Lehrstuhl für Produktentwicklung
der Technischen Universität München

Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung

Udo Pulm

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

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:		Univ.-Prof. Dr.-Ing. Joachim Heinzl
Prüfer der Dissertation:	1.	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann
	2.	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Herbert Birkhofer, Technische Universität Darmstadt

Die Dissertation wurde am 19. April 2004 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen
am 16. Juni 2004 angenommen.

Reality is the
original Rorschach.

Pas besoin de gril:
l'enfer, c'est les Autres.

Vorwort des Herausgebers

Problemstellung

Die zunehmende Komplexität von Produkten und Produktspektren sowie der dazugehörigen Entwicklungsprozesse und Organisationen stellt neue Anforderungen an die Konstruktionsmethodik. Während eine Vielzahl von Methoden kaum Einzug in die industrielle Praxis findet, können viele Probleme der Industrie nicht zufrieden stellend gelöst werden. Dies kann zumindest teilweise mit einem unzureichenden Verständnis von Komplexität und einem mangelnden einheitlichen Designparadigma erklärt werden.

Auf praktischer Ebene fehlen Methoden, Vorgehensweisen und Hilfsmittel, um das wachsende Variantenangebot, das von Kunden im globalen Markt gefordert wird, effizient und effektiv entwickeln zu können. Die Erstellung individualisierter Produkte, die dem Trend zu immer mehr Varianten folgen, erfordert dabei auch vollkommen neue Werkzeuge.

Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist die Betrachtung der Produktentwicklung aus einem systemtheoretischen Blickwinkel und die Übertragung von Prinzipien der Systemtheorie auf die Produktentwicklung, um bessere Erklärungsmodelle für Designprozesse zu finden und Optimierungsansätze abzuleiten. Systemtheorie bezieht sich dabei vor allem auf die Soziologie und den Ansatz Luhmanns, der eine der aktuellsten Ausprägungen der Systemtheorie darstellt. Hier sind komplexe Systeme nicht vollständig kontrollier- und steuerbar; vielmehr geht es darum, Komplexität im Sinne vielfacher Möglichkeiten zu nutzen und zu verarbeiten.

Durch die Betrachtung z. B. der Systementstehung sollen die Systeme Wissenschaft, Produktentwicklung (als Prozess und als Organisationseinheit), Konstruktionsmethodik sowie im Speziellen das Variantenmanagement oder die Mass Customization optimiert werden. Dabei geht es nicht um eine vollständige Transparenz, sondern um das Ermöglichen von Anschlusshandlungen innerhalb dieser – zum Großteil sozialen – Systeme.

Ergebnisse

Primäres Ergebnis ist die Auffassung der Produktentwicklung als sozialer Prozess, der nicht vollständig kontrollierbar ist und sich von einem *shared understanding* im Team und kognitiven Prozessen als zusätzliche Ebene abhebt. Technologie wird als eigenständiges System aufgefasst. Wesentlicher Bestandteil von Systemen ist Kommunikation, die über verschiedene Medien wie Geld oder auch Methoden stattfindet. Neben der Bedeutung individueller Reflexion werden selbstverantwortliche Organisationsstrukturen erörtert und „Systeme“ als beliebige Umfänge des Produktes eingeführt.

Das Komplexitätsverständnis, nicht alle Elemente mit allen Elementen verknüpfen und somit keine Transparenz erzielen zu können, führt zu dem zentralen Ansatz des Variantenmanagements, Freiheitsgrade möglichst unabhängig zu halten; es stellt somit ein neues Paradigma gegenüber anderen Ansätzen dar, indem Transparenz auch nicht erreicht werden muss. Zielsetzung ist, während der Entwicklung Anschlusshandlungen durch einfache Methoden zu ermöglichen. Ein Baukasten – als Oberbegriff – und der soziale Prozesse der Produktentwicklung unterstützen sich dabei gegenseitig.

Folgerung für die industrielle Praxis

Die Arbeit soll ein Verständnis für komplexe soziale, nicht vollständig kontrollierbare Prozesse wie der Produktentwicklung schaffen. Anstatt Transparenz anzustreben, ist die Kommunikation zu betonen und entsprechende Medien sind als solche aufzufassen. Die vorgestellten Organisationsmaßnahmen können zu einem neuen Managementverständnis sowie zu einer Prozessorientierung der Produktentwicklung führen. Dabei ist auch der evolutionäre Prozess der Technologieentwicklung verstärkt zu berücksichtigen.

Im Rahmen des Variantenmanagements ist das Augenmerk auf die Folgeprobleme der Komplexität zu legen und nicht Komplexität a priori als schlecht anzusehen und unreflektiert zu reduzieren. Komplexität ist und bleibt notwendig, um einen komplexen Markt bedienen und auf dessen Dynamik reagieren zu können.

Folgerung für Forschung und Wissenschaft

Die Auffassung der Produktentwicklung als sozialer Prozess stößt eine neue Ebene auf, die weiterer Untersuchungen bedarf. Bisherige Ergebnisse von Soziologie oder Unternehmensforschung gehen dabei nur unzureichend auf die Belange der Produktentwicklung ein. Auch die Forschung auf dem Gebiet der Produktentwicklung hat sich bisher kaum um Fragen der Soziologie gekümmert. Neben der Untersuchung industrieller Prozesse vor diesem Hintergrund sind auch Methoden und Hilfsmittel an diese Randbedingung anzupassen. Die Betrachtungen führen zu neuen Werkzeugen und erleichtern deren Entwicklung.

Die Auffassung von Technologie als evolutionärer Prozess führt zu neuen Fragen in Bezug auf Kreativität und deren Unterstützung sowie allgemein technische Möglichkeiten. Das Verständnis für Wissenschaft – als kultureller Prozess der Verfestigung individueller Erkenntnisse – lenkt die Diskussion um eine *design theory* oder *research methodology* in eine neue Richtung und erleichtert die Auswahl wissenschaftlicher Vorgehensweisen.

Garching, im Juli 2004

Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann

Lehrstuhl für Produktentwicklung
Technische Universität München

Abstract

The increasing complexity of products, product spectra and the respective design processes generates new demands on design methodology. The missing comprehensive implementation of methods in industry, together with the fact that many problems in industry cannot be solved satisfactorily, might be explained by an inadequate understanding of complexity and a lacking design paradigm. Methods, procedures and tools for the efficient development of large product spectra and individualized products are still incomplete.

The objective of this thesis is to transfer principles of system theory to product development or to regard product development from a system theory viewpoint. This shall help to find better models and explanations for design processes and derive optimization approaches. System theory refers to sociology and Luhmann's work, which seems to be the up-to-date approach in system theory. Here, complex systems are not completely controllable; the question is rather how to process complexity in terms of a multitude of possibilities.

Through the emergence of systems via several phases, the systems science, product development, design methodology as well as variant management and mass customization shall be extended. The objective is not to achieve complete transparency, but to facilitate follow-up activities in those social systems.

The main result is the interpretation of product development as a social process that is not completely controllable and goes beyond a "shared understanding" in teams or cognitive processes of the individual. Technology itself is an evolutionary system. The main component of systems is communication that takes place via media such as money or methods of product development. The importance of individual reflection and independently acting organizational units is discussed and "systems" as any scope of the product are introduced.

The understanding of complexity (not each element can be connected with every other element; complete transparency cannot be achieved) leads to the central approach of variant management: degrees of freedom have to be as independent as possible; this offers a new paradigm, indicating that transparency need not be achieved. Thereby, building sets or modular product structures and social processes support one another.

This thesis creates a new comprehension of complex social processes. The objective is no longer to reduce complexity, but to focus on the problems that follow complexity such as uncertainty in acting. Complexity itself is necessary in order to serve complex markets.

The interpretation of product development as a social process opens a new level for further research, since recent approaches of sociology and operations research do not sufficiently take into account the concerns of product development. Regarding technology as an evolutionary process and science as a cultural, evolutionary process offers a new direction for the discussion about design theory and research methodology.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktentwicklung der Technischen Universität München in den Jahren 1999 bis 2004.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Udo Lindemann für die Betreuung meiner Arbeit und die vielen Freiräume am Lehrstuhl, durch die ich sehr viel lernen konnte. Ich danke Prof. Dr.-Ing. Herbert Birkhofer für die Mitberichterstattung und Prof. Dr.-Ing. Joachim Heinzl für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Ganz herzlich danke ich all meinen Freunden und Kollegen vom Lehrstuhl für die angenehme Zeit und die wertvolle Unterstützung, wenn ich sie mal wieder brauchte. Erwähnen möchte ich insbesondere Martin, Ralf und Tanja, Bernhard, Bernd, Daniel, Christoph (auch für die Korrektur der Arbeit), Nic, Rainer, Nadja, Rosy, Andi, Sabine, Diane, Lisa, Gaby, Stefan, die Leute aus Cambridge… stellvertretend auch für all die, die ich jetzt nicht genannt habe.

Darüber hinaus danke ich allen Projektpartnern aus der Industrie und von anderen Instituten für die interessanten Einblicke und anregenden Diskussionen.

Großer Dank gilt meiner Familie, meinen Eltern, vor allem meinem Vater, der mir all dies erst ermöglicht hat, meiner Schwester mit ihrer Familie und allen, die noch dazugehören.

Ich danke all den Künstlern und Wissenschaftlern, den Schriftstellern, Musikern, Philosophen und Rebellen, die mein Denken so stark beeinflusst haben.

Danke!

Es ist interessant, einen Punkt – jenseits von Gut und Böse – erreicht zu haben, an dem man anfängt wahrzunehmen, wer und was alles wesentlichen Einfluss auf sein aktuelles Leben und die Entwicklung dorthin genommen hat. Dabei ist es schwierig, zwischen Dank und Verachtung zu unterscheiden, weil man *systemtheoretisch* der Differenz bedarf und nicht die andere Seite kennen kann. Trotzdem keinen Dank den psychischen und sozialen Systemen, die mich, in bester Absicht oder auch nur aus Nachlässigkeit, von lang her oder direkt, von meinem Weg abbringen wollten.

Garching, im Juli 2004 Udo Pulm

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG ... 13

1.1 AUSGANGSSITUATION UND ZIELSETZUNG ... 13
1.2 GLIEDERUNG DER ARBEIT ... 16
1.3 ERFAHRUNGSGRUNDLAGE ... 17
1.4 BEGRIFFSDEFINITION ... 19

2 SYSTEMTHEORIE ... 21

2.1 URSPRUNG UND ZIELE DER SYSTEMTHEORIE ... 21
2.2 AUSPRÄGUNGEN DER SYSTEMTHEORIE ... 24
2.2.1 Biologie ... 24
2.2.2 Soziologie ... 28
2.2.3 Psychologie ... 34
2.2.4 Ingenieurs- und Wirtschaftswissenschaften ... 36
2.2.5 Weitere Disziplinen ... 39
2.3 SYNTHESE EINES SYSTEMTHEORETISCHEN MODELLS ... 43
2.3.1 Paradigmenwechsel und Flussorientierung ... 43
2.3.2 Prinzipien der Systemtheorie ... 48
2.4 ZUSAMMENFASSUNG ... 51

3 WISSENSCHAFTSTHEORIE ... 53

3.1 DEFINITION VON WISSENSCHAFT ... 53
3.2 MÖGLICHKEITEN DER WISSENSCHAFT ... 55
3.2.1 Wissenschaftstheoretische Ansätze ... 55
3.2.2 Ansätze in der Produktentwicklung ... 57
3.2.3 Praxis der Wissenschaft ... 58
3.2.4 Schlussfolgerung ... 62
3.3 SYSTEMTHEORETISCHE WISSENSCHAFT ... 62
3.3.1 Ansatz der Wissenschaft ... 62
3.3.2 Prozessmuster und systemische Ansätze ... 64
3.3.3 Ausblick Wissenschaft ... 69
3.4 WISSENSCHAFTLICHER ANSATZ DER ARBEIT ... 70
3.5 ZUSAMMENFASSUNG ... 71

4 PRODUKTENTWICKLUNG UND KONSTRUKTIONSMETHODIK ... 73

4.1 STAND DER FORSCHUNG ... 73
4.1.1 Entwicklung der Konstruktionsmethodik ... 73
4.1.2 Vorgehensmodelle und Methoden der Produktentwicklung ... 77
4.1.3 Interpretation der Entwicklungstätigkeit ... 82
4.1.4 Organisation und Prozess ... 86
4.1.5 Werkzeuge ... 87
4.1.6 Design for X ... 90
4.2 SYSTEMTHEORIE UND SYSTEMTHEORETISCHE ANSÄTZE ... 91
4.2.1 Einordnung bestehender Ansätze ... 92
4.2.2 Explizite Anwendung der Systemtheorie ... 94
4.3 BEOBACHTUNGEN IN DER PRAXIS ... 96
4.4 ANWENDUNG DER SYSTEMTHEORIE – INTERPRETATION UND OPTIMIERUNG DER PRODUKTENTWICKLUNG ... 101
4.4.1 Systemtheoretische Produktentwicklung ... 102
4.4.2 Kommunikation und Medien der Produktentwicklung ... 110
4.4.3 Methoden der Produktentwicklung ... 114
4.4.4 Organisatorische Randbedingungen ... 121
4.5 ZUSAMMENFASSUNG ... 125

5 PRAKTISCHE ANWENDUNG: INDIVIDUALISIERTE PRODUKTE 127

5.1 HANDLUNGSBEDARF 127
5.2 STAND DER FORSCHUNG 128
5.3 NEUES PARADIGMA: ENTWICKLUNG INDIVIDUALISIERTER PRODUKTE 138
5.4 ZUSAMMENFASSUNG 144

6 ENTWICKLUNGSMETHODIK FÜR FLEXIBLE PRODUKTSPEKTREN – DESIGN FOR FLEXIBILITY 145

6.1 ANFORDERUNGEN AN DIE METHODIK 145
6.2 PRODUKTMODELL 146
6.2.1 Stand der Forschung 146
6.2.2 Elemente des Produktmodells 147
6.2.3 Gesamtmodell 152
6.2.4 Umsetzung und Anpassung des Produktmodells 153
6.3 PROZESSMODELL UND METHODISCHE UNTERSTÜTZUNG 155
6.3.1 Stand der Forschung 155
6.3.2 Synthese eines Prozessmodells 156
6.3.3 Schritte des Prozessmodells 157
6.3.4 Zusammenfassung der Schritte des Prozessmodells 170
6.4 ADAPTION DES PRODUKTES 171
6.5 UMGANG MIT KOMPLEXITÄT 173
6.5.1 Situative Anpassung des Prozess- und Produktmodells 173
6.5.2 Prinzipien zur Komplexitätsverarbeitung 175
6.6 RECHNERHILFSMITTEL 177
6.7 ZUSAMMENFASSUNG 178

7 REFLEXION 179

7.1 EVALUATION DER METHODIK 179
7.2 REFLEXION DER ARBEIT 182
7.3 REFLEXION DES WISSENSCHAFTLICHEN VORGEHENS 184
7.4 SELBSTREFLEXION 185
7.5 ZUSAMMENFASSUNG DER REFLEXION 186

8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK 187

8.1 ZUSAMMENFASSUNG 187
8.2 AUSBLICK 191

9 LITERATUR 193

10 ANHANG 227

10.1 ANHANG 1 – MEDIEN 227
10.2 ANHANG 2 – PROZESSMUSTER WISSENSCHAFTLICHER ARBEIT 228
10.3 ANHANG 3 – ETHIK, ÖKOLOGIE UND ÖKONOMIE 237
10.4 ANHANG 4 – KRITERIEN INDIVIDUALISIERUNGS- UND STANDARDISIERUNGSMASSNAHMEN 239
10.5 ANHANG 5 – KLASSIFIKATION DES INDIVIDUALISIERUNGSANSATZES 240
10.6 ANHANG 6 – CHECKLISTEN 241
10.7 ANHANG 7 – RECHNERHILFSMITTEL 245
10.7.1 Stand der Technik 245
10.7.2 Werkzeug zur Strukturplanung 246
10.7.3 Evolutionäre Algorithmen und Neuronale Netze 249
10.7.4 Controllingwerkzeuge 253

11 DISSERTATIONSVERZEICHNIS DES LEHRSTUHLS FÜR PRODUKTENTWICKLUNG 257

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Die Globalisierung – im Sinne einer zunehmenden Integration und Verbindung der einzelnen Teile der Welt – geht einher mit dem Trend zur Individual- und Informationsgesellschaft. Der damit verbundene wachsende Wettbewerbsdruck stellt an Unternehmen immer anspruchsvollere Anforderungen in Bezug auf Kosten, Qualität und Entwicklungszeit ihrer Produkte und führt zum ständigen Bedarf an Wachstum und Innovationen, um im Marktumfeld zu überleben. Die dabei zunehmende Komplexität der Produkte und ihrer Erstellungsprozesse erfordert den Einsatz immer neuer Methoden, Werkzeuge und Strategien.

Diese Sichtweise ist in den Ingenieurs- und Wirtschaftswissenschaften weit verbreitet (z. B. ZÄH et. al 2003a, GAUSEMEIER et al. 2000, GRABOWSKI & GEIGER 1997, BULLINGER & WARSCHAT 1995, WARNECKE 1995 etc.). Sie impliziert jedoch, dass Unternehmen einem von ihnen unabhängigen, externen Markt gegenüberstehen. Dabei sind es eben diese Unternehmen, die den Markt konstituieren; die Kunden sind selbst Bestandteil der Unternehmen; der Markt schließlich stellt ein in sich geschlossenes System dar. Ansätze einer solchen Sichtweise finden sich in der Soziologie und der soziologischen Systemtheorie (z. B. WILLKE 2000a) und auch in den Ingenieurswissenschaften setzt sich die Erkenntnis wieder durch, dass Nachfrage im Sinne neuer Bedürfnisse und Angebot im Sinne von Innovationen sich eben gegenseitig bedingen (REINHART & ZÄH 2003).

Produktentwicklung nimmt eine zentrale Stellung in Unternehmen ein, egal welche Positionierung von Unternehmen im Markt man nun annimmt, und ob man deren Ziel, Gewinn zu machen, oder deren Zweck, Produkte auf den Markt zu bringen, betrachtet. Sowohl der hohe Anteil der Produktentwicklung an der Festlegung der beeinflussbaren Kosten (EHRLENSPIEL 1995) als auch die Position als Urheber von Innovationen (GAUSEMEIER et al. 2001) verdeutlichen dies.

Produktentwicklung als Bestandteil des Systems „Markt“ und „Unternehmen“ stellt dabei selbst ein System mit unterschiedlichen Ausprägungen dar. Produktentwicklung ist ein geregelter Prozess im Unternehmen, mit dem produzierbare und funktionsfähige Produkte gestaltet werden. Produktentwicklung ist somit eine als Organisationseinheit identifizierbare Unternehmensfunktion. Der unaufhaltsame, von selbst ablaufende Prozess der Produktentwicklung scheint auch ein Ergebnis menschlicher Schöpfungskraft zu sein und in diesem Sinne dem allgemeineren englischen Begriff des „Design“ zu entsprechen, der der Kunst nahe steht. Produktentwicklung ist ein psychologischer oder kognitiver Prozess des Problemlösens. Produktentwicklung ist ein sozialer Prozess, der in Gruppen, Teams und ganzen Soziosystemen, d. h. durch die Interaktion menschlicher Individuen stattfindet. Produktentwicklung ist darüber hinaus eine Wissenschaft, d. h. ein System, das auf wissen-

schaftliche Weise herauszufinden versucht, wie die Prozesse in der Praxis ablaufen und mit geeigneten Methoden und Hilfsmitteln unterstützt werden können. Schließlich nimmt Produktentwicklung philosophische Facetten an, wenn z. B. nach einer teleologischen Bedeutung des technischen Fortschritts und dessen Bewertung gefragt wird.

Betrachtungsgegenstand der Arbeit ist die Produktentwicklung im mechatronischen Maschinenbau im Sinne dieser Sichtweisen, d. h. die systematische und integrierte Produktentwicklung oder die Konstruktionsmethodik und -lehre nach z. B. EHRLENSPIEL 1995, PAHL & BEITZ 1996, ANDREASEN & HEIN 1987 etc. Die Grenzen zur Produktionsplanung, zum Marketing und zur Produktplanung, zum Vertrieb etc. sind dabei fließend. Die Betrachtung bezieht sich auf komplexe Produkte, die in komplexen Prozessen und in komplexen sozialen Systemen wie Großunternehmen entwickelt werden (z. B. Automobilbau), im Gegensatz zur Konstruktionsforschung, die sich eher auf den einzelnen Entwickler, kleinere Teams, abgrenzbare Innovationen etc. bezieht. Die Arbeit fokussiert also weniger auf die methodische Unterstützung der individuellen Lösungsfindung (wie z. B. WULF 2002), sondern sieht die wesentliche Problematik in der Zusammenarbeit der am Produktentwicklungsprozess beteiligten Vielzahl von Individuen.

Der Handlungsbedarf ergibt sich hier aus den Tatsachen, dass

- viele Phänomene im Bereich der Produktentwicklung nur schwer erklärbar sind, z. B. dass trotz der unzureichenden Transparenz der Prozesse, Organisationseinheiten, Informationsflüsse, Kosten, Varianten etc., und trotz konträrer Ansichten der Beteiligten gute Resultate hervorgebracht werden,
- darüber hinaus Bereitschaft zu Flexibilität und Entscheidungsfreudigkeit häufig fehlen,
- ein einheitliches Verständnis der Produktentwicklung im Sinne einer „*Design Theory*“ (BLESSING 2003) noch fehlt und dementsprechend das wissenschaftliche Vorgehen und Verständnis der Produktentwicklung nur unzureichend definiert ist,[1]
- viele vorhandene Methoden und Hilfsmittel der Produktentwicklung in der industriellen Praxis nur geringe Beachtung finden (z. B. ZANKER 1999) und umfangreiche wissenschaftliche Ergebnisse ungenutzt „verstauben“, aber zugleich
- eine Vielzahl industrieller „Probleme“ nicht gelöst werden können und
- die Potenziale und die mögliche Dynamik von Unternehmen und Soziosystemen noch nicht ausgeschöpft zu sein scheinen.

Die allgemeine Systemtheorie (*General System Theory*, BERTALANFFY 1969) oder auch die Systemtheorie der Soziologie nach LUHMANN (1997, 2002) scheinen hier die Möglichkeit (sic!) eines besseren Erklärungsmodells und weiterer Optimierungsansätze zu bieten. In der Soziologie ist die Systemtheorie, trotz ihrer grundsätzlich interdisziplinären Ausrich-

[1] Eine „Design Community“ bildet sich zwar aus, besitzt aber ebenfalls weder ein einheitliches Verständnis von Design noch eine klare Beziehung zu ähnlich gelagerten Bereichen.

tung, derzeit hauptsächlich vorzufinden. Dabei ist zwischen der eher reduktionistischen System*technik*, die davon ausgeht, jedes System durch Verständnis seiner Teile zu verstehen, und einer eher holistischen System*theorie*, die annimmt, dass trotz Verständnis der Einzelteile das Ganze doch neue, unvorhersehbare Eigenschaften und Verhaltensweisen aufzeigen kann, zu unterscheiden. Streitpunkt ist also der Gegensatz von Teil und Ganzem. Obwohl oder gerade weil die Systemtheorie schon im Rahmen des Systems Engineering (DAENZER & HUBER 1999) Einzug in die Produktentwicklung gehalten hat, wurden viele Aspekte und neuere Entwicklungen der Systemtheorie nicht mehr implementiert.

Übergeordnetes Ziel der Arbeit ist, Produktentwicklung als komplexen sozialen Prozess aufzufassen und die Systemtheorie auf die Produktentwicklung zu übertragen, oder genauer: Aspekte des *Systems Systemtheorie* auf das *System Produktentwicklung*.

Die Ziele im Einzelnen sind

- die Erarbeitung eines allgemeinen systemtheoretischen Modells,
- die Entwicklung eines Wissenschaftsverständnisses auf Basis der Systemtheorie,
- ein neues systemtheoretisches Verständnis der Produktentwicklung sowie
- eine Erweiterung der Konstruktionsmethodik auf Basis systemtheoretischer Prinzipien.

Die Arbeit geht zwar von der holistischen Sichtweise aus, trägt aber auch die Dialektik zwischen Reduktionismus und Holismus weiter. Dies führt zu einem Paradigmenwechsel sowie einem Weiter-Denken (sic!) auf zukünftige Entwicklungen der Produktentwicklung, z. B. eine Möglichkeits- statt einer Problemorientierung oder die Erhöhung von Komplexität statt ihrer unreflektierten Reduktion. Es ist nicht Anspruch der Arbeit (und kann nicht sein), eine wie auch immer geartete, endgültige Lösung zu bieten, sondern Grundsteine zu legen und Anregungen zu geben. Somit haben die vorgestellten Ansätze keinen Anspruch auf alleinige Gültigkeit, sondern stellen *eine* neue Sichtweise neben anderen dar.

Grundsätzlich können die entwickelten Ansätze und Betrachtungsweisen auch auf nahe gelegene Bereiche wie z. B. Architektur, Elektrotechnik, Software Engineering etc. oder auch entferntere Bereiche wie z. B. Geistes- und Naturwissenschaften übertragen werden, dies wird hier jedoch nicht betrachtet. Ebenso ist nochmals abzugrenzen, dass hier nicht der „harte“ materielle Maschinenbau, sondern der „weiche“ Maschinenbau in den Soziosystemen Produktentwicklung und Unternehmen betrachtet wird. Auch die Betrachtung der Systemtheorie und Wissenschaftstheorie bleibt eingeschränkt, da es hier um eine Übertragung der Prinzipien *auf* die Produktentwicklung geht; die Übertragbarkeit der Ansätze in die andere Richtung ist den entsprechenden Bereichen überlassen.

Diese eher allgemeinen Betrachtungen sollen auch in praktische Ansätze überführt werden. Als Beispiel dient hier die Entwicklung variantenreicher Produkte und flexibler Produktspektren, die durch Modelle, Prozesse, Methoden, rechnergestützte Hilfsmittel sowie eine dynamische Organisation und Hilfsmittel des Controllings unterstützt wird. Handlungsbedarf besteht auf dieser Ebene in dem Trend zu mehr Individualität und immer mehr

Varianten und der damit steigenden Komplexität, die mit herkömmlichen Methoden und Strategien kaum mehr gehandhabt werden kann. Auch *ausgehend von* dieser Problemstellung bietet die Systemtheorie viel versprechende Ansätze.

Zusammenfassend ist Ziel der Arbeit, eine neue Sichtweise auf die Produktentwicklung zu eröffnen und hierdurch neue Ansätze zu entwickeln. Als Hypothese formuliert lautet dies:

> Die soziologische Systemtheorie erlaubt eine bessere Erklärung vieler Phänomene der Produktentwicklung und die Erweiterung der Konstruktionsmethodik um innovative Ansätze.
>
> Zentraler Aspekt ist bei allen Betrachtungen, Anschlusshandlungen im komplexen sozialen Gefüge zu ermöglichen.

1.2 Gliederung der Arbeit

Bild 1 stellt den Aufbau der Arbeit dar, kann aber die vielfältigen Vernetzungen der Inhalte nicht wiedergeben. Die Struktur wird im Folgenden kurz beschrieben.

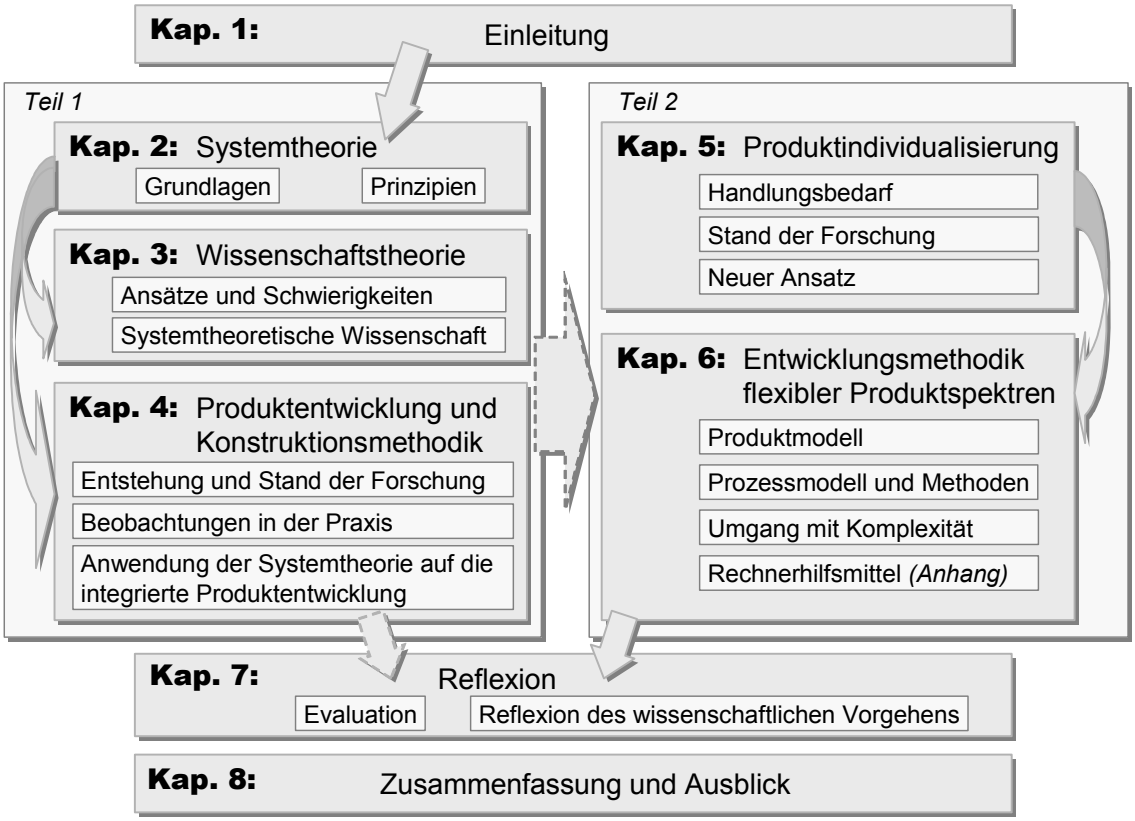


Bild 1: Struktur der Arbeit

Kapitel 2 beschäftigt sich mit den systemtheoretischen Grundlagen. Dabei wird auf die Ziele der Systemtheorie, die unterschiedlichen Ausprägungen sowie grundlegende system-

theoretische Prinzipien eingegangen, die im weiteren Verlauf auf die Produktentwicklung angewendet werden.

Kapitel 3 legt zum einen das wissenschaftliche Fundament für die Arbeit, zum anderen wird die Systemtheorie auf die Wissenschaftstheorie projiziert. Dafür gibt das Kapitel eine Übersicht vorhandener wissenschaftstheoretischer Ansätze und diskutiert deren Schwierigkeiten in der Praxis. Die Systemtheorie reflektiert die Möglichkeiten der Wissenschaft in einem neuen Blickwinkel und gibt über Prozessmuster praktikable Handlungsanleitungen.

Kapitel 4 beschäftigt sich mit der Produktentwicklung und Konstruktionsmethodik. Hierunter wird sowohl die industrielle als auch die akademische Seite verstanden. Neben evolutionären Entwicklungsstrategien und Betrachtungen der Kommunikation in der Produktentwicklung werden auch organisatorische Maßnahmen vorgestellt. Dies ist das Kernkapitel der Arbeit, das die theoretischen Betrachtungen umsetzt und im Folgenden weiter konkretisiert wird. Beobachtungen in der Praxis stellen einen wichtigen Bestandteil dar, da sie mit der Systemtheorie besser interpretiert werden können.

In Kapitel 5 werden der Bedarf an individualisierten Produkten und flexiblen Produktspektren aufgezeigt und eine entsprechende Produktentwicklungsmethodik hergeleitet.

Kapitel 6 geht detailliert auf die Entwicklungsmethodik für flexible Produktspektren ein. Dabei wird ein Produktmodell vorgestellt, ein Prozessmodell mit zugeordneten Methoden vorgeschlagen und der explizite Umgang mit Komplexität betrachtet (Konzepte entsprechender Rechnerhilfsmittel und Algorithmen finden sich in Anhang 7).

Die Kapitel 2, 3 und 4 konstituieren einen Teil der Arbeit, der die allgemeine Entwicklung der Systemtheorie, Wissenschaftstheorie und Produktentwicklung nachvollzieht. Der Teil aus Kapitel 5 und 6 stellt zum einen eine Anwendung und Evaluation der zuvor entwickelten und hergeleiteten Ergebnisse dar, zum anderen wird die hier erarbeitete Methodik mit den Prinzipien der Systemtheorie begründet. Trotz der zunehmenden Konkretisierung finden sich die Schritte der Analyse, Synthese und Evaluation in den einzelnen Kapiteln jeweils auf Mikroebene wieder.

Auf die gegenseitige und vielschichtige Vernetzung der Inhalte der Arbeit geht Kapitel 7 ein. Neben der Evaluation der Entwicklungsmethodik werden die Struktur der Arbeit, das wissenschaftliche Vorgehen sowie die persönliche Entwicklung reflektiert. Kapitel 8 fasst die Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Fragestellungen.

1.3 Erfahrungsgrundlage

Die Erkenntnis der Unvollständigkeit des derzeitigen Paradigmas der Produktentwicklung, sowohl in Bezug auf die Praxis als auch die Methodik und das wissenschaftliche Vorgehen, sowie die Lösungsansätze und deren Umsetzung basieren neben theoretischen Betrachtungen u. a. auf den folgenden Projekten.

- Im Sonderforschungsbereich 336 „Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung“ wurde die Zusammenarbeit von Produktentwicklung und Produktionsplanung im Sinne des Simultaneous Engineering optimiert. Dabei wurden u. a. Hilfsmittel zur Unterstützung verteilter Entwicklungsprozesse erarbeitet. Hierzu zählen rechnergestützte Hilfsmittel wie z. B. Controllingwerkzeuge.
- In dem gleichnamigen, auf dem Sonderforschungsbereich aufbauenden Transferbereich 29 wurden die Ergebnisse in der industriellen Praxis umgesetzt. Im Teilprojekt „Koordination und Controlling verteilter Produktentwicklungsprozesse“ wurden Strategien und Hilfsmittel zur Betreuung von Zulieferern sowie zum Schnittstellen-, Komplexitäts- und Projektmanagement in der Automobilindustrie entwickelt.
- In weiteren langfristigen Projekten mit unterschiedlichen Automobilherstellern wurden Maßnahmen zur Prozessoptimierung und zur Reorganisation sowie Hilfsmittel zum Wissensmanagement und zum Informationsaustausch, zum Produkt-Daten-Management und zum Controlling entwickelt. Ein immer wiederkehrender Schwerpunkt war dabei die Umsetzung von Baukastenstrategien.
- In einem industrienahen Forschungsprojekt ging es um die Kostenreduktion eines größeren Aggregats, das in kleiner bis mittlerer Serie hergestellt wird. Obwohl dieses Projekt von einer technischen Optimierung ausging, zeigten sich die wesentlichen Schwierigkeiten in der verteilten Organisationsstruktur und der entsprechenden Kooperation zwischen den Beteiligten.
- Wesentliche Erkenntnisse wurden im Sonderforschungsbereich 582 „Marktnahe Produktion individualisierter Produkte“ gesammelt. Ziel des interdisziplinären Projekts ist, Kunden ihren individuellen Bedürfnissen und Ansprüchen entsprechende Produkte zu bieten, die ähnliche Konditionen (Kosten, Lieferzeit etc.) wie Serienprodukte aufweisen. Das Teilprojekt, das in diesem Rahmen bearbeitet wurde, betrachtete die Strukturplanung, d. h. die individualisierungsgerechte Entwicklung eines flexiblen und anpassbaren Produktspektrums im Vorfeld der eigentlichen Individualisierung.
- Diverse Produktentwicklungen (Sportgeräte, Automobilindustrie, Haustechnik, Spielzeug etc.) lieferten Einblicke in die Anwendung von Methoden und die Zusammenarbeit in Teams. Weitere industrienahe Projekte beschäftigten sich mit der Einführung und Adaption von Methoden.

Es bleibt zu betonen, dass praktisch alle Erkenntnisse und Ergebnisse der Arbeit auf persönlichen Erfahrungen basieren. Trotz der angestrebten Objektivität in der Wissenschaft basiert letztlich jede wissenschaftliche Erkenntnis auf der subjektiven Wahrnehmung eines Individuums. Die vorliegende Arbeit ist somit keine absolute Wahrheit, sondern die Aussage einer Person. Diese Sichtweise zu reflektieren, hilft einem besseren Verständnis der Inhalte und ist konsistent mit den Grundgedanken einer *nicht-objektiven* Systemtheorie.

1.4 Begriffsdefinition

Bevor in Kapitel 2 die systemtheoretischen Grundlagen behandelt werden, definiert dieses Unterkapitel einige zentrale Begriffe[1], die für ein Verständnis der Arbeit unerlässlich sind und in der Arbeit mit dieser detaillierten Bedeutung explizit verwendet werden.

Unter **System**[2] wird eine gegenüber der Umwelt abgrenzbare Einheit verstanden, deren Elemente untereinander (innen) ausgeprägtere Beziehungen besitzen als zu anderen Elementen (außen). Dies impliziert die klassische Sicht, dass Systeme aus Elementen und den Beziehungen zwischen diesen Elementen bestehen, betont jedoch deren Differenz zur Umwelt. **Autopoiesis**[3] beschreibt das Prinzip, dass ein System die Elemente, aus denen es besteht, aus seinen Elementen selbst erzeugt, sich also selbst erhält. Die Auffassung von Systemen als grundsätzlich autopoietisch wird nicht allgemein angenommen, sondern bei Bedarf explizit benannt. Systeme sind darüber hinaus per definitionem immer dynamisch.

