. 24-25.

Die Barriere unterscheidet ein Problem von einer Aufgabe; Aufgaben können somit als barrierefreie Probleme angesehen werden. Die Barriere ist der subjektive Teil eines Problems, da die Überwindbarkeit der Barriere von den spezifischen Fähigkeiten und dem Vorwissen des Problemlösers abhängig ist. Was für Experten eine Aufgabe darstellt, kann für einen Novizen ein Problem sein.

Nach DÖRNER äußert sich ein Problem durch drei allgemeine Bestandteile:

- einen Anfangszustand, der nicht akzeptiert wird
- einen Endzustand, der angestrebt wird
- eine Barriere, die den Übergang vom derzeitigen Zustand in den gewünschten Endzustand verhindert.<sup>346</sup>

In den 1960er-Jahren wurde das Problemlösen als Form der Informationsverarbeitung konzeptualisiert; es wurden formale Modelle der Problemlösung entwickelt. Das erste bedeutende Modell des menschlichen Problemlösungsverhaltens ist die Ziel-Mittel-Analyse von SIMON und NEWELL.<sup>347</sup> Nach SIMON und NEWELL kann Problemlösen als zielgerichtete Suche in einem Problemraum verstanden werden. Von besonderer Bedeutung sind daher die Form der Problemrepräsentation und die Suchstrategien. An diese Erkenntnis knüpft auch die Expertiseforschung an: Experten können Probleme schneller lösen, da sie durch den raschen Zugriff auf ihr problemspezifisches Wissen in der Lage sind, entsprechende Probleme effizienter zu lösen als etwa Novizen, die aufwendige Suchverfahren einsetzen müssen.<sup>348</sup> Das Expertenwissen umfasst nicht nur deklaratives Domänenwissen, sondern auch prozedurale Fallschemata und spezifische Heuristiken.<sup>349</sup> Hinzu kommt ein differenziertes Metawissen, das zur Lenkung der Problemlöseprozesse eingesetzt wird. Hieraus lassen sich die drei für die Problemlösung wichtigen Wissensarten ableiten:

- Deklaratives Wissen sind alle Kenntnisse eines Menschen über Sachverhalte, Vorgänge, Personen und Objekte
- Prozedurales Wissen umfasst alle verfügbaren geistigen Operationen und Prozesse der Verarbeitung von Informationen

---

<sup>346</sup> Vgl. Dörner 87, S. 10.

<sup>347</sup> Eine spezielle Methode der Unterschiedsreduktion ist die Mittel-Ziel-Analyse. Diese Suchstrategie wurde in den 1960er-Jahren von Newell und Simon im Rahmen des General Problem Solvers (GPS) entwickelt, einem Programm zur Simulation menschlicher Problemlöseprozesse. Vgl. Simon 1994, S. 104.

<sup>348</sup> Vgl. Schlitt 2003, S. 112.

<sup>349</sup> Vgl. Simon 1994, S.166f.

- Metawissen ist das Wissen über Planung und Steuerung von Handlungen bzw. ein Wissen über den Ort relevanten Wissens.<sup>350</sup>

Speziell bei der Problemlösung stellt SIMON fest, dass zu Beginn des Entwurfsprozesses der Lösung nur wenige „Constraints“<sup>351</sup> zur Beschreibung des Problems bekannt sind. Der Constraint-Begriff wird von SIMON sehr umfassend verwendet und bezieht Entwurfsziele mit ein.<sup>352</sup> Aufgrund der unvollständigen Spezifikation kann der Problemlöser anfänglich nur wenige Entwurfsentscheidungen treffen, aber aufgrund seiner Erfahrung und seines Vorwissens weiß er, dass weitere Entscheidungen zu treffen sind. Mit jeder getroffenen Entscheidung werden nun weitere Teilprobleme evident, die anhand der Aktivierung zusätzlichen Wissens gelöst werden können.<sup>353</sup> Somit ist es zur Lösung des schlecht strukturierten Gesamtproblems nötig, es in wohl strukturierte Teilprobleme zu zerlegen, die systematisch gelöst werden können.

SIMON stützt sich hier auf die Begriffe von MCCARTHY, der zwischen offenen und geschlossen Problemen differenziert. Bei offenen (schlecht definierten) Problemen können entweder der Anfangszustand, der Zielzustand oder beide unklar sein. Bei geschlossenen (gut definierten) Problemen ist sowohl der Anfangszustand als auch der Zielzustand klar definiert, doch sind die Operatoren zur Überführung der Barriere nicht bekannt.<sup>354</sup>

DÖRNER differenziert Probleme mit Interpolations-, synthetischer oder dialektischer Barriere. Eine Interpolationsbarriere liegt dann vor, wenn neben Ist- und Soll-Zustand auch die Operatoren zur Überwindung des Hindernisses bekannt sind, nicht aber deren spezifische Kombination oder Abfolge. Bei Problemen mit Synthesebarrieren sind Operationen zur Überwindung der Barriere unklar. Interpolations- und Synthesebarrieren treten vor allem bei geschlossenen Problemen auf. Probleme mit dialektischen Barrieren sind dagegen bei allen offenen Problemen zu finden; DÖRNER bezeichnet diese als dialektisch, da die Lösungsvorschläge erst auf interne oder externe Widersprüche überprüft und optimiert werden müssen.<sup>355</sup>

---

<sup>350</sup> Vgl. Schmid 1999, S. 163.

<sup>351</sup> Constraints: Einschränkungen des Wertebereichs einer Variablen, Brockhaus multimedial 2007.

<sup>352</sup> Vgl. Simon 1973, S. 181 ff.

<sup>353</sup> Vgl. Schlitt 2003, S. 116.

<sup>354</sup> Vgl. McCarthy 1956, S. 177f.

<sup>355</sup> Vgl. Dörner 1987, S. 14.

### 2.5.2.1 Individuelle Strategien der Problemlösung

NEWELL und SIMON entwickelten die Problemraumtheorie<sup>356</sup>, die sie als Grundlage für KI-Systeme (Künstliche Intelligenz) nutzten. Der Problemraum bezeichnet die Gesamtheit aller möglichen Zustände, die im Laufe einer Lösung eintreten können, unabhängig von der Frage, ob ein Zustand der Problemlösung dient oder während ihr aufgegriffen wird - der Problemraum ist der vollständige Möglichkeitsraum.<sup>357</sup> Seine Bestimmung geschieht mittels einer Situations- bzw. Problemanalyse. Hier wird auch deutlich, dass, wenn der Problemraum nicht hinreichend bestimmt oder schlecht gewählt ist, keine adäquate Problemlösung resultiert. Bei komplexen Problemen ergeben sich Problemräume mit einer unendlichen Vielzahl von Informationen und Handlungsmöglichkeiten. Die Problemsituation ist von einem Informations- und Möglichkeitsüberschuss und einem Mangel an Aufmerksamkeit geprägt, denn es ist so gut wie unmöglich, jede Möglichkeit einzeln auszuführen oder zu durchdenken.

Um Probleme doch zu bewältigen, haben Menschen allgemeine Verhaltens- und Denkweisen entwickelt, mit deren Hilfe sie Problemräume reduzieren können. Damit sie zielgerichtet handeln, vermeiden sie Zustände, die einer Lösungsfindung vermutlich nicht dienlich sind; diese Strategie wird als Heuristik bezeichnet. Mit Hilfe von Heuristiken werden die Zustände und Möglichkeiten im Suchraum intuitiv eingeschränkt und damit reduziert. Generell kann festgestellt werden, dass einige Heuristiken von Problemlösern intuitiv angewendet werden.<sup>358</sup> „Heuristik“ stammt aus dem Griechischen und ist die Erfindungskunst, die Kunst der Entdeckung von Wahrheiten durch Methodik des Denkens und Erkennens.<sup>359</sup> Eine Heuristik ist somit eine Strategie, welche mit nur wenig Information arbeitet und den Rest ignoriert. Sie kann auch als Regel formuliert werden und weist dabei folgende Elemente auf:

1. Heuristiken nutzen erworbene Fähigkeiten
2. Heuristiken nutzen Umweltstrukturen
3. Heuristiken können in Form von „Als-ob-Modellen“ Verhalten vorhersagen.<sup>360</sup>

GIGERENZER beschreibt die Funktionsweise einer heuristischen Regel an einem einfachen Beispiel: Wenn man einem Roboter beibringt, einen Ball zu fangen, stellt man sich die Frage, wie man das selbst macht. Man wird in der Regel die Frage

---

<sup>356</sup> Vgl. Newell 1963.

<sup>357</sup> Vgl. Brander 1985, S. 120.

<sup>358</sup> Ebd., S. 124.

<sup>359</sup> Vgl. Eisler 2004, Bd. 1, S. 438.

<sup>360</sup> Vgl. Gigerenzer 2006, S 40f.

intuitiv und ohne nachzudenken beantworten. Doch die Frage nach dem „Wie“ bleibt offen. Um zu wissen, wo der Ball landet, muss man die Flugbahn kennen, doch das technische Problem dabei ist nicht nur die Berechnung der Flugbahn, sondern zuallererst die Schätzung der relevanten Variablen Distanz, Geschwindigkeit, Luftwiderstand, Wind und viele weitere. Dieses Problem lässt sich durch eine einfache Heuristik lösen.

Die heuristische Strategie lautet, nur wenige Informationen zu nutzen und den Rest zu ignorieren. Bei der Beobachtung des Fangvorgangs wird man eine Reihe solcher Heuristiken finden. Die einfachste, die aber nur funktioniert, wenn der Ball bereits hoch in der Luft ist, ist die „Blickheuristik“: „Fixiere den Ball, beginne zu laufen und passe die Laufgeschwindigkeit so an, dass der Blickwinkel konstant bleibt.“ Der Spieler, der diese Heuristik nutzt, braucht weder Wind, Luftwiderstand und Spin noch die anderen Größen zu kennen. Er kann alle kausalen Variablen ignorieren, die man zur Berechnung der Flugbahn bräuchte. Der Spieler kann zwar den Punkt, an dem der Ball landen wird, mit dieser Heuristik nicht berechnen, aber sie wird ihn dorthin bringen, wo der Ball landet.<sup>361</sup>

### 2.5.2.2 Rational- und Normalbetrieb

Aufbauend auf den Arbeiten über die „Systematischen Heuristiken“ von MÜLLER<sup>362</sup> greift EHRENSPIEL die Begriffe des „Normalbetriebs“ und des „Rationalbetriebs“ bei der Problemlösung wieder auf. EHRENSPIEL beschreibt, wenn in einer Situation eine Barriere eine subjektiv empfundene Höhe überschreitet (also ein Problem auftritt), in der Folge ein methodenbewusstes, diskursives Denken und Handeln – ein „Rationalbetrieb“ – notwendig wird.<sup>363</sup> Die Höhe der Barriere ist immer subjektiv und ist demnach von der Erfahrung des Problemlösers abhängig: Sie gestaltet sich somit bei Novizen und Experten auf gänzlich unterschiedliche Weise.

Wichtig ist, dass bei Routinelösungsprozessen aus dem meist unbewussten „Normalbetrieb“ in den bewusst ablaufenden „Rationalbetrieb“ gewechselt wird bzw. dass Problemlösungszyklen so trainiert sind, dass sich auch der „Normalbetrieb“ an systematischen Arbeitsmustern orientiert. In der Regel führt der „Rationalbetrieb“ zu völlig neuen Vorgehensmustern. Analog zu der Unterscheidung von implizitem und explizitem Wissen werden die beiden Handlungsformen des „Normalbetriebs“ bei dem überwiegenden Teil von Problemlösern unbewusst und unreflektiert

---

<sup>361</sup> Ebda., S. 39f.

<sup>362</sup> Siehe Müller 1970 und Kapitel 2.4.5, S. 98f.

<sup>363</sup> Ehrlenspiel 1995, S. 65.

gehandhabt; dies entspricht dem „Rationalbetrieb“, der einem methodischen, rationalen, diskursiven Vorgehen gleicht.<sup>364</sup>

### 2.5.2.3 Novizen und Experten

Die Nutzung effizienter Heuristiken nimmt mit Erfahrung zu, diese hat somit entscheidenden Einfluss auf die Problemlösung. In den 1960er-Jahren wurden von DEGROOT, CHASE und SIMON Untersuchungen angestellt, die die Grundlage der Expertiseforschung darstellen. Ein beliebtes Studienobjekt in der Expertiseforschung ist Schach, da in diesem Spiel komplexe Strategien in empirischen Untersuchungen nachvollzogen werden können.

DEGROOT versucht anhand des Schachspiels die Frage zu beantworten, welche Fähigkeit fortgeschrittene und wahre Könner von Schachmeistern unterscheidet. Er stellte fest, dass es weder die Intelligenz, die Merkfähigkeit oder die Fähigkeit, möglichst viele Züge vorausdenken ist. DEGROOT belegte, dass der Unterschied nicht darin besteht, dass Schachspieler unterschiedlich viele Züge in Betracht ziehen, sondern vielmehr darin, dass Großmeister weniger Zeit für die einzelnen Züge benötigen. Der Großmeister hat ein viel breiteres und besser organisiertes Wissen über Schachstellungen und günstige Züge; dies ermöglicht es ihm, sich ausschließlich auf die relevanten und zielführenden Züge zu konzentrieren.<sup>365</sup>

CHASE und SIMON greifen diesen Untersuchungsansatz auf und bestätigen seine Hypothesen. In ihren Untersuchungen stellten sie fest, dass der Leistungsvorteil von Experten auf deren besonderen kognitiven Fertigkeiten beruht, komplexe Sachbereiche und Sinnstrukturen ihres Gebietes zu erfassen. Man kann festhalten: Experten denken nicht mehr, sondern Experten erkennen mehr.<sup>366</sup>

CHASE und SIMON entwickelten durch ihre Untersuchungen die Chunk-Theorie von MILLER<sup>367</sup> weiter. Experten haben eine große Erfahrung auf ihrem Gebiet. In der Theorie bedeutet dies, dass sie eine große Menge an Chunks gelernt und gespeichert haben. Die Chunks werden im Gehirn mit Hilfe eines so genannten „Discrimination Net“ katalogisiert. Dieses funktioniert als eine Art Inhaltsverzeichnis

---

<sup>364</sup> Ehrlenspiel 2003, S. 65ff.

<sup>365</sup> Vgl. DeGroot 1978, S. 55-81.

<sup>366</sup> Vgl. Mieg 2000, S. 648.

<sup>367</sup> Chunks bezeichnen zusammengefasste Informationen, die aufgrund von identifizierten Beziehungen zwischen diesen Informationen als eine Einheit betrachtet werden, also – einfach gesagt – die Gruppierung von Einzelementen zu einer größeren sinnvollen Einheit. Miller schlug vor, „Chunks“ als Maßstab für kognitive Systeme zu benutzen, vgl. Miller 1956.

des Langzeitgedächtnisses. Auf Basis der Wahrnehmung werden automatisch gespeicherte Chunks verglichen und unterbewusst auf geeignete zugegriffen.

Eine große Anzahl an domänenspezifischen Chunks und ihr schnelles Auffinden erklärt die Geschwindigkeit, mit der Experten Schlüsselemente in einer Problemsituation erkennen. Jedoch ist diese Fähigkeit auch begrenzt. So beträgt die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses etwa sieben Chunks. Die Zeit, um eine Überprüfung im Discrimination Net durchzuführen, beläuft sich auf 10 Millisekunden und die Zeit, um einen neuen Chunk zu lernen, auf etwa 8 Sekunden. Chunks erklären, warum Experten größere Mengen an Informationen wiedergeben können als Novizen. Sie speichern Chunks im Langzeitgedächtnis, statt jedes Element einzeln im Kurzzeitgedächtnis zu speichern. Um beispielsweise Schachexperte zu sein, sind 10.000 bis 100.000 Chunks notwendig.<sup>368</sup>

#### 2.5.2.4 Einfluss von Routine auf die Problemlösung

Eine zentrale Fragestellung ist immer wieder, wie sich Routine auf die Problemlösungsfähigkeiten auswirkt. Die Behavioristen sind von der enormen Wichtigkeit des Übens und der Routine überzeugt, doch wird von Seiten der Gestaltpsychologie dies oft auch als „sinnloser Drill“ kritisch gesehen. Die Untersuchungen von LUCHINS belegen, dass wiederholtes Üben der stets gleich bleibenden Handlungsweise einer effektiven Problemlösung entgegenwirken kann. Dieses Phänomen wird als Einstellungseffekt (mental set) bezeichnet. Die reproduktive Verwendung derselben Methode führt zu einer Fixierung auf diese und verhindert so Einsicht in die Problemstruktur, so dass eine effiziente Problemlösung erschwert wird.<sup>369</sup>

#### 2.5.3 Problemlösen

Die ersten Arbeiten zur systematischen Problemlösung stammen vom Anfang des 20. Jahrhunderts. Der Mathematiker Henri POINCARÉ<sup>370</sup> beschrieb ein vierstufiges Denkmodell beim Lösen mathematischer Probleme. Der Psychologe WALLAS griff dieses Modell auf und entwickelte daraus die vier grundlegenden Phasen eines Problemlösungszyklus. Diese vier Phasen sind bis heute in allen Problemlösungszyklen zu finden.

1. **Präparation oder Vorbereitungsphase:** Das Problem wird erkannt und es folgt eine längere Auseinandersetzung mit dem Problemkontext. In dieser Phase entsteht eine breite Informationsbasis.

---

<sup>368</sup> Vgl. Chase 1973.

<sup>369</sup> Vgl. Luchins 1959, S. 32f.

<sup>370</sup> Vgl. Ulmann 1973, S. 219ff.

2. **Inkubation:** Während der Inkubation sind keine bewussten Aktivitäten zur Problemlösung feststellbar. Die Inkubation ist kein bewusster Prozess, sondern ein unbewusster Reifeprozess.
3. **Illumination:** Plötzlich erfolgt die Einsicht in die Lösung des Problems.
4. **Verifikation:** In ihr werden Ideen auf Tauglichkeit geprüft und in die Tat umgesetzt (realisiert).

Seitdem werden Problemlösungsprozesse in den verschiedensten Bereichen erforscht und angewendet. Auch bei der Problemlösung findet sich der analytische und der synthetische Charakter wieder und es wird zwischen reproduktivem und produktivem Problemlösen unterschieden. Auch werden die Dimension der Verarbeitung von bestehendem Wissen und der Schaffung von neuem Wissen differenziert. SELZ formulierte schon 1924 in seiner Denkktheorie dieses Konzept des Denkens: Produktiv Denken heißt, neue Organisationen und Strukturen zu finden und zu verstehen, reproduktiv Denken heißt, altes Verhalten erneut anzuwenden.

SELZ sieht die produktive Problemlösung dadurch gekennzeichnet, dass die pure Reproduktion von Wissen nicht immer zum Ziel führt. Problemlösungsorientiertes Denken zeichnet sich vor allem dadurch aus, Wissen einschließlich der Ziel- und Mittelfindung anwenden zu können,<sup>371</sup> das Problemlöseverhalten ist sowohl reproduktiv als auch produktiv.

**Reproduktives Problemlösen:** Beim reproduktiven Problemlösen wird Vorwissen benötigt und verwendet. Doch kann dieses Vorwissen auch die erfolgreiche Lösung des Problems verhindern. WERTHEIMER, KÖHLER und DUNCKER haben in ihren Arbeiten dieses Phänomen umfangreich untersucht und als „funktionale Gebundenheit“ bzw. „funktionale Fixierung“ bezeichnet.<sup>372</sup>

**Produktives Problemlösen:** Die funktionale Gebundenheit kann nur durch produktives Problemlösen umgangen werden, man muss etwas anders machen, nicht im bekannten Muster handeln – es wird eine Umstrukturierung erforderlich. Der Problemlöser muss sein Wissen transferieren und auf eine neue Anwendung übertragen können. Produktives Problemlösen ist durch Einsicht in die Struktur des

---

<sup>371</sup> Der Psychologe an der Universität Mannheim veröffentlichte 1924 sein Werk „Die Gesetze der produktiven und reproduktiven Geistestätigkeit“, Selz 2007.

<sup>372</sup> Die Untersuchungen sind in Duncker 1935, S. 103ff ausgeführt. Das bekannteste Problem ist das Kerzenproblem: Der Proband bekommt die Aufgabe, eine Kerze an der Wand zu befestigen und sie anzuzünden; hierzu bekommt er eine Kerze, Reißnägel und eine Streichholzschachtel. Der gewohnte Gebrauch von Objekten verhindert ihre Verwendung in einer anderen Funktion. Die Lösung ist, die Schublade der Streichholzschachtel mit den Reißnägeln an der Wand zu befestigen und die Kerze darauf zu stellen. Vgl. Funke 2006.

Problems und durch produktive Restrukturierung des Problems und Problemraums gekennzeichnet.

#### 2.5.4 Beschränkte Rationalität

Problemlösungszyklen beschreiben den Prozess der Informationsbeschaffung, -verarbeitung, Entscheidung und Umsetzung einer Lösung in komplexen Situationen. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht kommt der Entscheidung die größte Bedeutung zu. Vom ökonomischen Standpunkt aus zielen Entscheidungen immer auf eine Gewinnmaximierung unter objektiven und rationalen Kriterien ab. Diese rationalen Entscheidungsstrategien wurden von SIMON widerlegt. Er bewies, dass der „homo oeconomicus“<sup>373</sup> in der Regel überhaupt nicht in der Lage ist, wirklich rational zu entscheiden.

Dieses Dilemma begründet sich einerseits in unvollständigem Wissen, in der unsicheren Bewertung zukünftiger Ereignisse und in einer begrenzten Auswahl an Entscheidungsalternativen, andererseits darin, dass Entscheidungen nicht unterlassen oder aufgeschoben werden können. Die Informationsbeschaffung für Entscheidungen kostet Zeit und Geld und wirkt sich negativ auf die Gewinnmaximierung aus. Hierdurch wird der Gewinn zu einer Nebenbedingung, die nur zu einem gewissen Grad erreicht werden kann. Wenn der Entscheider ein zufrieden stellendes Niveau erreicht, verzichtet er auf weitere Rationalität und verfolgt andere Ziele. Er beendet die Suche nach Alternativen, ungeachtet dessen, ob es noch eine bessere Alternative geben könnte. SIMON bezeichnet dieses Verhalten als „satisficing“ (gut genug). Mit den Worten der Evolutionstheorie beschreibt er diese Strategie mit „fit enough“ im Gegensatz zu „survival of the fittest“.<sup>374</sup>

SIMON erachtet die Verwendung von Heuristiken, die helfen, Randbedingungen, Umfeldfaktoren und Informationen bewusst zu ignorieren, als eine zielführende Strategie, um mit der begrenzten Rationalität umzugehen. Mit diesem Verständnis des wirtschaftlichen Entscheidungsprozesses knüpft er an das der physikalischen Theorien von EINSTEIN an. Auch er sieht seine Relativitätstheorie von einem

---

<sup>373</sup> „Homo oeconomicus“ bezeichnet das theoretische Modell eines Menschen, der seine Handlungen allein auf Basis der ihm vorliegenden Informationen rational ausrichtet und seine Entscheidungen nach dem ökonomischen Prinzip zur Maximierung seines persönlichen Nutzens trifft. Für seine bahnbrechende Erforschung der Entscheidungsprozesse in Wirtschaftsorganisationen der „Theory of bounded rationality“ (Theorie der beschränkten Rationalität) bekam SIMON 1978 den Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften.

<sup>374</sup> Vgl. Simon 1972.

heuristischen Gesichtspunkt<sup>375</sup> aus, er meint damit eine Idee, die aufgrund unseres begrenzten Wissens unvollständig, aber nützlich ist.<sup>376</sup> Dieses Erkenntnis ist eine der herausragenden Leistungen von EINSTEIN, die das rationale axiomatische Wissenschaftsverständnis<sup>377</sup> der Physik zu einem relativen heuristischen Verständnis weiterentwickelte. Es wird zwar von der Relativitätstheorie gesprochen, aber Einstein selbst hat darin eben keine abgeschlossene Theorie gesehen, sondern ein „heuristisches Prinzip“<sup>378</sup>.

SIMONS Strategie zur Bewältigung dieses Dilemmas beschreibt er mit „*Bounded rationality – unbounded variety*“ (begrenzte Rationalität und unbegrenzte Varietät). Obwohl SIMON auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz zusammen mit NEWELL bahnbrechende Erfolge erzielte, für die er 1975 den Turing Award<sup>379</sup> bekam, erachtet SIMON die menschlichen Problemlösungsfähigkeiten für nicht nachbildbar. Denn sowohl im gezielten situationsgerechten Ignorieren durch Heuristiken als auch in der Generierung einer großen Vielfalt sieht er keine logische Prozedur. Dies zu bewerkstelligen, sieht er als zentrale Aufgabe des Designers – des Gestalters, sprich des Ingenieurs, Arztes, Künstlers etc. Mit der Forderung nach der unbegrenzten Varietät knüpft SIMON an die Kybernetik von FOERSTER an:

*„Handle stets so, dass die Anzahl der Möglichkeiten wächst.“<sup>380</sup>*

### 2.5.5 Denken in Systemen

Um Zusammenhänge in komplexen Systemen zu verstehen und die richtigen Entscheidungen zu treffen, ist systemisches Denken bedeutend, doch besitzt der Mensch in komplexen Systemzusammenhängen - wie bereits dargelegt - nur beschränkte Fähigkeiten zu denken. Der Psychologe DÖRNER hat in umfangreichen Untersuchungen und Studien mit computergestützten Simulationen das Entscheidungs-

<sup>375</sup> Vgl. Einstein 2002, S. 28. § 14 Der heuristische Wert der Relativitätstheorie.

<sup>376</sup> Vgl. Gigerenzer 2007, S. 1.

<sup>377</sup> Vgl. Einstein 2002, S. 1ff. Einstein beginnt die Einleitung seiner Relativitätstheorie mit dem ersten Euklidischen Axiom der ersten Gruppe: Zwei voneinander verschiedene Punkte bestimmen stets eine Gerade. Die Überzeugung von der „Wahrheit“ der geometrischen Sätze in diesem Sinne beruht natürlich ausschließlich auf ziemlich unvollkommenen Erfahrungen.

<sup>378</sup> Einstein 1907, S. 206f. Das Relativitätsprinzip oder – genauer ausgedrückt – das Relativitätsprinzip zusammen mit dem Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ist nicht als ein „abgeschlossenes System“, ja überhaupt nicht als System aufzufassen, sondern lediglich als ein heuristisches Prinzip, welches für sich allein betrachtet nur Aussagen über starre Körper, Uhren und Lichtsignale enthält.

<sup>379</sup> Der Turing Award ist die höchste Auszeichnung in der Informatik.

<sup>380</sup> Foerster 1993, S.49.

verhalten von Einzelnen und Gruppen untersucht; aus seinen Untersuchungen leitet er sechs Kernprobleme ab, die erfolgreiche Problemlösungen verhindern können:

1. **Mangelhafte Zielerkennung:** Ein Problem wird identifiziert und gelöst, dann wird das nächste Problem gesucht. Diese Strategie ist ein Reparaturdienstverhalten, löst aber meistens nicht das Gesamtproblem.
2. **Beschränkung auf Ausschnitte:** Große Informationsmengen werden gesammelt, jedoch werden kaum Beziehungen entwickelt, so dass die Dynamik des Systems unerkannt bleibt.
3. **Einseitige Schwerpunktbildung:** Man fokussiert auf einen Schwerpunkt, der richtig erkannt wurde, doch bleiben gravierende Probleme in anderen Bereichen unbeachtet.
4. **Unbeachtete Nebenwirkungen:** In eindimensionalem Denken befangen, werden geeignete Maßnahmen zielstrebig umgesetzt, indirekte Nebenwirkungen und Folgen der Maßnahmen werden nicht analysiert.
5. **Tendenz zur Übersteuerung:** Verzögerungen zwischen Maßnahme und Systemantwort werden nicht richtig eingeschätzt.
6. **Tendenz zu autoritärem Verhalten:** Der Glaube, das System verstanden zu haben, führt oft zur Selbstüberschätzung und zu autoritärem Verhalten, jedoch ist dieses für komplexe Probleme völlig ungeeignet.<sup>381</sup>

Es lässt sich festhalten, dass die wichtigste Fähigkeit zur Beherrschung komplexer Realitätsbereiche das „vernetzte Denken“ ist. Es bezeichnet keine isolierte Fähigkeit, sondern ein Bündel von Fähigkeiten und im Speziellen die epistemische und heuristische Kompetenz.

Die epistemische Kompetenz ist die Fähigkeit, Situationen aufgrund von vorhandenem Wissen bewältigen zu können. Sie basiert auf dem Operatorwissen für den entsprechenden Realitätsausschnitt und kennzeichnet die Kompetenz eines „Experten“.<sup>382</sup>

Die heuristische Kompetenz ist die Fähigkeit, Situationen zu bewältigen, für die kein oder nicht genügend Operatorwissen vorhanden ist. Es ist die Fähigkeit, neuartige Situationen zu bewältigen. Diese fordern vom Problemlöser den Einsatz von Heuristiken. Er muss in der Lage sein, sich schnell neues Wissen anzueignen und neue Operatoren zu konstruieren, die er benötigt, um das Problem mit beschränkten Ressourcen zu lösen. Subjektiv wird eine hohe heuristische Kompetenz durch

---

<sup>381</sup> Vgl. Dörner 1978, 527ff.

<sup>382</sup> Vgl. Dörner 1983, S. 68.

folgende Aussage zum Ausdruck gebracht: „Ich weiß zwar nicht genau, was zu tun ist, aber irgendwie klappt das schon“<sup>383</sup>.

Das systemische Denken ist speziell im Management von großer Bedeutung. Es wird in vielen Büchern behandelt, doch liefern nur wenige Autoren konkrete Definitionen. Oftmals wird das systemische Denken auf den gesunden Menschenverstand herunter gebrochen, denn ist der Systemzusammenhang erst einmal hergestellt und damit offensichtlich, ist er in der Regel trivial. OSSIMITZ liefert eine konkrete Definition des systemischen Denkens. Er benutzt hierzu vier Dimensionen des Denkens:

1. **Vernetztes Denken:** Denken in direkten und indirekten Wechselwirkungen und unter Berücksichtigung von Rückwirkungen. Nur so können komplexe Wirkungsbeziehungen aufgebaut und verstanden werden.
2. **Dynamisches Denken:** Denken in zeitlich sehr vagen und unscharfen Abläufen; nur dadurch kann die Eigendynamik eines Systems beherrscht werden. Der Problemlöser muss charakteristische systemische Zeitgestalten erkennen und beurteilen wie z.B. Verzögerungen, periodische Schwingungen, Wachstumstypen.
3. **Denken in Modellen:** Denken vollzieht sich ausschließlich in mentalen Modellen; diese Modellhaftigkeit des Denkens muss bewusst sein, denn in Modellen werden stets bestimmte Aspekte hervorgehoben und andere vernachlässigt. Das Denken muss in bewusst wahrgenommenen Modellen erfolgen, die auch von anderen nachvollzogen werden können.
4. **Systemgerechtes Handeln:** Wie auch in der Kybernetik deutlich wird, können komplexe Systeme nur über die Rückkopplung verstanden und gesteuert werden. Für das systemische Denken bedeutet dies, dass eine bewusste Reflexion der Maßnahmen erfolgen muss.<sup>384</sup>

### 2.5.6 Problemlösungsprozess

Wie in der Einleitung des Kapitels über Problemlösung dargelegt wurde, besitzen Problemlösungsprozesse die Aufgabe, komplexe Problemstellungen in klar definierte Aufgaben zu überführen, um das Problem zu lösen. Hierzu müssen offene Probleme in geschlossene und dann in Aufgaben transferiert werden. Doch ist ein Problem keine absolute Größe, es ist stets Ausdruck kognitiver und emotionaler Eigenschaften des Problemlösers. Problemstellungen sind Gegenstand der täglichen Arbeit in der Produktentstehung. Um den Umgang mit Problemen effizient zu

---

<sup>383</sup> Ebda.

<sup>384</sup> Vgl. Ossimitz 2000, S. 60.

gestalten, wurden eine Vielzahl von verschiedenen Problemlösungsprozessen mit unterschiedlichen Schwerpunkten und Einsatzzwecken entwickelt.

In Unternehmen haben sich lediglich Problemlösungsprozesse für Notsituationen durchgesetzt; im Bereich der Planungssituation haben sie zwar in Wissenschaft und Forschung eine große Bedeutung, in der Praxis werden sie jedoch kaum konsequent angewendet. Die VDI 2221 baut z.B. auf einen allgemeingültigen Problemlösungszyklus auf, der in der Praxis so gut wie keine Umsetzung findet.

Schafft man es, individuelle und teamorientierte Problemlösungsmuster zu vereinheitlichen und zu etablieren, wird eine Problemlösungsphilosophie geschaffen, die zu einer gelebten Systematik wird. Sie funktioniert nicht auf Basis von Vorgehensplänen, denn bei Problemen besteht per se eine Lücke im Vorgehens- bzw. Handlungsplan:

*„Problemlösendes Denken erfolgt, um Lücken in einem Handlungsplan zu füllen, der nicht routinemäßig eingesetzt werden kann. Dazu wird eine gedankliche Repräsentation erstellt, die den Weg vom Ausgangs- zum Zielzustand überbrückt.“<sup>385</sup>*

In dieser Arbeit wird die Bedeutung intersubjektiver Problemlösungsmuster in Form von mentalen Modellen als Problemlösungsphilosophie entwickelt. Diese muss auf intersubjektiv nachvollziehbaren Schritten erfolgen, um die Lücken im Handlungsplan im Team zu überbrücken. ALBERS hat hierzu den SPALTEN-Ansatz entwickelt.<sup>386</sup>

### 2.5.6.1 Not- und Planungssituation

Die Differenzierung einer Not- von einer Planungssituation leitet sich problemtheoretisch aus der Art der IST-SOLL-Abweichung ab. ALBERS differenziert diese beiden Problemsituationen und leitet aus ihnen unterschiedliche situationsgerechte Lösungsstrategien ab.<sup>387</sup>

**Notsituation:** Bei einer Notsituation fällt der IST-Zustand durch äußere Umstände unter den SOLL-Zustand, es handelt sich um eine ungewollte Abweichung. Die Zielsetzung der Problemlösung besteht darin, den IST-Zustand in kürzester Zeit in den ursprünglichen SOLL-Zustand zu überführen. Der IST-Zustand nach der Problemlösung entspricht dem IST-Zustand vor der Problemsituation, es wird die ursprüngliche Funktionalität wieder herzustellen versucht.

---

<sup>385</sup> Funke 2003, S. 25.

<sup>386</sup> Vgl. Albers 2002b. Der SPALTEN-Ansatz wird in Kapitel 2.5.7 SPALTEN, S.128, und Kapitel 4.2.4 Mikro-Aktivitäten des iPeM – SPALTEN auf S. 168 genauer dargelegt.

<sup>387</sup> Vgl. Saak 2006, S. 13ff.

**Planungssituation:** Bei der Planungssituation ist es genau umgekehrt: Die Problemsituation entsteht durch die Festsetzung eines neuen SOLL-Zustandes; es handelt sich also um eine aktiv herbeigeführte Situation. In der Planungssituation wird die Problemlösung hinsichtlich der Qualität des SOLL-Zustandes am Ende der Problemlösung optimiert

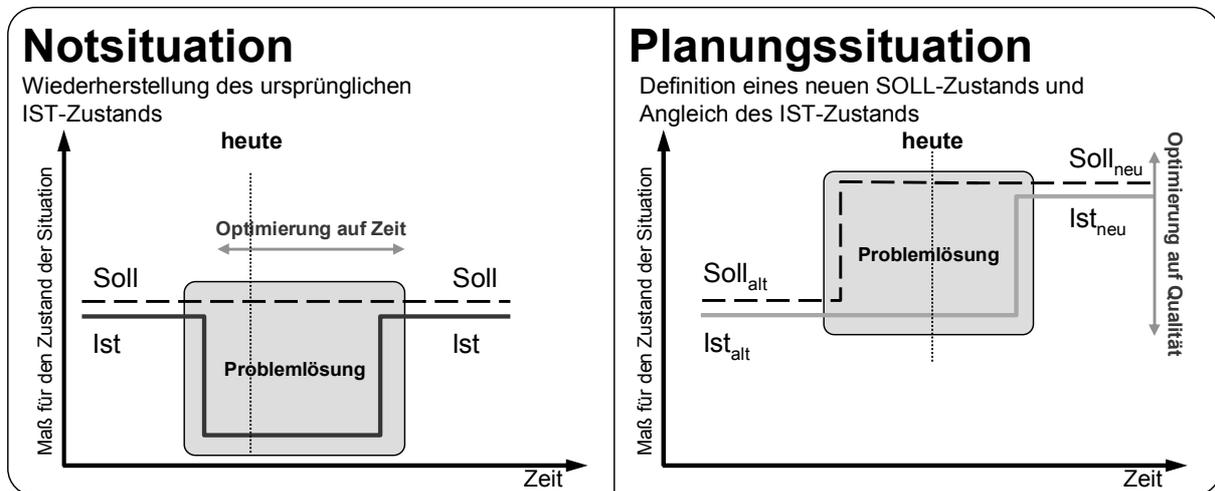


Abbildung 2-32: Not- und Planungssituation<sup>388</sup>

### 2.5.6.2 Problemlösungsprozesse

Nach der Differenzierung zwischen den unterschiedlichen Problemsituationen wird klar, dass es bei Problemlösungsprozessen unterschiedliche Optimierungsstrategien gibt. Wirklich flächendeckend etabliert haben sich in der Praxis nur Problemlösungsprozesse für Notsituationen. Die Potenziale, die in einer Problemlösungssystematik stecken, die gleichermaßen für Not- und Planungssituationen anwendbar sind, wie es der SPALTEN-Ansatz propagiert,<sup>389</sup> stecken noch in den Anfängen. Der Etablierteste, der teamorientierte Problemlösungsprozess „TOP-8D“, ist Inhalt des Qualitätsmanagementkonzepts des Verbandes der Automobilindustrie (VDA) und in SAP-Systemen als 8D-Report implementiert; er wird allerdings lediglich als Problemlösungsroutine und Dokumentation eingesetzt.<sup>390</sup> Sobald ein Fehler auftritt, wird der Prozess gestartet, um den Fehler im Prozess bzw. System oder am Produkt nachhaltig abzustellen.

<sup>388</sup> Albers 2006.

<sup>389</sup> Vgl. Albers 2006a.

<sup>390</sup> Vgl. VDA 2007, S 52, SAP 2007.

Durch die systematische Archivierung der Ergebnisse der acht Schritte<sup>391</sup> wird konsequent Know-How aufgebaut, so dass Wiederholungsfehler vermieden werden. Der 8D-Prozess ist auf Notsituationen spezialisiert.

Im Bereich der allgemeinen Problemlösungsprozesse haben sich eine Vielzahl von unterschiedlichen Problemlösungszyklen entwickelt und zum Teil auch etabliert.<sup>392</sup> Im Kontext dieser Arbeit wird der Problemlösungsprozess SPALTEN von ALBERS verwendet, da er für die Produktentstehung optimal geeignet ist: Er ist allgemeingültig und hat keine Fokussierung auf technische Problemstellungen – somit ist er für den Einsatz im gesamten Produktentstehungsprozess als multidisziplinärer Problemlösungsprozess anwendbar. Die Abgrenzung von anderen Problemlösungsprozessen wurde in der Arbeit von SAAK dargelegt.<sup>393</sup> Die SPALTEN-Methodik beschreibt eine universelle Vorgehensweise, die nicht auf spezielle Probleme begrenzt ist, sondern sich je nach Randbedingung und Komplexitätsgrad der Situation anpasst. Beispielsweise kann sowohl ein wirkungs- als auch ein ursachenorientierter Problemlösungsprozess realisiert werden. Ein vergleichbares Prozessmodell zu SPALTEN ist das Münchner Vorgehensmodell von LINDEMANN.

Das Münchner Vorgehensmodell weist ebenfalls eine sehr flexible Struktur auf, die es für die Produktentstehung geeignet macht. Eines der charakteristischen Merkmale des Münchner Vorgehensmodells ist, dass die Entwicklung des Ziels im Problemlösungsprozess selbst stattfindet. Es orientiert sich an klassischen entwicklungsmethodischen Ansätzen und ist eine Weiterentwicklung hin zu flexibleren Problemlösungsstrukturen in Entwicklungsprozessen. Durch die Integration des Zielfindungsprozesses in den Problemlösungsprozess ist es inkompatibel zu Management- und Controlling-orientierten Ansätzen, da diese eine Trennung der Ziel- bzw. Steuerungsebene von der Handlungsebene fordern. Das

---

<sup>391</sup> Die Schritte des 8D-Reports: 0. Problemklarstellung/Sofortmaßnahme/Bereite die 8D-Methode vor, 1. Problembearbeitung im Team, 2. Problemdefinition und -beschreibung, 3. Entwickle eine Interimsmaßnahme, 4. Definiere und verifiziere die Ursache und den Durchschlüpfpunkt, 5. Auswahl und Verifizierung der Abstellmaßnahme, 6. Realisierung und Validierung der Abstellmaßnahme, 7. Verhindere ein Wieder-Auftreten, 8. Anerkennung des Teambeitrags und der Leistung Einzelner, VDA 2007.

<sup>392</sup> Folgende Schemata seien aufgeführt: TOTE-Schema in Schregenberger 1980; VDI 2221; Lösungsprozess nach Pahl/Beitz; Ehrlenspiel 1995; Ansatz von Daenzer, Huber und Züst, Problemlösungsschema nach Schweizer, Problemlösungsmethode von Kepner/Tregoe; IDEALS Konzept nach Nadler 1969; 6 Stufen Methode in REFA 1985; Angewandtes Problemlösungsverhalten nach Sell; Programm methodenbewusster Problemlöser (PMP) nach Schregenberger; SPALTEN nach Albers; Müncher Vorgehensmodell nach Lindemann.

<sup>393</sup> Vgl. Saak 2006.

MVM eignet sich für die Lösung von Entwicklungsteilaufgaben, die aus einem gesamten Produktentstehungsprozess herausgelöst werden können.

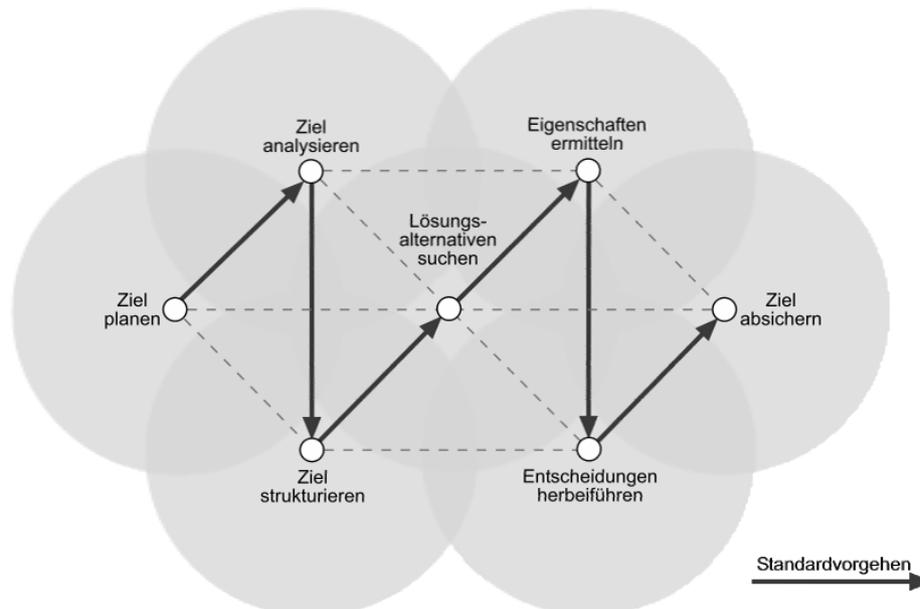


Abbildung 2-33: Münchner Vorgehensmodell MVM<sup>394</sup>

## 2.5.7 SPALTEN

Die Vorgehensweise SPALTEN wurde von ALBERS am Institut für Produktentwicklung (IPEK) entwickelt, um Probleme teamorientiert unter unterschiedlichen Randbedingungen, Situationen und Komplexitätsgraden effizient zu lösen.<sup>395</sup> Die Vorgehensweise SPALTEN wird oft als Prozess, Methode, Methodik oder Systematik bezeichnet. Je nach Einsatzsituation und Anwendungsfall kann SPALTEN entweder stärkeren Prozess- oder Methodencharakter<sup>396</sup> oder den Charakter einer Systematik aufweisen. Die Vorgehensweise orientiert sich am Systems Engineering und eignet sich gleichermaßen für zukunftsorientierte (Planungssituationen) als auch für spontan auftretende Problemstellungen (Notsituationen).<sup>397</sup>

<sup>394</sup> Vgl. Lindemann 2005, S. 40.

<sup>395</sup> Vgl. Albers 2002b.

<sup>396</sup> Oft wird in der Literatur unter Methodik ein Bündel von mehreren Methoden verstanden, doch im etymologischen Sinne ist Methodik die Lehre und Forschung von Methoden.

<sup>397</sup> Vgl. Albers 2002b, Albers 2003a und Albers 2005.

Die Grundstruktur von SPALTEN besteht aus sieben Modulen, die im Laufe des Problemlösungsprozesses ereignisorientiert und zum Teil sequentiell bearbeitet werden:

- SA – Situationsanalyse
- PE – Problemeingrenzung
- AL – Alternative Lösungssuche
- LA – Lösungsauswahl
- TA – Tragweitenanalyse
- EU – Entscheiden und Umsetzen
- NL – Nacharbeiten und Lernen

Im Folgenden werden die einzelnen SPALTEN-Aktivitäten kurz vorgestellt:

**SA – Situationsanalyse:** In der Situationsanalyse werden Informationen gesammelt, geordnet und dokumentiert. Sie dient als Informationsgrundlage für die weitere Problemlösung. Charakteristisch für die Situationsanalyse ist der „Informationszuwachs“. Der SA-Schritt kann mit „militärischer Aufklärung“ verglichen werden; es werden Informationen beschafft und gesammelt, ohne dass eine genauere Interpretation erfolgt.

**PE – Problemeingrenzung:** Im PE-Schritt wird die Informationsfülle auf die problemlösungsrelevanten Daten eingegrenzt. Ziel der Problemeingrenzung ist es, die Ursache und Wirkung der SOLL-IST-Abweichung eindeutig zu ermitteln. Für die Problemsituation werden Hypothesen aufgestellt, die nach einer Beweisführung mit einer hinreichenden Begründung widerlegt oder bestätigt werden.

**AL – Alternativen Lösungen generieren:** Ziel dieser Aktivitäten ist die Entwicklung von möglichen Lösungen und Handlungsalternativen, die analysiert, konkretisiert, und hinreichend dokumentiert werden. Die Informationsmenge steigt in diesem Schritt wieder an.

**LA – Lösungen auswählen:** In der Lösungsauswahl werden die einzelnen Lösungen aus dem AL-Schritt verglichen und hinsichtlich der Zielerfüllung bewertet. Am Ende des Schritts wird in der Regel eine unter den gegebenen Zielkriterien und der subjektiven Einschätzung am besten geeignete Lösung ausgewählt - die Informationsmenge wird wieder reduziert.

**TA – Tragweite analysieren:** In der Tragweitenanalyse werden auf Basis der ausgewählten Lösungsalternative die Risiken und Chancen abgewägt. Von großer Bedeutung ist in diesem Schritt ein zusätzlicher Perspektivenwechsel: Man geht davon aus, dass die Lösung umgesetzt worden ist und versucht, das gesamte

System noch einmal zu analysieren, um etwaige Veränderungen festzustellen. Die Informationsmenge wird dabei wieder vergrößert.

**EU – Entscheiden und Umsetzen:** In diesem Schritt werden die ausgewählten Maßnahmen umgesetzt. Ziel der Umsetzung ist die vollständige Bearbeitung und Realisierung der ausgewählten Lösung(en) in Verbindung mit der Integration der ermittelten Maßnahmen zur Risikominimierung und Chancenoptimierung. Die Informationsfülle wird im Laufe dieses Moduls fokussiert.

**NL – Nacharbeiten und Lernen:** Der abschließende Schritt dient immer dem Nacharbeiten und Lernen. Er baut auf dem Prinzip des kontinuierlicher Verbesserungsprozesses (KVP) auf. Hier werden Erfahrungen der Problembearbeitung festgehalten, so dass die Informationsbasis für zukünftige Problemlösungen wieder verbreitert wird.

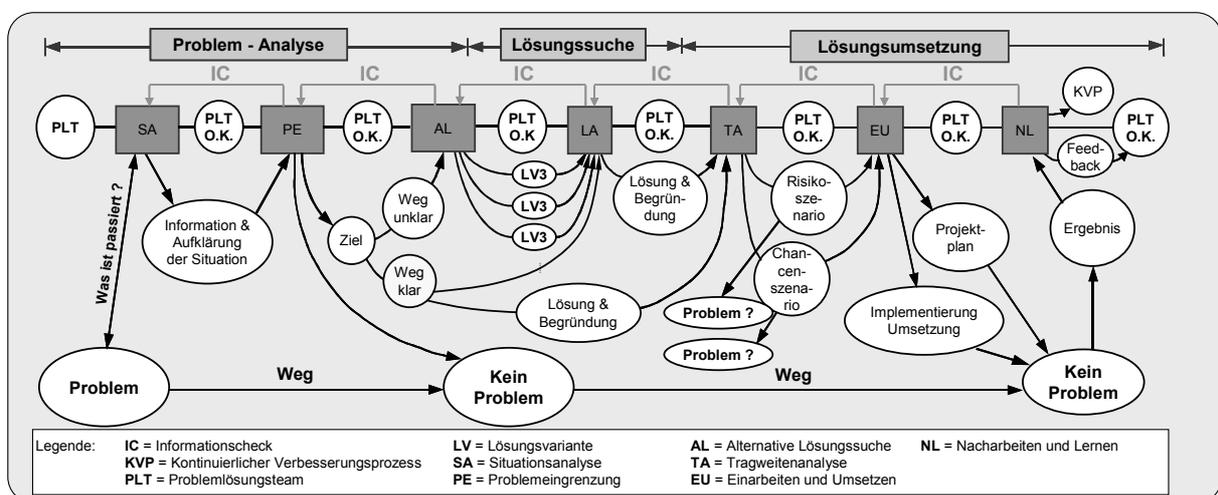


Abbildung 2-34: SPALTEN Problemlösungsmodell<sup>398</sup>

Weitere wichtige Elemente von SPALTEN sind „Informationscheck“ (IC) und „Problemlösungsteam überprüfen“ (PLT). Ersteres überprüft, inwieweit die Informationsbasis ausreichend genutzt wurde und ob sie ausreicht, um den nächsten Schritt durchzuführen. Das PLT wird in jedem Schritt noch einmal durchgeführt, um zu kontrollieren, ob das Team hinsichtlich seiner Eignung für die vorliegende Aufgabe optimal zusammengesetzt ist oder Änderungen vorgenommen werden müssen. Weiteres wichtiges Teilelement von SPALTEN ist die systematische Dokumentation und der problemorientierte kontinuierliche Informationsspeicher (PKIS). Dieser dient der fortlaufenden Erfassung von Ideen und Informationen sowohl zur Vorgehensweise als auch zur Problemlösung.

<sup>398</sup> Albers 2002b.

### 2.5.8 Das Drei-Welten-Modell

Im ersten Teil dieses Kapitels „Denken und Problemlösung“ wurde deutlich, dass bei der Problemlösung unterschiedliche Betrachtungsebenen auftreten, mit denen sich auch die Erkenntnistheorie befasst. POPPER prägte diese durch sein Drei-Welten-Modell<sup>399</sup> maßgeblich. Es besitzt eine klar definierte Struktur, die die Übergänge zwischen den einzelnen Modellebenen beschreibt.

In der Produktentstehung sind Modelle zur Beschreibung, Erklärung und Gestaltung (offener) Probleme und Systeme sehr wichtig. Die Produktentstehung ist heute mehr denn je ein multidisziplinärer und teambasierter Prozess, in dem die Objektivität der verwendeten Modelle eine große Rolle spielt. Eine der zentralen Fragestellungen der Erkenntnistheorie ist, wie sich der Mensch Zusammenhänge erschließt und hieraus mentale Modelle bildet auf deren Grundlage er dann Entscheidungen fällt. In der Literatur wird der Vorgang der Modellbildung und -interpretation meist als intuitiver, spekulativer, kreativer Akt oder als Geistesblitz angesehen und ist damit nicht objektivierbar. POPPER beschreibt mit seinem Drei-Welten-Modell quasi ein Modell des Modellbildungsprozesses. Für ihn sind aus erkenntnistheoretischer Sicht gerade die Schnittstellen und Übergänge zwischen den Welten von Bedeutung. POPPER beschreibt in seiner Theorie drei ontologische Existenzebenen: Die Natur (Welt 1), das Bewusstsein (Welt 2) und die Kultur (Welt 3).

**Welt 1** umfasst die physikalischen Gegenstände und Zustände der Realwelt und die vom Menschen mittels Konventionen eingeführten immateriellen Systeme, z.B. soziale Systeme wie Unternehmen.