Emergente Eigenschaften sind Systemeigenschaften, die nicht mehr aus den Eigenschaften der Elemente des Systems, sondern nur auf der betrachteten Systemebene erklärbar sind. **Emergenz**[4] stellt das Prinzip der Entstehung dieser Eigenschaften dar. In diesem Sinne wird unter **Evolution**[5] nicht nur der biologische Prozess der Evolution verstanden, sondern das emergente Entstehen unterschiedlicher Systemebenen, z. B. von Atomen über Moleküle, Zellen, mehrzelligen Lebewesen hin zu sozialen Systemen.

Eine Definition des Begriffs **Komplexität**[6] gestaltet sich selbst als sehr vielschichtig. Unter physikalischer Komplexität wird die Anzahl und Verschiedenartigkeit der Elemente, Relationen, Hierarchieebenen und möglichen Zustände eines Systems verstanden. Darauf aufbauend bezeichnet die systemtheoretische Komplexität die Vernetzung und Vielschichtigkeit und damit den Organisationsgrad eines Systems. Dies beinhaltet das Überschreiten der Verknüpfungskapazität der Elemente, d. h.:

> Komplexität liegt vor, wenn aufgrund bestimmter Beschränkungen nicht mehr alle Elemente mit allen anderen verknüpft werden können und die Gesamtheit somit nicht kontrolliert werden kann.[7]

---

[1] nach PRECHTL & BURKARD 1999, KRAUSE 2001, WILLKE 2000a, MÜLLER 1996, PFEIFER 1993 u. a.

[2] (gr.) Ordnung, Organisation, aus Einzelteilen zusammengefügtes und gegliedertes Ganzes, Vereinigung

[3] (gr.) selbst bildend

[4] aus dem Engl. (emergence): Aufkommen, Entstehung

[5] (lat.) Entwicklung

[6] (lat.) Vielschichtigkeit

[7] Einzeln kann zwar in einem Soziosystem z. B. jede Person mit jeder anderen reden, es kann sich aber – rein aufgrund des Aufwands – nicht jeder mit *allen* anderen abstimmen.

Die damit verbundenen Organisations- und Selektionszwänge im Sinne unwahrscheinlicherer Zustände sind eine Reaktion auf eine ebenfalls komplexe Umwelt. Vereinfacht ausgedrückt handelt es sich bei Komplexität um die Vielzahl von Möglichkeiten, von denen nur ein Teil realisiert wird. Komplexität wird auch mit der Intransparenz der Systemeigenschaften verbunden.[1] Damit geht es letztendlich nun nicht mehr um die vollständige Beherrschung von Komplexität und Schaffung von Transparenz, sondern um die Frage, wie mit Komplexität und Intransparenz umgegangen werden kann.

Die Selektionszwänge sind eng verknüpft mit dem Begriff der **Kontingenz**[2]. Mit „Möglichkeit" gleichgesetzt wird hierunter verstanden, dass ein Systemzustand nicht notwendig genau dieser, sondern nur einer unter einer Vielzahl von möglichen Systemzuständen ist, der sich aus der Adaption an eine ebenfalls komplexe Umwelt ergibt (**Kontingenzschließung**). Da diese Eingrenzung von Möglichkeiten auch umgekehrt, d. h. von der Umwelt, die aus ähnlichen Systemen besteht, in Bezug auf das betrachtete System existiert, spricht man hier von **doppelter Kontingenzschließung.**

Dieser **Bezug** der Systeme untereinander und damit die schon angesprochene **Differenz**[3] des Systems zur Umwelt stellen schließlich den zentralen Aspekt der Systemtheorie dar. Diese wird somit auch als **Differenztheorie** bezeichnet, d. h. ein Modell, das ausschließlich auf dem Bezug von Systemen zueinander aufbaut. Die **Einheit von Identität und Differenz** bezieht sich darauf, dass jedes System nur als Unterscheidung von der Umwelt existiert, damit aber gleichzeitig der Umwelt bedarf und die Umwelt genau definiert.[4]

Kommunikation[5] ist jegliche Form von mentaler Beeinflussung (SHANNON & WEAVER 1998) und noch allgemeiner jegliche Form der Verhaltenskoordination in einer „sozialen Koppelung" (MATURANA & VARELA 1987, S. 210). In komplexen, insbesondere autopoietischen Systemen sind es nicht mehr die einzelnen Elemente, die das System konstituieren, sondern eben diese Kommunikation, die über **Medien**[6] (Steuerungsmedien, symbolisch generalisierte Medien – z. B. Geld im Wirtschaftssystem) stattfindet. Sie erlauben es erst, „hohe Komplexität […] verarbeitbar und steuerbar zu machen" (WILLKE 2000b, S. 188) oder, vereinfacht ausgedrückt, die Interaktion der Elemente zu vereinfachen. Kommunikation wird dabei als Einheit von Information, Mitteilung und Verstehen gesehen.

---

[1] „Kompliziertheit" im Sinne des subjektiven Aspekts der Komplexität

[2] aus dem Engl. (contingency): Möglichkeit und Nicht-Notwendigkeit

[3] (lat.) Unterschied

[4] Dies kann bis zu einer Erklärung der Welt gehen, da ein „Nichts" sich nur gegenüber etwas anderem definieren kann und somit allein nicht existieren kann (CLAM 2002).

[5] (lat.) Verständigung, Verbindung, Beziehung, Zusammenhang

[6] (lat.) Mittel

2 Systemtheorie

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über Inhalte und Ziele der Systemtheorie und geht auf die unterschiedlichen Ausprägungen der Systemtheorie in verschiedenen Wissenschaften ein. Ein Modell der Systemtheorie in Form einer Sammlung von Prinzipien stellt die Basis für die weitere Arbeit dar. Systemtheorie ist dabei nur bedingt von Erkenntnistheorie und Designtheorie abgrenzbar.

2.1 Ursprung und Ziele der Systemtheorie

Die Entstehung der Systemtheorie geht darauf zurück, dass einerseits in verschiedenen Disziplinen identische Prinzipien entdeckt wurden, andererseits in vielen Disziplinen komplexe Phänomene mit herkömmlichen Methoden nicht mehr beschrieben werden konnten.[1] Hieraus ergaben sich folgende Ziele für eine Systemtheorie oder „*General System Theory*" (nach BERTALANFFY 1969, S. 38):

- die Unterstützung der zunehmenden Integration in den Disziplinen,
- die Schaffung *exakter* Theorien und Wissenschaften außerhalb der Physik,
- die Entwicklung einer Einheit der Wissenschaften und eines einheitlichen, systemtheoretischen Weltbilds,
- die Vereinfachung und Abstraktion wissenschaftlicher Erklärungsmodelle,
- die Unterstützung der wissenschaftlichen Ausbildung und Schaffung wissenschaftlicher Generalisten.[2]

Bei der Betrachtung von Systemen wird zwischen Systemwissenschaft, Systemtechnik und Systemphilosophie unterschieden. Obwohl Systemtheorie alle drei umfasst, bezieht sie sich vornehmlich auf die Systemwissenschaft, d. h. die Untersuchung von Systemen und deren Prinzipien in den einzelnen Wissenschaften und über die Wissenschaften hinweg. Die Systemtechnik beschäftigt sich mit der Entwicklung und Steuerung vornehmlich technischer Systeme und den dort wirkenden Prinzipien. Die Systemphilosophie versucht, ein Weltmodell vor dem Systemhintergrund zu entwickeln.

---

[1] Als Beispiel sei hier die Bemerkung von SZENT-GYÖRGYI (1964, zit. nach BERTANLANFFY 1969, S. 5) angeführt, dass Physiker wohl in der Lage seien, die Wechselwirkung zwischen zwei Teilen (z. B. Elektronen, Planeten) zu bestimmen, jedoch überfordert seien, sobald ein drittes Teil hinzukommt.

[2] Das sollte zu einer wissenschaftlich kontrollierten Gesellschaft führen, die jedoch nicht zwingend ein Utopia ergäbe. Gänzlich gegen diese Sichtweise spricht sich WILLKE 2000b aus, da Wissenschaft und Politik auf grundlegend verschiedenen Prinzipien (Medien: Wahrheit vs. Macht) basieren und so nur ein anderer gesellschaftlicher Aspekt die Führungsrolle übernehmen würde.

Ansatz der ersten „General System Theory“ ist die mathematische Beschreibung komplexer Systeme über z. B. Differenzialgleichungssysteme und damit beschreibbaren Prinzipien von Systemen. Während die Systemebenen hier noch abstrakt beschrieben und unverbunden angeordnet werden (statische Strukturen, Kontrollmechanismen, offene Systeme, niedere Organismen, Tiere, Menschen, Soziokulturelle Systeme und symbolische Systeme), setzt LASZLO (1996) sie in Verbindung zueinander (Bild 2). In diesem evolutionären Prozess (*General Theory of Evolution*[1]) entstehen alle Systemebenen aus den jeweils niedrigeren im Laufe der Zeit, die sich wiederum verfestigen. Auf welcher „Höhe“ sich ein neues Organisationsniveau bildet, ist dabei nicht eindeutig bestimmt (Bifurkationen).

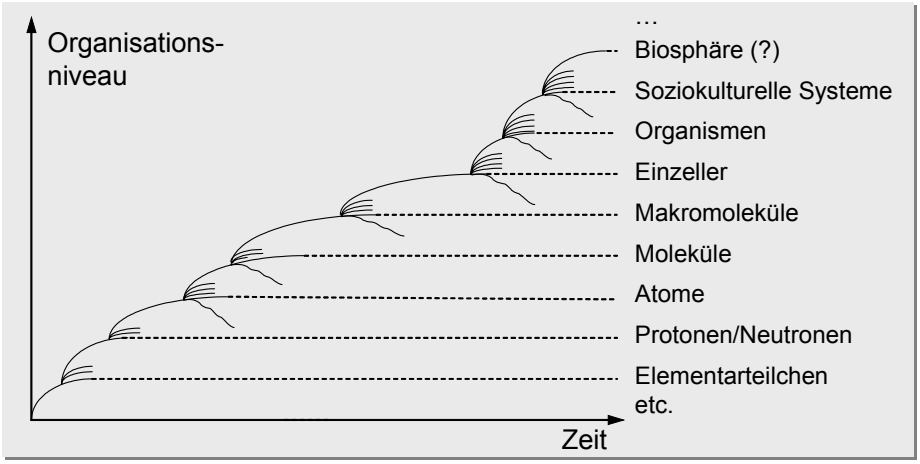


Bild 2: Entstehung neuer aufeinander folgender Organisations-/Systemebenen

Obwohl sich die Systemtheorie als disziplinenübergreifend betrachtet, geht Systemtheorie immer von einer bestimmten Disziplin aus und erfährt hier spezifische Ausprägungen. Daher ist es schwierig, eine disziplinäre Anwendung der Systemtheorie von einer allgemeinen Systemtheorie, die so praktisch nicht existiert, zu unterscheiden. Real vorkommende Systeme müssen mit der Systemtheorie erklärt werden können, d. h. Systemtheorie als Wissenschaft darf praktisch keine real vorkommenden Phänomene ausklammern. Das gilt sowohl für Politik, Wirtschaft, Erziehung etc. als auch für Kunst, Esoterik, Religion etc.

Neben antiken Ansätzen lässt sich die heutige Systemtheorie auf Ansätze der Biologie und Chemie, der Soziologie, der Psychologie, der Ingenieurs- und Wirtschaftswissenschaften, der Physik, Mathematik und Informatik sowie der Philosophie und Linguistik zurückführen (Tabelle 1). In der Entwicklung der Systemtheorie gibt es dabei eine Vielzahl von Einflüssen aus anderen Disziplinen, die sich selbst nicht als Systemtheorie betrachten.

Die Systemtheorie selbst hat zwei Paradigmenwechsel durchgemacht (Bild 3). Im ersten Paradigmenwechsel fand der Wechsel von einem fremdbeobachteten und fremdgesteuerten

[1] Es ist somit zu unterscheiden zwischen der Evolution, die auf einer Systemebene besteht, z. B. wie die Entstehung der Arten, und der allgemeinen Evolution, die sich über die Ebenen hinweg erstreckt.

System zu einem selbststeuerenden und sich gegenüber der Umwelt abgrenzenden System statt. Während ersteres noch von einer Kontrolle eines klar definierten, geschlossenen und *an sich* existenten Systems ausging, betrachtete letzteres die Regelkreise und Steuerungsmechanismen eines offenen Systems, in die man mit den entsprechenden Methoden steuernd eingreifen kann. Diese Kybernetik 1. Ordnung suggeriert jedoch immer noch die Möglichkeit der Kontrolle eines Systems.

Tabelle 1: Auswahl systemischer und verwandter Ansätze unterschiedlicher Disziplinen[1]

Disziplin	Ansätze
Biologie	*Darwin*: Auslese; BERTALANFFY (1969): General System Theory; PRIGOGINE (1998): Dissipative Strukturen; FOERSTER (1995): Kybernetik 2. Ordnung; MATURANA & VARELA (1987): Autopoietische Systeme; LASZLO (1996): Evolution
Soziologie	SMITH (2001), DURKHEIM (1999): Arbeitsteilung; PARSONS (1959): Theorie sozialen Handelns; LUHMANN (1997, 2002): Systemtheorie; BANATHY (2000): Cultural Evolution
Psychologie	PIAGET (1996): Genetische Epistemologie; Campbell (HEYES & HULL 2001): Evolutionary Epistemology; GLASERSFELD (1996): Radikaler Konstruktivismus; *Hellinger*: Organisationsaufstellungen; DÖRNER (1989): Problemlösen
Ingenieurs- und Wirtschafts-wissen-schaften	GOODE & MACHOL (1957), HALL (1963), CHESTNUT (1973), DAENZER & HUBER (1999): Systems Engineering; FORRESTER (1976): System Dynamics; ROPOHL (1975): Systemtechnik; MALIK (1989, 2003), GOMEZ (1981), ULRICH & PROBST (1991): Systemisches Management (St. Gallen); CHECKLAND & SCHOLES (2000): Soft Systems Methodology; PETERS (2000): Kreatives Chaos; SENGE (1990): Fifth Discipline; VESTER 1999: Vernetztes Denken
Mathematik, Physik, Informatik	EINSTEIN (1956): Relativitätstheorie; RUSSELL & WHITEHEAD (2002): Principia Mathematica; Planck, HEISENBERG (2000): Quantentheorie; *Gödel*: Unvollständigkeitsaxiom; NEUMANN & MORGENSTERN (1990): Spieltheorie; WIENER (1965): Kybernetik; MCCULLOCH (2000): Künstliche Intelligenz; Feigenbaum (GLEICK 1998): Chaostheorie; HOLLAND (1992, 1998): Emergence; SPENCER-BROWN (1997): Laws of Form
Philosophie, Linguistik	KANT (2000), HEGEL (1988): Erkenntnistheorie; SAUSSURE (1967): Strukturalismus; WITTGENSTEIN (2003): Tractatus logico-philosophicus; KORZYBSKI (1994): Allgemeine Semantik

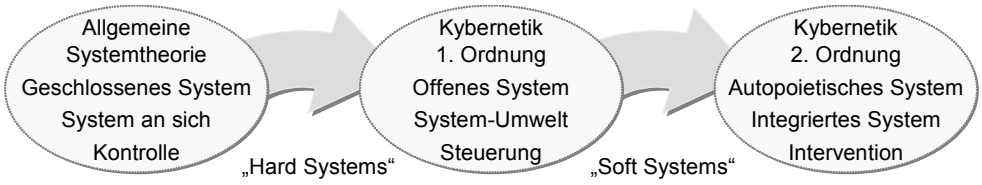


Bild 3: Paradigmenwechsel in der Systemtheorie

Der zweite Paradigmenwechsel hin zum reflexiven, selbstreferenziellen und autopoietischen System, das sich selbst aus der Umwelt bildet und in der Umwelt erhält, verabschiedet sich von dem Gedanken der Steuerung und Kontrolle: Ergebnisse sind unvorhersagbar und nur *Intervention* ist möglich. Die Kybernetik 2. Ordnung fordert eine Integration des Beobachters in das System. Diese Unterteilung findet sich auch zwischen „hard systems“, die ein kontrollier- und gestaltbar sind, und „soft systems“, die nicht vollständig beherrschbar sind und den Beobachter beinhalten (CHECKLAND & SCHOLES 2000).

[1] Die Zuordnung der Autoren zu den einzelnen Disziplinen ist dabei nicht eindeutig und bezieht sich auf die inhaltlich wesentlichen Aspekte. Die einzelnen Beiträge werden im Folgenden noch detailliert beschrieben.

Die Kybernetik 1. Ordnung umfasst u. a. BERTALANFFY (1969), WIENER (1965), MCCULLOCH (2000), HOLLAND (1992), PARSONS (1986), MALIK (1989), ULRICH & PROBST (1991), DAENZER & HUBER (1999) und DÖRNER (1989), wobei z. B. MALIK (1989) und DÖRNER (1989) u. a. hier auch kritische Stellungen gegenüber einer vollständigen Kontrolle einnehmen. Zur Kybernetik 2. Ordnung zählen u. a. CHECKLAND & SCHOLES (2000), FOERSTER (1995), MATURANA & VARELA (1987) und insbesondere LUHMANN (2002). Von besonderer Bedeutung ist der Radikale Konstruktivismus (GLASERSFELD 1996), der die gesamte Realität als geistig konstruiert auffasst.

Die moderne Systemtheorie unterliegt selbst einer ständigen Weiterentwicklung. Andersherum ausgedrückt widerspricht die Auffassung der Systemtheorie als eine endgültige Lösung genau ihrem Kerngedanken. WIENER (1965) bezeichnet die neue Sichtweise als Wechsel zwischen Newtonscher und Bergsonscher Zeitrechnung, d. h. von einem mechanistischen Universum zu einer Philosophie, die Intuition und schöpferisches Leben betont.

2.2 Ausprägungen der Systemtheorie

Der Schwerpunkt der folgenden Betrachtungen liegt auf der Biologie und der Soziologie. Es ist dabei interessant zu beobachten, dass sich die disziplinenspezifischen Ausprägungen der Systemtheorie oftmals gegenseitig kritisieren, obwohl ihr eigentliches Ziel eine Einheit der Wissenschaft ist. Dieser Disput lässt sich in den meisten Fällen auf den Gegensatz von Kybernetik 1. und 2. Ordnung oder Holismus und Reduktionismus zurückführen.

2.2.1 Biologie

Die so benannte Systemtheorie hat ihren Ursprung mit BERTALANFFY (1969) in der Biologie. Hier wurden die allgemeinen Prinzipien interagierender Systeme aufgedeckt:

- **Spezialisierung** als gegenseitige Abgrenzung
- **Mechanisierung** einer speziellen Funktion
- **Zentralisierung** um ein führendes System
- **Individualisierung** als organisierte Einheit, die nur als solche überlebensfähig ist.

Die Ähnlichkeiten zwischen z. B. Organismen und Kulturen aus geschichtswissenschaftlichem Hintergrund (z. B. SPENGLER 1997, TOINBEE 1996, VICO 2000) bzw. Organismen und der gesamten Biosphäre („Gaia“, LOVELOCK 1991), werden von BERTALANFFY (1969) kritisiert – z. T. kaum oder lediglich mit der „Offensichtlichkeit“ begründet –, obwohl gerade dies Inhalt der Systemtheorie sein sollte.

Die Systemtheorie ist eng verknüpft mit der Evolutionstheorie (*Darwin*, STRICKBERGER 1996). Diese basiert auf den Prinzipien **Transformation** (Umwandlung) und **Diversifikation** (Vermannigfaltigung) bzw. **Mutation**, **Rekombination**, **Selektion** und **Verer-**

bung, die die **Fortpflanzung** erfordern. Die klassische Evolutionstheorie (nach *Darwin*, *Lamarck*) fasst die Entstehung der Arten als eine Anpassung an eine äußere Umwelt auf. In der **Synthetischen Evolutionstheorie** werden andere Bereiche (wie z. B. Molekularbiologie) zu einer Gesamttheorie integriert. Die **Systemtheorie der Evolution** nach BERTALANFFY (1969) und RIEDL (2002) begreift nun, dass die Umwelt auch aus Lebewesen besteht und somit auch diese beeinflusst wird (*doppelte Kontingenzschließung*). In Verbindung mit der Chaostheorie wird die **Synergetische Evolutionstheorie** begründet, in der auch kleine Mutationen zu ausgeprägten Veränderungen des Phänotyps, d. h. der individuellen Eigenschaften, führen können, da die Gene bei der Ausbildung des Phänotyps interpretiert werden. Größere funktionelle Veränderungen im Laufe der Evolution, die gegen die Evolutionstheorie herangezogen werden, werden über Doppelfunktionen einzelner Eigenschaften erreicht, die sich später zu einer neuen Gesamtfunktion zusammenschließen. Die **Phylogenese** umfasst die Entwicklung der Stammesgeschichte, d. h. der Arten, während die **Ontogenese** die Entwicklung des einzelnen Lebewesens darstellt. Die **biogenetische Grundregel** besagt, dass die Ontogenese die Phylogenese rekapituliert, d. h. alle Entwicklungsschritte der Art im einzelnen Organismus nochmals durchlaufen werden.

MATURANA & VARELA (1987) vollzogen die Entwicklung von Leben und Erkenntnis nach. Der zugehörige Aspekt der Wahrnehmung ist zentraler Bestandteil der modernen Systemtheorie. Kernaussagen sind, dass die Wahrnehmung im Wesentlichen von der inneren Struktur eines Lebewesens abhängt, nicht von „objektiven“ Umwelteinflüssen, und dass Wahrnehmung untrennbar von Handlungen ist und umgekehrt.

Die Entstehung des Lebens basiert auf der Vielfalt und Komplexität kohlenstoffbasierter Moleküle und der Reaktionen zwischen ihnen. Leben entsteht, sobald sich ein Netzwerk als Einheit gegenüber der Umwelt abgrenzt, das seine eigenen Bestandteile selbst produziert und sich somit ständig neu erzeugt (autopoietische Organisation). Es ist zwischen der **Organisation**, d. h. dem Funktionsprinzip des Selbsterhalts und der **Struktur**, d. h. der konkreten Verwirklichung der Organisation zu unterscheiden. Bei dem Selbsterhalt spielen Reproduktion und Vererbung zentrale Rollen. Es ist missverständlich, Gene als Träger der vollständigen „Erbinformation“ zu betrachten, da es sich um eine Replikation und keine Informationsweitergabe handelt und die DNS nur Teil einer komplexen Struktur ist. Die Ontogenese eines Lebewesens entspricht der strukturellen (sic!) Wandlung zur Anpassung an die Umwelt, die jedoch ebenso aus Lebewesen besteht und durch Lebewesen beeinflusst wird. Diese gegenseitige Beeinflussung, die **strukturelle Koppelung**, entspricht der Systemtheorie der Evolution. Die Umwelt kann dabei das System nur perturbieren[1], die Instruktion oder Determiniertheit des Verhaltens entsteht aus der internen Struktur (**strukturell determiniert**[2]). Diese strukturelle Koppelung führt dazu, dass weniger von einer Aus-

[1] stören, verwirren, beeinflussen, interagieren

[2] Dieser Determinismus ist, wie in der Physik bzw. Unschärferelation, nicht mit Voraussagbarkeit (im Sinne einer Beobachtungsfähigkeit) zu verwechseln, sondern bezieht sich auf eine Gesetzmäßigkeit.

lese im Laufe der Evolution zu reden ist, als von einer Erhaltung der Anpassung[1] an die Umwelt, die auch als natürliches oder strukturelles Driften bezeichnet wird.[2]

Die Strukturdeterminiertheit widerspricht der repräsentationistischen Auffassung, dass das Gehirn oder das Nervensystem von außen objektiv aufgenommene Informationen verarbeitet[3] und definierte „Repräsentationen" verwendet. Hier ist eine Gratwanderung zwischen Solipsismus, d. h. die Realität existiert nur im Bewusstsein, und Repräsentationismus, d. h. objektive Informationen werden verarbeitet, notwendig. Während letzteres die zurzeit vorherrschende und eher psychologische Interpretation ist (z. B. auch DÖRNER 1999), wird zunehmend auch die erste Sichtweise wieder aktuell[4]. Dass diese sich nicht unbedingt widersprechen, lässt sich durch die Berücksichtigung deren Modellcharakter erreichen.

Unter Verhalten werden nun die von einem Beobachter *wahrgenommenen* Handlungen des Lebewesens in seiner Umwelt verstanden. Das Nervensystem, als Verbindung weit auseinander liegender Bereiche der Sensorik und Motorik, erweitert dabei die *möglichen* Verhaltensweisen. Die Komplexität der Verhaltensmöglichkeiten wird durch die Vielzahl von Interneuronen, die schließlich u. a. das Gehirn bilden, erreicht. Das Verhältnis[5] der Sensoneuronen (10) zu Interneuronen (100.000) zu Motoneuronen (1) deutet an, dass die innere Struktur das Verhalten stärker beeinflusst, als die von außen aufgenommene Information. Die komplexe Verbindung dieser Neuronen untergräbt dabei auch die Auffassung einer unmittelbaren Leitung von z. B. Auge zum Gehirn und verdeutlicht, dass es sich eher um eine Modulation statt einer Spezifikation bei der Informationsaufnahme handelt.

Die Struktur der Interneuronen enthält einerseits instinktives Verhalten, andererseits erlaubt sie das Lernen des Individuums durch Anpassen der Relationen der Neuronen. Geht man zurück auf die Ebene des Beobachters, lässt sich nun erlerntes und instinktives Verhalten nicht unmittelbar trennen. Damit kann jede Interaktion eines Organismus mit seiner Umwelt als kognitiver Akt aufgefasst werden. Dies führt wiederum dazu, dass Leben mit Erkenntnis und effektiver Handlung gleichzusetzen ist. Durch eine ausgedehnte strukturelle Koppelung können in einem komplexen Nervensystem neue Phänomene wie Sprache und Selbstbewusstsein auftauchen. Diese neue Dimension der Koppelung einzelner Organismen ist der Bereich sozialer Phänomene, basierend auf der Ko-Ontogenese mehrerer Organismen, d. h. einem gemeinsamen strukturellen Driften.

Kommunikation ist eine Verhaltenskoordination innerhalb dieser sozialen Koppelung. Entgegen der oben erwähnten Kritik an einer Analogie von „Kulturen" und Organismen, wird

---

[1] Dabei gibt es kein „besser oder schlechter angepasst", sondern nur ein „angepasst oder nicht angepasst".

[2] Die Bildung von Metazellern wird in dieser Darstellung übersprungen.

[3] Die Auffassung des Gehirns als Computer ist somit auch eher verwirrend bis falsch.

[4] entsprechend dem Übergang der Kybernetik 1. Ordnung zur Kybernetik 2. Ordnung

[5] beim Menschen etwa 10^7 Sensoneuronen, 10^{11} Interneuronen und 10^6 Motoneuronen

diese Koppelung als Gesellschaft prinzipiell Organismen gleichgesetzt; ein Unterschied besteht lediglich in der Autonomie der Komponenten[1]. Die Weitergabe erlernter Verhaltensmuster über Generationen („generationenübergreifende Stabilität") stellt kulturelles Verhalten dar. Erlerntes und kommunikatives Verhalten wird als sprachlicher Bereich definiert. Erst die „sprachliche Unterscheidung sprachlicher Unterscheidungen", d. h. eine rekursive und reflexive Koordination von Handlungen in Bezug auf Handlungen des sprachlichen Bereichs sind *Sprache*. Diese Reflexion führt letztendlich zum Selbstbewusstsein.

Ergebnis ist, dass Erklärung und Phänomen untrennbar miteinander verknüpft sind und es letztendlich keinen festen Bezugspunkt gibt. Dies hat hohe Bedeutung für individuelles Handeln durch die **Verpflichtung durch Erkenntnis der Erkenntnis**[2], einer ständigen Versuchung der Gewissheit, der Auffassung von Konflikten als Negation unterschiedlicher Sichtweisen etc. Die subjektive Wahrnehmung[3] im Sinne des Radikalen Konstruktivismus ist nochmals zu betonen; diese wird häufig mit unterschiedlichen Gittern („*grids*") verglichen, durch die Individuen die „gleiche" Welt sehen (WITTGENSTEIN 2003). Problem hierbei ist, dass es keine andere Möglichkeit der Sicht auf die Welt gibt, gleichzeitig aber eine Kommunikation darüber stattfinden muss.

Der Ansatz von MATURANA & VARELA (1987) entspricht einem Verlassen des individuellen Bereichs zugunsten einer Betrachtung des ganzheitlichen natürlichen Driftens, d. h. der Struktur der Evolution und nicht deren Elemente. Daher verwundert es nicht, dass dieser Ansatz aufgrund der notwendigen Aufgabe bisheriger Denkweisen und der Herabsetzung des Individuums heftiger Kritik ausgesetzt ist, wobei sich diese Kritik zumeist auf die offensichtlich wahrnehmbaren objektiven Elemente der Welt bezieht (Argument *ad lapidem*). Hierzu ist einerseits zu sagen, dass selbst objektive Elemente auf unterschiedliche Art gesehen werden, andererseits ein gemeinsames biologisches Erbe kongruente Unterscheidungen und somit Kommunikation überhaupt erst ermöglicht. Auf höherer Ebene muss dabei erwähnt werden, dass dieser Ansatz auch als inspirierende und dem vorherrschenden repräsentationistischen Paradigma opponierenden Sichtweise aufgestellt wurde.

In den biologischen Bereich gehören des Weiteren dissipative Strukturen (PRIGOGINE 1998), die als Systeme außerhalb eines Gleichgewichtszustands die Entstehung von Entropie[4] vermeiden und selbst Ordnung erzeugen („Negentropie") und die dabei entstehende

---

[1] So sind die Zellen eines Körpers in ihrer Autonomie beschränkt, da diese für den Körper existieren. Die Menschen in einer menschlichen Gesellschaft haben maximale Autonomie, da die Gesellschaft für sie existiert. Dies ist aus biologischer Sicht richtig, kann jedoch aus soziologischer Sicht auch kritisiert werden.

[2] v. a. der Selbsterkenntnis

[3] Als Beispiel wird häufig die Farbwahrnehmung aufgeführt: bestimmte Farben können durch Differenz zur Umgebung wahrgenommen werden, obwohl diese „Farbe", im Sinne der entsprechenden Wellenlänge, nicht vorhanden ist; der Verweis auf die Wellenlänge, in dem Sinne, dass es eigentlich gar keine Farben *gibt*, verstärkt dies noch. Weitere Beispiele sind hier optische Täuschungen und Gesetze der Wahrnehmung.

[4] Maß der Unordnung, d. h. der gleichförmigen Verteilung

Entropie in die Umgebung „dissipieren“[1]. Dieses Prinzip gilt für Lebewesen und andere chemische Systeme. Systeme, die weit außerhalb eines Gleichgewichtszustands stehen, können spontan eine stabile Ordnung auf einer höheren Ebene einnehmen. Der ständige Übergang zu einer höheren Ordnung innerhalb einer weiter gefassten Evolutionstheorie wurde von LASZLO (1996) eingehend beschrieben.

Festzuhalten ist:

Wahrnehmung und Handlung sind eine Einheit der ständigen Anpassung des Systems an die Umwelt und im Wesentlichen von der inneren Struktur des Systems abhängig.

2.2.2 Soziologie

Die Soziologie selbst ist von besonderer Bedeutung, da hier die Systemtheorie ihre aktuellste Ausprägung hat[2]. Wenn sie auch neue Problemstellungen formulieren kann, ist die Soziologie selbst noch davon entfernt, fertige Lösungen anzubieten. Für die Systemtheorie wichtige Ursprünge der Soziologie waren die von SMITH (2001) und DURKHEIM (1999) entwickelten Ansätze der sozialen Arbeitsteilung. Obwohl schon in der Antike explizite Betrachtungen des Gemeinwesens stattgefunden haben, haben sie klar formuliert, dass durch eine Einschränkung des Individuums (funktionelle Differenzierung) insgesamt eine höhere Leistung erbracht werden kann. Eine wichtige Stellung nimmt hier der Komplexitätsbegriff ein: Komplexität liegt dann vor, wenn nicht mehr jedes Element eines Systems mit jedem anderen direkt verknüpft werden kann. Dies kann sich auf alle Mitglieder eines sozialen Systems beziehen[3], dem die Soziologie als spezielle, auf gesellschaftliche Fragestellungen ausgerichtete Disziplin begegnen will (*Comte*, nach BÜSCHGES et al. 1998), aber eben auch auf die Wechselwirkungen zwischen Komponenten eines Produkts.

Eine allgemeine Theorie sozialen Handelns und damit die soziologische Systemtheorie wurde von PARSONS (1986) begründet. Hier wurde die **strukturell-funktionale Systemtheorie** entwickelt, die gegebene gesellschaftlichen Strukturen voraussetzt und nach den Funktionen zur Erhaltung dieser Struktur fragt. Die nächste Stufe stellt der **systemfunktionale Ansatz** dar (BUCKLEY 1968, MILLER 1987, auch noch PARSONS 1986), nach dem auch die Struktur eines Systems sich an verändernde Umweltbedingungen anpasst. Der **funktional-strukturelle Ansatz** nach Luhmann stellt die Funktion als Sinn aus der System-Umwelt-Beziehung in den Vordergrund und fragt nach den Strukturen, die zur

[1] (engl.) dissipate: zerstreuen

[2] Hier kann kein kompletter Überblick der dortigen Diskussion wiedergegeben werden; vielmehr werden die Grundgedanken soweit vorgestellt, dass sie auf den betrachteten Bereich übertragen werden können.

[3] In einem System mit hunderten von Menschen kann sich nicht jeder mit jedem direkt abstimmen, um gemeinsame Ziele zu erreichen. Auch der Gedanke eines „shared understanding“ (s. u.) ist hier unangemessen.

Erfüllung der Funktion notwendig sind. Die evolutionäre Entwicklung von Systemen wird im **funktional-genetischen Ansatz** betrachtet. Dass sich komplexe Systeme mit sich selbst beschäftigen müssen, führte zur **Theorie selbstreferenzieller Systeme**. In dieser Entwicklung der Systemtheorie finden sich die oben angesprochenen Paradigmenwechsel: von der Auffassung eines Systems als Ganzes mit seinen Teilen hin zur System-Umwelt-Beziehung und weiter zur autopoietischen Konzeption von Systemen.

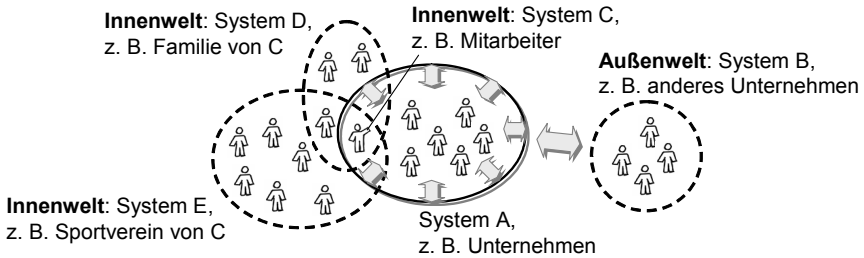


Bild 4: Innen- und Außenwelt eines sozialen Systems

Wesentliche Bedingung eines Systems[1] ist seine Abgrenzung oder Differenzierung zur Umwelt. Durch die Abgrenzung eines Systems wird zugleich festgelegt, was nicht zu dem System gehört („Unterscheidung"). Die Umwelt wird unterteilt in eine **Innenwelt** und eine **Außenwelt**. Die Innenwelt besteht aus den Individuen oder Elementen, die das System bilden, die Außenwelt aus anderen parallelen Systemen, Teilen eines übergeordneten Gesamtsystems oder dem Gesamtsystem selbst. Die Auffassung der Elemente des Systems als innere Umwelt berücksichtigt, dass die Elemente des Systems gleichzeitig Elemente eines anderen Systems sein (Bild 4) und auch ohne das System bestehen können; das System wiederum setzt sich nicht nur aus den Elementen zusammen. Damit stellt sich diese Systemsicht einer klaren Hierarchiebildung entgegen. In dieser Auffassung sind soziale und psychische Systeme[2] gegenseitige Umwelten, d. h. ein psychisches System existiert im sozialen Umfeld, welches wiederum über psychologische Systeme entsteht.

Bei sozialen Systemen ist zwischen konkreten Systemen, wie z. B. ein Unternehmen, und Funktionssystemen, wie z. B. die Wirtschaft, zu unterscheiden. Für beide gilt das Prinzip der operationalen Geschlossenheit, das besagt, dass die wesentliche Dynamik des Systems aus seiner inneren Struktur entsteht. Im Falle relativ einfacher Systeme, wie z. B. Tiere wird dabei die wahrgenommene Komplexität mit bestimmten Reizreaktionen (Verhalten) reduziert. Komplexe Systeme prozessieren die Wahrnehmung über einen Sinn, um die Vielfalt der externen Handlungsmöglichkeiten zu reduzieren, produzieren damit aber gleichzeitig eine innere Komplexität von Handlungsmöglichkeiten. Die Komplexität des Systems selbst ist somit einerseits ein unwahrscheinlicher Zwangszustand, der eine Diffe-

[1] „System" im Sinne der soziologischen Systemtheorie nach Luhmann. Menschen und Sprache z. B. werden hier nicht als Systeme aufgefasst. Diese können in anderen Ansätzen natürlich auch „Systeme" darstellen.