**Welt 2** umfasst Bewusstseinszustände wie subjektives Wissen, Erfahrung von Wahrnehmung und Denken. Die Wahrnehmung mittelbarer Erkenntnisgegenstände der Welt 1 führt zu subjektiven Realitätsrekonstruktionen – Modellbildungen. Die Aktivierung erfolgt aus dem intersubjektiven Wissenskontext der Welt 3.

**Welt 3** umfasst das Wissen im objektiven Sinne, aufgezeichnetes Wissen und theoretische Systeme. Die reale Welt 1 steht der imaginären Welt 3 gegenüber. Das Transsubjektivierte der Welt 3 speist sich aus Konzepten, Ideen, Sprache, Modellen, und Theorien, kurz gesagt: aus den Inhalten des externalisierten menschlichen Denkens. Hierzu muss aber der Code zur Interpretation einer transsubjektivierten Modellrepräsentation in mindestens einem Welt-2-Bewusstsein aktiviert oder zumindest rekonstruierbar sein, sonst geht der Modellinhalt der Welt 3 verloren - die Modellrepräsentation verfällt zu einem bloßen Strukturmuster.

---

<sup>399</sup> Vgl. Popper 1984, S. 185ff.

Die drei Realitätsbereiche stehen zueinander in Beziehungen. Welt 1 wirkt auf Welt 2 – sie wird beobachtet und von Welt 2 wahrgenommen. Andersherum wirkt z.B. im Gestaltungsprozess Welt 2 auf Welt 1: Es werden Artefakte erschaffen. Welt 2 wirkt auf Welt 3, indem Erkenntnisse niedergeschrieben oder Ziele formuliert werden. Ein wichtiger Schritt ist die Wirkung von Welt 3 auf Welt 2: Der Ingenieur kann seine niedergeschriebene Funktionsstruktur nochmals nachlesen und neue Gedanken fassen, Fehler entdecken und diese korrigieren. Welt 3 und Welt 1 stehen selbst in keiner direkten wechselseitigen Beziehung, sie sind nur durch Welt 2 verbunden. Die beidseitige Transformation zwischen Welt 1 und Welt 3 kann nur über Subjekte/Objekte erfolgen. Es muss die Fähigkeit vorhanden sein, diesen Transformationsprozess aktiv zu vollziehen. Auch ein Computer kann Bestandteil von Welt 2 sein, über Sensoren kann er Welt 1 wahrnehmen und z.B. Protokolle erstellen.

### **2.5.9 Zwischenfazit**

Der Nutzen von Problemlösungsprozessen ist klar ersichtlich, doch bleibt die Frage in der Regel meist unbeantwortet, wie sie in der Praxis institutionalisiert werden können, sodass sie im Entwicklungsprozess nicht zur Bürokratie verkümmern, sondern zu einer aktiv gelebten Systematik werden. Denn nur, wenn der Problemlösungsprozess systematisch und konsequent eingesetzt wird, können die vollen Potenziale ausgeschöpft werden. Problemlösungsprozesse sind im Bereich der Entwicklungsmethodik allerdings zu wenig verankert, sie besitzen bis heute nur den Stellenwert gut gemeinter Ratschläge. Die systematischen Problemlösungsprozesse bieten große Potenziale zur Effizienzsteigerung für die Dokumentation – dem strukturierten Zugriff auf erarbeitete Informationen und der Nachvollziehbarkeit von Handlungen. Wirklich genutzt werden können diese Prozesse erst dann, wenn sie im Produktentstehungsprozess verankert sind und in Form von IT-Systemen wie WIKIs, PDM- oder PLM-Systemen in der Dokumentation gefordert werden.

## 2.6 Grenzen von Methoden und Prozessen

In den frühen Werken der Konstruktionsmethodik, z.B. in „Technische Kompositionslehre“ von KESSELRING aus dem Jahre 1954, ist der Einstieg in die Konstruktion nicht die Technik, sondern die ethischen Voraussetzungen des technischen Schaffens. Der künstlerische Aspekt der Ingenieurstätigkeit hatte damals noch einen hohen Stellenwert. KESSELRING beginnt sein Buch mit dem Kapitel „Die Philosophie und ihre Bedeutung für eine Sinnggebung der Technik“ mit dem Satz:

*„Philosophie ist die Synthese aus wissenschaftlicher Erkenntnis und intuitiver Schau“.<sup>400</sup>*

Die Betrachtung der Produktentstehung als philosophisches und gestalterisches Handeln ist fünfzig Jahre später nur noch eine Randerscheinung von Technikphilosophen und -historikern. Die Ingenieurskunst von damals ist im Spannungsfeld der Unternehmensprozesse und Ökonomie zum notwendigen Zweck herabgestuft geworden. Doch ist es eben diese Ingenieurskunst, die in dem Ruf nach Innovation und Wettbewerbsfähigkeit in Zeiten der Globalisierung laut wird. Auf deren anderen Seite jedoch stößt dies schöpferische künstlerische Gestaltung immer an harte Grenzen; denn das Neue, die Veränderung und das Unsichere sind aus ökonomischer Sicht immer ein Wagnis, das dem technischen Schöpfungsprozess im Wege steht:

*„Die Schöpfung: Finsternis lag über der Abteilung Forschung und Entwicklung. Da sprach der Kreative: Es werde Licht. Und es ward Licht. Der Kreative sah, dass das Licht gut war. Dann aber sprach der Controller: Es ist nicht gut, denn das Licht verbraucht Strom. Und das Produktportfolio blieb dunkel, wüst und leer. – Sieben Tage später fand das nächste Meeting statt.“<sup>401</sup>*

Die zentrale Herausforderung besteht darin, die schöpferische Freiheit und Ökonomie zu vereinen.

### 2.6.1.1 Grenzen der Wissenschaft und Technik

Der Philosoph, Trendanalytiker und Medientheoretiker BOLZ beschäftigt sich mit dem Zusammenwirken von Mensch und Technik. Er sieht das zentrale Problem der Technisierung in der Nichtfixierbarkeit und Nichtdefinierbarkeit von Komplexität: Die Welt ist zu komplex für „unser vertrautes lineares Denken“<sup>402</sup>. Dieser Zustand wird vom Individuum als Chaos und Unordnung wahrgenommen. Er bezieht sich hier auf

---

<sup>400</sup> Kesselring 1954, S. 6.

<sup>401</sup> Brandeins 2007a, S. 51.

<sup>402</sup> Bolz 1997, S 28.

die Technikkritik des französischen Soziologen ELLUL: Je weiter der technische Fortschritt vorrückt, desto mehr wird das soziale Problem der Beherrschung dieses Fortschritts ein geistiges und ethisches.<sup>403</sup> Dies zeigt auf, dass eine Technikphilosophie mit dem Anspruch eines ganzheitlichen Verständnisses große Potential bietet effizient mit der vorherrschenden Komplexität umzugehen.

BOLZ zeigt auf, dass es bei zunehmender Komplexität unserer Welt immer dringlicher wird, die Schnittstelle von Menschen und Systemen, mittels Interface-Design zu gestalten.<sup>404</sup> Hier bezieht er sich nicht nur auf die Mensch-Maschine-Schnittstelle, sondern generell auf die Möglichkeiten, komplexe Systeme zu verstehen und zu erfassen. Es geht hier explizit auch um Modelle, wie z.B. dem C&CM-Modell, das komplexe Vorgänge des Zusammenhangs zwischen Funktion und Gestalt elementar beschreibt. Die Hyperkomplexität evoziert geradezu einen Zwang zur Verkürzung, da der Mensch nur durch Simplifizierung auf Komplexität reagieren kann. Die Verkürzung führt aber auch dazu, dass es letztlich oft keine Prinzipien und Letztbegründungen in komplexen Zusammenhängen gibt.<sup>405</sup> Komplexität enthält und gebiert immer neue Kontingenz, denn je komplexer ein System ist, desto wahrscheinlicher wird auch die Möglichkeit unvorhergesehener und unberechenbarer Fehlentscheidungen.

Diesem Überfluss an Informationen, Einschätzungen und Optionen ist der Mensch nur gewachsen, wenn er effiziente Filter nutzen kann, die die Komplexität reduzieren. Aber in den vielfältigen Versuchen zur Reduktion verwickelt sich der Mensch wiederum in Komplexität. Dies zeigt sich deutlich an modernen Entwicklungsprozessen: Bei den Anstrengungen der Prozessgestaltung – z.B. der Implementierung von Informationssystemen zur Verbesserung der Transparenz – kommt es zu immer komplexeren Strukturen. Die Bürokratie und Dokumentenflut schwillt an, und dies unter dem Postulat, mehr Transparenz zu wahren bzw. zu erzielen.

Der Kern liegt darin, dass Einfachheit nicht das Gegenteil von Komplexität ist.<sup>406</sup> Es ist immer die Einfachheit, die hilft komplexe Systeme zu beschreiben. Doch seit der Verdrängung der Philosophie aus der Technik ist der Irrglaube entstanden, dass man mit Methoden, Prozessen und Systemen allein die Komplexität der Produktentstehung beherrschen könne. Doch holt einen immer wieder die Erkenntnis ein, dass man vom Malen nach Zahlen keinen van Gogh erhält. Diese Binsenweisheit bringt die Problematik des Methoden- und Werkzeugeinsatzes auf den Punkt. Was nutzen

---

<sup>403</sup> Vgl. Ellul 1965, S. 25ff.

<sup>404</sup> Vgl. Bolz 1997, S. 29.

<sup>405</sup> Ebda., S. 30ff.

<sup>406</sup> Ebda., S. 24.

die besten Methoden, wenn die Mitarbeiter nicht gelernt haben, diese qualifiziert einzusetzen? HAYEK sieht hier vor allem das Problem im falschen Verständnis und den falschen Erwartungen an Methoden und Prozessen. Der Glaube an die unbegrenzte Möglichkeit der Wissenschaft bzw. Methoden beruht nur zu oft auf der falschen Annahme, dass die wissenschaftlichen Methoden in der Anwendung gebrauchsfertige Techniken sind, bei denen es um Nachahmung geht anstatt um das Wesen der Methode selbst. Man glaubt, man bräuchte nur ein paar Kochrezepte anzuwenden, um komplexe Probleme zu lösen. Es sieht manchmal fast so aus, als seien die Techniken der Wissenschaften leichter zu erlernen als das Denken, das uns zeigt, welches die Probleme sind und wie man sie angeht.<sup>407</sup>

### **2.6.2 Prozess- und Wissensarbeit**

Das oberste Postulat von TAYLOR war die Trennung von Arbeit und Management – die Trennung von Denken und Arbeit, die Differenzierung zwischen Wissensprozessen (Wissensarbeit) und manueller Tätigkeit (Prozessarbeit).

Prozesse machen Kompliziertes trivial und beziehen sich auf wiederkehrende Arbeit. Für diese Tätigkeiten braucht man fest vorgeschriebene Prozesse, die nicht verändert werden dürfen. Diese müssen ein Standard sein, an den sich jeder zu halten hat. Auf der anderen Seite stehen wissensintensive Tätigkeiten, die im Wesentlichen durch Wissensarbeit und nicht durch Routine gekennzeichnet sind; diese entziehen sich der direkten Messung und Kontrolle und brauchen Entfaltungsraum. Komplexe Probleme benötigen Wissensarbeit, bei der der Erfolg nicht vom Prozess, sondern von der individuellen Kompetenz und der Systematik abhängt. Es ist zunächst wichtig, Kompliziertes von Trivialem trennen - so hat das schon Taylor postuliert. Dies wird als Dualität von Problemen bezeichnet: Jedes Problem besteht aus komplizierten/trivialen und komplexen Bestandteilen. Bei geschlossenen, bekannten Problemstellungen lassen sich die beiden Bereiche gut trennen und das Verhältnis der Bestandteile ist über den Prozessverlauf vorhersagbar und nahezu konstant. Bei komplexen, wissensintensiven Problemen verhält sich dies anders: Weder das Verhältnis noch der Verlauf der trivialen/komplizierten und komplexen Anteile ist genau vorhersagbar.

---

<sup>407</sup> Vgl. von Hayek 1996, S.11.

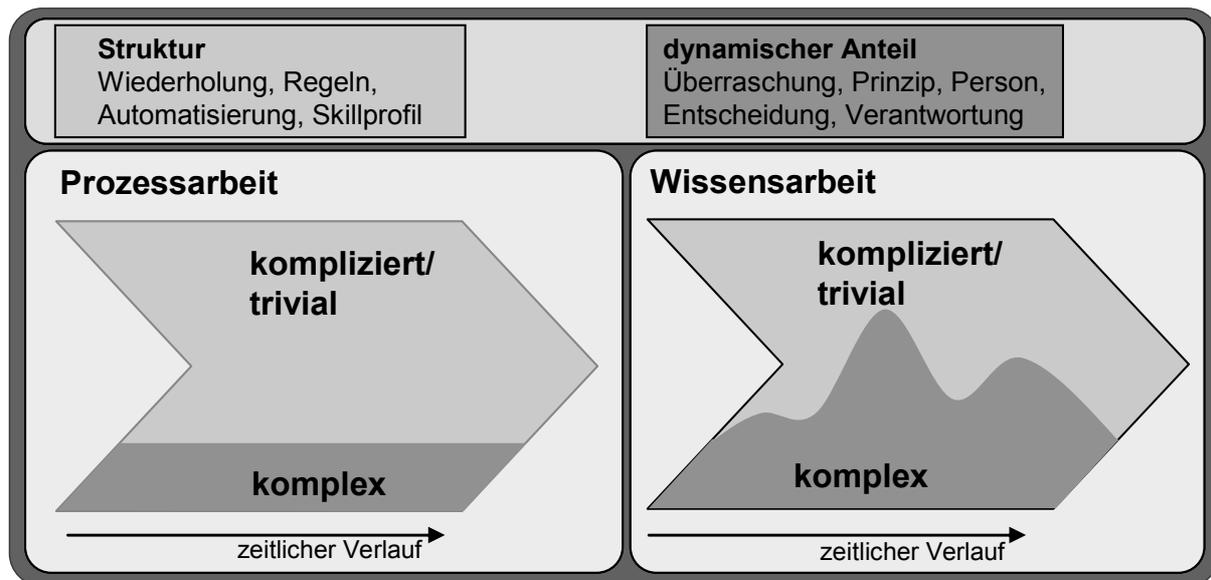


Abbildung 2-35: Komplizierter und Komplexer Anteil in Prozess und Wissensarbeit<sup>408</sup>

Der Hauptunterschied besteht darin, dass bei Prozessarbeit die Abfolge und Inhalte vor allem durch den Prozess festgelegt werden können, bei Wissensarbeit wird das Vorgehen im Wesentlichen durch die Entscheidungen des Prozessausführenden bestimmt. Das bedeutet, Prozess- und Wissensarbeit besitzen gänzlich unterschiedliche Eigenschaften. In Abbildung 2-36 werden die Extremausprägungen aufgezeigt.

	Prozessarbeit	Wissensarbeit
formalisierbar?	ja	nein
Erfolg verifizierbar ?	ja	nein
Kosten abschätzbar ?	ja	nein
Zeit abschätzbar ?	ja	nein
sehr spezifisch ?	ja	nein
migrierbar ?	ja	nein

Abbildung 2-36: Unterscheidung von Prozess- und Wissensarbeit<sup>409</sup>

Prozessarbeit kann sehr gut in formalen Modellen beschrieben werden; es lassen sich klare Ziele und Tätigkeiten definieren, wie z.B. „Erstellung einer Stückliste“. Bei Wissensarbeit ist dies anders: Sie kann als ein eigener Prozess verstanden werden, welcher in einem Modell referenziert, jedoch nicht definiert werden kann. Andererseits kann Wissensarbeit als ein Aspekt des Prozessmodells verstanden werden.<sup>410</sup> Die Aufgabe „Finde eine neue bessere Lösung“ lässt sich auf einem abstrakten Niveau in einem Vorgehensmodell beschreiben, die genaue Abfolge der

<sup>408</sup> Vgl. Wohland 2007, S. 120f.

<sup>409</sup> Mayer 2006, S.25.

<sup>410</sup> Ebda., S. 25.

hinreichenden Tätigkeiten jedoch lässt sich a priori nicht definieren. Der Wissensbedarf ist vorab nicht genau planbar, weil die einzelnen Aufgaben oft erst während des Prozessverlaufs aus einer konkreten Situation heraus entstehen. Auch die Ergebnisse lassen sich im Voraus oft nicht genau festlegen. Es sind keine Routinetätigkeiten mit festen, vorgegebenen Teilschritten, sondern unvollständig definierte Aufgaben, die je nach Situation variieren. Lediglich die Rahmenbedingungen, innerhalb derer der Prozess ablaufen soll, sind bekannt.<sup>411</sup> Die entscheidenden Abhängigkeiten, Rückkopplungen und Iterationen entstehen erst durch den Prozess selbst. Die Schwierigkeit besteht darin, dass Wissen in wissensintensiven Prozessen

- kontinuierlich revidiert wird,
- permanent als verbesserungswürdig angesehen wird,
- prinzipiell nicht als Wahrheit, sondern als Ressource betrachtet wird,
- untrennbar mit Nichtwissen gekoppelt ist.<sup>412</sup>

### 2.6.3 „Synoptische Totalplanung“ versus „muddling through“

Gerade in der Prozessgestaltung der Produktentwicklung zeigen sich zwei Extremausprägungen der Prozessplanung – die synoptische und die inkrementale Planung.

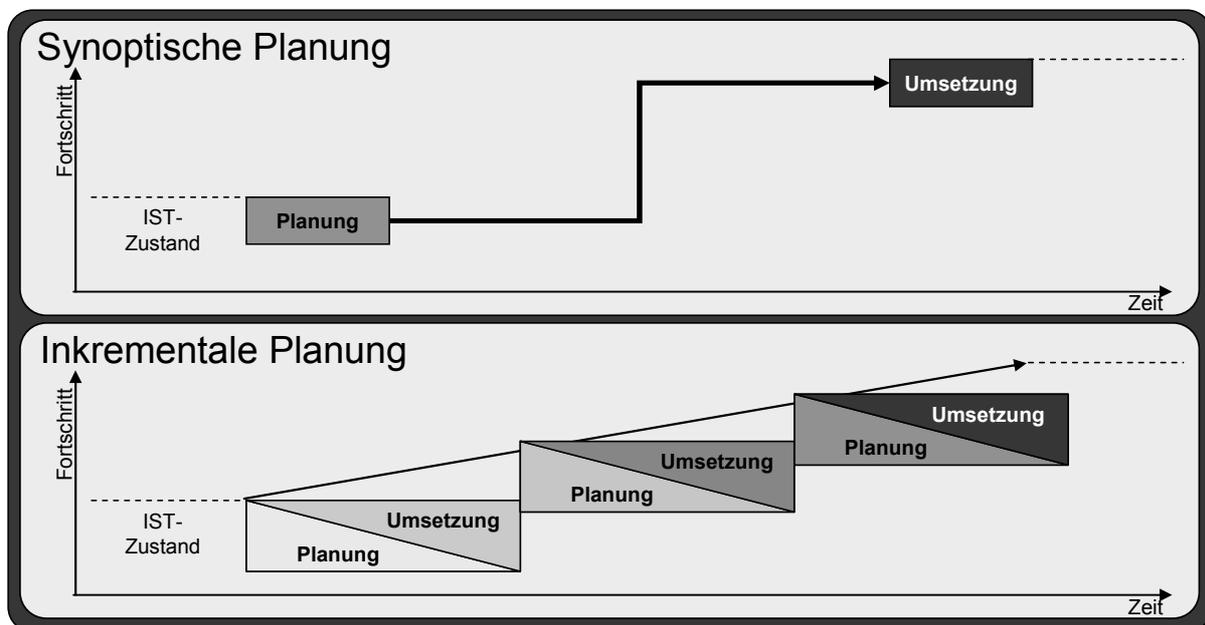


Abbildung 2-37: Synoptische und inkrementale Planung

<sup>411</sup> Vgl. Mayer 2006, S. 22.

<sup>412</sup> Vgl. Willke 1998, S. 161.

In der synoptischen Planung wird von einer eindeutigen Zielsetzung ausgegangen, zu deren Erfüllung die erforderlichen Prozesse ganzheitlich, sukzessive und systematisch geplant und abgearbeitet werden. Bei der inkrementalen Planung steht die Lösung von Teilproblemen im Vordergrund, die eher flexibel und in der situativen Abfolge kleiner Prozessbausteine erfolgt.

### **Synoptische Planung**

Diese Art der Planung geht von einer vollständigen Planbarkeit der Prozesse und Aktivitäten aus, die zur Erreichung eines definierten SOLL-Zustandes notwendig sind. Die Voraussetzung der Planungsart sind die eindeutigen Definitionen der IST- und SOLL-Situation. Die synoptische Planung ist in der Regel nur bis zu einer bestimmten Granularität möglich. Sie scheitert ab einer bestimmten Konkretisierungsstufe, da sie der realen Komplexität von Prozessabläufen nicht gerecht wird.

Ein Beispiel hierfür sind Stage-Gate-Prozesse, die auf Basis einer synoptischen Totalplanung den Entwicklungsprozess beschreiben; sie nutzen eine kleine Anzahl von Gates und Reviews, um den kompletten Entwicklungsprozess zu beschreiben. Diese Planungsansätze weisen ab einer bestimmten Konkretisierung nur noch eine sehr eingeschränkte Praktikabilität auf, da sie die Aktivitäten im Prozess nicht berücksichtigen, wobei sie auf oberster Abstraktionsebene exzellent funktionieren.

### **Inkrementale Planung – muddling through**

Diese Art der Planung ist der zuvor skizzierten synoptischen Planung genau entgegengerichtet: Bei der inkrementalen Planung erfolgen lediglich die ersten Schritte auf Basis einer genauen Zielplanung, anschließend wird nach dem Prinzip des „muddling through“ der Prozess durchschritten; es werden keine weiteren langfristigen Planungen durchgeführt, da die Unschärfe und der mangelhafte Informationsstand noch zu groß sind, um die Abfolge der Prozessschritte genau zu planen. Die Prozessplanung erfolgt situativ. Die Praxis des „muddling through“ wurde durch die Arbeit von LINDBLOM „The Science of ‚Muddling Through‘“<sup>413</sup> geprägt und seitdem oft zur Beschreibung inkrementalistischer Ansätze verwendet. Die Planungsart wird sehr gerne von Seiten der Entwicklung propagiert, da durch sie die reale Komplexität von Entwicklungsprozessen abgebildet werden kann.

Diese in beiden Ansätzen vertretenen Extrempositionen zeigen jeweils große Schwächen auf – doch spiegelt sich in beiden Positionen das Grunddilemma der Gestaltung der Produktentstehung wider. Die neueren Ansätze der evolutionären Prozessgestaltung und des Managements versuchen, eine Balance dieser beiden Ansätze für die praktische Anwendung zu realisieren.

---

<sup>413</sup> Lindblom 1959, 79ff.

## Evolutionäre Planung

Die evolutionäre Planung ist eine Organisationstheorie des Managements, deren Grundsatz es ist, mit dem vorhandenen Informationsstand eine kontinuierlich angepasste Planungsreichweite zu realisieren. Diese basiert auf der Grundannahme, dass es keine klaren Ziele und Strukturen gibt, da aufgrund der Komplexität der Realität Prozesse nicht vollständig plan- bzw. steuerbar sind, diese aber dennoch gelenkt werden müssen, um geeignete Rahmenbedingungen für die „Selbstorganisation“ zu schaffen. Am bedeutendsten aus der Betriebsorganisation und dem Management sind hierfür der St. Galler und der Münchner Ansatz.<sup>414</sup>

### 2.6.4 Dynamik der Produktentstehung

Wie sich an den verschiedenen Ansätzen der Planung gezeigt hat, gibt es nicht die eine Planungsmethode für Prozesse, die zum Erfolg führt. Dies wurde in den evolutionären Ansätzen erkannt. Die Erkenntnis, dass es unterschiedliche Anforderungen an die Planung gibt, stammt aus der Organisationstheorie. BURNS beschreibt, dass in Marktsituationen mit rapidem technologischem Wandel eine andere Organisationsform effizient ist als in einem relativ stabilen Marktumfeld.<sup>415</sup> Durch diese Erkenntnisse fällt der universale Geltungsanspruch der besten Organisationsform. GALBRAITH formuliert drei Thesen, die die neuen situations- und kontextorientierten Ansätze begründen:

- Es gibt keine beste Organisationsmethode.
- Nicht jede Organisationsmethode ist gleich effizient: „Es gibt nicht eine generell gültige optimale Handlungsalternative, sondern mehrere situationsbezogen angemessene.“
- Die Wahl der „richtigen“ Organisationsmethode hängt von den jeweiligen Umweltbedingungen ab.<sup>416</sup>

In jüngster Zeit finden diese Erkenntnisse auch Eingang in der Produktentstehung. OTTOSSON beschreibt ihren Ausgangspunkt als positive chaotische Situation. Zu diesem Zeitpunkt gibt es noch keine Idee für ein Produkt, nur den Wunsch, ein neues auf den Markt zu bringen. Der Ausgangssituation folgt eine komplexe Phase der Unordnung, die in eine geordnete Situation überführt wird, den Produktlebenszyklus. Zu diesem Zeitpunkt ist die Produktidee vorhanden und muss umgesetzt werden. Wenn im Produktlebenszyklus der Absatz des Produkts zurückgeht, entsteht aus der geordneten wieder eine chaotische Situation – allerdings eine negative chaotische

---

<sup>414</sup> Für den St.Galler Ansatz siehe Rüegg-Stürm 2005, für den Münchner Ansatz siehe Kirsch 1992.

<sup>415</sup> Vgl. Burns 1962, S. 262.

<sup>416</sup> Vgl. Galbraith 1973, Übersetzung zitiert nach Beyes 2002, S. 57.

Situation.<sup>417</sup> Hieraus folgert OTTOSSON, dass Produktentstehungsprozesse nicht auf statischen Strukturen basieren können, sondern dass Entscheidungsprozesse, Planungsprozesse, Management und die Organisationsform dynamisch den Randbedingungen angepasst werden müssen. OTTOSSONS Betrachtung geht auf die Theorie von KRUTZ und SNOWDEN zurück, die den Lebenszyklus komplexer Systeme mit den drei verschiedenen Phasen der Ordnung (Un-order, Order, and Dis-order) beschreiben.<sup>418</sup>

	Innovationsprojekt		Standardprozess		
Phase im Produktlebenszyklus	Produktplanung	Produktentwicklung	Produktnutzung		Verfallphase
	Unordnung (entstehende Ordnung)		Ordnung		Disordnung
<b>Realität</b>	positives Chaos	komplex	kompliziert	bekannt	negatives Chaos
<b>Ursache-/ Wirkungs- beziehung</b>	nicht vorhersagbar	nur kohärent im Nachhinein	getrennt nach Ort und Zeit	reproduzierbar; wahrnehmbar und vorhersagbar	nachvollziehbar
<b>Entscheidungs- Input</b>	ad-hoc	Suchen nach Mustern	analytische/ reduktionistische Untersuchung	Best Practice	ad-hoc
<b>Planung</b>	täglich	kurzfristig	Kurz/ und langfristig	Langfristig	Kurz-/ und langfristig
<b>Management</b>	nein	Entrepreneur	Gestaltung	administrativ	Veränderung
<b>Organisation</b>	informell	planetarisch	Matrix	Linie	Planetarisch

**Abbildung 2-38: Unterscheidung von Innovations- und Standardprojekt<sup>419</sup>**

KRUTZ und SNOWDEN bezeichnen in ihrem Modell mit „un-order“ den Zustand der Un-Ordnung, aus dem eine Ordnung entsteht. Sie ist durch klare Muster und Abläufe gekennzeichnet, die am Ende des Lebenszyklus' wieder in einen Zustand der „dis-order“ führen, indem die Ordnung wieder zerfällt (einer Destruktion der Ordnung – einer Dis-Ordnung).

Anhand dieser Betrachtung wird deutlich, dass sich die Randbedingungen der Produktentstehung permanent verändern. So stoßen standardisierte Vorgehensweisen im Umfeld des Chaos' schnell an ihre Grenzen und Vorgehensmodelle, die unter den Randbedingungen größerer Unordnung greifen, sind in geordneten Strukturen nicht kontrollierbar. Das Ziel, Arbeitsabläufe zu standardisieren und in großen, verteilten Unternehmensstrukturen transparent, nachvollziehbar und mit klaren Schnittstellen zu versehen, beschneidet die

<sup>417</sup> Vgl. Ottosson 2006, S. 8f.

<sup>418</sup> Siehe Kurtz 2003, S. 465. Kurtz und Snowden definieren die Begriffe „un-order“ und „dis-order“ im Umgang mit Chaos. Dabei meinen sie mit dem Begriff „un-order“ die Un-Ordnung eines Zustands, bevor Ordnung existiert. Sie beziehen sich in seiner Wortdefinition auf Bram Stokers Wortschöpfung der Untoten, die in einem Zustand existieren, der weder dem Leben noch dem Tod entspricht, sondern in etwas Vergleichbarem dazwischen. Un-Ordnung beschreibt somit in diesem Kontext einen Zustand zwischen Chaos und einem Muster, einer Ordnung. Mit „Dis-order“ – Dis-Ordnung – bezeichnen sie den Zustand, wenn eine bestehende Ordnung wieder zerstört wird.

<sup>419</sup> Ottosson 2006, S.9.

Flexibilität, die benötigt wird, um auf chaotische Randbedingungen richtig zu reagieren. Die positiven und negativen Auswirkungen des Organisationsgrades lassen sich deutlich gegenüberstellen.

Positive Auswirkungen eines hohen Organisationsgrades	Negative Auswirkungen eines hohen Organisationsgrades
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entlastung leitender und ausführender Stellen durch Verminderung des Kommunikations- und Koordinationsaufwandes</li> <li>▪ Verminderung von Konflikten, da weniger Unklarheiten bestehen und der Interpretationsspielraum kleiner ist</li> <li>▪ Rationellere Bearbeitung der routinemäßigen Geschäftsvorfälle</li> <li>▪ Potenzial, auch weniger gut ausgebildetes und damit kostengünstigeres Personal zu beschäftigen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einschränkung des individuellen Gestaltungs- und Entscheidungsspielraums</li> <li>▪ Die Schematisierung von Betriebsabläufen führt zu starren und schwerfälligen Organisationsprozessen und -strukturen</li> <li>▪ Die Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Rahmenbedingungen bzw. Anforderungen wird vermindert</li> <li>▪ Verminderung der Kreativität und der Eigeninitiative der Mitarbeiter im Unternehmen – Verminderung der Innovationskraft</li> </ul>

Abbildung 2-39: Auswirkungen des Organisationsgrades<sup>420</sup>

### 2.6.5 Kritik an der Entwicklungsmethodik

Nach FRANKE sind reale Konstruktionsprobleme dadurch charakterisiert, dass Entscheidungen getroffen werden müssen, die einen Ausgleich zwischen widersprüchlichen Anforderungen und Zielen darstellen;<sup>421</sup> doch diese treten nur situationsspezifisch auf und lassen sich nicht theoretisch lösen. Von Seiten der Praxis wird die Konstruktionsmethodik als zu kompliziert, zu theoretisch, nicht merkfähig und zu zeitaufwendig<sup>422</sup> angesehen. Diese Kritik wurde schon Anfang der 1980er-Jahre geäußert, doch hat sich an der Situation bis heute nichts verändert. Auch LINDEMANN kritisiert viele Elemente der bestehenden Konstruktionsmethodik. HUTTERER legt diese in einer Analyse über die mangelnde Leistungsfähigkeit von Entwicklungsmethoden aus heutiger Sicht dar.

<sup>420</sup> Thommen 1996, S. 153f.

<sup>421</sup> Vgl. Franke 1985.

<sup>422</sup> Vgl. Jordan 1983.

### Entwicklungsmethodik

- ist zu komplex und theorielastig.
- ist zu starr und unflexibel.
- ist zu aufwändig und hat zu späten Return of Invest.
- besitzt zu präskriptiven Charakter.
- besitzt fehl angenommene Allgemeingültigkeit.
- besitzt intuitiven Anteil von Methoden.<sup>423</sup>

Diese Problemstellungen der Entwicklungsmethodik werden seit 25 Jahren diskutiert, doch hat sich noch kein Ansatz etabliert, der die bestehenden Probleme überwindet. In ihr wird insbesondere das individuelle Vorgehen nicht sauber vom organisatorischen Entwicklungsprozess im Unternehmen getrennt. Dies ist einer der entscheidenden Gründe, weshalb sie sukzessiv verdrängt worden ist. Unternehmensprozesse sind Output-orientiert und müssen deutlich von individueller Tätigkeit differenziert werden. Deshalb wird die Entwicklungsmethodik zur Rationalisierung der Konstruktion von der Praxis heute kaum noch ernst genommen.<sup>424</sup>

Das zentrale Ziel der Entwicklungsmethodik, die Produktentwicklung für die Arbeit von Konstrukteuren erfass- und optimierbar zu gestalten<sup>425</sup>, wird in der Praxis nur selten erreicht. Der zentrale zwei Kritikpunkt setzen an den Methoden selbst an: Einerseits empfinden potenzielle Anwender Entwicklungsmethoden in der Praxis als zu komplex,<sup>426</sup> da die präskriptiven Ansätze oft einen Zwang zur Abstraktion fordern, der kognitiv so gut wie nicht zu bewerkstelligen ist; hinzu kommt das die Methoden mit der realen Komplexität von Problemen nicht vereinbar sind. Andererseits bleibt die Leistung der Methoden bei ihrer Anwendung hinter den Erwartungen des Anwenders zurück.<sup>427</sup>

In jüngster Zeit gewinnen aber auch die technikorientierten ganzheitlichen Produktentstehungsprozesse auf methodischen Grundlagen wieder an Bedeutung. Dies spiegelt sich in dem Trend zur Spezialisierung von Produktentstehungsprozessen in der Technologie wider. Beispiele für die Spezialisierung sind Entwicklungsprozesse der Mechatronik und Mikrotechnik<sup>428</sup>, die in den letzten Jahren entstanden sind. An

---

<sup>423</sup> Vgl. Hutterer 2005, S.15ff.

<sup>424</sup> Vgl. Lossack 2006, 27.

<sup>425</sup> Vgl. Hubka 1992, S. 37ff.

<sup>426</sup> Vgl. Hutterer 2005, S. 16.

<sup>427</sup> Vgl. Birkhofer 2004, S. 7ff.

<sup>428</sup> Albers 2004.

diesen spezialisierten Ansätzen zeichnen sich wiederum die bestehenden Probleme der klassischen Entwicklungsmethodik ab, ohne diese überwinden zu können. Durch den hohen technologischen Fokus rücken Managementaspekte fast gänzlich in den Hintergrund.

Es müssen Ansätze geschaffen werden, die technisch fokussiert sind und gleichzeitig das operative Management unterstützen. Hierzu müssen durchgängige Sichten für die unterschiedlichen Akteure realisiert werden. Der iPeM-Ansatz<sup>429</sup> des Karlsruher Modells versucht, genau diese Problematik der vereinten unterschiedlichen Sichten in einem Modell zu vereinen, um die bestehenden Probleme zu überwinden.

### **2.6.6 Zwischenfazit**

Die Umsetzung von Methoden und Prozessen stößt sowohl auf der Seite der Individuen als auch auf der der Organisation immer wieder an Grenzen. Methoden und Prozesse bewegen sich einerseits im Spannungsfeld von individueller Selbstorganisation und vorgeschriebenen Handlungsmustern, andererseits zwischen zentralen und dezentralen Organisationsstrukturen. In diesem Kapitel wurden die diametralen Dimensionen aufgezeigt. Die Schwierigkeit liegt darin, dass einzelne Strategien für sich unter entsprechenden Umständen optimal zum Ziel führen. Die Effizienz von Methoden und Prozessen ist somit stark abhängig von situativen und kontextbezogenen Faktoren und kann nicht pauschal als optimal festgelegt werden. Das bedeutet, dass die Prozesse und der Methodeneinsatz immer wieder aufs Neue festgelegt und veränderten Randbedingungen angepasst werden müssen.

---

<sup>429</sup> Siehe Albers 2007a.

### 3 Zielsetzung

Das wesentliche Merkmal heutiger Unternehmens- und Produktentstehungsprozesse ist Komplexität. Mit dieser effizient umzugehen, ist das zentrale Thema in Wissenschaft und Praxis. Von Seiten der Ingenieurwissenschaften gibt es große Bemühungen, Komplexität mit computergestützten Methoden und Werkzeugen zu begegnen. Doch ist der Nutzen dieser Systeme nicht immer zielführend, da die Aufwand-Nutzen-Relation nur schwer abzuschätzen ist. In den technischen Ingenieurwissenschaften wird oft vernachlässigt, dass bei zunehmend komplexen Entscheidungssituationen die individuelle Handlungskompetenz an Bedeutung gewinnt. Vordefinierte Methoden, Handlungsschemata und Prozessmodelle können nicht von selbst adäquat auf Komplexität reagieren. Um mit ihr umzugehen, müssen immer wieder Entscheidungen getroffen werden, die einen breiten Ermessensspielraum offen lassen. Welcher Punkt innerhalb dieses Spielraums als Basis für das weitere Vorgehen gewählt wird, ist eine Frage situativer und individueller Präferenzen. Hierbei sind Erfahrung und Intuition Grundlagen für Entscheidungen. Doch dies entspricht eher einer Kunst als aus wissenschaftlichen Beobachtungen abgeleiteten Vorgehensmodellen.

In der Unternehmensführung hat sich diese Erkenntnis vor allem durch die Ansätze der St. Galler Schule durchgesetzt. Ihr Managementansatz geht von einer systemtheoretischen Grundvorstellung eines Unternehmens aus; das bedeutet, eine Unternehmung wird als Modell eines komplexen Systems begriffen.<sup>430</sup> Das Modell wird als Suchraster und nützliche „Landkarte“ zur eigenen Orientierung aufgefasst und es trägt dazu bei, wichtige Begriffe und Konzepte im Gesamtzusammenhang des Managements zu verstehen. Das wichtigste Instrument ist das Systemdenken.<sup>431</sup> Auf dieser Basis sind die Grundlagen des St. Galler Modells nicht Methoden und Werkzeug, sondern Systemtheorie und Kybernetik.

Diese Ansätze liefern keine direkten Lösungen, sie vermitteln aber das Denken, um in den entsprechenden Situationen die richtige Lösung zu finden. Diese Philosophie steht häufig im Gegensatz zu den vorherrschenden Ansätzen in den technischen Ingenieurwissenschaften. Versuche, Komplexität mit technischen Lösungen, Tools und IT-Lösungen zu beherrschen, scheitern oft. Vertreter der St. Galler Schule wie Prof. MALIK argumentieren hier sehr pragmatisch. Seiner Ansicht nach ist Denken und *„Wissen (ist) etwas, was beim derzeitigen Stand gar nichts mit Computern und IT zu tun*

---

<sup>430</sup> Vgl. Dubs 2004, S. 65.

<sup>431</sup> Vgl. Ulrich 2001 und 1988.

*hat, sondern mit Gehirnen und mehr noch mit Verstand und Vernunft. Wissen ist etwas, was seinen Ort - salopp formuliert - zwischen zwei Ohren hat und nicht zwischen zwei Modems.“<sup>432</sup>*

Das Problem dieser Ansätze liegt darin, dass sie wenig konkret sind, da sie mehr einer Philosophie entsprechen als Lösungen bereitstellen. Bis in die 1950er-Jahre war dies auch in der Konstruktionsmethodik noch weit verbreitet. Doch durch den hohen Grad der Rechnerunterstützung in der Konstruktion gerieten diese Ansätze in den Hintergrund. Es wurde mehr und mehr davon abgerückt, Entwickeln und Konstruieren als eine in vielen Jahren zu erlernende Kunst zu betrachten, sondern als eine systematische Tätigkeit, die mit geeigneten Methoden funktioniert. Hinzu kommt, dass sich die wissenschaftliche Entwicklungsmethodik in ihren Ansätzen nicht weit über den präskriptiven methodischen Charakter hinaus entwickelt hat und praktisch oft nicht anwendbar ist.<sup>433</sup> Im Verständnis von ALBERS ist die Gestaltung von Produkten zu 50% Ingenieurwissen und zu 50% Kunst.

### **3.1 Entwicklungsmethodik ist mehr als ein Werkzeugkasten**

Eines der zentralen Probleme der Entwicklungsmethodik ist ein falsches Verständnis Ihrer Zweckdienlichkeit: Sie wird oft als ein „Werkzeugkasten“ oder eine „Methodenbatterie“ betrachtet, aus der man, wenn man das richtige Problem hat, eine geeignete Methode bekommt. Doch Entwicklungsmethodik ist mehr – sie ist eine spezifische Denkhaltung.<sup>434</sup> Ein Meisterkoch zeichnet sich auch nicht dadurch aus, dass er möglichst viele Rezepte – Methoden des Kochens – kennt, sondern dass er ein Gespür für Zutaten besitzt und auch mit unvollständigen Zutaten improvisieren kann, um ein perfektes Mahl zuzubereiten. Viele Ansätze der Entwicklungsmethodik sehen nur die Navigation des Entwicklers zur richtigen Methode als zentrales Problem; Doch spätestens nach der Vielzahl von Methoden-Navigatoren aus diversen BMBF-Projekten der 1990er-Jahre weiß man, dass dies nicht die Lösung des Problems ist.<sup>435</sup>

Die Kernaufgabe der Entwicklungsmethodik besteht im bewusst entwicklungsorientierten Denken und Handeln. Dieses Verständnis setzt sich langsam auch auf wissenschaftlicher Seite wieder durch. In jüngster Zeit entstanden viele reflexive und

---

<sup>432</sup> Malik 2001, S. 2.

<sup>433</sup> Vgl. Lossack 2006, S. 2.

<sup>434</sup> Die ähnliche Auseinandersetzung taucht im Bereich des strategischen Managements auf, siehe Müller-Stewens 2001, S. 17ff.

<sup>435</sup> Vgl. Hutterer 2005, S. 22.

dialektische Ansätze wie z.B. der Karlsruher Ansatz von ALBERS und das „Münchener Modell“ von LINDEMANN.<sup>436</sup>

### 3.2 Modell des Produktentstehungsprozesses

Die Produktentstehung ist ein komplexes adaptives System, an welches kontinuierlich neue Anforderungen gestellt werden. Produktentstehungsprozesse müssen permanent auf veränderte Situationen angepasst werden und bauen auf einer stetig wachsenden Wissensbasis auf. Ein ganzheitliches Modell der Produktentstehung kann auf Grund dieser inneren und äußeren Dynamik nicht auf einem rein präskriptiven Ansatz beruhen.

Ein Beispiel hierfür ist die Produktpiraterie: Ein erfolgreiches Produkt basiert nicht mehr allein auf der erfolgreichen Umsetzung von Kundenanforderungen, ein Produkt muss auch vor Plagiaten geschützt werden, damit das Unternehmen mit seinem Produkt erfolgreich am Markt bestehen kann. Die angemessene Reaktion und die effiziente Integration von Gegenmaßnahmen sind überlebenswichtig, doch wird dies in präskriptiven Modellen nur unzureichend berücksichtigt; sie beschreiben nur das, was während der Modellbildung des Prozesses zugrunde gelegt wurde.

Dies bedeutet, dass ein Modell der Produktentstehung offene Schnittstellen besitzen muss, damit jederzeit neue Elemente in das Modell integriert werden können. Hieraus leiten sich wesentliche Anforderungen an ein ganzheitliches Modell für die Prozesse und das Management der Produktentstehung ab.

#### Das Modell muss

- an mentale Modelle anknüpfen.
- adaptiv sein, damit neue Elemente in das Modell integriert werden können.
- auf einer einfachen und eindeutigen systemtechnischen Logik aufbauen.
- eine Denk- und Handlungsunterstützung für die Akteure bieten.
- die komplexen Wechselwirkungen des Prozesses beschreiben.
- die detaillierte und inhaltliche Planung von Prozessen ermöglichen.
- die Navigation durch den Prozess unterstützen.
- situationsgerecht Methoden und Werkzeuge bereitstellen.
- eine Logik für Dokumentation und das Wissensmanagement bieten.
- eine Schnittstelle zum operativen Management (Gates) besitzen.
- strategische Projektentscheidungen initialisieren und hierfür die entsprechende Argumentationsgrundlage bereitstellen.

---

<sup>436</sup> Zum Münchener Vorgehensmodell siehe Kap. 2.5.6.2 Problemlösungsprozesse S. 126.

Die Modellierung und Beschreibung der Produktentstehung gewinnt zunehmend an Bedeutung; die Herausforderung besteht darin, mit diesem Modell der realen Komplexität der Produktentstehungsabläufe gerecht zu werden. Der Ansatz, der in dieser Arbeit entwickelt wird, integriert Ziel-, Prozess- und Produktmodelle in einem Modell. Dabei ist die oberste Maßgabe, nur ein Minimum an Eigenkomplexität und Bürokratie aufzubauen, um damit die Flexibilität und Kreativität im Prozess nicht zu behindern.

### 3.3 Motivation für den neuen Ansatz

In den klassischen Ansätzen der Produktentstehung wird im Wesentlichen auf das ingenieurmäßige, systematische, methodische Vorgehen zurückgegriffen, das auf einer eindeutigen Ursache-Wirkungsbeziehung aufbaut. Dadurch gewinnt die Produktentstehung den Charakter eines Vorgehensplans, der klar formulierbar, planbar, optimierbar, abarbeitbar und dokumentierbar ist. Diese präskriptiven Ansätze basieren auf sequenziellen Schritten; das bedeutet, es wird vorher überlegt, wie es am Ende aussehen soll. Doch aus der Praxis weiß man, dass dieses Vorgehen zwar wichtig und hilfreich ist, aber den realen Abläufen nicht entspricht. Die Produktentstehung ist im Ganzen durch ein hohes Maß an Vernetzung ihrer Entitäten, Unschärfe, Dynamik und Unvollständigkeit gekennzeichnet; diese Realität wird in den meisten Modellen stark vereinfacht, wenn nicht sogar schlicht ignoriert.

Um dieser Realität zu begegnen, ist das strategische und ganzheitliche Denken von entscheidender Bedeutung. Carl von Clausewitz<sup>437</sup> gilt als Begründer des modernen strategischen Denkens. Einer seiner Grundsätze lag darin, dass bei komplexen Problemen nicht „methodisches“, sondern „ganzheitliches Denken“ gefordert ist. Nach seiner Ansicht werden „Methodisten“, die Vorläufer der heutigen „Vereinfacher“, dennoch alles tun, um dieser Regel auszuweichen.<sup>438</sup> Sie konstruieren eine Welt, die mit der Realität nur noch wenig gemein hat. In komplexen Situationen, in denen dringender Handlungsbedarf besteht, kommen sie mit ihren standardisierten Methoden an ihre Grenzen. Sie können die reale Komplexität mit den Methoden nicht beherrschen, so dass Methodik und systematisches Vorgehen scheitern und grundsätzlich in Frage gestellt werden.

*„Wir müssen uns mit Komplexität auseinandersetzen – weil es gar nicht anders geht. Klassische Management-Tools haben aber immer ein anderes Ziel: Sie wollen Komplexität reduzieren, eindicken, auf ein handhabbares Niveau bringen. Ein Ding der Unmöglichkeit.“<sup>439</sup>*

---

<sup>437</sup> Preußischer Militärtheoretiker.

<sup>438</sup> Vgl. Brandeins 2006, S. 51.

<sup>439</sup> Zitat von Wilhelm Backhausen aus Brandeins 2006, S. 51.

Prozesse und Methoden sind essentiell, doch führen sie oft zu starren Korsetts aus Vorgaben, Plänen, Regeln und Normen, die der Komplexität nicht mehr gerecht werden. Speziell der Zwang, Produkte in immer kürzeren Zeiten mit einem exakt kalkulierten Risiko zu entwickeln, schafft ein unlösbares Dilemma zwischen sinkendem Planungsraum und individueller kreativer Flexibilität. Die Reduktion von Vielfalt in Unternehmensabläufen reduziert aber auch die Vielfalt für Neues – für Innovationen.

Die unterschiedlichen Aktivitäten der Produktentstehung sind von unterschiedlicher Komplexität und Unschärfe gekennzeichnet, denn nicht Wissen, sondern Unwissenheit bildet den Ausgangspunkt vieler Aktivitäten in der Produktentstehung.

Es besteht die dringende Notwendigkeit von Modellen, die den Produktentstehungsprozess auf den unterschiedlichsten Ebenen – vom Management bis hin zur Konstruktion – für die Akteure erfassbar, optimierbar und steuerbar macht. Hierbei sind die system- und erkenntnistheoretischen Grundlagen von entscheidender Bedeutung, da die Realität niemals objektiv erfahrbar ist. Das bedeutet, der Ansatz muss Denkmodelle in Form von mentalen Modellen berücksichtigen und diese in nachvollziehbaren Modellebenen bis auf die unterste Ebene von realen Work-Flows und des operativen Managements herunter brechen.

## 4 Das integrierte Produktentstehungs-Modell (iPeM)

In diesem Kapitel wird aufbauend auf dem Entwicklungsprozess und SPALTEN-Ansatz von ALBERS ein Modell mit einer Modellbildungsstrategie entwickelt, wissenschaftlich begründet und an zwei Beispielen dargelegt. Die zugrunde gelegte Theorie baut auf dem Verständnis von POPPER auf: Er hält eine Theorie für ein Netz, das wir auswerfen, um die Welt einzufangen – diese gilt es zu rationalisieren, zu erklären und zu beherrschen.<sup>440</sup>

Für das Verständnis des iPeM wird die Theorie des Modells mit Hilfe von Basisdefinitionen, Forderungen und Axiomen des iPeM-Ansatzes hergeleitet und beschrieben. Ausgangspunkt des iPeM ist das Selbstverständnis der Entwicklungsmethodik für den Umgang mit Komplexität in der Produktentstehung, das von zentraler Bedeutung ist und deshalb neu definiert wird.

### Basisdefinition Entwicklungsmethodik im iPeM

Entwicklungsmethodik ist das **ganzheitliche entwicklungsorientierte Verständnis** und Handeln, das **intersubjektiv verankert** ist. Sie liefert keine fertigen Lösungen, sondern schafft **Modelle zur Beschreibung** und **Orientierung** im Produktentstehungsprozesses sowie zur effizienten und zielgerichteten **Strukturierung der Aktivitäten**. Sie beschreibt auf Basis eines Modells den Gesamtzusammenhang der Produktentstehung, sie legt die Grundlage einer **gemeinsamen Sprache** für die Zusammenarbeit und empfiehlt Methoden für die Anwendung. Der Erfolg in der Anwendung hängt in erster Linie vom gemeinsamen **Verstehen und von der Erklärungskraft** ab und setzt das nötige **Talent des Anwenders** voraus.

Diese Basisdefinition beschreibt die Voraussetzungen, die gegeben sein müssen, dass Methoden ihr Potenzial und ihre Wirksamkeit voll entfalten. Die Forderungen, dass Methoden in ein ganzheitliches Verständnis eingebettet sein müssen, werden auch von BIRKHOFER und JÄNSCH hergeleitet und gefordert. Denn die Situationen, die in Entwicklungsprozessen auftreten, sind immer unterschiedlich und fordern immer ein hohes Maß und Adaption der Methode auf das konkrete Problem. In der Regel können Methoden nicht so abgearbeitet werden, wie sie beschrieben sind, Kochrezepte funktionieren nicht. Doch haben Entwickler sehr oft Schwierigkeiten, die Methode auf ihr konkretes Problem zu adaptieren und Methoden zu kombinieren.<sup>441</sup>

---

<sup>440</sup> Vgl. Popper 1935, S. 35.

<sup>441</sup> Siehe Jänsch 2004, S. 726ff.

BIRKHOFER und JÄNSCH identifizieren dies in Untersuchungen mit Studenten. Sie zeigen, dass es Studenten äußerst schwer fällt, bekannte Methoden auf neue Problemsituationen zu übertragen. Dies ist unter anderem auf ein fehlendes Gesamtverständnis von den Methoden sowie eine fehlende Zielorientierung zurückzuführen.<sup>442</sup> Im iPeM werden diese beiden Probleme durch das ganzheitliche Modell, die iPeM-Philosophie und dem expliziten Zielsystem, das Grundlage jeder Handlung ist, überwunden.

## 4.1 Grundlagen des iPeM

In diesem Kapitel werden das Grundverständnis und die einzelnen Elemente beschrieben, aus denen sich das iPeM zusammensetzt.

### 4.1.1 Einfachheit ist nicht das Gegenteil von Komplexität

Komplexität und insbesondere die Dynamik der Produktentstehung verlangt zur Kontrolle ein adäquates Verhaltensrepertoire, welches sich im Modell der Produktentstehung wieder finden muss. Denn um ein komplexes System unter Kontrolle zu halten, muss das Lenkungssystem eine Varietät aufweisen, die der des zu lenkenden Systems mindestens ebenbürtig ist.<sup>443</sup> Das heißt, zur Steuerung eines Systems ist mindestens so viel Varietät (bzw. Komplexität) nötig, wie das System selbst besitzt. Dies ist ein Grundgesetz der Komplexität und bedingt das Gesetz der erforderlichen Varietät von ASHBY.<sup>444</sup>

Dieses Gesetz ist nach POPPER und BEER für die System- und Managementtheorie ebenso fundamental wie für die Technik die Hauptsätze der Thermodynamik. Durch diese wissen wir, dass es unmöglich ist, ein Perpetuum Mobile zu bauen. ASHBY'S Gesetz sagt aus, dass es unmöglich ist, ein System ohne die dafür erforderliche Varietät unter Kontrolle zu bringen, zu regulieren und zu steuern. In der Produktentstehung bedeutet dies, dass auch ihr Modell die reale Varietät aufweisen muss. Hierbei ist das CONANT-ASHBY-Theorem von entscheidender Bedeutung: Es besagt, dass die Steuerung eines Systems nicht besser sein kann, als das zugrunde gelegte Modell - es sei denn durch Zufall.<sup>445</sup>

---

<sup>442</sup> Birkhofer 2003, S. 198ff.

<sup>443</sup> Vgl. Schwaninger 1999, S. 60.

<sup>444</sup> Vgl. Ashby 1958, S. 83ff, der das "Law of requisite variety" formuliert: „Only variety can destroy variety“. Ashby unterscheidet nicht zwischen Varietät und Komplexität. So wird das Gesetz auch in abgewandelter Form zugrunde gelegt: „Komplexität kann nur mit Komplexität beherrscht werden“.

<sup>445</sup> Vgl. Schwaninger 1999, S. 63.

*„Every good regulator of a system must be a model of that system.“<sup>446</sup>*

BEER übertrug diese Theorie auf das Management. Für die Produktentstehung bedeutet dieses Postulat, dass die Qualität des Prozesses nur so gut sein kann wie sein Modell. Dieses Gesetz und das Theorem wurden aber oft missverstanden; dies wird beispielsweise bei der Betrachtung von Modellen deutlich, die eine sehr hohe Eigenkomplexität besitzen und die da durch nicht mehr handhabbar sind. VON FOERSTER, der sich intensiv mit Systemtheorie und Kybernetik beschäftigte, formulierte dies wie folgt:

*„Jeder Versuch, die Komplexität zu reduzieren, erhöht die Komplexität an einem anderen Ort. Man müsse schon ziemlich doof und arrogant sein, um zu glauben, man könne die Dinge an sich in den Griff kriegen. Also die Komplexität beherrschen.“<sup>447</sup>*

Wenn ein Modell eine zu große Eigenkomplexität aufweist, wird bei der Modellbildung und -interpretation ein stärkerer Fokus auf die Komplexität gelegt, die durch das Modell selbst geschaffen wird. Dies führt dazu, dass die Aussagequalität der Lösungen für den Realitätsbereich und das Aufwand-Nutzen-Verhältnis stark abnimmt. Ein Modell muss einfach sein und auf möglichst wenigen eindeutigen Regeln basieren.

Hieraus folgt die Basisdefinition der Einfachheit für das iPeM:

### **Basisdefinition der Einfachheit**

Einfachheit ist nicht das Gegenteil von Varietät oder Komplexität.  
Einfachheit ist nicht das Prinzip von Reduktion und Abstraktion.  
Einfachheit ist die beste Strategie, um mit Komplexität zu umzugehen.

**Komplexität** kann man **effizient** nur mit **Einfachheit begegnen**. Die Komplexität darf erst durch die Fremdkomplexität des abzubildenden Realitätsbereiches entstehen, nicht durch die Eigenkomplexität des Modells selbst, mit dem man die Realität abbildet.

Das Gesetz von ASHBY zur Komplexitätsbeherrschung ist in vielen Bereichen kaum bekannt bzw. fast unbeachtet geblieben. Entscheidend nach CONANT und ASHBY ist auch, dass in ihrem Verständnis ein Modell eine Beobachtung ist, die Zustände bestimmt. Das bedeutet wiederum, die Modellierung und Modellinterpretation beruht immer auf einer subjektiven Erkenntnisleistung, die „objektiv“ nachvollzogen werden soll. Um dies sicherzustellen, müssen die Regeln des Modells möglichst „objektiv“,

<sup>446</sup> Conant 1970, S. 89.

<sup>447</sup> Zitat Heinz von Foerster.

also intersubjektiv nachvollziehbar sein. Dies wird am ehesten durch Einfachheit erreicht, da Objektivität ein kaum oder sogar nicht erreichbarer Zustand ist.

Aus dem Gesetz von ASHBY lässt sich für die Produktentstehung die Forderung der angemessenen Prozessvarietät ableiten, die als Prinzip in den iPeM-Systemansatz eingeflossen ist.

### **Forderung der angemessenen Prozessvarietät**

Um einen Produktentstehungsprozess zu steuern, muss er in einem Modell abgebildet werden. Die **nötige Varietät des Modells** muss der **des realen PEP ebenbürtig sein**. Da die **Varietät** im PEP erst durch das **Zusammenwirken der Ziele, der Objekte und der Handlungen** in Wechselbeziehung mit **der Umwelt entsteht**, kann die **nötige Varietät** des Modells im Vorfeld **nicht bestimmt** werden. Das Modell muss somit eine **größtmögliche Varietät** aufweisen, damit der reale Ablauf des unter realen Umständen abgebildet werden kann.

Die **Eigenkomplexität** des Modells muss **möglichst gering** sein, da das Modell in der Anwendung **situativ** und **partiell eindeutig interpretierbar** sein muss.

#### **4.1.1.1 Die Strategie der ‚Simplexität‘**

BOLZ sieht in der Simplexität<sup>448</sup> (Simplicity) die einzige wirkliche funktionierende Möglichkeit, um der steigenden Komplexität der Umwelt zu begegnen. In der Lösung dieses Paradoxons liegt der Schlüssel zur Komplexitätsbewältigung – doch genau hierin liegt die große Hürde, denn es gibt nichts Schwierigeres, als etwas so einfach wie möglich zu machen. Beispielsweise hat EINSTEIN immer den Standpunkt vertreten, man müsste in der Theorie so einfach wie möglich bleiben, aber nicht einfacher, denn man kann nicht beliebig simplifizieren. Die Einfachheit soll angestrebt werden, doch das Bewusstsein über die Komplexität eines Sachverhaltes muss erhalten bleiben. Die Lösung dieses Paradoxons liegt in einem einfachen, aber dynamischen Vorgehen.<sup>449</sup> BOLZ sieht in der Simplicity die Fähigkeit, die Gesamtkomplexität einer Sache maximal zu reduzieren, aber die nötige Tiefe aufrecht zu erhalten. Hieraus lässt sich die Forderung der Simplexität für das iPeM ableiten.

---

<sup>448</sup> Der Begriff ist ein Kunstwort, welches sich aus den beiden Begriffsbestandteilen Komplexität und Simplizität zusammensetzt, Bolz 2007.

<sup>449</sup> Bolz 2007, S. 27ff. Bolz sieht zum Umgang mit Komplexität im Grunde vier Strategien. Man kann entweder dynamisch/statisch vorgehen oder einfach/komplex, also mit einer einfachen oder komplexen Verfahrensweise. Die effizienteste Vorgehensweise sieht er in einfachen dynamischen Strategien zur Bewältigung von Komplexität.

### Forderung der Simplexität

Komplexität kann nur auf Basis der **einfachen dynamischen Modellbildung beherrscht** werden. Für die Modellbildung komplexer Systeme bedeutet dies, dass das Modell auf einfachen und eindeutigen Regeln beruht, die in der Modellbildung dynamisch angewendet werden können.

#### 4.1.1.2 Produktentstehung als komplexes adaptives System

Die Grundannahme des iPeM basiert darauf, dass die Produktentstehung als komplexes adaptives System zu verstehen ist. Nach HOLLAND ist solch ein System ein dynamisches Netzwerk mit vielen Akteuren, die permanent parallel auf das, was andere Akteure machen, agieren und reagieren.<sup>450</sup> Die Kontrolle eines komplexen adaptiven Systems tendiert dazu, verstreut und dezentralisiert zu sein. Das Verhalten des gesamten Systems ist das Resultat einer großen Anzahl von Entscheidungen, die von vielen einzelnen Individuen getroffen werden. Komplexe adaptive Systeme sind Systeme mit sozial verteilter Intelligenz.

Die Produktentstehung ist komplex, da sie aus vielen zusammenhängenden Aktivitäten besteht, die adaptiv sind, d.h. sie passen sich auf Veränderungen des Systems und der Umwelt an. Des Weiteren besitzen die Aktivitäten die Möglichkeit, aus Erfahrung zu lernen und selbständig Entscheidungen zu treffen.

Die Teilschritte der Produktentstehung hängen von einer Vielzahl externer und interner Faktoren ab. Die einzelnen Prozessschritte sind oft durch Nichtlinearität gekennzeichnet, da sie auf den Erfahrungen und dem Lernen von Individuen basieren.<sup>451</sup> Diese Nichtlinearität spiegelt sich besonders im Gestaltungsprozess wieder: SCHÖN beschreibt den **Gestaltungsprozess als kontinuierlichen Prozess, „welcher sich permanent verändert und stets neue Situationen hervorbringt“**<sup>452</sup>. Die Schwierigkeit in der Produktentstehung liegt darin, dieses System – soweit wie möglich – zielgerichtet zu steuern und die vernetzten Entscheidungen transparent und nachvollziehbar zu begründen.

#### 4.1.1.3 Die lose Kopplung

Von entscheidender Bedeutung für das iPeM ist das **Prinzip der losen Kopplung** von Systemen und deren Elementen. Die Hypothese der losen Kopplung besagt, dass Systeme einen Nutzen von eingeschränkter Kommunikation besitzen. Würden alle Umwelt- und Systemvariablen mit- und untereinander in Verbindung stehen,

---

<sup>450</sup> Vgl. Holland 1992, S. 17 ff.

<sup>451</sup> Vgl. Kablouti 2007, S. 116 ff.

<sup>452</sup> Schön 1992, S. 131.

wäre eine Sequenzierung und damit auch eine Temporalisierung nicht möglich. Alles fände wie in der Wirklichkeit gleichzeitig statt, ohne dass man ausprobieren und auf Basis von Unterscheidungen Erfahrungen sammeln könnte. Nach ASHBY schafft die lose Kopplung zwischen Variablen Spielräume, die Kontrolle ermöglichen, wo Verstehen angesichts von Komplexität ausgeschlossen ist.<sup>453</sup> Der Begriff der Kontrolle wird in diesem Zusammenhang als indirekte Steuerung verstanden. Kontrolle impliziert die Aufnahme einer wechselseitigen Beziehung, die in der Lage ist, Zustände des Gegenübers zu unterscheiden und auf diese Unterschiede unterschiedlich zu reagieren. Doch ist diese Kontrolle in komplexen Systemen immer nur partiell, unvollständig und zum Teil vage. Lose Kopplungen sind nicht unproblematisch, da sie neben Vorteilen auch Nachteilen mit sich bringen.

Vorteile loser Kopplung:

- Der Aufwand der System-Koordination wird reduziert.
- Die Flexibilität des Systems wird insgesamt erhöht.
- Die Kompetenz der Subsysteme werden besser genutzt.
- Turbulenzen und Fehlentscheidungen im System sind weniger durchschlagend als bei „enger Kopplung“.

Nachteile loser Kopplung:

- Die strategische Steuerung des Gesamtsystems wird erschwert.
- Die Informationsübertragung im System ist nicht eindeutig.
- Die Leistungsfähigkeit des Systems ist schwer zu messen.

### **4.1.2 Systemansatz**

Der iPeM baut auf dem Systemansatz von ROPOHL auf; er legt die Annahme zugrunde, dass in der Produktentstehung drei gleichwertige Systeme in loser Kopplung zueinander entwickelt werden: Das Ziel-, das Handlungs- und das Objektsystem.

Die systemtechnische Logik des iPeM orientiert sich an den erkenntnistheoretischen Grundlagen von POPPER. Entscheidend hierfür ist das hermeneutische Prinzip, nach dem der Hörer – nicht der Sprecher – die Bedeutung einer Aussage bestimmt. Übertragen auf Modelle bedeutet dies, dass der Modellnutzer – und nicht der Modellerschaffer – über die Bedeutung entscheidet. Der Erfolg eines Modells liegt nicht in der Theorie, sondern im Verständnis der Anwender und den daraus resultierenden Erfolgen der Anwendung. Diese Zusammenhänge versucht Popper in seinem Drei-Welten-Modell zu beschreiben.

---

<sup>453</sup> Vgl. Baecker 2005b, S. 59 f.

Das Drei-Welten-Modell von Popper geht davon aus, dass Welt 1 nur in indirekter Wechselbeziehung zu Welt 3 steht. Dies ist analog zum Systemansatz der Produktentstehung, denn zwischen dem Ziel- und dem Objektsystem besteht auch nur eine indirekte Wechselbeziehung. Nur durch das Handlungssystem können Transformationen von Zielen zu Objekten erreicht oder aus Objekten Ziele abgeleitet werden. Die drei unterschiedlichen Systeme sind eng miteinander verknüpft.

In dieser Arbeit wird der systemtheoretische Ansatz der Technik von ROPOHL mit dem epistemologischen Modell von POPPER verknüpft. Durch diese Verknüpfung wird das Modell durch eine epistemologische Ebene der Objektivität, Subjektivität und Intersubjektivität erweitert. Diese Erweiterung ist von entscheidender Bedeutung, denn auf diese Ebene können Abläufe und Ansätze des Informations- und Wissensmanagement integriert werden.

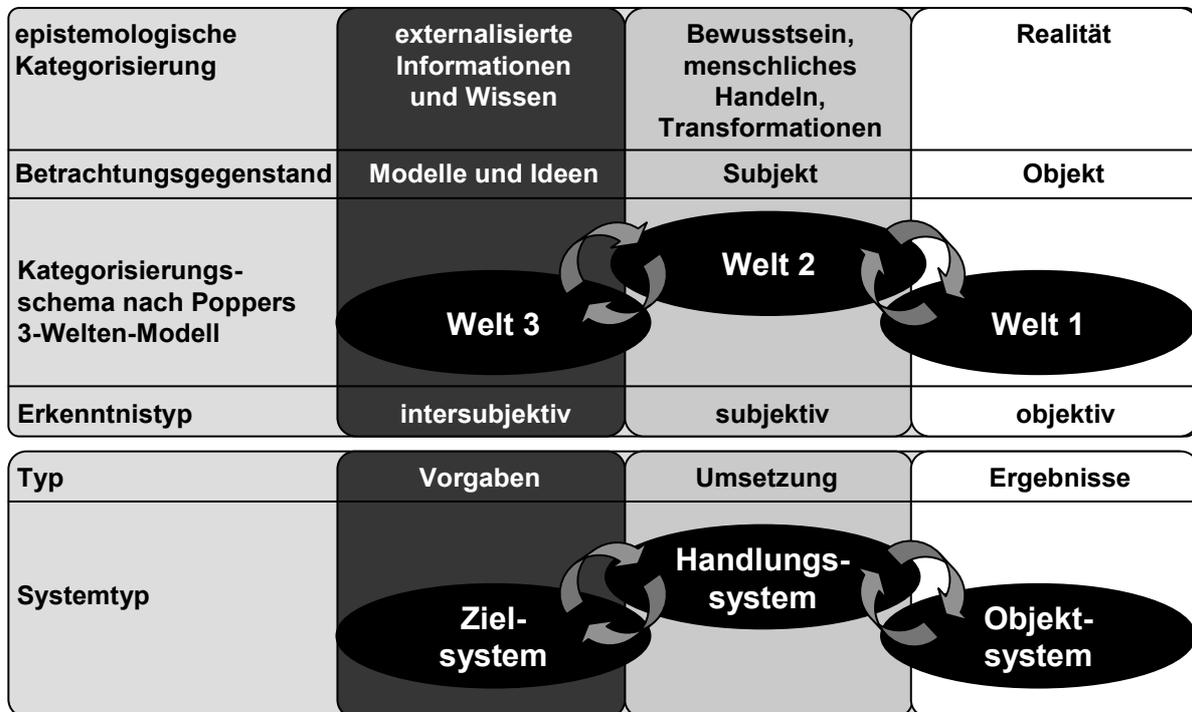


Abbildung 4-1: Poppers 3-Welten-Modell und die drei Systeme der PE

Die im Modell zugrunde gelegte Differenzierung der drei Systeme ist nicht absolut, sie hängt vom Zeitpunkt, vom Zweck und vom Standpunkt ab, der durch das Handlungssystem bestimmt wird. Das Modell nutzt hierfür das „heuristische Prinzip“<sup>454</sup> – die natürliche Zweckmäßigkeit, die beispielsweise auch in der

<sup>454</sup> Windelband 1993, S. 475. Das heuristische Prinzip (natürliche Zweckmäßigkeit): „Denken darf sich im einzelnen nie dabei beruhigen: sondern der Einblick in diese zweckvolle Lebendigkeit muß vielmehr als heuristisches Prinzip für die Aufsuchung der mechanischen Zusammenhänge dienen, mittels deren sie sich in jedem einzelnen Falle realisiert.“

Relativitätstheorie zugrunde gelegt ist.<sup>455</sup> Über die epistemologische Ebene des Systemmodells wird die heuristische Komponente des Systemansatzes deutlich, denn Zeitpunkt, Zweck und Standpunkt sind immer Elemente, die zum großen Teil auf subjektiver Wahrnehmung beruhen.

### Heuristisches Prinzip der ZHO-Systeme

Ein Element ist nicht absolut dem Ziel, Handlungs- oder Objektsystem zugeordnet. Die Zuordnung ist relativ und hängt immer vom Zeitpunkt, Zweck und Standpunkt ab.

Hieraus lässt sich folgern, dass durch das Handlungssystem erarbeitete Objektsysteme Erkenntnisse enthalten können, die zu Elementen des Zielsystems werden. Bei der Entwicklung von Handlungssystemen ist das zu entwickelnde Handlungssystem Objektsystem. Durch diese drei Systeme können die komplexen Wechselwirkungen in Produktentstehungsprozessen in einem Modell beschrieben werden. Dieser Ansatz ist eine systemische Erweiterung der klassischen Input-Operator-Output-Ansätze<sup>456</sup> von Prozessen. Die klassischen Ansätze beziehen sich auf ereignisorientierte Prozessabläufe, gehen aber über Checklisten und Projektmanagement kaum hinaus. Durch die drei Systeme und deren dynamischen Beziehungen untereinander kann der Produktentstehungsprozess als komplexes adaptives System beschrieben werden. Im Gegensatz zu den funktionalen Input-Output-Beschreibungen, die von klaren Ursache-Wirkungs-Beziehungen ausgehen, in denen der Output – das Objekt – ein direktes Ergebnis des Inputs – des Zielsystems – ist, liegt diesem Systemansatz das Prinzip der doppelten Kontingenz zugrunde. Diese doppelte Kontingenz kommt dem Ablauf realer Produktentstehungsabläufe wesentlich näher.

#### 4.1.2.1 Die doppelte Kontingenz der Produktentstehung<sup>457</sup>

Auf Basis des ZHO-Systemansatzes bestehen zwischen dem Ziel- und Objektsystem keine direkten Wechselwirkung, die gegenseitige Beeinflussung erfolgt durch das Handlungssystem, welches zu beiden Systemen direkte Wechselwirkung besitzt. Durch das Handlungssystem wird somit sowohl das Ziel- als auch das Objektsystem gestaltet. Ziel- und Objektsystem sind beide für sich kontingent, d.h. beide können unabhängig voneinander entwickelt werden, doch für ein erfolgreiches Produkt müssen beide aufeinander abgestimmt werden, das bedeutet sie müssen sich gegenseitig definieren und bestimmen. Die Anforderungen an das Objektsystem

---

<sup>455</sup> Vgl. S.122 Fußnote 375 und 378.

<sup>456</sup> Vgl. PMBOK 2003, S. 16f.

<sup>457</sup> Die doppelte Kontingenz der Produktentstehung ist eine Übertragung des Luhmann'schen Begriffs der doppelten Kontingenz, Siehe Kap. 2.4.3.1, Systemtheorie sozialer Systeme, S. 88.

müssen im Zielsystem richtig definiert sein und die sie müssen durch das Objektsystem realisierbar sein.

Dieses Prinzip nennt LUHMANN in seinem Werk „Systemtheorie sozialer Systeme“ die doppelte Kontingenz. Sie gilt auch für den Zusammenhang von Ziel- und Objektsystem und lässt sich als Axiom in der Produktentstehung formulieren.

Axiom der doppelten Kontingenz des Ziel- und Objektsystems

In der Produktentwicklung sind zu Beginn sowohl das **Ziel-** als auch das **Objektsystem kontingent**, d.h. noch unbestimmt und damit völlig offen. Beide Systeme wirken in der Produktentstehung wechselseitig aufeinander ein. Durch das Handlungssystem entsteht eine Kopplung der beiden Systeme – sie stehen in der Entwicklung in einer **wechselseitigen Beziehung**. Die beiden Systeme bestimmen sich gegenseitig ein, d.h. die Eigenschaften des Objektsystems müssen zu den Eigenschaften im Zielsystem passen und umgekehrt; hierdurch **reduziert sich die Kontingenz** und es **entsteht Ordnung**, aus der am Ende das Produkt hervorgeht.

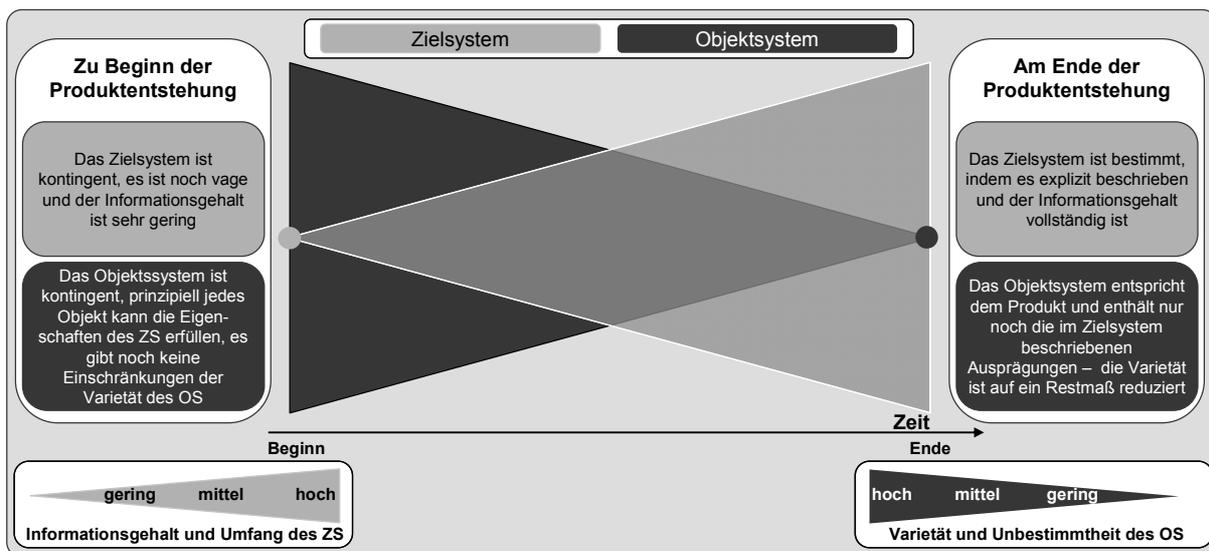


Abbildung 4-2: Die doppelte Kontingenz der Produktentstehung<sup>458</sup>

Durch die drei ZHO-Systeme wird eine universelle Theorie zur Beschreibung der Abläufe geschaffen:

- Durch die systemtechnische Logik können die Zusammenhänge zwischen Ziel, Handlungen und Ergebnissen auf allen Ebenen der Produktentstehung beschrieben und modelliert werden.

<sup>458</sup> Vgl. Albers 2006a.

- Es werden soziale Elemente gleichwertig zu technischen Elementen abgebildet.
- Es wird eine einheitliche Sprache geschaffen.
- Die ZHO-Systeme lassen sich in allen Disziplinen anwenden.
- Es wird ein formaler Modellstandard geschaffen.
- Das Modell erfüllt die Anforderung an Einfachheit und Komplexität.

### 4.1.3 Basisdefinition der ZHO-Systeme – Ziel-, Handlungs- und Objektsystem

Im Folgenden werden die in dieser Arbeit entwickelten Definitionen der einzelnen ZHO-Systeme des iPeM definiert.

#### 4.1.3.1 Basisdefinition Zielsystem

Im Zielsystem werden alle relevanten Ziele, deren **Randbedingungen**, **Abhängigkeiten** und **Wechselwirkungen** beschrieben. Das Zielsystem enthält die **explizite Dokumentation** der zur Realisierung nötigen Informationen. Die Elemente im Zielsystem müssen **nachvollziehbar** und **begründet** sein. Es enthält nur Informationen, keine physischen Objekte, und ist damit der Speicher der gesicherten Erkenntnisse und Planung der Produktentstehung.

Ausgehend von einem anfangs vagen Zielsystem wird in der Produktentstehung ein vollständiges Zielsystem für das Produkt entwickelt. Das vage Zielsystem wird durch das Handlungssystem erweitert und konkretisiert. Hierbei muss das Zielsystem immer wieder auf Konsistenz geprüft werden; treten Inkonsistenzen auf, müssen seine Elemente verändert werden.

Jedes Ziel- bzw. Subzielsystem (Cluster von Elementen des Zielsystems) bezieht sich auf ein korrespondierendes Objektsystem. Während der Produktentstehung werden zur Komplexitätsreduktion aus dem Zielsystem situations- und zweck-spezifische Subzielsysteme herausgelöst.

Die Entwicklung des Zielsystems ist Kernbestandteil der Entwicklungstätigkeit.

#### 4.1.3.2 Basisdefinition Handlungssystem

Handlungssysteme sind sozio-technische Systeme, die strukturierte und vernetzte **Aktivitäten** für die Transformationen zwischen dem Ziel- und Objektsystem durchführen.

**Aktivitäten** sind die kleinste Ausführungseinheit des Handlungssystems. Sie setzen sich aus Tätigkeiten, ausführenden Ressourcen, zu benutzenden Ressourcen und zeitlicher Abhängigkeit zusammen. Aktivitäten sind die kleinsten Elemente eines Prozesses.

Ziel- und Objektsystem werden durch das Handlungssystem erstellt und stehen nur durch dieses in gegenseitiger Wechselbeziehung.

#### 4.1.3.3 Basisdefinition Objektsystem

Objektsysteme sind Artefakte, also materielle und immaterielle Ergebnisse des Handlungssystems. Der Zweck eines Objektsystems ist im korrespondierenden Zielsystem beschrieben. In der Produktentstehung muss zu jedem Objekt- ein dazugehöriges Zielsystem existieren. Objektsysteme erfüllen in der Produktentstehung drei Bedeutungen: Sie sind Ressourcen, Erkenntnisobjekte und Ergebnisse des Handlungssystems.

Am Ende einer erfolgreichen Entwicklung entspricht das zu entwickelnde Objektsystem dem Produkt.

Zwischenergebnisse in der Produktentstehung sind Objektsysteme von Subzielsystemen. Bis zum fertigen Produkt dienen Objektsysteme dem Erkenntnisgewinn oder als Ressource im Handlungssystem.

#### 4.1.4 Die Systemumwelt des iPeM

Mit den ZHO-Systemen lassen sich die inneren Abläufe der Produktentstehung und die Wechselwirkung mit der Systemumwelt beschreiben. Die Systemumwelt ist alles, was nicht zum System der Produktentstehung zählt und wird durch den Markt beschrieben. Dieser ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht der reale oder virtuelle Ort, an dem Angebot und Nachfrage nach einem Gut oder einer Dienstleistung entsteht. Der Markt besteht im Kern aus Produzenten, Konkurrenten, Kunden und den weiteren marktbestimmenden Einflussfaktoren wie Technologie, Normen, Gesetze etc. Die spezifischen relevanten Einflussfaktoren müssen für jede Entwicklung neu identifiziert, geprüft und bestimmt werden.

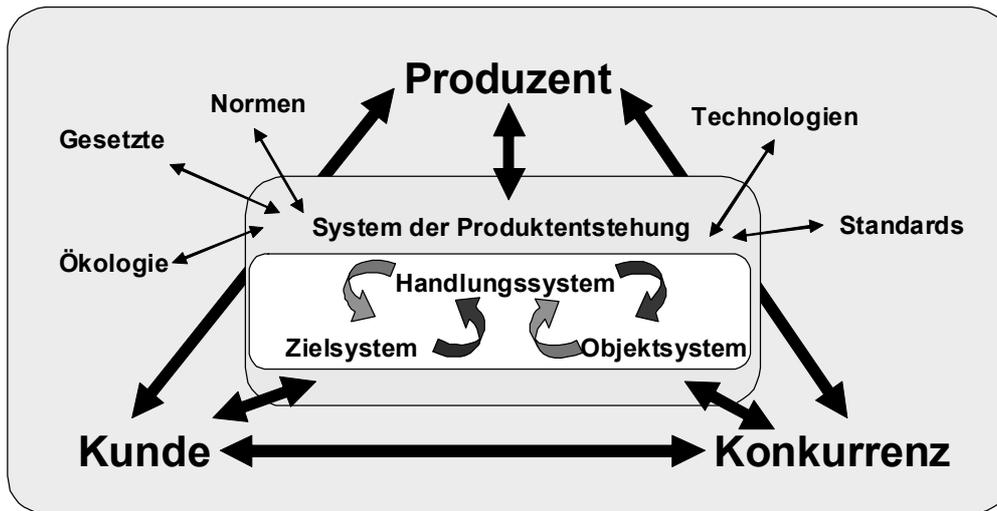


Abbildung 4-3: Systemumwelt der Produktentstehung

## 4.2 Prozessmodellierung des iPeM

Um den Produktentstehungsprozess auf Ebene des Workflows zu modellieren, ist es notwendig, die kleinsten Elemente von Produktentstehungsprozessen zu identifizieren, um auf dieser Basis den Prozess zu modellieren. Klassische Ansätze versuchen, dies auf der Ebene von Phasen und Methoden zu strukturieren. Doch stoßen diese Ansätze regelmäßig an Grenzen, da es sich immer wieder zeigt, dass reale Abläufe sich nicht allein durch Phasen und Methoden beschreiben lassen.

### 4.2.1 Aktivitäten zur Modellierung der Produktentstehung

Die Modellierung muss auf kleinste, sinnvoll zu unterscheidende Einheiten aufbauen. In Prozessen sind dies die Tätigkeiten, auch Aktivitäten genannt. Diese Bezeichnung hat sich im Workflow-Management und in Modellierungssprachen wie SysML durchgesetzt.<sup>459</sup>

#### Definition Aktivität

Eine Aktivität setzt sich aus einer Tätigkeit, einer ausführenden Ressource, einer zu benutzenden Ressource und einer zeitlichen Abhängigkeit zusammen.

Die Aktivität ist das kleinste Element eines Prozesses.

Aktivitäten werden in der SPALTEN-Aktivitätenmatrix zusammengefasst und abgebildet. Sie besteht aus Makroaktivitäten, die sich aus dem Produktlebenszyklus ableiten, und Mikroaktivitäten, die sich aus einem Problemlösungszyklus ableiten.

<sup>459</sup> Eine Aktivität ist ein Modellelement in der Systems Modeling Language (SysML). Sie modelliert das Verhalten eines Systems, indem sie beschreibt, wie elementare Verhaltensbausteine, so genannte Aktionen, mit Hilfe von Kontroll- und Datenflüssen zu komplexeren Verhalten kombiniert werden.

Durch diese Überlagerung entsteht eine Aktivitätenmatrix mit 70 Aktivitätsfeldern, auf deren Basis der Produktentstehungsprozess modelliert und beschrieben werden kann.

## 4.2.2 Makro-Aktivitäten des Lebenszyklus

Die Makro-Aktivitäten des iPeM leiten sich aus dem Lebenszyklusmodell von ALBERS<sup>460</sup> ab. Es baute ursprünglich auf den Phasen auf, die zu Aktivitäten weiterentwickelt werden. ALBERS schlägt daher vor, den Phasenbegriff auf der Entwicklungsebene aufzugeben, und definiert den Produktentstehungsprozess als Abfolge vernetzter Aktivitäten.<sup>461</sup> Die zehn Hauptaktivitäten des Lebenszyklus' lassen sich je nach Anwendungsbereich in weitere Unteraktivitäten aufteilen.

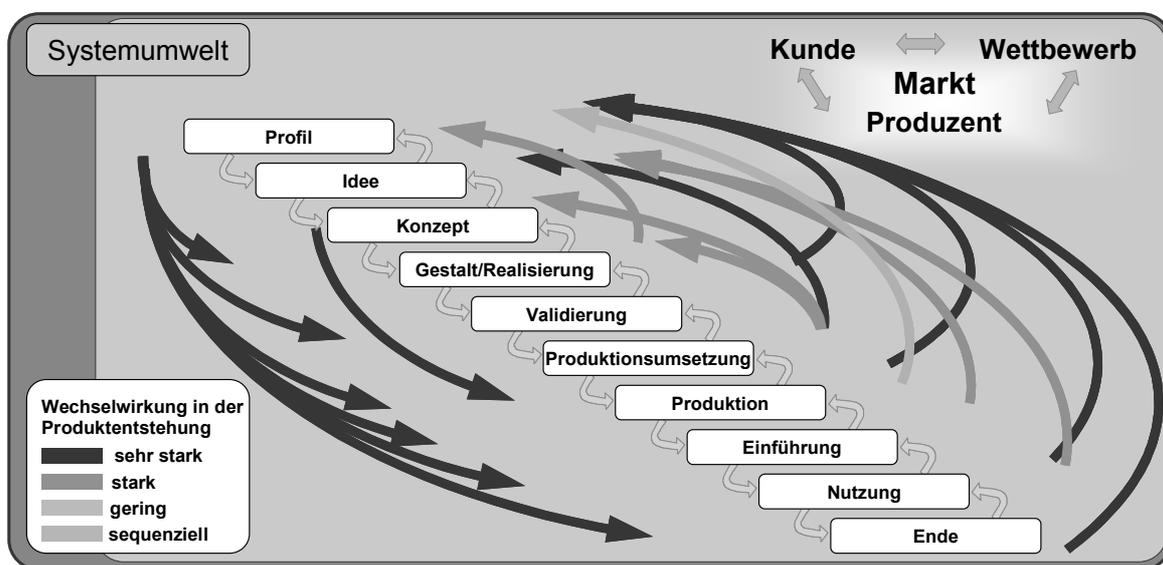


Abbildung 4-4: Lebenszyklusmodell nach ALBERS

ALBERS entwickelt das Lebenszyklus-Modell weiter und passt es an die Randbedingung moderner Produktentstehungsprozesse an. Die ursprünglichen Phasen „Entwurf“ und „Ausarbeitung“ wurden zur Aktivität „Gestalt-Realisierung“ zusammengefasst, die je nach zu entwickelndem System entsprechende Unteraktivitäten enthält. Vor allem bei der Entwicklung mechatronischer Systeme ist diese Zusammenfassung sinnvoll, da die Trennung der einzelnen Aktivitäten in mechatronischen Systemen nicht mehr möglich ist und die Anordnung der Aktivitäten im Wesentlichen durch das zu entwickelnden System selbst bestimmt wird.

Die Unteraktivitäten können an die entsprechenden Randbedingungen des zu entwickelnden Produkts angepasst werden. Doch ist die weitere Unterteilung der Aktivität „Gestalt-Realisierung“ von spezifischen Faktoren des Objektsystems

<sup>460</sup> Vgl. Albers 1998, S. 3.

<sup>461</sup> Vgl. Albers 2008.

abhängig und so unterschiedlich, dass sie ex ante in einem Modell der Produktentstehung nicht zielführend differenziert werden kann. Die Ausgestaltung von entsprechenden Unteraktivitäten im Modell baut auf der gleichen Logik des iPeM auf, muss aber dann situationsspezifisch an die Randbedingungen des Unternehmens und an das Produkt angepasst werden.<sup>462</sup>

Nach der „Produktion“ wurde das Modell durch die Aktivität der „Produkt-Einführung“ ergänzt. Die beiden ursprünglichen Aktivitäten „Recycling“ und „Revitalisierung“ wurden durch die Aktivität „Produkt-Ende“ ersetzt, da „Recycling“ nur ein Teilelement des Produkt-Endes ist. Die Aktivität umschließt die beiden Dimensionen „Produktgeneration“ und „individuelles Produkt“. Erstere umschließt alle Maßnahmen, die von Seiten des Unternehmens ergriffen werden müssen, wenn der Verfall, also die Attraktivität des Produkts im Markt nachlässt, die Verkaufszahlen einbrechen und somit der Abstieg der Lebenskurve der Produktlinie beginnt. Die zweite Dimension bezieht sich auf den Kunden und das Ende eines einzelnen Produkts, vor allem auf das Produktrecycling. Das Produkt-Ende umschließt somit nach BIRKHOFER auch die Wiederverwertung, -verwendung, Entsorgung, Endlagerung oder Beseitigung des Produkts.<sup>463</sup> Die Revitalisierung wurde aus dem Modell herausgenommen, da diese Aktivität auf einer Überarbeitung des Zielsystems aufbaut und somit eine neue Produktentwicklung ist, die auf dem alten Produkt basiert.

Die einzelnen Aktivitäten lassen sich nicht vollständig differenzieren; dies zeigt sich deutlich an den Problemen der Anwendung der ursprünglichen Phasenmodelle. In der Entwicklung finden viele Aktivitäten parallel statt und bilden so genannte Aktivitätscluster. In der Entwicklung von mechatronischen Systemen finden die Aktivitäten „Konzept“ und „Gestalt-Realisierung“ immer mit den Aktivitäten der Validierung statt. Durch diesen aktivitätsbasierten Ansatz wird das Problem der Phasentrennung überwunden.

Die Aktivitäten der Makro-Logik beschreiben keinen sequenziellen Ablauf des Entwicklungsprozesses. Dieser wird erst durch die Anwendung bestimmt. Die Aktivitäten im iPeM müssen somit nicht sequenziell durchlaufen werden; so kann z.B. der Entwicklungsprozess mit einer beliebigen Aktivität beginnen und vom Ablauf gänzlich unterschiedlich verlaufen. Die sequenzielle Abfolge der Makro-Logik ist jedoch eine Richtschnur. Die einzelnen Aktivitäten müssen von den Inhalten vollständig definiert und abgesichert werden.

Diese Unterschiedlichkeit der Abläufe auf Arbeitsebene wurde zwar früh erkannt, aber lange Zeit von der Wissenschaft und den Prozessdefinitionen in der Praxis nicht

---

<sup>462</sup> Vgl. Albers 2007a.

<sup>463</sup> Vgl. Birkhofer 1998, S. 2ff.

aufgenommen. Doch genau in der effektiven Gestaltung und Beschreibung der Produktentwicklungsprozesse sowie in deren Beherrschung im Sinne eines Workflows auf der Arbeitsebene der Produktentstehung liegt nach MEERKAMM die zentrale Herausforderung in Forschung und Praxis.<sup>464</sup>

Im Folgenden werden die einzelnen Aktivitäten der Makro-Logik des Lebenszyklus<sup>7</sup> definiert.

#### **4.2.2.1 Aktivitäten des Profils**

Die Aktivitäten des Produkt-Profils leiten sich aus der ursprünglichen Begriffsbedeutung – Umriss bzw. Kontur eines Objekts aus einem bestimmten Blickwinkel – ab. „Umriss“ ist eine Wortmetapher für die Produktbeschreibung. Das Produkt-Profil ist die betriebswirtschaftliche Betrachtung des Marktes, in dem Potenziale identifiziert werden, um darin ein Produkt erfolgreich zu platzieren. Das Marktsegment wird umrissen und beschrieben; das Produkt jedoch, welches in diesem Marktsegment platziert wird, wird selbst nicht beschrieben, sondern lediglich sein Profil.

Die Aktivitäten des Profils bilden die zentrale Schnittstelle zum Markt. Mit ihnen wird die Argumentationsgrundlage für spätere Aktivitäten gelegt. Kerntätigkeit ist die Identifikation von Marktsegmenten und -potenzialen für mögliche Produkte. Die Tätigkeiten in dieser Phase umfassen vor allem Markt-, Produzenten-, Konkurrenz- und Kundenanalysen sowie die zukünftige Entwicklung von Technologien und Märkten. In den Aktivitäten des Profils werden diese Bereiche analysiert und das Marktvolumen sowie die -entwicklung abgeschätzt. Es werden im Profil keinerlei konkrete Eigenschaften eines Produkts festgelegt, sondern nur die Begründung für Produkteigenschaften aus dem Markt heraus oder direkt vom Kunden her motiviert. Es wird nicht zwischen horizontaler und vertikaler Konkurrenz<sup>465</sup> unterschieden, da dies unterschiedliche Ideen für den gleichen Bedarf und das gleiche Profil sind. Auf Basis des Profils werden Ziel und Zweck des Produkts bestimmt und diese auf eine ökonomische Argumentationsgrundlage gestellt.

---

<sup>464</sup> Vgl. Meerkamp 2007, S. 3.

<sup>465</sup> Horizontale Konkurrenz beschreibt Anbieter mit dem gleichen Produkt, vertikale Konkurrenz beschreibt Anbieter mit einem gänzlich unterschiedlichen Produkt, aber der Befriedigung des gleichen Kundenbedürfnisses: z.B. Waschmaschine zu Waschsalon.

### Ziel der Profil-Aktivitäten

Ziel der Aktivitäten des Produkt-Profiles ist die Schaffung der ökonomischen Grundlage für das Produkt aus Sicht des Marktes und der Kunden. Das Profil umfasst den Bedarf, das Marktsegment, die Potenziale und die zukünftige Entwicklung der Technologien und Märkte mit einer hinreichenden Argumentationsgrundlage und den daraus resultierenden Möglichkeiten für das Unternehmen.

#### 4.2.2.2 Aktivitäten der Idee

In der Produktideenphase geht es um die prinzipiellen Möglichkeiten, wie etwas realisiert werden kann. Bei den Aktivitäten der Idee geht es darum, neue Lösungen zu finden und grundlegende Dinge anders zu machen. Die hohe Lösungsvielfalt ist hier von entscheidender Bedeutung, da hier die Grundlage für die später mögliche Innovationshöhe geschaffen wird.

Der Ursprung vieler konkreter Ideen liegt in obskuren oder konfusen Ideen. Aufgabe der Ideen-Aktivitäten ist es, die Lösungsvielfalt zu erhöhen, indem obskure und konfuse Ideen<sup>466</sup> zu distinkten weiterentwickelt werden und entschieden wird, ob eine Weiterverfolgung sinnvoll ist. Bei diesen Aktivitäten ist es wichtig, dass eine möglichst große Vielfalt erzeugt und zugelassen wird. Auf Basis technisch-wirtschaftlicher Einschätzungen werden die Ideen in Bezug auf die mögliche Realisierung und Profilerfüllung eingeschätzt und bewertet. Das Risiko liegt darin, dass nicht die nötige Varietät zugelassen und damit die mögliche Innovationshöhe des Produkts nicht ausgeschöpft wird.

#### Ziel der Idee-Aktivitäten

Ziel dieser Aktivitäten ist es, eine möglichst große Lösungsvielfalt zu erzeugen und die einzelnen Lösungen hinreichend darzulegen und zu dokumentieren.

#### 4.2.2.3 Aktivitäten des Konzepts

Bei den Konzeptaktivitäten werden Ideen weiter konkretisiert, indem die relevanten Einflüsse aus allen anderen Aktivitäten der Produktentstehung identifiziert und bezüglich der Realisierbarkeit und Zusammenhänge genau geprüft werden. Ziel der Konzeptaktivitäten ist es, die Produkteigenschaften genauer zu spezifizieren. Es soll die grundlegende Realisierbarkeit bezüglich Kosten, Qualität und Zeit abgesichert und abgeschätzt werden. Dazu müssen die relevanten Kostenträger und Realisierungsmöglichkeiten herausgearbeitet werden; dies beinhaltet auch schon

---

<sup>466</sup> 2.5.1.1, Methodische Unterscheidung von Analyse und Synthese, S. 108.

eine gestalterische Entwicklung des Produkts. Zentrale Fragestellung bei den Konzeptaktivitäten sind genaue Schätzungen von

- den Kosten
- dem Nutzen
- dem Risiko.

Die Konzeptaktivitäten besitzen eine große Bedeutung für die weitere Planung und das Vorgehen, denn erst durch das Konzept können konkrete Produktentwicklungsaktivitäten geplant werden. Die Konzeptaktivitäten reichen nur bis zu einem gewissen Detaillierungsgrad, so dass im Konzept mit einem nicht zu vernachlässigendem Maß an Unschärfe umgegangen werden muss.

#### **Ziel der Konzept-Aktivitäten**

Ziel der Konzept-Aktivitäten ist die hinreichende Darlegung der technisch-wirtschaftlichen Machbarkeit. Die Aktivitäten müssen die grundlegende Realisierbarkeit bezüglich Kosten, Qualität und Zeit abschätzen. Hierbei müssen die Konzeptaktivitäten mit möglichst geringem Aufwand grundlegende Aussagen zur Realisierung schlüssig darlegen.

#### **4.2.2.4 Aktivitäten der Gestalt-Realisierung**

Die Aktivitäten der Gestalt-Realisierung umfassen die klassischen Elemente der Konstruktion. Durch diese Aktivitäten wird das Produkt entwickelt, indem die Gestalt des Produkts vollständig definiert wird. Die Aktivitäten realisieren das Produkt unter den Randbedingungen von Produktion und Nutzung und legen es herstellungstechnisch fest, indem die Gestalt aller Elemente des Produkts hinreichend und verbindlich beschrieben wird. Dabei müssen die Vorschriften aus allen anderen Aktivitäten der Produktentstehung berücksichtigt werden.

Es müssen exakte und verbindliche Aussagen über Kosten, Qualität und Zeit getroffen werden. Der wesentliche Teil der Gestaltbeschreibung liegt in Form eines 3D-CAD-Datenmodells oder anderen Datenmodellen vor, mit entsprechenden Vorgaben, Unterlagen und Dokumentationen, die die weiteren Aktivitäten der Produktentstehung bestimmen.

#### **Ziel der Aktivitäten der Gestalt-Realisierung**

Ziel der Aktivitäten der Gestalt-Realisierung ist die Umsetzung, Dokumentation und Beschreibung des Produkts. Im Gegensatz zu Konzeptaktivitäten müssen hier die Aussagen bezüglich Kosten, Qualität und Zeit verbindlich und exakt sein.

#### **4.2.2.5 Aktivitäten der Validierung**

Die Aktivitäten der Validierung überprüfen und optimieren das Produkt. Insbesondere wird dabei die Tauglichkeit des Produkts hinsichtlich seines Einsatzzwecks und der Randbedingungen bzw. Anforderungen des Einsatzbereichs ermittelt. Zur Validierung werden Erprobungs- und Simulationsverfahren eingesetzt. Ziel ist die Prüfung der Anwendbarkeit des Systems in seiner Umwelt.

Die Validierungsaktivitäten besitzen zentrale Bedeutung zur Optimierung bzw. zum Erkenntnisgewinn und zur Überprüfung von Ergebnissen aller anderen Aktivitäten. Zusätzlich erfolgt durch die Validierungsaktivitäten der Abgleich der Objektsysteme in Bezug auf die geforderten Eigenschaften des Zielsystems. Die Validierung gibt Objektsysteme bezüglich ihrer Erfüllung des Zielsystems für die weitere Entwicklung frei. Die Validierungsaktivitäten sind somit solche, die den gesamten Produktentstehungsprozess begleiten und von zentraler Bedeutung sind.

#### **Ziel der Aktivitäten der Validierung**

Die Validierungsaktivitäten erstrecken sich durch den gesamten Produktentstehungsprozess und besitzen eine zentrale Bedeutung, da sie durch Simulation und Experiment die Eigenschaften des Zielsystems mit den einzelnen Objektsystemen abgleichen. Hieraus gewinnen sie entscheidende Erkenntnisse für weitere Produktentstehungsprozesse zur weiteren Optimierung und letztlich der Freigabe des Objektsystems.

#### **4.2.2.6 Aktivitäten der Produktionsumsetzung**

Nach ALBERS ist die Produktionsumsetzung selbst wieder als eigener Produktentstehungsprozess der Produktionsmittel und Ressourcen aufzufassen. In ihr wird ein eigener Entwicklungsprozess in der Produktentstehung angestoßen. Die entsprechenden Produktionsverfahren und -prozesse müssen identifiziert und spezifiziert werden. Die Phase beinhaltet die Planung, Entwicklung und Realisierung der Produktionsanlagen des Produkts sowie der dazu gehörigen Ressourcen. Aufbauend auf der Umsetzung muss die organisatorische, sachliche und terminliche Planung der Produktionsabläufe koordiniert und geplant werden. Die Beschaffung und Bereitstellung von Betriebsmitteln und -materialien, Bauteilen und Komponenten stellt eine zusätzliche logistische Aufgabe in der Produktionsumsetzung dar.

### **Ziel der Aktivitäten der Produktionsumsetzung**

Ziel der Aktivitäten der Produktionsumsetzung ist die Entwicklung der Produktionsanlagen und der dazu nötigen Ressourcen und Infrastruktur. Von besonderer Bedeutung ist die Übergabe des Zielsystems von der Entwicklung an die Produktion und die Vorbereitung des Serienanlaufs.

#### **4.2.2.7 Aktivitäten der Produktion**

In der Produktionsphase wird das entwickelte Produkt aus natürlichen wie bereits produzierten Ausgangsstoffen (Rohstoffen) unter Einsatz von Energie, Arbeitskraft und Produktionsmitteln zum Produkt transformiert. Ziel dieser Phase ist die Herstellung und Auslieferung des Produkts. Hierzu müssen die Prozesse der Produktion kontinuierlich kontrolliert, überprüft und dokumentiert werden. Speziell aus der Produktion kommen viele gestalterische Vorschläge, um den Produktionsprozess und die Produktqualität zu optimieren. Die Produktion steht in enger Wechselwirkung mit der Gestalt-Realisierung.

### **Ziel der Aktivitäten der Produktion**

Ziel der Produktion ist die Herstellung und Auslieferung des Produkts. Während der Produktion werden Erkenntnisse für die weitere Optimierung des Produkts und des Produktionsprozesses gewonnen.

#### **4.2.2.8 Aktivitäten der Einführung**

Die Einführung umfasst alle Aktivitäten, die notwendig sind, um das fertige Produkt an den Kunden zu bringen. Von besonderer Bedeutung ist hier die Marketingstrategie. Die Phase der Einführung umfasst die Vermarktung des neuen Produkts und den Aufbau der hierzu nötigen Infrastruktur zwischen Kunden und Anbieter sowie der Aufbau des Produktservices.

### **Ziel der Aktivitäten der Einführung**

Ziel der Produkteinführung sind Marketingmaßnahmen und der Aufbau der Infrastruktur zwischen Kunde und Anbieter für den Produktservice.

#### **4.2.2.9 Aktivitäten der Nutzung**

Die Produkt-Nutzungsphase beinhaltet den Verkauf und die Nutzung des Produkts. Für den Kunden besteht dieser Zeitraum für die Nutzungsdauer des Produkts – vom Kauf bis zur Entsorgung. Für den Anbieter bezieht sich diese Zeitspanne neben der individuellen Nutzung des Einzelprodukts auf die Länge des Lebenszyklus', auf die „Time-in-Market“. Während dieser Zeitspanne kann eine kontinuierliche

Überarbeitung und Optimierung des Produkts durchgeführt werden, d.h. in der Phase wird kontinuierlich auf das Zielsystem Einfluss genommen, da hier eine intensive Rückkopplung besteht.

### **Ziel der Aktivitäten der Nutzung**

Ziel der Aktivitäten der Nutzung ist es, den Kundenwunsch und die geforderte Qualität zu erfüllen, Umsatz durch den Produktverkauf zu erzielen und Erkenntnisse aus der Nutzung zu gewinnen, um das Produkt stetig weiter zu optimieren.

### **4.2.2.10 Aktivitäten des Endes**

Die Phase „Produkt-Ende“ besitzt zwei unterschiedliche Dimensionen: Zum einen die der Produktgeneration von Seiten des Unternehmens und des Kundens, die sich auf das individuelle Produkt bezieht. Hier kommen die Anforderungen an das Produktrecycling zum Tragen, sprich die Wiederverwertung, -verwendung, Entsorgung, Endlagerung oder Beseitigung des Produkts. Ziel der Produktrecyclingphase ist es, Rohstoffe durch die Rückführung und eine erneute Verwertung oder Verwendung einzusparen und gesetzliche Rahmenbedingungen zu erfüllen. Dieser Aspekt bezieht sich auf die Inhalte, die in der VDI-Richtlinie 2243 über Recyclingprozesse beschrieben sind.

Die andere Dimension des Produkt-Endes bezieht sich auf die rückläufigen Produktverkäufe gegen Ende der Produktlebenszykluskurve. Hier sind die entsprechenden Revitalisierungs- und Produktnachfolgestrategien von entscheidender Bedeutung, um den Unternehmenserfolg langfristig zu sichern.

### **Ziel der Aktivitäten des Endes**

Ziel der Aktivitäten des Produkt-Endes ist die Planung und Berücksichtigung aller Aktivitäten, die mit einer gezielten Systemaußerbetriebnahme verbunden sind. Dies sind zum einen die Produktrecyclingaktivitäten für die einzelnen Produkte, zum anderen die Aktivitäten, die durch rückläufige Produktverkäufe ergriffen werden müssen, um den Erfolg des Unternehmens langfristig zu sichern. Dies beinhaltet Nachfolgestrategien für Produkte und Produktgenerationen.