[2] Psychische Systeme werden hier ebenfalls betrachtet, da sie eine ausreichende Komplexität besitzen.

renz zur Umwelt erlaubt, d. h. die **Kontingenzschließung** zur Eingrenzung der Möglichkeiten, um sich im übergeordneten System einzuordnen; andererseits dient die innere Komplexität möglichen Anpassungen an eine sich verändernde Umwelt, d. h. der **Kontingenzerhalt** zum Offenhalten von Möglichkeiten, um sich an die Umwelt anpassen zu können.

Tabelle 2: Systemfunktionen und Systembildung (WILLKE 2000a)

Funktion (AGIL-Schema)	Gruppenzweck	Rollentypen	Problem	Folgeproblem	Lösungsschema
Grenzbildung (-)	-	-	Umwelt	sachliche Komplexität	Assimilation
Ressourcengewinnung/Spezialisierung (Anpassung)	Bedürfnisbefriedigung	Grundrollen	Knappheit	soziale Komplexität	Rollendifferenzierung
Strukturbildung (Zielerreichung)	Garantie d. Bedürfnisbefriedigung	Normative Rollen	Ordnung	zeitliche Komplexität	Prozessregeln
Prozesssteuerung (Integration)	kollektive Ziele	instrumentelle Rollen	Zeit	operative Komplexität	Reflexivität
Reflexion (Strukturerhaltung)	Selbstbestimmung der Gruppe	Leitungsrollen	Identität	kognitive Komplexität	Integration
Genese (-)	Gruppenwachstum	Generative Rollen	Evolution	Systemkomplexität	generative Differenzierung

Die Erhaltung eines Systems erfordert nach PARSONS (1959) die Erfüllung der im AGIL-Schema zusammengefassten Systemfunktionen ***A**daptation* (Anpassung), ***G**oal-attainment* (Zielverwirklichung), ***I**ntegration* (Integration) sowie ***L**atent pattern maintenance* (Strukturerhaltung). Eine Erweiterung dieser Systemfunktionen um die eigentliche Systemabgrenzung sowie die Selbstreproduktion führt zum Schema in Tabelle 2, das die Entstehung von Systemen und die damit verbundene Steigerung der Komplexität oder der Komplexitätsverarbeitungskapazität[1] begründet. Diese zentrale Darstellung der Systementstehung wird im Folgenden wieder aufgegriffen und auf andere Bereiche übertragen.

Das System grenzt sich von seiner Umwelt (Spalte „Problem“ in Tabelle 2) ab, indem sich seine einzelnen Mitglieder einander assimilieren[2] („Lösungsschema“). Es entsteht eine sachliche Komplexität durch die Vielzahl der Systeme, d. h. Systeme müssen sich zur Bedürfnisbefriedigung um die Gewinnung knapper Ressourcen kümmern. Dies wird durch eine funktionale Rollendifferenzierung (Nischen) erreicht, führt jedoch zum Problem sozialer Komplexität der Unüberschaubarkeit der Interaktionen. Um die Grundlagen für die Bedürfnisbefriedigung sicherzustellen (Ordnung), werden Strukturen und normative Rollen gebildet. Die Anpassung des Systems an die sich ändernde Umwelt (zeitliche Komplexität) wird durch Prozesssteuerung, d. h. eine Trennung von Struktur und Prozessen, sowie über instrumentelle Rollen realisiert. Komplexe psychische und soziale Systeme erreichen nun eine Stufe, in der die Vielzahl von Handlungsmöglichkeiten eine operationale Komplexität erzeugt, die über Reflexivität, Identitätsbildung, Sinnkonstitution und Leitungsrollen be-

[1] entspricht der Handlungsfähigkeit bei Gleichsetzen von Handlung mit Komplexitätsverarbeitung

[2] (lat.) angleichen, anpassen

herrscht wird. Die Reflexivität führt zu kognitiven Fähigkeiten und zum Problem kognitiver Komplexität, das über Wachstum und Genese, d. h. eigene Schöpfungen zur Differenzierung gelöst wird. Diese können sich wieder von der Umwelt abgrenzen und einen neuen Zyklus beginnen. Ein Übergang zwischen den Ebenen ist zwar nicht a priori zwingend erforderlich, hat aber Vorteile gegenüber konkurrierenden Systemen, sodass er sich von selbst ergibt. Diese Prozesse können sowohl bottom-up (Integration einzelner Elemente) als auch top-down (Aufspaltung des Gesamtsystems) interpretiert werden.

Komplexe Systeme haben einen unmittelbaren Zeitbezug. Zum einen sind sie von sich selbst abhängig, von ihrer Vergangenheit durch die internen Operationen, von ihrer Zukunft durch die Ausbildung von Erwartungen. Zum anderen bestehen sie aus relativ kurzlebigen Elementen (Kommunikationen), deren kontinuierliche Reproduktion erforderlich ist.

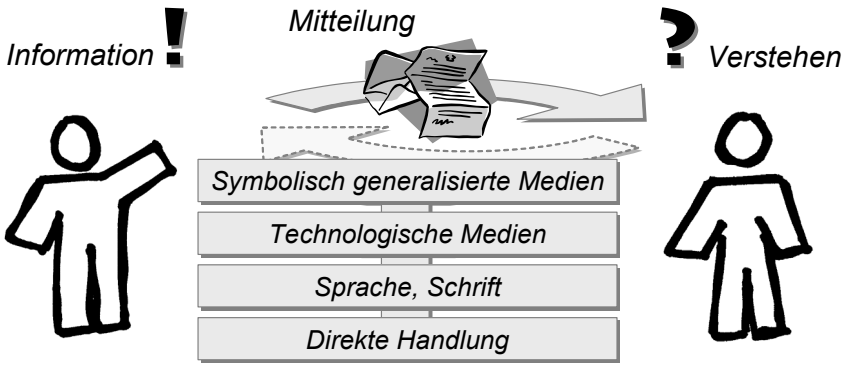


Bild 5: Kommunikation als Einheit aus Information, Mitteilung und Verstehen

Kommunikation ist jegliche Verhaltenskoordination zwischen Individuen. Führt man das Verhalten auf Handlungen zurück, bedeutet dies, dass Kommunikation Anschlusshandlungen ermöglicht oder Anschlusshandlungen Kommunikation darstellen. In der Systemtheorie wird Kommunikation als Einheit aus Information, Mitteilung und Verstehen aufgefasst, die nicht zwingend identisch sein müssen und es in der Regel auch nicht sind (Bild 5). Während Information[1] und Verstehen persönlich sind, erfolgt die Mitteilung über verschiedene Medien. Zuerst bezog sich Kommunikation nur auf direkte Handlungen und entsprechende Anschlusshandlungen. Sprache und Schrift ermöglichten differenzierte Anschlusshandlungen über räumliche und zeitliche Abstände hinweg; technologische Medien (Telefon, Internet etc.) erweitern diese Möglichkeiten noch. *Symbolisch generalisierte Medien* ermöglichen Anschlusshandlungen nur schwer miteinander verknüpfbarer Situationen in komplexen Systemen nach obiger Definition. Als einfaches Beispiel dient hier Geld, das einen einfachen Waren- und Arbeitsaustausch ermöglicht, ohne jedes Mal beim Ein-

[1] Als subjektiv vorhandene Information könnte hier auch der Begriff „Wissen“ stehen; in Einklang mit der Terminologie der Systemtheorie wird jedoch weiter Information verwendet, in dem Sinne der Information, die eine Person als interessant und mitteilungsbedürftig empfindet. Es ergeben sich also die Elemente „Was möchte ich mitteilen?“, „Wie teile ich es mit?“ sowie, auf der anderen Seite „Was denkt der Empfänger?“.

kaufen z. B. detailliert einen Bedarf, einen Wert, ein Verdienst o. Ä. sprachlich kommunikativ zu begründen. Die Medien konstituieren das eigentliche (Funktions-)System (Tabelle 3). Diese Betrachtung ersetzt die Handlungstheorie durch eine Kommunikationstheorie.

Tabelle 3: Funktionssysteme (erweitert nach KRAUSE (2001), REESE-SCHÄFER (1999), s. a. Anhang 1)[1]

System	Funktion	Medium (Träger)	Handlung	Objekt (Grund)	Code (Selektions-kriterium)	Programm (Regler)
Wirt-schaft	Bedürfnis-befriedigung	Geld (Währungen)	Zahlung	Arbeit, Besitz (Ressourcen)	Haben/Nichthaben (wertvoll/Bedarf)	Knappheit, (Zinsen)
Recht	Konflikt-regulierung	Recht (Ge-setze/Urteile)	Recht-sprechung	Möglichkeiten (Interessen)	Recht/Unrecht (gerecht/zumutbar)	Gesetze (Verfassung)
Wissen-schaft	Erzeugung neuer Erkenntnis	Erkenntnisse (Publikationen)	Publikation	Erfahrungen (Neugier)	Wahrheit/Unwahrh. (nutzbar/objektiv)	Theorien (Re-view, Titel)
Politik	Machtbeschrän-kung	Macht (Wahl-stimmen)	kollektive Entscheid.	Ausbreitung (Bedrohung)	Regierung/Oppo-sition (Sicherheit)	Ideologien (Wahlen)
Religion	Kontingenzaus-schaltung	Glaube (Bilder)	Glaubens-bekenntnis	Sinn („Grund-losigkeit“)	Immanenz/Trans-zend. (Sinn gebend)	Dogmatik (Gebote)
Kunst	Innovation, Refle-xion der Welt	Empfindungen (Kunstwerke)	Gefühls-ausdruck	Ästhetik (Wi-dersprüche)	Schön/hässlich (schön/anregend)	Stile (Kritik)

Das Wirtschaftssystem hat z. B. die ideelle Hauptfunktion der materiellen Reproduktion und Bedürfnisbefriedigung und erbringt praktisch die Leistung der Bedürfnisbefriedigung. Die Funktion einzelner Systeme kann weiter differenziert werden. Die Systeme nehmen auch Nebenfunktionen an (z. B. Diakonie im Religionssystem), die im weiteren Verlauf zur wesentlichen Leistung werden können. Das Medium (z. B. Geld) stellt das Austauschmittel dar, das binär codiert[2] ist und die individuellen „Objekte“, wie z. B. Arbeit und Besitz im Wirtschaftssystem, abgleicht. In Verbindung mit dem Programm, das die Funktionsweise des Systems spezifiziert, z. B. Knappheit/Preis, bedarf es Selektionskriterien, die den Wert dieser Objekte festlegen, spezieller Steuerungsregeln etc.

Die Medien ermöglichen durch die Fokussierung auf sie eine Vereinfachung der Auswahl der Handlungsoption. Problematisch wird es, wenn die Regeln und Medien einen solchen Fokus ermöglichen, ohne die eigentliche Funktion des Systems zu unterstützen oder Anschlusshandlungen zu ermöglichen, indem bestimmte Strukturen umgangen werden.[3] Von besonderer Bedeutung ist die Erkenntnis, dass Medien nicht in einem absolutem Umfang existieren („wenn kein Geld da ist“), sondern eben nur ein dynamisches Austauschmedium von an sich unbegrenztem Vorrat sind. Somit ergeben Medien für sich allein keinen Sinn.

---

[1] Man kann die Funktionssysteme auch den Systemfunktionen zuordnen (Grenzbildung – Religion; Ressourcengewinnung – Wirtschaft; Strukturbildung – Recht; Prozesssteuerung – Politik; Reflexion – Wissenschaft; Genese – Kunst), wobei diese Zuordnung nur grob erfolgen kann und vielfache Vernetzungen existieren.

[2] Dieser Code stellt im Sinne einer Differenztheorie wieder die einfachste Form einer Unterscheidung dar.

[3] Dabei ist im Sinne emergenter Eigenschaften schwierig zu beurteilen, ob ein solcher Fokus nicht eben dem Systemzweck dienlich ist, d. h. ob es nicht eben einem insgesamt optimalen Prozess entspricht, der nur lokal zu Problemen führt. In der gleichen Weise kann ein System den Bedarf an einer Leistung bedingen.

Zusammenfassend gilt:

Ziel der Medien ist, Anschlusshandlungen zu ermöglichen und die Funktions- oder Leistungserbringung im Gesamtsystem durch Reduktion der Komplexität und Entlastung der Handlungen (durch Implizierung von Sinn und Kontext) zu erleichtern.

Die relativ ungenaue Darstellung, die so erst aus den Werken Luhmanns zusammengetragen wurde (z. B. KRAUSE 2001, S. 48), macht deutlich, dass auch dieser Ansatz erst am Beginn steht. Im ursprünglichen Sinne der Systemtheorie kommt es nach einer möglichst exakten Darstellung dieser Kommunikationstheorie erneut auf einen Abgleich zwischen den einzelnen Systemen an, z. B. einem Austausch der Regelungsprinzipien.

Problematisch sind weiterhin die Schnittstellen zwischen den einzelnen Systemen, z. B. die wirtschaftliche Bewertung wissenschaftlicher Erkenntnisse, die z. B. über konzertierte Aktionen definiert werden können. Als wichtig bezeichnet WILLKE (2000a), den Teilsystemen ihre Autonomie zu lassen und das Primat eines einzelnen Systems zu vermeiden.

Bei der Steuerungsproblematik ist das Verhältnis von interner und externer Komplexität sowie die Kontrollmöglichkeit und Konsensfähigkeit entscheidend (ETZIONI 1975). Eine hohe externe Komplexität bei niedriger interner Komplexität führt zu einer relativ hohen Kontrollfähigkeit im Vergleich zum Konsensbildungsvermögen und somit zur Möglichkeit einer zentralen Steuerung. Eine liberalistische Selbststeuerung wird durch hohe interne Komplexität bei niedrigerer externer Komplexität erreicht, die sich durch geringe Kontrollkapazität im Gegensatz zum Vermögen, Konsens zu bilden, auszeichnet.[1] Die zumeist vorkommenden Systeme hoher innerer Komplexität in einem ebenfalls komplexen Umfeld bedürfen einer „dezentralen Kontextsteuerung“ (WILLKE 2001). Die Steuerungsproblematik zeigt die Schwierigkeit auf, in komplexe Systeme einzugreifen und diese gezielt zu verändern (durch Nichtlinearität und Konterintuitivität, negative und positive Rückkoppelungen, selbsterfüllende und -zerstörende Voraussagen, Kombinationswirkungen und Anstoßkausalitäten mit Schwellenwerten etc.). Daher ist erneut eher von einer Intervention denn von einer Kontrolle des Systems zu reden, entsprechend der strukturdeterminierten Wahrnehmung von Lebewesen. Von besonderer Bedeutung ist damit die Reflexivität und Selbstbeobachtungsfähigkeit komplexer Systeme. Aus dieser Erkenntnis lassen sich Interventionsstrategien sowohl für komplexe psychische als auch komplexe soziale Systeme ableiten, wie z. B. paradoxe Intervention durch Überbetonung des „pathologischen“ Systemverhaltens (SELVINI-PALAZZOLI 1981, BATESON 1983, WATZLAWICK 1985) oder Krisenintervention durch Herbeiführung eines Ungleichgewichtszustands. Aus Unternehmenssicht ergeben sich in Verbindung mit den Funktionen eines Systems verschiedene Bereiche einer Intervention: Beziehungsdynamik (Grenzbildung), Kernkompetenzen (Ressourcengewin-

[1] In diesem Zusammenhang werden sozialistische Gesellschaften als „übersteuerte“ *over-managed societies* bezeichnet, kapitalistische als „dahintreibende“ *drifting societies*, beide mit Vor- und Nachteilen.

nung), Organisationsstruktur (Strukturbildung), Geschäftsprozesse (Prozesssteuerung), Ziele und Prioritäten (Reflexion), Allianzen und Kooperationen (Genese).

Es ist nicht verwunderlich, dass der systemtheoretische Ansatz Luhmanns heftiger Kritik ausgesetzt ist. Einige der Hauptkritikpunkte sind die argumentativen und begrifflichen Unschärfen, die Überbetonung des Sozialen sowie die Anwendbarkeit und die Zuverlässigkeit grundlegender Prinzipien, z. B. der Autopoiesis (KRAUSE 2001). Dem können positive Effekte wie Entobjektivierung, Entautorisierung, Entdogmatisierung und Entmystifizierung sozialer Bereiche sowie die inspirierende und verständige Diskussion des Themas entgegengehalten werden. Eine vereinfachte Rechtfertigung des Konstruktivismus findet sich darin, dass viele „individuelle" Sichtweisen von der jeweiligen Kultur abhängen.

Dementsprechend sind im Bereich der Soziologie noch zwei weitere Ansätze zu erwähnen. Dies ist zum einen die *Evolutionary Epistemology* (*Campbell*, HEYES & HULL 2001), nach der auch das Wissen einer evolutionären Entwicklung und evolutionären Prinzipien wie Variation und Selektion unterliegt. Entsprechend obiger Definition von kulturellem Verhalten als generationenübergreifende und zeitbindende Komponente der Evolution und der Weitergabe erlernten Verhaltens, wird hier erneut die kulturelle und soziale Evolution (SPENCER 1898) in den Mittelpunkt gerückt, d. h. jegliche kulturelle und technische Errungenschaft ist praktisch Ergebnis eines lang andauernden, sich aus der Interaktion einzelner Individuen ergebenden Prozesses kontinuierlichen Lernens. BANATHY (2000) geht hier noch einen Schritt weiter und strebt einen Übergang vom evolutionären Bewusstsein (*evolutionary consciousness*) hin zu einer bewussten Evolution (*conscious evolution*) an.

Zusammenfassend kann festgehalten werden:

Komplexe Systeme entstehen aus einer Differenz zur Umwelt und bestehen im Wesentlichen aus Kommunikation, womit die Kommunikationstheorie die Handlungstheorie ablöst. Kulturelle Errungenschaften ergeben sich aus der zeitbindenden Kommunikation.

2.2.3 Psychologie

Die repräsentationistische Sichtweise ist in der Psychologie berechtigt, da sie deren Paradigma darstellt. Die Systemtheorie in der Psychologie umfasst denkpsychologische Aspekte, die psychische Entwicklung, therapeutische Maßnahmen und Persönlichkeitstypen.

Z. B. DÖRNER (1989) führte Analysen zum Umgang mit Komplexität durch. Neben einer Begrenztheit des Kurzzeitgedächtnisses zeigte er als Schwierigkeiten beim Umgang mit komplexen Systemen Handeln ohne Analyse, Nichtberücksichtigen von Fern- und Nebenwirkungen, Nichtberücksichtigen der Ablaufgestalt von Prozessen, „Methodismus" und lineares Denken, mangelnde Einsicht in Zielkonflikte sowie Lösung falscher und Nichtberücksichtigen impliziter Probleme auf. Der Bezug zu den kognitiven Grundlagen aus der

Biologie kann dabei leicht hergestellt werden. STROHSCHNEIDER (1993) sieht negative Strategien wie Projektemacherei, Überplanung, „Ziele statt Maßnahmen“ und Delegation als Kompetenzschutz zur Aufrechterhaltung der Handlungsfähigkeit. Für den Umgang mit Komplexität werden Strategien und ein systematisches Vorgehen vorgeschlagen.

Ein Beispiel eines Experiments zum Umgang mit Komplexität ist die Simulation eines imaginären afrikanischen Stammes (die „Moros“), deren Lebensbedingungen zu verbessern sind. Diese vereinfachte Betrachtung zeigt die kognitiven Probleme beim Umgang mit Komplexität auf, die sich im Rahmen der modernen Systemtheorie noch verstärken würden. Denn obwohl diese Simulation genügend Schwierigkeiten beim Umgang mit dem System beinhaltet, wäre mit Methodeneinsatz eine Lösung durch einen Gleichgewichtszustand auf einem höheren Niveau erreichbar. Komplexe soziale Systeme dagegen besitzen keine endgültige Lösung, sondern unterliegen einem andauernd sich entwickelnden Prozess und müssen in ihrer Differenz zur Umwelt betrachtet werden.

Ein weiterer systemtheoretischer Aspekt aus der Psychologie ist die **genetische Erkenntnistheorie** (PIAGET 1996). Die kognitive Entwicklung wird dreigeteilt in die Stufen[1]

- Assimilation und Anpassung (Nachahmung bestimmter Verhaltenspläne),
- Differenzierung von der Umwelt (Entwicklung differenzierter interner Prozesse) sowie
- Identität und Autonomie (Reflexion des Denkens, Setzen eigener Ziele).

Grundlage der **systemischen Ansätze** bildet wieder der **radikale Konstruktivismus**: Erkenntnis ist durch die Struktur des Organismus determiniert; interne und externe Auslöser einer Wahrnehmung (oder Illusion) sind nicht unterscheidbar; somit ist Wahrnehmung subjektiv (GLASERSFELD 1996).[2] Einem kognitiven System können keine Strukturen *aufgezwungen* werden (KRIZ 2001).

Systemischen Ansätze der Psychotherapie beziehen sich auf unterschiedliche Aufstellungsarbeiten (Gruppenaufstellung, Familienaufstellung etc. z. B. *Hellinger*, nach KIBED & SPARRER 2002), bei denen es im Kern darum geht, das Umfeld des Patienten nachzustellen und durch Veränderungen mögliche Auswege aus der Problemsituation zu finden und einzuleiten. Ein besonders interessanter Ansatz ist dabei die so genannte Tetralemmaaufstellung[3] (KIBED & SPARRER 2002) mit vier unterschiedlichen Positionen. Mit diesen Positionen soll der Blick über die bisherige Haltung („das Eine“) und dessen abgelehntem Gegenteil („das Andere“) hinweg geöffnet werden, um über eine Negation beider Haltungen („Keines von Beiden“) reflexiv eine Lösung auf einer höheren Ebene oder in einem ande-

---

[1] Diese drei Stufen entsprechen den Stufen in der Entwicklung sozialer Systeme. Von PARSONS (1975) wurden diese auch auf primitive, mittlere und moderne Gesellschaften übertragen.

[2] Dabei muss wieder relativiert werden, dass sehr einfache Aspekte (z. B. die reine Existenz eines Gegenstands) objektiv wahrgenommen werden können, diese Wahrheiten jedoch trivial sind, nur einen sehr geringen Anteil am Erkennen ausmachen und es selbst hier im Detail Unterschiede gibt.

[3] (Sanskrit) vier Ecken (aus dem indischen Rechtswesen)

ren Kontext zu finden oder beide Standpunkte zu vereinen („Beides“). Einer der zentralen Gedanken dieses Ansatzes ist das Konzept *richtiger Fehler* oder *falscher Richtigkeiten*, d. h. als Fehler angenommene Handlungen, die sich später als positiv herausgestellt haben, bzw. als richtig angenommene Haltungen, die später zu Fehlern geführt haben.[1]

Dass die Wahrnehmung – und damit verbunden auch die Handlung – von der inneren Struktur des Individuums abhängt, zeigt sich auch in psychologischen Persönlichkeitstests, wie z. B. dem *Myers-Briggs Type Indicator* (BAYNE 1997), der aus den Charakteristika extrovertiert – introvertiert, sinnlich – intuitiv, analytisch – fühlend sowie urteilend – wahrnehmend 16 Persönlichkeitstypen ableitet, die z. B. für Teamrollen herangezogen werden.

2.2.4 Ingenieurs- und Wirtschaftswissenschaften

In den Ingenieurs- und Wirtschaftswissenschaften existieren viele Ansätze der Systemtechnik (sic!). Hier lassen sich drei Arten der Systemtechnik unterscheiden: der harte Ansatz, der sich mit eindeutig beschreibbaren technischen Systemen beschäftigt, der allgemeine Ansatz zur Entwicklung komplexer soziotechnischer Systeme sowie der weiche, selbstkritische Ansatz zum Management und zur Organisation soziokultureller Systeme. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die drei Ansätze zwar aufeinander aufbauen, sich jedoch parallel selbstständig weiterentwickelt und erhalten haben. Eine Klassifikation von Systemen ist zweckmäßig (Tabelle 4), da eine Vernachlässigung dieser Unterscheidung zu der ungerechtfertigt scharfen Kritik der Systemtechnik an der modernen Systemtheorie (z. B. ROPOHL 1979, S. 85) führt, obwohl dort eine solche Klassifikation eingeführt wurde.

Tabelle 4: Klassifikation von Systemen (nach ROPOHL (1975), ergänzt nach WILLKE (2001a))

Merkmal	**Ausprägungen**		
Seinsbereich	abstrakt	konkret	
Entstehungsart	natürlich	künstlich	sozial
Verhältnis zur Umgebung	offen	geschlossen	
Komplexität der Umgebung	einfach	komplex	äußerst komplex
Zeitabhängigkeit (Funktion)	statisch	dynamisch	
Zeitabhängigkeit (Struktur)	starr	flexibel	
Attributwerte	kontinuierlich	diskret	
Funktionstyp	linear	nicht-linear	
Bestimmtheit	deterministisch	stochastisch	
Komplexität des Systems	einfach	komplex	äußerst komplex
Elementart	Objekte	Prozesse	
Systemart	maschinell	kybernetisch	autopoietisch
	klassische Systemtechnik	*moderne Systemtheorie*	

[1] entsprechend Folge- und Gesinnungsethik, die eine Handlung nach den Folgen bzw. Absichten beurteilen

Es wurde bisher versucht, mit der Systemtechnik komplexe soziale Systeme zu behandeln; Ziel der Arbeit ist, Prinzipien der modernen Systemtheorie auf bislang als geschlossen betrachtete Systeme übertragen. Ausgangspunkt der Systemtechnik war der Bedarf einer Methodik zur Planung und Entwicklung großer Systeme, wie z. B. Transport- oder Kommunikationssysteme (GOODE & MACHOL 1957). Die Methodik fokussiert dabei auf Modellbildung und Simulation und unterscheidet zwischen der Erstellung und dem Betrieb des Systems (CHESTNUT 1973). Ein Fokus wird dabei zunehmend auf die Flüsse im System gelegt (FORRESTER 1976).

Schwerpunkte einer Theorie technischer Systeme (ROPOHL 1979, HUBKA 1984) liegen auf der Dekomposition und Abstraktion sowie der darauf aufbauenden Variation von Maschinen. Der Fokus liegt auf einer formellen Modellierung von Systemen und einer Verknüpfung mit der formalen Logik (BRUNS 1991).

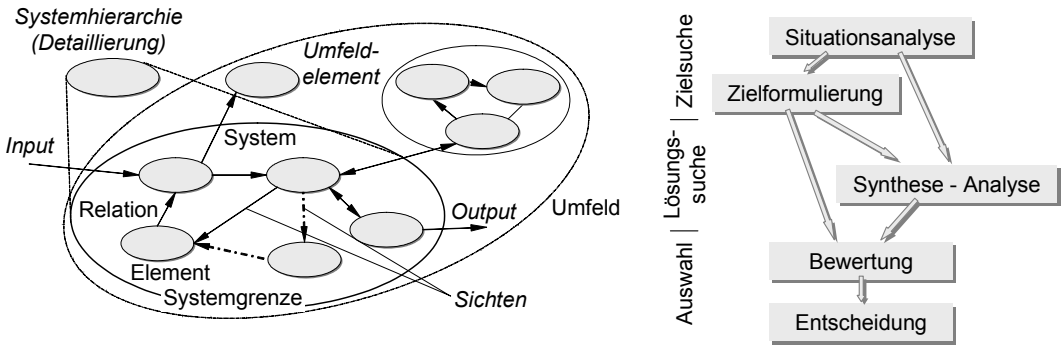


Bild 6: Systemdenken und Problemlösungszyklus nach DAENZER & HUBER (1999)

Allgemeine Ansätze des System Engineering fokussieren auf den Prozess zur Entwicklung eines Systems. So wird nach DAENZER & HUBER (1999) in der „Systems Engineering Philosophie“ das Systemdenken um Vorgehensmodelle und -strategien erweitert. Das Systemdenken beinhaltet die Zerlegung eines Systems in Elemente und Relationen, die Bildung einer verschiebbaren Systemgrenze, die Fokussierung auf Input und Output (Black-Box), die Berücksichtigung der Systemhierarchie sowie die Möglichkeit unterschiedlicher Sichten auf das System (Bild 6 links). Die Strategien umfassen das Vorgehen **vom Groben zum Detail**, das **Denken in Varianten**, die zeitliche **Phasengliederung** des Projekts und die Anwendung eines **Problemlösungszyklus** (Bild 6 rechts). Des Weiteren werden die systemtheoretischen Konstruktionsprinzipien Minimierung der Schnittstellen, modularer Aufbau, *Piecemeal Engineering* (kleine Schritte bei der Realisierung) und minimale Präjudizierung (Vorzug der Lösung geben, die mehr Freiräume besitzt) erwähnt.

Die Fokussierung auf den Prozess und die Organisation zur Systemerstellung findet sich schon bei HALL (1963); ULRICH (1968), GOMEZ (1981), MALIK (1989), ULRICH & PROBST (1991), MALIK (2003) entwickelten dies im Rahmen des „St. Galler Konzepts der Integrierten Management- und Unternehmungsentwicklung“ ständig weiter. Ähnliche Ansätze finden sich auch in der Unternehmens- oder Organisationsforschung (*operations research*),

z. B. CHURCHMAN et al. (1964). Dabei ist schwer zu trennen, wer auf wem basiert oder auf wen zurückgreift. GHARAJEDAGHI (1999) unterscheidet, ähnlich der Systementwicklung, im Designprozess zwischen Funktion, Struktur, Prozess und Kontext[1]. VESTER (1999) zeigt auf, dass unvernetzte Systeme instabil sind, die Stabilität mit der Vernetzung ansteigt, jedoch dann wieder abnimmt, wenn sich nicht Unterstrukturen ausbilden.

Systeme werden nun nicht mehr „konstruktivistisch-technomorph“[2] betrachtet, sondern „systemisch-evolutionär“. Hierzu gehören z. B. ein evolutionäres Management, die Ablösung von starren Hierarchien durch Netzwerke sowie Prinzipien der Selbstorganisation. Ziel ist es jetzt nicht mehr, durch die Systemtheorie eine Vereinheitlichung der Wissenschaften zu erreichen, sondern eine neue disziplinäre Denkweise zu erlangen.

Diese selbstkritische Sichtweise, d. h. die Einsicht, dass komplexe Systeme nicht komplett geplant und gesteuert werden können, findet sich z. B. bei SENGE (1990), der das Systemdenken als einen zentralen Bestandteile in einem Unternehmen sieht[3], oder bei PETERS (2000), der auf konterintuitive Prinzipien im Unternehmen aufmerksam macht[4]. Problematisch ist bei der Einführung und Akzeptanz solcher Ansätze, dass sie eine Aufgabe des Wunsches nach Kontrolle verlangen und aufgrund ihrer Natur keine klaren Regeln, sondern v. a. eine andere Denkweise vermitteln.

Ein weiterer Schritt in der Entwicklung der Systemtheorie findet sich in der **Soft Systems Methodology** (CHECKLAND & SCHOLES 2000). Fokus liegt hier auf der Frage, wie sich eine Person oder eine Gruppe selbst sinnvoll in die Umgebung integrieren kann, d. h. der Aspekt der Selbstreferenz taucht hier explizit auf. Neben einem kontinuierlich wiederholten Vorgehensmodell ist hier die Aufteilung in die reale Welt und das Systemdenken *über* die reale Welt, die Einführung menschlicher Handlungssysteme (so genannte „holons“) als eine Identitätsbildung und Gesamtheit von Aktivitäten, die Berücksichtigung von Moral und Eleganz bei der Bewertung[5] sowie die Unterscheidung von Struktur, Prozess und Einstellung als Bereiche möglicher Änderungen von Bedeutung; kurz, man betrachtet sich selbst als handelndes System in einem komplexeren System und vergleicht kontinuierlich seine Situation, Ziele und Möglichkeiten. Zusammenfassend gilt:

---

[1] Die ersten drei werden mit den Ausprägungen „singulär“ und „pluralistisch“ auch zur Einteilung soziokultureller Theorien herangezogen; letzteres kennzeichnet den Übergang zu einer höheren Systemebene.

[2] „konstruktivistisch“ hier nicht in dem Sinne des Konstruktivismus als subjektive Bildung der Welt, sondern im Sinne einer technischen „Konstruktion“

[3] die fünfte „Disziplin“ für eine lernende Organisation neben „personal mastery“, „mental models“, „shared vision“ und „team learning“

[4] wie z. B. die Verknüpfung „heutiger Lösungen“ mit „gestrigen Problemen“, die Bedeutung kleiner Änderungen an „sensiblen Druckpunkten“, die Erkenntnis, dass Lösungen nicht leicht sind, etc.

[5] Insgesamt fünf Bewertungskriterien (5 „E“s): Efficacy (Funktionsfähigkeit), Efficiency (Leistungsfähigkeit), Effectiveness (Effektivität/Wirksamkeit), Ethics (Ethik/Moral) und Elegance (Eleganz)

Es ist weniger vom System selbst als vom Betrachter abhängig, wie das System zu behandeln ist, d. h. selbst hochkomplexe Sozialsysteme lassen sich theoretisch mit der Systemtechnik beschreiben, jedoch aufgrund der begrenzten Kapazitäten des Betrachters, ein solches System komplett wahrzunehmen (zu modellieren, zu simulieren etc.), d. h. alles miteinander zu verknüpfen, ist der Ansatz der modernen Systemtheorie notwendig.[1]

2.2.5 Weitere Disziplinen

Die folgenden Ansätze haben einen indirekten Bezug zur Systemtheorie und werden hier vorgestellt, da sie einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der Komplexität leisten.

Kybernetik

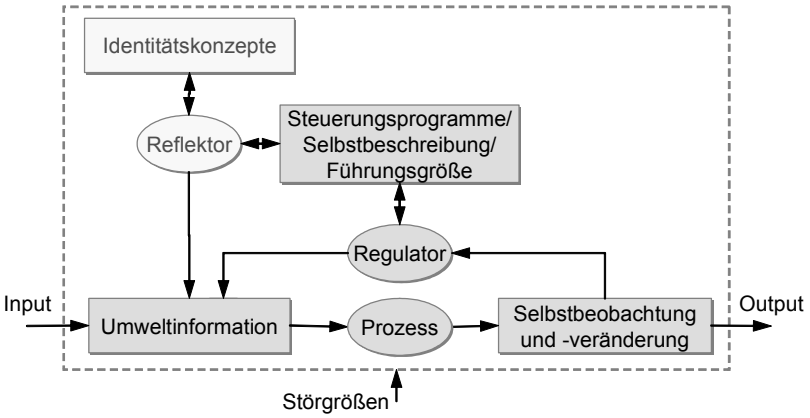


Bild 7: Regelkreis oder reflexive Informationsverarbeitung (GIESECKE 2004)

Schwerpunkt der Kybernetik nach WIENER (1965) ist die Regelung in natürlichen und technischen Systemen. Grundsätzlicher Ansatz ist die Betrachtung von Regelkreisen (Rückkopplungen, Feedback-Loops – Bild 7). Dabei kann zwischen einem einfachen Regelkreis der Regelungstechnik (dunkler Bereich) und einem reflexiven Regelkreis (zusätzlich hellerer Bereich), der der Kybernetik 2. Ordnung entspricht, unterschieden werden.

Kommunikationstheorie

In der Kommunikationstheorie unterscheiden SHANNON & WEAVER (1998), wie gut die Symbole der Kommunikation übertragen werden (Mitteilung), wie genau sie die intendierte Bedeutung widerspiegeln (Information) und wie sie beim Empfänger zur gewünschten Reaktion führen (Verstehen). Diese Einteilung entspricht der systemtheoretischen Einheit von Kommunikation; während hier jedoch von einer idealen Kommunikation ausgegangen

[1] Der reduktionistische Ansatz der Systemtechnik ist somit nicht logisch falsch, sondern nur nicht praktikabel, weshalb der Bedarf an der modernen Systemtheorie besteht.

wird, sieht die Systemtheorie Kommunikation zuerst als unwahrscheinliche und ungenaue Handlung und geht über den Austausch mentaler Informationen hinaus.

Information ist dabei eine Unterscheidung, die einen Unterschied macht (BATESON 1983).

Spieltheorie

Die Spieltheorie (NEUMANN & MORGENSTERN 1990) befasst sich mit der mathematischen Optimierung strategischer Probleme wie z. B. der Gewinnmaximierung bei Spielen. Ein klassisches Beispiel hierfür ist das Gefangendilemma, bei dem die Handlungsmöglichkeiten zweier Gefangener (A und B) betrachtet werden (Tabelle 5).

Tabelle 5: Gefangenendilemma (in den Zellen jeweils die Strafen von A bzw. B)

		A	
	(A, B)	schweigt	gesteht
B	schweigt	1, 1	0, 4
	gesteht	4, 0	3, 3

Ergebnis der Handlung des einen Gefangenen hängt von der Handlung des jeweils anderen ab, wobei sie sich nicht abstimmen können. Die Handlung für das bessere Ergebnis eines Gefangenen ist an sich unabhängig von der Handlung des anderen Gefangenen. Das Dilemma besteht darin, dass der andere Gefangene sich ebenso „eindeutig“ entscheiden wird, das Gesamtoptimum jedoch in der gemeinsamen Wahl der anderen Handlungsoption liegt. Dies ist ein Beispiel dafür, dass das Gesamtoptimum als emergente Eigenschaft unabhängig vom Optimum für die einzelnen Teile ist.

Chaostheorie (Mathematik)

Die Chaostheorie (z. B. GLEICK 1998) befasst sich mit nichtlinearen Systemen, deren Ausgang nicht linear von den Eingangsgrößen abhängt. Wesentliche Prinzipen der Chaostheorie sind (1) der strenge Determinismus solcher Systeme, deren Verhalten aber nicht vorausgesagt werden kann, da (2) schon kleinste Änderungen der Eingangsgrößen zu grundlegenden Änderungen des Systemverhaltens führen. Gleichzeitig (3) besitzen chaotische Systeme ähnliche Verhaltensmuster, „*strange attractors*“, die häufiger eingeschlagen werden.[1] Mit diesen Axiomen eng verknüpft sind Bifurkationen, die im Rahmen der Chaostheorie die Aufspaltung in komplett verschiedene, kontingente Entwicklungspfade bezeichnen.

Formale Logik und Unvollständigkeitsaxiom (Mathematik)

Ausgehend von der *Principia Mathematica*, mit der RUSSELL & WHITEHEAD (2002) versuchten, die gesamte Mathematik vollständig aus der Logik abzuleiten, konnte *Gödel* (nach HOFSTADTER 1991) beweisen, dass kein formales, widerspruchsfreies System alle Wahrheiten enthalten und somit vollständig sein kann. Dies beinhaltet, dass Beweise und Wahr-

[1] Ein weiterer Punkt ist die der Systemtheorie entsprechende Ähnlichkeit bestimmter Strukturen unabhängig von ihrem Detaillierungsgrad.

heiten nur innerhalb eines bestehenden Systems von Aussagen, Axiomen, Paradigmen u. Ä. Gültigkeit besitzen. Dieser Beweis beruht auf einer Selbstreferenz der formalen Logik[1], was sich in der Erkenntnis widerspiegelt, dass kein selbstreferenzielles System sich jemals vollständig beschreiben und dementsprechend selbst vollständig sein kann.[2] Eine weiterführende Interpretation lautet damit, dass kein System im Sinne einer Klassifikation o. Ä. jemals vollständig ist. Mit den **Laws of Form** hat SPENCER-BROWN (1997) eine neue Logik entwickelt, die auf der Operation des Unterscheidens (Differenz, verschachtelt oder aneinander gereiht), auf der schließlich die Systemtheorie Luhmanns basiert. Hier werden, analog imaginären Zahlen, neben *wahr* und *falsch* die logischen Aussageklassen *imaginär* und *bedeutungslos* eingeführt.

Komplexitätstheorie (Informatik)

Die Komplexitätstheorie als Teil der Informatik beschäftigt sich mit der Berechenbarkeit algorithmischer Probleme, eng verknüpft mit Mechanismen der Künstlichen Intelligenz. Für die Nachbildung natürlicher Denk- und Lernstrukturen wurden u. a. Neuronale Netze und Genetische Algorithmen entwickelt, auf die in Anhang 7 noch näher eingegangen wird. Von besonderem Interesse war zu zeigen, dass komplexe und lernende Strukturen aus einfachen Prinzipien und dem Zusammenwirken einer Vielzahl kleiner Zellen entstehen können. Beispiele hierfür sind Multi-Agenten-Systeme, *constrained generating procedures*[3] (cgp's), *cellular automata*[4] oder das *Game of Life*[5]. Kernaussage ist, dass emergente Eigenschaften existieren, d. h. Eigenschaften auf einer Systemebene, die aufgrund der Eigenschaften der untergeordneten Elemente nicht offensichtlich sind. Interessant sind Algorithmen, die nicht nur innerhalb eines vorgegebenen Rahmens operieren, sondern ihre Struktur selbst ändern können (indem die Struktur Teil der Beschreibung ist).

Von Bedeutung in der Komplexitätstheorie ist auch die Kohärenztheorie (JOHNSON 2000). Hier konnte praktisch und theoretisch gezeigt werden, dass eine eindeutige Hierarchiebildung in komplexen Systemen selten möglich ist, sodass die Kohärenz der Begriffe und Klassen sorgfältig betrachtet werden muss. Man kann auch andersherum argumentieren, dass eine endgültige Hierarchie nicht möglich ist, weil ein Untergraben einer bestehenden Hierarchie einen kreativen Prozess darstellt.

---

[1] im Sinne der Paradoxie des Epimenides (Kreter): „Alle Kreter sind Lügner."

[2] Sobald ein System sich vollständig beschreibt, ist es durch diese Beschreibung mehr geworden, sodass die Beschreibung nicht mehr vollständig ist (einziger Ausweg wäre eine rekursive Reflexion).

[3] „procedures" = dynamisch; „generating" = entstehendes Verhalten; „constraint" = erlaubte Interaktionen zwischen einer Vielzahl von ähnlichen, miteinander verknüpften Elementen

[4] abgebildet über eine Matrix, in der der Zustand einer Zelle von den Zuständen der sie umgebenden Zellen dynamisch abhängt

[5] eine ebensolche Matrix, in der über einfache Regeln ein komplexes Verhalten erreicht werden kann (kontinuierliches Bewegen bestimmter Muster)

Relativitätstheorie und Quantentheorie (Physik)

Ausgangspunkt der Relativitätstheorie (EINSTEIN 1956) ist die Feststellung, dass eine Bewegung nur durch die Relation der zueinander bewegten Körper bestimmt ist. Dies ähnelt dem Differenzprinzip in der Systemtheorie. Kernaussage des Relativitätsprinzips ist jedoch, dass die physikalische Beschreibung von Naturvorgängen unabhängig vom gewählten Bezugskörper ist, d. h. dass physikalische Vorgänge unabhängig von einem Bezugspunkt objektiv zu beschreiben sind. Dies lässt sich, zumindest im Sinne einer Analogie, als Abgrenzung zu systemtheoretischen, konstruktivistischen Vorgängen z. B. in soziokulturellen Systemen nutzen, in denen eben keine von dem Bezugspunkt, d. h. dem Betrachter unabhängige Beschreibung ohne weiteres möglich ist, jedoch ebenfalls anzustreben wäre.

Ebensolche Analogien lassen sich aus der Quantentheorie ziehen, die u. a. besagt, dass eine Beobachtung (von Elementarteilchen) nicht ohne Beeinflussung eben dieser erfolgen kann und somit immer Unschärfe vorhanden ist (HEISENBERG 2000). Hier findet sich auch die oben angesprochene Verschiedenheit von Vorhersagbarkeit und Determinismus wieder. Unterschiedliche darauf aufbauende Interpretationen des Universums (versteckte Variable, vielfältiges Universum etc.) decken sich dabei mit den Aussagen der Systemtheorie.

Linguistik und Philosophie

Obwohl Sprache von Luhmann nicht als System, sondern als Grundlage der Wahrnehmung und Kommunikation betrachtet wird (KRAUSE 2001), ist sie auch als System betrachtet interessant, da sie häufig als etwas Vorgegebenes, an sich Existentes aufgefasst wird, während auch sie im Evolutionsprozess „aus dem Nichts“ entstanden ist.[1] Die damit verbundenen Schwierigkeiten der Selbstreferenz (mit Sprache über Sprache reden) finden sich bei z. B. WITTGENSTEIN (2003) oder QUINE (1980). Wie in der von KORZYBSKI (1994) vorgebrachten Metapher „The map is not the territory“ in der Allgemeinen Semantik bleibt hier als Ausweg nur ein Verständnis für Sprache, eine klare Trennung von Bezeichnendem und Bezeichnetem sowie ein pragmatische Anwendung ohne sich in den Tiefen der Philosophie zu verlieren. Aus systemtheoretischer Sicht ist der Strukturalismus (SAUSSURE 1967) von Bedeutung, in dem Sprache als System mit formalen Elementen und deren Beziehungen untereinander angesehen wird. Dieser linguistische Strukturalismus ist Teil des Strukturalismus als wissenschaftliche Methode, die auf die Verallgemeinerung wissenschaftlicher Aussagen abzielt. Im Poststrukturalismus und Postmodernismus wird dabei auf zentrale Strukturen und totalitäre Begriffe verzichtet und eher auf Vielfalt und Metapher gesetzt (MÜNKER & ROESLER 2000).

[1] Interessant ist auch der Aspekt, dass es lange Zeit verboten war (*Société de Linguistique de Paris*, 1866), die Entstehung der Sprache zu untersuchen; dies zeigt die immer noch nicht gelöste Schwierigkeit, die Entstehung neuer, emergenter Organisationsstufen von Systemen klar zu beschreiben.

2.3 Synthese eines systemtheoretischen Modells

2.3.1 Paradigmenwechsel und Flussorientierung

Der Widerspruch zwischen einer „geschlossenen“ und einer „offenen“ Systemtheorie führt zu dem Paradigmenwechsel, der in unterschiedlichen Disziplinen gerade stattfindet und im Rahmen dieser Arbeit auch in die Konstruktionsmethodik und systematische Produktentwicklung integriert wird. Die Inhalte und Implikationen dieses Paradigmenwechsels und die notwendige Veränderung des Weltbilds sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Paradigmenwechsel und Veränderung des Weltbilds (ergänzt nach OTTOSON 2001)

Klassisches Paradigma	Modernes Paradigma
geschlossene Systeme	offene Systeme
Gleichgewicht/Stabilität	Ungleichgewicht/Instabilität
statisch	dynamisch
deterministisch	probabilistisch/unbestimmt
Kontrolle	Beeinflussung
analytisch	synthetisch
Reduktion	zunehmende Komplexität
Problemlösungen	Problembearbeitung
Ergebnisse/Objekte	Prozesse/Relationen
Prognosen	Szenarios

Klassisches Paradigma	Modernes Paradigma
atomistisch/Teil	holistisch/Ganzes
Beobachtung	Partizipation
repräsentationistisch	konstruktivistisch
destruktives Chaos	kreatives Chaos
kontinuierlich	diskontinuierlich
kleine Effekte unwichtig	kleine Effekte wichtig
eine beste Lösung	viele gute Lösungen
Identität	Bezug
oder	und

Der Begriff einer (dynamischen) Fluss- oder Bezugsorientierung eines in sich geschlossenen, aber in der Entwicklung offenen Systems fasst diese geänderte Sichtweise zusammen. Die Flussorientierung ist in Bild 8 veranschaulicht: Statt einer statischen Systembetrachtung (1) mit Elementen und Relationen werden unterschiedliche Zustände des Systems (2) betrachtet, was letztendlich dazu führt, den Schwerpunkt der Betrachtung auf diese zeitliche Entwicklung (3) zu legen. Damit lassen sich folgende Prinzipien aufzeigen:

- Die Entwicklung eines Elementes und dessen Zustand hängen im Wesentlichen von seinem eigenen vorhergehenden Zustand ab. Andersherum ausgedrückt ist ein vorhergehender Zustand eines Elements mit dem aktuellen Zustand nicht identisch, sondern nur ein weiterer, wenn auch wesentlicher Einflussfaktor (a).
- Jedes Element hängt von einem vorhergehenden Element ab, d. h. kein Element entsteht vollkommen aus dem Nichts (b).
- Es existieren Elemente, die eine besonders zentrale Position einnehmen und die weitere Entwicklung wesentlich bestimmen. An diesen Stellen können Paradigmen entstehen, sie basieren jedoch genauso auf der vorhergehenden Entwicklung (c).
- Die zukünftige Entwicklung kann auch – absichtlich oder unbeabsichtigt – uminterpretiert oder sogar negiert werden (d).

- In der Vielzahl der Relationen können voneinander unabhängige, aber parallele Entwicklungen (e) und eigene Stränge im Sinne von z. B. Disziplinen (f) ablaufen.

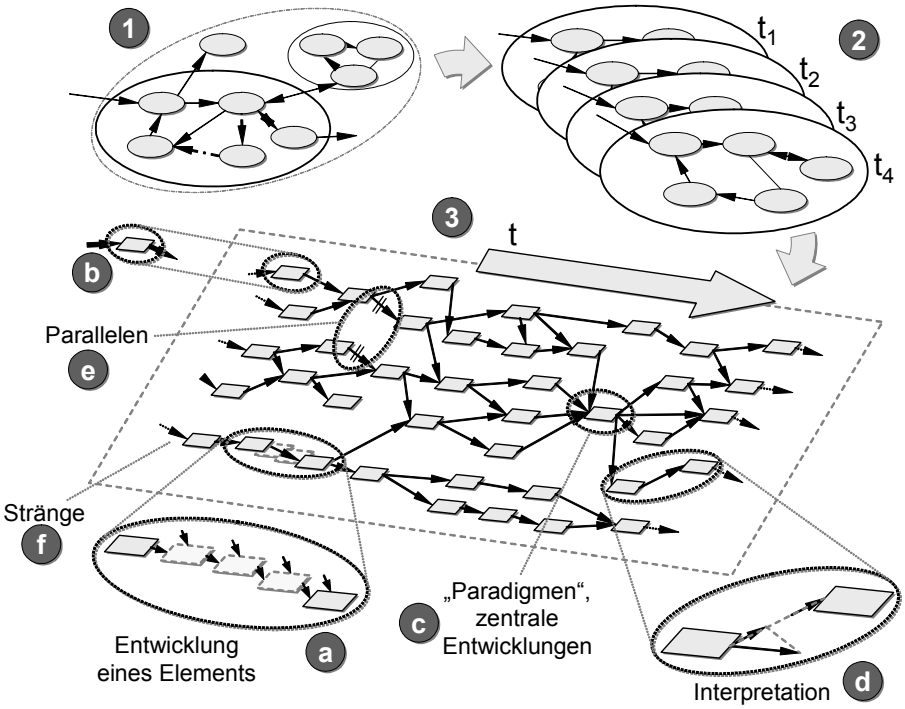


Bild 8: Flussorientierte Systembetrachtung

Ein einzelnes Element in diesem Fluss besitzt unterschiedliche Relationen und Bezüge zur Umwelt, die in Bild 9 aufgezeigt werden.

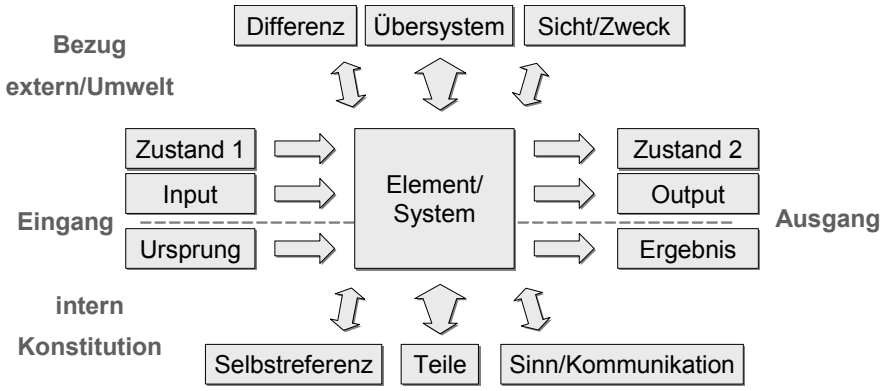


Bild 9: Relationen eines Systems/Elements

Bei den Ein- und Ausgängen wird zwischen dem ursprünglichen Zustand und dem Zielzustand des Systems, dem Zustand der Umgebung vor und nach einer Beeinflussung sowie Umsätzen des Systems unterschieden. Das System konstituiert sich durch seine Teile, die in ihm ablaufende Kommunikation sowie die durch Selbstreferenz gebildete Identität. Gegenüber der Umwelt differenziert sich das System in Bezug auf andere Systeme, gliedert

sich in ein Übersystem ein und entspricht einer bestimmten Sichtweise und einem bestimmten Zweck (Funktion, Anwender etc.).

Das einzelne Element kann dabei als Neuron aufgefasst werden, dass eine Vielzahl von Eingängen miteinander verknüpft und in *einen* (zeitlich parallelen) Ausgang transformiert.

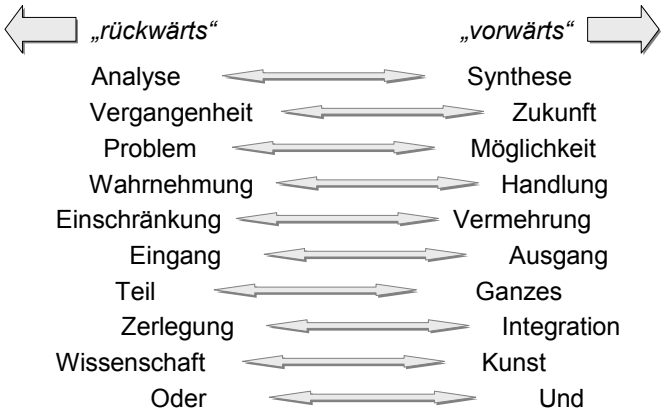


Bild 10: Gegenüberstellung „vorwärts“ und „rückwärts“ bezogen auf den Systemfluss

Ein Element kann somit als andauernde Verknüpfung von Vergangenheit und Zukunft etc. angesehen werden. Bild 10 stellt diese beiden Gegenpole unter verschiedenen Begriffen gegenüber.[1] Es scheint, dass alle Handlungs- oder Vorgehensmodelle (z. B. das TOTE-Schema) auf eine unterschiedliche Verknüpfung dieser beiden Prinzipien[2] sowie den Wechsel der Betrachtungsebene zurückgeführt werden können.

Für das Verständnis von Prozessen ist weniger die Verknüpfung oder Umformulierung der Prinzipien Analyse und Synthese von Bedeutung, sondern eher die Länge und Dynamik hieraus gebildeter Schleifen.

Damit ist gefragt, ob diese Schleifen auf einer elementaren kognitiven Ebene (im Millisekundenbereich) oder auf einer „kosmischen“ Ebene stattfinden (Jahrtausende). Diese Betrachtung führt zurück zur Darstellung der Organisationsebenen (Bild 11). Den einzelnen Organisationsniveaus lassen sich wissenschaftliche Disziplinen zuordnen. Daneben ist eine weitere Dimension einzufügen, die die parallele Existenz unterschiedlicher Systeme auf einem Organisationsniveau repräsentiert. Auch hier ist eine Differenzierung unterschiedlicher Disziplinen möglich, z. B. auf der Ebene soziokultureller Phänomene zwischen Linguistik, Jura und Wirtschaftslehre. Auch über den zeitlichen Verlauf lassen sich unterschiedliche Disziplinen einordnen[3].

---

[1] Die Differenzierung von Wissenschaft und Kunst als Funktionssysteme geht tiefer und ist zu bevorzugen.

[2] Auch die Prinzipien der Entropie und der Negentropie sowie entsprechend der Unordnung und Ordnung lassen sich hier einordnen.

[3] z. B. Physik mit der Entstehung des Universums, Paläontologie, Geschichtswissenschaften etc.

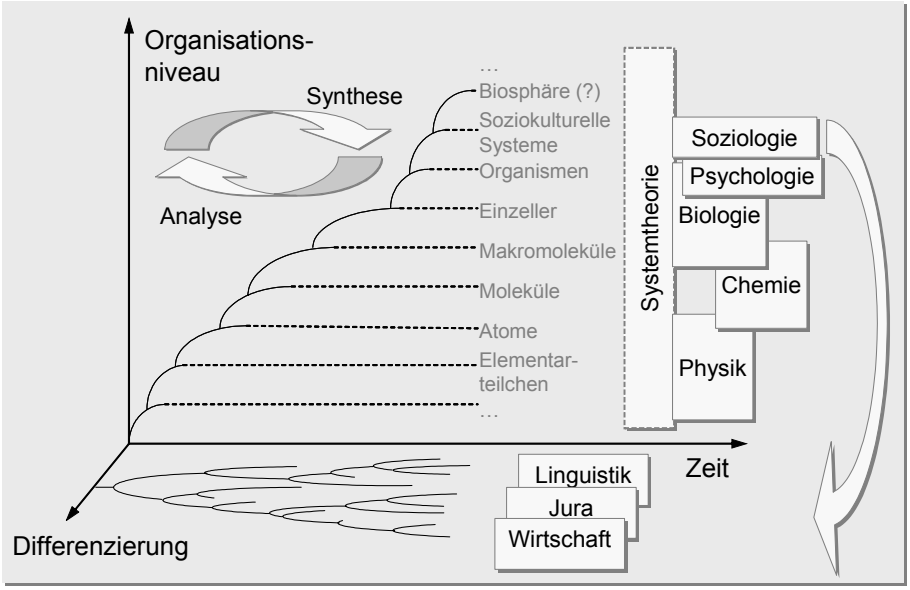


Bild 11: Organisationsebenen mit Zuordnung der Disziplinen

Eine weitere Unterteilung findet sich zwischen praktischen, methodischen und wissenschaftlichen Betrachtungen, d. h. eine weitere Ebenenbildung im Sinne der Abstraktion des Vorgehens (Bild 12), mit der Wissenschaftstheorie als nächste Abstraktionsebene.

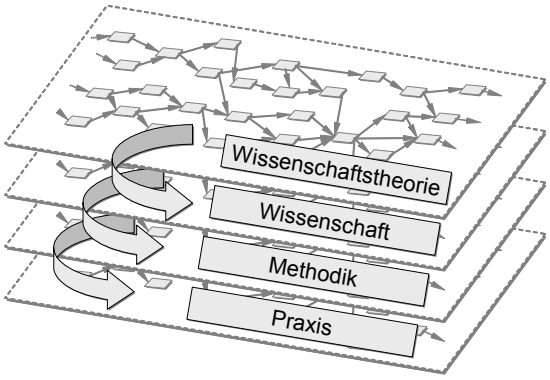


Bild 12: Unterschiedliche Ebenen systematischen Vorgehens

Wichtig ist zu beachten, dass wissenschaftliche und praktische Untersuchungen sich auf die richtige Ebene bzw. bestimmte Aussagen sich nur auf eine bestimmte Ebene beziehen. Psychologische Untersuchungen sind z. B. fehl am Platze, wenn de facto soziale Phänomene von Interesse sind. Entsprechend klassischer Paradoxa gilt hier:

Unterschiedliche Systemebenen dürfen nicht unbewusst miteinander vermischt werden, d. h. die betrachtete Systemebene ist bewusst und explizit zu bestimmen.

Diese unterschiedlichen Systemebenen spiegeln erneut den grundsätzlichen Gegensatz von Teil und Ganzem wider, die unterschiedliche Optima besitzen, sodass eben das Ganze nicht *mehr* als die Summe seiner Teile ist, da die Teile sich selbst beschränken müssen, um

in ein Ganzes zu passen und so ein „Mehr“ des einzeln Erreichbaren ermöglichen. Hier existiert die Problematik, lokale oder globale Optima zu finden. Dies heißt praktisch, dass ein wie auch immer geartetes Optimum auf einer anderen (höheren) Systemebene dem Entdecken des dort befindlichen Optimums hinderlich sein kann.

Im Gegensatz zu diesen klaren Unterscheidungen der Ebenen, jedoch ganz im Sinne der Systemtheorie ist festzustellen, dass sich die Betrachtungsgegenstände der einzelnen disziplinären Beschreibungen (Organismen, Soziokulturen, technische Systeme etc.) leicht gegeneinander austauschen lassen. Dementsprechend können auch über die Dimension des systematischen Vorgehens Methoden und Prinzipien ausgetauscht werden, d. h. die Lösung von Problemen, die systematische Beschreibung des Problemlösens und das wissenschaftliche Vorgehen zur Erarbeitung der Methoden unterscheiden sich wieder nur durch den unterschiedlichen Betrachtungsgegenstand.

Dieser Austausch ist genau, was die Systemtheorie ursprünglich beabsichtigt hat, was jedoch in ihrer Entwicklung zu einer besonderen Art der disziplinären Betrachtung verloren gegangen scheint. Die scheinbar widersprüchlichen Aussagen bedeuten dabei nur, dass einerseits klar zu unterscheiden ist, auf welcher Ebene welche Prinzipien mit welchen Methoden untersucht werden, andererseits durch Analogieschlüsse und eine allgemeine Beschreibung der Prinzipien neue Erkenntnisse gewonnen werden können.

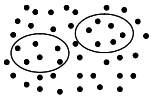
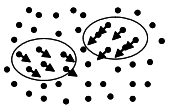
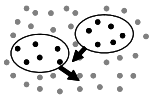
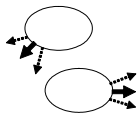
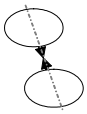
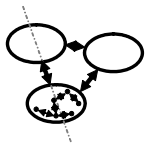
Die Unterschiedlichkeit betrachteter Objekte entspricht somit keiner Unvereinbarkeit: Die Entstehung unterschiedlicher Disziplinen und unterschiedlicher Theorien, findet ihren Ursprung eher in einer komplexitätsbedingten „Modularisierung“ und „Spezialisierung“. Nun bedarf es wieder einer Zusammenführung und Strukturierung der unterschiedlichen Sichtweisen, da diese Differenzierung die praktisch existente Vernetzung der Systeme überstiegen hat und es einer höheren Komplexitätsverarbeitung in der Welt bedarf.

Ziel der Systemtheorie, neben der Vereinheitlichung der Wissenschaften und der neuen Denkweise in den Disziplinen, ist somit die Übernahme von Prinzipien und Methoden anderer Disziplinen, entweder als direkte Übernahme, als Adaption oder lediglich als Analogie. Hinzu kommt die Unterstützung des Aufbaus von Schnittstellen zwischen den Disziplinen. Dies wird schon partiell verfolgt, wie z. B. in der Bionik (NACHTIGALL 2002), kann jedoch systematisch ausgebaut werden, z. B. in Form einer Matrix über die Disziplinen. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit kann auf unterschiedlichen Ebenen stattfinden: Es können disziplinäre Prinzipien auf praktischer, methodischer, wissenschaftlicher und systemtheoretischer Ebene ausgetauscht werden. Des Weiteren können Themen gemeinsam bearbeitet, Themen der anderen Disziplin innerhalb der eigenen Domäne behandelt oder Schnittstellen explizit festgelegt werden. Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit ist die Übertragung soziologischer systemtheoretischer Prinzipien auf die Produktentwicklung.

2.3.2 Prinzipien der Systemtheorie

Es werden nun die zentralen Prinzipien der modernen Systemtheorie zusammengefasst, um die Produktentwicklung praktisch, methodisch und wissenschaftlich in ihrem Lichte zu reflektieren. Diese werden den sechs Stufen der Systementstehung (Tabelle 7, s. a. Tabelle 2) sowie übergeordneten Prinzipien (Tabelle 8) zugeordnet. Die Systementstehungsstufen stellen dabei die wesentlichen Prinzipien dar, die noch weiter detailliert werden. Neben der Beschreibung der Prinzipien ist deren Anwendung auf die Systemtheorie selbst aufgeführt. Als über allem stehendes Prinzip wird dabei die Komplexität selbst angesehen.

Tabelle 7: Prinzipien der Systemtheorie - Zusammenfassung

Entstehung	Prinzip	Systemtheorie
Grenzbildung 	**Differenz** (Bezug, Abgrenzung, Relativität) Ein System bildet eine Einheit, indem es sich von seiner Umwelt abgrenzt und intern qualitativ intensivere Strukturen bildet, als es zu der Umwelt besitzt. Die Betonung liegt auf dem Bezug zu anderen Systemen.	Interdisziplinäre Wissenschaft
	**Zentralisierung** (Ausrichtung, Fokus, interne Kontingenzschließung) Die Elemente des Systems richten sich gleich aus. Hierdurch schränken sich die einzelnen Systeme selbst ein, erreichen durch die Verfolgung der gleichen Ziele jedoch mehr Möglichkeiten (emergente Eigenschaften). Eine Analogie ist ein Permanentmagnet, der seine charakteristische Eigenschaft nur durch die Ausrichtung seiner Elemente erreicht.	Ausrichtung der Diskussion auf nicht-dogmatische Ansätze
Ressourcengewinnung 	**Spezialisierung** (Funktionale Differenzierung, Zweck) Um im Gesamtsystem zu bestehen, müssen sich Systeme auf eine bestimmte Funktion spezialisieren, die dem Gesamtsystem nützlich ist und den Zweck des Systems darstellt. Die Spezialisierung erfolgt dabei so, dass das System *sich selbst* einen Platz im Gesamtsystem sucht.	Austausch von Prinzipien zwischen Wissenschaften
	**Kontingenzschließung** (Handlungsoption, Möglichkeitsdenken) Da für das System viele Handlungsoptionen bestehen, muss das System seine Möglichkeiten einschränken und sich für eine Alternative entscheiden. Das Problem ist also weniger, *eine* Lösung zu finden, als aus der Vielzahl von Möglichkeiten eine auszuwählen. Darauf wird schließlich die Handlung ausgerichtet, sodass Unsicherheiten beseitigt werden.	Allgemeine Beschreibung von Entwicklungsprinzipien
Strukturierung 	**Doppelte Kontingenzschließung** (Ko-Ontogenese, Strukturelles Driften) Es gibt praktisch keine a priori Umwelt, sondern die Systeme passen sich *gegenseitig* an und schränken ihre Möglichkeiten ein. Die Frage ist somit nicht mehr, wie ein System in die Umwelt passt, sondern wie sich eine abgeschlossene Einheit von Systemen ohne externen Bezug gegenseitig zu einem funktionsfähigen Ganzen konstituieren kann.	Disziplinäre Systemtheorien, Fokussierung der Disziplinen
	**Strukturierung** (Dekomposition, Integration, Verfestigung) Die Interaktion zwischen den Systemen ordnet sich, um die Funktionserfüllung dauerhaft sicherzustellen. Gleichzeitig werden Funktionen intern weiter ausdifferenziert. Diese Strukturen verfestigen sich im Laufe der Zeit zunehmend und führen so zu einer Stabilität des Systems.	klare Definition systemtheoretischer Fragestellungen
Prozesssteuerung	**Prozesssteuerung** (Elementaraktionen, Prozessmuster) Im Zuge der Strukturierung wird auch der Austausch von Informationen, Stoffen etc. zwischen den Teilsystemen festgelegt. Um flexibel auf äußere Änderungen reagieren zu können, liegt der Fokus auf der Prozesssteuerung, wobei die Prozesse nicht vollständig beschrieben sind, sondern sich aus Prozessmustern und Elementaraktionen zusammensetzen.	Festlegung des Austauschs disziplinärer, aber systemtheoretisch beschriebener Prinzipien

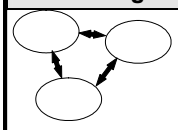
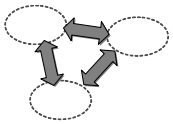
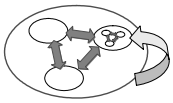
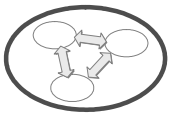
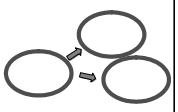
Entstehung	Prinzip	Systemtheorie
	**Kommunikation** (Medien, Austausch) Die Prozesssteuerung führt zur Ausbildung von Kommunikationen und Medien, die schließlich das System konstituieren. Die Medien erlauben eine Vereinfachung der Handlung oder Auswahl weiterer Handlungsoptionen. Die einzelnen Medien erfüllen unterschiedliche Funktionen, allerdings besteht die Gefahr, dass das Medium zum Selbstzweck wird und die ursprünglich angestrebte Funktion nur noch bedingt erfüllt wird.	Prinzipien (Erkenntnisse) aller Bereiche als Medien
	**Zeitbezug** (Flussorientierung, Dialektik) Die kurzlebigen Kommunikationen bedingen, dass das System nur in der Zeit existent ist und sich ständig selbst erhalten muss. Gleichzeitig führt der Zeitbezug dazu, dass jedes System auf einem vorherigen System oder Systemzustand basiert und sich ständig weiterentwickelt. Statische, endgültig entwickelte Systeme oder Lösungen existieren nicht.	Betrachtung der Systemtheorie als sich entwickelndes, ungenaues Erklärungsmodell
Reflexion 	**Reflexivität** (Selbstreferenz) Um wirklich flexibel auf die Umwelt reagieren zu können, sind Selbstreferenz und Reflexivität notwendig, d. h. eine Betrachtung des Systems durch sich selbst. Es existiert eine weitere Dialektik zwischen Kontingenzbeschränkung, um handlungsfähig zu sein, und Kontingenzerhalt, um auf sich ändernde Umweltbedingungen reagieren zu können.	*s. Selbstähnlichkeit und diese gesamte Spalte*
	**Subjektivität** (Wahrnehmung, Konstruktivismus) Sowohl die Wahrnehmung des eigenen Selbst als auch der Umwelt ist subjektiv, d. h. im Wesentlichen vom betrachtenden System abhängig. Dies bedingt zum einen, dass Systeme sich selbst nicht objektiv betrachten können, zum anderen, dass ein objektiver Eingriff in ein komplexes System nicht möglich ist. Gleichzeitig ist Subjektivität zum Großteil auch kulturbedingt und bezieht sich somit nicht nur auf das Individuum.	Systemtheorie ist subjektives Erklärungsmodell
Genese 	**Evolution** (Vermehrung, Vererbung, Fortpflanzung, Selektion) Zum Erhalt der Art des Systems und auch zur Sinnkonstitution ist die Vermehrung des Systems notwendig. Vermehrung und Selektion bedingen sich gegenseitig, d. h. ohne Selektion führt die Vermehrung ins Unendliche, ohne Vermehrung löst die Selektion das System auf. Dieser Prozess kann als Kommunikation (der Erbinformation) gesehen werden.	Entwicklung weiterer Systemtheorien
	Pluralismus (Parallelität, Widersprüche, Inkonsistenz) Die kontinuierliche Entstehung neuer Systeme führt dazu, dass auch widersprüchliche und inkonsistente Systeme nebeneinander bestehen können. Die Systemtheorie als Differenztheorie versucht gerade, die unmöglich eindeutige Hierarchisierung der Welt durch andere Ansätze zu begreifen, d. h. Systeme werden nicht mehr (nur) hierarchisch zerlegt, sondern über Differenzkriterien spezifiziert und können sich überschneiden.	Widersprüchliche Systemtheorien möglich (siehe reduktionistisch vs. holistisch)

Tabelle 8: Übergeordnete Prinzipien der Systemtheorie - Zusammenfassung

Prinzip	Systemtheorie
Selbstähnlichkeit (Ebenen, Analogien) Ganz im Sinne der Systemtheorie folgen Systeme auf unterschiedlichen Ebenen den gleichen Prinzipien und Prozessen. Dieser Punkt bezieht sich insbesondere auf die Rekapitulation der Phylogenese durch die Ontogenese, d. h. der Entwicklung der Systeme selbst.	Systemtheorie folgt systemtheoretischer Entwicklung
Emergenz (Teil – Ganzes) Das Zusammenspiel vieler gleicher oder verschiedener Elemente kann zu neuen Eigenschaften auf höherer Systemebene führen. Dabei ist es von einer Ebene aus schwer bis unmöglich, die emergenten Eigenschaften der übergeordneten Ebene zu erkennen. Das Optimum für das Gesamtsystem unterscheidet sich vom Optimum für die Teilsysteme.	Systemtheorie ergibt sich aus Vielzahl unabhängiger Prinzipien

Prinzip	Systemtheorie
Unvollständig (Unendlicher Regress, Rekursivität) Die ständige Dynamik und reflexive Neubildung von Systemen führt zur Tatsache, dass jedes System an sich unvollständig ist. Insbesondere durch die Reflexivität kann ein System sich niemals vollständig selbst enthalten. Im Umkehrschluss ermöglicht die Unvollständigkeit den kontinuierlich fortlaufenden Prozess der Evolution.	Vollständige Systemtheorie als vollständige Welterklärung nicht möglich
Unbestimmtheit (Indeterminismus, Unvorhersehbarkeit) Die Entwicklung von Systemen ist trotz ihrer Determiniertheit unbestimmt, da es eben der Entwicklung bedarf, das Ergebnis „herauszufinden". In Bezug auf Handlungen bedeutet dies, dass auch deren Ergebnis unbestimmt ist.	Entwicklung der Systemtheorie offen

Die evolutionäre Weiterentwicklung auf einer Organisationsstufe lässt sich anhand der biologischen Evolution nachvollziehen (Tabelle 9). Die Prinzipien stellen dabei eine Detaillierung des Punktes *Genese* bzw. *Evolution* dar.

Tabelle 9: Prinzipien der biologischen Evolution

Prinzip	Erläuterung
Vermehrung	Zum Erhalt der Art, da sonst beim Tod des Individuums die Art aussterben würde
Vererbung	Ermöglicht das Fortbestehen von Charakteristika in der Phylogenese
Paarung	Kombination evolutionär angepasster Individuen, aus denen sich ein ebenfalls („besser oder schlechter") „angepasstes" Individuum ergibt
Mutation	Zufällige Veränderung eines Individuums, vor allem während der Vermehrung
Selektion	Aussortieren nicht angepasster Individuen und Antagonismus der Vermehrung, Grundlage ist der Wettbewerb und die Knappheit, Konkurrenz ist also notwendige Voraussetzung
Einzellige Stufe	Beinhaltet die Repräsentation des gesamten Organismus in einem seiner Elemente als zentralem Kern
Wachstum	Als Möglichkeit der Steigerung der Überlebenswahrscheinlichkeit und Teil des Zyklus von mehrzelligem Organismus und einzelliger Stufe
Genetische Codierung	Beinhaltet die Integration von Information und Interpretation sowie die mögliche Mehrfachbedeutung der „Information"
Struktur und Organisation	Die Trennung erlaubt unterschiedliche Strukturen zur Realisierung einer Organisation; innerhalb der Struktur können die Elemente ohne Änderung der Struktur ausgetauscht werden

Die Listen der Prinzipien erheben selbst keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Konsistenz in dem Sinne, dass die Prinzipien eindeutig voneinander abgegrenzt werden können. Es ist gerade noch eine Schwierigkeit – aber auch eine Stärke – der Systemtheorie, dass die Prinzipien relativ ungenau beschrieben sind. Die Aspekte der Differenzierung und des Zeitbezugs implizieren, dass es praktisch nichts von sich aus Neues gibt, sondern alles auf vorher Existierendem basiert. Das heißt, dass alle Neuerungen und Innovationen auf Vorhandenem durch Neukombination, Differenzierung, Integration etc. aufbauen. Viele der angesprochenen Prinzipien sind somit nicht neu, sondern „altbekannte Wahrheiten"; dies verweist auf das systemtheoretische „Weitertragen der Diskussion".