### **4.2.3 Aktivitätscluster der Gestaltung**

Der Vorteil dieser aktivitätsbasierten Beschreibung besteht darin, dass die Probleme von phasenübergreifenden Wechselwirkungen aufgehoben werden, da die einzelnen Aktivitäten nicht mehr sequenziellen Phasen, sondern entsprechend als kleinste Elemente bedarfsorientiert zugeordnet werden können. ALBERS verdeutlicht dies am Beispiel der Gestaltung: Er sieht das ursprüngliche Problem darin, dass sich der

Gestaltungsprozess nicht durch abgegrenzte Phasen wie beispielsweise Idee, Konzept, Entwurf, Konstruktion und Validierung trennen lässt. Im Sinne von ALBERS ist die Gestaltung ein iterativer Prozess, der sich von der ersten Idee mit einer vagen Gestalt bis zu einer vollständig definierten Gestalt mit Toleranzen und Bemaßung vollzieht. Zwischen den einzelnen Iterationen finden immer Validierungsaktivitäten statt. Diese sind nicht Inhalt der darauffolgenden „Phase“ im Anschluss an die Konstruktion, sondern beziehen sich immer auf die Überprüfung der Eigenschaften des Ziel- und Objektsystems, unabhängig davon, ob es sich um die Validierung von einer Idee oder von kompletten Produkten handelt. Die realen Entwicklungsabläufe können durch dieses Aktivitätskonzept modelliert, abgebildet und beschrieben werden.

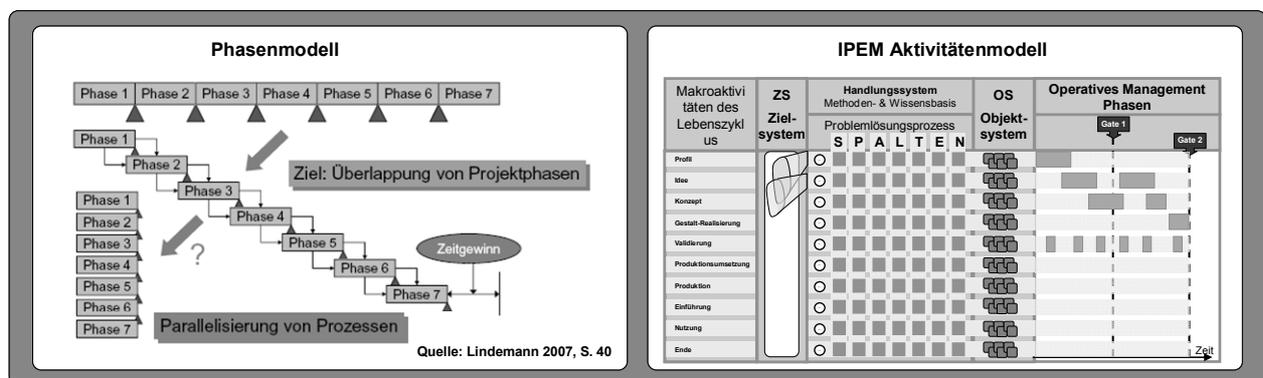


Abbildung 4-5: Phasenmodell versus Aktivitätenmodell

Dieser Aktivitätenansatz macht die Ideen, die dem V-Modell der VDI 2206 zugrunde liegen, in einem Prozess modellier- und darstellbar. Die Integration der Validierung als kontinuierlicher Prozess in der Entwicklung kann im iPeM realisiert und direkt mit dem operativen Instrument verknüpft werden.

#### 4.2.4 Mikro-Aktivitäten des iPeM – SPALTEN

Wie in anderen konstruktionsmethodischen Ansätzen<sup>467</sup> wird im iPeM eine Systematik zur Strukturierung von Problemlösungen in der Produktentstehung zugrunde gelegt. Die Problemlösungsprozesse sind wie die Phasenmodelle eine systematisierte Zergliederung eines Gesamtprozesses. In der Literatur werden die Prozesse der Problemlösung in der Produktentstehung als Mikro-Logik bezeichnet.<sup>468</sup> Diese unterscheidet sich von der Makro-Logik – den Lebenszyklus-orientierten Aktivitäten – dadurch, dass sie ein generalisierter Vorgehenszyklus für allgemeine Problemsituationen ist. Die dem iPeM implementierte Mikro-Logik dient dazu, die Ablauforientierung mit einem adaptiven situationsbezogenen Vorgehensmodell zu

<sup>467</sup> Vgl. VDI 2221 1993.

<sup>468</sup> Vgl. Daenzer 2002.

kombinieren. Dadurch werden die Prozesse an das individuelle Vorgehen von Personen und Teams angepasst. Durch die vereinheitlichte Systematik können vernetzte Problemlösungen transparent und nachvollziehbar durchgeführt werden. Als Mikro-Logik wurde der Problemlösungsprozess SPALTEN von ALBERS ausgewählt, der die Problemlösung in der Produktentstehung auf Basis von sieben Mikro-Aktivitäten beschreibt.<sup>469</sup> Diese Eigenschaft ist für die Anwendung in Wissensmanagement-Systemen von entscheidendem Vorteil. Durch diesen iterativen Prozess der Informationssuche und -bewertung, durch schrittweises Überprüfen und Entscheiden werden die in der Produktentstehung innewohnenden Unsicherheiten und Risiken systematisch reduziert. Die Mikro-Aktivitäten beschreiben nach ALBERS mehrere Aktivitäten, die auf Basis von festen Regeln flexibel durchlaufen werden:

- Jeder Problemlösungsprozess beginnt mit der Zusammenstellung des Problemlösungsteams (PLT).
- Zwischen jeder Aktivität wird die Informationsbasis geprüft und das Problemlösungsteam (PLT) hinterfragt.
- Der erste Schritt einer Problemlösung ist immer die Situationsanalyse (SA).
- Der Schritt der Tragweitenanalyse (TA) muss immer erfolgen.
- Der letzte Schritt ist immer Nacharbeiten und Lernen (NL).

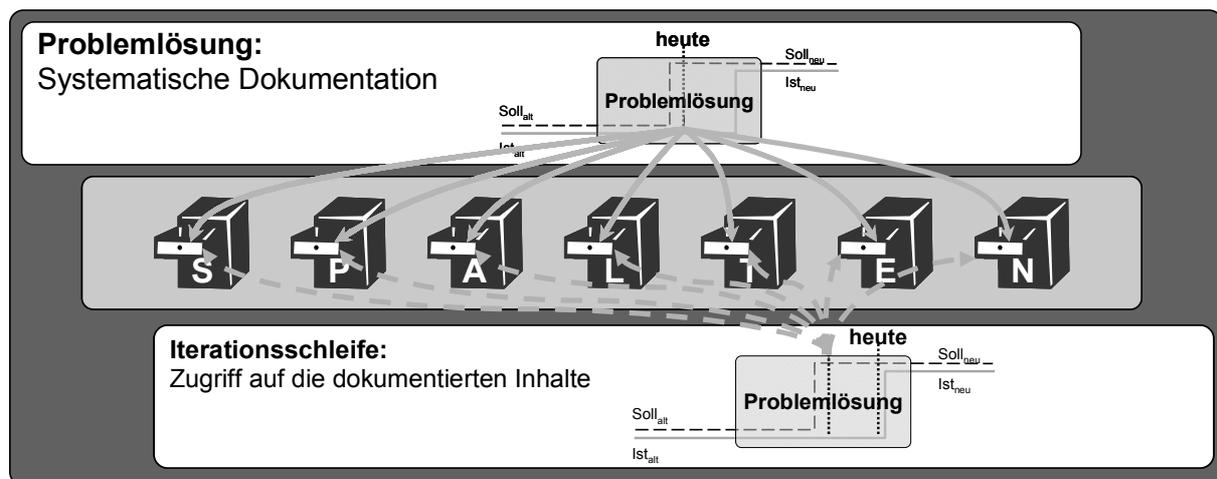
Viele Problemlösungen laufen intuitiv und routiniert ab, da sie auf den Fähigkeiten, Erfahrungen und der Intuition der Beteiligten aufbauen.<sup>470</sup> Im Besonderen dient der Problemlösungsprozess als Systematik bei Problemen, die nicht allein durch Routine und Erfahrung gelöst werden können. Aber auch intuitive Lösungen basieren auf den grundlegenden Schritten der Problemlösung, nur laufen diese unbewusst ab. Doch auch die intuitiven ablaufenden Schritte des Lösungswegs müssen nachvollziehbar sein; wenn nur das Ergebnis der Problemlösung dokumentiert ist, kann – wenn überhaupt – nur noch das Problemlösungsteam den Prozess zum Ergebnis nachvollziehen. Das bedeutet, dass nicht nur die Entscheidungspunkte dokumentiert werden müssen, sondern auch die dazu nötige Informationsbasis, so dass auch Dritte die Problemlösung zu einem späteren Zeitpunkt nachvollziehen können. Diese Nachvollziehbarkeit besitzt in Produktentstehungsprozessen eine besondere Relevanz, da Entscheidungen durch die häufig auftretenden Iterationsschleifen im Prozess ständig rekapituliert werden müssen, und bezieht sich auf alle Aspekte der Problemlösungen: Welche Entscheidungen wurden zurunde gelegt, wieso wurden welche Entscheidungen getroffen, wie sahen die Alternativen aus und was wurde in der Tragweitenanalyse betrachtet? Diese Fragestellungen können niemals

---

<sup>469</sup> Der SPALTEN-Prozess von Albers ist in Kap. 2.5.7 SPALTEN auf S. 128 beschrieben.

<sup>470</sup> Vgl. Ehrlenspiel 1995, S. 60.

hundertprozentig zu einem späteren Zeitpunkt beantwortet werden. Zwar können in vielen Fällen die Beteiligten diese Fragen beantworten, doch die Aussagen sind oft subjektiv und entscheidende Daten und Informationen sind nicht mehr aufzufinden oder zuzuordnen. Hier ist eine vereinheitlichte Systematik von essentieller Bedeutung, die als Dokumentationsroutine in allen Lösungs-, Planungs- und Ablaufschritten zugrunde gelegt wird. Dies bedeutet, die Mikro-Logik SPALTEN hat mit ihren Mikro-Aktivitäten neben ihrer systematischen Unterstützung der Problemlösung selbst auch eine entscheidende Bedeutung zur Dokumentation und Nachvollziehbarkeit von Problemlösungsprozessen. Diese Art der Dokumentation wird im iPeM als Schubladenmodell der Problemlösung bezeichnet.



**Abbildung 4-6: SPALTEN als Schubladenmodell der Problemlösung**

Dieses Schubladenmodell ist die Grundsystematik für den Umgang mit Problemlösungsinformationen in der Produktentstehung. Genauso wie für effiziente manuelle Tätigkeiten, Werkzeuge und Bauteile für den Zugriff in wohl geordneter Form vorliegen müssen, sind in wissensintensiven Prozessen die erarbeiteten Informationen systematisiert abzulegen. Doch verschiebt sich das Problem um eine Ordnung, da hier keine Objekte, sondern nur noch Informationen über Wissen und Objekte abgelegt werden. Bei Objekten ist eine Systematik wesentlich eindeutiger, bei der Ablage von Informationen und Wissen ist gerade diese Eindeutigkeit problematisch: Es besteht ein Problem 2. Ordnung, das sich niemals eindeutig lösen lässt.<sup>471</sup> Es existieren nicht mehr eindeutige Kategorien, sondern nur noch solche, die festgelegt wurden und nach denen man sich richten muss. In der Mikro-Logik des iPeM beschreibt SPALTEN die Themenbereiche der Mikro-Aktivitäten.

<sup>471</sup> Wie in der Kybernetik der 2. Ordnung, handelt es sich hier um ein Beobachtersystem.

#### 4.2.4.1 Die fraktale Mikro-Logik SPALTEN

Die Mikro-Logik besitzt im iPeM eine fraktalen<sup>472</sup> Charakter, d.h. der SPALTEN-Prozess wird in kleineren Einheiten seiner selbst wiederum vollständig durchlaufen. Wenn z.B. in der AL-Aktivität einer Problemlösung das konkrete Problem auftritt, dass keine geeigneten Lösungen generiert werden, so kann innerhalb dieser Phase ein neuer SPALTEN-Prozess mit dem Ziel angestoßen werden, das Problem der mangelnden Kreativität in der AL-Aktivität zu lösen. Gegenstand dieser Problemlösung ist jetzt nicht mehr das ursprüngliche Problem, sondern der Mangel an adäquaten Lösungen in der AL-Aktivität. Ist das Problem behoben, kann der SPALTEN-Prozess auf der oberen Ebene wieder weitergeführt werden. Diese Anwendung in sich selbst kann je nach Komplexität der Problemstellung in beliebig vielen Ebenen durchgeführt werden.

An diesem Beispiel wird das Konzept von SPALTEN deutlich: Es ist ein explizites mentales Modell, das ein strukturiertes Vorgehen beim Problemlösen erzwingt. Die wirkliche Leistungsfähigkeit wird dann erreicht, wenn SPALTEN-Prozesse als Problemlösungssystematiken von allen Teammitgliedern so intuitiv angewendet werden wie z.B. die kognitiven Vorgänge beim Autofahren.

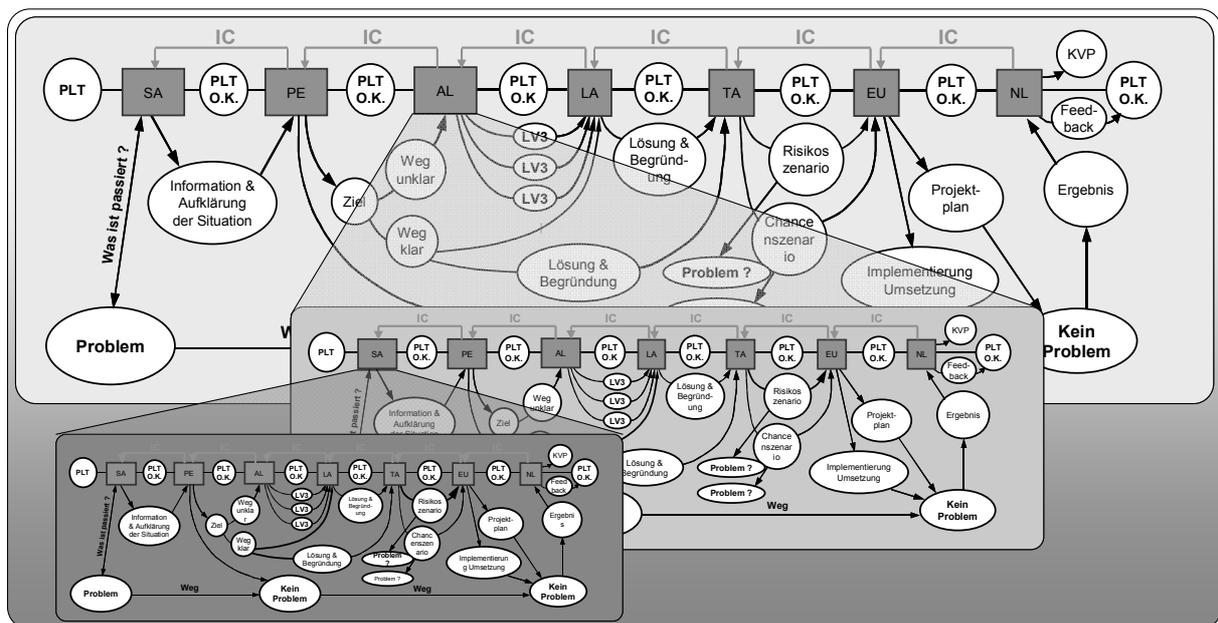


Abbildung 4-7: Die fraktale Mikro-Logik SPALTEN<sup>473</sup>

<sup>472</sup> Der Begriff „fraktal“ stammt aus der Mathematik und bezeichnet die Eigenschaft, wenn ein Objekt aus mehreren verkleinerten Kopien seiner selbst besteht.

<sup>473</sup> Albers 2006a.

#### 4.2.5 Die SPALTEN-Aktivitätenmatrix<sup>474</sup> aus Mikro- & Makro-Logik

Entwicklungsprozesse auf Grundlage der Überlagerung eines Phasenmodells und eines individuellen Problemlösungszyklus' finden sich in vielen Ansätzen wieder.<sup>475</sup>

Nach DAENZER kommen Makro-Logiken bei Problem- und Aufgabenstellungen größeren Umfangs und bei der Einbeziehung einer größeren Anzahl Beteiligter zum Einsatz. Die in den Vorgehensmodellen beschriebenen Phasen orientieren sich zumeist an unterschiedlichen Detaillierungs- und Konkretisierungszuständen, wohingegen die Mikro-Logik sich an Grundprinzipien des Handelns orientiert.<sup>476</sup> Doch weisen alle diese Modelle, die im Wesentlichen Abwandlungen des Modells der VDI 2221 sind, auf Makro- und Mikro-Ebene ein sequenzielles Vorgehen mit stark untergeordneten Iterationsschleifen auf, die den problematischen Phasencharakter nicht überwinden.

Die SPALTEN-Aktivitätenmatrix ist kein sequenzielles Ablaufmodell, sondern ein Metamodell der Aktivitäten der Produktentstehung, auf dessen Basis Abläufe in der Produktentstehung beschrieben werden. Die Stärke des Metamodells liegt gerade darin, dass es nicht auf einem sequenziellen Vorgehensmodell beruht. Denn in der Praxis zeigt es sich immer wieder, dass sequenzielle, phasenbasierte Vorgehensmodelle den Abläufen in der Realität nicht gerecht werden. Die SPALTEN-Aktivitätenmatrix beschreibt den Produktentstehungsprozess auf Basis von 70 Aktivitäten, die aus der Überlagerung von Mikro- und Makro-Logik entstehen. Das Modell enthält auf oberster Ebene keinerlei Vorgabe über die Abfolge der Prozessschritte, sondern baut hier auf einer rein logischen Beschreibung des Produktentstehungsprozesses auf. Die Stärke dieses kontextunabhängigen Modells liegt darin, dass dieses nicht auf einem normativen Ablauf aufbaut und somit nicht auf vordefinierte Anwendungsbereiche eingeschränkt ist.

Die kontextabhängige Navigation kann am Beispiel von technologie- und marktgetriebenen Innovationsprozessen aufgezeigt werden. Prozessmodelle dieser beiden Anwendungsfelder lassen sich in der Regel nicht vereinbaren, da marktgetriebene Innovationsprozesse den Bedarf im Markt identifizieren und daraus die Produktidee ableiten, technologiegetriebene dagegen mit der Entwicklung einer Idee beginnen, auf deren Basis erst ein Markt für das Produkt identifiziert wird. Diese beiden unterschiedlichen Prozesse lassen sich in der SPALTEN-Aktivitätenmatrix direkt abbilden, so dass das Modell alle Aktivitäten beinhaltet und keine zeitlichen oder ablauforientierten Vorgaben macht.

---

<sup>474</sup> Vgl. Albers 2007b.

<sup>475</sup> Vgl. Daenzer 2002, S. 47ff., Gerst 2002, S. 14ff.

<sup>476</sup> Vgl. Lindemann 2005, S. 45ff.

Die Stärke dieses Ansatzes liegt darin, dass er alle bestehenden Vorgehensmodelle abbilden und modellieren kann: Die Meta-Ebene besitzt keine vordefinierten Abläufe, die das Modell in Anwendungsfeldern einschränkt; hierdurch können auf Basis des Metamodells beliebige Prozesse modelliert werden, was eine wesentliche Voraussetzung zur Optimierung ist. Die SPALTEN-Aktivitätenmatrix ist somit ein ganzheitliches Modell zur effizienten, ablaforientierten Modellierung von Produktentstehungsprozessen und zur Gestaltung von Informationssystemen für diese.

Die SPALTEN-Aktivitätenmatrix schafft

- ein Metamodell der Produktentstehung
- eine Logik zur Modellierung von Produktentstehungsprozessen
- eine durchgängige Transparenz im Prozess
- eine Grundlage für eine eindeutige Kommunikation
- einen Standard für die Modellierung von Produktentstehungsprozessen.

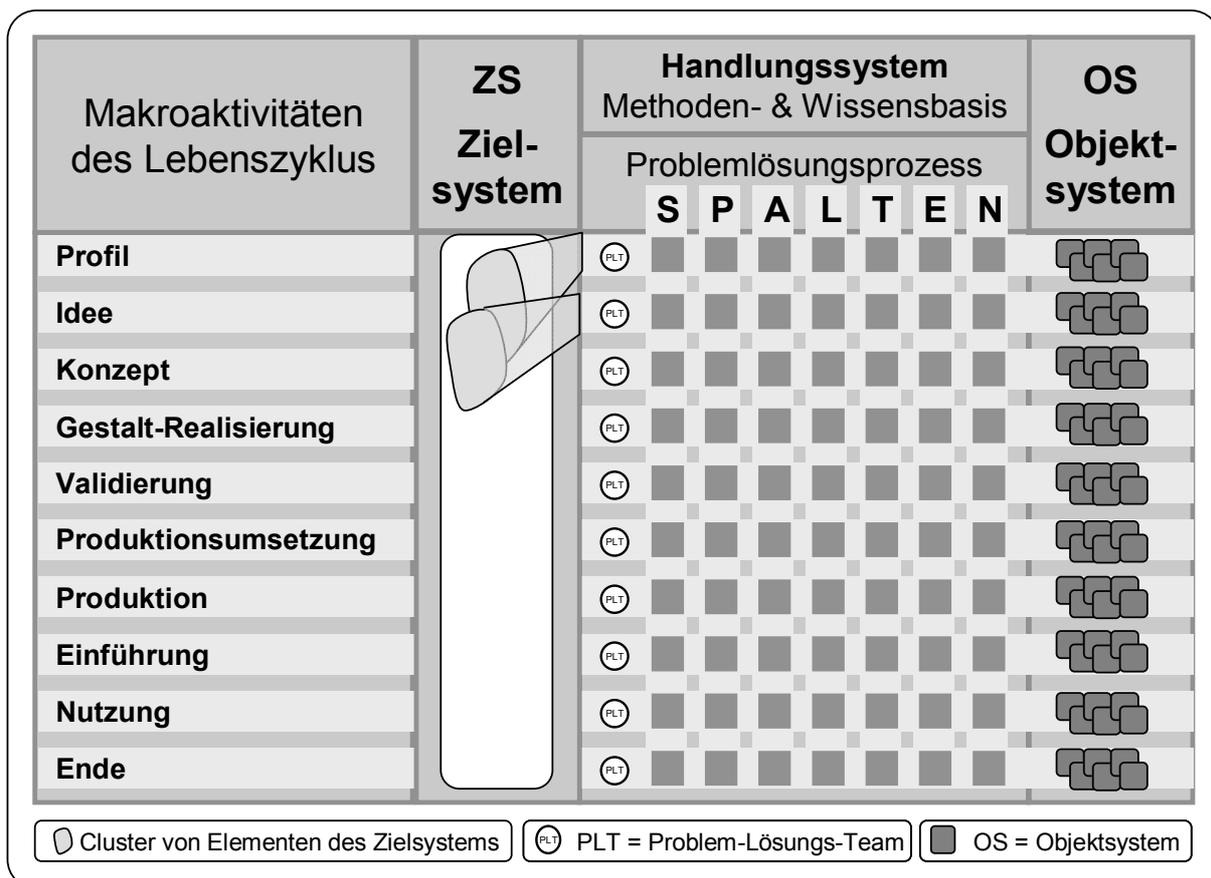


Abbildung 4-8: SPALTEN-Aktivitätenmatrix<sup>477</sup>

<sup>477</sup> Albers 2007b.

#### 4.2.5.1 Klassifizierung von Problemtypen

Durch die Überlagerung der Mikro- und Makro-Aktivitäten wird ein Handlungsfeld der Produktentstehung erzeugt. Innerhalb der SPALTEN-Aktivitätenmatrix können grundsätzlich unterschiedliche Problemtypen verschiedener Komplexitätsgrade eingeteilt und klassifiziert werden. Diese Einteilung ist wichtig, damit Probleme und Entscheidungen in der Produktentstehung schon im Vorhinein eingeschätzt und Problemlösungsteams optimal zusammengesetzt werden können.

Nach GOMEZ gibt es drei unterschiedliche Problemtypen: einfache, komplizierte und komplexe Probleme.<sup>478</sup> Diese Einteilung hilft, Problemlösungsstrategien zu planen und angemessen auf Probleme zu reagieren. Die zugrunde gelegte Zuordnung ist eine Tendenz, doch muss der Komplexitätsgrad immer noch problemspezifisch bestimmt werden, da er nicht nur vom Problem selbst, sondern auch von den spezifischen Problemlösungsfähigkeiten des Teams abhängt. Einen Königsweg zur Kategorisierung von Problemen gibt es nicht; es ist aber erstes Gebot eines jeden Problemlösungsprozesses, die Art des Problems zu erkennen, um darauf aufbauend die geeigneten Maßnahmen einzuleiten.

**Einfache Probleme:** Sie sind durch wenige Einflussgrößen charakterisiert, d.h. sie weisen nur eine geringe Anzahl von Verknüpfungen auf. Die Probleme sind weitgehend stabil und unterliegen nur wenigen unscharfen Veränderungen. Sie lassen sich mit methodischer Hilfe von Erfahrung, vorhandenen Kenntnissen und Routine leicht bewältigen. Sie beziehen sich in der Regel auf einzelne Mikro-Aktivitäten von SPALTEN innerhalb einer Makro-Aktivität des Lebenszyklus'.

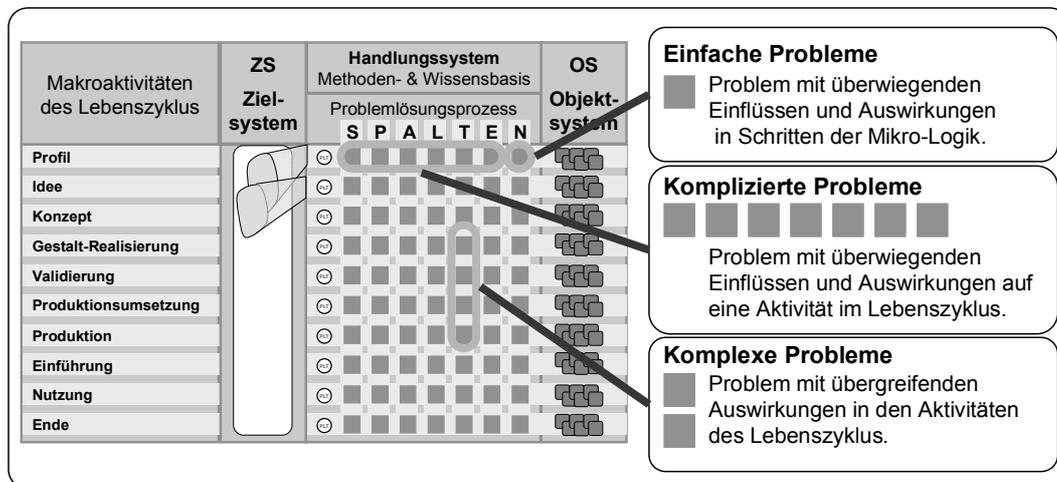
**Komplizierte Probleme:** Sie sind durch eine Vielzahl verschiedener Einflussgrößen charakterisiert, die relativ stark miteinander verknüpft sind, doch verändern sich diese Verknüpfungs- und Interaktionsmuster im Zeitablauf nur gering. Für diese Art von Problemen steht eine Vielzahl spezifischer Methoden zur Verfügung (z.B. Design of Experiments in der Versuchsplanung). Diese Art von Problemen tritt in der Regel makrospezifisch auf und lässt sich nicht mehr mit gesundem Menschenverstand allein bewältigen – hier bedarf es spezieller Optimierungs- und Lösungswerkzeuge.

**Komplexe Probleme:** Komplexe Probleme unterscheiden sich von komplizierten dadurch, dass sie viele verschiedene, stark verknüpfte Einflussgrößen besitzen, durch deren Interaktion sie sich stark verändern. Hauptcharakteristikum komplexer Probleme ist somit die Dynamik. In heutigen Produktentstehungsprozessen lässt sich eine starke Verschiebung weg von einfachen und komplizierten hin zu komplexen Problemen feststellen. Sie lassen sich niemals vollständig lösen und man muss

---

<sup>478</sup> Vgl. Gomez 1995, S. 11-34.

immer mit einem Restmaß an Unsicherheit leben. Komplexe Probleme treten innerhalb eines SPALTEN-Schrittes auf, dies aber mit Konsequenzen und Einflussfaktoren über mehrere Aktivitäten der Makro-Logik im Lebenszyklus hinweg.



**Abbildung 4-9: Klassierung der Problemtypen in der SPALTEN-Aktivitätenmatrix**

Diese Voreinteilung von Problemtypen hilft, den Komplexitätsgrad vorab zu bewerten, um angemessen auf das Problem zu reagieren.

#### 4.2.5.2 Problemtransformation

Die Produktentwicklung ist ein Prozess, in dem unterschiedlichste Problemkategorien hoch vermischt und vernetzt auftreten. Dies wird als Dualität von Problemen bezeichnet; das heißt, jedes Problem besteht aus einfachen, komplizierten und komplexen Anteilen. Um effizient mit diesen Problemen umzugehen, müssen Problemtransformationen vorgenommen werden, in denen die komplexen von den trivialen Anteilen getrennt werden.

Der überwiegende Teil der Problemlösungen läuft intuitiv ab; kann ein Problem nicht auf Basis der intuitiven Problemlösungskompetenz behoben werden, ist es von entscheidender Bedeutung, dass bei der Erweiterung des Problemlösungsteams (PLT) die neuen Mitglieder die bisherigen Aktivitäten und Ergebnisse der Problemlösung direkt erschließen können. Dies ist nur auf Basis von Standards möglich, die auch bei intuitiver Problemlösung eingehalten werden müssen. Hierzu muss der Problemlösungsprozess in Form eines mentalen Modells etabliert sein, damit er als übergreifende Problemlösungsphilosophie im Team verankert ist. SPALTEN schafft einen Standard, der sowohl intuitiv angewendet werden kann als auch für komplexe Probleme im Team optimal ist. Die Problemtransformation kann somit auf einem gemeinsamen etablierten Problemlösungsstandard erfolgen, der für triviale wie hochkomplexe Probleme die Handlungsmaxime darstellt.

Triviale Anteile können am besten durch streng deterministische Routinen und Prozesse bearbeitet werden; der Problemlöser darf hier keinen Einfluss auf die Art

und Weise der Problemlösung nehmen, die auf Basis eines vordefinierten Ablaufs erfolgt. Dieser wird als Prozessarbeit oder Anwendungsprozess bezeichnet. Komplexe Probleme brauchen zur effizienten Bearbeitung kreativen Lösungsraum und Eigeninitiative. Der Verlauf dieser Prozesse wird im Wesentlichen durch die Entscheidungen des Problemlösers bestimmt; diese Art wird als Wissensarbeit oder Wissensprozess bezeichnet. Die Herausforderung in der Produktentstehung ist es, die fließende Grenze zwischen komplizierten und komplexen Problemen zu identifizieren, differenzierte Methoden und Prozesse für triviale wie komplizierte Probleme bereitzustellen und geeignete flexible Handlungsstrategien für die komplexen Probleme zu ermitteln.

Die Schwierigkeit dieser beiden Prozessarten, Anwendungs- und Wissensprozess, liegt darin, dass das, was für den einen erfolgreich, für den anderen oft nutzlos oder schädlich ist. Ein Beispiel hierfür ist die Produktstandardisierung in der Konstruktion:

Konstrukteure neigen dazu, eher neue Teile zu konstruieren, als nach bestehenden Varianten zu suchen. Hier ist Prozessarbeit gefordert: Der Konstrukteur muss streng nach der Klassifizierung von Sachmerkmalen vorgehen und versuchen, eine passende bestehende Variante zu finden. Wenn er keine findet, ist Wissensarbeit gefordert. Er muss jetzt versuchen, ob er bestehende Anforderungen an das Teil so verändern kann, dass er eine bestehende Variante verwenden kann – doch hierfür braucht er Kreativität und Improvisation.

Die Schwierigkeit besteht darin, dass die Arbeitsweise nicht a priori bestimmt werden kann. Beginnt der Konstrukteur, gleich kreativ zu sein, hält er sich nicht an den deterministischen Prozess der Suche, was oft dazu führt, dass die Variantenvielfalt im Produkt drastisch zunimmt. BAECKER beschreibt die Problematik der gezielten Kreativität wie folgt:

*„Im Kern geht es darum, aus der Kreativität keine Leistung, sondern Bedingung zu machen. Ging man bisher davon aus, dass Kreativität darin besteht, dass sich jemand darum bemüht, sich ein Problem durch den Kopf gehen zu lassen, um es erfinderisch zu lösen, oder darin, dass der Prozess definiert, an welchen Stellen ein erfinderischer Schritt erforderlich ist, so hat man es jetzt damit zu tun, dass ein Produkt oder Prozess verteilte kreative Schritte erfordert. Die Kreativität steckt im Netzwerk selbst. Die Leistung jedes Einzelnen muss nicht kreativ sein, aber sie löst an Stellen, an die man vorher nicht gedacht hat, ein Problem, das vorher niemand definiert hat.“<sup>479</sup>*

Für komplexe Probleme müssen Freiräume für Denk- und Handlungsstrategien geschaffen werden, denn der Erfolgsfaktor ist im Wesentlichen nicht das vordefinierte Schema, sondern das Individuum mit seiner Problemlösungskompetenz. Wird dieser Freiraum aber für triviale Probleme geschaffen, führt er ins „Chaos“.

---

<sup>479</sup> Dirk Baecker, Brandeins 2007, S. 77.

## 4.2.6 Operatives Management

Der Begriff „operativ“ bezieht sich auf Aufgaben der unmittelbaren Bewältigung des Alltagsgeschäfts und insbesondere auf die Effizienz im Umgang mit knappen Ressourcen. Die Aufgabe des operativen Managements ist es, über konkrete Handlungen am Markt oder im Unternehmen zu entscheiden und die Beziehungen zwischen den einzelnen Funktionsbereichen eines Unternehmens abzustimmen. Das operative Management ist im Kern auftragsbezogene, lenkende und gestaltende Willensbildung und -durchsetzung in Prozessen durch Maßnahmen.<sup>480</sup>

Die aus der Konstruktionsmethodik erwachsenen Ansätze werden seit den 1980er-Jahren sukzessiv verdrängt, da sie der vom Management geforderten Outputorientierung nicht gerecht wurden. Sie wurden in der industriellen Praxis von stringenten Phase-Review-Prozessen abgelöst. Diese Ansätze konzentrieren sich im Wesentlichen auf das Controlling von Ressourcen, Zielen und Zeitpunkten und nicht mehr auf die Unterstützung der Entwickler selbst. Die Ansätze sind zwar sehr effizient in der Umsetzung, führen jedoch in Bezug auf das Produkt und das technisch Mögliche oft nicht zum optimalen Ergebnis, da sie wenig kontingent sind und so gut wie keine lose Kopplung zulassen. Im iPeM wird eine aktive Schnittstelle geschaffen, die es ermöglicht, sowohl die klassische konstruktionsmethodische Unterstützung als auch das operative Management in einem Modell zu vereinen.

Das operative Management in der Entwicklung basiert mit den Stage-Gate-Modellen auf klaren sequenziellen Phasen; diese finden sich in allen operativen Managementansätzen wieder. Auf Ebene des operativen Managements sind die Phasenmodelle sehr effizient und sinnvoll, doch wurde immer wieder versucht, den Phasencharakter in den Konstruktionsprozess zu integrieren; es hat sich jedoch gezeigt, dass dies nicht funktioniert. Die Phasen in der Produktentstehung entstehen erst durch das operative Management selbst.

### 4.2.6.1 Die Schwierigkeit von operativer Planung im komplexen Umfeld

Komplexität ist eine der größten Herausforderungen der Unternehmensführung, weil sie dem traditionellen Management seine Basis entzieht: Kontinuität, Stabilität, Berechenbarkeit, Klarheit, Eindeutigkeit und Planbarkeit verschwinden bei zunehmender Komplexität. Für Methoden und Prozesse heißt dies, dass es bei komplexen Systemen eben keine festen Maximen gibt, wann es richtig ist, zu handeln:

*„Die einzige Regel ist, dass es keine Regel gibt“<sup>481</sup>.*

---

<sup>480</sup> Vgl. Wegehaupt 2004, S 62f.

<sup>481</sup> Doerner im Interview, Brandeins 2006.

Der Konflikt zwischen Konstruktionsmethodik und operativem Management besteht darin, dass die Konstruktionsmethodik sich im Wesentlichen auf die Umsetzung konzentriert, während das operative Management sich hauptsächlich auf die Zielerreichung innerhalb der geplanten Qualität, Zeit und Ressourcen konzentriert. Hier tritt der klassische Konflikt zwischen Planung, Kontrolle und realer Durchführung auf. Dieses Problem der synoptischen Totalplanung und dem „muddling through“ lässt sich anhand des Schachspiels verdeutlichen: Als Spieler strebt man zu gewinnen, indem man den gegnerischen König schlägt. Wenn man sich nun einen Plan zurecht legt, wie man den gegnerischen König in den nächsten Zügen in die Enge treiben und schlagen will, wird man schnell merken, dass dies nicht funktioniert, da der Gegner auch mitspielt. Es gibt Milliarden von möglichen Konstellationen. Vernünftiger als ein starrer Plan ist es deshalb, sich dem Spielverlauf des Gegners anzupassen, also das jeweils Richtige zu tun, Zug um Zug, auch wenn dies nur bedingt geplant und kontrolliert werden kann, da eine ständige Adaption stattfindet. Wenn man Zug um Zug das Richtige tut und immer das bestmögliche Situationspotenzial ausschöpft, ist Gewinnen die Konsequenz. Das heißt, nicht die Planung ist entscheidend, sondern wie man sich der veränderten Situation schnell und gut anpasst - man könnte auch sagen, effizientes und systematisches „Durchwursteln“, eben „muddling through“. Improvisation ist das entscheidende Mittel der Wahl, starre Planungsprozesse scheitern an der Komplexität.<sup>482</sup> Improvisiertes Handeln aus der Situation heraus ist in komplexen Situationen jeder Vorlage meist bei weitem überlegen. Im iPeM werden diese beiden Sichtweisen in einem Modell abgebildet, um den Konflikt der operativen Kontrolle und des „Durchwurstelns“ zu lösen.

#### 4.2.7 Trennung von Aktivitäten und Phasen

Der Konflikt zwischen Planung bzw. Prozessbeschreibung und realem Ablauf liegt darin, dass man den Produktentstehungsprozess sehr genau planen und absichern möchte, dies aber nur bis zu einem bestimmten Detaillierungsgrad möglich ist. Der reale Prozessverlauf im Sinne der Abfolge der Tätigkeiten ist sehr stark durch die Wechselwirkung des Objekt- und Zielsystems bestimmt, die erst während der Entwicklung auftritt. Grobe Phasen, wie sie die Stage-Gate-Modelle verwenden, sind sehr gut planbar; doch eignen sie sich in der Entwicklungsmethodik nicht dazu, den Prozess auf Arbeitsebene zu beschreiben. Diese Ebenen werden immer wieder vermischt – wie z.B. in VDI 2221.<sup>483</sup> Da die Entwicklungsmethodik diese Trennung nie sauber vollzogen hat, ist dies bis heute einer der zentralen Kritikpunkte an der

---

<sup>482</sup> Ebda., S. 86.

<sup>483</sup> Vgl. VDI 2221 1993, S. 9.

Entwicklungsmethodik. Es müssen die konstruktionsmethodischen Elemente streng von den managementorientierten Elementen (Phasen und Gates) getrennt werden, aber ohne diese zu entkoppeln. Die konstruktionsmethodische Ebene lässt sich nur durch Aktivitäten sinnvoll beschreiben, die Steuerung des Produktentstehungsprozesses lässt sich aus Sicht des Managements nur auf Basis von Gates und Phasen realisieren. Dieser Konflikt kann nur gelöst werden, wenn die beiden Sichten klar und eindeutig differenziert, aber in einem Modell durchgängig verknüpft und abgebildet werden.

Phasen beziehen sich klar auf Management- und Projektabläufe, denn Phasen sind per definitionem abgrenzbare Abschnitte innerhalb einer Entwicklung und beziehen sich auf die Zusammenfassung von Projektaktivitäten nach inhaltlichen, technischen, zeitlichen, begrifflichen, und/oder organisatorischen Kriterien.

Die Entwicklungsmethodik berücksichtigt seit jeher die Phasenmodelle in ihren methodischen Ansätzen. Bis in die 1990er-Jahre warf die Durchmischung zwar immer wieder Probleme auf, aber sie funktionierte noch relativ gut. Durch die fortschreitende Integration der Mechatronik wurde klar, dass diese klassischen Ansätze nicht mehr zweckdienlich sind. Tätigkeiten wie Konzept, Entwurf, Gestaltung und Validierung konnten nicht losgelöst voneinander betrachtet werden. Hierdurch fiel der Geltungsanspruch von den voneinander trennbaren Phasen in der Entwicklung.

### **Forderung der Trennung von Aktivität und Phase im iPeM**

Ein ganzheitliches Produktentstehungsprozess-Modell muss die Managementsicht im gleichen Maße wie die konstruktionsmethodische Sichtweise unterstützen. Das heißt, die Prozessmodellierung muss sowohl Phasen und Gates berücksichtigen als auch die entwicklungsmethodischen Elemente bis auf die Ebene der Entwicklungstätigkeit transparent abbilden.

Hierzu müssen die Phasen von den Aktivitäten getrennt werden, ohne sie voneinander zu entkoppeln.

Doch fehlen bis heute schlüssige ganzheitliche Ansätze, um diese Probleme zu überwinden. ALBERS schlägt zur Lösung dieses Problems die strikte Trennung von Aktivitäten und Phasen vor, die im iPeM verknüpft werden. ALBERS begründet dies am Beispiel der Validierung: Validierungsaktivitäten finden in der Produktentwicklung schon vor der klassischen Produktvalidierungsphase statt, denn Validierung ist eine Aktivität, die in allen gesamten Produktentstehungsprozessen stattfindet.

Die SPALTEN-Aktivitätenmatrix bildet die methodische Sichtweise auf den Produktentstehungsprozess ab und wird durch ein Feld des operativen Managements erweitert, um dessen Sicht zu realisieren. In diesem Feld wird der zeitliche Verlauf

des Entwicklungsprozesses abgebildet, der sich aus der Aneinanderreihung von Aktivitäten aus der Aktivitätenmatrix zusammensetzt. In diesem Feld wird der Projektplan, die Phasen, die Gates und der reale Workflow abgebildet.<sup>484</sup>

Erst durch die Gates entstehen abgegrenzte Abschnitte innerhalb einer Entwicklung – die Entwicklungsphasen.

Alle Aktivitäten können mit dem Projektstart erfolgen, da sie nicht mehr den einzelnen Phasen zugeordnet sind. Hier lässt sich nun der tatsächliche Ablauf eines Produktentstehungsprozesses abbilden. Denn von Anfang an werden im Projekt in den einzelnen Bereichen der Makro-Aktivitäten Informationen gesammelt: SA-Einführung – die Analyse der Distributionswege – ist für das Profil einer Neuproduktentwicklung von entscheidender Bedeutung. Zusätzlich wird in das Feld des operativen Managements der SOLL- und IST-Verlauf der Entwicklungsaktivitäten eingetragen; hierüber kann das zeitliche Projektcontrolling erfolgen. Die Darstellung in der Abbildung 4-10 erfolgt auf der höchsten Abstraktion, es werden nur Entwicklungsphasen angezeigt, aber die Logik kann im Modell bis auf Einzelaktivitäten heruntergebrochen werden.

Nach ALBERS wird erst durch die Trennung und gleichzeitige Verbindung von Phasen und Aktivitäten ein Entwicklungsprozess beschreibbar.

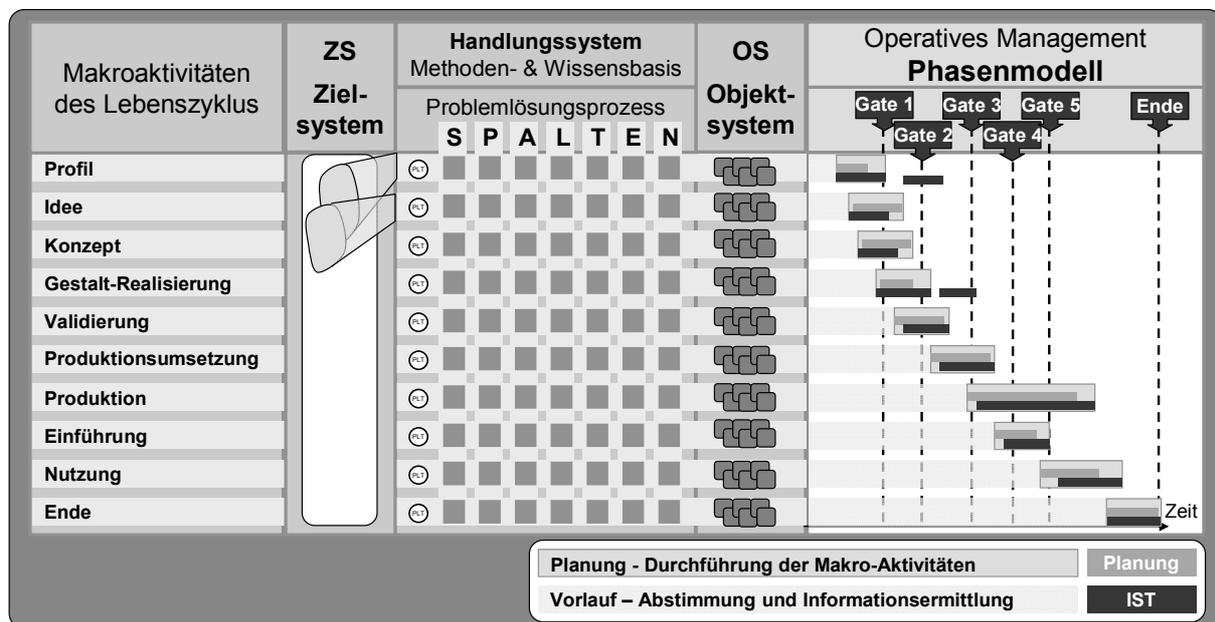


Abbildung 4-10: SPALTEN-Aktivitätenmatrix und operatives Management

<sup>484</sup> Vgl. Albers 2007b.

#### 4.2.7.1 Modellierung der Prozesse

Kommerziell verfügbare Prozessmodellierungsmethoden und -werkzeuge bieten kaum mehr Funktionalität als die manuelle Auswahl und Kopie vorhandener Prozess-Strukturen. Auch in der Forschung gibt es bisher nur wenige Ansätze, die sich mit einer intelligenten Unterstützung zur Erstellung projektspezifischer Prozessmodellierung in der Produktentstehung beschäftigen, die über inkrementelle ereignisorientierte Prozessketten hinausgehen. Doch besitzt die Prozessmodellierung in der Produktentstehung eine besondere Bedeutung, da durch verkürzte Produktzyklen und steigende Komplexität der Produkte der spezifische Prozessmodellierungsaufwand stetig steigt. Die Anwendung von Standardprozessen funktioniert heute schon sehr gut, doch mit steigender Komplexität versagen diese Modellierungen. Speziell bei komplexen Prozessen sind sie aber sehr wichtig, da der Nutzen der Prozessmodellierung weit über das Projektmanagement hinausgeht. Die Prozessmodellierungen können

- Informationsflüsse explizit darstellen
- prozessbegleitende Dokumentationen ermöglichen
- Gesamtzusammenhänge und Abhängigkeiten einzelner Aufgaben explizit darstellen
- Wissensmanagement-Aktivitäten an den Prozess ankoppeln
- aus den Rückkopplungen der realen Abläufe Verbesserungen für zukünftige Prozesse ableiten.

Bis heute sind die Abläufe von Produktentstehungsprozessen mit ihren realen Iterationsschleifen kaum erforscht. Die heutige Produktentstehung benötigt komplexe und kontextabhängige Prozessunterstützung. Dies erfordert als Ausgangsbasis eine detaillierte Beschreibung der Prozesse; erst dann können im Kontext geeignete Methoden, effektive Werkzeuge, Strategien für das weitere Vorgehen und das aktuell benötigte Wissen bereitgestellt werden. Klassische Vorgehensmodelle wie z.B. die VDI 2221, VDI 2206 oder Gate-Modelle erweisen sich als zu grob strukturiert, um als Ausgangsbasis für solche Lösungsansätze dienen zu können. Konventionelle Workflow-Managementsysteme sind kaum brauchbar, weil Produktentwicklungsprozesse nicht deterministisch sind. MEERKAMM sieht in ihrer effektiven Gestaltung und Beherrschung im Sinne eines Workflows in der Produktentstehung eine der zentralen Herausforderungen für Forschung und Praxis der Produktentstehung der nächsten Jahre.<sup>485</sup>

---

<sup>485</sup> Vgl. Meerkamp 2007, S. 3.

## 4.2.8 Wissensmanagement

Wie oben dargelegt, ist die Prozessmodellierung ein wichtiges Element im Wissensmanagement, da die realen Abläufe durch Workflow-Systeme dokumentiert werden können. Doch wird dieser Aspekt in Wissensmanagementsystemen noch wenig beachtet. Erst in jüngster Zeit werden diese Aspekte in der 3. Generation des Wissensmanagements konsequent berücksichtigt. Diese Ansätze gehen auf das in der Literatur häufig herangezogene 3-Säulen-Modell des Wissensmanagements zurück. Dabei werden die Säulen „Organisation“, „Mensch“ und „Technologie“ differenziert.<sup>486</sup> Das 3-Säulen-Modell geht davon aus, dass es im Wissensmanagement drei Gestaltungsdimensionen gibt, wobei je nach Zielsetzung unterschiedliches Gewicht auf die einzelnen Säulen gelegt wird, ohne jedoch die anderen beiden Dimensionen zu vernachlässigen.

Bis heute gibt es in der Produktentstehung nur wenig wirklich erfolgreiche Beispiele für Wissensmanagementsysteme, die alle drei Dimensionen verbinden. In der Produktentwicklung liegt es im Wesentlichen daran, dass es keine übergreifenden Modelle gibt, die diese drei Säulen in einem Modell verbinden. In der 3. Generation des Wissensmanagements gibt es inzwischen erfolgsversprechende Ansätze zur Bündelung der Wissensmanagementaktivitäten. SCHÜTT konkretisiert die drei Säulen und bildet eine klare Rangfolge für die Kernelemente eines Wissensmanagement-Systems: 1.) Kultur & Organisation, 2.) Prozesse und 3.) IT-Untersützung.

Diese Dreiteilung ist auch die Grundlage des iPeM-Ansatzes.

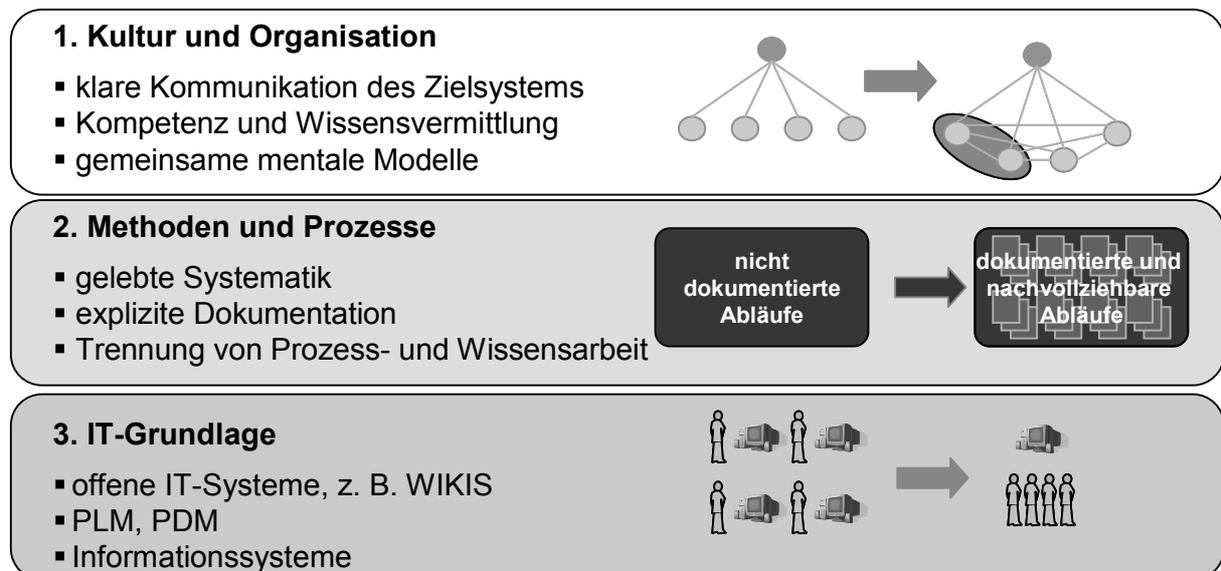


Abbildung 4-11: Die drei Ebenen des iPeM-Ansatzes

<sup>486</sup> Vgl. Wolf 1999, S. 752.