Abschließend werden nochmals die Prinzipien der klassischen Systemtechnik aufgeführt und Prinzipien der modernen Systemtheorie gegenübergestellt (Tabelle 10).

Tabelle 10: Prinzipien der Systemtechnik und des Systems Engineering

Systemtechnik/Systems Engineering	Systemtheorie
Hierarchiebildung	Strukturierung
Systemgrenze/Systemgrenzenverschiebung	Differenz/Abgrenzung
Abstraktion/Konkretisierung	Kontingenzschließung
Trennung Analyse – Synthese	Wahrnehmung *und* Handlung
Variation	Genese
Bewertung (Bewertungsmethoden)	Selektion
Vorgehen vom Groben zum Detail	–
Einflussanalyse	–
–	Autopoiesis etc.

Das Systems Engineering spricht also auch einige Aspekte an und stellt praktische Methoden bereit, geht aber in vielen Bereichen nicht in die Tiefe der Systemtheorie. Insbesondere die Aspekte der doppelten Kontingenzschließung, Kommunikation, Reflexivität und auch der Genese fehlen. Greift man erneut den Wechsel zwischen Ober- und Untersystem als wesentlichen Kernpunkt der Systemtheorie auf, so ist hier zu berücksichtigen,

- wie Untersysteme klar aus einem Obersystem abgegrenzt werden können,
- welche Eigenschaften des Obersystems von welchen Eigenschaften des Untersystems abhängen,
- welche Ausprägungen in Bezug auf Optima auf der einen Systemebene zu welchen Ausprägungen auf der anderen Systemebene führen,
- ob hierdurch das Gesamtoptimum für Ober- *und* Untersystem abgeleitet werden kann.

Auch wenn hiermit noch keine klaren Richtlinien gegeben sind, soll allein ein Bewusstsein dieser Problematik als erster Schritt hilfreich sein. Der Wechsel zwischen Ober- und Untersystem kann z. B. bedeuten, dass mangelnde Ressourcen nur auf der untergeordneten Ebene problematisch sind, auf der übergeordneten Ebene geht es darum, wie mit den vorhandenen Ressourcen ein optimales Ergebnis erreicht wird.

2.4 Zusammenfassung

Dieses Kapitel hat einen Überblick über den derzeitigen Stand der Systemtheorie und den dort stattfindenden Paradigmenwechsel gegeben. Dessen wesentliche Elemente sind

- die Differenz- oder Bezugsorientierung, d. h. dass Systeme sich in Differenz zu anderen Systemen konstituieren und keiner klaren Hierarchie entsprechen,
- der Kontingenzbegriff, d. h. dass das Problem nicht im Finden, sondern in der Auswahl einer Handlung liegt,
- die doppelte Kontingenzschließung, d. h. die gegenseitige Abhängigkeit aller Systeme,

- ein neues Verständnis des Begriffs der Komplexität, die Möglichkeiten durch die Vielzahl von Systemzuständen und -verknüpfungen eröffnet, und somit nicht reduziert oder beherrscht, sondern verarbeitet werden muss, und bedeutet, dass nicht alle Elemente eines Systems miteinander verknüpft werden können.
- die damit verbundene hohe Bedeutung der Schnittstellen zwischen Systemen,
- der Wechsel von der Handlungs- zur Kommunikationstheorie,
- die individuelle Verpflichtung zum Handeln durch „Erkenntnis der Erkenntnis“,
- die Flussorientierung im Sinne einer kontinuierlichen Weiterentwicklung,
- die Reflexivität und Subjektivität, d. h. dass Systeme sich selbst betrachten müssen und sich nur selbst verändern können, da ihre Wahrnehmung subjektiv ist,
- die Möglichkeit der Existenz widersprüchlicher Systeme und der Ähnlichkeit von Systemen auf unterschiedlichen Ebenen,
- die Unbestimmtheit und Unvollständigkeit, die ein Gestalten der Zukunft ermöglicht und gleichzeitig endgültige und vollständige Lösungen verhindert.

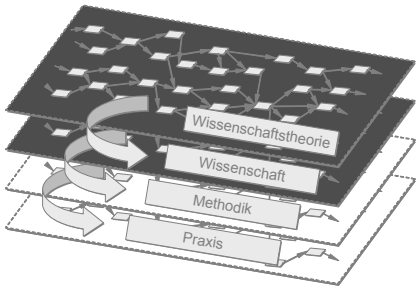
Man kann diese Prinzipien ernst nehmen oder auch nicht, d. h. ihre wissenschaftliche Grundlage kann leicht in Frage gestellt werden. Nimmt man sie jedoch als Axiome her, stellen sie ein besseres Erklärungsmodell für viele Phänomene z. B. der Produktentwicklung dar und ermöglichen eine umfangreiche Weiterentwicklung z. B. der Konstruktionsmethodik. Neben der Weiterentwicklung und konkreten Neuerungen sind dabei in dem Bereich der Produktentwicklung eine saubere Einordnung in die Systemtheorie sowie die Verbindung zwischen Produktentwicklung und Systemtheorie angestrebt.

Grundsätzliches Problem ist, wie schon angedeutet, der fehlende Bezugspunkt und der damit verbundene Kreisschluss der Systemtheorie. Damit steht diese Relativitätsorientierung auch im Bezug zu einer linearen und absoluten Betrachtungsweise und versucht in diesem Sinne, jegliche Art von „Dogmatismus“ zu überwinden. Ähnlich der Evolutionstheorie und Relativitätstheorie erfordert die Systemtheorie eine neue Weltsicht; genauso ähnlich sind aber gewisse Paradigmen (mechanisches vs. relativistisches) nicht unvereinbar, sondern nur Modelle mit gewissen Genauigkeitsgraden für bestimmte Problemstellungen. Die Frage ist also weniger, ob ein Paradigma gültig ist, als wie es anzuwenden ist. Ist das systemtheoretische Paradigma in sich schlüssig, lässt es sich mit einem gewissen Grad an Flexibilität auf jedes Problem anwenden.

Wesentlicher Aspekt aller Handlungen ist, im komplexen sozialen Gefüge sinnvolle Anschlusshandlungen selbst zu finden und anderen zu ermöglichen.

3 Wissenschaftstheorie

In diesem Kapitel wird die wissenschaftliche Seite der Produktentwicklung und die Epistemologie oder Wissenschaftstheorie näher betrachtet. Die Anwendung der Systemtheorie, insbesondere der Systementstehungsstufen, erlaubt ein eigenes Verständnis von Wissenschaft.



3.1 Definition von Wissenschaft

Wissenschaft lässt sich als Suche nach objektiven Wahrheiten, Tatsachen, Ursache-Wirkungs-Ketten und Erklärungen definieren. Dies soll die Prognose von Ereignissen ermöglichen und Erkenntnisse über die Welt erzeugen, um die Handlungsfähigkeit und in letzter Instanz die Überlebenswahrscheinlichkeit zu erhöhen. Tabelle 11 zeigt allgemeine Kriterien wissenschaftlichen Vorgehens und wissenschaftlicher Ergebnisse.

Tabelle 11: Zusammengefasste Kriterien wissenschaftlicher Arbeit

Kriterien	Erklärung	Schwierigkeit
Reduzierend	Vereinfachte Darstellung/Erklärung der Welt	Aussagefähigkeit
Wiederholbar/ reproduzierbar	Erneute Durchführung der forscherischen Tätigkeit führt zu dem gleichen Ergebnis	Veränderung des Betrachtungsgegenstands
Widerlegbarkeit	Ergebnisse sind so formuliert, dass sie angefochten werden können (ansonsten Tautologien)	Widerspricht Objektivität
Widerspruchsfrei	Stellen ein in sich geschlossenes, logisches System dar	Existenz widersprüchlicher Wahrheiten
Nachprüfbar/ nachvollziehbar	Der Weg der Erkenntnisfindung ist im Detail erklärbar	Subjektive Wahrnehmung
Innovativ	Die Ergebnisse sind, zumindest innerhalb eines bestimmten Systems, neu	Bekanntheit/Bezugsrahmen
Vorsichtig/neutral/ klar	Ergebnisse und Darstellung werden von Dogmen und Überzeugungen getrennt	Fortschritt basiert auf radikaleren Ansätzen
Objektiv/personen-unabhängig	Unterschiedliche Personen kommen bei ähnlichem Vorgehen zu ähnlichen Ergebnissen	Wahrnehmung an sich subjektiv
Validität/Gültigkeit	Ergebnisse sind für unterschiedliche Systeme oder Ereignisse (oder Beobachter – s. o.) gültig	Abgrenzung des Gültigkeitsraumes

Sowohl wissenschaftliche Ergebnisse als auch der Weg wissenschaftlichen Arbeitens sind nach obiger Definition kritisch zu betrachten: Da Erkenntnis grundsätzlich subjektiv ist, sind objektive Wahrheiten an sich unmöglich. Ursache-Wirkungs-Ketten können in komplexen sozialen Interaktionen nur bedingt abgeleitet werden.[1] Der wahre Nutzen und

[1] aufgrund der Chaos- und Quantentheorie sowie der nicht-aristotelischen Logik (GÜNTHER 1976)

Vorteil wissenschaftlicher Erkenntnisse zeigt sich aufgrund der Unbestimmtheit nur selten. Gleichzeitig wird häufig angeführt, dass sich kaum eine wissenschaftliche Erkenntnis als dauerhaft erwiesen hat. Kritisch sind Widersprüche, die sich auch in dem betrachteten Bereich der wissenschaftlichen Produktentwicklung[1] sowie in der Gegenüberstellung von Produktentwicklung und anderen Funktionssystemen wie der Politik oder Wirtschaft zeigen[2]. Darüber hinaus ist die Befolgung „der wissenschaftlichen Methode" oder ein Vorgehen „lege artis" schwierig, da diese kaum konkret formuliert vorgefunden werden.

Die Geschichte der Wissenschaft hat ihren Ursprung in der griechischen Antike. Die Diskussion um Rationalismus, Logik, Beobachtung und Experiment, Dialektik sowie das atomistische Weltbild und Veränderung als das zugrunde liegende Prinzip waren dort schon existent. Die wissenschaftliche Revolution um 1600 betonte das Experiment, mathematische Ausdrücke und eine kritische Betrachtung des Rationalismus.[3] Die wissenschaftstheoretische Diskussion dreht sich seitdem weiterhin um die zentralen Punkte objektiver Wahrnehmung und Rationalismus. EBERHARD 1999 sieht als realistisches Ziel wissenschaftlicher Erkenntnis letztendlich die Glaubwürdigkeit. Er unterscheidet

- phänomenales Erkenntnisinteresse (längs- und querschnittlich)[4],
- kausales Erkenntnisinteresse (notwendig und hinreichende Kausalität)[5] sowie
- aktionales Erkenntnisinteresse (generativ und präventiv).

Phänomenales und kausales Erkenntnisinteresse entspricht deskriptiven Ergebnissen, aktionales entspricht präskriptiven oder normativen Ergebnissen. Phänomenales Erkenntnisinteresse resultiert in Fakten, kausales Erkenntnisinteresse in Erklärungsmodellen und aktionales Erkenntnisinteresse in Handlungsanweisungen. Die Aspekte können auch als Schritte wissenschaftlichen Vorgehens aufgefasst werden (Beschreiben von Phänomenen → Erklären der Phänomene → Ableiten von Handlungsmöglichkeiten). Obwohl die Arten von Aussagen somit eng verknüpft sind, dürfen deskriptive Aussagen nicht unmittelbar als präskriptive Aussagen aufgefasst werden („naturalistischer Fehlschluss, POSER 2001). LORENZEN (2000) unterteilt „Wahrheiten" in rein auf der Logik, auf Wahrnehmung und Experimenten, auf zusätzlichen Definitionen sowie auf realen Objekten aufbauend.

---

[1] z. B. die Entwicklung der Konstruktionsmethodik sowohl in Richtung weicher Wissenschaft (CHECKLAND & SCHOLES 2000) als auch in Richtung vollkommener Automatisierung (ANTONSSON & CAGAN 2001)

[2] z. B. die wirtschaftlichen Standardisierungsmaßnahmen (Plattformen etc.), während Werbung mit neuen und unterschiedlichen Produkten gemacht wird, die Optimierungsmaßnahmen in der Wirtschaft gegenüber Problemen der Arbeitslosigkeit – diese Beispiele untergraben zwar keine wissenschaftliche Arbeit, zeigen jedoch, dass andere soziale Effekte Wissenschaft ad absurdum führen.

[3] Eine detaillierte Betrachtung der Entwicklung findet sich bei CHECKLAND (1981).

[4] in Bezug auf die Stichprobe, d. h. intensive Analyse eines Objekts (Längsschnitt) oder statistische Analyse über mehrere Objekte hinweg (Querschnitt)

[5] Dabei muss zwischen Kausalität und Korrelation unterschieden werden.

Aussagen untergliedern sich in *nicht-wahrheitsfähig* sowie *wahrheitsfähig*. Nicht-wahrheitsfähige Aussagen teilen sich in normative Aussagen und Definitionen auf. Wahrheitsfähige Aussagen können analytisch (logisch wahr oder falsch) oder synthetisch, d. h. empirisch sein, die sich wiederum in singuläre Existenzaussagen („x hat y“)[1], partikuläre Existenzaussagen („es gibt ein x, das y hat“) und Allaussagen („alle x haben y“) aufteilen.

3.2 Möglichkeiten der Wissenschaft

3.2.1 Wissenschaftstheoretische Ansätze

In der Entwicklung der Wissenschaft selbst wurden unterschiedliche erkenntnistheoretische Ansätze verfolgt, die alle noch Gültigkeit besitzen und von EBERHARD (1999) in einen chronologischen Zusammenhang gestellt wurden.

Diese Entwicklung beginnt mit dem **mystisch-magischen Erkenntnisweg**, der auf einem undefinierten Rückwirken des zu Erkennenden basiert und in dieser Form nur bedingt als wissenschaftlicher Prozess aufgefasst werden kann.

Der **deduktiv-dogmatische Erkenntnisweg** basiert auf als wahr angenommenen Axiomen und leitet daraus neue Erkenntnisse ab. Problematisch ist die Richtigkeit der Axiome, die z. T. auf langfristig erworbenen „Lebenserfahrungen“ (LORENZEN 2000) beruhen, sowie die Unvollständigkeit der Erkenntnisse, die durch reine Deduktion hergeleitet werden können. Die **Deduktion** leitet aus dem Generellen das Besondere ab.

Dem gegenüber steht die **Induktion** oder der **induktiv-empirische Erkenntnisweg**, der aus dem Besonderen das Generelle ableitet, d. h. aus der Beobachtung einzelner oder statistischer Phänomene Gesetzmäßigkeiten entwickelt. Schwierigkeiten sind die Größe der untersuchten Stichprobe, die Interpretation der Phänomene und die Theoriegebundenheit der Experimente, die hier eine zentrale Rolle spielen, d. h. Experimente, deren Ergebnisse sowie Interpretationen basieren sehr stark auf der angenommenen Hypothese. Problematisch ist auch die Beobachtbarkeit selbst, die in der modernen Wissenschaft sowohl mikroskopisch (Elementarteilchen, Wellen etc.) als auch makroskopisch (Soziosysteme, historische Entwicklungen etc.) die „alltägliche“ Wahrnehmung qualitativ übersteigt.

Diese Problematik der Experimente existiert auch beim **deduktiv-theoriekritischen Erkenntnisweg**, der einen zentralen Ansatz der modernen Wissenschaft darstellt und Experimente auf relevante Tatsachen ausrichtet. Hier werden deduktiv abgeleitete Hypothesen im Experiment überprüft und gegebenenfalls falsifiziert. Diese Falsifikation („Kritischer Rationalismus“) ist nach POPPER (1994) die zentrale Form der Erkenntnisfindung. Hiermit

[1] z. B. mit x als bestimmtes System, y als Eigenschaft

stellt er sich gegen Positivismus und Induktion, jedoch beinhaltet sein Ansatz die Problematik der Unvollständigkeit der erzielbaren Erkenntnisse sowie die vorschnelle Aufgabe wissenschaftlicher Theorien, die trotz Falsifikation richtig sind. Es ist dagegen wichtig zu unterscheiden, dass singuläre Existenzaussagen sowohl falsifizierbar als auch verifizierbar, partikuläre Existenzaussagen nur verifizierbar[1], und Allaussagen nur falsifizierbar sind.

Der **dialektisch-materialistische Erkenntnisweg** beinhaltet anstelle eines präskripitven Vorgehens eine veränderte Weltanschauung. Ganz im Sinne der Systemtheorie werden hier nicht Zustände, sondern Prozesse betrachtet, die nicht angestoßen, sondern von „inneren Widersprüchen" (EBERHARD 1999) angetrieben werden. Einen Schritt weiter geht die **Aktionsforschung** („action research"), die Forschung und Praxis als untrennbar ansieht und somit eine ständige Beeinflussung der Praxis durch die Wissenschaft annimmt.

Neben Deduktion und Induktion existiert die **Abduktion**[2], die zwar keine logisch gültigen Schlussfolgerungen zulässt, aber zu nützlichen Einsichten und Annahmen, wie z. B. in der medizinischen Diagnostik, führen kann.

EBERHARD (1999) ordnet diese Erkenntniswege historisch ein und versucht sie im *soziogenetischen Ansatz* den einzelnen Phasen menschlicher Gemeinschaft zuzuordnen. Darüber hinaus zieht er einen Vergleich zwischen dieser Entwicklung und der ontogenetischen Entwicklung der Erkenntnisfähigkeit des einzelnen Menschen (s. o. PIAGET 1996).

Neben der grundlegenden Diskussion konstruktivistischer oder objektiver Erkenntnis sei hier nochmals Poppers Falsifikation als zentraler Ansatz genannt. Ein schwerwiegenderes Problem ist, dass Hypothesen aufgrund unberücksichtigter Randbedingungen, einer ungenauen Formulierung oder unangemessener Experimente falsifiziert werden, obwohl sie zumindest in ihrem Kern richtig sind. Ein erster Ansatz war, einen Falsifikationsgrad einzufügen, der angibt, wie viele Möglichkeiten bestehen, die Hypothese zu widerlegen.

KUHN (1976) beschreibt Paradigmen, die innerhalb einer Generation von Wissenschaftlern gültig sind. Innerhalb der Paradigmen findet Normalwissenschaft statt, die von axiomatischen Grundannahmen geleitet wird. Sobald das Paradigma nicht mehr in der Lage ist, bestimmte Phänomene zu erklären, kommt es zu einer Krise, die eine Revolution auslöst und schließlich zu einem neuen Paradigma führt (*Paradigmenwechsel*). Interessant ist die Feststellung der Existenz von Vorwissenschaften, in denen noch kein forschungsleitendes Paradigma existiert. Vorwissenschaft und Krise zeichnen sich durch eine Vielzahl widersprüchlicher Theorien aus. Paradigmen führen zu einer Determiniertheit der Forschung („Rätsellösen"), während *neue* Theorien außerhalb der normalen Wissenschaft entstehen. Die Identifikation von Paradigmen, Krisen oder dem Status der Vorwissenschaftlichkeit ist dabei aus historischer Sicht einfacher als aus der Wissenschaft selbst heraus.

---

[1] weswegen sie von Popper aus der empirischen Wissenschaft ausgeschlossen wurden

[2] aus „alle x haben Eigenschaft e" und „y hat Eigenschaft e" folgt „y ist ein x"

In eine ähnliche Richtung gehen die Forschungsprogramme nach LAKATOS & MUSGRAVE (1974), die von einem zentralen Kern und veränderlichen und anpassbaren Zusatzannahmen ausgehen. Der Erfolg dieser Forschungsprogramme ergibt sich aus ihrer Fähigkeit, bestimmte Phänomene vorauszusagen. FEYERABEND (1986) verabschiedet sich mit seiner anarchistischen Wissenschaftstheorie von einer starren wissenschaftlichen Methodik und stellt damit einen Gegenpol zu anderen, eher einschränkenden Ansätzen dar.

Ein Ansatz auf Basis der Wahrscheinlichkeit des Zutreffens einer wissenschaftlichen Theorie wird von den *Bayesianern* verfolgt, da der kritische Rationalismus formal jeder Theorie die Wahrscheinlichkeit Null zuweist[1], es jedoch sinnvoller erscheint, wissenschaftliche Theorien differenzierter zu bewerten (CHALMERS 2001). Der neue Experimentalismus nach Mayo (CHALMERS 2001) basiert auf dem Ansatz, alle Möglichkeiten, warum eine Aussage falsch sein kann, experimentell auszuschalten.

Den unterschiedlichen Ansätzen ist gemein, dass sie *ein* allein gültiges Modell der Wissenschaft aufzuzeichnen versuchen und weder die zeitliche Entwicklung, noch unterschiedliche Disziplinen oder einen Pluralismus im wissenschaftlichen Vorgehen berücksichtigen. Darüber hinaus wird nicht beachtet, das veraltete Paradigmen nicht generell ihre Gültigkeit verlieren, sondern häufig ein dann vereinfachtes Modell der Realität darstellen.

3.2.2 Ansätze in der Produktentwicklung

Die Wissenschaft in der Produktentwicklung unter dem Begriff „*design research*“ (Designforschung) verfolgt im Wesentlichen phänomenale Interessen, d. h. wie Designprozesse im Sinne einer *„design theory“* (Designtheorie) funktionieren, und aktionale Interessen, d. h. welche Hilfsmittel Designprozesse unterstützen. CANTAMESSA (2001) unterscheidet zwischen empirischer oder experimenteller Untersuchung von Designprozessen, der Entwicklung neuer Werkzeuge und Methoden sowie deren Einführung in der Industrie. Diese drei Aspekte werden auch von BLESSING et al. (1998) und ECKERT et al. (2003a) als Methodik oder Modell der Konstruktionsforschung vorgeschlagen (Tabelle 12). Während CANTAMESSA (2001) eine Klassifikation der Konstruktionsforschung anstrebt, fokussieren BLESSING et al. (1998) auf die Optimierung bestimmter Kriterien; ECKERT et al. (2003a) betonen einen ständigen Kreislauf der Forschung, der auf individueller Ebene nur Ausschnitte abdecken muss.

Obwohl diese Modelle den Prozess der Konstruktionsforschung logisch korrekt wiedergeben, fehlt zum einen eine detaillierte Beschreibung, wie Methoden und Werkzeuge zu entwickeln sind; zum anderen wird nicht gesagt, wie eine angemessene Analyse von Entwicklungsprozessen durchzuführen ist. Weiterführende Ansätze sind z. T. zu allgemein oder zu

[1] da praktisch jede Theorie früher oder später verworfen wird

speziell und berücksichtigen kaum den erkenntnistheoretischen Hintergrund und die damit verbundenen Schwierigkeiten. Für die Entwicklung rechnergestützter Werkzeuge existieren Vorgehensmodelle, die sich hauptsächlich mit den Rahmenbedingungen und der Einführung auseinander setzen (z. B. BRACEWELL et al. 2001, ANTONSSON & CAGAN 2001). CARRIZOSA et al. (2002) schufen spezielle Arbeitsumgebungen für die experimentelle Untersuchung von Entwicklungsprozessen im Team. MINNEMAN (1991) zeigt Randbedingungen und Hinweise für einen ganzheitlichen Ansatz der Forschung auf. Unterschieden wird hier noch zwischen daten- und hypothesengesteuerten Experimenten sowie Studien im Längsschnitt oder im Querschnitt (BENDER et al. 2001).

Tabelle 12: Modelle der Konstruktionsforschung („*design research methodology*“)

CANTAMESSA (2001)[1]	BLESSING et al. (1998)	ECKERT et al. (2003a)
	Kriterien: Maße (Analyse)	
Analyse industrieller Praxis; Durchführung von Experimenten (Analyse)	Beschreibung 1: Einflüsse durch Beobachtung und Analyse (Analyse)	Empirische Untersuchungen (Analyse)
		Bewertung der empirischen Untersuchungen (Analyse)
		Entwicklung einer Theorie und eines gemeinsamen Verständnisses (Synthese)
		Bewertung der Theorie (Analyse)
Entwicklung neuer Werkzeuge und Methoden (Synthese)	Rezept: Methoden durch Annahmen und Erfahrung (Synthese)	Entwicklung von Werkzeugen und Methoden (Synthese)
		Bewertung der Werkzeuge und Methoden (Analyse)
Einführung von Werkzeugen und Methoden (Synthese)	Beschreibung 2: Anwendung durch Beobachtung und Analyse (Analyse)	Einführung der Werkzeuge, Prozesse etc. (Synthese)
		Bewertung der Einführung (Analyse)

Verknüpft mit der Designforschung ist die Ethnografie (z. B. GRILLS 1998), die versucht, fremde Kulturen zu verstehen. Die Schwierigkeit besteht darin, dass einerseits eine Integration in die Kultur notwendig ist, die andererseits eine objektive Betrachtung erschwert.

Des Weiteren wird versucht, eine eindeutige Klassifikation oder Ontologie in der Designforschungsgemeinschaft zu schaffen (ERIS 2003, ANDREASEN et al. 2002, HORVÁTH 2001). Dieser Ansatz ist sicher nützlich zur bewussten Fragestellung in der Designforschung; er ist ebenso erstrebenswert zum Aufbau einer Designtheorie. Vor dem Hintergrund des systemtheoretischen Pluralismus und der nicht eindeutigen Hierarchiebildung scheint dies jedoch eine Illusion zu bleiben und es scheinen andere Ansätze notwendig zu sein.

3.2.3 Praxis der Wissenschaft

Im Folgenden angerissenen sollen allgemeine Probleme und Schwierigkeiten wissenschaftlicher Praxis aufgezeigt werden. BLESSING (2003) nennt als Schwierigkeiten der Designforschung, die sich mit eigenen Beobachtungen decken:

[1] Als vierter Punkt wird hier noch die Entwicklung kommerzieller Werkzeuge erwähnt, die jedoch der Industrie überlassen bleibt.

- die Vielzahl von Ansätzen, die weder etabliert noch klar definiert sind, und damit
- die Unmöglichkeit, einen gesamthaften Überblick zu bekommen, und damit wiederum
- die Entstehung von „Referenzierungs-Inseln“ innerhalb der *design community*,
- der Mangel an einer einheitlichen Terminologie,
- die unzureichend stattfindende Verifikation und Validierung der Ergebnisse,
- die fehlenden Versuche, einzelne Ergebnisse zusammenzubringen sowie
- die mangelnde Wissenschaftsmethodik.

Diese Schwierigkeiten führen mit zu einer mangelnden Nutzung der Ergebnisse in der Praxis; dies erschwert umgekehrt wieder das wissenschaftliche Vorgehen, da die Rückmeldung aus der Industrie und somit auch der Betrachtungsgegenstand fehlen. BLESSING (2003) untergliedert weiterhin die bisherige Designforschung in die Phasen *erfahrungsgestützt, intellektuell* und *experimentell*. Als nächste Phase wird die *theoretische* Phase genannt, die noch nicht erreicht ist. Diese Phasen stimmen mit den ersten vier Erkenntniswegen EBERHARDS (1999) überein.[1] Mit den systemtheoretischen Prinzipien im Hintergrund sind die folgenden Aspekte problematisch (Tabelle 13).

Tabelle 13: Kritische Aspekte wissenschaftlicher Praxis

Kritischer Aspekt (in Klammern der Bezug zu Kriterien Wissenschaft)	**Beispiel**
Fehlende Hypothesenbildung (Widerlegbarkeit) Zu Beginn findet selten eine Hypothesenbildung statt. Experimente werden nur unzureichend auf die Fragestellung hin gestaltet; dies führt schließlich aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren und subjektiver Interpretation zu sehr allgemeinen Aussagen.	Empirische Designforschung mit Konstruktionsexperimenten unter Laborbedingungen formulieren kaum Hypothesen am Anfang, sondern beschränken sich auf Beobachtung.
Mangelhafte Evaluierung (Nachvollziehbarkeit, Gültigkeit) Ergebnisse werden nicht evaluiert oder die Evaluierung wird so durchgeführt, dass subjektiv auszulegende Ergebnisse gerechtfertigt werden. Evaluierung wird weniger als Versuch oder Experiment zur Bestätigung von Hypothesen gesehen, sondern als Rechtfertigung.	Prozessmodelle können als *Sichtweise* auf alle Prozesse angewendet werden. Die eigentliche Evaluierung der Nützlichkeit fehlt aufgrund mangelnder Vergleichsmöglichkeiten.
Fehlendes kritisches Hinterfragen (Objektivität, Widerspruchsfreih.) Ergebnisse und Beobachtungen werden nicht kritisch hinterfragt. Schwierigkeiten, die bei der Einführung oder Nutzung von Hilfsmitteln entstehen, oder Randbedingungen, die einen wesentlichen Einfluss auf experimentelle Ergebnisse haben, werden kaum reflektiert.	Viele Ansätze beinhalten Datenbanken, die jedoch in der industriellen Praxis kaum gepflegt und akzeptiert werden, da andere Lösungen einfacher sind.
Unreflektierte Wirksamkeit der Ergebnisse (Reduktion, Gültigkeit) Es wird kaum hinterfragt, was mit Ergebnissen konkret angefangen werden soll oder wie entwickelte Hilfsmittel explizit umgesetzt werden sollen. Der Verknüpfung von Theorie und Realität fehlt.	PDM-Systeme können zu geringerer Dokumentation führen, wenn das System nicht genutzt wird und keine Alternative vorliegt.
Fehlende Kontinuität (Gültigkeit, Reduktion) Ergebnisse werden nicht ausreichend weiterverfolgt und weiterentwickelt. Es entstehen abgeschlossene und nicht lange funktionsfähige Hilfsmittel. So werden Forschungsressourcen verbraucht, da immer wieder neu angefangen wird. Es werden keine längeren Zyklen untersucht, sodass Erkenntnisse auf der falschen Ebene gesucht werden.	Gerade in dem Bereich von PDM- oder Konstruktionsleitsystemen werden vielfach neue Systeme entwickelt, die ähnliche Ansätze aufgreifen, aber jeweils nicht bis zu einem ausgereiften Stand bringen.

[1] magisch-mystisch = erfahrungsbasiert, deduktiv-dogmatisch = intellektuell, induktiv-empirisch = experimentell, deduktiv-theoriekritisch = theoriegebunden

Positives und ungenaues Zitieren (Gültigkeit, Reduktion) Literatur wird weniger als Basis angesehen, auf der die eigene Arbeit aufbauen kann; vielmehr wird sie aufgeteilt in Literatur, die die eigenen Ansätze formell unterstützt, und solche, von der sich die eigenen Ansätze distanzieren. Ein kontinuierlicher Fluss von Wissen (mit Selektion und Vermehrung) findet nur bedingt statt. Dies wird durch unterschiedliche Terminologien und einem „not-discovered-here"-Syndrom gefördert. Ungenauigkeiten werden in Kauf genommen.	Häufig werden Ansätze, die ursprünglich ganze Bücher umfassen, auf einen Satz reduziert.
Durchmischen von Analyse und Synthese (Objektivität) Im Gegensatz zur systemtheoretischen Einheit von Wahrnehmung und Handlung kann man Wissenschaft als Trennung von Analyse und Synthese ansehen. Unter dieser Annahme lässt sich jedoch häufig eine Vermischung von Analyse und Synthese feststellen, die somit Erkenntnisgewinn und Hilfsmittelentwicklung ungenau werden lässt.	Umfangreiche Methoden und Ansätze werden ständig weiterentwickelt, ohne jemals Analyse und Synthese genau zu trennen. In langen Projekten wirken viele Einflüsse auf sich ständig verändernde Methoden ein.
Fokussierung auf den falschen Kontext (Gültigkeit) Es werden nur selten der Kontext und die Organisationsebene bewusst gewählt, auf die sich die Forschung bezieht. Häufig wird der soziale Kontext übersehen oder nur als Randbedingung betrachtet.	In Großunternehmen scheint die Soziologie eine viel bedeutendere Rolle zu spielen, als die psychologischen Aspekte der Konstruktionsforschung.

Die kritisierten Aspekte treffen z. T. auch auf die vorliegende Arbeit zu. Durch diesen reflexiven Schritt des Bewusstmachens dieser Mängel sollen sie jedoch weitest möglich abgeschwächt werden. Während sich die Mängel noch vermeiden lassen, liegen die Ursachen der Schwierigkeiten, die sich jedoch im Kausalgefüge nicht immer eindeutig abgrenzen lassen, u. a. in den folgenden Aspekten (Tabelle 14).

Tabelle 14: Schwierigkeiten wissenschaftlicher Praxis

Schwierigkeit	Beispiel
Komplexität des Betrachtungsgegenstands Problematisch sind die Komplexität und Dauer der Prozesse, die Größe von Unternehmen, die immer wieder neuen und unterschiedlichen Problemstellungen, die Vielzahl von Randbedingungen einschließlich persönlicher Differenzen etc. Es fehlen **Vergleichsmöglichkeiten**, angemessene Experimente sind schwer zu gestalten.[1] Der Indeterminismus der Ergebnisse macht eine langfristige Planung schwierig.	Nimmt man wieder Konstruktionsexperimente, spielen hier die Verschiedenartigkeit der Aufgaben, die Verschiedenartigkeit der Ingenieure sowie den Erfahrungszuwachs durch das Projekt eine Rolle.
Fehlender Bezugsrahmen Die fehlende Designtheorie als Paradigma oder Bezugsrahmen führt dazu, dass wissenschaftliche Fragestellungen sich auf die gesamte Produktentwicklung beziehen müssen und abgegrenzte Fragen für Experimente kaum aufgestellt werden können. Grundlegende Fragen werden immer wieder aufgeworfen und sehr generell beantwortet.	Da Produktdatenmanagementsysteme kein fester Teil industrieller Praxis sind, lässt sich hier auch keine exakte Wissenschaft betreiben. Ähnliches gilt für psychologische Untersuchungen.
Fehlendes wissenschaftliches Vorgehen Ohne Bezugsrahmen ist es schwer, ein wissenschaftliches Vorgehen vorzugeben (nicht im Sinne einer Vorschrift, sondern als Handlungsanleitung). Die Bestimmung der eigenen Handlung verbraucht Ressourcen. Das langfristige Vorgehen ist nicht effektiv planbar.	Präskriptive Vorgehensmodelle für Entwicklungsprozesse werden hier nicht berücksichtigt (z. B. Bilden von Alternativen); ein spezielles Vorgehen der Wissenschaft fehlt.
Länge der Zyklen Die Länge zu untersuchender Synthese-Analyse-Zyklen übersteigt in der Praxis den Umfang vieler Forschungstätigkeiten. Eine Modularisierung der Forschung wäre unabdingbar. Durch die Länge der Zyklen findet keine klare Trennung von Analyse und Synthese statt, sondern	Eine komplette Entwicklung in der Automobilindustrie dauert etwa fünf Jahre. Währenddessen haben sich Hilfsmittel so weiterentwickelt, dass einzelne Phänomene verwischen.