#### 4.2.8.1 Systematik für die Wissensarbeit

Das Wissensmanagement ist für die Unterstützung der wissensintensiven Prozesse (Wissensprozesse) in der Produktentwicklung von essentieller Bedeutung, da die Qualität und Innovationshöhe eines Produkts wesentlich durch die Ressource Wissen bestimmt wird. Doch sind die Elemente des Wissensmanagements in den existierenden Ansätzen der Produktentstehung bisher nur schwach strukturiert. Dies liegt zum großen Teil auch daran, dass in der Produktentwicklung die Prozesse sehr stark durch die Produktmodelle (Objektsysteme) dominiert werden. Das Objektsystem ist das Ergebnis eines wissensintensiven Prozesses, es enthält aber kein Wissen an sich. Dieses steckt in Form von relevanten Informationen im Zielsystem und im Sinne von Know-how im Handlungssystem. Das bedeutet, dass Ziele und Handlungen gleichwertig zu den Objektsystemen gepflegt, betrachtet und entwickelt werden müssen, um sie nachhaltig erfolgreich einzusetzen.

Das heißt, die Reihenfolge der Tätigkeiten wird durch die Entwicklung des Produkts (Objektsystems) stark vorgegeben. In der Praxis wird aber kaum zwischen Prozess-, Produktdaten und Zielen unterschieden; die Herausforderung liegt also in der integrierten Modellierung dieser Systeme.

Das bedeutet wiederum, die Abbildung des Produktentstehungsprozesses kann nicht über das Objektsystem (Produktmodell) erfolgen. Für eine effiziente Modellierung des wissensintensiven Prozesses der Produktentstehung müssen unterschiedliche Systeme integriert modelliert werden: das Ziel-, das Objekt- und das Handlungssystem. Nur durch dieses System-Triple kann ein Produktentstehungsprozess hinreichend modelliert werden.

#### Das System-Triple der Produktentstehung

Der Produktentstehungsprozess wird im iPeM durch das System-Triple von Ziel-, Objekt- und Handlungssystem modelliert.

In der wissenschaftlichen Betrachtung ist die Kopplung zwischen Zielen, Objekten, Handlungen und der daraus resultierenden Prozesse noch wenig erforscht.

#### 4.2.9 Der Gestalter in der Produktentstehung

Im Zentrum des iPeM-Ansatzes steht der Mensch. Die an der Produktentstehung beteiligten Menschen wirken auf die gesamte Produktentstehung ein und gestalten diese aktiv. Die Begriffe „Gestaltung“ und „Gestalter“ sind direkte Übersetzungen der englischen Begriffe „Design“ und „Designer“, die in der deutschen Sprache stärker im künstlerischen Sinne verstanden werden. Hier ist in der Übersetzung einiges verloren gegangen, denn „to design“ hat eine umfassendere Bedeutung als die technische Übersetzung „konstruieren“. In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff Designer als

Gestalter übersetzt, denn dieser Begriff wird der wirklichen Bedeutung gerecht. Der Gestaltungsbegriff bezieht sich auf jegliche Art von Technikgenese und der Schaffung von Artefakten. Eine umfassende Begriffserklärung liefert ASIMOW<sup>487</sup>; er sieht in der Gestaltung die zweckmäßige Aktivität, um menschliche Bedürfnisse zu erfüllen. Im Verständnis von SIMON<sup>488</sup> ist jeder ein Gestalter, der Abläufe ersinnt, um erwünschte Situationen in Bestehende zu verwandeln. ALBERS sieht in diesem Verständnis den Entwickler als Gestalter.

### 4.3 Ziel- und Objektsystem im iPeM

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der wissenschaftlichen, ganzheitlichen Begründung und Herleitung des iPeM mit den Elementen des Handlungssystems und des Zusammenwirkens von Ziel- (ZS) und Objektsystem (OS) aus der Systemtheorie. Im Folgenden wird das Zusammenwirken von ZS und OS in der Produktentstehung beschrieben.

Aufbauend auf den systemtechnischen Ansätzen lässt sich die Produktentstehung als Überführung eines zu Beginn der Produktentwicklung noch vagen Zielsystems<sup>489</sup> in ein konkretes Objektsystem beschreiben. Das heißt, die Kerntätigkeit der Produktentwicklung ist die Operationalisierung der Ziele, also die kontinuierliche Erweiterung und Konkretisierung des Zielsystems, der Gestaltung eines effizienten Handlungssystems und der erfolgreichen Umsetzung in ein Objektsystem – das Produkt.<sup>490</sup>

Dieser Ansatz ist ein allgemeingültiges Modell zur Beschreibung der Technikgenese auf Basis sozio-technischer Systeme, dem Handlungssystem. Objektsysteme können hierbei Ergebnis und Gegenstand des Handlungssystems sein.

Nach ACKOFF sind Objektsysteme Systeme, die nach einer bestimmten Regelmäßigkeit funktionieren, die von ihrer inneren Struktur ausgeht. Die Systeme erfüllen einen bestimmten Zweck, der ihnen von außen vorgegeben worden ist.<sup>491</sup>

---

<sup>487</sup> Vgl. Asimow 1992.

<sup>488</sup> Vgl. Simon 1994, S. 95.

<sup>489</sup> Zielsysteme wurden im Bereich des betriebswirtschaftlichen Controllings schon lange etabliert. Ansoff entwickelte in den 1960er-Jahren ein Modell für Unternehmensziele. Zur Operationalisierung seines Ansatzes entwickelt er ein kaskadenförmiges Zielsystem, an dessen Spitze die Maximierung der langfristigen Rentabilität des investierten Kapitals steht. Doch ist dieses Verständnis auch wieder eine Spezifizierung des Zielsystems im ökonomischen Sinne. Vgl. dazu Ansoff, 1965, S. 37.

<sup>490</sup> Vgl. Albers 2007a.

<sup>491</sup> Vgl. Ackoff, 1994, S. 175.

Soziale Systeme hingegen sind offene Systeme mit einem Selbstzweck. Jedes soziale System besitzt mindestens eine übergeordnete eigene Zielsetzung, welche Handlungen motiviert. Diese wird durch das System selbst erzeugt, doch kann sie nur in Relation zur Systemumwelt beschrieben und verstanden werden.<sup>492</sup> In der Produktentstehung steht auf der obersten Ebene des Zielsystems in der Regel die langfristige Rentabilität des Unternehmens, doch kann die oberste Zielsetzung auch anders definiert sein, denn das Ziel wird vom System selbst bestimmt. An dieser Beschreibung wird deutlich, dass das Zielsystem mehrere Aufgaben besitzt: Es definiert den Zweck des Objektsystems, enthält Vorgaben für das Handlungssystem und besitzt eine strategische Komponente und einen Zweck für das Gesamtsystem Unternehmen.

Die oberste Zielsetzung im Zielsystem bezieht sich immer auf das endgültige Resultat und somit erfüllt in der Produktentstehung erst das Objektsystem „Produkt“ die vollständige Eigenschaft des Zielsystems. Alle anderen Objektsysteme sind nur Erkenntnisobjekte oder Mittel zur Zielerreichung und erfüllen nur ausgewählte Teilelemente des Zielsystems. Die Objektsysteme in der Produktentstehung sind somit immer Erkenntnisgegenstand für die Ermittlung des Zielsystems und Ressourcen für die Erzeugung von Objektsystemen. Hierfür werden im Produktentstehungsprozess Subzielsysteme abgeleitet, aus denen Objektsysteme entwickelt werden, die dazu dienen, Erkenntnisse über das Produkt bzw. das Produkt-Zielsystem zu gewinnen oder die Ressourcen für das Handlungssystem darstellen.

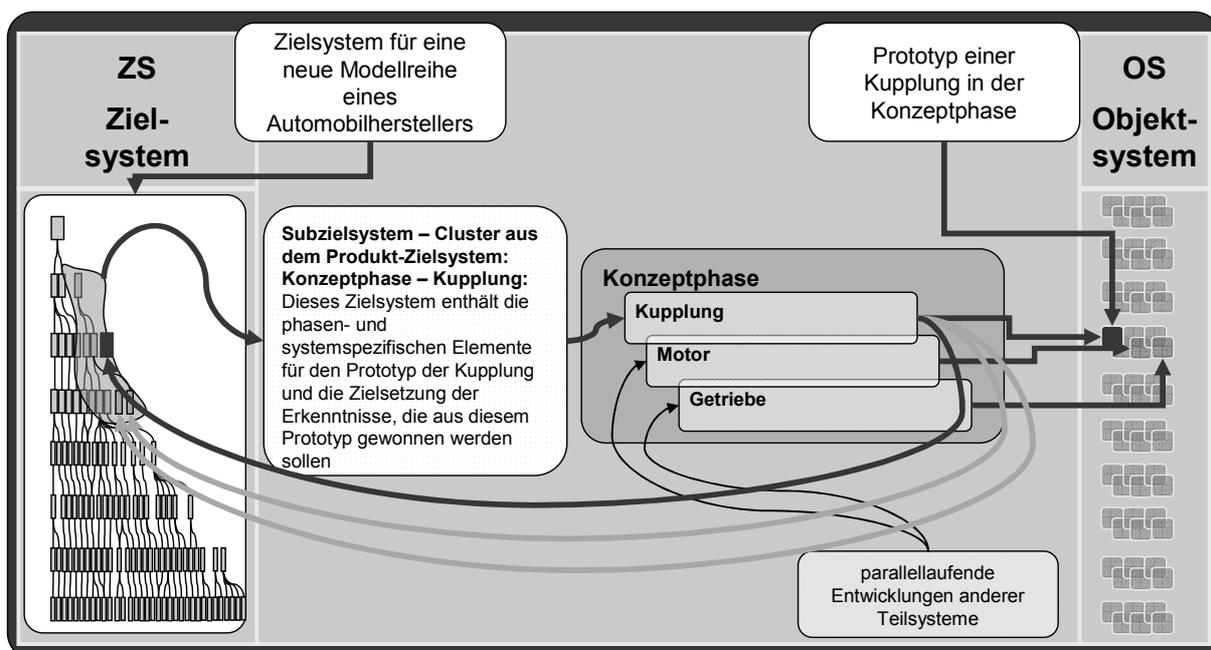


Abbildung 4-12: Zielsystem und Objektsysteme im PEP

<sup>492</sup> Ebda.

In jeder Phase existieren mehrere parallele Entwicklungen von Objekt- mit unterschiedlichen Subzielsystemen, die sich aber alle aus einem übergreifenden (Produkt-)Zielsystem ableiten. Das bedeutet, die Objektsysteme der rechten Spalte des iPeM schließen alle Ressourcen, Modelle, Prototypen, Funktionsträger und sonstigen produktbezogenen Zwischenergebnisse mit ein.

Im Folgenden wird ein Beispiel für ein Objektsystem als Ressource des Handlungssystems gegeben. Das umfangreichste System dieser Art ist die Produktion. Die Entwicklung des Produktionsprozesses und der -anlagen werden aus dem Produktzielsystem abgeleitet; auf dieser Basis wird ein „sekundäres“ Zielsystem entwickelt – die Produktionsanlage. Sekundäre Zielsysteme leiten sich somit aus dem primären ab und stoßen eigenständige fraktale Entwicklungsprozesse an. Die Ergebnisse werden dann im Handlungssystem des „primären“ Entwicklungsprozesses verwendet und sind somit auch zu einem Objektsystem des Produktentstehungsprozesses.

Ein weiteres Beispiel dieser sekundären Objektsysteme ist die Entwicklung von speziellen Prüfsystemen in der Validierungsphase. Auch diese Systeme haben nur einen indirekten Bezug zum Zielsystem, sind aber essentieller Bestandteil des Produktentstehungsprozesses. So existieren in ihm eine Vielzahl von abgeleiteten Sekundärzielsystemen, aus denen Objektsysteme entwickelt werden, die dann ihren Zweck im Handlungssystem erfüllen.

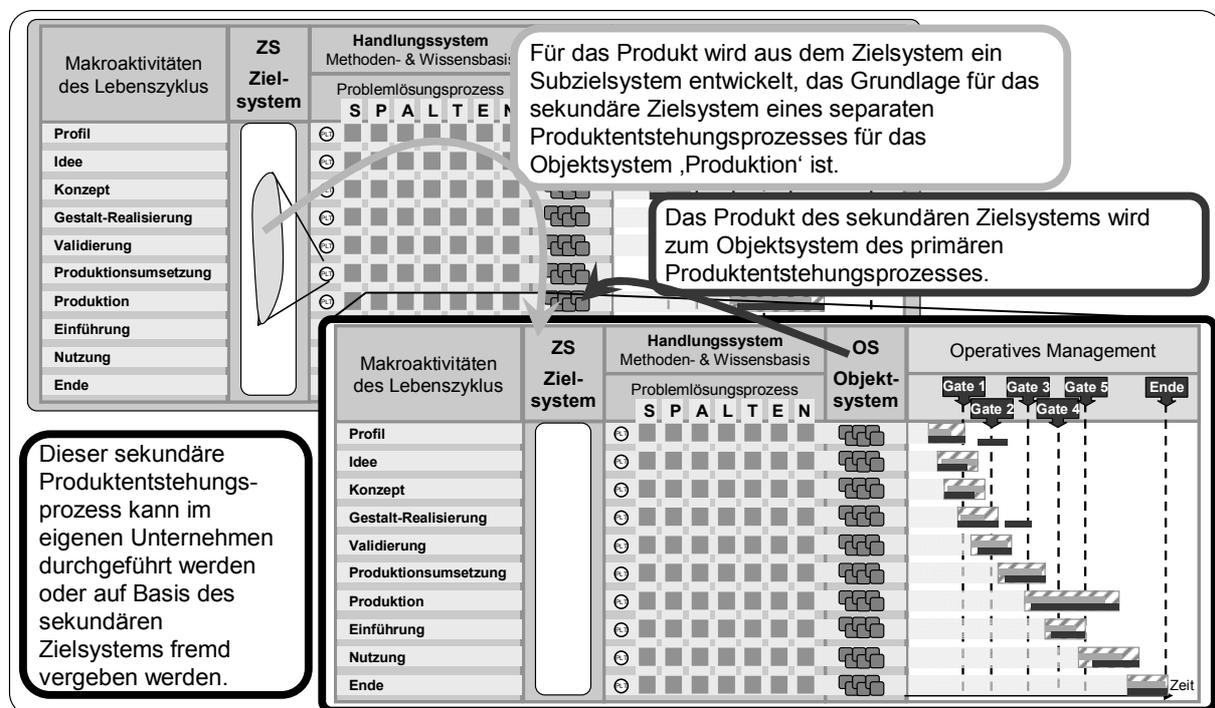


Abbildung 4-13: Sekundäres Zielsystem mit eigenständigem PEP

### 4.3.1 Zielsystem – Konkretisieren, Erweitern und Verändern

Zu Beginn der Produktentstehung besteht das Zielsystem aus überwiegend vagen und allgemeinen Zielen. Im Laufe der Produktentstehung werden diese durch Objektbezüge in konkrete operative Ziele und Anforderungen überführt. Diese Objektbezüge (Verknüpfungen zu Objektsystemen) werden im Laufe der Produktentstehung immer konkreter und detaillierter. Bei der Konkretisierung des Zielsystems werden Eigenschaften über seine verschiedenen Konkretisierungsebenen vererbt.

An einem Beispiel lässt sich dies verdeutlichen: Das Zielelement Lebensdauer bei einem Kilometerstand von 200.000 km eines Autos wird im Zielsystem in viele Elemente vererbt. Die Gesamtlebensdauer bekommt über Objektbezüge andere Ausprägungen. Auf der Ebene des Rückwärtsgangs besitzt sie z.B. eine Ausprägung von 10h Lebensdauer. Das Zielelement 10h besitzt eine vererbte Eigenschaft aus der Gesamtlebensdauer des Automobils, dieses besitzt aber eine gänzlich andere Ausprägung als das Element im ursprünglichen Zielsystem. Diese Vererbung und Verknüpfung ins Objektsystem kann bis auf die Ebene Wirkflächenpaare herunter gebrochen werden.

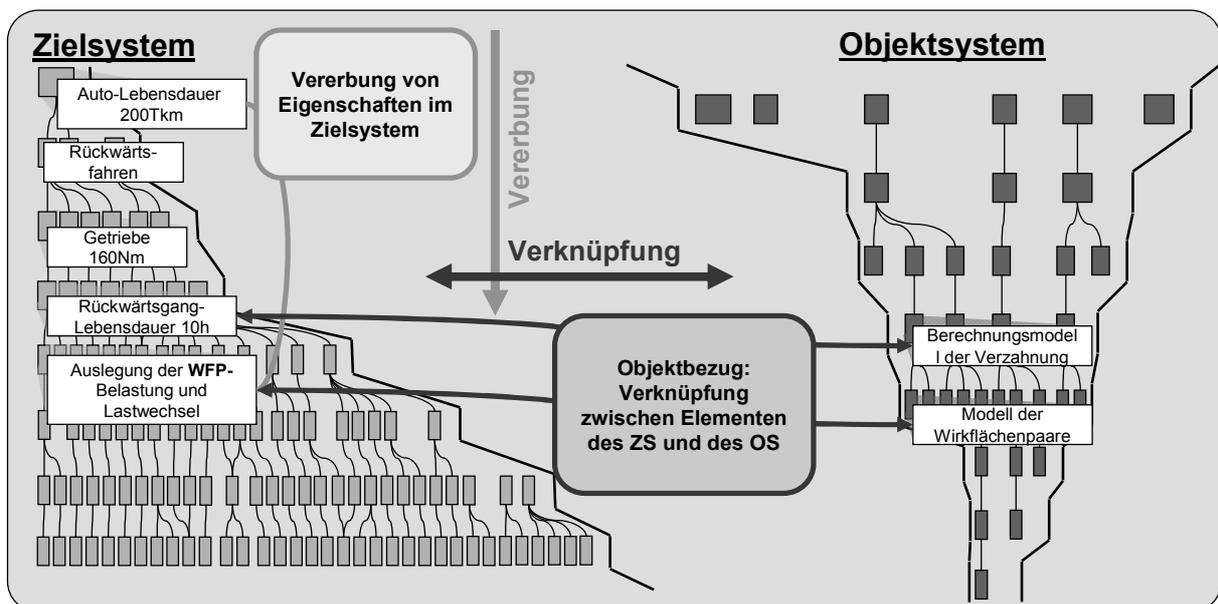


Abbildung 4-14: Entwicklung des Ziel- und Objektsystems

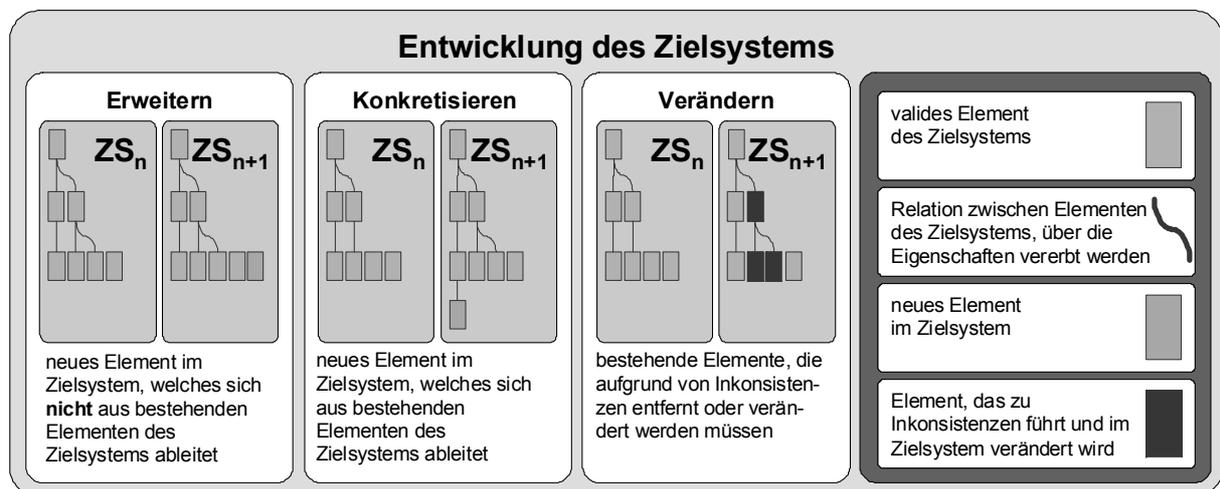
Im ursprünglichen Verständnis wurde unter dem Zielsystem eine lösungsneutrale Beschreibung des Objektsystems verstanden.<sup>493</sup> STEINMEIER baut seine Theorie des Zielsystems auf den Arbeiten des ZOPH-Modells, von ROPOHL, PATZAK, DAENZER und EHRENSPIEL auf und geht darauf ein, dass Ziele ab einem gewissen

<sup>493</sup> Vgl. Steinmeier 1999, S. 51f.

Konkretisierungsgrad nicht mehr lösungsneutral sind. Doch versteht er das Zielsystem als lösungsneutrales System, das losgelöst von der detaillierten Gestalt ist.<sup>494</sup> STEINMEIER bezieht sich explizit auf ein lösungsneutrales Zielsystem im Produktmodell.<sup>495</sup> Diese theoretisch geforderte Lösungsneutralität ist aus erkenntnistheoretischer und praktischer Sicht eine unhaltbare Forderung, da Ziele nur in Kopplung mit Objektsystemen entwickelt werden können. Darüber hinaus ist erkenntnistheoretisch die vollständige Subjekt-Objekt-Trennung unmöglich.

ALBERS versteht daher das Zielsystem als System, das parallel mit dem Objektsystem entwickelt wird. So enthält das Zielsystem am Ende der Gestalt-Realisierung eine exakte Beschreibung aller geometrischen und stofflichen Eigenschaften des Objektsystems. Somit ist das Zielsystem nicht lösungsneutral, sondern besitzt einen an das Objektsystem gekoppelten Konkretisierungsgrad, der maßgeblich durch die Makro-Aktivitäten des Lebenszyklus bestimmt wird. Ein Zielsystem besitzt den Detaillierungsgrad, der in der entsprechenden Phase gefordert wird.

Die durchgängige und transparente Strukturierung des Zielsystems trägt dazu bei, dass Zielkonflikte frühzeitig erkannt werden, da es immer den Fokus auf das Gesamtsystem wahrt. Ein Zielkonflikt wird als Inkonsistenz im Zielsystem definiert. Zielkonflikte treten auf, wenn wenigstens zwei Zielelemente, oder mindestens ein Zielelement und ein Objektbezug unvereinbar sind. Um diesen Zielkonflikt zu lösen, muss das Zielsystem verändert werden. Hieraus leiten sich die drei Operationen für die Entwicklung des Zielsystems ab: Erweitern, Konkretisieren und Verändern.



**Abbildung 4-15: Erweitern, Konkretisieren und Verändern des Zielsystems**

<sup>494</sup> Ebda., S. 55.

<sup>495</sup> Ebda., S. 61.

#### 4.3.1.1 Lose Kopplung – das dynamische Zielsystem

Das Zielsystem wird im Gegensatz zur Anforderungsliste als dynamisches System verstanden. Denn detaillierte, belastbare Anforderungen liegen in der Produktentwicklung in der Regel nicht direkt vor, sie müssen wie Objekte entwickelt werden. Wenn quantifizierte Anforderungen direkt festgelegt werden, besteht nur die Wahl zwischen zwei Möglichkeiten: sie entweder zu erreichen oder zu verfehlen; dies ist für die Entwicklung eine potenzialarme Situation.

Werden hingegen Anforderungen zunächst in ein Zielsystem zurückübersetzt<sup>496</sup>, entsteht die Möglichkeit, Ziele und Schlussfolgerungen abzuleiten. Die Situation wird potenzialreich<sup>497</sup>, weil man im Medium des Zielsystems nicht nur Anforderungen mit Anforderungen, sondern Ziele mit Zielen im Blick auf das Gesamtsystem vergleicht. In diesem Verständnis wird der Unterschied zwischen Ziel und Anforderung deutlich: Anforderungen sind konkret und verbindlich, Ziele sind zunächst instabil und ändern sich im Verlauf von Entscheidungsprozessen durch Interaktion und Erkenntnisgewinn. Ziele sind daher nicht zwangsläufig der Entscheidung vorausgesetzt, sie werden oft auch erst nachträglich gefunden. Dies macht deutlich, dass das Zielsystem während des Projektverlaufes dynamisch konkretisiert, erweitert und verändert wird.

Hierzu wird zu Beginn ein grobes Zielkonzept erstellt, welches sich in den Zielebenen an den Makro-Aktivitäten des Lebenszyklus' orientiert. Die Konkretisierung und Quantifizierung der Zielelemente erfolgt dann in der Regel makro-aktivitätsspezifisch. Um dem ganzheitlichen Ansatz diese Zielsystems gerecht zu werden, ist die Erarbeitung und Anpassung von Elementen des Zielsystems stets ein teamorientierter Prozess, der mit entsprechenden systematisierten Abläufen unterstützt wird. Dieser wird im Handlungssystem durch den SPALTEN-Prozess umgesetzt.

Die Dynamik von Zielen wurde in der Zwischenzeit von vielen erkannt; neuere Ansätze der Systemgestaltung rücken konsequent von starren Planungsschemata ab, um im Prozess die Unbestimmtheitschancen möglichst weitgehend zu nutzen.<sup>498</sup>

#### 4.3.2 Zielsystem und Produktgenerationen

Kritik und Vorbehalte an dynamische Zielsystemen sind groß, doch weiß man aus der Praxis, dass ein großer Anteil erster Festlegungen noch einmal im Prozess

---

<sup>496</sup> Dies ist eine explizite Verankerung der Entwicklungsheuristik: Jede Aufgabenstellung ist falsch, es fragt sich nur, wie sehr.

<sup>497</sup> Vgl. Baecker 2006, S. 7.

<sup>498</sup> Vgl. Fehling 2002, S. 35.

korrigiert werden und der Anteil an kostenintensiven Iterationsschleifen durch zu früh spezifizierte Anforderungen nicht unerheblich ist. Man geht davon aus, dass im Schnitt ca. die Hälfte aller Anforderungen im Lastenheft nicht genau mit den Merkmalen des Produkts übereinstimmen.<sup>499</sup> Die Ursache hierfür liegt in der statischen, dokumentenbasierten Handhabung von Anforderungen; erst durch ein dynamisches Anforderungsmanagement können diese ständig aktuell gehalten und die Historie eindeutig dokumentiert werden.

JÖRG sieht die zentralen Probleme von listenbasierten Anforderungen in folgenden Punkten:

- unvorhergesehene Änderungen
- Wettbewerb erfordert Korrekturen
- technische Restriktionen
- Anforderungen werden unterschiedlich interpretiert
- aufgrund von mangelndem Wissen werden Lösungen falsch eingeschätzt
- Budget-Restriktionen.<sup>500</sup>

Das Konzept des dynamischen Zielsystems liegt darin, Anforderungen möglichst lange offen zu halten und die vorhandene Flexibilität als Potenzial zur Optimierung zu nutzen. Die Strukturierung und Abbildung von Zielen erfolgt im Zielsystem und die Zielelemente werden im Lauf der Entwicklung mit quantifizierten Zielgrößen spezifiziert, aus denen dann Anforderungen abgeleitet werden. In dem Moment, in dem Anforderungen freigegeben, indem sie z.B. an andere Entwicklungsschritte verbindlich übergeben werden, müssen die entsprechenden Elemente im Zielsystem eingefroren werden.

Das bedeutet, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt ein „freeze“ stattfindet. So werden beispielweise vor der Produktionsphase alle Geometrieparameter eingefroren (Design freeze) und es dürfen keine Änderungen mehr vorgenommen werden, da jede Änderung kostspielige Konsequenzen nach sich ziehen würde. Das heißt, die Anforderungen und Geometrieparameter sind exakt quantifiziert; doch kann auch nach diesem Zeitpunkt das Zielsystem immer noch weiterentwickelt werden, nur dürfen diese Veränderungen nicht mehr direkt in die Produktentstehung mit einfließen. Diese kontinuierliche Weiterentwicklung mit eingefrorenen Zwischenständen macht es möglich, auch überarbeitungs- und produktgenerationsorientiert zu entwickeln. D.h., mit dem Zeitpunkt des Design Freeze wird das  $ZS_n$  festgelegt, es kann jedoch direkt mit der Weiterentwicklung des  $ZS_{n+1}$  begonnen werden. Hier

---

<sup>499</sup> Vgl. Jörg 2005, S.75.

<sup>500</sup> Ebda.

können schon Verbesserungspotenziale für Produktüberarbeitungen wie z.B. Face-lifts herausgearbeitet werden. Durch diese Systematik kann kontinuierlich und wissensorientiert an Produktgenerationen gearbeitet werden, so dass Zielsysteme über Produktgenerationen hinweg als ein System entwickelt werden.

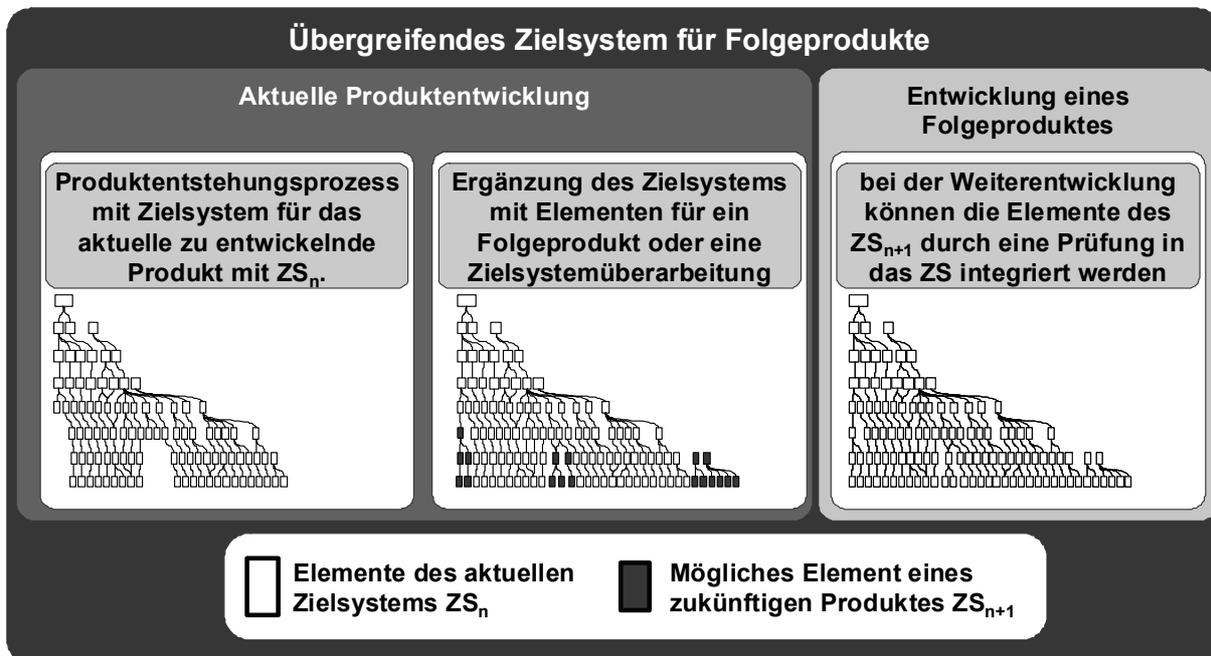


Abbildung 4-16: Zielsystem über Produktgenerationen

### 4.3.3 Ableitung von Arbeitsdokumenten aus dem Zielsystem

Wie zuvor beschrieben beinhaltet die Entwicklung des Zielsystems die durchgängige Entwicklung aller Anforderungen. Die Anforderungsliste ist somit ein Teilelement des Zielsystems und wird aus ihm abgeleitet. In der Praxis erfolgt die Darstellung von Entwicklungsaufgaben mittels Lasten- und Pflichtenheften. Das Lastenheft beschreibt die vom Auftraggeber festgelegte Gesamtheit der Forderungen an die Lieferungen und Leistungen eines Auftragnehmers.<sup>501</sup> Intern wird der Inhalt des Lastenheftes um zusätzliche Anforderungen aus den bereits vorgestellten Bereichen ergänzt und im Pflichtenheft festgehalten. Daraus werden Produkthanforderungen abgeleitet, die in eine Anforderungsliste übertragen werden. Das Lasten- bzw. Pflichtenheft und die Anforderungsliste werden im iPeM als abgeleitete Arbeitsdokumente aus dem Zielsystem zu einem bestimmten Zeitpunkt verstanden.

Neben diesen drei Dokumenttypen werden in den frühen Phasen der Produktentwicklung Spezifikationen, die überwiegend Informationen aus den Bereichen des Marketings und der Produktstrategie beinhalten, in Rahmen- oder Konzeptheften do-

<sup>501</sup> Vgl. DIN 96605, S. 1997.

kumentiert.<sup>502</sup> Die Kernproblematik dieser unterschiedlichen Dokumente liegt darin, dass sie zwar alle das Produkt beschreiben, aber einen unterschiedlichen Zweck erfüllen, in unterschiedlichen Phasen eingesetzt werden und unterschiedliche Standards besitzen. Das Zielsystem versucht alle diese Einzelansätze und Dokumente in einem Modell zu integrieren: Rahmen-, Konzept-, Lasten-, Pflichtenheft und Anforderungsliste sind nur unterschiedliche Ableitungen seiner Elemente.

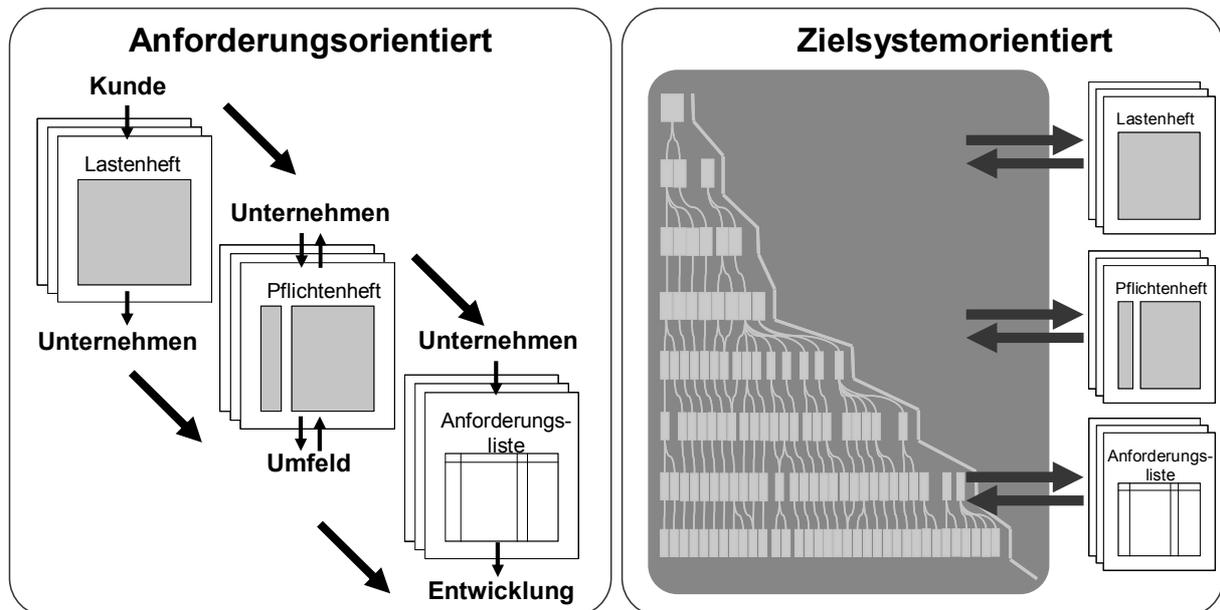


Abbildung 4-17: Anforderungs- und Zielsystemorientierung

Sobald neue Elemente in das Zielsystem hinzukommen, muss es auf Konsistenz geprüft werden. Für diesen Schritt sind wiederum die Validierungsaktivitäten von großer Bedeutung. Dies zeigt sich zum Beispiel an der modellbasierten Gestaltung von Kupplungssystemen mit ingenieurkeramischer und organischer Friktionspaarungen.<sup>503</sup> Elemente des Zielsystems aus den frühen Phasen können durch die modellbasierte Simulation hinsichtlich Inkonsistenzen direkt geprüft angepasst werden.

Die Ansätze zur ganzheitlichen Modellierung von Zielsystemen sind noch jung, doch werden sie zunehmend durch PLM-/PDM-Systeme und die Ansätze des Requirements Engineering unterstützt. Diese Ansätze auf Basis semantischer Technologien bieten große Potenziale. Gerade im Bereich von PLM-/PDM-Systemen erhalten sie Einzug in die technische Produktentwicklung. Die neuen Ansätze bauen wie das iPeM auf Metamodellen auf, in denen mittels einer übergreifenden Logik das gesamte Zielsystem des Produkts modelliert werden kann. Die einzelnen Dokumente sind in diesen Systemen abgeleitete Arbeitspapiere mit bestimmten Sichtweisen, Reife- und Konkretisierungsgraden zu einer bestimmten Projektphase.

<sup>502</sup> Vgl. Jörg 2005, S.70.

<sup>503</sup> Vgl. Albers 2006c.

Nach einer Studie aus dem Jahre 2007<sup>504</sup> über PLM-Systeme werden in den nächsten Jahren verstärkt integrierte Metamodelle entwickelt, in denen ganzheitliche Zielsysteme und Systemmodellierungen umgesetzt werden können. Die Studie geht davon aus, dass im Jahre 2015 durchgängige digitale Master in den Unternehmen bestehen, die eine durchgängige Modellierung eines Zielsystems und der verknüpften Systeme umsetzen können.<sup>505</sup>

#### 4.4 Hypothesen des ZHO-Modells

Mit Ziel-, Handlungs- und Objektsystem lässt sich die Produktentstehung als System beschreiben. Die drei Systeme beeinflussen sich gegenseitig, wobei lediglich das Ziel-/Handlungssystem und das Handlungs-/Objektsystem in direkter Interaktion stehen. Zwischen dem Ziel- und dem Objektsystem besteht keine direkte Interaktionsbeziehung.

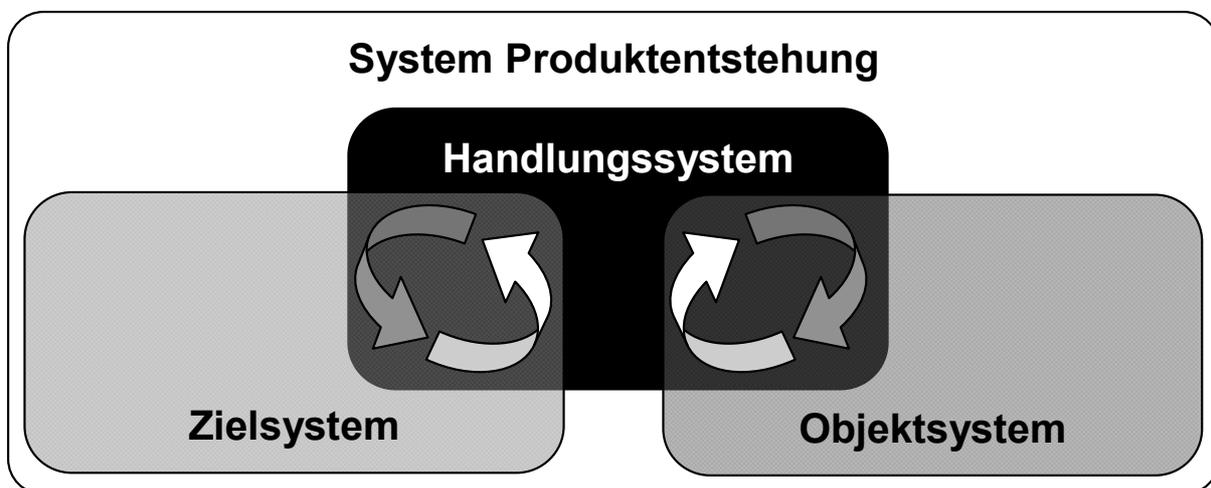


Abbildung 4-18: Abbild des ZHO-Systems

In der Produktentstehung gelten folgende Modellhypothesen für das Zusammenspiel der ZHO-Systeme.

##### Modellhypothese I

Jede Handlung kann nur vollständig durch das System-Triple Ziel-, Handlungs- und Objektsystem beschrieben werden. Dabei besteht zwischen Ziel- und Objektsystem nur eine indirekte gegenseitige Wechselwirkung, die über das Handlungssystem bestimmt wird.

<sup>504</sup> Vgl. Krause 2006, Innovationspotenziale in der Produktentwicklung.

<sup>505</sup> Vgl. Krause 2006, S. 169.

### Modellhypothese II

Sowohl das Ziel- als auch das Objektsystem sind kontingent. Erst durch die gleichwertige Kopplung der beiden Systeme kann ein Produkt zielgerichtet entwickelt werden.

### Modellhypothese III

Ein Prozess ist dann erfolgreich abgeschlossen, wenn die im Zielsystem theoretisch beschriebenen Eigenschaften im Objektsystem realisiert wurden.

## 4.5 Beschreibung des iPeM

In Kapitel 4.1 „Grundlagen des iPeM“ und in den Ausführungen zum Stand der Forschung wurden die einzelnen Elemente Systemtheorie, Phasenmodell, Problemlösung, Prozessmodellierung und Wissensmanagement, aus denen das Modell der Produktentstehung entwickelt wird, im Einzelnen vorgestellt und erste Verknüpfungen im iPeM aufgezeigt. Das iPeM integriert diese Elemente in einem Gesamtmodell der Produktentstehung zur Beschreibung von Innovations- und Entwicklungsprozessen.

Die Integration von Innovations- und Entwicklungsprozessen ist von großer Bedeutung, da die starke Projektorientierung der Produktentwicklungsansätze und die Vernachlässigung von flexiblen Prozessstrukturen dazu geführt hat, dass die Innovationsprozesse aus der operativen Produktentwicklung herausgelöst wurden. Doch zeigt die Praxis, dass die strikte Trennung der Innovationsprozesse zwar Ideen und Potenziale für Produktinnovationen liefert, aber oft zu abgekapselten Einheiten innerhalb eines Unternehmens führt. In diesen Ansätzen wird auch unterschätzt, woher entscheidende Impulse für Innovationen kommen: Auch wenn die Aussage streitbar ist, entstehen Innovationen dort, wo die als innovativ definierten Eigenschaften in eine produktionsfähige Gestalt umgesetzt werden – in der Entwicklung.

Die Trennung von Projektgeschäft und Innovation ist somit im Kern eine Maßnahme, die ergriffen wurde, da es die bestehenden Ansätze in der Produktentstehung nicht geschafft haben, Innovation und projektorientierte Entwicklung effizient zu verbinden. Die freien Forschungs- und Innovationsabteilungen, in denen die von MINTZBERG propagierte Adhokratie herrscht, und die stringenten Prozesse in der Produktion, die sich am tayloristischen Prozessverständnis orientieren, sind die beiden Flanken der Produktentstehung, die trotz ihrer Unvereinbarkeit miteinander verbunden werden müssen. Hier sieht auch HAUSCHILDT die zentrale Herausforderung: „*Innovationen sind nicht Routine, sollen es aber eines Tages werden.*“<sup>506</sup> Es ist für ihn eine strategische

---

<sup>506</sup> Hauschildt 1993, S. 27.

Aufgabe, Innovations- und Routinemanagement zu trennen und wieder zu verknüpfen. Die Reinform dieser Ansätze funktioniert in den meisten Fällen nicht und ein konstantes Mischverhältnis ist nur bedingt funktionsfähig, da sich die Randbedingungen mit dem Fortschreiten der Entwicklung verändern. Dies wird insbesondere noch durch makro-aktivitätsübergreifende Iterationsschleifen verstärkt.

Es fehlt bis heute an geeigneten Modellen zur Steuerung dieser beiden Paradigmen in einem Modell, auf dessen Basis die Produktentstehungsprozesse modelliert und gesteuert werden können. Das iPeM ist ein Ansatz, der dieses Dilemma zu lösen versucht.<sup>507</sup> Es wird an dieser Betrachtung deutlich, dass ein Prozess ein offenes System mit vielfältigen Beziehungen zu seiner Systemumwelt ist und die Anpassungen seiner Elemente immer von der konkreten Systemsituation abhängen. Diese Beziehungen werden im iPeM beschrieben.

Das Prozessmodell wird im Sinne von STACHOWIAK als subjektive, zweckgebundene und zeitbezogene Konstruktion zur Repräsentation eines originalen Prozesses verstanden. Der originale Prozess ist eine Beobachtung der Realwelt und wird durch eine subjektive Interpretation und gedankliche Konstruktion in mentalen Modellen als systemische Abfolge von zeitlich und/oder logisch geordneten Aktivitäten beschrieben.<sup>508</sup> Der Schwerpunkt von Prozessmodellen liegt auf der zeitlichen und logischen Abbildung von Zusammenhängen und Aktivitäten, die nicht per se in der Realität gegeben sind, sondern die von Menschen konstruiert werden.

Die Schwierigkeit liegt in der zeitlichen Ablaufbeschreibung, denn durch sie entstehen vordefinierte Zwangsverläufe, die einen Einzelfall oder eine Menge normativ beschreiben, aber neuen Abläufen nur bedingt gerecht werden. Nach EHRENSPIEL haben empirische Beobachtungen in der Praxis gezeigt, dass Vorgehenspläne nicht starr vorgegeben werden und dann für alle Produkte, Probleme und Unternehmen gelten können.<sup>509</sup> Vorgehensmodelle müssen nach EHRENSPIEL flexibel und adaptiv anwendbar sein.

In der aktuellen Forschung tendieren die Ansätze dahin, dass stringente prozessorientierte Vorgehensmodelle noch stärker mit flexiblen adaptiven vereint werden. Diese bieten ein Grundmuster als Planungs- und Navigationshilfe. Im Produktentstehungsprozess wird aber gleichzeitig eine sehr flexible Anwendung durch kontext- und situationsspezifische Anpassungen ermöglicht. Der Schwerpunkt des iPeM liegt in einer Theorie der Logik zur Beschreibung der Zusammenhänge der Produktentste-

---

<sup>507</sup> Vgl. Albers 2006a.

<sup>508</sup> Vgl. Rupprecht 2002, S. 21f.

<sup>509</sup> Vgl. Ehrlenspiel 2004, S. 290.

hung, aus der zeitliche Abläufe situativ für alle Anwendungsbereiche abgeleitet werden können.<sup>510</sup>

Die Prozesslogik wird im Metamodell beschrieben. Erst in Bezug auf eine Anwendung wird durch das Referenzmodell eine Empfehlung für den zeitlichen Verlauf geschaffen.

### 4.5.1 Einführung in das Modell

Die SPALTEN-Aktivitätenmatrix spannt ein zweidimensionales Handlungsfeld auf, welches die Grundlage des Metamodells bildet. Da Wechselwirkungen und Abfolgen von Prozessschritten erst im Kontext konkreter Anwendungsgebiete und in der zeitlichen Abfolge der Implementierung auftreten, besitzt das Metamodell keine zeitliche Dimension. Es dient als Grundlage für alle Anwendungsfelder, da es wie oben beschrieben von inhaltlichen und zeitlichen Abfolgen losgelöst ist.

Das Modell verknüpft vier entscheidende Bereiche:

- Modellierung und Navigation
- Bereitstellung und Unterstützung
- Dokumentation und Wissen
- Ableitung von Entscheidungen.

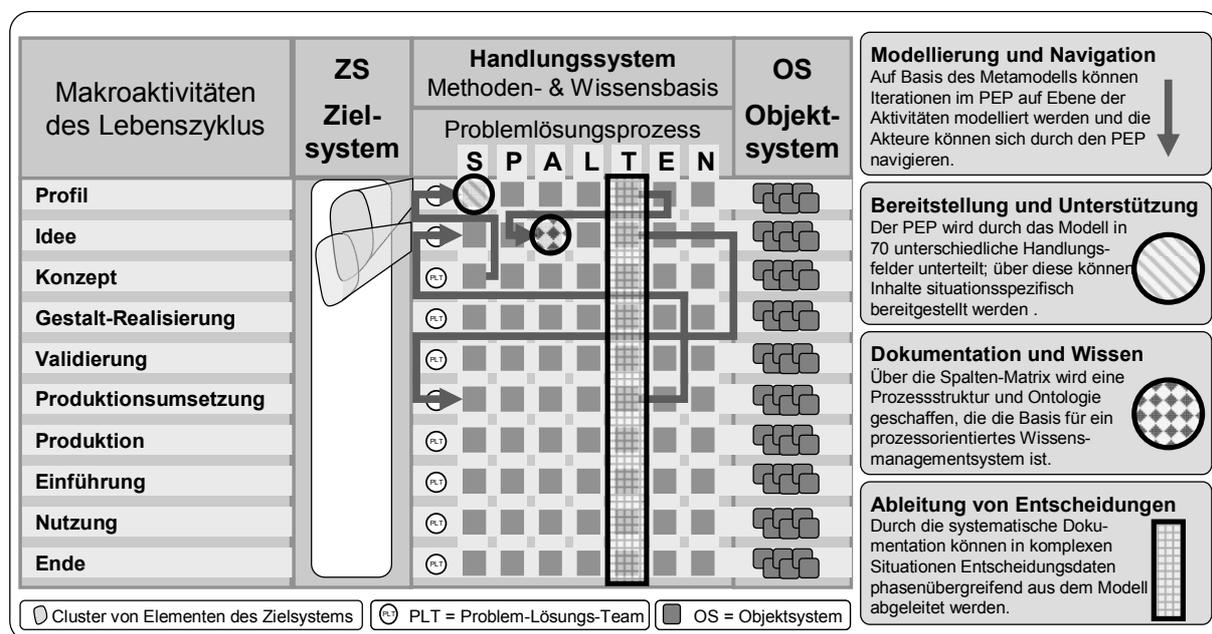


Abbildung 4-19: SPALTEN-Aktivitätenmatrix

<sup>510</sup> Vgl. Albers 2006a.

#### 4.5.1.1 Modellierung und Navigation<sup>511</sup>

Dadurch, dass sich die SPALTEN-Aktivitätenmatrix aus den kleinsten Elementen eines Prozesses – den Aktivitäten – aufbaut, kann der gesamte Produktentstehungsprozess modelliert werden. Dafür werden die allgemeingültigen Aktivitäten mit Elementen des Ziel- und Objektsystems verknüpft und in eine logische und zeitliche Reihenfolge gebracht.

Da sich aus den Aktivitäten direkt die Tätigkeiten der einzelnen Entwickler im Produktentstehungsprozess ableiten lassen, können sie sich durch ihn navigieren. Andersherum können sie ungeplante Tätigkeiten direkt in Aktivitäten der SPALTEN-Aktivitätenmatrix übertragen und somit den Prozess gemäß der realen Abfolge von Aktivitäten dokumentieren. Hier entsteht die Dokumentation des realen Workflows, die Grundlage für Prozessoptimierungen und Wissensmanagement-Systeme ist.

#### 4.5.1.2 Bereitstellung und Unterstützung

Über kontextunabhängige Navigationen können zur Entwicklungsunterstützung auch Methoden und Werkzeuge bereitgestellt werden. Aufbauend auf den umfangreichen Forschungsarbeiten über ihre Zuordnung im Entwicklungsprozess können in die SPALTEN-Aktivitätenmatrix sämtliche Methoden und Werkzeuge integriert werden, die in der Produktentstehung Einsatz finden. Diese dienen dann in der Projektplanung und -durchführung als entwicklungsmethodische Unterstützung.

Die Vorauswahl der Methoden erfolgt über die situative Empfehlung; so wird z.B. in der Phase der SA-Profil die Szenariotechnik eingesetzt. Zusätzlich können auch noch ziel- und objektsystemspezifische Auswahlkriterien hinterlegt werden. Diese Methoden und Werkzeugspeicher müssen unternehmensindividuell entwickelt und mit Experten als Methoden- und Werkzeugverantwortlichen verknüpft werden. Ihre Integration wird durch das SPALTEN-Element „Problemlösungs-Team“ (PLT) explizit unterstützt.

Die Bereitstellung von Werkzeugen funktioniert nur unternehmensindividuell und muss mit Personen gekoppelt werden, denn Methoden und Werkzeuge helfen nur weiter, wenn auch Mitarbeiter existieren, die sie anwenden können.<sup>512</sup>

---

<sup>511</sup> Die Modellierung und Navigation in der SPALTEN-Aktivitätenmatrix wurde schon in Kapitel 4.2.5 „Die SPALTEN-Aktivitätenmatrix aus Mikro- & Makro-Logik“ ab S.173 beschrieben.

<sup>512</sup> Vgl. Albers 2006b.

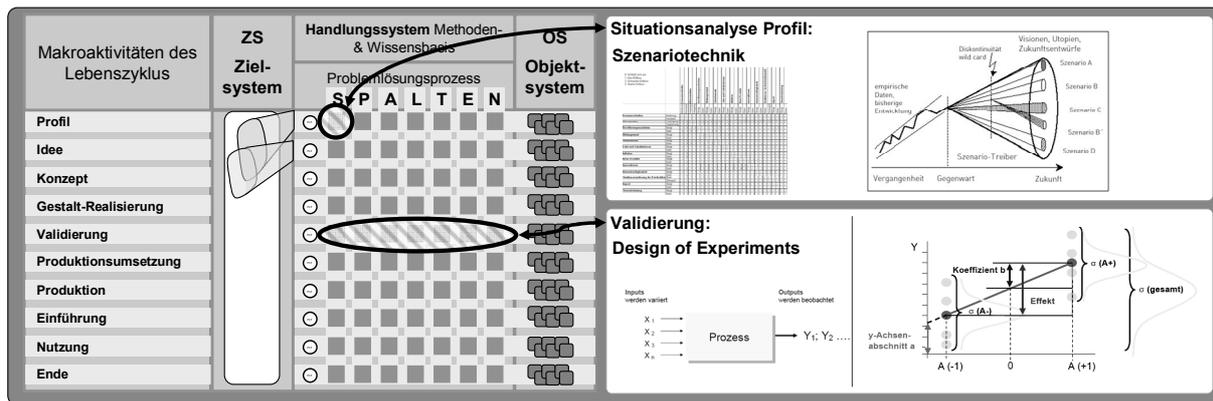


Abbildung 4-20: Methoden- und Werkzeugzuordnung über die SPALTEN-Aktivitätenmatrix

### 4.5.1.3 Dokumentation und Wissen

Informations- und Wissensmanagement besitzen in der Produktentstehung eine entscheidende Bedeutung. Bedingt durch Iterationsschleifen und Sprünge in den Abläufen ist der systematische Umgang mit Information und Wissen essentiell. Auch an dieser Stelle leistet der Ansatz einen entscheidenden Beitrag. In der Produktentstehung geht es darum, dass das von den Mitarbeitern erarbeitete Wissen im Prozess zielgerichtet zugänglich ist. Viele Ansätze versuchen, die Entscheidungsdaten zu dokumentieren, doch zeigt es sich, dass diese reduzierten Informationen an Entscheidungspunkten oft nicht ausreichen, um einen Prozess nachzuvollziehen. In der Regel werden z.B. bei der Ideenauswahl – wenn überhaupt – nur die Bewertungskriterien und die bewerteten Ideen dokumentiert. Es zeigt sich aber, dass es entscheidend ist, auch im Nachhinein zu wissen, welche Maßnahmen bei welcher Idee ergriffen wurden und aus welchem Grund welche Idee verworfen oder weiterentwickelt wurde. SPALTEN bietet in diesem Modell einen Standard zum systematischen Arbeiten, durch den einzelne Informationen in den SPALTEN-Schritten mit zusätzlichen Verknüpfungen auf das Ziel- und Objektsystem als Prozess dokumentiert und abgelegt werden können. Durch das Informations-Triple von Zielen, Handlungen und Objekten kann ein Prozess hinreichend beschrieben und dadurch ein Arbeitsschritt auch noch später von Dritten nachvollzogen werden.

Das bedeutet konkret, dass über das Informations-Triple und die SPALTEN-Aktivitätenmatrix des iPeM die Grundlage einer wissensbasierten Dokumentation des Produktentstehungsprozesses geschaffen wird. Die Dokumentation erfolgt auf Basis des „Schubladenmodells“: Es geht nicht darum, zusätzlich die Arbeit zu dokumentieren, sondern das, was erarbeitet wurde, dem Ziel-, Objekt- und Handlungssystem zuzuordnen und abzulegen. Da der gesamte Produktentstehungsprozess auf der gleichen Logik aufgebaut ist, können hierdurch Informationen wiedergefunden und anderen Prozessschritten zugeführt werden.

#### **4.5.1.4 Ableitung von Entscheidungen**

Zur Vorbereitung von Entscheidungen müssen Projektinformationen aufbereitet werden. Speziell, wenn Informationen aus verschiedenen Projektbereichen und Makro-Aktivitäten stammen, gestaltet sich dies oft als schwierig. Durch die übergreifende Logik, die in dem Modell zugrunde gelegt ist, liegen erarbeitete Informationen in einem Standard vor, sodass sowohl die Beschaffung als auch die Interpretation zielgerichtet erfolgen kann. So kann für eine Projektentscheidung z.B. die Tragweitanalyse erfragt werden, um zu überprüfen, ob noch Chancen und Risiken unidentifiziert geblieben sind. Durch den übergreifenden Standard der Mikro- und Makro-Logik und der drei Systeme können Informationen für die Projektentscheidung zielorientiert und effizient zusammengetragen und in den Entscheidungsprozessen verarbeitet werden.

#### **4.5.2 Die Modellebenen des iPeM**

Die Problematik von Vorgehensmodellen in der Produktentstehung liegt darin, dass diese überwiegend aus empirischer Forschung gewonnene Prozesse und Methoden sind, die aus normativen bzw. präskriptiven Abläufen mit spezifischen Schritten und individuellen Abfolgen bestehen. Es handelt sich um Modelle, die einen zeitlichen und logischen Ablauf von Elementen vorgeben. Dies hat dazu geführt, dass es heute in Forschung und Praxis eine nahezu unendliche Vielzahl von Prozessmodellen gibt, die sich nur in der zeitlichen Abfolge oder in spezifischen Schritten unterscheiden. Im Kern sind die Modelle recht ähnlich.

Das iPeM schafft einen systematischen Ansatz, der in allen Anwendungsbereichen auf der gleichen Logik aufbaut. Dabei liegt der Erfolgsfaktor in der konsistenten und durchgängigen Modellierung der drei Systeme über die einzelnen Makro-Aktivitäten hinweg. In vielen Ansätzen wie z.B. in dem Modell von GIERHARDT wird der Entwicklungsprozess in Prozess-, Organisations- und Produktebene aufgeteilt, in denen Ziel- und Wissensebenen vernetzt werden<sup>513</sup>. Auch dieser Ansatz identifiziert die entscheidenden Felder, doch werden diese nicht durch eine übergreifende systemtechnische Logik abgebildet. Wissen existiert in alle Bereichen, doch sind Prozesse und Organisation Elemente des Handlungssystems, die Produktebene ist das Objektsystem und die Ziele sind Elemente des Zielsystems. Bis heute fehlt in den bestehenden Ansätzen eine Modellsprache, die die Modellbildung für Produktentstehungsprozesse beschreibt, ohne direkt ein Modell in Form eines Ablaufs für einen bestimmten Bereich vorzugeben.

---

<sup>513</sup> Vgl. Gierhardt 2001, S. 62f.

Die Zielsetzung des iPeM ist ein Modell, welches in allen Anwendungsbereichen und Detaillierungsstufen auf derselben „simplen“ Logik beruht. Hierzu werden im iPeM fünf Modellebenen der Produktentstehung eingeführt, die für die Gestaltung des Produktentstehungsprozesses genutzt werden (Abbildung 4-21).

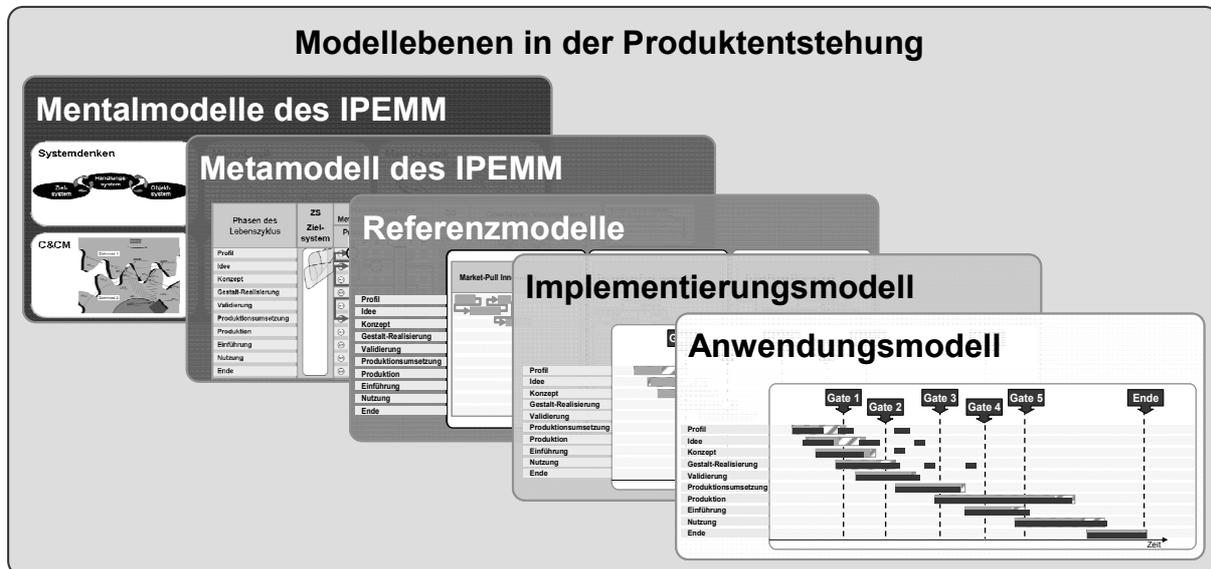


Abbildung 4-21: Modellebenen in der Produktentstehung

Die fünf Modellebenen, die in dieser Arbeit für das iPeM entwickelt wurden, werden im Folgenden vorgestellt.

#### 4.5.2.1 Mentalmodell

Auf der obersten Ebene steht ein mentales Modell (Mentalmodell). Komplexe und wissensintensive Prozesse werden von interdisziplinären Teams bearbeitet. Aus der Erkenntnistheorie weiß man, dass auch die Realität eine subjektive Konstruktion ist und somit einem Modell entspricht. Jegliches Denken vollzieht sich ausschließlich in Form von mentalen Modellen, doch sind diese in den meisten Anwendungsgebieten kaum definiert. In der multidisziplinären Anwendung wird diese Problematik noch einmal verschärft. In der Regel orientieren sich Personen an spezifischen Anwendungen und nicht an der allgemeingültigen System- und Modelltheorie. Doch müssen für eine erfolgreiche Zusammenarbeit intersubjektive interdisziplinäre Mentalmodelle geschaffen werden, die den Grundstein für Eindeutigkeit und Transparenz legen.

Durch Explikation mentaler Modelle kann die Kommunikation unterschiedlicher Teilnehmer mit unterschiedlichen Sichten auf die Produktentstehung entscheidend verbessert werden. Mentalmodelle umfassen auch Ontologien der Produktentstehung. Diese setzen keine Modellierung realer Objekte voraus, sondern beziehen sich auf die Konzeptualisierung möglicher Realitätserfahrungen.

Die Metamodelle sind lediglich sprachlicher und geistiger Natur. Eine einheitliche Sprache sowie intersubjektive Denkmuster sind beim Umgang mit domänenübergreifenden Problemsituationen von entscheidender Bedeutung. Die ontologische und epistemologische Ebene sind nach HORVATH die wichtigsten überhaupt in der Produktentstehung.<sup>514</sup> Diese Ebene wird in vielen Modellen schlicht vernachlässigt, da sie in der konkreten Anwendung nicht direkt eine Lösung bietet. Sie stellt jedoch die essentielle Voraussetzung einer nachhaltigen Lösung dar. Auf dieser Ebene werden die mentalen Modelle aus dem Karlsruher Ansatz für Produktentstehung integriert:

- ZHO-Modell
- C&CM-Modell
- Mikro-Logik als Problemlösungssystematik
- Makro-Logik als Aktivitätenmodell des Lebenszyklus
- Ontologien

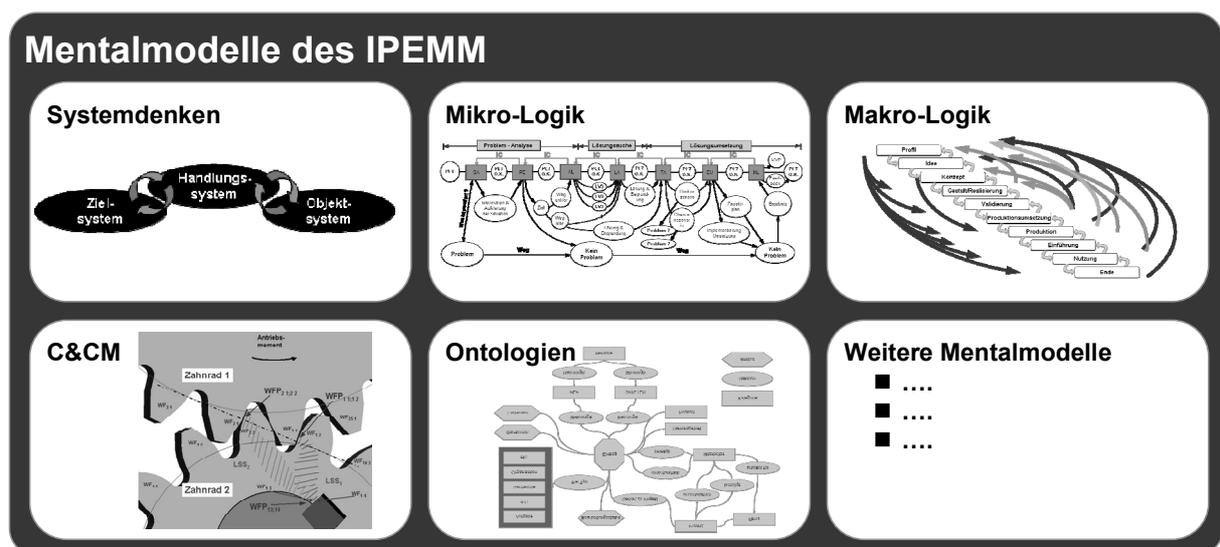


Abbildung 4-22: Mentalmodelle für die Produktentstehung

<sup>514</sup> Vgl. Horvath 2006, S. 383.

**Definition Mentalmodell im iPeM**

Gemeinsame Mentalmodelle sind Modelle für Denk-, Beschreibungsmuster und Ontologien von Realitätsbereichen. Mentale Modelle sind die essentielle Voraussetzung jeder Methodik, da nur auf dieser Ebene eine Intersubjektivität geschaffen werden kann, die Ausgangsbasis eines gemeinsamen Verständnisses ist. Es ist die gemeinsame Sprache, die im Verständnis und Denken von Personen manifest ist, im Umgang mit komplexen Problemen selbstverständlich sein muss und von allen in der Zusammenarbeit verstanden und akzeptiert wird. Intersubjektive Mentalmodelle sind das Fundament der Produktentstehung.

**4.5.2.2 Metamodell**

Metamodelle sind in der multidisziplinären Entwicklung komplexer Systeme von entscheidender Bedeutung. In dem Metaprozessmodell wird der Entwicklungsprozess nur auf Basis seiner Syntax und deren Elemente beschrieben, es werden aber keinerlei Inhalte oder ein zeitlicher Ablauf definiert. Das Metaprozessmodell beschreibt, wie ein Prozessmodell eines Anwendungsbereichs aufgebaut werden muss, aber unabhängig vom ihm selbst. Dies ist ein entscheidender Unterschied zu Prozessmodellen, die auf Basis der Erfahrung realer Abläufe erstellt werden, denn diese sind immer spezifisch und somit sehr begrenzt allgemeingültig. Analog zum Metamodell der Sprache, in der nur eine Grammatik und Wörter in ihrer Bedeutung definiert sind, beschreibt das Metamodell die Syntax und die möglichen Elemente. Die Syntax steckt in der SPALTEN-Aktivitätenmatrix und die Elemente beziehen sich auf Handlungen und Ressourcen, die in den einzelnen Makro- und Mikro-Aktivitäten für bestimmte Systeme eingesetzt werden können. Das Metamodell besitzt keinen Anwendungsbezug, denn in ihm ist die Logik jenseits des zeitlichen und anwendungsbezogenen Ablaufs beschrieben. Es umfasst die Gesamtheit aller Prozessmodelle, die sich mit der zugrunde liegenden formalen Modellierungssprache ausdrücken lassen.

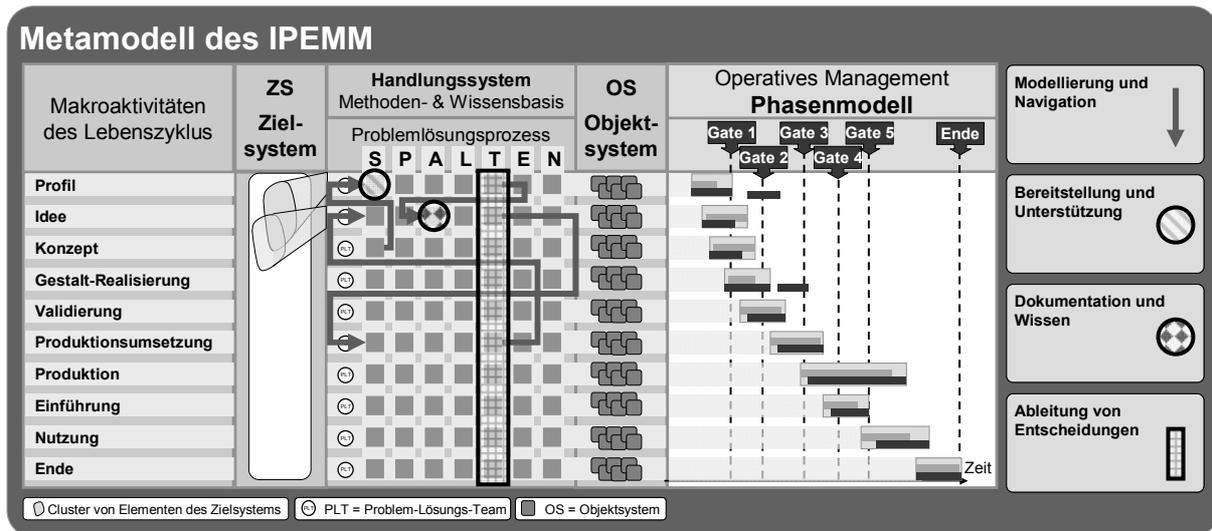


Abbildung 4-23: Metamodell in der Produktentstehung

### Definition Metamodell des iPeM

Das Metamodell ist eine gemeinsame Modellebene für alle Prozesse in der Produktentstehung und dient zur Entwicklung und Ableitung formaler Modelle mit Anwendungsbezug. Im Metamodell wird die Syntax in Form der SPALTEN-Aktivitätenmatrix und den möglichen Methoden, Werkzeugen und Ressourcen, die in der Produktentstehung eingesetzt werden können, beschrieben. Das Metamodell gibt somit die Struktur und mögliche Inhalte vor, ohne in der Syntax Bezug auf eine Anwendung zu nehmen.

#### 4.5.2.3 Referenzmodell

Auf Ebene des Referenzmodells können Prozesse in ihrem zeitlichen und inhaltlichen Ablauf modelliert werden. Die Referenzmodellierung baut auf dem Metamodell auf; diese ist spezifisch, da sie den konkreten Bezug auf eine Anwendung enthält. Referenzmodelle geben wie klassische Vorgehensmodelle eine inhaltliche Abfolge vor. Da Referenzmodelle aus einem gemeinsamen Modell abgeleitet werden, ist eine hohe Austauschbarkeit und optimale Unterstützung von Iterationsschleifen zwischen verschiedenen Prozessen in unterschiedlichen Domänen gegeben. Auf der Referenzebene können Prozesse wie z.B. die VDI 2221, mikrotechnische oder mechatronische Entwicklungsprozesse abgebildet werden. Diese Referenzprozesse werden auf Basis von Erfahrung gebildet und besitzen empfehlenden Charakter. Sie können mit konkreten Methoden und Werkzeugen verknüpft werden, die im Einzelnen schon im Metamodell beschrieben sind. Die vordefinierten Abläufe müssen sich nicht auf den gesamten Prozess beziehen, sondern können auch kleinere gebräuchliche Bausteine beschreiben, die in der Implementierungsebene zum Einsatz kommen.

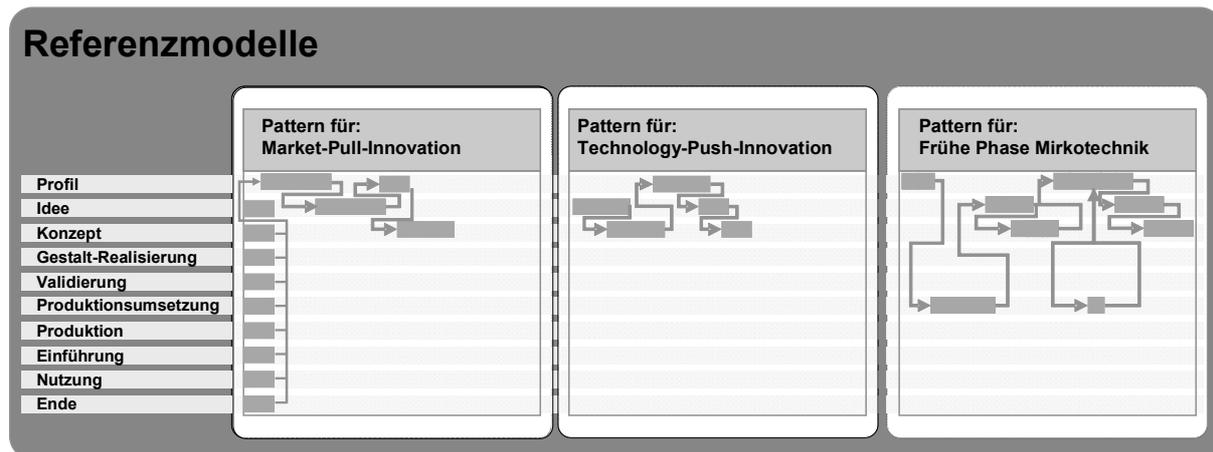


Abbildung 4-24: Referenzprozesse

Die Referenzprozessbausteine dienen zur Wiederverwendung. Auf dieser Basis können umfangreiche Prozessmodelle in kleinen, zeitlich und logisch in sich abgeschlossenen Einheiten entwickelt werden. Auf dieser Ebene werden Prozessbausteine für spezifische Anwendungsfälle gespeichert und können als Prozessvorlage und Patterns verwendet werden. Die Bausteine können sich auch auf projekt- und umfeldspezifische Bedingungen beziehen. Diese Abhängigkeiten können als Gestaltungsregeln interpretiert werden, bei denen sich der Bedingungsteil auf bestimmte Rahmenbedingungen, der Ausführungsteil auf bestimmte Prozessbausteine bezieht. Diese können dazu genutzt werden, aus einem projektspezifischen Kontext Empfehlungen für die Individualisierung von Prozessen abzuleiten.<sup>515</sup>

### Definition Referenzmodell im iPeM

Referenzprozessmodelle sind spezifische Modelle für Anwendungsbereiche. Sie beziehen sich auf einen konkreten Anwendungsbereich und geben durch die Abfolge von Handlungsschritten, Methoden, Werkzeugen und Bezügen auf Objektsysteme konkrete Abläufe vor. Referenzprozesse bauen auf Erfahrungen auf, besitzen empfehlenden Charakter und dienen als Bausteine zur Modellierung von projektspezifischen Produktentstehungsprozessen. Auf Basis der Referenzebene in der Produktentstehung können Prozessbausteine und Patterns entwickelt werden, aus denen die Prozesse für Produktentstehungsprojekte aufgebaut werden.

#### 4.5.2.4 Implementierungsmodell

Das Implementierungsmodell bezieht sich auf die konkrete Prozessmodellierung für ein Projekt. Abhängig von Projekt, Systemart und Umfeld wird für das spezifische Projekt ein Prozess modelliert. Das Implementierungsmodell ist die Modellierung eines Prozesses aus Referenzprozessen bzw. aus deren Bausteinen und Patterns.

<sup>515</sup> Albers 2007b.

Sie beinhaltet die genaue zeitliche Planung, die Abfolge, Inhalte und Ressourcen für das Projekt. Der Prozess kann aus passenden Referenzprozessen zusammengesetzt werden und ggf. auf Basis des Metamodells auch neu modelliert werden. Er wird an die individuelle Umgebung und Randbedingungen angepasst. Ergebnis des Implementierungsprozesses ist ein vollständiger Projektplan mit Gates und konstruktionsmethodischer Unterstützung.

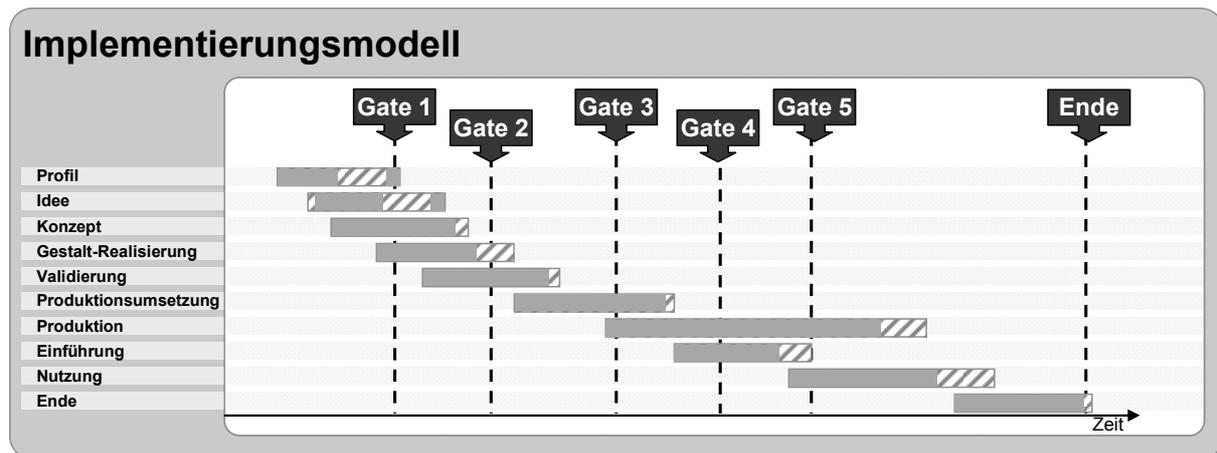


Abbildung 4-25: Implementierungsmodell

### Definition Implementierungsmodell im iPeM

Implementierungsmodelle beziehen sich auf die Modellierung von Prozessen für konkrete Entwicklungsprojekte. Im Implementierungsmodell werden aus den Referenzprozessbausteinen, Patterns und auf Basis des Metamodells Prozesse modelliert, die umgesetzt werden. Dies beinhaltet die Integration aller operativen, unternehmensspezifischen und systembezogenen Planungen. Das Implementierungsmodell ist Ausgangspunkt eines Entwicklungsprojektes mit der inhaltlichen und zeitlichen Planung.

#### 4.5.2.5 Anwendungsmodell

Während der Entwicklung wird auf Basis des Metamodells das Ziel-, Handlungs- und Objektsystem entwickelt. Um die Inhalte zu dokumentieren und für den Prozess wiederauffindbar zu machen, werden die Inhalte auf Basis des Metamodells mit zeitlichen und inhaltlichen Bezügen im Prozess auf Basis der iPeM-Syntax dokumentiert. Aus der Praxis von Entwicklungsprozessen weiß man, dass ein Prozess und die konstruktionsmethodische Unterstützung, die vorausgeplant worden ist, nicht zu hundert Prozent den realen Ablauf treffen. Es kommt immer zu Iterationsschleifen und Notsituationen, in denen nicht geplante Abfolgen, Methoden und Werkzeuge angewendet werden. Auf Basis des Metamodells können hier die entsprechenden Schritte und konstruktionsmethodischen Elemente ausgewählt, geplant und als reale Workflows in der Logik des iPeM dokumentiert werden. Die

Anwendungsmodelle spielen eine entscheidende Rolle für die Weiterentwicklung der Referenzprozesse; mit der entwicklungsmethodischen Unterstützung über das Anwendungsmodell findet eine Rückkopplung statt, auf deren Basis Erfahrungen entstehen, Lernen stattfindet und Verbesserungen abgeleitet werden können.

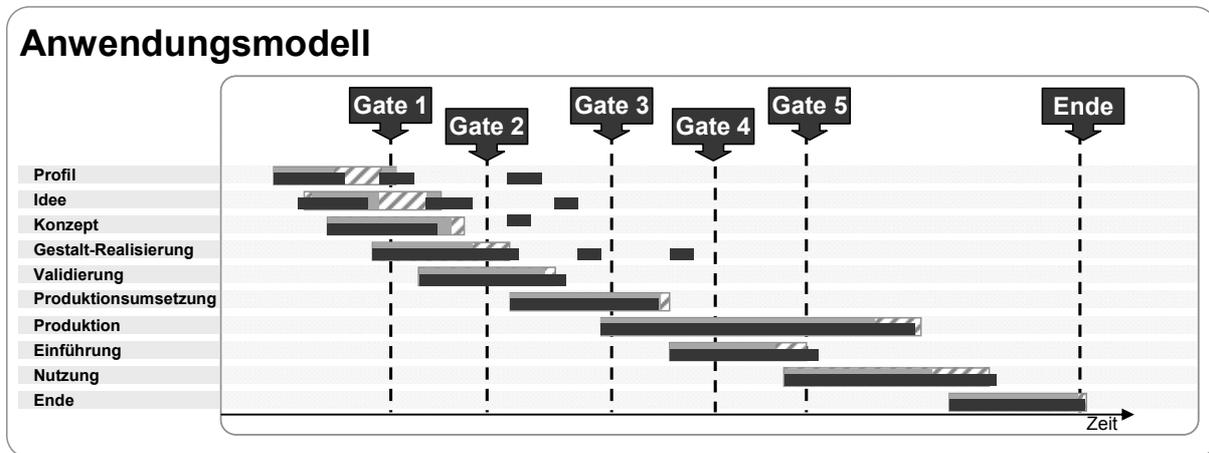


Abbildung 4-26: Anwendungsmodell

### Definition Anwendungsmodell im iPeM

Das Anwendungsmodell bezieht sich auf die Aufzeichnung des realen Produktentstehungsprozesses (Workflow). Während der Durchführung eines Entwicklungsprojektes wird häufig von dem anfangs zugrunde gelegten Prozess abgewichen. Die Veränderungen werden auf Basis des Metamodells geplant oder beschrieben und im Anwendungsmodell dokumentiert. Dieses ist Grundlage der Prozessdokumentation, des Wissensmanagements, der Verbesserung von Referenzprozessen und der Entwicklung.

### 4.5.3 Das integrierte Produktentstehungs-Modell (iPeM)

Das iPeM beschreibt den Produktentstehungsprozess auf Basis von fünf Modellebenen. Während der Durchführung eines Entwicklungsprozesses kann zwischen den einzelnen Ebenen gesprungen werden. Das schafft einen entscheidenden Vorteil, da es für die Abstraktion konkrete Modellebenen gibt. Klassische Vorgehensmodelle beschreiben den Produktentstehungsprozess auf Basis von Referenzprozessen, ohne dass eine gemeinsame Metaebene existiert. Dies hat die Konsequenz, dass der Prozess nur innerhalb des vordefinierten Ablaufs beschrieben und definiert ist. Wenn in einer konkreten Anwendung der vordefinierte Ablauf nicht mehr zum Ziel führt, ist auch das Referenzmodell am Ende, da die Modelle keine Prozesse jenseits des vordefinierten Ablaufs beschreiben. Nur über ein Metamodell kann die Logik jenseits des Prozesses beschrieben werden.

Diese Situation ist vergleichbar mit einer Routenbeschreibung, die auf Basis von konkreten vordefinierten Handlungen beschrieben ist. Wenn sie auf Anweisungen

basiert, an welcher Stelle man wohin abbiegen muss, um an das Ziel zu kommen, funktioniert sie nur so lange, wie man exakt auf der Route bleibt. Sobald man von der Referenzroute abweicht, findet man sich nicht mehr zurecht, da die Beschreibung keinen Weg jenseits der Route enthält. Hier hilft nur noch eine Karte des gesamten Gebiets, eine Art Metamodell. Durch dieses Beispiel lässt sich die Referenz- und Metaprozessmodellierung beschreiben.

Für die Anwendung und Implementierung besitzt das Modell drei Bereiche, die an das Umfeld angepasst werden müssen: Die Schnittstelle zum Prozessumfeld, das operative Management und das Wissensmanagement. Das vierte Feld des Handlungsmodells besitzt keine direkte Schnittstelle zum Umfeld.

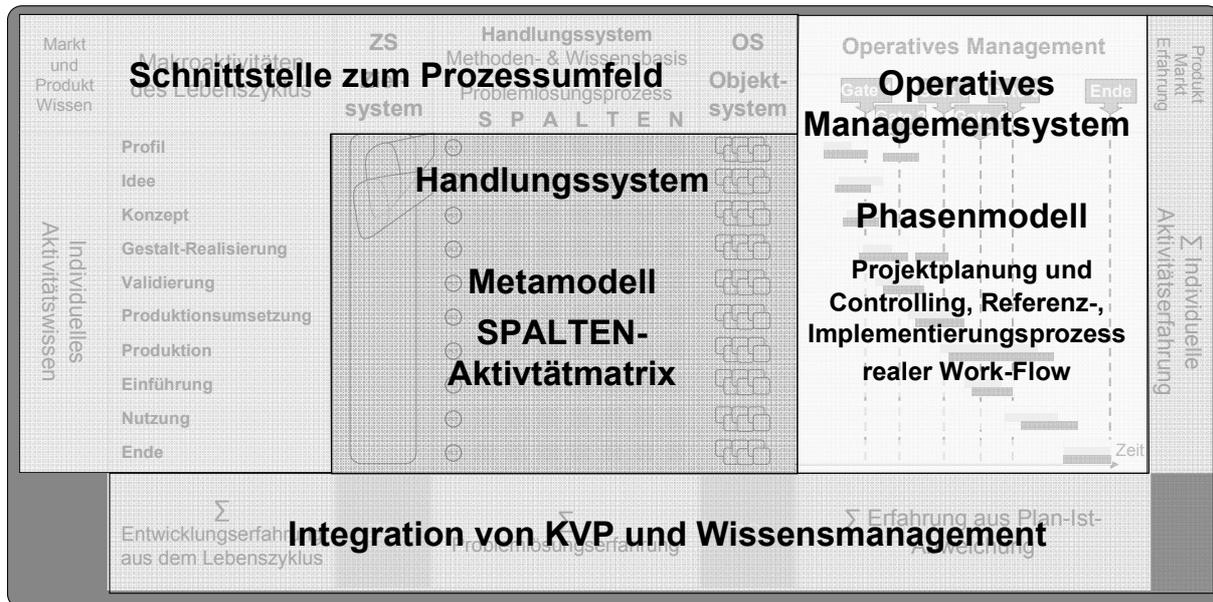


Abbildung 4-27: Die vier Elemente des iPem

Durch die offenen Schnittstellen des Modells wird eines der wesentlichen Implementierungsprobleme von entwicklungsmethodischen Prozessen gezielt angegangen. Oftmals sind entwicklungsmethodische Ansätze allein daran gescheitert, dass die Schnittstellen nicht offen genug gestaltet wurden und damit nicht in der Praxis implementiert werden konnten. Das Modell besitzt hierzu offene Schnittstellen, die in Abstimmung mit dem Modell frei vom Umfeld definiert werden können. Die Schnittstellen zum Umfeld sind durch die zugrunde gelegten Entwicklungsaktivitäten im Lebenszyklus und die Problemlösungsansätze in der Umsetzung bestimmt. Über die beiden Dimensionen können die vorhandenen Methoden im Unternehmen in das Handlungsmodell integriert werden. Im Bereich des operativen Managements müssen die Phasen und Gates wiederum in das Modell integriert werden. Als letztes Element steht die Integration von kontinuierlichen Verbesserungsprozessen (KVP) und Wissensmanagement, die zum gezielten Kompetenz- und Wissensaufbau der Mitarbeiter betrieben werden.

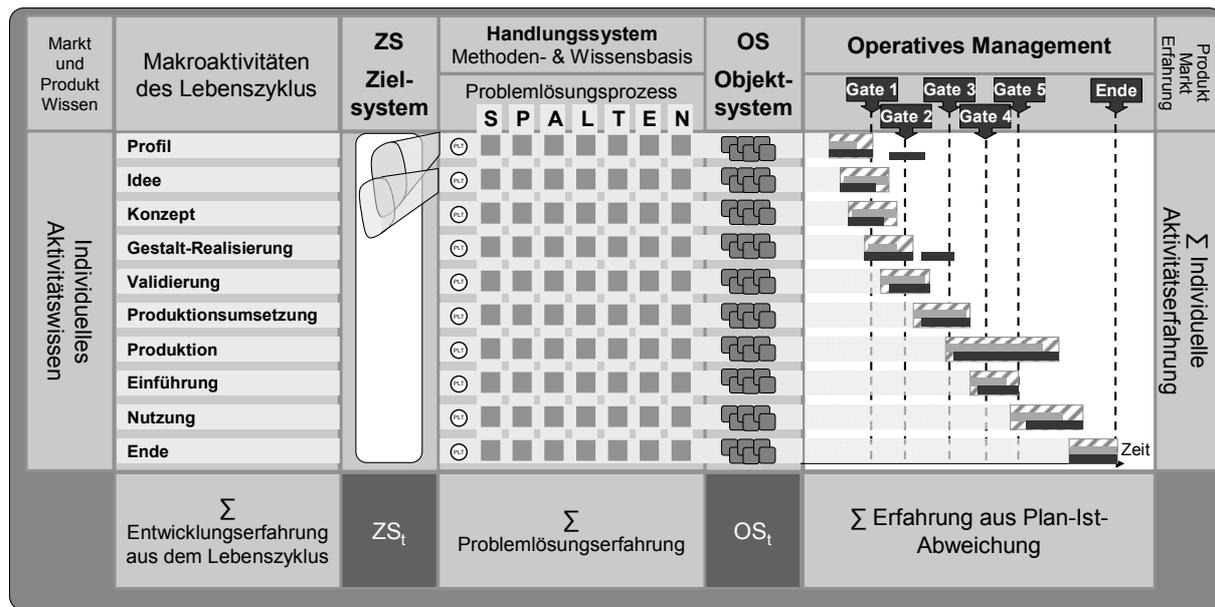


Abbildung 4-28: Das iPeM

### 4.5.3.1 Schnittstelle zum Prozessumfeld

Das Modell der Produktentstehung baut auf dem Handlungsmodell der SPALTEN-Aktivitätenmatrix auf, die beiden Dimensionen Mikro- und Makro-Logik bestimmen wesentlich die Schnittstelle zum Prozessumfeld. Im iPeM wurden für die Makro-Logik der Lebenszyklus nach ALBERS und für die Mikro-Logik der Problemlösungsprozess SPALTEN und der Aktivitätenansatz<sup>516</sup> zugrunde gelegt. Nach wissenschaftlichen Kriterien sind diese beiden Modelle optimal geeignet, doch kann das Handlungsmodell je nach unternehmensspezifischen Randbedingungen auch auf anderen Mikro- und Makro-Prozessen aufbauen.

### 4.5.3.2 Metamodell – SPALTEN-Aktivitätenmatrix

Wesentliches Element des Modells ist die systemtechnische Logik der ZHO-Systeme, die als Grundlogik implementiert ist. Im Unternehmen müssen geeignete Werkzeuge bereitgestellt werden, mit denen das Zielsystem abgebildet werden kann. Hierfür gibt es inzwischen einige Software-unterstützte Lösungen, doch sind die ganzheitlichen Lösungen des „Requirement Engineering“ noch wenig genutzt. Studien gehen davon aus, dass sich diese Systeme in den nächsten Jahren umfassend durchsetzen werden. Das Handlungssystem muss auch in der Implementierung durch Methoden, Werkzeuge und Ansprechpartner ergänzt werden. Die Objektsysteme sind Ergebnis oder Gegenstand eines jeden Produktentstehungsprozesses; entscheidend in diesem Modell ist die systematische

<sup>516</sup> Vgl. Albers 2008.

und kontinuierliche Verknüpfung der Elemente aus dem Ziel-, Handlungs- und Objektsystem.

Die Methodensammlung, die in das Modell implementiert wird, baut auf den Grundprinzipien der entwicklungsmethodischen Leitsysteme der 1990er-Jahre auf, in denen umfangreiche webbasierte Methodensammlungen entstanden sind. Der entscheidende Unterschied in dieser Anwendung ist die Erkenntnis, dass Methoden und Beschreibungen nichts bringen, wenn nicht Personen existieren, die die Methoden professionell anwenden können. Aus diesem Grund ist die Methoden- und Werkzeugunterstützung, die in den einzelnen Feldern des Handlungsmodells hinterlegt ist, immer unternehmensindividuell. Hier werden in erster Linie Methoden integriert, die von Mitarbeitern im Unternehmen beherrscht werden. Wenn in der Entwicklung der Bedarf nach neuen Methoden identifiziert wird, können diese entsprechend ergänzt werden.

#### **4.5.3.3 Operatives Managementsystem**

Das operative Controlling baut auf den etablierten Projektmanagement-, Controlling- und Gate-Prozessen auf; hier können etablierte Modelle implementiert werden, die sich im Anwendungsbereich durchgesetzt haben. Verbreitet sind hier fünf- bis siebenstufige Stage-Gate-Prozesse. Erst durch das operative Management und die Umsetzung in einem Projekt erhalten die Entwicklungsaktivitäten einen zeitlichen Ablauf und es entstehen Phasen.

#### **4.5.3.4 Integration von KVP und Wissensmanagement**

Das letzte Element ist der kontinuierliche Verbesserungsprozess und das Wissensmanagement. Die kontinuierliche Prozessverbesserung ist über die Nacharbeiten-Lernen-Aktivität (NL) des SPALTEN-Prozesses implementiert.<sup>517</sup>

Der Wissensmanagementansatz des iPeM baut auf den Erkenntnissen der 3. Generation des Wissensmanagements<sup>518</sup> auf; effizientes Wissensmanagement kann nicht als losgelöstes Instrument funktionieren, sondern nur über die Beschreibung der realen Prozesse. Im iPeM werden in der Produktentstehung die Instrumente des Wissensmanagements der 3. Generation nutzbar, da es das übergreifende Zusammenspiel der Abläufe in der Produktentstehung beschreibt. Dieses kann als Implementierungsgrundlage in einem PDM-System genutzt oder als eigenständige Lösung entwickelt werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das iPeM in einem semantischen WIKI umgesetzt. Über die übergreifende systemtechnische Logik kann

---

<sup>517</sup> Siehe Kap. 2.5.7 SPALTEN, S. 128.

<sup>518</sup> Siehe Kap. 2.3.3 Wissensarbeit und -management, S. 66.

über das Modell auf Informationen aus dem Produktentstehungsprojekt zugegriffen werden. Diese Systematik und das einheitlich zugrunde gelegte Prozessverständnis bilden die Basis eines wissensbasierten Prozesses für die Produktentstehung. Die exemplarische Nutzung als Wissensmanagementgrundlage wird in Kapitel 4.7 „Umsetzung des iPeM in einem IT-System“ noch genauer beschrieben.

#### 4.5.4 iPeM – Komplexitätsbeherrschung im PEP

Durch das systemtechnische Modell und seine Ebenen wurde eine übergreifende Logik geschaffen. Dieser ganzheitliche Ansatz der Produktentstehung setzt gezielt auf unterschiedliche Ebenen und schafft hierdurch ein umfassendes Konzept zur Komplexitätsbewältigung in der Produktentstehung. Dies lässt sich in folgenden Punkten zusammenfassen:

##### Integration von durchgängigen Modellebenen

Zentrales Element in der Produktentstehung ist die Modellbildung, denn nur über Modelle können Zusammenhänge erfasst und interpretiert werden – das menschliche Denken an sich basiert auf Modellen. Speziell in der multidisziplinären Anwendung müssen klare Modellebenen definiert sein und es muss klar sein, ab welcher Ebene anwendungsspezifische Elemente in das Modell mit aufgenommen werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Modellebenen für den Produktentstehungsprozess definiert:

- **Mentalmodelle** – diese orientieren sich am menschlichen Denken
- **Metamodelle** – diese beschreiben die Modellierung von Modellen
- **Referenzmodelle** – Anwendung mit präskriptivem/normativem Charakter
- **Implementierungsmodelle** – spezifische Modelle für Anwendungsfälle
- **Anwendungsmodelle** – Aufzeichnung des realen Prozessverlaufs.

Auf dieser Basis wurde ein umfassendes Modell zur Beherrschung der Produktentstehung geschaffen:

- **Prozessmodellierung:** Über das Modell ist eine einheitliche Grundlage für eine situations- und kontextorientierte Prozessmodellierung der Produktentstehung geschaffen worden.
- **Ontologie und semantische Integration:** Über den systemtechnischen Ansatz und die wiederkehrende Logik können Informationen und Abläufe auf Basis einer einheitlichen Ontologie mit Hilfe von semantischer IT-Unterstützung automatisch verarbeitet werden. Durch diese Theorie wird die Grundlage eines Informations- und Wissensmanagementssystems geschaffen.

- **Durchgängigkeit:** Durch die systemtechnische Logik und die lebenszyklusorientierte Makro-Logik ist das Modell über alle Aktivitäten des Produktentstehungsprozesses konsistent und durchgängig anwendbar.
- **Vollständigkeit:** Über die Verknüpfung der Ziel-, Handlungs- und Objektsysteme des PEP wird eine logische Verknüpfung geschaffen. Mit dieser systemorientierten Betrachtung können Sachverhalte der Produkt- und Prozesswelt aus unterschiedlichen Domänen gleichberechtigt berücksichtigt werden.
- **Grafische Darstellung:** Das Prozessmodell kann mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden abgebildet werden und die unterschiedlichen Sichten auf den Produktentstehungsprozess deutlich machen.
- **Dynamische Detaillierung:** Der Detaillierungsgrad des Modells ist vom Modellnutzer frei skalierbar, sodass die einzelnen Prozessschritte der Produktentstehung mit Zielen und Objekten auf unterschiedlichen Ebenen miteinander verbunden werden können.
- **Spezifische Controlling-Sicht:** Über die explizite Abbildung der Ziele, der einzelnen Objektsysteme und des Projektfortschritts im Modell wird eine Controlling-Sicht geschaffen, die es erlaubt, auf bestimmte Modellsachverhalte zu fokussieren.
- **Sicherung von Erfahrungen und Wissen:** Das Modell kann durch das System-Triple von Ziel-, Handlungs- und Objektsystem prozessbegleitend Erfahrungen und Wissen systematisch dokumentieren und prozessübergreifend zur Verfügung stellen.
- **Vorausschauende Planung:** Durch das Lebenszyklusmodell und die Integration der Vorlaufphasen können Informationen aus späteren Entwicklungsphasen schon in früheren systematisch in das Zielsystem mit aufgenommen werden.
- **Integration von methodischer und Management-Unterstützung:** In dem Modell sind entwicklungsmethodische Sichten gleichwertig zum operativen Management integriert.

#### 4.6 Beispiel des iPeM anhand der Mikrotechnik

Die Problematik allgemeingültiger Vorgehensmodelle in der Produktentwicklung wurde schon länger erkannt. Speziell in technologieorientierten Bereichen wie z.B. der Mechatronik und der Mikrotechnik, für die die allgemeingültigen Vorgehensmodelle nicht passen oder zu grob strukturiert sind, wurden in den letzten Jahren in Wissenschaft und Praxis viele spezifische Entwicklungsprozesse eingeführt. Dies führte zu einer noch größeren, unüberschaubaren Anzahl nicht vergleichbarer Prozesse und Modelle. Ihr Kernproblem liegt darin, dass sie nicht auf

einem einheitlichen Verständnis aufbauen. Diese Entwicklung steht im Gegensatz zu schlanken und standardisierten Abläufen, die dazu beitragen sollen, die heutige vorherrschende Komplexität handhabbar zu gestalten.

Für diese Entwicklung gibt es viele Beispiele; im Folgenden soll diese Entwicklung anhand der Mikrotechnik aufgezeigt werden. Beispiele sind hier die Arbeit „Mikrospezifischer Produktentwicklungsprozess ( $\mu$ -PEP) für werkzeuggebundene Mikrotechniken“ von MARZ oder WATTYS „Methodik zur Produktentwicklung in der Mikrosystemtechnik“. Sie liefern einen sehr guten Überblick über mikrospezifische Vorgehensmodelle in der Produktentstehung.<sup>519</sup> Beide Arbeiten entwickeln darauf aufbauend wieder ein eigenständiges Modell der Produktentwicklung.

Am Beispiel des mikrospezifischen  $\mu$ -PEP von MARZ wird das Einsatzpotenzial des iPeM als Modell der Produktentstehung aufgezeigt. Im Folgenden wird der  $\mu$ -PEP als Referenzprozess des iPeM kurz vorgestellt.

#### 4.6.1 Der $\mu$ -PEP

Zunächst wird das Vorgehensmodell von MARZ<sup>520</sup> vorgestellt. Der  $\mu$ -PEP ist ein Prozess für die Entwicklung und Konstruktion von Mikrokomponenten und -systemen, die mit Hilfe der Technologien der werkzeuggebundenen Mikrotechnik (WMT) hergestellt werden. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Prozess die hohe Technologieabhängigkeit: Gegenüber dem klassischen Vorgehen ergeben sich vorrangig aus technologischen und physikalischen Randbedingungen Einflüsse auf die Produktentwicklung, aus denen eine starke Parallelisierung der Produkt- und Fertigungsprozessentwicklung resultiert. Speziell hierfür werden im  $\mu$ -PEP geeignete methodische Hilfsmittel bereitgestellt. Für die Prozessbeschreibung wurde das Sichelmodell entwickelt, welches die Produktionstechnik und Produktenwicklung in die Gestaltung mit einbezieht.

---

<sup>519</sup> Vgl. Watty 2006, S. 33ff. und Marz 2005, S. 63ff.

<sup>520</sup> Vgl. Marz 2005.

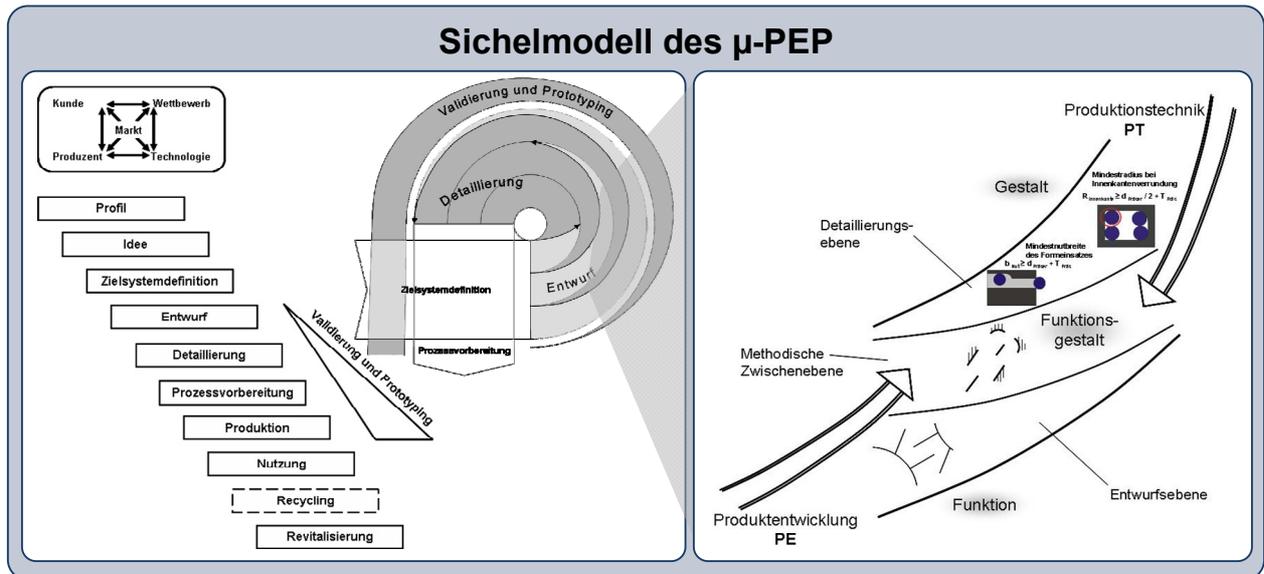


Abbildung 4-29: Sichelmodell des  $\mu$ -PEP von Marz<sup>521</sup>

Die Besonderheit im  $\mu$ -PEP besteht darin, dass parallel zum Top-Down-Entwurf technologiebedingte Bottom-Up-Detailentwürfe stattfinden. Hierdurch wird während der Entwicklung zwischen den Vorgaben des Gestaltraums und den Randbedingungen und Restriktionen der Produktionsprozesse hin und her gewechselt. Dies wird in den drei Entwurfsschritten des Sichelmodells abgebildet (Abbildung 4-29). So ergibt sich für den Systementwurf auf der äußersten Abstraktionsebene auf dem Abschnitt des ersten Viertelkreises die Konzeption des Systems, im daran anschließenden Viertelkreis der Grobentwurf und im letzten Viertelkreis – bis hinein in die Spitze der Sichel – der Feinentwurf des Systems.<sup>522</sup>

#### 4.6.1.1 Fazit des $\mu$ -PEP

Die Schwierigkeit dieses Prozessmodells wird schnell deutlich: Es besitzt eine eigene Modellsprache und eine hohe Eigenkomplexität; der Nutzer braucht lange, um das hoch spezifische Modell des allgemeinen Vorgehens nachvollziehen zu können. Im Sichelmodell des  $\mu$ -PEP steckt viel Know-How. Diese Erfahrung des normativen Vorgehensmodells soll im Folgenden in das iPeM übertragen und als Referenzprozess für die Entwicklung werkzeuggesteuerter Mikrosysteme modelliert werden.

Um das Modell zu übertragen, wird schrittweise vorgegangen:

1. Die einzelnen Phasen des  $\mu$ -PEP werden in das iPeM übertragen und angepasst.

<sup>521</sup> Marz 2005, S. 92. und S. 94.

<sup>522</sup> Ebda. S. 93.