[1] Der Vergleich von Experimenten oder Beobachtungen ist zwar schwer zu realisieren, jedoch nicht generell unmöglich. Vergleichsmöglichkeiten zu schaffen, muss Ziel beim Aufbau einer Designtheorie sein.

zugrunde liegende Hypothesen, Theorien und Paradigmen werden ständig angepasst. Die Dauer betrifft psychologisch die mangelnde Fähigkeit zur Extrapolation, sowohl über- als auch unterschätzend.	Zeitliche Entwicklungen werden unter- (Rechnerleistung) oder überschätzt (Unternehmensflexibilität)
Geschwindigkeit des technischen Fortschritts Ebenso erscheint der technische Fortschritt schneller zu sein als die Ansammlung wissenschaftlicher Erkenntnisse.	Rechnerhilfsmittel (CAD- oder PDM-Systeme) entwickeln sich für eine exakte Analyse zu schnell weiter.
Informationsflut Die Informationsflut führt dazu, dass es unmöglich ist, einen gesamten Überblick über den Stand der Forschung zu bekommen; dies führt zu ungenauer Abgrenzung und Zitierung. Dabei ist es im Sinne der Kontingenzschließung weniger problematisch, die richtigen Ansätze zu finden, als aus der Vielzahl von Ansätzen die richtigen auszuwählen.	Bei Modethemen wie Wissensmanagement oder Innovation wird man von der Vielzahl existierender Veröffentlichungen erschlagen. Leistung an der Zahl der Veröffentlichungen zu messen, fördert dies noch.
Ungenaue Dokumentation Die lineare Dokumentation wissenschaftlicher Ergebnisse entspricht häufig nicht dem vernetzten Vorgehen. In der Literatur werden häufig Hypothesen aus Beobachtungen hergeleitet, während in Wirklichkeit die Beobachtung auf Basis der Hypothese stattfand. Umgekehrt werden durch Versuch hergeleitete Ergebnisse häufig als logisch hergeleitet dargestellt (*Medawar*, SPENCER-BROWN 1997). Eine solche Dokumentation ist zwar für die logische Struktur gerechtfertigt, verwischt jedoch das Verständnis der Wissenschaft.	Während eine Vielzahl von Erkenntnissen aus der Entwicklung eines Werkzeugs entstehen und eben diese Entstehung im Nachhinein reflektiert wird, sieht die Dokumentation häufig so aus, dass ein Theorie- oder Methodikgebäude aufgebaut wird, aus dem sich scheinbar das Werkzeug ergibt.
Subjektive Wahrnehmung Subjektivität stellt ein grundlegendes Problem dar. Bohr (*Kopenhagener Interpretation*) drückte dies so aus, dass nur eigene Beobachtungen physikalische Phänomene beschreiben; Berichte anderer Wissenschaftler sind als psychologische Ergebnisse zu analysieren. Dieser Aspekt bezieht sich auch auf unterschiedliche Persönlichkeitstypen, denen in der wissenschaftlichen Praxis nicht Rechnung getragen wird.	Beispielhaft seien hier reflexive, subjektive Analysen von Entwicklungsprojekten genannt. Aus detaillierten Beschreibungen erkennt man eine Vielzahl subjektiver Elemente, die man selber in einem anderen Rahmen ansiedeln würde.
Mangelnde Integration in sozialen Prozess der Wissenschaft Bei der Suche nach objektiver Wahrheit wird häufig der Aspekt übersehen, dass es sich auch bei Wissenschaft um einen sozialen Prozess handelt. Dies bedeutet, dass Ergebnisse Kompromisse darstellen, Forschungsrichtungen auf persönlichen Entscheidungen beruhen und vor allem die Akzeptanz und Verteilung von Wissen z. T. nur innerhalb einer Wissenschaftsgemeinschaft stattfinden.	Hier seien wissenschaftliche Ansätze genannt, die „im Geheimen“ entstehen und ohne viel Kommunikation schließlich „im Schrank verstauben“. Außer persönlichem Nutzen tragen diese kaum zum wissenschaftlichen Fortschritt bei.
Einschränkung durch gegebene Disziplinen Die komplexitätsbedingte Spezialisierung innerhalb der Wissenschaft macht ein angemessenes Betrachten interdisziplinärer Problemstellungen schwierig. Systemtheoretisch ist zu kritisieren, dass sich die Disziplinen zwar voneinander abgrenzen, sie aber noch keine Struktur der Zusammenarbeit ausgearbeitet haben und somit die Kommunikation zwischen ihnen schwierig ist.	Entwicklung von Rechnerhilfsmitteln: Die Kenntnisse über die Produktentwicklung und die Kenntnisse zur Erstellung von Software liegen häufig an verschiedenen Stellen, sodass suboptimale Ergebnisse entstehen oder sehr viel Zeit benötigen.
Unmöglichkeit des Umgangs mit Widersprüchen Der Anspruch auf Objektivität lässt sich schwer mit Widersprüchen vereinbaren, sowohl innerhalb einer Disziplin als auch übergreifend. Diese Widersprüche (Pluralismus) sind nicht zu überwinden, sondern als Grundlage von Dialektik und Weiterentwicklung zu nutzen.	Der Streit, ob Produktentwicklung reine Datenverarbeiten (SIMON 1999) oder ein reflexiver Prozess (SCHÖN 1983) ist, verschwindet vor dem systemtheoretischen Hintergrund.
Verfolgung nicht-wissenschaftlicher Ziele Wissenschaftliches Arbeiten verfolgt zum Teil andere Ziele als die Generierung von Erkenntnis. Diese ergeben sich u. a. aus angrenzenden Systemen (z. B. Finanzierung im Wirtschaftssystem). Der entstehende Wettbewerb kann z. B. zu einem hinderlichen Zeitdruck führen.	Hier sei zu erwähnen, dass z. B. die Anzahl von Veröffentlichung oder die Finanzierung von Forschungsprojekten häufig vor der Erkenntnisgewinnung Vorrang haben.
Persönliche und psychologische Aspekte In der objektiven Betrachtung von Wissenschaft werden persönliche Aspekte wie die Persönlichkeitstypen, individuelle Fähigkeiten oder auch soziale Kompetenzen oder Konflikte nur selten berücksichtigt, obwohl diese einen häufig weitreichenden Einfluss haben.	Verstehen sich zwei Wissenschaftler nicht, kann dies zu einem Abbruch der Kommunikation oder somit zum Ende eines Forschungsstranges kommen.

Eine grobe Untersuchung der gegenseitigen Abhängigkeiten dieser Schwierigkeiten zeigt, dass wesentliche kritische Probleme der unberücksichtigte soziale Prozess, die fehlende Kontinuität, die unberücksichtigte Subjektivität und der mangelnder Bezugsrahmen sind Der Bezugsrahmen und das Vorgehen scheinen dabei im Sinne der Kontingenzschließung eher willkürlich vorzugeben sein, anstatt hier langfristig nach *der* Wahrheit zu suchen. Hier ist ein Ausgehen vom Falschen sinnvoller als das Verbleiben im Ungewissen (*Francis Bacon*, nach KUHN 1976).

3.2.4 Schlussfolgerung

Fasst man den fehlenden Bezugsrahmen sowie das Fehlen eines wissenschaftlich klaren Vorgehens zusammen, kann man feststellen, dass in der Produktenwicklung das Paradigma der Wissenschaft fehlt. Damit ist Produktentwicklung eine Vor-Wissenschaft, was sowohl Vorteile (Forschungsfreiräume) als auch Nachteile (unbestimmtes Vorgehen) mit sich bringt. Dass die Produktentwicklung somit in einer „Krise“ steckt, zeigt sich auch an der zunehmenden Zahl wissenschaftlicher Arbeiten, die sich theoretisch und reflexiv mit der Produktentwicklung selbst auseinander setzen. Anstatt nun innerhalb eines vorgegebenen Paradigmas mit vorgegeben Verfahren zu operieren[1], bedarf es hier eines reflektierten, auf der Systemtheorie aufbauenden Vorgehens. Dieses Reflexion erfordert wiederum ein hohes Maß an Ansprüchen, die Wissenschaftler an sich selbst (subjektiver Aspekt der Wissenschaft), aber auch an andere (sozialer Aspekt der Wissenschaft) stellen müssen. Ob ein nach der Kommunikationstheorie von selbst ablaufender Prozess der Wissenschaft in der Produktentwicklung schon stattfindet, ist eine offene Frage. Genauso bleibt offen, ob die Wissenschaft der Produktentwicklung sich immer an der Grenze zum Design und zur Synthese befindet und sich somit per definitionem mit unverfestigten Bereichen befasst. Auch hier kann die Systemtheorie mit einer reflexiven Betrachtung zielführend sein.

3.3 Systemtheoretische Wissenschaft

3.3.1 Ansatz der Wissenschaft

Die systemtheoretische Wissenschaft arbeitet nicht innerhalb eines Paradigmas, sondern versucht, mit allgemeinen Prinzipien, Analogien anderer Disziplinen sowie einem ständigen kritischen Hinterfragen beliebige Phänomene zu erklären. Dabei lässt sich als systemtheoretisches, kulturelles Wissenschaftsverständnis festhalten:

---

[1] was KUHN (1976) als „Rätsellösen“ (s. o.) bezeichnet und in der Produktentwicklung einer „Aufgabe“ im Gegensatz zu einem „Problem“ entspricht (EHRLENSPIEL 1995)

Wissenschaft ist die soziale Kommunikation subjektiver Erkenntnisse. Sie manifestiert sich in der Realität über kulturelle Evolution. Wissenschaftliches Arbeiten ermöglicht Anschlusshandlungen im System Wissenschaft.

Dieser soziale und wesentliche Kommunikationsaspekt von Wissenschaft wird allgemein (s. a. Kriterien in Tabelle 11) noch nicht ausreichend berücksichtigt. Nach der Kommunikationstheorie wird zum Erkenntnisgewinn (Funktion der Wissenschaft) das Medium Erkenntnisse über die Elementaroperation der Wahrheitsbehauptung und Publikation ausgetauscht (KRALLMANN & ZIELMANN 2001). Erkenntnisse werden also entsprechend einer sozialen evolutionären Epistemologie (*Campbell*) und kulturellen Evolution (SPENCER 1898) von subjektiven Individuen gewonnen und über Medien in einem kulturellen Kommunikationsprozess ausgetauscht. Die Verfestigung dieser Erkenntnisse erfolgt dabei nach evolutionären Prinzipien (Vermehrung, Vererbung, Selektion) mit den subjektiven Kriterien der Objektivität oder Glaubwürdigkeit und der Nützlichkeit sowie allgemein dadurch, dass sich subjektive Erkenntnisse immer wieder bestätigen. Andersherum definiert sich Objektivität – innerhalb eines bestimmten Bezugsrahmens – durch die über das einzelne Individuum hinausgehende, gemeinsame und einheitliche Erkenntnis.[1]

Tabelle 15: Systementstehung, Erkenntniswege und wissenschaftliches Vorgehen

Funktion	**Medium (Träger)**	**Handlung**	**Objekt (Grund)**	**Code (Selektionskriterium)**	**Programm (Regler)**
Erzeugung neuer Erkenntnis	Erkenntnisse (Publikationen)	Publikation, Wahrheitsbehauptung	Erfahrungen/individuelle Erkenntnisse[2] (Neugier, Reflexion)	Wahr/unwahr (Nutzbarkeit, Objektivität, Glaubwürdigkeit, Bestätigung)	Theorien, Paradigmen (Review, Titel)

Tabelle 15 zeigt nochmals erweitert die systemtheoretischen Elemente des Funktionssystems Wissenschaft. Vor dem Hintergrund des soziokulturellen Prozesses ist wichtig,

- Erkenntnisse und Theorien weiterzuentwickeln und nicht als Lösung stehen zu lassen,
- den Zyklus von Analyse und Synthese nicht zu unterbrechen und
- die Lehre als kulturelle Koppelung und Weitergabe der Erkenntnisse zu betonen.

Konkret bedeutet dies, eher die Medien und die Kommunikation in der Wissenschaft zu optimieren, anstatt auf ein eindeutiges wissenschaftliches Vorgehen zu achten.

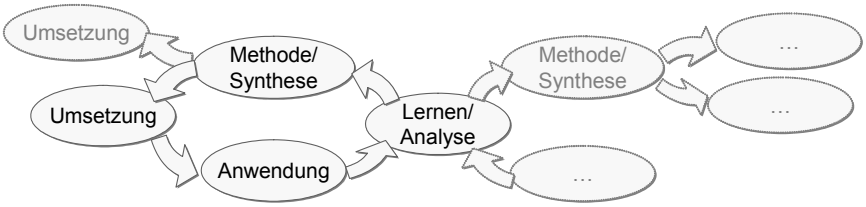


Bild 13: Zyklen im wissenschaftlichen Vorgehen und im Lernen

[1] Objektivität kann somit schon zwischen zwei miteinander kommunizierenden Personen existieren.

[2] auch Wissen, Meinung, Eingebung, Beobachtung, Definition etc.

Bild 13 zeigt die Zyklen von Synthese (Methodik), Umsetzung, Anwendung und Lernen (Analyse) im wissenschaftlichen Vorgehen und weist darauf hin, diese Zyklen nicht zu unterbrechen oder zumindest nicht im Netz miteinander verknüpfter Zyklen auszugrenzen. Das Gleiche gilt für den Zyklus aus **individuellem**, **organisationalem** und **kulturellem Lernen**. Diese Sichtweisen gliedern sich in das Modell der Zyklen von Ereignissen und Ideen ein, die sich gegenseitig beeinflussen (*Vickers*, nach CHECKLAND & SCHOLES 2000). Auch VESTER (1999) kritisiert nicht kommunizierendes lineares und kreisförmiges Denken und verdeutlicht das kontinuierliche kybernetische Vorgehen mit einer Helix.

In diesem ständigen Zyklus kommt es nicht auf eine Beweisführung an, die eben im Sinne eines unendlichen Regresses unmöglich ist, sondern um eine subjektive Reflexion der Sinnhaftigkeit und Anwendbarkeit. Dabei kann ein Wechsel vom Analysieren hin zum bewussten Gestalten gefordert werden.

Wichtig ist dabei, die betrachtete Organisationsebene festzulegen und zu differenzieren, ob diese Ebene schon verfestigt ist (Analyse) oder sich erst noch ausbildet (Synthese), d. h.:

Bei wissenschaftlichen Untersuchungen ist zu beachten, ob ein schon verfestigtes oder ein noch nicht verfestigtes Objekt (Organisationsebene) betrachtet wird.[1]

Hier ist nochmals zu unterscheiden, ob die Ebene selbst oder das Wissen über die Ebene verfestigt ist. Während sich die Organisationsebenen aufeinander aufbauend verfestigen, erweitert sich das Wissen – entsprechend der Beobachtbarkeit der Phänomene – sowohl in den mikroskopischen als auch den makroskopischen Bereich.

3.3.2 Prozessmuster und systemische Ansätze

Die Probleme der Wissenschaft werden mit einer Gegenüberstellung der Systementwicklungsstufen und der Erkenntniswege beantwortet, aus denen sich Schritte des fehlenden wissenschaftlichen Vorgehens ableiten lassen. Durch diese Betrachtung kann auch der Aufbau eines Paradigmas in der Produktentwicklung reflektiert werden (Tabelle 16). Die Schritte des wissenschaftlichen Vorgehens werden zu Prozessmustern detailliert. Die flexible Auswahl und Anpassung dieser Prozessmuster begegnet dem bisher nicht berücksichtigten Pluralismus in der Wissenschaft, d. h. für einzelne Probleme oder Aspekte wissenschaftlicher Arbeit können dann unterschiedliche Ansätze herangezogen werden.

---

[1] Die physikalische Ebene der Atome etc. ist z. B. verfestigt, soziale Systeme wie Unternehmen unterliegen noch einem ständigen Wandel, der noch nicht ausreichend Berücksichtigung zu finden scheint. Andersherum wurde z. B. in der Alchemie versucht, einen schon verfestigten Bereich „einfach“ zu verändern.

Ob die soziokulturelle Ebene noch nicht verfestigt ist, ist dabei offen, denn theoretisch kann hier die Verfestigung auch in komplexen, dynamischen Prozessen und Mechanismen liegen („Verfestigung des Wandels“). Dies erscheint zwar nicht der Fall zu sein, spielt jedoch für die vorliegenden Betrachtungen keine Rolle, da ansonsten als Zwischenschritt unterschieden werden muss, wie und wo die Verfestigungen vorliegen.

Tabelle 16: Systementstehung, Erkenntniswege und wissenschaftliches Vorgehen

System-funktion	Erkennt-nisweg	Phasen	Schritt im wissenschaft-lichen Vorgehen	Entwicklung eines Paradigmas in der Produktentwicklung
Grenz-bildung	mythisch-magisch	erfahrungs-gestützt	– Problemabgrenzung – erste Beobachtungen – grobe Hypothese	– Abgrenzung der Design Community mit Standorten/Personen – Design als natürlicher Prozess
Speziali-sierung	deduktiv-dogmatisch	intellektuell	– Theoretische Herleitung, Analogieschließung – Hypothesengenerierung – Festlegen des Vorgehens – Analogieschluss	– Festlegung des Bereichs: kontinuier-licher Entwicklung neuer Tech-nologien – Annahme eines Paradigmas, Design als sozialer Prozess
Struktu-rierung	induktiv-empirisch	experimen-tell	– Strukturierung – Beobachtung/Experiment – Modellbildung/Interpretation – Hypothesenüberprüfung	– Differenzierung der Disziplinen – Beobachtung einzelner Phänomene/ Disziplinen – Vernetzung der Disziplinen
Prozess-steuerung	deduktiv-theorie-kritisch	theorie-gestützt	– Integration/Zusammen-führung der Ergebnisse – Diskussion/Dialektik der Ergebnisse ermöglichen	– Entwicklung gemeinsamer Sprache – Vorgabe wissenschaftlichen Vorgehens und der Kommunikation
Reflexion	dialektisch-materialis-tisch	systemisch	– Hinterfragen des wissen-schaftlichen Vorgehens – Betrachtung der Ergeb-nisse selbst	– Konstitution der Produktentwicklung als eigenständige Disziplin – Festlegung des Ziels der Produkt-entwicklung: Gestaltung
Genese	Aktions-forschung	gestaltend	– Implementierung und Adaption in der Praxis – Verifikation – langfristige Forschung	– Übertragung auf neue Bereiche – Anwendung in realer Produktentw. – Einheit von Forschung und Gestaltung

Die Prozessmuster ergeben sich aus einer Betrachtung unterschiedlicher Disziplinen[1]. Die Prozessmuster besitzen viele Vernetzungen und Querverweise, sodass Iterationen in ihrer Anwendung notwendig sind. Im Folgenden werden die wichtigsten Prozessmuster, die sich aus der Systemtheorie ergeben, vorgestellt. Die vollständige Sammlung findet sich in Anhang 2. Die Prozessmuster werden dabei den Systemfunktionen zugeordnet.

Grenzbildung

Im Sinne des magisch-mystischen Erkenntnisweges spielt hier vor allem die Idee eine Rolle, die aus der Erfahrung gewonnen wird. Mit der Problemabgrenzung wird der Bezug des betrachteten Systems zur Umgebung hergestellt. Dabei ist zu beantworten

- welche Organisationsebene (im Sinne der allgemeinen Evolution) betrachtet wird,
- welcher reale Bereich betrachtet wird und welcher Disziplin dieser zuzuordnen ist,
- welches Funktionssystem im Falle soziokultureller Aspekte betroffen ist,
- ob die Forschung in die Breite oder in die Tiefe geht,
- ob das Ziel analytisch oder synthetisch ist.

[1] Ursprüngliches Ziel war es, über die Disziplinen hinweg ein einheitliches wissenschaftliches Vorgehen zu ermitteln. Dies hat sich jedoch als nicht praktikabel erwiesen, da es schon innerhalb einer Wissenschaft nicht möglich ist, *einen* Prozess vorzugeben.

Dabei muss noch keine eindeutige Zielrichtung der Forschung angegeben werden. Allgemein soll hiermit der Schwierigkeit des fehlenden Bezugsrahmens begegnet und ein erster Schritt zu einer Hypothese getan werden.

Spezialisierung

Mit der Spezialisierung wird die Vielzahl der Möglichkeiten eingeschränkt, um handlungsfähig zu werden. Zur Erreichung der Handlungsfähigkeit sind u. a. folgende Prozessmuster von besonderer Bedeutung:

- Hypothesengenerierung (nach Möglichkeit in Form geschlossener Fragen, singulärer Existenzaussagen oder Allaussagen; die Richtigkeit ist nebensächlich)
- Festlegung des Paradigmas (im Sinne der betrachteten Organisationsebene und des dort vorherrschenden Verständnisses)
- Analogieschluss (bestehend aus Wahl des Ansatzes/der Analogie, Anpassen des Ansatzes, Übertragen des Ansatzes, Analyse der Übertragung und der damit erzielten Resultate und schließlich Interpretation und Bewertung der Ergebnisse).

Der Aspekt der Spezialisierung ist auch in der Wissenschaft die Kontingenzbeschränkung. In diesem Sinne ist Wissenschaft nicht objektiv determiniert, sondern von den *Entscheidungen* der Wissenschaftler abhängig.

Strukturierung

In der Strukturierung werden u. a. Daten aus der Beobachtung gewonnen werden. Dabei ist zu unterscheiden zwischen

- reiner Beobachtung,
- teilnehmender Beobachtung und
- integrierter Reflexion (ethnografische Methode).

In allen Fällen ist Subjektivität das Problem, bezieht sich im ersten Fall jedoch auf den Beobachter, im letzten Fall auf das beobachtete System selbst. Ein Vergleich externer und interner Betrachtung kann diesen Aspekt ebenso abschwächen wie eine auf eine Hypothese explizit ausgerichtete Versuchsanordnung. Während des Experiments sind dabei – sofern möglich – Vergleichsgruppen heranzuziehen. Wichtig ist hier auch die zeitliche Dekomposition in einzelne Analyse- und Syntheseschritte, um nicht durch ständig veränderte Hypothesen ohne endgültige Aussage zu bleiben. Die doppelte Kontingenzschließung von Evaluierung und Theoriebildung sowie psychologische Aspekte führen jedoch dazu, dass dies ein Problem bleibt. Das ständige Weiterentwickeln der Ergebnisse und das kritische Hinterfragen sind hier wichtige Ansatzpunkte.

Prozesssteuerung

Die Prozesssteuerung zielt, im Sinne des deduktiv-theoriekritischen Erkenntnisweges, auf die Nutzung, Detaillierung und Verbreitung der Ergebnisse. Bei der Dokumentation ist

darauf zu achten, dass diese einen Effekt erzielt („einen Unterschied macht"); dafür sind Ergebnisse zu verallgemeinern und auf ihre zeitliche Entwicklung hin zu untersuchen.

Reflexion

In der Reflexion wird das wissenschaftliche Vorgehen selbst betrachtet. Die Reflexion bietet vor allem Ansätze, die zumeist auf ein Hinterfragen der Wissenschaftlichkeit und der Ergebnisse abzielen. Zur Vertiefung und zum Hinterfragen der Ergebnisse und des wissenschaftlichen Vorgehens können z. B. folgende Methoden herangezogen werden:

- Wechsel des Bezugsrahmens: Wie wirken die Ergebnisse in einem anderen Bezugsrahmen, in einem anderen Paradigma, bei einem anderen Problem etc.?
- Relativierung: Inwiefern beeinflussen Beobachter, Raum- oder Zeitbezug etc. die Ergebnisse und wie würden diese ohne diesen Bezug aussehen?
- Einordnung: Welche Bedeutung und welche Funktion haben die Ergebnisse im übergeordneten Zusammenhang (und auf weiteren Ebenen darüber)?
- Widerspruchsbetrachtung: Kann das Ergebnis mit einem Widerspruch vereint werden? (wenn Widerspruch nicht offensichtlich ist, diesen herbeiführen oder konstruieren)
- Hinterfragen Modellbildung: Was wird mit dem Modell/mit der Erkenntnis erklärt? (Trennung Modell und Realität, d. h. bewusst davon ausgehen, dass die Realität etwas anderes ist – detailliertes, abstrahierendes Hinterfragen)
- Umkehr der Sichtweisen: Welche Auswirkungen hat das als richtig angenommene Ergebnis auf das (verwendete) Paradigma?
- Bewusste Nicht-Akzeptanz: Warum können die Ergebnisse nicht stimmen und warum wurden sie dennoch so dargestellt? (annehmen, die Ergebnisse stimmen nicht)
- Bewusste Akzeptanz: Welchen Nutzen kann man aus den Ergebnissen ziehen (z. B. Anregung, die keiner Richtigkeit bedarf)? (trotz Zweifel Ergebnisse akzeptieren)
- Nichtwissenschaftlichkeit konstatieren: Was müsste getan werden, damit die Ergebnisse wissenschaftlich werden (Wissenschaftlichkeitsanspruch anzweifeln)?[1]
- Hypothesenumkehr: Kann auch die entgegengesetzte Hypothese „bewiesen" werden?
- Psychologische Interpretation: Wenn die Ergebnisse nur subjektive Interpretation sind, welche Bedeutung haben diese psychologischen Aspekte dann für die Realität?
- Betrachtung der Ästhetik: Sind die Ergebnisse ästhetisch und deshalb richtig?[2]

---

[1] Astrologie müsste zur Erfüllung der Wissenschaftlichkeit z. B. entweder statistisch signifikante Analysen oder ein gutes Erklärungsmodell liefern.

[2] Nimmt man an, dass ästhetisches Empfinden durch eine evolutionäre Anpassung des Menschen an „richtige" Phänomene entstanden ist, können nun im Umkehrschluss ästhetische Phänomene als „richtig" angenommen werden. Dies ist ein Paradebeispiel doppelter Kontingenzschließung oder des Bezugswechsels (nicht das menschliche Empfinden leitet die Evolution, sondern die Evolution lenkt die Entwicklung der menschlichen Empfindung), der auf viele evolutionär entstandene menschliche Empfindungen angewandt werden kann.

- Integration anderer Disziplinen, disziplinäre Reflexion: Wie würden andere Disziplinen den Betrachtungsgegenstand und das Ergebnis sehen?

Grundlage dieser Phase ist, dass wirklich wissenschaftliches Arbeiten letztendlich nicht absolut definiert, sondern nur über die reflexive Betrachtung erfolgen kann. Dies läuft auf ein explizites Betrachten und Hinterfragen der Vorgehensweise und der Subjektivität hinaus. Eine Akzeptanz oder allein das Erkennen der Subjektivität ermöglicht, sie in die Erkenntnisfindung zu integrieren. Gleichzeitig betont sie den hohen Stellenwert individuellen Lernens und Erkennens innerhalb der Wissenschaft.[1]

Genese

In der Genese werden die wissenschaftlichen Erkenntnisse weiterverwendet, um ihre Wirkung „in der Realität" zu entfalten. Die Genese bezieht sich nicht nur auf die wissenschaftlichen Erkenntnisse, sondern auch auf den Wissenschaftler. Als Aktionsforschung steht hier nicht mehr die Wissenschaftlichkeit, sondern die Intervention in der Realität im Vordergrund. Widersprüche sind nicht grundsätzlich zu eliminieren, sondern für neue Erkenntnisse und die Synthese zu nutzen.

Übergeordnete Prinzipien der Systemtheorie

Die Emergenz (Teil – Ganzes) führt zu der Forderung, die richtige Organisationsebene für den jeweiligen Betrachtungsgegenstand zu wählen, da dort unterschiedliche Eigenschaften vorliegen. Auf der Ebene der Wissenschaft ist das Zusammenspiel der Wissenschaftler und Disziplinen als kategorische Forderung interdisziplinär zu gestalten, sodass sich emergente Eigenschaften in der Wissenschaft ergeben können.

Im Gegensatz dazu ermöglicht die Selbstähnlichkeit, dass bei zu betrachtenden Organisationsebenen, die entweder nicht verfestigt oder nicht vollkommen wahrnehmbar sind, Analogien von anderen Organisationsebenen gezogen werden können. Die Selbstähnlichkeit („Ontogenese rekapituliert Phylogenese") auf wissenschaftlicher Ebene betont die Stellung des Wissenschaftlers und dessen persönlichen Lernprozesses, d. h. dass der Wissenschaftler viel selber individuell lernen und nachvollziehen muss, um selbst kleine Änderungen herbeizuführen, die aber in Summe wiederum die gesamte Wissenschaft ausmachen. Die „absolute" Richtigkeit des Wissens zeigt sich im evolutionären Prozess.

Der Aspekt der Unvollständigkeit führt zu der These: Wissenschaft als Suche nach objektiver Wahrheit kann nicht vollständig sein, da Wahrheit nicht vollständig ist. Wahrheit bildet sich durch Konstruktivismus und neue Organisationsebenen immer wieder neu. Auf praktischer Ebene kann die Unvollständigkeit auf die vollständige Erfassung der Informationsflut oder die Vollständigkeit von Ergebnissen übertragen werden: Da beide nicht möglich sind, sind sie auch nicht anzustreben; stattdessen ist Handlungsfähigkeit zu erreichen.

---

[1] Dies gilt insbesondere, weil man *nicht wissen kann*, ob die Ergebnisse schon an anderer Stelle existieren.

Die Unbestimmtheit führt schließlich dazu, dass die Wirksamkeit und die Folgen von Ergebnissen nicht wirklich bewertet werden können. Es ist zu hinterfragen, ob ein gewünschter Effekt durch wissenschaftliche Wahrheit oder im komplexen Realitätsgefüge einfacher durch „Unwahrheiten“ erzielt wird. Insbesondere auf der Ebene der Dokumentation muss deutlich werden, dass die Nutzung der dargestellten Erkenntnisse mit der Intention des Autors nicht gleichgesetzt werden kann (s. Radikaler Konstruktivismus).

Prinzipien der Evolution

An dieser Stelle sollte eigentlich offensichtlich sein, wie die Prinzipien der Evolution auf die Wissenschaft und den kulturellen Fluss der Wissenschaft zu übertragen sind; wichtig sind hier die Prinzipien der Vererbung, Mutation und Selektion. Diese Prinzipien verdeutlichen nochmals den evolutionären Fluss der *kulturellen* Wissenschaft. Die biologische Evolution entspricht dabei der Weiterentwicklung des Systems auf einer Organisationsstufe und repräsentiert das wissenschaftliche Vorgehen („Rätsellösen“) im Paradigma. Die Paradigmenwechsel und die dafür notwendigen Krisen sind dem Entstehen neuer Organisationsstufen sowie in der biologischen Evolution dem Auftreten umfangreicher Mutationen oder Anpassungen des Organismus ähnlich: Sie basieren zwar auf einer Vielzahl kleiner Veränderungen, setzen sich aber erst bei größeren Änderungen der Umwelt durch.

3.3.3 Ausblick Wissenschaft

Aus den betrachteten Prinzipien und Entwicklungen lassen sich Schwerpunkte und Richtungen der Wissenschaft in der Zukunft ableiten. Im Wesentlichen ergeben sich hier

- eine verstärkte interdisziplinäre Forschung, da viele Fragestellungen nur aus der gemeinsamen Sichtweise verstanden und bearbeitet werden können,
- das Verständnis des inneren Spiels aus Differenzen und Bezügen ohne externen Bezug,
- die Reflexion der Wissenschaft selbst als System sowie
- der Übergang von der Analyse stärker zum bewussten Gestalten beliebiger Systeme.

Das vorgestellte Verständnis systemtheoretischer Wissenschaft und das Modell wissenschaftlichen Vorgehens sollen hierzu beitragen.

Tabelle 17: Systementstehungsstufen und Funktionssysteme

Systementstehung	Funktionssysteme	Bezug
Grenzbildung	Religion, Politik	Sinn bei Religion, Räumlich in der Politik
Ressourcengewinnung	Wirtschaft, Recht	Arbeitsteilung der Wirtschaft, Möglichkeiten im Recht
Strukturierung	Recht	Rechtliche Stabilisierung von Funktionen
Prozesssteuerung	Politik, Infrastruktur	Politik als Rechtsgrundlage, Infrastruktur für Prozesse
Reflexion	Kunst, Wissenschaft	Kunst reflektiert Empfindung, Wissenschaft Erkenntnis
Genese	Kunst, Technologie	Kunst und Technologie schaffen beide Neues

Betrachtet man nochmals die Zuordnung der Funktionssysteme zu den Systementstehungsebenen (Tabelle 17) [1], tritt die Wissenschaft, vor allem als reflexive Systemtheorie, erst relativ spät auf. Sieht man nachfolgende Instanzen jeweils als Steuerungs- und Kontrollinstanzen, lässt sich behaupten, dass Wissenschaft nicht nur ein weiteres System neben den anderen Funktionssystemen darstellt und eine wissenschaftliche Gesellschaft *nicht* der falsche Ansatz ist, wie WILLKE (2000a) konstatiert. Wissenschaft kann zwar nicht alleiniges Funktionssystem sein, ermöglicht jedoch ein reflektiertes Betrachten der anderen Systeme und nimmt somit eine übergeordnete Stellung zur Komplexitätsverarbeitung ein.

3.4 Wissenschaftlicher Ansatz der Arbeit

Die vorliegende Arbeit beruht vornehmlich auf kausalem und aktionalem Erkenntnisinteresse. In Bezug auf die Erkenntniswege legt die Arbeit ihren Schwerpunkt auf den deduktiv-dogmatischen Weg, da sie Erkenntnisse anderer Disziplinen auf den betrachteten Bereich überträgt; innerhalb des „Methodenparadigmas“ wird auch der deduktiv-theoriekritische Weg beschritten und bestehende Ansätze weiterentwickelt. Der induktiv-empirische Weg wird in praktischen Beobachtungen verfolgt, nähert sich hier aber schon dem dialektisch-materialistische Weg, der als Zielsetzung der Arbeit intensiv betrachtet wird.

Tabelle 18: Systementstehungsstufen und wissenschaftliche Prozessmuster der Arbeit

Systemstufen	**Prozessmuster**	**Vorliegende Arbeit**	**Methodisches Beispiel**
Grenzbildung	Problemabgrenzung	Integration Systemtheorie in komplexer **Produktentwicklung**	Umgang mit Komplexität, **individual. Produkte**
	Abgrenzung der Disziplin	Produktentwicklung/Soziologie	Produktentwicklung
	Erste Beobachtung	Beobachtung in Industrie	
Spezialisierung	Verfeinerung „Hypothesen“	Soziologische **Systemtheorie**, Kommunikationstheorie	**Strukturplanung**
	Stand der Forschung	Systemtheorie, Produktentwickl.	Variantenmanagement
	Logische Herleitung	Systemtheorie und Wissenschaft	Existierende Methoden
	Festlegung Paradigma	Soziologischer Prozess	Evolutionärer Prozess
	Analogieschließung	Systemtheorie/Evolution	Evolution
Strukturierung	Dekomposition	**Prinzipien** der Systemtheorie	**Methodik, Produkt-, Vorgehensmodell**
	Datenbeschaffung	Industrieprojekte	
Prozessteuerung	Modularisierung	**Anwendung der Prinzipien**	**Prozessmuster**
Reflexion	Vertiefung der Ergebnisse	**Reflexion der Arbeit**	in Methodenentwicklung
	Wissenschaftlichkeit	Definition von Wissenschaft	mit Systemtheorie
Genese	Synthese	**Weitere Anwendungen**	
	Umsetzung	**Persönliche Reflexion**	

[1] Wie schon in Kapitel 2 beschrieben gilt diese Zuordnung nur grob und die Systementstehungsstufen wurden auch *in* den Funktionssystemen durchlaufen.

Systemstufen	Prozessmuster	Vorliegende Arbeit	Methodisches Beispiel
Übergeordnete Prinzipien	Emergenz	Methoden als Kommunikation	Baukasten
	Selbstähnlichkeit	Entwicklung und Evolution	Produkt und Ökosystem
	Unvollständigkeit	Weiterentwicklung Methoden	Weiterentw. Baukasten
	Unbestimmtheit	Nutzen von Methoden	Produktgestalt

In Tabelle 18 sind die Systementstehungsstufen einzelnen Teilen der Arbeit zugeordnet. Die Grenzbildung erfolgt auf die Produktentwicklung und – als Beispiel – auf die Entwicklung individualisierbarer oder variantenreicher Produkte. Die Spezialisierung (Ressourcengewinnung) auf die Systemtheorie und die Strukturplanung. Die Strukturierung stellen die einzelnen systemtheoretischen Prinzipien und der Rahmen der Methodik (Produktmodell, Vorgehen etc.) dar. In der Prozesssteuerung werden diese Prinzipien angewandt; in der Methodik werden konkrete Anweisungen und Prozess- oder Modellierungsmuster etc. angegeben. Die Reflexion umfasst die Reflexion der Arbeit; hier nimmt die Systemtheorie eine Sonderstellung ein, da über sie die Methodik reflektiert werden kann.[1] Als Genese kann die persönliche Reflexion angesehen werden; auf methodischer Seite ist die Genese die Anwendung des Ansatzes auf weitere Bereiche.

Der Schwerpunkt der Arbeit wird somit auf ein deduktiv-dogmatisches (logisches) Herleiten der Ansätze gelegt, auf eine Abgrenzung und einen Bezugswechsel des Betrachtungsgegenstands (Paradigmadefinition) sowie vor allem auf die Analogieschließung zwischen unterschiedlichen Bereichen. Die Arbeitet betrachtet einen größtenteils unverfestigten Bereich. Sie kann und will somit nicht den Anspruch erheben, einen vollständigen wissenschaftlichen Zyklus zu durchlaufen. Dafür ist sie sich dessen bewusst und gliedert sich reflexiv in den entsprechenden Systemzusammenhang ein.

3.5 Zusammenfassung

Individuelle Wissenschaft kann keine objektive Wahrheit erzeugen. Neben dem Konstruktivismus gilt dabei – zumindest zu einem großen Teil – vor allem:

> Wissenschaft ist der soziale Prozess und die Kommunikation subjektiver Erkenntnisse, die sich über evolutionäre Prinzipien, insbesondere eine ständige Bestätigung, verfestigen. Wissenschaftliches Arbeiten ermöglicht Anschlusshandlungen im System Wissenschaft.

Dies nimmt dem Individuum die Stellung, objektive Wahrheit erreichen zu können, gibt ihm und der subjektiven Erkenntnis aber wiederum eine besondere Stellung in dem Prozess

[1] Und genau hier tritt die angesprochene Problematik der Dokumentation auf, da die Methodik in Realität sowohl durch die Systemtheorie reflektiert wurde als auch auf systemtheoretischen Prinzipien aufbaut und sich letzten Endes über einen langen Prozess entwickelt hat.

der Kommunikation. Schwachpunkt erkenntnistheoretischer Ansätze ist die Verallgemeinerung wissenschaftlicher Arbeiten, sowohl zeitlich als auch über die Disziplinen hinweg:

Es ist genau zu analysieren, ob ein verfestigter oder ein sich noch ausbildender Bereich im Sinne einer Organisationsebene betrachtet wird.

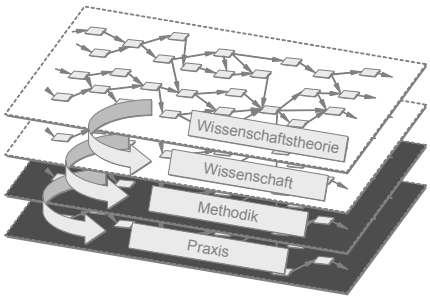
Die Betrachtung allgemeiner Möglichkeiten und Schwierigkeiten der Wissenschaft führt zu der Erkenntnis, dass der Produktentwicklung derzeit das wissenschaftliche Paradigma fehlt und sich dementsprechend Wissenschaft als relativ schwierig erweist. Das Paradigma, Produktentwicklung als sozialen, kulturellen Prozess aufzufassen, wird im nächsten Kapitel behandelt. Ohne ein solches Paradigma ist es angebracht, die Systemtheorie als Ersatz für die Wissenschaft heranzuziehen.

Ob sich die Qualität des wissenschaftlichen Prozesses als emergentes soziales Funktionssystem überhaupt bewerten und mit bestimmten Maßnahmen „positiv“ beeinflussen lässt, oder ob Wissenschaft so schon angepasst und – wenn auch mit einem Wirkungsgrad versehen – „optimal“ verläuft, bleibt aufgrund der Emergenz, Kontingenz, Unbestimmtheit und Wahrnehmung Spekulationen überlassen. Wissenschaft wissenschaftlich zu betrachten endet in einem unendlichen Regress. Die Auffassung von Wissenschaft als reflexives Funktionssystem innerhalb der Gesellschaft führt dazu, dass Wissenschaft sich nur in der Funktionsweise (Kommunikation, Medien) auf Erkenntnisse beschränken darf, als Betrachtungsgegenstand und Einflussfaktor jedoch auch die Aspekte jedes anderen Systems berücksichtigt werden müssen.

Für die vorliegende wissenschaftliche Arbeit wurde die Erkenntnis gewonnen, dass es auch aus diesem Blickwinkel um das Ermöglichen von Anschlusshandlungen geht, eine Evaluation nur bedingt möglich ist und daher ein systemtheoretisches Verständnis der Ergebnisse notwendig ist.

4 Produktentwicklung und Konstruktionsmethodik

In diesem Kapitel wird die Konstruktionsmethodik und Produktentwicklung allgemein und vor dem Hintergrund der Systemtheorie betrachtet. Beobachtungen in der industriellen Praxis, die mit der Systemtheorie begründet und interpretiert werden, stellen dabei den Kern der Arbeit dar. Darauf aufbauend wird die die Konstruktionsmethodik erweitert, ein Schwerpunkt bildet dabei die Kommunikationstheorie.



4.1 Stand der Forschung

Eine klare Abgrenzung zwischen Wissenschaft und Konstruktionsmethodik, sowie zwischen Konstruktionsmethodik und praktischer Produktentwicklung[1] ist schwierig. Nichtsdestoweniger bezieht sich dieses Kapitel eher auf die konkrete Produktentwicklung und die Entwicklung spezieller Methoden. Ebenso ist die Abgrenzung der Produktentwicklung zu anderen wissenschaftlichen Bereichen wie Psychologie, Unternehmensforschung, Soziologie etc., sowie anderen industriellen Bereichen wie Marketing, Produktionsplanung, Design etc. relativ schwierig. In dieser Betrachtung werden diese Bereiche mit zur Produktentwicklung gezählt, die in ihrer Funktion gesehen wird, herstellbare und verkaufbare Produkte von der Idee bis zur Dokumentation und darüber hinaus zu entwickeln. Damit ist Produktentwicklung ein funktionales System, das Überschneidungen mit anderen Bereichen aufweist. ANDREASEN & HEIN 1987, EHRLENSPIEL 1995 verstehen unter integrierter Produktentwicklung einen Ansatz, der zum Ziel hat, die Zusammenarbeit aller am Entwicklungsprozess Beteiligten zu unterstützen. Sie lässt sich schwer vom Simultaneous oder Concurrent Engineering (BULLINGER & WARSCHAT 1996) abgrenzen, geht jedoch neben der Aufbau- und Ablauforganisation verstärkt auf die methodische Unterstützung ein.

4.1.1 Entwicklung der Konstruktionsmethodik

Es ergibt keinen Sinn, die Entwicklung der Konstruktionsmethodik hier vollständig nachzuvollziehen. Zum einen finden sich umfangreiche Darstellungen an anderer Stelle (PAHL & BEITZ 1996, HUBKA & EDER 1996, WULF 2002); zum anderen ist es aufgrund der star-

[1] Sofern nicht explizit unterschieden, werden die Begriffe Konstruktionsmethodik (Konstruktionslehre, -forschung, -wissenschaft etc.) und systematische oder Integrierte Produktentwicklung synonym verwendet.

ken Vernetzung innerhalb der zeitlichen Weiterentwicklung der einzelnen Autoren kaum möglich, ein eindeutiges Bild wiederzugeben. Stattdessen wird diese Entwicklung anhand der Systementstehungsstufen (s. Tabelle 2) erklärt.

Die Entstehung und Abgrenzung der Konstruktionsmethodik (**Grenzbildung)** erfolgt ab den 40er Jahren. Hier finden sich einzelne Ansätze zum systematischen Konstruieren, die sich aus den Maschinenelementen (NIEMANN 1950, KESSELRING 1954), aus produktspezifischen Ansätzen (EVANS 1975) sowie aus der Systemtheorie entwickelt haben. Die Systemtheorie entwickelte sich parallel weiter. Dabei war die Grenze zur technischen (ROPOHL 1975) und managementorientierten Systemtheorie (MALIK 2003) immer fließend; das Systems Engineering nach DAENZER & HUBER (1999) stellt schließlich die systemtechnische Grundlage der modernen integrierten Produktentwicklung dar. In den Anfängen der Konstruktionsmethodik bis 1960 lag der Schwerpunkt auf einer Phasengliederung und auf Erfolg versprechenden Prinzipien des Konstruktionsprozesses (z. B. BISCHOFF & HANSEN 1952, WÖGERBAUER 1943).

In den 60er Jahren setzte sich diese Phasengliederung fort, darüber hinaus fanden Untersuchungen zur Kreativität (ZWICKY 1966, OSBORN 1953, GREGORY 1970) und zu Heurismen (MÜLLER 1970) sowie Betrachtungen der Wissenschaftlichkeit, der Konstruktionsausbildung und kybernetischer Prinzipien statt (WÄCHTLER 1969, BUHL 1960). Schon in dieser frühen Phase erfolgten Übersichten über die Konstruktionsmethodik (DIXON 1966) sowie philosophische und reflexive Untersuchungen, wie eine „Wissenschaft des Künstlichen“ aussieht (SIMON 1999). Man kann diese Phase noch als Suche nach der **Spezialisierung** oder Kontingenzbeschränkung sehen, die in den 70er Jahren durch die einheitlichen VDI-RICHTLINIEN 2221 (1993) und 2222 (1997) „abgeschlossen“ wurde. Als Standardwerke sind hier erneut DAENZER & HUBER (1999) sowie PAHL & BEITZ (1996) zu nennen, die Richtung und Funktion der Konstruktionslehre und des Systems Engineering definieren. Auf dem Weg hierher finden sich weitere Ansätze wie die von RODENACKER (1970), KUHLENKAMP (1971), KLOSE (1979) oder ALTSHULLER (1984), dessen Ansatz TRIZ in den 90er Jahren auch wieder verstärkt aufgegriffen wurde (TERNINKO et al. 1996). Der Fokus lag dabei auf der Produzierbarkeit und Funktionsfähigkeit der zu entwickelnden Produkte.

ROTH 1982, FRANKE 1985, KOLLER 1985, SCHREGENBERGER 1982, ARCHER 1985, CROSS 1994, FRENCH 1985, SUH 1988, HALES 1987, TAGUCHI 1986 etc. verfolgten in den 80er Jahren spezielle Richtungen wie z. B. Kosten, Arbeitsmethoden, Variantenkonstruktion, Funktionen, Vorgehensmodelle, Wertanalyse, Qualitätsmanagement, Simultaneous Engineering, Konstruktionskataloge etc. (z. B.). Von besonderer Bedeutung sind dabei auch die Automatisierung von Konstruktionsprozessen und die Unterstützung der Produktentwicklung durch Rechnerhilfsmittel (z. B. KOLLER 1989). Dieser **Strukturierung** der Konstruktionsmethodik entspricht ihre Integration in übergeordneten Methodiken, die unter dem Begriff *Integrierte Produktentwicklung* (ANDREASEN & HEIN 1987, EHRLENSPIEL 1995) stattfindet. Schwerpunkt sind Kosten und Qualität der Produkte und Prozesse.

In den 90er Jahren folgten hier umfassende Produktentwicklungsmethodiken (z. B. HUBKA 1984, HUBKA & EDER 1992, BIRKHOFER 1990, PUGH 1990, ROOZENBURG & EEKELS 1995, ULLMAN 1997, TERNINKO et al. 1996, REINERTSEN 1998, BUCCIARELLI 1994, FRICKE & LOHSE 1997, BUDGEN 1993, BAXTER 1999, ULRICH & EPPINGER 1999, OTTO & WOOD 2000), die sich der Phase der **Prozesssteuerung** zuordnen lassen. Hierzu gehören die Integration in eine umfassende Methodik, die Verknüpfung mit (immer mehr) angrenzenden Bereichen, die Rechnerunterstützung („Prozessierung") der einzelnen Phasen sowie die Untersuchung verteilter Entwicklungsprozesse, Prozessmanagement, Simultaneous Engineering und Wissensmanagement. Die Komplexität der Produkte und Produktspektren sowie die Entwicklungszeit rücken hier zunehmend in den Vordergrund.

In den 90er Jahren taucht zunehmend der Aspekt der **Reflexion** auf. Hier sind wissenschaftstheoretische Ansätze (ERIS 2003, OTTOSON 2001, CANTAMESSA 2001, HORVÁTH 2001), ganzheitliche Designtheorien (GRABOWSKI et al. 1998, SCHÖN 1983) sowie die empirische Konstruktionsforschung (GÜNTHER 1998, WALLMEIER 2001) zu nennen. Diese Konstruktionsforschung ist insofern reflexiv, als sie nach den wahren Abläufen beim Konstruieren und Entwickeln sowohl psychologisch als auch bedingt soziologisch fragt. Schwerpunkt ist nun das Verständnis der Produktentwicklung.

Seit Ende der 90er Jahre entstehen spezielle Methodiken, die spezielle Technologien oder den Fokus auf den Kunden adressieren; diese haben zwar schon in den 80er Jahren ihren Ursprung (Quality Function Deployment – QFD oder Design for X – DfX), werden aber hier verstärkt untersucht (z. B. SHIGLEY & MISCHKE 2001, CLARKSON et al. 2003, VDI-RICHTLINIE 2206 (2003)). Im Sinne der **Genese** erkennt man den Trend, immer mehr Bereiche und Anforderungen zu berücksichtigen und zu integrieren. Dabei interessieren wirklich anwendbare, flexible Methoden und Vorgehensmodelle sowie die Entwicklung einer neuen Generation auf den Kunden zugeschnittener Produkte. Des Weiteren lässt sich die Entstehung von verteilten Entwicklungsnetzwerken dem Prinzip der Genese und der Emergenz zuordnen.[1] Schwerpunkte der aktuellen Produktentwicklung sind in Tabelle 19 zusammengefasst und werden im Folgenden näher betrachtet[2]. Eine wirkliche Reflexion und Genese im Sinne der Vorgabe eigener Ziele ist jedoch noch nicht erreicht.

In Bild 14 sind zusammenfassend die einzelnen Bestandteile (interne und externe Schnittstellen) dargestellt. Damit wird nochmals *angedeutet*, dass Produktentwicklung ein System ist, das andere Systeme beinhaltet, sich mit anderen Systemen überschneidet oder in Bezug zu anderen Systemen steht.

---

[1] Diese relativ grobe Zuordnung der Systementstehungsstufen zu der zeitlichen Entwicklung der Konstruktionsmethodik oder integrierten Produktentwicklung legt den Verdacht nahe, dass man diese Stufen mit einer gewissen Ungenauigkeit auf alles „hinbiegen" kann. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich nicht um klar abgegrenzte Stufen, sondern um Trends handelt. Diese Betrachtung zeigt, dass der in Kapitel 3 vorgestellte Prozess der Entstehung einer Designtheorie gestaltet sich in der Praxis doch komplexer.

[2] Die Lehre findet dabei über die Systemtheorie besondere Berücksichtigung.

Tabelle 19: Schwerpunkte der Konstruktionsforschung „heute“

Bereich	Thema	Ausprägungen (Bsp.)
Methoden („Vorgehens-modelle u. Methoden“)	Methoden, Strategien	Entwicklung, Einführung, Adaption, Sammlungen, Strategien
Grundlagenforschung („Interpretation der Entwicklungstätigkeit“)	Empirische Forschung/Psychologie	Individuum, Gruppe/Team; Laborbeobachtungen, Feldstudien
	Innovation & Kreativität	Grundlagen der Kreativität, Kreativitätsförderung
	Designtheorie	Designtheorie, Prozessmuster, evolutionärer Prozess
Koordination („Orga-nisation und Prozess“)	Organisation	Prozessplanung, -steuerung und -kontrolle
	Verteiltes Entwickeln	Kulturen, Aufgabenverteilung, Zeitvorteile, Kommunikation
Rechnerunterstützung und Automation („Werkzeuge“)	Intelligente Systeme	Selbststeuernde Systeme
	Werkzeuge	CAD, PDM, Konstruktionsleitsysteme, IuK, VR
	Modellierung	Produkt-/Prozessmodelle, Wissensmanagement
	Design-Automation	Algorithmen, Wissensbasierte Systeme, „shape grammars“
Berücksichtigung weiterer Bereiche („Design for X“)	Design for X	Varianten, Umwelt, Kosten, Qualität, Produktion
	Randbedingungen	Ästhetik/Industrial Design, Ergonomie, „Inclusive Design“
	Interdisziplinarität	Medizintechnik, Gebäudetechnik, Bionik, Mechatronik
Lehre	Lehre	Konstruktionslehre, Systemtheorie, Management

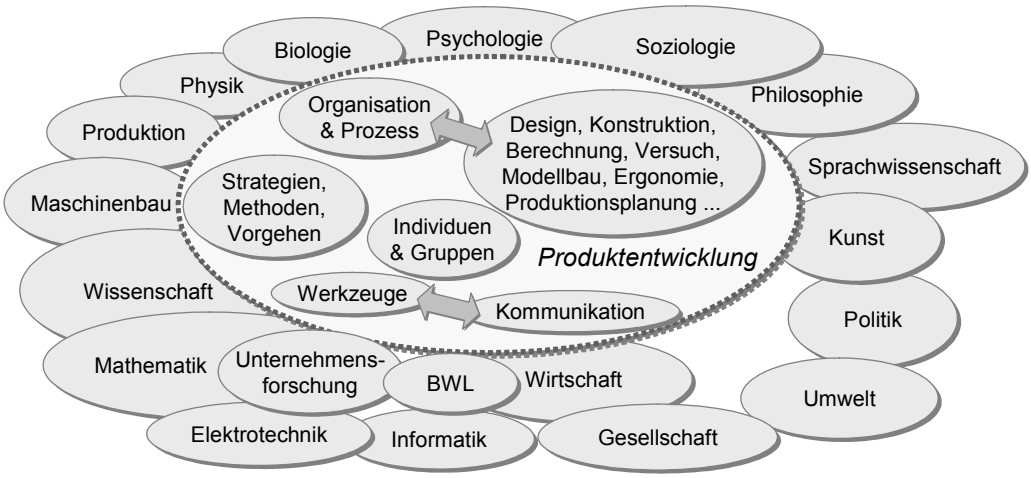


Bild 14: Elemente der Produktentwicklung (interne und externe Schnittstellen)

Die moderne Produktentwicklung sieht sich dabei ständig mit neuen Anforderungen und Randbedingungen konfrontiert. Hierzu zählen die höhere Anzahl von Beteiligten und Zielrichtungen, Interdisziplinarität, verteilte Entwicklung und Produktion, Dezentralisierung, neue Möglichkeiten und Probleme der Kommunikation, das simultane Arbeiten und das Subsidiaritätsprinzip (ZANKER 1999). Dies führt zu neuen Aufgaben in der Produktentwicklung, wie z. B. Koordinieren und Organisieren, Kommunikation, Führen, Präsentieren etc. Als Schwachstellen der integrierten Produktentwicklung führt ZANKER (1999) an:

- mangelnde Kenntnis der „inhaltlichen Substanz“ von Aufgaben,
- mangelnde Kenntnis von Schwachstellen im Gesamtprozess und deren Auswirkungen,
- Kommunikations- und Informationsprobleme,

- mangelhafte Planung und Kontrolle von Verantwortlichkeiten,
- problematische Strukturierung und Verteilung der Aufgaben,
- Priorisierung von managementbezogenen Problemen vor sachbezogenen Problemen,[1]
- fehlende „Durchgängigkeit“ und „Systematik“ der Aufgabenabarbeitung sowie
- unzureichende Einscheidungsprozesse und mangelhaftes Zielmanagement.

Zusammenfassen kann man diese Schwachstellen derart, dass ein Verständnis für den übergeordneten Prozess der Produktentwicklung zu fehlen scheint.

4.1.2 Vorgehensmodelle und Methoden der Produktentwicklung

4.1.2.1 Vorgehensmodelle

Konstruieren und Entwickeln kann generell als Problemlösen aufgefasst werden. Ein Problem liegt vor, wenn ein „unerwünschter Ausgangszustand in einen erwünschten End- oder Zielzustand“ (EHRLENSPIEL 1995, S. 47) überführt werden soll, dies jedoch von einer Barriere verhindert wird. Diese Barriere kann ein unklarer Zielzustand (Zielproblem) oder unbekannte Mittel zur Erreichung des Ziels sein (Mittelproblem).[2] DÖRNER (1979) spricht hier von Synthesebarrieren (Mittelproblem) und dialektischen Barrieren (Zielproblem); außerdem nennt er Interpolationsbarrieren, bei denen sowohl Ziel als auch Mittel bekannt sind, jedoch die spezifische Kombination und Anwendung der Mittel fehlt. Ähnlich ist die Unterscheidung in *ill-defined* und *well-defined tasks* (SIMON 1999): well-defined tasks (geschlossene Probleme) entsprechen reinen Mittelproblemen; ill-defined tasks (offene Probleme) stellen Ziel- *und* Mittelprobleme dar. Sie entsprechen am ehesten der Realität, in der es um ein kontinuierliches Handeln, Anpassen und Verarbeiten geht, d. h. in denen die Barriere nur in einem bestimmten Bezug existiert. Ohne Barriere handelt es sich um eine Aufgabe. Die Aspekte Ziel und Mittel lassen sich auch den Sichten intern und extern zuordnen: Während das Ziel sich eher an der externen Umwelt orientiert (und wie sich das eigene System dort eingliedert), beziehen sich die Mittel eher auf die internen Möglichkeiten (und wie von dort aus die externe Umwelt beeinflusst werden kann).

Vorgehensmodelle der Produktentwicklung lassen sich in allgemeine Problemlösevorgehen und in spezifische Modelle des Entwickelns einteilen. Zu den allgemeinen Vorgehensmodellen zählen z. B. das TOTE-Schema (Test-Operate-Test-Exit) (nach EHRLENSPIEL 1995), die VVR-Einheiten (Vergleichs-Veränderungs-Rückmelde-Einheiten) sowie Ziel-

[1] Es ist jedoch gerade Ziel der vorliegenden Arbeit, die „sozialen Probleme“ stärker in den Vordergrund zu rücken und „technische Probleme“ in deren Licht zu betrachten.

[2] Grundsätzlich könnte auch der Ausgangszustand unklar sein; dies lässt sich jedoch zu den genannten Problemarten umformulieren.

Bedingungs-Maßnahmen-Einheiten (HACKER 1998), der Problemlösezyklus des Systems Engineering nach DAENZER & HUBER (1999), der Vorgehenszyklus nach EHRLENSPIEL (1995), der Zyklus handlungsregulierender Informationsverarbeitung nach CRANACH et al. (1980), das Rubikonmodell der Handlung nach HECKHAUSEN (1989), die abstrakte Lösungsfindung[1] aus TRIZ oder der Synektik (z. B. SOUCHKOV 1998) oder die diskursive Lösungssuche nach WULF (2002). Diese Modelle lassen sich im Wesentlichen auf die Unterscheidung von Analyse und Synthese (einschließlich Zielfestlegung) sowie Vorgehenszyklus aus einer Analyse, mehreren unabhängigen Syntheseschritten und deren abschließender Analyse. Das TOTE-Schema ist eine einfache Anordnung von Synthese und Analyse, der im Falle der diskursiven Lösungssuche eine Zielformulierung (Synthese) vorangestellt, im Falle der VVR-Einheit eine übergeordnete Analyse nachgestellt wird.

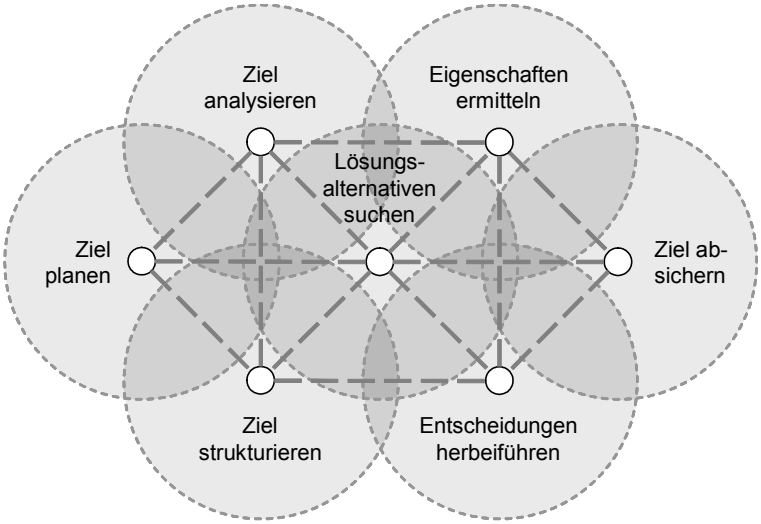


Bild 15: Das Münchener Vorgehensmodell (MVM)

Aus diesen Vorgehensmodellen wurde das *Münchener Vorgehensmodell (MVM)* synthetisiert (LINDEMANN 2003, Bild 15). Ziel ist es, sowohl ein Grundmuster vorzugeben als auch die flexible Anwendung zu betonen, um den Problemlöseprozess planen, zerlegen und reflektieren zu können, wobei die Vorbereitung der Lösungssuche betont wird.

Neben den allgemeinen Problemlöseprozessen existieren konstruktionsspezifischer Prozesse, die zum einen das allgemeine Problemlösen beinhalten, zum anderen die Strategien „vom Groben zum Detail“ und „vom Abstrakten zum Konkreten“ sowie der Dekomposition (EHRLENSPIEL 1995) umsetzen. Als klassischer Ansatz ist hier das „Generelle Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren“ der VDI 2221 und die „Phasen des Konstruierens“ nach PAHL & BEITZ (1996) zu nennen. Andere Ansätze integrieren die Produktion und andere Disziplinen (PUGH 1990), betrachten die parallelen Aktivitäten von Marketing, Produktentwicklung und Produktion (ANDREASEN & HEIN 1987), fokussieren die Zyklen von

[1] Abstrahieren des Problems, Finden einer abstrakten Problemlösung, Konkretisieren der Lösung

Synthese, Evaluierung und Auswahl (ROOZENBURG & EEKELS 1995), integrieren die Verfeinerung der Lösung (BUDGEN 1993), betonen Iterationen im Prozess (CROSS 1994, EVANS 1975), beleuchten die kontinuierliche Einschränkung der Möglichkeiten (mögliche Ideen, mögliche Produkte etc. – BAXTER 1999), berücksichtigen Versuche (ULRICH & EPPINGER 1999) oder stellen den Bezug zu den Unternehmensbereichen her (HALES 1987). Die allgemeinen Problemlösezyklen können dabei in den einzelnen Phasen des Konstruierens angewendet werden. Die Grenze zwischen Problemlösen und Konstruieren ist fließend und einzelne Ansätze lassen sich hier nicht klar zuordnen (z. B. SHIGLEY & MISCHKE 2001). Zusammenfassend existieren beim Konstruieren verschiedene Schritte wie z. B. die Aufgabenklärung, die Funktionsstrukturierung, die Dekomposition, die Suche nach physikalischen Prinzipien etc., die nicht als abgeschlossene Phasen aufzufassen sind, sondern als iterativ zu durchlaufende Sichtweisen oder als Produktrepräsentationen (COLLIN 2001).

4.1.2.2 Methoden

Ein Schwerpunkt der integrierten Produktentwicklung ist die Unterstützung der Entwicklungsprozesse durch geeignete Methoden. Methoden sind planmäßige und regelbasierte Vorgehen zum Erreichen bestimmter Ziele (EHRLENSPIEL 1995). Methoden sind operativ anwendbar und präskriptiv. Sie können in einem Netzwerk strukturiert und übergeordneten Methoden zugeordnet werden. Unter Methodik wird die Zusammenfassung mehrerer Methoden und Vorgehenspläne, oder die Theorie von Methoden allgemein verstanden. Die hier behandelten Methoden stammen aus der Konstruktionsmethodik, der Systemtechnik sowie den Arbeitswissenschaften; Beispiele solcher Methoden sind Brainstorming, Nutzwertanalyse, Quality Function Deployment (QFD), Benchmarking oder Einflussmatrizen.

Ein Problem von Methoden ist, dass diese in der Praxis nicht im gewünschten Maße angewandt werden. Eine Umfrage hat ergeben, dass nur wenige Methoden (Marktanalyse, Target Costing, Wertanalyse, Kreativitätstechniken etc.) in einigen Unternehmen ständig und viele Methoden häufig gar nicht eingesetzt werden (GRABOWSKI & GEIGER 1997, S. 40).

Eine weitere Umfrage (GAUSEMEIER et al. 2000) zeigt auf, dass eher Methoden eingesetzt werden, die auf die Steigerung der *operativen* Effizienz zielen, als solche, die langfristige Effekte anstreben. Hier zeigte sich auch, dass die Bedeutung der Methoden nur geringfügig höher eingeschätzt wird, als wie sie tatsächlich angewendet werden.

Eigene Erfahrungen in der Industrie haben gezeigt, dass zwar immer wieder vereinzelt Methoden angewandt werden, diese jedoch recht einfach gehalten sind oder sich auf Spezialgebiete beziehen, und ein grundsätzliches Bewusstsein für Methoden fehlt.

Tabelle 20 fasst die Gründe für den mangelhaften Methodeneinsatz in der Praxis zusammen (nach ZANKER 1999, GRABOWSKI & GEIGER 1997 sowie GAUSEMEIER et al. 2000) und nennt Ansätze zur Überwindung dieser Schwierigkeiten.

Tabelle 20: Gründe mangelhaften Methodeneinsatzes und Optimierungsansätze[1]

Schwachstellen von Methoden	Ansätze
Methoden sind „nicht praxisnah“, „kompliziert“, „theorielastig“ oder „zu abstrakt“	*Entwicklung von Methoden, Individualorientierung*
Methoden sind nicht benutzerfreundlich (Visualisierung, Beschreibung)	Anwendbarkeit von Methoden (LINDEMANN 2002), *Entwicklung von Methoden*
Methoden orientieren sich nicht an der menschlichen Arbeitsweise (sind zu präskriptiv)	Anpassung von Methoden (ZANKER 1999), *systemtheoretisches Methodenverständnis*
Individuelle Arbeitsstile werden nicht berücksichtigt	*Individualorientierung*
Methoden berücksichtigen nicht die Arbeitsteiligkeit in der Produktentwicklung	*Produktentwicklung als sozialer Prozess*
Methoden können nicht generell eingesetzt werden und besitzen keine Flexibilität	Anpassung von Methoden (ZANKER 1999), *systemtheoretisches Methodenverständnis*
Verknüpfung und Integration von Methoden fehlt	Methodendatenbanken, z. B. CiDaD (LINDEMANN 2003)
Einführungsstrategien für Methoden fehlen	Methodenimplementierung (STETTER 2000). *Individualorientierung*
Konzepte zur Anpassung von Methoden fehlen	Anpassung von Methoden (ZANKER 1999)
Ziele und Wirkweisen von Methoden werden nicht erkannt/dargestellt	Methodendatenbanken, z. B. CiDaD (LINDEMANN 2003), *systemtheoretisches Methodenverständnis*
Die Methodenanwendung wird nicht beratend begleitet (mangelhafte Moderation)	Methodenimplementierung (STETTER 2000), *organisatorische Maßnahmen*
Durchgängigkeit und Aktualität der Methoden ist nicht sichergestellt	Methodendatenbanken, z. B. CiDaD (LINDEMANN 2003), *Prozessorientierung*
Methoden sind zu umfangreich	Elementarmethoden (AMBROSY 1996), Methoden-datenbanken, z. B. CiDaD (LINDEMANN 2003)
Methoden werden aus politischen Gründen gefordert	*systemtheoretisches Methodenverständnis*
Beharrungsvermögen der Mitarbeiter an alten Vorgehensweisen	Methodenimplementierung (STETTER 2000), Change Management (z. B. SCHUH 1999)
Fehlendes Vorbildverhalten der Führungskräfte	*Individualorientierung*
Fehlendes Know-how	Methodendatenbanken, z. B. CiDaD (LINDEMANN 2003)
Zeitdruck zur Anwendung von Methoden und zum Aufbau von Methodenkompetenz	*Individualorientierung*
Gleichgültigkeit und Desinteresse der Mitarbeiter	*Individualorientierung,* Motivation (SPRENGER 2002)
Zu hohe Erwartungen an die Methode und „mechanische Betrachtung“ der Methode	*systemtheoretisches Methodenverständnis*
Bürokratie	*organisatorische Maßnahmen, Methodenverständnis*
Keine Berücksichtigung von Lern-/Trainingsbedarf	*Individualorientierung*, Lehre
Personelle Widerstände	*Individualorientierung*, Motivation (SPRENGER 2002)

Zur Verbesserung des Methodeneinsatzes kann man Ansätze zur Einführung, zur Flexibilisierung und zur möglichst vollständigen Sammlung von Methoden unterscheiden.

WACH (1994) entwickelte einen problemspezifischen Methodenbaukasten als Antwort auf die mangelnde Akzeptanz der Konstruktionsmethodik und legte dabei besonderen Wert auf eine durchgängige Unterstützung von Entwicklungsprozessen. AMBROSY (1996) ordnete

[1] ***kursiv***: Ansätze werden im Folgenden vorgeschlagen und beschrieben; die Individualorientierung findet sich dabei implizit v. a. im Methodenverständnis

Methoden Elementartätigkeiten zu, um die Auswahl von Methoden zu vereinfachen und ihre Anwendung flexibler zu gestalten. ZANKER (1999) beschrieb die situative Anpassung der Methoden basierend auf der Rekombination von Elementarmethoden, die sich an den Elementartätigkeiten orientieren, unter Berücksichtigung von Randbedingungen. GERST (2002) betrachtete die Funktion von Methoden und eine daran orientierte Vernetzung von Einzelmethoden. Die Anwendbarkeit von Methoden wird durch eine explizite Betrachtung von ergonomischen Anforderungen optimiert (LINDEMANN 2002, ISO 9241: 1998).

Die Einführung von Methoden wird in einem detaillierten Konzept von STETTER (2000) beschrieben. SCHUH (1999) geht in ähnlicher Weise auf die generelle Änderung von Organisationen und Unternehmensabläufen ein. WULF (2002) fordert mit der Handlungsorientierung schließlich eine stärkere Fokussierung auf Methoden, die den einzelnen Ingenieur in seiner Kreativität unterstützen, anstelle der Vorherrschaft von „Managementmethoden".

Datenbankgestützte Methodensammlungen (BIRKHOFER et al. 2001, SCHWANKL 2002 für Analysemethoden, LINDEMANN 2003) richten sich sowohl an die Lehre als auch an die Praxis und beinhalten neben der Beschreibung der Methoden unterschiedliche Klassifikationen und Auswahlsystematiken (z. B. über Randbedingungen, Anwender, Ein- und Ausgangsgrößen, Schritten im Entwicklungsprozess) sowie eine mehr oder weniger starke Vernetzung der Methoden. Zur einheitlichen Beschreibung und Auswahl von Methoden dient z. B. das *Münchener Methodenmodell* (MMM, LINDEMANN 2003 – Bild 16).

Die Bewertung der Wirksamkeit von Methoden (z. T. bei STETTER 2000) stellt immer noch eine offene Frage dar (LINDEMANN 2003). Nach CHECKLAND & SCHOLES (2000) kann diese nicht generell bewiesen, sondern ist in einem kontinuierlichen Prozess zu betrachten.

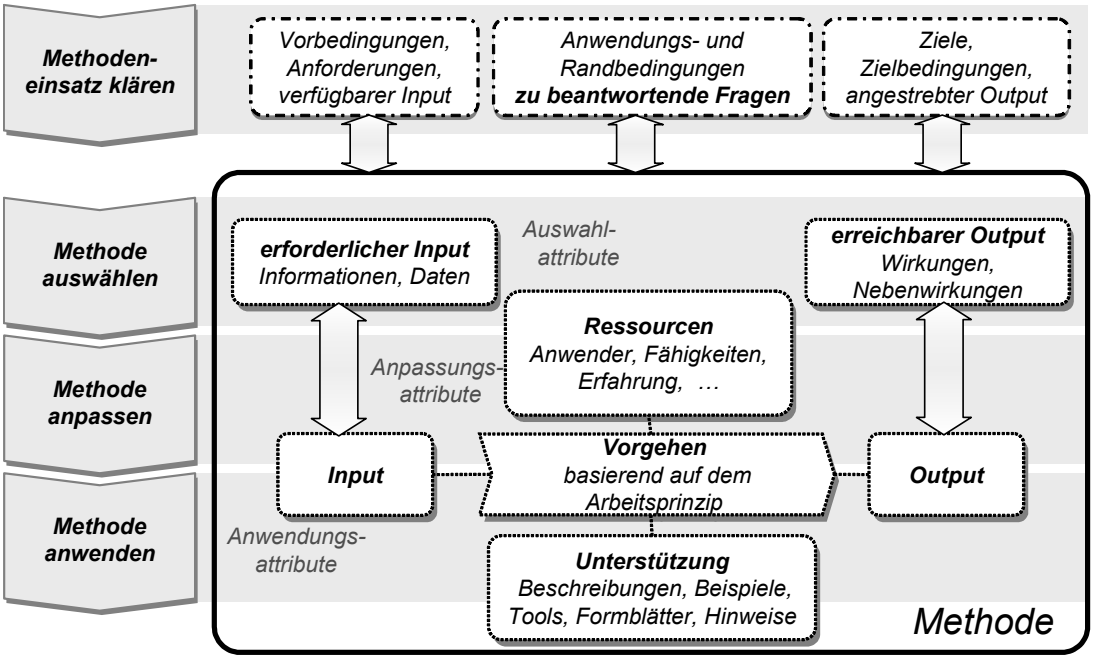


Bild 16: Münchener Methodenmodell (MMM)

Rekapituliert man die übergeordnete Entwicklung von Methoden und generellen Methodenansätzen in Verbindung mit der Entwicklung spezifischer Einzelmethoden, lässt sich hier ein ständiger Wechsel von Systematisierung und Flexibilisierung erkennen. Dies mag in der Natur von Methoden begründet sein, die einerseits eine Handlungsanleitung darstellen (Systematisierung), andererseits auf unterschiedliche Aufgaben und Randbedingungen anwendbar sein sollen (Flexibilisierung). Statt sich auf eine Ausrichtung zu fokussieren, ist eher eine kontinuierliche Dialektik zwischen diesen beiden Richtungen anzustreben.

Man sollte aber auch betrachten, ob die Probleme wirklich an den Methoden selbst liegen, oder ob die Situation in der Industrie für einen Methodeneinsatz unangemessen ist.

4.1.3 Interpretation der Entwicklungstätigkeit

So wie die Produktentwicklung unterschiedliche Teilsysteme enthält, gibt es auch unterschiedliche Sichtweisen auf den kreativen, problemlösenden Prozess der Produktentwicklung. MINNEMANN (1991) unterscheidet hier zwischen rationalen, positivistischen Ansätzen und holistischen Ansätzen. DORST (2003) unterschiedet zwischen einem rationalen und einem konstruktivistischen Paradigma. Diese Paradigmen sind nicht grundsätzlich unvereinbar, d. h. beide sind mit der Systemtheorie als Sichtweisen erklärbar. Nicht nur vor diesem Hintergrund erscheint die kategorische Zuordnung von SIMON (1999) zum rationalen, von SCHÖN (1983) zum konstruktivistischen Paradigma mehr als fragwürdig.

SIMON (1992) sieht Design als ein schwierig zu untersuchendes und lehrendes Gebiet, da es sich grundsätzlich nicht damit befasst, wie Dinge sind, sondern wie sie sein sollen. Er sieht dabei die Komplexität vor allem in der Umwelt, während das menschliche Verhalten selbst relativ einfach ist und im Sinne der Wissenschaft zu generellen Prinzipien verdichtet werden kann. Er führt Aspekte an, die zu einer „Science of Design“ gehören, wie z. B. rationale Entscheidungen, Ressourcenzuordnung, alternative Darstellungen etc. Ihn der rein rationalen, nicht konstruktivistischen Seite zuzuordnen, wird aber der Tatsache nicht gerecht, dass er selbst den menschlichen Geist als begrenzt und die Zukunft als „konstruiert“ und nicht vollkommen vorausschaubar und planbar sieht.