2. Die mikrospezifischen Methoden werden den Handlungsfeldern im iPeM zugeordnet und mit Auswahlkriterien aus dem Ziel-, Handlungs- und Objektsystem ergänzt.
3. Das Vorgehen, die Sequenzen und Iterationsschleifen werden als Ablauf im iPeM abgebildet.

Im Fall des Leitbeispiels von MARZ handelt es sich um die Entwicklung eines keramischen Mikroplanetenradgetriebes.

## 4.6.2 $\mu$ -PEP-Referenzprozess im iPeM

Der  $\mu$ -PEP zeichnet sich im Besonderen durch die engen Wechselwirkungen zwischen den Produktionsverfahren und dem Entwurf aus, da die Gestalt stark durch die möglichen Fertigungsverfahren beschränkt ist. MARZ beschreibt diese Verfahren in drei Zyklen durch eine wechselseitige Konkretisierung zwischen Entwurf und Fertigung auf den Schritten Konzeption, Grobentwurf und Feinentwurf. Die Konkretisierung spielt sich in den methodischen Zwischenebenen am Sichelübergang im Modell ab. Die Schwierigkeit des Sichelmodells liegt darin, dass es nicht direkt in dem sequenziellen, ablauforientierten Prozessmodell abgebildet werden kann.

### 4.6.2.1 Transformation der Phasen in Aktivitäten

Die Phasen des Modells können ohne große Veränderungen an die Aktivitäten der Makro-Logik des iPeM angepasst werden: Die ersten beiden, „Profil“ und „Idee“, sind identisch, die dritte Phase des  $\mu$ -PEP, „Zielsystemdefinition“, wird als Phase aus dem Prozess herausgelöst und in das Zielsystem des iPeM integriert, das im Laufe der Entwicklung permanent entwickelt wird. Die Zielsystemdefinition, wie sie dem  $\mu$ -PEP zugrunde liegt, bezieht sich im iPeM auf einen Zielsystemzwischenstand, dem „Idee-Freeze“, der das Subzielsystem für die Konzept-Phase bildet.

Aufgrund der Untrennbarkeit von Entwurf und Fertigung in der Mikrotechnik können die Teilstrukturen nicht domänenspezifisch und unabhängig von anderen Phasen und der Gesamtstruktur entworfen werden.<sup>523</sup> Die Entwurfsaktivitäten sind eng mit der Produktionsprozesskettenentwicklung verknüpft. Der Entwurf entspricht den Inhalten der Konzept-Phase, die aber einen gleitenden Übergang in die Gestalt-Realisierung besitzt. Das entscheidende Trennkriterium zwischen Konzept und Gestalt-Realisierung ist die Investitions- bzw. Realisierungsentscheidung, die nach der Konzept-Phase getroffen wird. Da der  $\mu$ -PEP aber auf Basis eines Forschungsprojektes aufbaut, ist diese Trennung nicht vorhanden.

---

<sup>523</sup> Vgl. Marz 2005, S. 75.

Die Phase „Detaillierung“ des  $\mu$ -PEP ist mit der Phase „Gestalt-Realisierung“ gleichzusetzen; am Ende steht der dokumentierte Entwurf spezifizierter Fertigungszielgrößen. Die parallele, übergreifende Phase „Validierung und Prototyping“ des  $\mu$ -PEP wird in die iPeM-Phase „Validierung“ integriert. Sie kann im iPeM ebenso übergreifende Eigenschaften aufweisen, denn das iPeM gibt auf Ebene des Metamodells keinen zeitlichen oder inhaltlichen Ablauf vor.

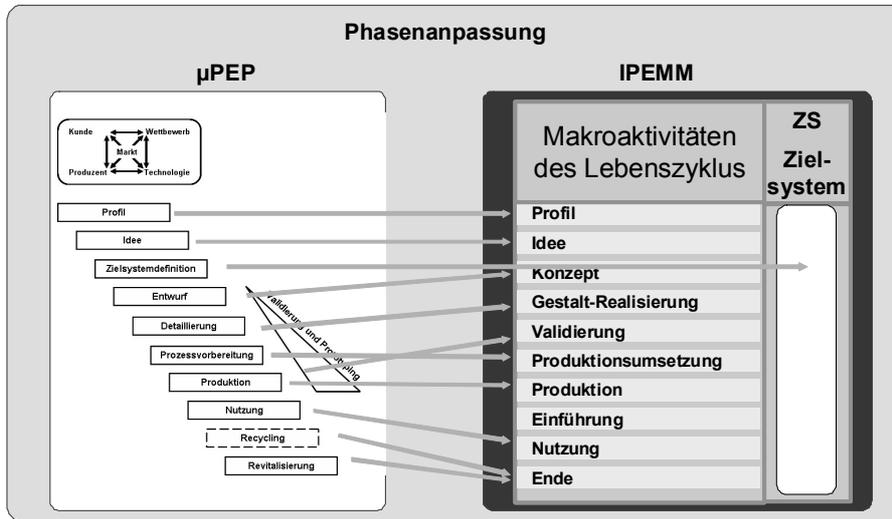


Abbildung 4-30: Phasen- und Aktivitätsanpassung

#### 4.6.2.2 Zuordnung der Methoden

Neben dem Vorgehensmodell liegt im  $\mu$ -PEP ein großes Gewicht auf der entwicklungsmethodischen Prozessunterstützung. Die entwickelten Methoden und Konstruktionsregeln können in den einzelnen Handlungsfeldern der SPALTEN-Aktivitätenmatrix im iPeM mit Attributen des Ziel- und Objektsystems verknüpft werden. Die Verknüpfung mit Attributen bedeutet, dass über das Ziel-, Handlungs- und/oder Objektsystem auf die Methoden zugegriffen werden kann. Wenn im Zielsystem z.B. keramische, urgeformte Mikroteile gefordert sind, werden die Methoden im Entwicklungsprozess relevant.

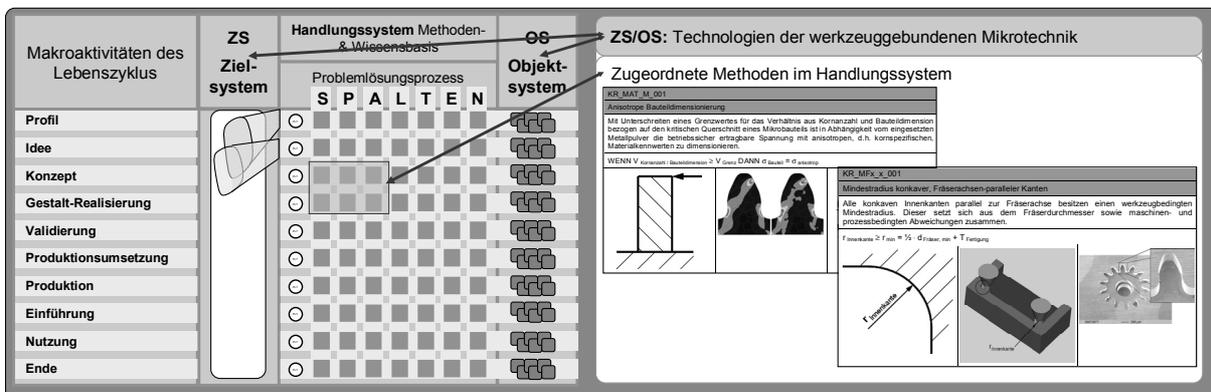


Abbildung 4-31: Methodenzuordnung im iPeM

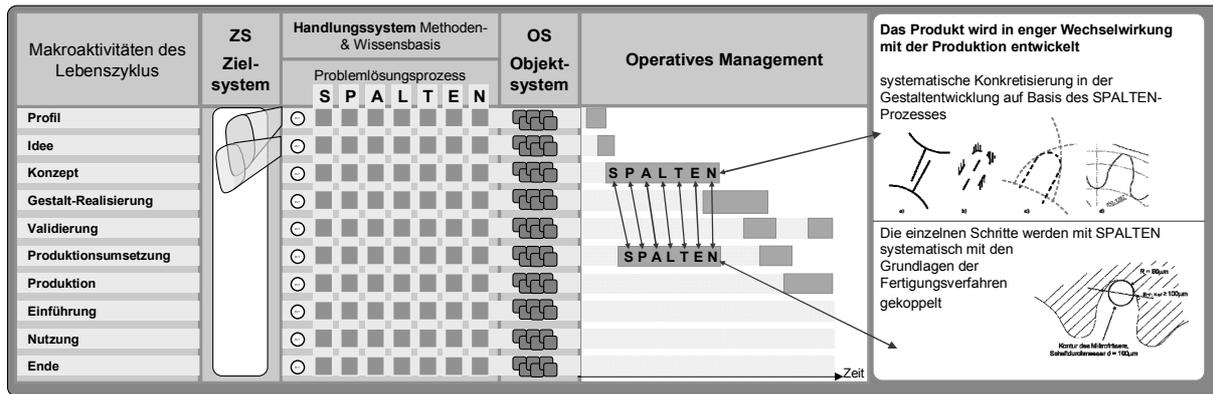
#### 4.6.2.3 Referenzprozess im iPeM

Im  $\mu$ -PEP von MARZ wurden die drei Iterationsschritte in der Entwurfsphase auf Basis des Sichelmodells erklärt. Kern dieses Vorgehens ist die abwechselnde Festlegung von gestalterischen Elementen und der Abgleich mit den Fertigungsverfahren. Diese Iteration führt zu einer kontinuierlichen Konkretisierung der Gestalt. Die Iterationsschritte lassen sich im detaillierten Ablauf nicht als starres Vorgehensmodell beschreiben, sie stellen sich als ineinander verschachtelter Problemlösungsprozess auf zwei unterschiedlichen Ebenen dar: Die erste geht vom Zielsystem, die zweite vom Objektsystem der Fertigung aus. Durch diese beiden Flanken kann der Prozess beschrieben werden.

Im Beispiel von MARZ besteht das Zielsystem zu Beginn der Konzept-Phase aus der Zielsetzung für ein „keramisches urgeformtes Planetenradgetriebe“. Das Objektsystem der Produktionsvorbereitungsphase sind bestehende Produktionsverfahren der Mikrotechnik wie Mikrofräßen, Mikrofunktenerosion, Laserablation, Pulverspritz- und Mikroguss. Im Laufe des Entwicklungsprozesses werden zunächst in der Gestaltphase mittels einer ersten Situationsanalyse grobe Gestaltparameter ermittelt – dies geschieht in dem Schritt „SA-Konzept“. Die Ergebnisse werden mit dem nächsten Schritt der Situationsanalyse auf Ebene der Produktionsentwicklung abgeglichen – dies ist der Schritt „SA-Produktionsumsetzung“. Die Ergebnisse der beiden Aktivitäten werden im Zielsystem festgehalten; treten hierbei Inkonsistenzen auf, müssen die einzelnen Schritte der Situationsanalyse erneut durchgeführt und ggf. Elemente im Zielsystem verändert werden.

Als nächstes werden die Konzepteigenschaften weiter eingegrenzt, zunächst im Schritt „PE-Konzept“. Danach wird auf die Ebene „PE-Produktionsumsetzung“ gesprungen und der SPALTEN-Prozess iterativ auf beiden Ebenen weiter durchgeführt, bis er für die Problemstellung abgeschlossen ist. Treten Inkonsistenzen im Zielsystem auf, wird innerhalb der einzelnen Aktivitäten nach der Prozesslogik von SPALTEN vorgegangen. So werden z.B. alternative Lösungen entwickelt oder – wenn dieses Vorgehen nicht zum Ziel führt – muss das Zielsystem auf Ebene der Makro-Logik angepasst werden.

Diese iterativen systematischen Problemlösungsschritte zwischen Gestalt und Produktion führen zur Entwicklung eines konsistenten Zielsystems und unterschiedlicher spezifischer Objektsysteme, wie z.B. den Formeinsätzen für den Pulverspritzguss.

Abbildung 4-32:  $\mu$ -PEP im iPeM

An dieser beispielhaften Anwendung des iPeM im Bereich der Mikrotechnik wird seine Flexibilität und Simplexität deutlich. Auf Basis der einheitlichen Modellebenen und der Modellsprache zur Modellierung können komplexe Zusammenhänge im Produktentstehungsprozess klar und eindeutig beschrieben werden. Zur Unterstützung des Modells wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Webplattform entwickelt, die das iPeM abbildet. Im letzten Kapitel wird ihre Umsetzung dargestellt.

#### 4.7 Umsetzung des iPeM in einem IT-System

Als Plattform wurde das iPeM in einem WIKI mit semantischer Erweiterung umgesetzt. Es bietet umfassende Funktionalitäten, um das iPeM als webbasierte Plattform abzubilden und als wissensbasierte Projektunterstützung zu nutzen. Hierdurch wird eine hochflexible und effiziente Kommunikations-, Kooperations- und Dokumentationsplattform geschaffen, die allen Projektakteuren in der Produktentstehung zur Verfügung steht. Durch die Abbildung des iPeM können in dem WIKI alle Modellebenen in der Nutzung unterstützt werden. Die iPeM-WIKI-Plattform ermöglicht die Abbildung aller Bereiche – von der entwicklungs-methodischen Unterstützung bis hin zum Projektcontrolling. Alle Akteure können interaktiv, als Sender und Empfänger, die Inhalte des iPeM-WIKIs nutzen. Darüber hinaus ist ein WIKI ein offenes System, das mit anderen Systemen wie z.B. Datenbanken, Dokumentenablagen, PLM-Systemen etc. einfach vernetzt werden kann (Abbildung 4-33).<sup>524</sup>

<sup>524</sup> Vgl. Albers 2007c.

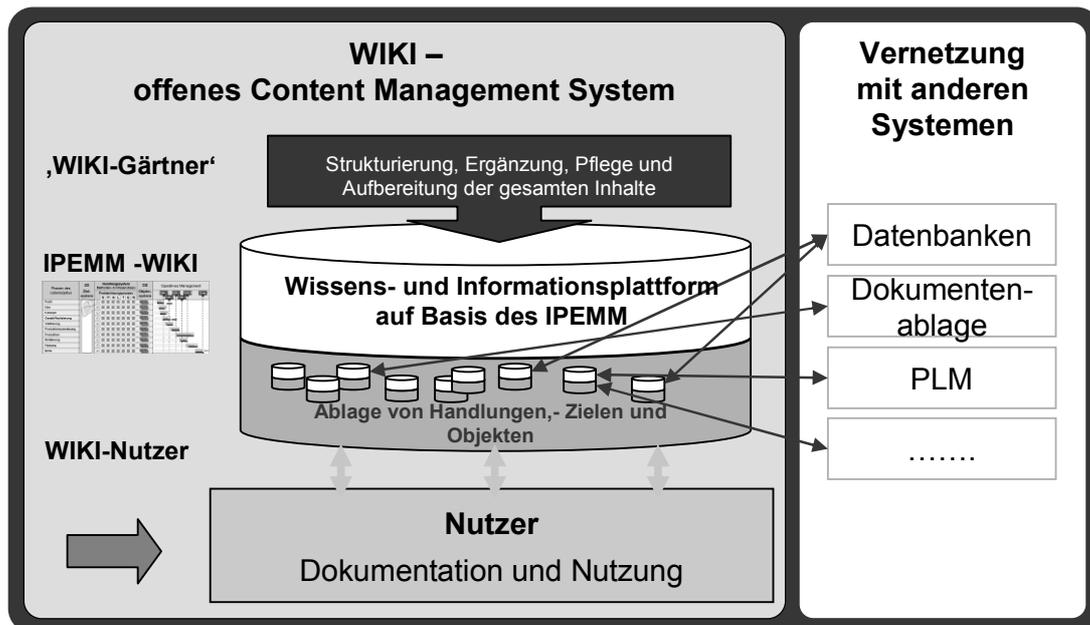


Abbildung 4-33: Konzept der WIKI-Plattform

#### 4.7.1 WIKI – Semantische Media-WIKI

Im Wesentlichen ist ein WIKI eine serverbasierte Browser-Applikation, die es dem Benutzer erlaubt, mittels einer einfachen Benutzeroberfläche und einer stark vereinfachten Syntax Webseiten zu gestalten und miteinander zu verlinken. Das wohl bekannteste Beispiel für ein WIKI ist die Internetenzyklopädie „WIKIpedia“. Bei der Umsetzung des iPeM wurde das mit Abstand am weitesten verbreitete WIKI-System, die MediaWIKI<sup>525</sup> verwendet. Auf Basis dieser Software finden weltweit die meisten Implementierungen, Forschungsaktivitäten und Entwicklungen statt. Ein WIKI kann neben der durch „WIKIpedia“ bekannten Verwendung als Online-Dokumentationsplattform auch zur Koordination von Informationen und Vorgängen genutzt werden. Dabei bietet es durch den Aufbau als Browser-Applikation und der zentralen und für alle abrufbaren Speicherung von Informationen nahezu uneingeschränkte Möglichkeiten.

#### 4.7.2 WIKI-Gärtner – Organisatorische Integration

Noch wichtiger als die IT-Grundlage ist aber die organisatorische Integration in die Unternehmensprozesse. Das WIKI baut auf offene Beitragsstrukturen auf, die hohe Nutzungspotenziale schaffen – dererseits liegen genau hier die Gefahren: Die Flexibilität und Offenheit der Systeme führt oft dazu, dass Inhalte unklar, unstrukturiert oder falsch sind und das WIKI durch Datenfülle mit der Zeit unübersichtlich wird. Damit sinken der Nutzwert und die Akzeptanz des Systems. Analog zu einem Garten, in dem die Pflanzen ab und zu geschnitten werden müssen und Unkraut

<sup>525</sup> <http://www.mediawiki.org/wiki/MediaWiki>.

gejätet werden muss, bedarf es auch bei der Nutzung von WIKIs eines „Gärtners“, der Ordnung hält, Inhalte sät und von Zeit zu Zeit sie erntet und aufbereitet.

Durch den Gärtner wird langfristig sichergestellt, dass das iPeM-WIKI – als prozessunterstützendes Werkzeug für die Projektdurchführung, -planung und das -controlling – die Grundlage eines wissensbasierten Produktentstehungsprozesses bildet. Das Modell wird zu einem effizienten, flexiblen, robusten und gleichzeitig einfach zu bedienendem EDV-System. Der WIKI-Gärtner betreibt in seiner Tätigkeit ein aktives „Wissensmanagement“: Er achtet auf den richtigen Umgang der Benutzer mit dem System und greift bei Problemen beratend oder aktiv ein.

### 4.7.3 Die iPeM-WIKI-Plattform

WIKIs werden heute schon von vielen Unternehmen als Intranetlösungen oder Wissenssysteme genutzt. Durch das iPeM wird diese etablierte Funktionalität durch ein übergreifendes Modell der Produktentstehung erweitert und kann so den gesamten Produktentstehungsprozess in all seinen Facetten systematisiert abbilden und modellieren.

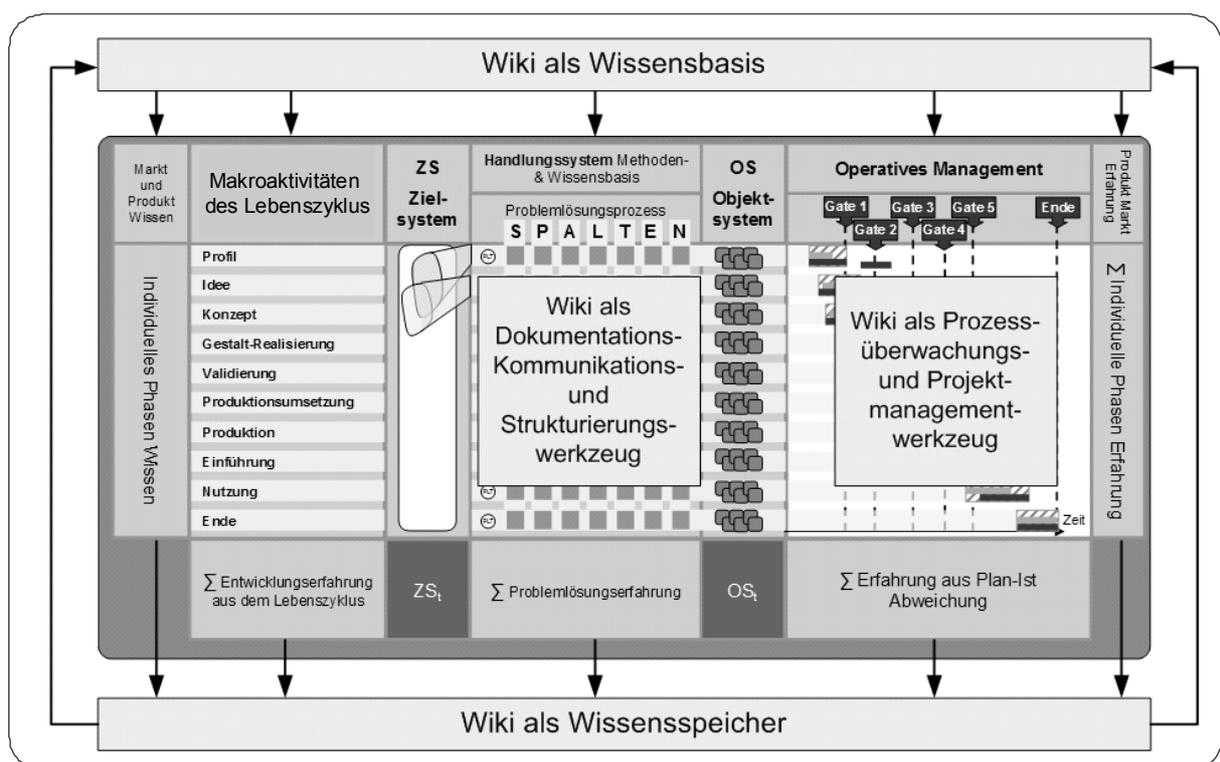


Abbildung 4-34: iPeM-WIKI-Konzept

#### 4.7.3.1 Ontologie-Grundlage

Um die semantische Funktionalität des WIKIs effizient zu nutzen, ist eine Ontologie die Voraussetzung. Die entwickelte Ontologie ist eine Minimalontologie des Handlungssystems auf Basis des iPeM. Die Ontologien für das Ziel- und

Objektsystem sind in diesem Modell nur angeschnitten, da diese unternehmens- bzw. projektspezifisch entwickelt und angepasst werden müssen.

Die Ontologie ist so dargestellt, dass die jeweils anzulegende Instanz eines in einem Projekt entstehenden Projektbeitrages, also der Eintrag einer neuen WIKIseite, eine zentrale Position innehat. Auf diese Weise lässt sich die Einbindung des Eintrags in die Projektontologie verdeutlichen. Dieses Bedeutungsnetz kann aber auch von einer anderen Startposition betrachtet werden, z.B. von einem Mitarbeiter aus. Dadurch ist es möglich, verschiedene Sichten auf den Inhalt des WIKIs oder auf die Bestandteile eines Projektes zu erzeugen. Ein Eintrag wird über die dargestellten Kategorien, Relationen und Attribute mit entsprechenden Instanzen verbunden, die ihrerseits wieder in Kategorien gegliedert sind und ebenfalls Relationen aufweisen können. Nicht jeder Eintrag muss mit allen Informationen versehen werden, sondern es werden nur die Zuordnungen verwendet, die im Einzelfall sinnvoll sind. Es können auch Mehrfachzuordnungen vergeben werden; z.B. können Methoden mehreren Aktivitäten der Makro-Logik zugeordnet werden. Wichtig ist hierbei, dass die Ontologien explizit dargestellt werden. Im Beispiel in Abbildung 4-35 ist die Projektontologie des iPeM-WIKIs für den Produktentstehungsprozess abgebildet. Jeder Eintrag der Prozessbeschreibung oder Dokumentation wird mit den entsprechenden Begriffen ergänzt.

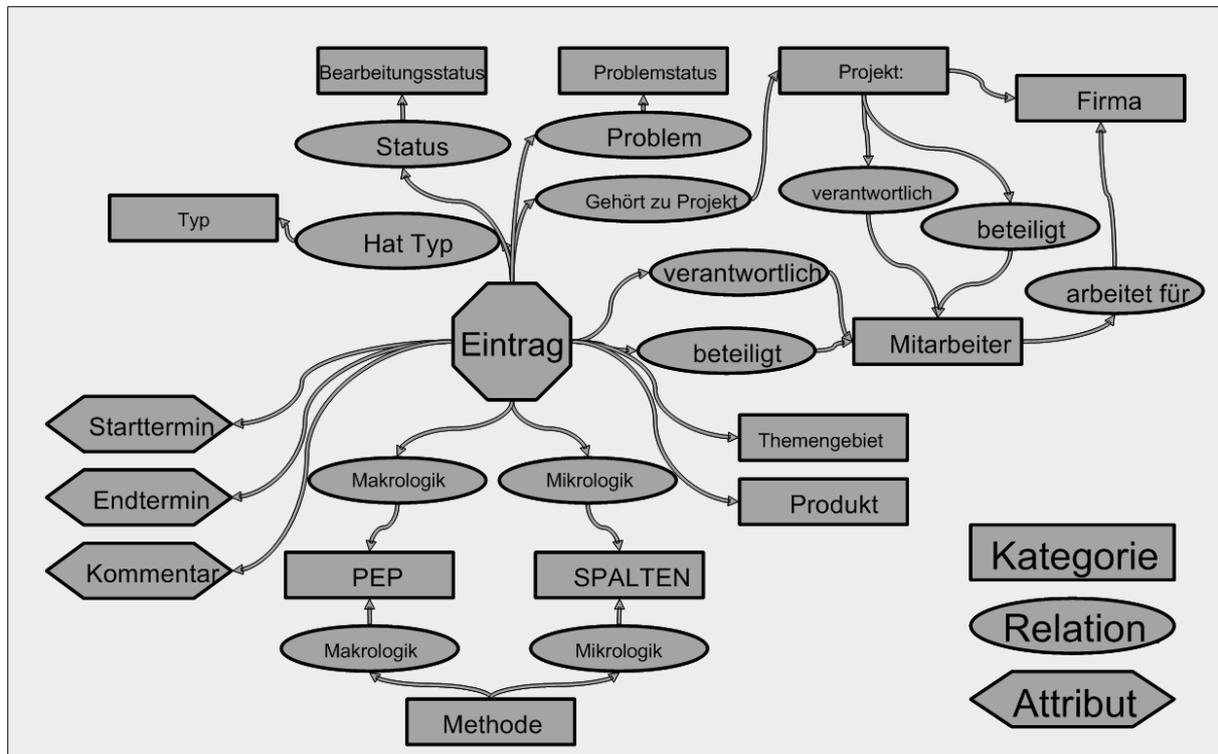


Abbildung 4-35: Projektontologie

Für die Verwaltung kann ein „Ontologybrowser“ genutzt werden, mit dem die zugrunde gelegte Ontologie verwaltet wird (Abbildung 4-36).

spezielseite

## OntologyBrowser

Der Ontology-Browser hilft Ihnen sich im Wiki zurechtzufinden, das Schema zu untersuchen und ganz allgemein Seiten zu finden. Benutzen Sie die Links um bestimmte Elemente der Ontologie zu finden und schränken Sie das Ergebnis mit Hilfe der Filter unter jeder Spalte ein. Der Selektionsfluss nach links. Sie können die Pfeile durch Anklicken aber umdrehen.  
Drücken Sie Ctrl+Alt+Space für die Auto-Vervollständigung. (Ctrl+Space im IE)

Filtere Zurücksetzen Verstecke Instanzen

**Kategorie-Baum** | **Property-Baum**

- ⊕ Eigenschaften 🔍
- ⊕ GardeningLog 🔍
- ⊕ Hilti 🔍
- ⊕ Meeting 🔍
- ⊕ Methode 🔍
- ⊕ Mitarbeiter 🔍
- ⊕ Produkt 🔍
  - └ Werkzeug 🔍
    - └ Elektrowerkzeug 🔍
    - └ Lasertechnik 🔍
      - └ Laserschneider 🔍

- ⊕ Wissen 🔍

Filter:

**Instanzen**

- Energiezufuhr Laserschneider 🔍
- Idee Laserschneidsystem 🔍
- Konzept Laserschneider 🔍
- Lösungsvarianten Ideenphase 🔍

Filter:

**Attribute/Relationen** Werte

Projektstart 🔍	2007-09-10T00:00:00
Typ 🔍	Aufgabe
Zu erledigen bis 🔍	2007-10-10T00:00:00
Beteiligt 🔍	Müller
Makrologik 🔍	Idee
Mikrologik 🔍	Alternative Lösungen
Projekt 🔍	Beispielprojekt
Status 🔍	In Arbeit
Verantwortlich 🔍	Jarsch

Filter:

Abbildung 4-36: Projektontologie Browser

Die Verwendung dieser Ontologie kann anhand eines Beispielprojekts aufgezeigt werden. In dem Beispiel wird eine Aufgabe eines Projektes angelegt: Sie bezieht sich auf das Entwickeln von Lösungsvarianten in der Ideenphase. Verantwortlich hierfür ist Herr Jarsch, beteiligt an der Ideenfindung ist noch Frau Müller. Die Arbeit an der Aufgabe hat am 10.09.2007 begonnen, der geplante Endtermin ist der 10.10.2007; die Arbeit geht gut voran und es treten keine nennenswerten Komplikationen auf. Diese Projektbeschreibungen werden der Aufgabendokumentation als Metainformation angehängt und in einer „Factbox“ auf der Seite mit angezeigt (Abbildung 4-37).

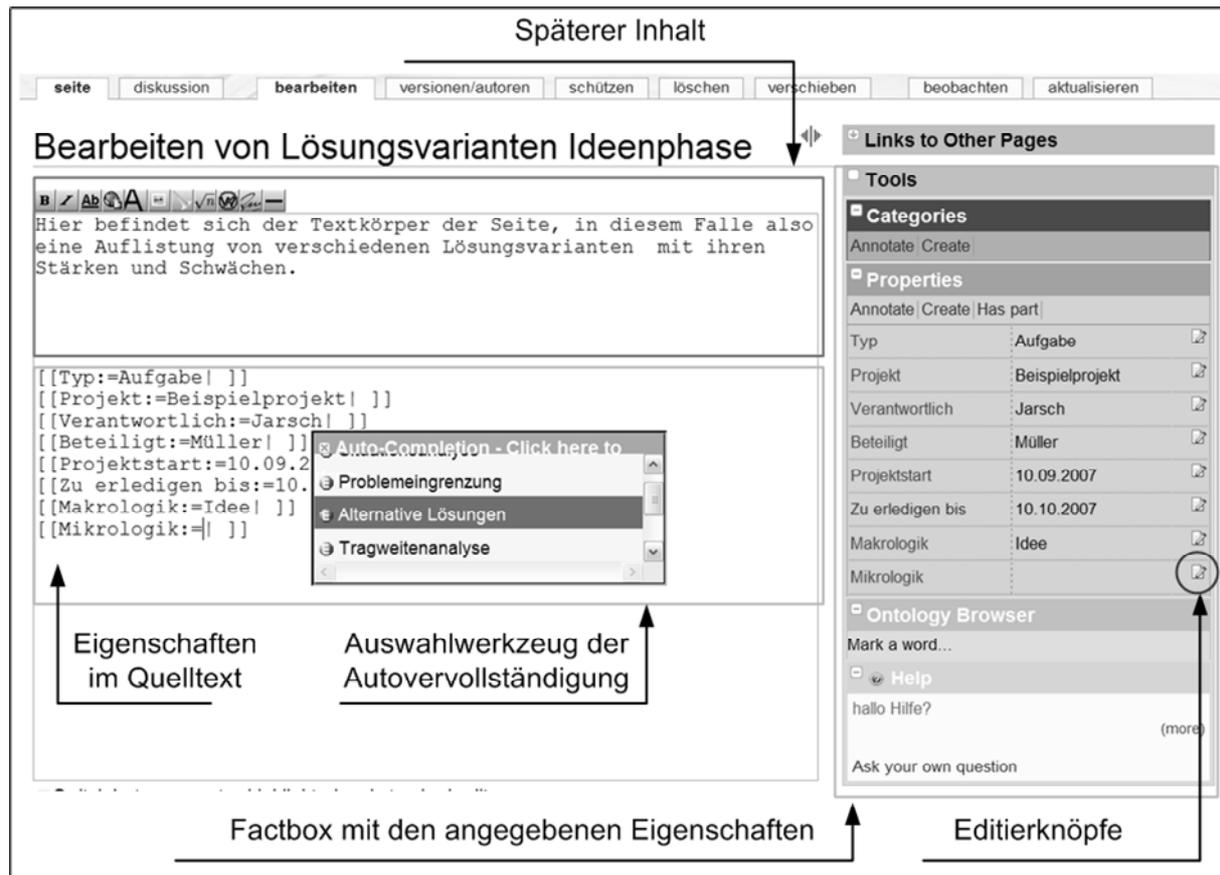


Abbildung 4-37: Editor-Fenster für das Beispiel

Über die semantischen Informationen in der Factbox, die durch die Ontologie vereinheitlicht sind, können Projektinformationen sehr leicht wiedergefunden oder durch die verschiedenen Filter mit anderen Informationen sortiert und gruppiert werden.

#### 4.7.3.2 Zugriff auf Inhalte

Durch die Ablage und Verknüpfung der Informationen des Produktentstehungsprozesses in dem WIKI kann der Zugriff auf angelegte Projektinformationen auf verschiedenen Wegen realisiert werden:

- Suche über die eingebaute Volltextsuche des MediaWIKIs. Sie durchsucht alle Inhalte und erzielt so sehr hohe Trefferzahlen, die einen gezielten Zugriff auf Projektinformationen nicht erlauben.
- Suchen nach Seitennamen mit Hilfe der Autovervollständigung. Dies ist äußerst effektiv, da hier einfach und gezielt auf bekannte Inhalte zugegriffen werden kann.
- Navigation über eingebaute WIKI-Links. Die Inhalte der WIKI-Seiten können untereinander beliebig verlinkt werden. Die Verknüpfungen müssen dafür allerdings zuerst eingerichtet werden; bei von vielen usern genutzten WIKI-

Seiten können hier assoziierte Themenbereiche verlinkt werden. Diese Möglichkeit bietet speziell für das Wissensmanagement große Potenziale.

- Navigation über eine Factbox. Sehr effektiv, um direkt auf Seiteninhalte zuzugreifen, ist der semantische Link in der FactBox. Hier können themenspezifische Inhalte gezielt gesucht werden.
- Suche über semantische Anfragen. Über diese kann eine „intelligente Suche“ auf Inhalte gestartet werden. Eine einschränkende Anfrage nach Projektzugehörigkeit, Makro- und Mikro-Logik führt direkt zu einer Liste der in Frage kommenden Seiten. Über semantische Anfragen können automatisch generische Sichten auf die Inhalte des Produktentstehungsprozesses erzeugt werden.
- Suche über gespeicherte Anfragen: Die einzelnen semantischen Suchanfragen können gespeichert und automatisch aktualisiert werden. Hierdurch werden automatisch spezifische Inhalte in Listen- und Tabellenform angezeigt, z.B. für den Projektplan oder das Controlling.

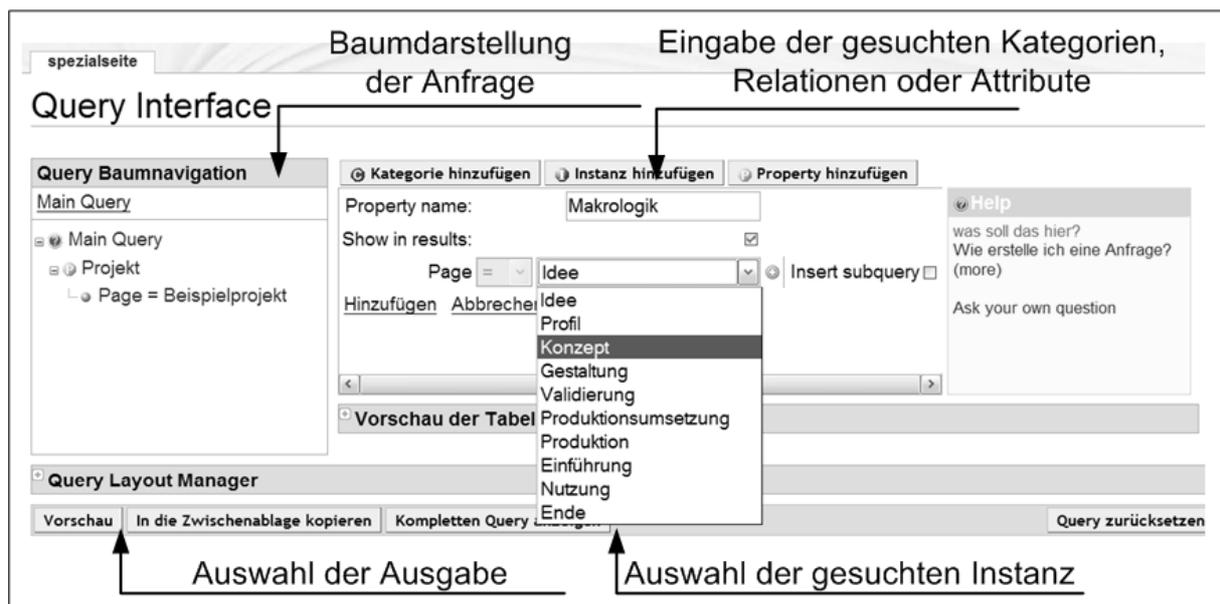


Abbildung 4-38: Interface zur Erstellung von Anfragen

#### 4.7.3.3 Projektstartseite und Navigation

Das iPeM wurde als interaktive Projektnavigation in das WIKI integriert. Auf der Startseite befindet sich eine grafische Darstellung des iPeM, automatische semantische Suchanfragen können von hier gestartet werden. Klickt man beispielsweise auf das Feld „SA-Profil“, werden alle WIKI-Seiten aufgelistet, die Informationen über die Situationsanalyse in der Profilphase enthalten. Dies funktioniert für alle Felder im iPeM.

Navigation: [seite](#) | [diskussion](#) | [bearbeiten](#) | [versionen/autoren](#) | [schützen](#) | [löschen](#) | [verschieben](#) | [beobachten](#) | [aktualisieren](#)

### Beispielprojekt Hauptseite

Hauptseite des Beispielprojektes. Dieses Projekt dient zur Demonstration einer möglichen Projektstartseite für ein IPEK-Wiki

Neuen Projektbeitrag erstellen:   **Feld zur Erstellung neuer Einträge**

Navigationfenster: Anklicken für Detailansichten und weiterführende Links

Makroaktivitäten des Lebenszyklus	ZS Ziel-system	Handlungssystem Methoden- & Wissensbasis		OS Objekt-system
		Problemlösungsprozess SPALTE N		
Profil	<input type="text"/>	⊖	⊖	⊖
Idee		⊖	⊖	⊖
Konzept		⊖	⊖	⊖
Gestalt-Realisierung		⊖	⊖	⊖
Validierung		⊖	⊖	⊖
Produktionsumsetzung		⊖	⊖	⊖
Produktion		⊖	⊖	⊖
Einführung		⊖	⊖	⊖
Nutzung		⊖	⊖	⊖
Ende		⊖	⊖	⊖

**Steuermaske IPEMM**

### Problemübersicht

Projektinhalte  
  Typ  
  Problem  
  Makrologik  
  Mikrologik  
  Verantwortlich  
  Status  
  Zu erledigen bis

Energiezufuhr Laserschneider	Aufgabe	Kritisch	Gestaltung	Einführen und Umsetzen	Müller	In Arbeit	22 October 2007
------------------------------	---------	----------	------------	------------------------	--------	-----------	-----------------

### Projektinhalte

Projektinhalte	Typ	Makrologik	Mikrologik	Verantwortlich	Status	Zu erledigen bis
Energiezufuhr Laserschneider	Aufgabe	Gestaltung	Einführen und Umsetzen	Müller	In Arbeit	22 October 2007
Idee Laserschneidsystem	KIS	Idee	Alternative Lösungen	Jarsch	Erledigt	12 October 2007
Konzept Laserschneider	KIS	Konzept	Alternative Lösungen	Jarsch	Erledigt	20 October 2007
Lösungsvarianten Ideenphase	Aufgabe	Idee	Alternative Lösungen	Jarsch	In Arbeit	10 October 2007

[Anzeigen von Problemen](#)      [Übersicht über Projektinhalte](#)

Abbildung 4-39: iPeM-WIKI-Startseite

Beim Überfahren der Steuermaske mit dem Mauszeiger werden über den einzelnen abgebildeten Prozessschritten Verknüpfungen mit kurzem Hinweis angezeigt, die Informationen zu weiteren WIKI-Seiten und zu den jeweiligen Prozessschritten beinhalten.

#### 4.7.3.4 Individuelle Sichten auf das Projekt

Die Projektübersicht dient hauptsächlich dazu, einen schnellen Überblick über den Stand eines Projektes zu bekommen und Information gezielt zu finden. Projektbeteiligte können sich spezifische Suchanfragen und Filter anzeigen lassen und damit spezielle, automatisch generierte Übersichten und Projektsichten anlegen. Ein Beispiel dafür wäre das Erstellen einer Übersicht über die eigenen Aufgaben

eines Projektmitarbeiters oder über spezielle Interessensgebiete auf der Benutzerseite des jeweiligen Nutzers.

seite diskussion bearbeiten versionen/autoren schützen löschen verschieben beobachten aktualisieren

## Jarsch

Florian Jarsch  
Diplomand am IPEK in der EMM

Laufende Projekte:

- Diplomarbeit
- Beispielprojekt
- Hilti

**Verantwortlich für folgende Inhalte (sortiert nach Fälligkeitsdatum):**

☒	☒ Projekt	☒ Makrologik	☒ Mikrologik	☒ Status	☒ Zu erledigen bis
Marktrecherche Elektrowerkzeuge	Beispielprojekt	Profil	Situationsanalyse	Offen	3 December 2007
Szenarien Beispielprojekt	Beispielprojekt	Profil	Alternative Lösungen	Erledigt	22 November 2007
Baustellebesuch Abteilung 1	Hilti			Erledigt	16:30, 19 November 2007
Konzept Laserschneider	Beispielprojekt	Konzept	Alternative Lösungen	Erledigt	20 October 2007
Idee Laserschneidsystem	Beispielprojekt	Idee	Alternative Lösungen	Erledigt	12 October 2007
Lösungsvarianten Ideenphase	Beispielprojekt	Idee	Alternative Lösungen	In Arbeit	10 October 2007

**Beteiligt an folgenden Inhalten (sortiert nach Fälligkeitsdatum):**

☒	☒ Verantwortlich	☒ Projekt	☒ Makrologik	☒ Mikrologik	☒ Status	☒ Zu erledigen bis
Energiezufuhr Laserschneider	Müller	Beispielprojekt	Gestaltung	Einführen und Umsetzen	In Arbeit	22 October 2007

**Facts about Jarsch** ⓘ

Abteilung EMM + ⓘ

Funktion Diplomand + ⓘ

Kategorie: Mitarbeiter

**Abbildung 4-40: Benutzerseite**

Abbildung 4-40 zeigt eine solche Benutzerseite, die speziell an den Benutzer angepassten Anfragen enthält. Deutlich wird hierbei noch einmal das Potenzial des semantischen WIKIs zur Projektübersicht und -koordination. Durch entsprechend eingerichtete Anfragen kann ein schneller Überblick über Status und Verlauf eines Projektes erstellt werden. Das WIKI dient als Wissensbasis, in dem Methoden, Erfahrungen und Wissen aus Projekten dokumentiert und vernetzt werden. Über die Ontologie können Projektbeiträge leicht in die Prozessstruktur eingegliedert werden und gleichzeitig kann über spezifische Anfragen eine Unterstützung für Projektüberwachungs- und Managementaufgaben geschaffen werden. Durch die umfassende flexible Unterstützung von Kommunikation, Kooperation und Dokumentation im Produktentstehungsprozess entsteht eine umfassende systematische Wissensbasis, die die Grundlage eines wissensbasierten Produktentstehungsprozesses bildet.

Betrachtet man zusammenfassend die Leistungsfähigkeit des iPeM-WIKIs für Produktentstehungsprozesse, so können folgende Elemente durch die Plattform realisiert werden:

- Die Plattform bietet Planungs- und Navigationsunterstützung der Projektakteure auf Basis eines ganzheitlichen Modells.
- Spezifische Werkzeuge und Methoden können in Kombination mit Experten im Produktentstehungsprozess bereitgestellt werden.
- Die offene Struktur schafft eine einfache und flexible, aber umfangreiche und spezifische Projektdokumentation, die die Basis eines wissensbasierten Produktentstehungsprozesses bildet.
- Durch die unterschiedlichen Sichtweisen kann ein Projekt-Cockpit geschaffen werden, durch das auf Informationen für strategische Projektentscheidungen jederzeit zugegriffen werden kann
- Es wird ein übergreifender, offener Standard für die Modellierung von Aktivitäten in der Produktentstehung sowie ein einheitliches Verständnis geschaffen.

Durch die Umsetzung dieser Plattform wurde in dieser Arbeit neben dem iPeM ein ganzheitliches Modell für einen wissensbasierten Produktentstehungsprozess geschaffen.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Am Institut für Produktentwicklung Karlsruhe wird seit zehn Jahren an Systemen, Methoden und Prozessen der Produktentstehung geforscht.

Die vorliegende Arbeit verbindet die hieraus hervorgegangen Ansätze und entwickelt aus ihnen ein ganzheitliches Modell der Produktentstehung. Es beschreibt die komplexen Zusammenhänge der Produktentstehung durch eine Modellsprache und Logik.

Die Arbeit schafft einen ganzheitlichen Ansatz, der – ausgehend von mentalen Modellen in durchgängigen Modellebenen bis hin zu Workflows und operativen Instrumenten – den Produktentstehungsprozess beschreibt. Durch die Modellebenen werden explizite Sichten geschaffen, die Prozessmodellierung, Projektmanagement und methodische Unterstützung im gleichen Maße berücksichtigen. Das Modell schafft ein Modellverständnis, das die Produktentstehung für die verschiedenen Akteure greifbar und verständlich macht.

Im Gegensatz zu klassischen Vorgehens- und Phasenmodellen geht dieser Ansatz davon aus, dass jeder Produktentstehungsprozess individuell ist und es keinen allgemeingültigen gibt. Hierzu baut das integrierte Produktentstehungs-Modell (iPeM) auf einem Metamodell der Aktivitäten in der Produktentstehung auf. Eine Aktivität wird hierbei als kleinstes Element eines Prozesses verstanden. Die Aktivitäten bilden das Handlungssystem, das mit dem Ziel- und Objektsystem in direkter Wechselwirkung steht. Das iPeM überwindet hierdurch zum einen die Probleme phasenübergreifender Wechselwirkungen und Iterationen der Phasenmodelle, zum anderen löst es die Probleme, die in der prozessorientierten Abbildung hochintegrierter Modelle aufkommen, wie z.B. dem V-Modell der Mechatronik.

Die Grundlagen des Ansatzes bauen auf der Systemtheorie und epistemologischen Erkenntnissen auf und werden konsequent umgesetzt. Die Produktentstehung wird durch ein systemtheoretisches Modell aus drei Systemen beschrieben. Hierzu werden die in der Entwicklungsmethodik bereits verwendeten Begriffe des Ziel-, Handlungs- und Objektsystems mit Forderungen, Axiomen und Basisdefinitionen zu einem Ansatz mit einer ganzheitlichen Logik erweitert. Besonderer Fokus der Arbeit liegt auf dem Handlungssystem. Dieses wird mittels der SPALTEN-Matrix aus Aktivitäten des Lebenszyklus' und des Problemlösungsprozesses SPALTEN aufgebaut und durch 70 Aktivitätsfelder beschrieben.

Die ganzheitliche Modellbildung dieser Arbeit basiert auf mentalen Modellen, die den Entwickler direkt unterstützen. Diese mentale Ebene wird durch weitere Modellebenen bis hin zu operativen Instrumenten umgesetzt. Alle Ebenen bauen auf

einfachen, eindeutigen Elementen auf, sodass die Modellbildung im Entwicklungsteam zu einem intersubjektiven Modellverständnis der Produktentstehung etabliert werden kann.

Die Produktentstehung kann durch dieses Modell situativ auf die wesentlichen Elemente reduziert werden, ohne die Gesamtkomplexität außer Acht zu lassen. Auf dieser Grundlage wird ein durchgängiges Produktentstehungs-Modell aufgebaut, das auf alle Entwicklungsprojekte anwendbar ist. Es verknüpft mentale Modelle bis auf die Ebene vernetzter zeitlich geordneter Aktivitäten – dem Workflow. Die Stärke des vorgestellten Modells liegt in der durchgängigen Anwendbarkeit auf allen Betrachtungsebenen. Innerhalb der Arbeit wird der Einsatz des Modells exemplarisch für die Anwendung zur Modellierung eines Prozesses der Mikrotechnik und in Form eines projektbasierten Wissensmanagement-Systems der Produktentstehung in einer semantischen WIKI aufgezeigt.

Das aus dieser Arbeit heraus entstandene integrierte Produktentstehungs-Modell (iPeM) überwindet die Kluft zwischen den unterschiedlichen Ansätzen in der Produktentstehung und verbindet Konstruktionsmethodik, Management und Innovationsansätze zu einem Modell mit durchgängigen Sichtweisen.

Die Ansätze dieser Arbeit sind Teil des Karlsruher Lehrmodells für Produktentwicklung (KaLeP). Die Ingenieure werden in den Lehrveranstaltungen „Methoden der Produktentwicklung“ und „Integrierte Produktentwicklung“ des Hauptdiploms auf Basis dieses Modellverständnisses ausgebildet.<sup>526</sup>

Der weitere Forschungsbedarf liegt in den Ansätzen zur Beschreibung des Zielsystems, der Integration von objektsystemspezifischen Ontologien und der Definition von Aktivitäten und Aktivitätsclustern für Patterns und Referenzprozesse im iPeM. Auf Grundlage des hier vorgestellten Modells sind am Institut bereits weitere Forschungsarbeiten angelaufen. Aufbauend auf dieser Arbeit wird eine ganzheitliche Abbildung des Zielsystems im iPeM erforscht und entwickelt.

Durch das Modell und die konsequente Umsetzung von Elementen aus der Systemtheorie und Epistemologie stellt das iPeM ein Modell dar, das die Produktentstehung für Individuen und Teams in all ihren Facetten beschreibbar macht und dadurch gezielt einen Ansatz schafft, mit Komplexität erfolgreich umzugehen.

---

<sup>526</sup> Vgl. Albers 2006b.

## 6 Literaturverzeichnis

- Ackoff 1994: ACKOFF, R. L.: *Systems thinking and thinking systems*. In: System Dynamics. Review, 10(2-3), pp. 175-188, 1994.
- Adams 2004: ADAMS, M.; BOIKE, D.: *PDMA studies: PDMA foundation CPAS study reveals new trends*. Visions, XXVIII: 3, July 2004, Page. 26-29, 2004.
- Albers 1993: ALBERS, A.: *Simultaneous Engineering an einem Beispiel aus der Kraftfahrzeugzulieferindustrie*. In: EK- VIP Führungskräftetreffen des VDI am 18. Juni 1993 in München, Tagungsband, VDI Verlag, 1993.
- Albers 1994: ALBERS, A.: *Simultaneous Engineering, Projektmanagement und Konstruktionsmethodik - Werkzeuge zur Effizienzsteigerung*. Vortrag auf dem deutschen Konstrukteurstag 1994 6./7. Juni 1994, Fulda VDI-Berichte Nr. 1120, 1994, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1994.
- Albers 1998: ALBERS, A.; BURKARDT, N.: *Experience with the new education model "Integrated Product Development" at the University of Karlsruhe*. In: 4th International Symposium on Product Development in Engineering Education'98. Lohmar, Germany, 1998.
- Albers 1999a: ALBERS, A.; BIRKHOFER, H.; MATTHIESEN, S.: *Neue Ansätze in der Maschinenkonstruktionslehre*. Veröffentlichung zum Beitz Kolloquium 09.07.99, Universität Berlin, 1999a.
- Albers 1999b: ALBERS, A.; MATTHIESEN, S.: *Maschinenbau im Informationszeitalter - Das Karlsruher Lehrmodell*. In: 44. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Maschinenbau im Informationszeitalter; 23.09.1999; Technische Universität Ilmenau, 1999b.
- Albers 2002a: ALBERS, A.; MATTHIESEN, S.: *Konstruktionsmethodisches Grundmodell zum Zusammenhang von Gestalt und Funktion technischer Systeme – Das Elementmodell „Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen“ zur Analyse und Synthese technischer Systeme*. In: Konstruktion, Zeitschrift für Produktentwicklung; Band 54; Heft 7/8 - 2002; Springer-VDI-Verlag GmbH & Co. KG; Düsseldorf, 2002a.
- Albers 2002b: ALBERS, A.; BURKARDT, N.; SAAK, M.: *Gezielte Problemlösung bei der Produktentwicklung mit Hilfe der SPALTEN-Methode*. 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Technische Universität Ilmenau, 23.-26. September, 2002b.
- Albers 2003a: ALBERS, A.; SAAK, M.; BURKARDT, N.: *Methodology in Problem Solving Process*. In: 14th International DAAAM Symposium, Intelligent Manufacturing & Automation, Focus on Reconstruction and Development, Sarajevo, 2003a.
- Albers 2003b: ALBERS, A.; MATTHIESEN, S.; OHMER, M.: *Alterations in students' ability to solve problems by introduction of the Element Model C&CM into the Karlsruhe Education Model for Industrial Product Development KaLeP*. In: 14th International Conference on Engineering Design ICED 03, Stockholm, Schweden, 2003b.
- Albers 2004b: ALBERS, A.; BURKARDT, N.; OHMER, M.: *Principles for Design on the Abstract Level of the Contact & Channel Model C&CM*. Proceedings of the TMCE, Lausanne, Switzerland, 2004b.
- Albers 2004c: ALBERS, A.; OHMER, M.; BURKARDT, N.: *The pair character of Working Surfaces - significant Elements of the Contact & Channel Model C&CM*. In: 14th International CIRP Design Seminar Design in the global village, Cairo, Egypt, 2004c.
- Albers 2005: ALBERS, A.; BURKARDT, N.; MEBOLDT, M.: *SPALTEN problem solving methodology in the product development*. Conference on Engineering Design - ICED, Melbourne, Australia, 2005.
- Albers 2006a: ALBERS, A.; MEBOLDT, M.: *A new Approach in Product Development, based on systems engineering and systematic problem solving*. AEDS 2006 WORKSHOP, Pilsen - Czech Republic, 2006a.
- Albers 2006b: ALBERS, A.; MEBOLDT, M.: *KALEP-Karlsruher Education Model of Product Development and Competence Oriented Education for Engineering Design and Product Development*. In: International Design Research Symposium, Seoul, Korean, 2006b.
- Albers 2006c: ALBERS, A.; ET AL.: *Modellbasierte Methode zur Dimensionierung trockenlaufender Kupplungssysteme auf Basis ingenieurkeramischer und organischer Friktionspaarungen*. GfT - Gesellschaft für Tribologie, Tagungsband Tribologie-Fachtagung, Göttingen, 2006c.

- Albers 2007a: ALBERS, A.; MEBOLDT, M.: *iPeMM- Integrated Product Development Process Management Model, Based on Systems Engineering and Systematic Problem Solving*. In: Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design - ICED 07, Paris, France, 2007a.
- Albers 2007b: ALBERS, A.; MEBOLDT, M.: *SPALTEN Matrix — Product Development Process on the Basis of Systems Engineering and Systematic Problem Solving*. In: Hrsg.: Krause, F.-L.; The Future of Product Development. Springer, Berlin/Heidelberg, 2007b.
- Albers 2007c: ALBERS, A.; MEBOLDT, M.; ET AL.: *Wikis as a Cooperation and Communication Platform within Product Development Processes*. In: Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design - ICED 07, Paris, France, 2007c.
- Albers 2007d: ALBERS, A.; MEBOLDT, M.; ET AL.: *Semantic Wikis in knowledge Management for multidisciplinary product development*. In: Proceedings of 18th DAAAM International Symposium, Zadar, Croatia, 2007d.
- Albers 2008a: ALBERS, A.; MEBOLDT, M.; ET AL.: *Piracy Risk and Measure Analysis*. In: 7th international Heinz Nixdorf Symposium, 2008a.
- Andreasen 2005: ANDREASEN, M. M.: *Concurrent Engineering - effiziente Integration der Aufgaben im Entwicklungsprozess*. In: Handbuch Produktentwicklung, Hanser, München, 2005.
- Ansoff 1965: ANSOFF, I.: *Corporate Strategy*. Mc Graw Hill, New York, 1965.
- Aristoteles 1907: ARISTOTELES: *Metaphysik*. Deutsche Übersetzung von Adolf Lasson; Diedrichs Verlag, Jena, 1907.
- Ashby 1958: ASHBY, W. R.: *Requisite Variety and Its Implications for the Control of Complex Systems*. In: Cybernetica Vol. 1, No 2, Page: 83-99, 1958.
- Asimov 1962: ASIMOV, M.: *Introduction to Design*. Prentice-Hall, New Jersey, 1962.
- Baecker 2005b: BAECKER, D.: *Schlüsselwerke der Systemtheorie*. Verlag der Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2005b.
- Baecker 2006: BAECKER, D.: *Coaching Complexity*. Vortrag auf dem 1. Berliner Coachingtag: <http://www.uni-wh.de/baecker/>, 2006.
- Balazova 2004: BALAZOVA, M.: *Methode zur Leistungsbewertung und Leistungssteigerung der Mechatronikentwicklung*. Dissertation, Universität Paderborn, 2004.
- Banse 2002: BANSE, G.; MEIER, B.; WOLFFGRAMM, H.: *Technikbilder und Technikkonzepte im Wandel – eine technikphilosophische und allgemeintechnische Analyse*. Wissenschaftliche Berichte, Forschungszentrum Karlsruhe (FZKA) 6697, 2002.
- Bateson 1981: BATESON, G.: *Ökologie des Geistes: Anthropologische, psychologische, biologische und epistemologische Perspektiven*. 4. Auflage, Suhrkamp, Frankfurt a.M, 1981.
- Beer 1973: BEER, S.: *Kybernetische Führungslehre*. Herder & Herder, Frankfurt/New York, 1973.
- Below 2001: BELOW, C.: *Wissen preisgeben: Die Angst der Experten vor dem Machtverlust*. In: Antoni, C.H./Sommerlatte, T. (Hrsg.): Report Wissensmanagement. Wie deutsche Firmen ihr Wissen profitabel machen, Düsseldorf, S. 67, 2001.
- Bertalanffy 1951: BERTALANFFY, L. von: *General system theory: A new approach to unity of science*. John Hopkins Press, 1951.
- Berth 1993: BERTH, R.: *Der kleine Wurf*. In: Manager Magazin, Jg. 23, Heft. 4, S. 214-227, 1993.
- Beyes 2002: BEYES, T. P.: *Kontingenz und Management*. Dissertation, St. Gallen, 2002.
- Birkhofer 1998: BIRKHOFFER, H.; DANNHEIM, F.; GRÜNER, C.: *Umwelt- und marktgerechte Produkte - Utopie oder ernsthaftes Entwicklungsziel?*. In: VDI-Berichte 140 – Markt- und Kostenvorteile durch Entwicklung umweltverträglicher Produkte. Düsseldorf, 1998.
- Birkhofer 2003: BIRKHOFFER, H.; JÄNSCH, J.: *Interaction between Individuals: Summary of Discussion*. In: Lindemann, U. (Ed.): Human Behaviour in Design – Individuals, Teams, Tools. Berlin et al.: Springer, S. 195-202, 2003.
- Birkhofer 2004: BIRKHOFFER, H.: *There is nothing as practical as a good Theory – An Attempt to deal with the Gap between Design Research and Design Practice*. In: Proceedings of International Design Conference Design 2004, Dubrovnik (Kroatien), S. 7-14., 2004.
- Bolz 1997: BOLZ, N.: *Die Sinngesellschaft*. Düsseldorf, 1997.
- Bolz 2007: BOLZ, N.: *Simplexity – weniger Informationen, mehr Möglichkeiten auf dem Weg zum Kunden*. In: Tagungsband, Handelsforum, 2007.

- Borchert 2004: BORCHERT, J.; GOOS, P.; STRAHLER, B.: *Forschungsansätze*. Hrsg.: Matthias Schumann. Institut für Wirtschaftsinformatik. Universität Göttingen. Arbeitsbericht Nr. 25, 2004.
- Brandeins 2006: BRANDEINS: *Einfach mehr. Schwerpunkt: Komplexität*. Brandeins Ausgabe 1, 2006.
- Brandeins 2007a: BRANDEINS: *Schwerpunkt Ideenwirtschaft: Achtung sie Betreten die Kreative Zone*. Brandeins Ausgabe 5, 2007a.
- Brander 1985: BRANDER, S.; KOMPA, A.; PELTZER, U.: *Denken und Problemlösen. Einführung in die kognitive Psychologie*. 2. Auflage, Verlag für Sozialwissenschaften, 1985.
- Breiting 1997: BREIING, A.; KNOSOLA, R.: *Bewerten technischer Systeme: theoretische und methodische Grundlagen bewertungstechnischer Entscheidungshilfen*. Springer, Berlin, 1997.
- Brockhaus Multimedial 2007: BROCKHAUS MULTIMEDIAL: *Brockhaus multimedial*. Dudenverlag, Mannheim, 2007.
- Browning 2006: BROWNING, T. R.; FRICKE, E.; NEGELE, H.: *Key Concepts in Modeling Product Development Processes*. In: Systems Engineering Volume 9, Issue 2, Pages: 104-128, 2006.
- Buggie 1982: BUGGIE, F. D.: *Strategies for New Product Development*. In: Long Range Planning, Volume 15, Issue 2, Pages 22-31, 1982.
- Burmeister 2006: BURMEISTER, K.; NEEF, A.: *Der Stoff aus dem die Zukunft ist Streitschrift für eine Innovationskultur*. eCulture Factory: Fraunhofer IAIS, 2006.
- Burns 1962: BURNS, T.; STALKER, G. M.: *The Management of Innovation*. Tavistock, London,, 1962.
- Cassirer 1902: CASSIRER, E.: *Leibniz' System in seinen wissenschaftlichen Grundlagen*. N. G. Elwert'sche Verlagsbuchhandlung, Marburg/Lahn, 1902.
- Chase 1973: CHASE, W.G.; SIMON, H. A.: *Perception in chess*. In: Cognitive Psychology 4, p. 55-81, 1973.
- CMMI 2002: CMMI: *Capability Maturity Model Integration (CMMI), Version 1.1. Continuous Representation*. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2002.
- Conant 1970: CONANT, R. C.; ASHBY, W. R.: *Every Good Regulator of a System must be a model of that System*. In: International Journal of Systems Science, Vol. 1, No. 2, 89-97, 1970.
- Cooper 1994: COOPER, R. G.: *Perspective: Third-Generation New Product Processes*. Journal of Product Innovation Management, Vol.11, S. 3-14., 1994.
- Cooper 2002a: COOPER, R. G.; EDGETT, S. J.; KLEINSCHMIDT, E. J.: *What Best Practice Companies Are Doing*. IN: Research Technology Management. Volume 45, Number 5, 2002a.
- Cooper 2005: COOPER, R. G.: *Your NPD portfolio may be harmful to your business's health*. PDMA Visions April 2005 Vol. XXIX No. 2, 2005.
- Daenzer 2002: DAENZER, W. F.; HUBER, F.: *Systems Engineering*. Verlag Industrielle Organisation, 2002.
- Darwin 1884: DARWIN, C.: *Die Entstehung der Arten*. Alfred Kröner Verlag, Leipzig, 1884.
- Debus 2002: DEBUS, C.: *Routine und Innovation*. Books on Demand, Norderstedt, 2002.
- DeGroot 1978: DEGROOT, A. D.: *Thought and Choice in Chess*. Mouton Publishers, 1978.
- Digitale Bibliothek 2004: DIGITALE BIBLIOTHEK: *Digitale Bibliothek*. 2. Ausgabe, Digitale Bibliothek Band 3, Berlin, 2004.
- DIN 32705 1987: DIN 32705: *Klassifikationssysteme, Erstellung und Weiterentwicklung von Klassifikationssystemen*. Beuth Verlag, 1987.
- DIN 69905 1997: DIN 69905: *Projektwirtschaft - Projektabwicklung - Begriffe*. Beuth, Berlin, 1997.
- Dörner 1978: DÖRNER, D.; REITHER, F.: *Über das Problemlösen in sehr komplexen Realitätsbereichen*. Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie 25/78 Heft 4, S. 527-551, 1978.
- Dörner 1983: DÖRNER, D.; KREUZIG, H. W.; REITHER, F.: *Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Hans Huber, Bern/Stuttgart/Wien, 1983.
- Dörner 1987: DÖRNER, D.: *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. 3. Auflage, Kohlhammer, Stuttgart, 1987.
- Dörner 1998: DÖRNER, D.: *Logik des Misslingens – Strategisches Denken in komplexen Situationen*. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, 1998.
- Drucker 1969: DRUCKER, P. F.: *The Age of Discontinuity. Guidelines to our Changing Society*. New York: Harper Row, 1969.

- Drucker 1993: DRUCKER, P.: *Post-Capitalist Society*. Harper Business Press, 1993.
- Dubs 2004: DUBS, R.; EULER, D.; RÜEGG-STÜRM, J.: *Einführung in die Managementlehre*. Haupt, Stuttgart/Bern, 2004.
- Dueck 2006: DUECK, G.: *Lean Brain Management - Erfolg und Effizienzsteigerung durch Null-Hirn*. Springer, Berlin, 2006.
- Duncker 1935: DUNCKER, K.: *Zur Psychologie des Produktiven Denkens*. Springer, Berlin/Heidelberg/New York, 1935.
- Ehrlenspiel 1995: EHRENSPIEL, K.: *Integrierte Produktentwicklung*. 1. Auflage, Hanser, München, 1995.
- Ehrlenspiel 2003: EHRENSPIEL, K.: *Integrierte Produktentwicklung*. 3. Auflage, Hanser, München, 2003.
- Einstein 1907: EINSTEIN, A.: *Bemerkungen zu der Notiz von Hrn. Paul Ehrenfest: Die Translation deformierbarer Elektronen und der Flächensatz*. In: *Annalen der Physik*. 1907.
- Einstein 2002: EINSTEIN, A.: *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*. Springer, Berlin/Heidelberg, 2002.
- Eisler 2004: EISLER, R.: *Wörterbuch der philosophischen Begriffe. Geschichte der Philosophie*. 2. Ausgabe, Digitale Bibliothek Band 3, Berlin, 2004.
- Ellul 1995: ELLUL, J.: *The Technological Society*. Jonathan Cape, London, 1995.
- Europäische Kommission 2003: EUROPÄISCHE KOMMISSION: *Das Humankapital in der wissensbasierten globalen Wirtschaft — Abschlussbericht*. Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, 2003.
- Fehling 2002: FEHLING, G.: *Aufgehobene Komplexität: Gestaltung und Nutzung von Benutzungsschnittstellen*. Verlag im Internet, Berlin, 2002.
- Foerster 1993: FOERSTER, H. von: *KyberEthik*. Merve, Berlin, 1993.
- Foerster 1996: FOERSTER, H. von: *Wissen und Gewissen. Versuch einer Brücke*. 3. Aufl., Suhrkamp, Frankfurt a.M., 1996.
- Frank 1997: FRANK, U.: *Erfahrung, Erkenntnis und Wirklichkeitsgestaltung Anmerkungen zur Rolle der Empirie in der Wirtschaftsinformatik*. Erschienen in: Grün, O.; Heinrich, L.J.: *Wirtschaftsinformatik - Ergebnisse empirischer Forschung*. Berlin, Springer/Heidelberg. S. 21-35, 1997.
- Frank 2003: FRANK, U.: *Einige Gründe für die Wiederbelebung der Wissenschaftstheorie*. In: *Die Betriebswirtschaft*, Jg. 3/03, S. 278-292, 2003.
- Franke 1985: FRANKE, H.: *Konstruktionsmethodik und Konstruktionspraxis – eine kritische Betrachtung*. In: *Proceedings of ICED85*, Vol. 2 Page. 910-920, 1985.
- Freeman 1974: FREEMAN, C.: *The Economics of Industrial Innovation*. Printer, London, 1974.
- Fuchs 2006: FUCHS, B.: *Definition eines Vorgehensmodells zur Prozessverbesserung mit Hilfe von CMMI*. Diplomarbeit, TU-Darmstadt; Fachbereich Informatik -Fachgebiet Metamodellierung, 2006.
- Funkat 2003: FUNKAT, A.-K.; FUNKAT, G.: *Prozessbasiertes Knowledge Engineering in medizinischen Problemdomänen*. Dissertation, Universität Ilmenau, 2003.
- Funke 1992: FUNKE, J.: *Wissen über dynamische Systeme: Erwerb, Repräsentation und Anwendung*. Springer, Berlin, 1992.
- Funke 2003: FUNKE, J.: *Problemlösendes Denken*. Kohlhammer, Stuttgart, 2003.
- Funke 2006: FUNKE, J.: *Enzyklopädie der Psychologie / Serie 2: Denken und Problemlösen. Kognition C/II/Bd. 8: Bd. C/II/5*. Hogrefe-Verlag, 2006.
- Galbraith 1973: GALBRAITH, J.: *Designing complex organizations*. Addison-Wesley, 1973.
- Gaus 1995: GAUS, W.: *Dokumentations- und Ordnungslehre. Theorie und Praxis des Information Retrieval*. 2. Auflage. Springer, Berlin/Heidelberg, 1995.
- Gausemeier 2002: GAUSEMEIER, J.: *Strategiekompetenz und Agilität*. Unternehmertagung 2002 des VDMA 6./7. November, 2002.
- Gerst 2002: GERST, M.: *Strategische Produktentscheidungen in der integrierten Produktentwicklung*. Dr. Hut, München, 2002.

- Gierhardt 2001: GIERHARDT, H.: *Global verteilte Produktentwicklung*. Dr. Hut, München, 2001.
- Gigerenzer 2006: GIGERENZER, G.: *Einfache Heuristiken für komplexe Entscheidungen*. In: Mathematisierung der Natur, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, 2006.
- Gigerenzer 2007: GIGERENZER, G.; GAISSMAIER, W.: *Denken und Urteilen unter Unsicherheit: Kognitive Heuristiken*.  
[http://www.forum.mpg.de/archiv/veranstaltung9/hintergrund/kognitive\\_heuristiken.pdf](http://www.forum.mpg.de/archiv/veranstaltung9/hintergrund/kognitive_heuristiken.pdf)  
22.12.2008.
- Gilmore 1995: GILMORE, D.; LEIGHTON, J.: *Keeping one PACE ahead of the Competition*. Engineering Management Journal, April, 1995.
- Glaserfeld 1992: GLASERSFELD, E. von: *Konstruktion der Wirklichkeit und des Begriffs der Objektivität*. In: *Einführung in den Konstruktivismus*. Piper, München/Zürich, 1992.
- Gomez 1995: GOMEZ, P.; PROBST, G.: *Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens*. Verlag Paul Haupt, Stuttgart/Bern, 1995.
- Größler 2004: GRÖßLER, A.; SCHIERITZ, N.: *Begrenzte Rationalität in der Modellstruktur und bei der Modellentwicklung – das Beispiel System Dynamics*. In: Fischer, T. (Hrsg.): *Kybernetik und Wissensgesellschaft*. Berlin, 2004.
- Gruber 1993: GRUBER, T. R.: *Toward Principles for the Design of Ontologies. Used for Knowledge Sharing*. In: Poli R. (Hrsg.): *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*. Technical Report KSL 93-04, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, 1993.
- Habermas 1988: HABERMAS, J.: *Theorie des kommunikativen Handelns, Band II*. Suhrkamp Verlag, Frankfurt a.M., 1988.
- Hansen 1968: HANSEN, F.: *Konstruktionssystematik. Grundlagen für eine allgemeine Konstruktionslehre*. 3. Aufl. Verl. Technik, Berlin, 1968.
- Hars 1994: HARS, A.: *Referenzdatenmodelle: Grundlagen effizienter Datenmodellierung*. Gabler, Wiesbaden, 1994.
- Hauschildt 1993: HAUSCHILDT, J.: *Innovationsmanagement*. Vahlen, München, 1993.
- Hauschildt 1999: HAUSCHILDT, J.; GEMÜNDE, H. G.: *Promotoren, Champions der Innovation*. 2. erw. Auflage, Wiesbaden, 1999.
- Hayek 1996: HAYEK, F. A.: *Die Anmaßung von Wissen*. In: *Neue Freiburger Studien*. Tübingen, 1996.
- Hellige 1995: HELLIGE, D.: *Hierarchische ablaufsteuerung oder kooperative Bewältigung von Problemzusammenhängen? Zur Geschichte von Modellen des Konstruktionsprozesses*. In: *Kooperation in der Arbeits- und Technikgestaltung*. Lit Verlag., Münster/Hamburg, 1995.
- Herstatt 2006: HERSTATT, C.; VERWORN, B.: *Management der frühen Innovationsphasen: Grundlagen - Methoden - Neue Ansätze*. Gabler, Wiesbaden, 2006.
- Holland 1992: HOLLAND, J. H.: *Complex adaptive systems*. In: *Daedalus* 121, 1. pp. 17-30., 1992.
- Horvath 2006: HORVATH, I.: *On the differences between research in design context and design inclusive research*. In: Kim Y.S. (Ed.), *Proceedings of International Design Research Symposium: International Design Research '06* (pp. 381-394). Seoul, 2006.
- Hubka 1992: HUBKA, V.; EDER, E.: *Einführung in die Konstruktionswissenschaft*. Springer, Berlin/Heidelberg, 1992.
- Hubka 1996: HUBKA, V.; EDER, W. E.: *Design Science*. Springer, Berlin/Heidelberg, 1996.
- Hughes 1996: HUGHES, G. D.; CHAFIN, D. C.: *Turning New Product Development into a Continuous Learning*. *Process. Journal of Product Innovation Management* 13; p. 89-104, 1996.
- Hussy 1984: HUSSY, W.: *Denkpsychologie I. Geschichte, Begriffs- und Problemlöseforschung, Intelligenz. Ein Lehrbuch*. Kohlhammer, Stuttgart, 1984.
- Hutterer 2005: HUTTERER, P.: *Reflexive Dialoge und Denkbausteine für die methodische Produktentwicklung*. Dissertation, Universität München, 2005.
- Jänsch 2004: JÄNSCH, J.; BIRKHOFFER, H.: *The Gap between Learning and Applying Design Methods*. In: Marjanovic, D. (Ed.): *International Design Conference Design 2004, Dubrovnik (Kroatien)*, Zagreb, S. 627-632, 2004.
- Jänsch 2007: JÄNSCH, J.: *Akzeptanz und Anwendung von Konstruktionsmethoden im industriellen Einsatz*. *Fortschritt-Berichte VDI*, 2007.

- Janis 1982: JANIS, I.: *Groupthink. Psychological Studies of Policy Decisions and Fiascoes*. 2. Auflage, Houghton Mifflin Company, Boston, 1982.
- Jetter 2005: JETTER, A.: *Produktplanung im Fuzzy Front End*. Gabler, Wiesbaden, 2005.
- Jordan 1983: JORDAN, W.: *Die Diskrepanz zwischen Konstruktionspraxis und Konstruktionsmethodik*. In: Proceedings of ICED83 Vol. 2, 1983.
- Jörg 2005: JÖRG, M.: *Ein Beitrag zur ganzheitlichen Erfassung und Integration von Produktanforderungen mit Hilfe linguistischer Methoden*. Shaker Verlag, Dissertation, Universität Karlsruhe, 2005.
- Kablouti 2007: KABLOUTI, G.: *Vom Wissensmanagement zur Managementfunktion von Wissen: Ein systemisches Managementmodell für den wissensintensiven Wettbewerb*. Dissertation, Universität St. Gallen, 2007.
- Kahn 2003: KAHN, K. B.; FRANZAK, F.; GRIFFIN, A.: *Editorial: Identification and Consideration of Emerging Research Questions*. In: Journal of Product Innovation Management, Vol.20, No. 3, Page. 192-201, 2003.
- Kempski 1964: KEMPSKI, J.: *Brechungen - Kritische Versuche zur Philosophie der Gegenwart*. Rowohlt Taschenbuch Verlag, Reinbek bei Hamburg, 1964.
- Kesselring 1954: KESSELRING, F.: *Technische Kompositionslehre*. Berlin: Springer, Berlin/Heidelberg, 1954.
- Khurana 1997: KHURANA, A.; ROSENTHAL, S. R.: *Integrating the Fuzzy Front End of New Product Development*. Sloan Management Review Vol. 38 No. 2, S.104-112, 1997.
- Kirsch 1992: KIRSCH, W.: *Kommunikatives Handeln, Autopoiese, Rationalität*. Kirsch, Herrsching, 1992.
- Klabunde 2003: KLABUNDE, S.: *Wissensmanagement in der integrierten Produkt- und Prozessgestaltung*. Gabler, Wiesbaden, 2003.
- Kliemt 1986: KLIEMT, H.: *Grundzüge der Wissenschaftstheorie*. Gustav Fischer, Stuttgart/New York, 1986.
- Koen 2001: KOEN, P. A.; ET. AL.: *Providing Clarity and a Common Language to the "Fuzzy Front End"*. Research-Technology Management, (March-April 2001): pp 46-55, 2001.
- Koen 2002: KOEN, P. A.; AJAMIAN, G. M.; BOYCE, S.: *Fuzzy front end: effective methods, tools, and techniques*. The PDMA Toolbook for New Product Development, John Wiley & Sons, New York, NY, pp.5-35., 2002.
- Köhler 1921: KÖHLER, W.: *Intelligenzprüfungen am Menschenaffen*. Springer, Berlin/Heidelberg, 1921.
- Kowol 1998: KOWOL, U.: *Innovationsnetzwerke*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 1998.
- Krause 2006: KRAUSE, F.L.; FRANKE, H.-J.; GAUSEMEIER, J.: *Innovationspotentiale in der Produktentwicklung*. Hanser, München, 2006.
- Kuhn 1976: KUHN, T. S.: *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Suhrkamp, Frankfurt a. M., 1976.
- Kurtz 2003: KURTZ, C. F.; SNOWDEN, D. J.: *The new dynamics of strategy: Sense-making in a complex and complicated world*. In: IBM Systems Journal, Vol. 42, No. 3., 2003.
- Kuttig 2005: KUTTIG, F.: *Verteilte kooperative Geräteentwicklung in der Mechatronik*. Dissertation, Universität München, 2005.
- Lassmann 2006: LASSMANN, W.: *Wirtschaftsinformatik*. Gabler, Wiesbaden, 2006.
- Lembke 2001: LEMBKE, G.: *Die Lernende Organisation als Grundlage einer entwicklungsfähigen Unternehmung*. Tectum, Marburg, 2001.
- Liessmann 1997: LIESSMANN, K.: *Gabler Lexikon Controlling und Kostenrechnung*. Gabler, Wiesbaden, 1997.
- Lindblom 1959: LINDBLOM, C. E.: *The Science of "Muddling Through"*. Public Administration Review, Vol. 19, No. 2, pp. 79-88, 1959.
- Lindemann 2005: LINDEMANN, U.: *Methodische Entwicklung technischer Produkte*. Springer, Berlin/Heidelberg, 2005.
- Lindemann 2007: LINDEMANN, U.: *Entwicklungsmanagement*. Vorlesungsumdruck, Lehrstuhl für Produktentwicklung München, 2007.

- Lossack 2006: LOSSACK, R. S.: *Wissenschaftstheoretische Grundlagen für die rechnergestützte Konstruktion*. Springer, Berlin/Heidelberg, 2006.
- Luchins 1959: LUCHINS, A. S.; LUCHINS, E.: *Rigidity of behavior, a variational approach to the effect of Einstellung*. Eugene, Univ. of Oregon Books, 1959.
- Ludwig 2000: LUDWIG, B.: *Management komplexer Systeme – Der Umgang mit Komplexität bei unvollkommener Information*. VDI Verlag, Düsseldorf, 2000.
- Luhmann 1984: LUHMANN, N.: *Soziale Systeme: Grundriß einer allgemeinen Theorie*. Suhrkamp, Frankfurt a.M., 1984.
- Luhmann 1991: LUHMANN, N.: *Wie lassen sich latente Strukturen beobachten?*. in Watzlawick, P., Krieg, P. (Eds), *Das Auge des Betrachters: Beiträge zum Konstruktivismus*. Festschrift für Heinz von Foerster. Piper, München, pp. 61-74, 1991.
- Luhmann 1994: LUHMANN, N.: *Die Wissenschaft der Gesellschaft. 2. Auflage*. Suhrkamp, Frankfurt a. M., 1994.
- Luhmann 1996: LUHMANN, N.: *Die Realität der Massenmedien. 2. Auflage*, Westdeutscher Verlag, Opladen, 1996.
- Lyre 1998: LYRE, H.: *Die Quantentheorie der Information*. Springer, Berlin/Heidelberg, 1998.
- Malik 2001: MALIK, F.: *Wissen kann man nicht managen - nur Mitarbeiter*. Welt am Sonntag, Berufswelt, 05.08.2001, S. 2, 2001.
- Marz 2005: MARZ, J.: *Mikrospezifischer Produktentwicklungsprozess ( $\mu$ PEP) für werkzeuggebundene Mikrotechniken*. Dissertation, Forschungsberichte des Instituts für Produktentwicklung, Band 17, 2005.
- Matthiesen 2002: MATTHIESEN, S.: *Ein Beitrag zur Basisdefinition des Elementmodells "Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen" zum Zusammenhang von Funktion und Gestalt technischer Systeme*. Dissertation, Karlsruhe, 2002.
- Maturana 1990: MATURANA, H. R.; VALERA, F. J.: *Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*. Goldmann, Bern/München/Wien, 1990.
- Mayer 2006: MAYER, U.: *Aufbau einer Wissenskomponente für das aspektorientierte Prozessmanagement*. Dissertation, Universität Erlangen, 2006.
- McCarthy 1956: MCCARTHY, J.: *The Inversion of Functions Defined by Turing Machines*. In: Automata Studies, 177-181. Princeton University Press, Princeton, 1956.
- McGrath 1996: MCGRATH, M. E.: *Setting the PACE in Product Development*. Butterworth-Heinemann, Burlington, 1996.
- McGrath 2004: MCGRATH, M. E.: *Next Generation Product Development: How to Increase Productivity, Cut Costs and Reduce Cycle Times*. McGraw-Hill Companies, 2004.
- Meboldt 2002: MEBOLDT, M.: *Entwicklung eines Risikomanagementprozesses in der Produktentwicklung*. Diplomarbeit, wbk Universität Karlsruhe, 2002.
- Meerkamp 2007: MEERKAMP, H.: *Prozesse: eine aktuelle Herausforderung in der Produktentwicklung*. In: Konstruktion 9/07, Springer, 2007.
- Meier 2008: MEIER, M.: *Markt-Leistungs-Prozess. thekey to Innovation*. ETH Zürich [http://e-collection.ethbib.ethz.ch/ecol-pool/lehr/lehr\\_46.pdf](http://e-collection.ethbib.ethz.ch/ecol-pool/lehr/lehr_46.pdf) 12.12.2008, 2008.
- Meyer 2006: MEYER, B.: *Der Paradigmenwechsel im Wissensmanagement: Wissensmanagement(systeme) über drei Generationen*. Diskussionspapier des Lehrstuhls Organisations- und Sozialpsychologie, Humboldt-Universität zu Berlin., 2006.
- Mieg 2000: MIEG, H. A.: *Vom ziemlichen Unvermögen der Psychologie, das Tun der Experten zu begreifen*. Erschienen in: R. K. Silbereisen & M. Reitzle (Hrsg.), Bericht über den 42. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie. S. 635-648, 2000.
- Miller 1956: MILLER, G. A.: *Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information*. The Psychological Review, Vol. 63, pp. 81-97, 1956.
- Mintzberg 1992: MINTZBERG, H.: *Die Mintzberg-Struktur. Organisationen effektiver gestalten*. Verlag Moderne Industrie, Landsberg am Lech, 1992.
- Morris 1938: MORRIS, C.W.: *Foundation of the theory of signs*. Chicago, 1938.
- Mühlethaler 2005: MÜHLETHALER, B.: *Wissensmanagement - Stand der Forschung und Diskussionsschwerpunkte*. Lizentiatsarbeit, Universität Bern, 2005.

- Müller 1970: MÜLLER, J.: *Grundlagen der Systematischen Heuristik, Schriften zur Sozialistischen Wirtschaftsführung*. Dietz-Verlag, Berlin, 1970.
- Müller-Stewens 2001: MÜLLER-STEWENS, G.; LECHNER, C.: *Strategisches Management. Wie strategische Initiativen zum Wandel führen - Der St.Galler General Management Navigator*. Stuttgart, Schäffer-Poeschel, 2001.
- Negele 1998: NEGELE, H.: *Systemtechnische Methodik zur ganzheitlichen Modellierung am Beispiel der integrierten Produktentwicklung*. Herbert Utz, München, 1998.
- Nelson 1977: NELSON, R. R.; WINTER, S. G.: *In Search of a Useful Theory of Innovation*. In: Research Policy. Volume 6, Issue 1, Pages 36-76 January, 1977.
- Neveling 2002: NEVELING, S.; BUMKE, S.; DIETRICH, J.-H.: *Ansätze wirtschaftswissenschaftlicher und soziologischer Innovationsforschung*. Hoffmann-Riem (Hrsg.): Innovation und rechtliche Regulierung. Schlüsselbegriffe und Anwendungsbeispiele rechtswissenschaftlicher Innovationsforschung. In: CERI (ed.) Hamburg, 2002.
- Newell 1963: NEWELL, A.; SIMON, H.: *GPS: A program that simulates human thought*. In: Computers and thought. McGraw-Hill, New York, 1963.
- Nonaka 1991: NONAKA, I.; TAKEUCHI, H.: *The Knowledge creating Company*. Harvard Business Review, 69, November-December, 96-104, 1991.
- Nonaka 1998: NONAKA, I.; KONNO, N.: *The concept of "Ba": Building a Foundation for Knowledge Creation*. In: California Management Review, 40. Jg. (1998) Nr. 3, S. 40-55, 1998.
- Nooteboom 2003: NOOTEBOOM, B.: *Inter-Firm Collaboration, Networks and Strategy: An Integrated Approach*. Routledge, New York, 2003.
- North 1999: NORTH, K.: *Wissensorientierte Unternehmensführung: Wertschöpfung durch Wissen*. Gabler, Wiesbaden, 1999.
- North 2000: NORTH, K.; ROMHARDT, K.; PROBST, G.: *Wissensgemeinschaften - Keimzellen lebendigen Wissensmanagements*. In: ioManagement Nr. 7/8, 2000.
- OECD 1996: OECD: *The Knowledge-Based Economy*. General Distribution OECD/GD (96)102. Paris, 1996.
- Ossimitz 2000: OSSIMITZ, G.: *Entwicklung systemischen Denkens. Theoretische Konzepte und empirische Untersuchungen*. Profil, München, 2000.
- Ottosson 2006: OTTOSSON, S.: *Handbook in Innovation Management - Dynamic Business & Product Development*. Gothenburg, Sweden, 2006.
- Pahl 1997: PAHL, G.; BEITZ, W.: *Konstruktionslehre: Grundlagen Erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung*. Springer, Berlin/Heidelberg, 1997.
- Parsons 1951: PARSONS, T.: *Toward a General Theory of Action: Theoretical Foundations for the Social Sciences*. Harvard University Press, 1951.
- Patzak 1982: PATZAK, G.: *Systemtechnik, Planung komplexer innovativer Systeme. Grundlagen, Methoden, Techniken*. Springer, Berlin, 1982.
- Pennel 1989: PENNEL, J. P.; WINNER, R. I.: *Concurrent Engineering: Practices & Prospects - Institute for Defense Analyses*. IEEE Global Telecommunications Conference and Exhibition Part 1. 27-30 Nov, 1989.
- PMBOK 2003: PMBOK: *Extension to: A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*. Defense Acquisition University Press: Fort Belvoir, Virginia, 2003.
- Polanyi 1985: POLANYI, M.: *Implizites Wissen*. Suhrkamp, Frankfurt a.M., 1985.
- Popper 1935: POPPER, K. R.: *Logik der Forschung*. Springer, Berlin/Heidelberg, 1935.
- Popper 1968: POPPER, K. R.: *Was ist Dialektik?*. In: Ernst Topitsch (Hrsg.): Logik der Sozialwissenschaften 5, S. 262-290, 1968.
- Popper 1984: POPPER, K. R.: *Objektive Erkenntnis. Ein evolutionärer Entwurf*. Hoffmann & Campe, Hamburg, 1984.
- Probst 1999: PROBST, G.; RAUB, S.; ROMHARDT, K.: *Wissen managen: wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen (3. Aufl.)*. Gabler, Wiesbaden, 1999.
- Pulm 2004: PULM, U.: *Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung*. Dissertation, Universität München, 2004.

- Puntschart 2006: PUNTSCHART, I.: *Wissensaustausch über (un)moderierte Diskussionsforen*. Dissertation, Universität Graz, 2006.
- Radio Bremen 2002: RADIO BREMEN: *"Ich sehe was, was du nicht siehst" - Niklas Luhmanns Systemtheorie - ein 'Kinderspiel' mit Folgen*. Ein Radio-Feature von Peter Zudeick für Radio Bremen vom 8.12.2002, dem 75. Geburtstag N. Luhmanns, 2002.
- Rammert 1989: RAMMERT, W.: *Das Innovationsdilemma: Technikentwicklung im Unternehmen*. Westdeutscher Verlag, Opladen, 1989.
- Rammert 1998: RAMMERT, W.: *Was ist Technikforschung? Entwicklung und Entfaltung eines sozialwissenschaftlichen Forschungsprogramms*. In: B. Heintz/B. Nievergelt (Hrsg.): *Wissenschafts- und Technikforschung in der Schweiz*, S. 161-193, 1998.
- Rammert 2000: RAMMERT, W.: *Technik und Gesellschaft. Jahrbuch 9.: Innovationen - Prozesse, Produkte, Politik Technik und Gesellschaft. Jahrbuch 9., Innovationen - Prozesse, Produkte, Politik*. Campus, Frankfurt a. M., 2000.
- Redtenbacher 1952: REDTENBACHER, F. J.: *Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaus*. VDM Verlag. Dr. Müller, 1952.
- Reinmann-Rothmeier 2001: REINMANN-ROTHMEIER, G.; MANDL, H.: *Ein pädagogisch-psychologischer Ansatz zum Wissensmanagement - ein Widerspruch in sich?*. *ioManagement*, 11, 68-75, 2001.
- Riedler 1896: RIEDLER, A.: *Das Maschinen-Zeichnen*. Springer, Berlin, 1896.
- Ritter 1998: RITTER, J.; GRÜNDER, K.; GABRIEL, G.: *Historisches Wörterbuch der Philosophie. Bd. 5*. Schwabe, Basel, 1998.
- Rodenacker 1994: RODENACKER, W. G.: *Methodisches Konstruieren*. 4. Aufl., Springer, Berlin, 1994.
- Ropohl 1978: ROPOHL, G.: *Maßstäbe der Technikbewertung - Vorträge und Diskussion*. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1978.
- Ropohl 1979: ROPOHL, G.: *Eine Systemtheorie der Technik - Zur Grundlegung der allgemeinen Technologie*. Carl Hanser Verlag, München Wien, 1979.
- Ropohl 1999: ROPOHL, G.: *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik*. München: Hanser, München. 2. Aufl., 1999.
- Ropohl 2005: ROPOHL, G.: *Allgemeine Systemtheorie als transdisziplinäre Integrationsmethode*. In: *Method(olog)ische Fragen der Inter- und Transdisziplinarität – Wege zu einer praxisstützenden Interdisziplinaritätsforschung*. *Technikfolgenabschätzung Theorie und Praxis* Nr. 2, 14. Jahrgang, 2005.
- Rosenberg 1983: ROSENBERG, N.: *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge University Press, Cambridge, 1983.
- Roth 1994: ROTH, K.: *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Konstruktionslehre*. 2. Auflage, Band 1., Springer, Berlin/Heidelberg, 1994.
- Rüegg-Stürm 2005: RÜEGG-STÜRM, J.: *Das neue St. Galler Management-Modell*. Haupt, Stuttgart/Bern, 2005.
- Rupprecht 2002: RUPPRECHT, C.: *Ein Konzept zur projektspezifischen Individualisierung von Prozessmodellen*. Dissertation, Universität Karlsruhe, 2002.
- Saak 2006: SAAK, M.: *Entwicklung eines Konzeptes und eines Prototypen für ein rechnergestütztes Werkzeug zum effizienten Einsatz der Problemlösungsmethodik „SPALTEN“*. *Forschungsberichte des Instituts für Produktentwicklung*, Band 23, Karlsruhe, 2006.
- Schanz 1988: SCHANZ, G.: *Methodologie für Betriebswirte*. 2. Aufl., Stuttgart, Poeschel, 1988.
- Scheer 1996: SCHEER, A.-W.: *ARIS House of Business Engineering - Konzept zur Beschreibung und Ausführung von Referenzmodellen*. In: Becker J., Rosemann M., Schütte R. (Hrsg.): *Entwicklungsstand und Entwicklungsperspektiven der Referenzmodellierung*. *Arbeitsbericht Nr. 52 des Instituts für Wirtschaftsinformatik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster*. S. 3-15. Münster, 1997.
- Schlitt 2003: SCHLITT, M.: *Grundlagen und Methoden für Interpretation und Konstruktion von Informationssystemmodellen*. Dissertation, Universität Bamberg, 2003.
- Schmid 1999: SCHMID, M. R.: *Wissensmanagement für den Innovationsprozeß*. Dissertation, Universität Bielefeld, 1999.

- Schmidt 1992: SCHMIDT, J.: *Der Diskurs des radikalen Konstruktivismus*. Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft, Frankfurt a.M., 1992.
- Schmookler 1966: SCHMOOKLER, J.: *Invention and Economic Growth*. Harvard University Press, Cambridge, 1966.
- Schneider 1974: SCHNEIDER, M.: *Analysis und Synthesis bei Leibniz*. Dissertation, Universität Bonn, 1974.
- Schneider 2001: SCHNEIDER, U.: *Die 7 Todsünden im Wissensmanagement. Kardinaltugenden für die Wissensökonomie*. Frankfurter Allgemeine Buch, 2001.
- Scholl 2004: SCHOLL, W.: *Innovation und Information*. Hogrefe, Göttingen, 2004.
- Schön 1992: SCHÖN, D. A.: *Designing as Reflective Conversation with the Materials of a Design Situation*. In: Research in Engineering Design No. 3, p. 131-147, 1992.
- Schreyögg 2003: SCHREYÖGG, G.; GEIGER, D.: *Kann die Wissensspirale Grundlage des Wissensmanagements sein?*. Diskussionsbeitrag Nr. 20 des Instituts für Management der Freien Universität Berlin, 2003.
- Schröder 2003: SCHRÖDER, J.: *Benchmarking von Entwicklungsbereichen im Maschinenbau*. Dissertation, Universität Aachen, 2003.
- Schumpeter 1961: SCHUMPETER, J. A.: *Konjunkturzyklen, Band I*. Göttingen, 1961.
- Schumpeter 1997: SCHUMPETER, J. A.: *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung: eine Untersuchung über Unternehmervergewinn, Kapital, Kredit, Zins und den Konjunkturzyklus, 9. Aufl.*. Berlin, 1997.
- Schütt 2000: SCHÜTT, P.: *Wissensmanagement*. Falken/Gabler-Verlag, Niedernhausen, 2000.
- Schütt 2000a: SCHÜTT, P.: *Die richtige Balance zwischen stillem und explizitem Wissen*. Praxis Wissensmanagement 4/00, 2000a.
- Schütt 2003a: SCHÜTT, P.: *Die dritte Generation des Wissensmanagements*. KM-Journal Vol. 1, S.1-7, 2003a.
- Schütt 2003b: SCHÜTT, P.: *The post-Nonaka Knowledge Management*. Journal of Universal Computer Science, vol. 9, no. 6 (2003), 451-462, 2003b.
- Schwaber 2007: SCHWABER, K.: *SCRUM Development Process*. <http://jeffsutherland.com/oops/schwapub.pdf>, 12.12.2008, 2007.
- Schwanger 1999: SCHWANINGER, M.: *Intelligente Organisationen - Konzepte für turbulente Zeiten auf der Grundlage von Systemtheorie und Kybernetik*. Duncker & Humblot, Berlin, 1999.
- Seidel 2005: SEIDEL, M.: *Methodische Produktplanung - Grundlagen, Systematik und Anwendung im Produktentstehungsprozess*. Reihe Informationsmanagement im Engineering Karlsruhe, 2005.
- Selz 2007: SELZ, O.: *Otto Selz Institut - Wissenschaftliche Bedeutung*. [http://www.uni-mannheim.de/users/osinst/p/1\\_1\\_2.html](http://www.uni-mannheim.de/users/osinst/p/1_1_2.html) 12.12.2008, 2007.
- Serenko 2004: SERENKO, A.; BONTIS, N.: *Meta-Review of Knowledge Management and Intellectual Capital Literature*. Knowledge and Process Management, Volume 11, Number 3, pp. 185-198, 2004.
- Shannon 1976: SHANNON, C. E.; WEAVER, W.: *Mathematische Grundlagen der Informationstheorie*. Oldenbourg, München, 1976.
- Siebel 2001: SIEBEL, W.; IBERT, O.; MAYER, H.: *Staatliche Organisation von Innovation: Die Planung des Unplanbaren unter widrigen Umständen durch einen unbegabten Akteur*. In: Leviathan 29. Jg., Heft 4 (Dzember), S. 526-543, 2001.
- Simon 1962: SIMON, H. A.: *The Architecture of Complexity*. Proceedings of the American Philosophical Society 156: 467-482, 1962.
- Simon 1972: SIMON, H. A.: *Theories of Bounded Rationality*. In: C. B. Radner und R. Radner (Hrsg.): *Decision and Organization*, Amsterdam, 1972.
- Simon 1973: SIMON, H. A.: *The Structure of Ill Structured Problems*. In: Journal of Artificial Intelligence; Vol. 4, Nr. 3, Pages 181-201, 1973.
- Simon 1994: SIMON, H. A.: *Die Wissenschaften vom Künstlichen*. Springer, Wien, 1994.
- Snowden 2000: SNOWDEN, D.: *The ASHEN-Model an enabler of action*. Knowledge Management, Band 3, 7/2000, S. 14-17, 2000.

- Snowden 2002: SNOWDEN, D.: *Complex Acts of Knowing – Paradox and Descriptive Self-Awareness*. In: Journal of Knowledge Management, 6. Jg. 2002, Nr. 2, S. 100-111, 2002.
- Speck 1980: SPECK, J.: *Handbuch wissenschaftstheoretischer Begriffe*. Hrsg.: Speck J., Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1980.
- Stachowiak 1973: STACHOWIAK, H.: *Allgemeine Modelltheorie*. Springer, Wien, 1973.
- Stachowiak 1983: STACHOWIAK, H.: *Modelle - Konstruktion der Wirklichkeit*. Fink, Wilhelm, 1983.
- Steinmeier 1999: STEINMEIER, E.: *Realisierung eines systemtechnischen Produktmodells- Einsatz in der PKW- Entwicklung*. Shaker, Aachen, 1999.
- Stock 2000: STOCK, W.: *Informationswirtschaft. Management externen Wissens*. Oldenbourg, München/Wien, 2000.
- Takeuchi 1986: TAKEUCHI, H.; NONAKA, I.: *The New New Product Development Game*. Harvard Business Review, Jan. 1, S. 2-10, 1986.
- Taylor 1913: TAYLOR, F. W.: *Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung*. Oldenbourg, München/Berlin, 1913.
- Thommen 1996: THOMMEN, J.-P.: *Betriebswirtschaftslehre Band 3: Personal, Organisation, Führung, Spezielle Gebiete des Managements*. Gabler, Wiesbaden, 1996.
- Ulmann 1973: ULMANN, G.: *Kreativitätsforschung*. Verlag Kiepenheuer & Witsch, Köln, 1973.
- Ulrich 1988: ULRICH, H.; PROBST, G. J.: *Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln*. 2. Auflage, Haupt, Stuttgart/Bern, 1988.
- Ulrich 2001: ULRICH, H.: *Systemorientiertes Management*. Haupt, Stuttgart/Bern, 2001.
- Uschold 1996: USCHOLD, M.; GRUNINGER, M.: *Ontologies: Principles, methods and applications*. Knowledge Engineering Review, 11(1996), Nr. 2., 1996.
- Vahs 2005: VAHS, D.; BURMESTER, R.: *Innovationsmanagement*. 3. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2005.
- Vanja 2005: VANJA, S.: *Workflow for Design*. In: Clarkson, P. (Hrsg.); Eckert, C. (Hrsg.): *Design Process Improvement - A Review Current Practice*. Springer, London, 2005.
- VDA 2007: VDA: *Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie Präventive Qualitätsmanagement-Methoden in der Prozesslandschaft. Band 14*. Stand: 01.05.2007. Gelbdruck, 2007.
- VDI 2206 2004: VDI 2206: *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. Beuth, Berlin, 2004.
- VDI 2220 1980: VDI 2220: *Produktplanung. Ablauf, Begriffe und Organisation*. Beuth, Berlin, 1980.
- VDI 2221 1993: VDI 2221: *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Beuth, Berlin, 1993.
- Vernon 1966: VERNON, R.: *International investment and international trade in the product cycle*. In: Quarterly Journal of Economics, Jg. 80, S.190-207, 1966.
- Verworn 2005: VERWORN, B.: *Die früher Phasen der Produktentwicklung*. Gabler, Wiesbaden, 2005.
- Voß 2003: VOß, J.-P.: *Innovation - An integrated concept for the study of transformation in electricity systems*. Veröffentlichung aus dem bmbf Projekt TIPS: Traqnformation and Innovation in Power Systems, 2003.
- Wahren 2004: WAHREN, H.: *Erfolgsfaktor Innovation*. Springer, Berlin/Heidelberg, 2004.
- Walter 1994: WALTER, C.: *Systemtechnische Verfahren zur Bestimmung der Zusammenhänge zwischen Eigenschaften und Funktionsstrukturen technischer Systeme*. Herbert Utz, München, 1994.
- Watty 2006: WATTY, R.: *Methodik zur Produktentwicklung in der Mikrosystemtechnik*. Dissertation, Universität Stuttgart, 2006.
- Wegehaupt 2004: WEGEHAUPT, P.: *Führung von Produktionsnetzwerken*. Dissertation, RWTH Aachen, 2004.
- Weiß 2006: WEIß, S.: *Konzept und Umsetzung eines Navigators für Wissen in der Produktentwicklung*. Fortschritt-Berichte VDI, 2006.
- Weizsäcker 1979: WEIZSÄCKER, C. F. von: *Die Einheit der Natur*. Verlag Dtv, München, 1979.
- Weizsäcker 1985: WEIZSÄCKER, C. F. von: *Aufbau der Physik*. Verlag Dtv, München, 1985.

- Wenzel 2003: WENZEL, S.: *Organisation und Methodenauswahl in der Produktentwicklung*. Herbert Utz, München, 2003.
- Wiener 1948: WIENER, N.: *Cybernetics: Or the Control and Communication in the Animal and the Machine*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1948.
- Wiener 1961: WIENER, N.: *Cybernetics: Or the Control and Communication in the Animal and the Machine, 2. Auflage*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1961.
- William 2007: WILLIAM, C. W.: *Scrum Development Process*. <http://xp123.com/xplor/xp0401/Scrum-dev.pdf>, 12.12.2008, 2007.)
- Willke 1998: WILLKE, H.: *Organisierte Wissensarbeit*. In: Zeitschrift für Soziologie, 3, Jahrgang 27, Bielefeld, 1998.
- Windelband 1993: WINDELBAND, W.: *Lehrbuch der Geschichte der Philosophie*. Mohr Siebeck, 1993.
- Winter 2000: WINTER, A.: *Referenz-Metaschema für visuelle Modellierungssprachen*. Dissertation, Universität Koblenz-Landau, 2000.
- Witte 1973: WITTE, E.: *Organisation für Innovationsentscheidungen: Das Promotoren Modell*. Otto Schwartz, Göttingen, 1973.
- Wögerbauer 1943: WÖGERBAUER, H.: *Die Technik des Konstruierens*. Oldenburg-Verlag, München, 1943.
- Wohland 2007: WOHLAND, G.; WIEMEYER, M.: *Denkwerkzeuge für dynamische Märkte*. Mondenstein und Vannerdat, Münster, 2007.
- Wolf 1999: WOLF, T.; DECKER, S.; ABECKER, A.: *Unterstützung des Wissensmanagements durch Informations- und Kommunikationstechnologie*. In: Hrsg.: Scheer A.-W.; Electronic Business Engineering. 4. Internationale Tagung Wirtschaftsinformatik. Physica-Verlag, Heidelberg, 1999.
- Zwicker 1998: ZWICKER: *Unterstützung der Unternehmensübergreifenden Produktentwicklung durch den Einsatz Moderner Informationstechnologie*. Dissertation, ETH Zürich, 1998.



# Lebenslauf

## Persönliche Daten

Name: Mirko Meboldt  
Geburtsdatum: 3. Dezember 1975  
Geburtsort: Mannheim  
Staatsangehörigkeit: deutsch  
Familienstand: ledig  
E-Mail: mirko@meboldt.de

## Bildungsgang

7/2001 - 3/2002 Diplomarbeit bei Freightliner LLC in Portland/Oregon (USA)  
„Entwicklung eines Risikomanagementprozesses in der  
Produktentwicklung“  
9/2000 - 3/2002 Fachrichtung Produktentwicklung und Konstruktion  
1/2000 - 4/2000 Studienarbeit bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG  
10/1996 - 4/2002 Maschinenbaustudium an der Universität Karlsruhe (TH)  
8/1986 - 7/1996 Johann-Sebastian-Bach-Gymnasium, Mannheim  
8/1982 - 7/1986 Almenhof-Grundschule, Mannheim

## Berufstätigkeit

Seit 4/2008 HILTI AG, Teamleiter für Standardization, Methods, CAD/PDM  
Support und Knowledge Management  
6/2002 – 2/2008 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktentwicklung  
der Universität Karlsruhe (TH)  
10/1999 - 10/2000 Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Abteilung Vorentwicklung Fahrwerk  
5/1998 - 12/1999 Institut für Werkstoffkunde II, Forschungszentrum Karlsruhe