SIMONS (1992) Unterscheidung von Dingen, wie sie sind und wie sie sein sollen, sieht SCHÖN (1983) als Überwindung der Lücke zwischen *Basiswissenschaft* und *angewandter Wissenschaft*, die zusammen mit „Kompetenz“ und „Einstellung“ (*„skills and attitudes“*) professionelles Wissen ausmachen. SCHEIN (1973) beschreibt diese beiden Wissenschaftsansätze als konvergent und divergent, GLAZER (1974) als beständig und mehrdeutig; dies entspricht der Unterscheidung verfestigter und unverfestigter Betrachtungsgegenstände. SCHÖN (1983) selbst kritisiert rationalistische Theorien und sieht das Hauptmerkmal professioneller Tätigkeit in der Reflexion der eigenen Handlung, d. h. einer reflexiven Einheit von Wahrnehmung und Handlung. Dieser Ansatz erscheint vollkommen richtig, ist jedoch nicht als Gegensatz zu Simon einer klar konstruktivistischen Schule zuzuordnen.

Zu Designprozessen gibt es eine Vielzahl psychologischer Untersuchungen. U. a. SCHREGENBERGER (1982) weist darauf hin, dass es keine einheitliche Theorie des bewussten und unbewussten Problemlösens gibt und geben kann. Nichtsdestotrotz geht er von einer Grundstruktur des Problemlösens aus, die mit Heurismen beschrieben werden kann. Im Gegensatz zu Algorithmen führen Heurismen nicht zwangsläufig zum Ziel (MÜLLER 1990). Zunehmend werden jedoch auch Algorithmen zur Lösung technischer Probleme betrachtet; vor allem Genetische Algorithmen und Evolutionsstrategien werden hier eingesetzt (z. B. ANTONSSON & CAGAN 2001, BERCSEY et al. 2001). SACHSE & HACKER (1997) sehen in der Konstruktion ein entwerfendes Problemlösen mit hoher Ergebnisunsicherheit. Problemlöse- und Denkprozesse in komplexen Situationen werden intensiv von DÖRNER (1989) untersucht; dabei werden Schwachstellen, allgemeine Vorgehen und generelle Handlungsanweisungen gegeben. Solche Prozesse können generell als Informationsverarbeitung aufgefasst werden (DÖRNER 1979). Die Prozesse der Modellbildung (DÖRNER 1989) und der Zielformulierung (HACKER & CLAUS 1976, CRANACH et al. 1980) werden als bedeutende Elemente betrachtet. SCHWANKL (2002) zitiert weiterhin die Differenzierungen problemorientiertes und lösungsorientiertes, stufenweise ablauforientiertes und bereichsorientiertes sowie generierendes und korrigierendes Konstruieren, die leicht in den Systemfluss eingeordnet werden können. Eine Vielzahl empirischer Studien untersucht individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess (z. B. GÜNTHER 1998), wie den Einfluss der Erfahrung oder einer methodischen Ausbildung. Obwohl hier viele wertvolle Ansätze abgeleitet werden konnten, fehlt noch ein einheitliches Verständnis.

Eng verknüpft mit psychologischen Untersuchungen sind konkrete Gedächtnismodelle, die z. B. zwischen sensorischem Speicher, Kurzzeit- oder Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis unterscheiden. Beim Langzeitgedächtnis wird wiederum zwischen der epistemischen Struktur zur Speicherung von Faktenwissen und der heuristischen Struktur zur Speicherung von Prozesswissen differenziert (DÖRNER 1989). Es gibt unterschiedliche Ansätze, die Gedächtnisstruktur zu beschreiben.[1] Gemeinsam ist ihnen, dass sie einerseits als emergente Prinzipien der Funktionsweise von Neuronen erklärt werden können, dass andererseits diese biologische Grundlage häufig außer acht gelassen wird und die Erklärung kognitiver Prozesse sich lediglich innerhalb der abstrakten Begriffswelt bewegt, d. h. die Verbindung von Neurobiologie und Psychologie kaum stattfindet.

Neben den präskriptiven Modellen von Designprozessen und der Auffassung der Designprozesse als Problemlösen gibt es Ansätze, Design als Anwendung einer Grammatik aufzufassen, indem technische und physikalische Objekte durch definierte Formen und deren Verknüpfung komponiert werden (STINY 2001). Die Auffassung von Design als handwerkliche Tätigkeit (HEYMANN & WENGENROTH 2001, DORMER 1988, BURKHARDT 1988, nach MINNEMANN 1991) besinnt sich auf die Wurzeln von Designprozessen und stellt die Ver-

[1] siehe z. B. GRAMANN 2004 für eine Zusammenfassung im Kontext der Konstruktionswissenschaft

bindung zu sowohl künstlerischen als auch tätigkeitsorientierten Aspekten von Design her[1]. Dagegen kann es auch als Flucht vor der Erkenntnis, Designprozesse nicht endgültig rational beschreiben zu können, aufgefasst werden. MINNEMANN (1991) stellt darüber hinaus „teilnehmende Entwicklung“ *(participatory design)* vor, die dem Prinzip des Eingreifens und Intervenierens in das System, in dem man sich selbst befindet, entspricht.

Neben psychologischen Studien von Individuen existieren Untersuchungen zu Teams und Gruppen, in denen Entwicklungsprozesse ablaufen. Die Leistung der Gruppen und deren Einflussfaktoren stehen dabei im Mittelpunkt der Betrachtung (TSCHAN 2000, ARROW et al. 2000). Dabei werden sowohl Prozessverluste (z. B. STEINER 1972) als auch Synergien (z. B. HACKMANN 1987) angenommen. Die meisten Untersuchungen beschränken sich auf kleinere Gruppen, gruppenpsychologische Betrachtungen und Handlungstheorien für das Individuum vor dem soziologischen Hintergrund. Den Ansätzen gemeinsam ist, dass angenommen wird, die Beteiligten verfolgen an sich gleiche Ziele (*shared understanding*).

Vor dem Hintergrund industrieller Organisation hat HALES (1987) die Gruppenarbeit analysiert. FRANKENBERGER (1997) hat die Gruppenarbeit in der Konstruktion anhand von kritischen Situationen untersucht und dabei als wesentliche Erfolgsfaktoren die Erfahrung und die Kommunikation herausgestellt. BADKE-SCHAUB & GEHRLICHER (2003) haben Entscheidungsprozesse in Gruppen und deren Auswirkungen auf den Prozessverlauf analysiert. MINNEMANN (1991) hat in seinen Untersuchungen hervorgehoben, dass Design als sozialer Prozess zum Großteil darin besteht, ein gemeinsames Verständnis von Aufgabe und Prozess zu entwickeln, gleichzeitig aber auch „Vieldeutigkeiten“ zur Kreativitätssteigerung zu bewahren. BUCCIARELLI (1994, 2003) betrachtet Design ebenfalls als sozialen Prozess und meint hiermit vor allem das Zusammenspiel unterschiedlicher Sichtweisen (Disziplinen) auf das Produkt. GLOCK (1997, 1998) sieht in dem sozialen Prozess des Konstruierens vor allem ein Generieren und Interpretieren von Zielen[2]. CRABTREE et al. (1997) fokussierten bei der Analyse sozialer Produktentwicklungsprozesse auf die Abstimmung von Aktivitäten und Problemen in der industriellen Praxis. SMYRE & DOOLEY (1998) betrachteten Netzwerke von Systemingenieuren. CUFF (1982) und RITTEL & WEBER (1973) haben Designprozesse in der Architektur als soziale Prozesse des Austauschs von Interessen identifiziert. Design entsteht dabei aus der sozialen Interaktion, dabei wird jedoch nur die Interaktion von Entwickler und Kunde betrachtet. Der effektive Einsatz von Rechnerwerkzeugen in Entwicklerteams wurde von TANG (1989) und BLESSING (1994) untersucht. WALLMEIER (2001) hat ein Konzept zur Prozessoptimierung durch Reflexion in der Gruppe vorgestellt. WULF (2002) hat den Prozess der Ideenfindung und -ausarbeitung in Kleinstgruppen beschrieben. Eng verknüpft mit der Auffassung von Entwicklungsprozessen als soziale Prozesse ist die Betrachtung lokal verteilter Entwicklungstätigkeiten (z. B.

[1] u. a. als Teil einer „reflexiven Modernisierung der Moderne“ (BECK & BONSS 2001)

[2] Sind/wären die Ziele vollständig und bekannt, ist das Problem gelöst.

GIERHARDT 2001, GAUL 2001). Es existieren – insbesondere im Software Engineering – einige allgemeine Ansätze zur verteilten Entwicklung (z. B. REICHWALD et al. 1998, BARTLETT & GHOSHAL 1998, LIPNACK & STAMPS 1998); ein Fokus liegt hier vor allem auf Rechnersystemen zur Unterstützung verteilter Tätigkeiten durch z. B. CSCW-Systeme, Wissensmanagement oder Kommunikation allgemein (z. B. BORGHOFF & SCHLICHTER 1998, SCHOEN 2000, KRALLMANN & ZIEMANN 2001, KLOOCK & SPAHR 2000). LARSSON et al. (2003) untersuchen dabei Innovationen in verteilten Entwicklungsteams.

Sowohl die Vielzahl von Einflüssen auf die Produktentwicklung als auch die unterschiedlichen Sichtweisen auf Designprozesse zeigen, wie problematisch eine einheitliche Designtheorie ist. Ansätze hierfür scheinen sich auf Ontologien[1] oder Klassifikationen, technische Theorien sowie Sammlungen von Prozess und Lösungsmustern zu beschränken. HORVÁTH (2001) unterteilt Konstruktionsforschung in menschliches Vermögen, Designtheorie, Designphilosophie, Designwissen, Produktwissen, Prozesswissen, Designmethodik, Designtechnologie und Anwendung. MABOGUNJE et al. (2002) entwickelten eine Ontologie, die sowohl Akteur als auch Tätigkeiten der Produktentwicklung beinhaltet und vor allem auf eine Klassifikation von Literatur abzielt. ERIS (2003) stellt eine Sammlung von Forschungsfragen und entsprechenden Entwicklungsfragen auf, über die der Entwicklungsprozess durchlaufen werden kann. Ähnlich gelagert sind Theorien technischer Systeme, die auf eine komplette Beschreibung von Designprozessen abzielen (v. a. HUBKA 1984, HUBKA & EDER 1996). Die „Universal Design Theory“ (GRABOWSKI et al. 1998) verfolgte den Ansatz, über Prozess- und Lösungsmuster Entwicklungsprozesse und technische Produkte (teil)automatisiert zu gestalten. Dieser Ansatz scheint vom Grund her richtig zu sein, die Schwierigkeit liegt jedoch in der umfangsbezogenen Komplexität (der Erfassung) von Entwicklungsprozessen. Ähnlich gestaltet sich der Ansatz des *axiomatic design* (SUH 1990), der gutes Design an wenigen Axiomen und der Unabhängigweit der Funktionen festmacht; dieser Ansatz verfolgt zwar den richtigen Weg (z. B. Differenzierung von Kunde, Funktion, Technik und Produktion[2]), berücksichtigt er nicht die Komplexität und Nichtlinearität realer Entwicklungsprozesse. SIMON (1992) schlägt keine Designtheorie vor, stellt aber als Anforderungen auf, dass eine Designtheorie die Aspekte Evaluation von Design, Berechnungsmethoden, formale Logik, Alternativensuche einschließlich Heuristik und Ressourcen, Strukturierung und Organisation sowie Repräsentationen beinhaltet.

Zusammenfassend fehlt in der Designforschung die Berücksichtigung systemtheoretischer, soziologischer Aspekte, die auf Kleingruppen, ein *shared understanding* oder äußere Einflüsse auf das Individuum beschränkt werden. Die Vielzahl der Auffassungen der Produktentwicklung spricht gegen die Existenz eines Paradigmas.

---

[1] Dabei ist anzumerken, dass sich die Systemtheorie als Differenztheorie gegen jegliche Ontologie, die generell als starr zu betrachten ist, richtet.

[2] *customer domain, functional domain, physical domain, process domain*

4.1.4 Organisation und Prozess

Komplexe Designprozesse laufen innerhalb einer Organisation ab. Nach RIEDEL & VOIGT (1998) ist die Organisation die Gesamtheit aller Regelungen der Aufgabenteilung und Koordination zur Erreichung der Unternehmensziele. Hier wird unterschieden zwischen der Aufbauorganisation, die den personellen und funktionellen Rahmen darstellt, sowie der Ablauforganisation, die den zeitlichen Ablauf und die Vernetzung der einzelnen Tätigkeiten betrachtet und somit den Vorgehensmodellen nahe steht.

Die Aufbauorganisation gliedert und strukturiert das Unternehmen in Teilsysteme und legt deren Kompetenzen, Verantwortungen etc. fest. Diese Gliederung kann nach unterschiedlichen Kriterien erfolgen: In erster Instanz wird dementsprechend zwischen Linienorganisation (Funktionen) und Projektorganisation (Produkte) unterschieden (EVERSHEIM et al. 1995). Zur Überwindung der hierdurch entstehenden Trennung zusammenhängender Bereiche[1] wird die Matrixorganisation eingeführt, die beide Gliederungen in einer Matrix miteinander verknüpft, jedoch zur Problematik mehrerer Vorgesetzter und somit von Kompetenzüberschneidungen führt. Vor- und Nachteile der Organisationsformen hat z. B. AMBROSY (1996, S. 21) zusammengefasst. Dabei wird grundsätzlich von einer hierarchischen Gliederung des Unternehmens ausgegangen (EHRLENSPIEL 1995). Als Alternativen werden hier modulare[2], vernetzte[3] und virtuelle[4] Organisationen vorgeschlagen (ASSMANN 2000). Ähnlich gelagert ist das Fraktale Unternehmen (WARNECKE 1992), das auf eigenverantwortliche, selbstähnliche Organisationseinheiten abzielt.

Die Ablauforganisation ist die personelle, zeitliche, räumliche und inhaltliche Gestaltung der Auftragsabwicklung (EHRLENSPIEL 1995). Zur Ablauforganisation gehören Konzepte wie Projektmanagement (BURGHARDT 1993) oder Prozessmanagement (GAITANIDES et al. 1994). Neben der eigentlichen Planung und Steuerung ist die Modellierung von Prozessen von Bedeutung. BICHLMAIER (2000) hat eine Methode zur flexiblen Gestaltung von Entwicklungsprozessen mit Hilfe von Prozessbausteinen entwickelt, die die Integration der Produktionsplanung unterstützt. DEMERS (2000) hat eine Methode zur dynamischen, d. h. ereignisabhängigen Prozessplanung entwickelt, die zwischen der operativen Ebene und der Ergebnisebene (GIAPOULIS 1998) angesiedelt ist.

In dem Graubereich zwischen Aufbau- und Ablauforganisation sowie der integrierten Produktentwicklung befinden sich weitere Strategiekonzepte. Hierzu zählen z. B. das Lean Management (WOMACK et al. 1992) mit Wertschöpfungsorientierung und flachen Hierarchien oder die virtuelle Produktentwicklung (KRAUSE 1997) durch Verwendung digitaler

---

[1] Projekte bei der Linienorganisation, Funktionen bei der Projektorganisation

[2] dezentrale Gruppen entlang der Wertschöpfungskette oder in Bezug auf Produkt- und Marktsegmente

[3] mit einem Fokus auf der Kommunikation und dem Informationsmanagement

[4] kurzfristige Bildung von spezialisierten Teams

Produkt- und Prozessbeschreibungen. Weitere Ansätze sind z. B. das *Business Process Reengineering* (HAMMER & CHAMPY 1994), Change Management (DOPPLER & LAUTERBURG 2002, SCHUH 1999), Chaosmanagement (PETERS 1987), Prozessorientierung (GAITANIDES et al. 1994, HAMMER & CHAMPY 1994), Qualitätsmanagement (DIN ISO 9000ff 2000) sowie das Simultaneous oder Concurrent Engineering (BULLINGER & WARSCHAT 1996) mit den Strategien Parallelisierung, Standardisierung und Integration (*„PSI“*).

So wie strategische Konzepte zwischen Aufbau- und Ablauforganisation angesiedelt sind, bilden auch Teams die Verknüpfung dieser beiden organisatorischen Sichtweisen. Diese dienen zur Optimierung der Zusammenarbeit zwischen den Bereichen des Unternehmens und stellen nach EHRLENSPIEL (1995) ein *Mittel* zur informatorischen und organisatorischen Integration dar. AMBROSY (1996, S. 25) benennt Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortung von Teams bezogen auf die übergeordnete, eigene und untergeordnete Ebene.

Viele der hier genannten Ansätze stammen ursprünglich nicht aus der Produktentwicklung, sondern aus der Produktion. Da die Produktion über wiederholbare Prozesse verfügt, die in der Produktentwicklung nur bedingt vorhanden sind, lassen sich solche Ansätze nur zum Teil übertragen. Die Konzepte beinhalten jedoch einzelne Prinzipien, die sich wiederholen und die generell übertragen werden können. Zu diesen Prinzipien gehören

- die Modularisierung von Organisation und Prozess, aber gleichzeitig
- die Integration und Vernetzung unterschiedlicher Bereiche,
- die Autonomie und Selbstverantwortung der „Module“,
- die Betonung und Definition standardisierter Prozesse sowie
- die Orientierung auf den Kundennutzen und den Wertschöpfungsprozess,
- eine Dynamisierung und Wandlungsfähigkeit der Strukturen,
- die zunehmende Akzeptanz chaotischer, nicht vollständig kontrollierbarer Abläufe,
- verbesserte Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK-Technologien),
- die (nachträgliche) Reflexion der Prozesse und
- die Parallelisierung von Abläufen.

Organisation ist dort notwendig, wo ein *shared understanding* nicht möglich ist. Problem existierender Ansätze ist aus systemtheoretischer Sicht immer noch das Ziel der Kontrolle.

4.1.5 Werkzeuge

Die Produktentwicklung wird durch eine Vielzahl rechnerbasierter Werkzeuge unterstützt. An dieser Stelle geht es darum, einen Überblick über existierende Arten von Rechnerwerkzeugen zu schaffen (Tabelle 21) und diese Werkzeuge bezüglich ihrer Anwendung zu bewerten. Hierfür werden die Werkzeuge bezüglich der Aspekte *Bearbeitung* (einer bestimmten Aufgabe) und *Kommunikation* innerhalb des Unternehmens betrachtet.

Tabelle 21: Rechnerwerkzeuge für die Produktentwicklung
(grau hinterlegt: Schwerpunkt des Werkzeugs auf Bearbeitung oder auf Kommunikation)

Werkzeug	Bearbeitung	Kommunikation
Berechnungswerkzeuge Hierzu zählen z. B. FEM-Programme, Simulationen, Mathematikprogramme, Algorithmen etc.	Berechnung physikalischer Strukturen, Analyse von Modellen	-
CAD-Systeme *Computer Aided Design*, das aus der Umsetzung von Zeichnungsbrettern auf den Rechner entstanden ist	Geometrische Konstruktion der Komponenten	Erstellung virtueller Prototypen
Virtual/Augmented Reality (VR/AR) Realitätsnahe Darstellung von Modellen, die intuitiv gehandhabt werden können (ENCARNACAO et al. 2002)	Analyse des virtuellen Gesamtprodukts, z. B. auf Kollisionen etc.	Darstellung des Gesamtprodukts als Diskussionsgrundlage
Informationssysteme Datenbanken zur Speicherung von Ideen, Erfahrungen, technischen Prinzipien, Kosten etc., die über unterschiedliche Kriterien strukturiert werden	Auswertung (z. B. statistisch) der anfallenden Information	Wissensmanagement über das Unternehmen und die zeitliche Entwicklung hinweg
Dokumentenmanagementsysteme dienen der strukturierten Ablage beliebiger Dokumente; sie stellen somit eine Zwischenstufe von Informations- und PDM-Systemen dar	-	Strukturiertes Bereitstellen wiederauffindbarer Dokumente im Unternehmen
PDM-Systeme – Produktdatenmanagement-Systeme dienen der Speicherung und Handhabung umfangreicher, vor allem mit CAD-Systemen erstellter Dokumente und orientieren sich sowohl an der Produkt- als auch an der Unternehmensstruktur (ABRAMOVICI & SIEG 2001, EIGNER & STELZER 2001, SCHICHTEL 2002)	Strukturierung des Produkts	Unternehmensweiter Zugriff auf einheitliche, verbindliche Datenbasis
Workflow-Systeme ermöglichen verteilte Bearbeitung durchgängiger Prozesse; da die Bearbeitung eng mit den Produktdaten verknüpft ist, verschmelzen PDM- und Workflow-Systeme zunehmend zu PLM-Systemen (Product Lifecycle Management)	- (Strukturierung der Geschäftsprozesse)	Datenaustausch und Informationsfluss im Unternehmen regeln
Projektmanagement-/Prozessplanungssysteme Projektmanagementsysteme unterstützten allgemein die Modellierung, speziell die Planung, Steuerung und Kontrolle umfangreicher Prozesse	Modellierung, Analyse, Planung, Steuerung und Kontrolle von Prozessen	Ausrichtung der Beteiligten am Prozess; Definition der Kommunikation
Konstruktions(leit)systeme stellen eine durchgängige Unterstützung systematischer Produktentwicklungsprozesse von der Anforderungsklärung bis zur Dokumentation bereit. Sie binden dabei weitere Werkzeuge ein und integrieren Funktionalitäten von z. B. PDM-Systemen. Sie konzentrieren sich auf einen oder wenige Bearbeiter und sind eher Bestandteil wissenschaftlicher Arbeit als industrieller Praxis (z. B. ASSMANN 2000)	Planung und Dokumentation des Entwicklungsprozesses und Führung durch den Prozess	Verteilung von Aufgaben und Vernetzung mit den relevanten Dokumenten
Rahmensysteme Rahmensysteme erlauben die Integration mehrerer Anwendungen, um eine durchgängige Prozesskette zu ermöglichen. Hierdurch werden Insellösungen vermieden. Der Datenaustausch erfolgt über spezielle Schnittstellen, standardisierte Datenformate oder gemeinsame Datenbasen	-	Austausch der Informationen zwischen unterschiedlichen Werkzeugen und damit zwischen Unternehmensfunktionen
Konfiguratoren eng verknüpft mit PDM-Systemen, erlauben sie die individuelle Zusammenstellung von Produktvarianten aus vordefinierten „Bausteinen“ (ROGOLL & PILLER 2002)	Zusammenstellung des Produkts	Darstellung möglicher Produktkonfigurationen

Werkzeug	Bearbeitung	Kommunikation
Kommunikationswerkzeuge alle Hilfsmittel, die rein der Kommunikation dienen, wie z. B. Email, Videokonferenzen u. Ä.	-	Telekommunikation mit üblichen Medien (Sprache, Schrift, Bild etc.)
CSCW-Werkzeuge *Computer Supported Cooperative Work* ist der Oberbegriff für rechnergestützte Zusammenarbeit, z. B. Dokumentenserver, die einen geregelten Zugriff auf Information ermöglichen (BORGHOFF & SCHLICHTER 1998).	-	Geregelte Kommunikation, insbesondere Bereitstellung gemeinsamer Dokumente (oder allgemein Information)

Es wäre nun nach der Systemtheorie konsequent anzunehmen, dass Werkzeuge, die die Kommunikation unterstützen, erfolgreicher oder zu bevorzugen sind. Betrachtet man aber die Klassifikation der Werkzeuge und deren praktische Verwendung, scheint eine detaillierte Diskussion der Vor- und Nachteile angebracht zu sein[1]:

- Berechnungswerkzeuge und CAD-Systeme erfüllen eine klare Aufgabe und erleichtern eine direkt zu erfüllende Tätigkeit; daher werden sie generell akzeptiert, lediglich die Benutzerfreundlichkeit wird bemängelt.
- Informationssysteme, PDM-Systeme und auch Konfiguratoren dienen vor allem der nachträglichen Dokumentation von Informationen; sie adressieren weder die Kernaufgaben der Entwickler, noch ist ihre Kommunikationsfunktion explizit bewusst.
- Virtual Reality-Systeme vereinen Kommunikation und Bearbeitung, eine flächendeckende Nutzung scheint aber an der Reife der angebotenen Produkte zu scheitern.
- Workflow- und Konstruktionssysteme wollen alle Tätigkeiten und Prozesse im Unternehmen vollständig und „starr“ abbilden und scheitern an dem Umfang und an der notwendigen Flexibilität dieser Prozesse.
- Kommunikationswerkzeuge erleichtern zwar die Kommunikation, dies kann jedoch so weit gehen, dass Kommunikation im Sinne des Erzielens und Abgleichs von Unterschieden aufgrund der Fülle von Daten nicht mehr möglich ist.
- Konstruktions- und Rahmensysteme besitzen häufig nicht die interdisziplinär notwendige Flexibilität, z. B. haben Elektrotechniker und „Mechaniker“ unterschiedliche Darstellungsformen, die z. B. auch CAD-Systeme nicht gleichzeitig anbieten.
- Konstruktionssysteme scheitern z. T. auch daran, dass die Abläufe nicht nachvollziehbar sind und somit den Ergebnissen Misstrauen entgegengebracht wird.
- Informations- und PDM-Systeme basieren systembedingt auf einer konsistenten Struktur der Information, die in der Realität nur bedingt gegeben ist (Unschärfe und Unvollständigkeit); da sie somit die Realität nur unzureichend abbilden können, verringert sich ihr praktischer Nutzen und ihre Akzeptanz.

[1] bei mangelnder Akzeptanz oder mangelndem Erfolg in der Industrie ist neben Detailoptimierungen auch grundsätzlich zu hinterfragen, ob nicht ein ganz anderer Weg sinnvoller sein kann (z. B. Expertensysteme, Wissensmanagementsysteme, Datenbanken etc.)

- In ähnlicher Weise können Konstruktions- und Workflow-Systeme die reale Entwicklungstätigkeit nur bedingt abbilden, die eben aus einer Vielzahl von Tätigkeiten, wie Ideensuche, Konstruktion, Tests, Abstimmungen, Präsentation, Detailverbesserungen, Berechnungen etc., bestehen. Entweder werden nur kleine Aspekte hieraus behandelt (Berechnungssysteme) oder der übergreifende Rahmen wird zu sehr abstrahiert.

Es lässt sich daraus schließen, dass zur Beurteilung von Werkzeugen drei Aspekte vorrangig zu betrachten sind: der Bearbeitungsaspekt, der sich auf eine spezifische Funktion beziehen soll, der Kommunikationsaspekt, der sowohl Flexibilität als auch Struktur besitzen soll, und der Aspekt der Reife und Benutzerfreundlichkeit. Damit ergeben sich folgende allgemeine Anforderungen an Rechnerwerkzeuge:

- klare funktionelle Zuordnung zur Tätigkeit im Entwicklungsprozess; damit muss die Anwendung des Systems im normalen Ablauf verankert sein; damit sind eher mehrere Systeme zur Bearbeitung der Aufgaben anzustreben als Systeme, die den gesamten Wertschöpfungsprozess umfassen,
- hohe Flexibilität, aber gleichzeitig Führung durch den Prozess; dies gilt auch für die Kommunikation, die weder in Beliebigkeit ausarten, noch in zu engen Informationskanälen stattfinden soll,
- Automation und Analyse einzelner Arbeitsschritte im Prozess, aber Nachvollziehbarkeit der Funktionsweise,
- Verknüpfung mit anderen Systemen; dabei ist eine prozesstechnische Integration wichtiger als eine system- oder datentechnische: manuelles Überbrücken der datentechnischen Schnittstelle kann zu neuen Gedanken oder zum „Aufräumen“ der Daten führen; ohne prozesstechnische Integration ist der Einsatz eines Systems jedoch nicht klar,
- unterschiedliche Sichtweisen und Umgang mit mehrdeutigen Informationen,
- Benutzerfreundlichkeit (z. B. ISO 9241 (1998)) und Anpassbarkeit, die sich z. T. erst aus einem langwierigen Prozess der Reife des Systems ergibt.

Als generelle Tendenz kann man jedoch die zunehmende Integration von Rechnerwerkzeugen betrachten. Ob dies wirklich über z. B. PDM-Systeme erfolgt, mag offen sein, Stichworte wie Engineering-Portal oder Standards für den Datenaustausch finden sich immer häufiger und führen zu einer Vernetzung der einzelnen Entwicklungstätigkeiten und letztendlich zu einem wie auch immer gearteten *E-Engineering* (ABRAMOVICI & SIEG 2001).

4.1.6 Design for X

Unter *Design for X*[1] versteht EHRLENSPIEL (1995) die Ausrichtung der Entwicklung an einer Hauptforderung. Diese Hauptforderung kann z. B. die Funktion, die Sicherheit, das

[1] auch „Design to X“

Gewicht oder die Größe, das Industrial Design, die Kosten, die Produktion, die Ergonomie, die Umwelt oder Ähnliches sein. Dabei unterscheiden sich weniger die Prozesse oder das Vorgehen, als vielmehr das Spezialwissen in Form von Richtlinien. So wie Rechnerwerkzeuge zunehmend integriert werden und neue Funktionalitäten entwickeln, werden nun auch in der Produktentwicklung zunehmend neue Bereiche berücksichtigt und integriert, die zum Design for X (HUANG 1996) gezählt werden können. Hierzu zählen allgemein:

- **Kosten**: Neben der rein betriebswirtschaftlichen Kostenrechnung finden sich hier Richtlinien zum kostengünstigen Konstruieren, entwicklungsbegleitende Kostenrechnungsverfahren und rechnergestützte Kosteninformationssysteme sowie übergeordnete Ansätze wie Target Costing (z. B. EHRLENSPIEL et al. 1998, SEIDENSCHWARZ 1993).
- **Umwelt**: Hier finden sich verschiedene Ansätze wie das umweltgerechte, upgradinggerechte oder recyclinggerechte Konstruieren (PHLEPS 1999, MÖRTL 2002), Nachhaltigkeit oder die Integrierte Produkt-Politik (IPP), die versucht, ökologische Produkte auch für die Unternehmen interessant zu machen (LINDEMANN et al. 2002).
- **Kunden**: Die Ausrichtung auf den Kunden findet ebenfalls unter verschiedenen Ausprägungen statt; hierzu zählt der Fokus auf die Qualität (Quality Function Deployment QFD – AKAO 1992), die Individualisierung (z. B. *Mass Customization* – PILLER 2001) sowie das *Inclusive Design* (CLARKSON et al. 2003), das eine leichtere Anwendbarkeit der Produkte insbesondere durch ältere oder behinderte Menschen betrachtet.
- **Produktion**: Erste Ansätze des DfX bezogen sich auf die Produktion und beinhalteten fertigungsgerechte und montagegerechte Gestaltungsrichtlinien (z. B. BOOTHROYD et al. 1994, ANDREASEN et al. 1988), die sich noch weiter in z. B. gussgerechtes, schweißgerechtes etc. Konstruieren aufteilen.

Obwohl die Zielsetzungen z. T. sehr verschieden sind, gibt es einige Aspekte, die den meisten DfX-Ansätzen zur Verwirklichung der Ziele gemein sind:

- Kundenorientierung, als Zweck des Ansatzes, und Kostenbetrachtung, als Medium der Effektivität,
- Modularisierung des Produkts,
- zeitlich vorausschauende Entwicklung sowie
- Integration und Kollaboration unterschiedlicher Bereiche und Disziplinen.

Die Methodik zur Entwicklung variantenreicher und individualisierbarer Produktspektren (Kapitel 5 und 6) kann als *Design for Flexibility* aufgefasst werden.

4.2 Systemtheorie und systemtheoretische Ansätze

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, Prinzipien der Systemtheorie auf die Produktentwicklung zu übertragen. Im Folgenden soll daher aufgezeigt werden, wo ähnliche Ansätze schon verfolgt werden. Dabei kann zwischen der Integration der Systemtheorie selbst, un-

bewusst angewandten Prinzipien und bewusst übertragenen Prinzipien unterschieden werden. Schwerpunkte der in die Produktentwicklung integrierten Systemtheorie[1] sind die Ansätze von z. B. DAENZER & HUBER (1999), ROPOHL (1975) etc. Dabei ist nochmals festzuhalten, dass die Produktentwicklung und Konstruktionsmethodik kaum sinnvoll von der Systemtechnik zu trennen ist, da sie ähnliche Ansätze beinhalten und die Konstruktionsmethodik aus der Systemtechnik hervorgegangen ist.

4.2.1 Einordnung bestehender Ansätze

Funktionen als wesentliches Element der Konstruktionsmethodik stellen ein gutes Beispiel der Bezugsorientierung dar, sind sie doch eine abstrakte Verbindung von Produkt und Nutzer bzw. der Anwendung; hierauf wird weiter unten noch detailliert eingegangen.

Der Bezugsansatz findet sich auch implizit in vielen Diskussionen um begriffliche Definitionen. Schwierigkeiten bei solchen Definitionen ergeben sich, wenn eine absolute Bestimmung versucht wird. Betrachtet man die Relation von Begriffen, kommt man dem Sinn dieser Begriffe näher und erleichtert deren Verständnis. Beispiele für Begriffe, die nur durch ihren Bezug Sinn ergeben, sind Ursache – Wirkung[2], Methode – Methodik[3] oder Problem – Lösung[4]. Eine explizite Nennung einer solchen Begriffsrelation findet sich bei ZÜST (2000), der mit der *Zweck-Ziel-Mittel-Hierarchie* unterschiedliche Ebenen der Zielsetzung anspricht. Grundsätzlich kommt es bei Begriffen nicht darauf an, was diese bedeuten, sondern was *man* damit aussagen will.

Der Kontinuierliche Verbesserungsprozess (KVP, im Japanischen *kaizen*) als Teil des Qualitätsmanagements (REINHART et al. 1996) zielt genau im Rahmen der Zeitorientierung auf eine ständige Optimierung der Organisation, anstatt eine „optimale“ endgültige Lösung zu suchen. Für die Ansätze *axiomatic design* und *universal design theory* charakteristisch ist die Strukturierung und Prozesssteuerung über elementare Axiome oder Lösungsmuster.

Diese Strukturierung und Konfiguration einzelner Lösungsmuster ist auch das Prinzip, das Baukastenansätzen[5] zugrunde liegt. Auf Prozessebene entsprechen Strukturierung und Prozesssteuerung allen Ansätzen der Prozessmodularisierung und -konfiguration, wie z. B. die Prozessbausteine nach BICHLMAIER (2000). Auch die Dekomposition von Methoden zu Elementarmethoden (AMBROSY 1996) entspricht diesem Prinzip zur gesteigerten Komple-

---

[1] eigentlich System*technik*; die System*theorie* findet kaum Berücksichtigung

[2] Dass Ursache und Wirkung häufig nicht trennbar sind, wird einegehender in der nicht-aristotelischen Logik behandelt. Praktisch ergibt sich das Problem, eine erste Ursache für „Probleme“ zu finden.

[3] Die praktisch nur eine Hierarchisierung von Methoden darstellen

[4] da die meisten Probleme Lösungen anderer Probleme sind und die Lösungen zu neuen Problemen führen

[5] auf technische Baukästen wird in Kapitel 5 und 6 eingegangen

xitätsverarbeitung. Die Funktionsbetrachtung von Methoden (GERST 2002) stellt einen Schritt in Richtung Reflexivität dar, Methoden methodisch zu entwickeln.

Ein wichtiger Aspekt, der ebenfalls der Systemtheorie zugeordnet werden kann, sind die so genannten Technologie-S-Kurven (Bild 17), denen nach ALTSHULLER (1984), der eine Vielzahl von technischen Patenten analysiert hat, technische Entwicklungen folgen.[1] Ziel der S-Kurven ist es, eine technische Lösung technologisch einzuordnen und zu bestimmen, in welche „Richtung" eine Weiterentwicklung geht und ob ein Technologiesprung bevorsteht. Zu berücksichtigen ist, dass solche S-Kurvenverläufe grundlegende Prinzipien in der natürlichen Evolution darstellen, wenn ein bestimmtes System sich gegen eine bestimmte Grenze entwickelt. Die S-Kurven können somit auf der einen Seite für alle Systeme angewandt werden, lassen sich auf der anderen Seite nur selten in einer sauberen Form finden und dienen eher als Verständnis der Entwicklung zur Ableitung von Handlungsoptionen.[2]

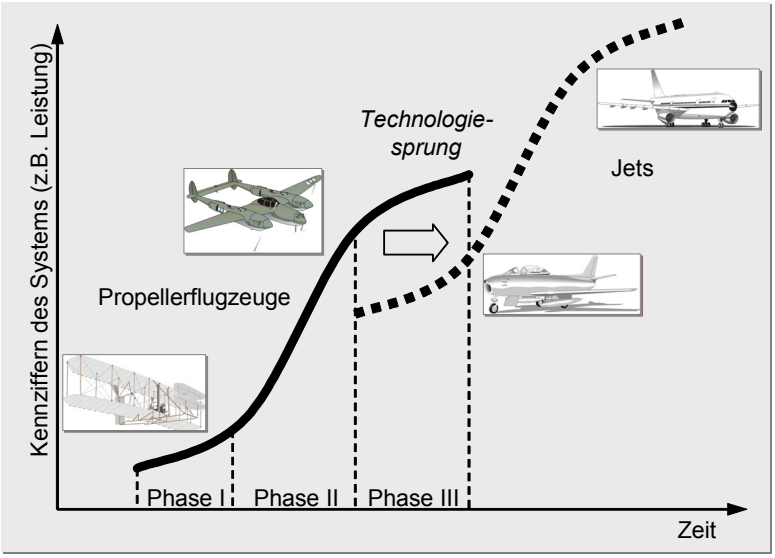


Bild 17: Entwicklung technischer Systeme am Beispiel von Propeller- und Düsenflugzeugen

Als weiteren Ansatz verfolgt WULF (2002) die pluralistische Lösungssuche („Produktentwicklung als politischer Prozess"), betrachtet dabei aber noch die „gemeinsame" Suche nach einer Lösung. Das Vorgehen bei der Lösungssuche anhand von Zwischenzielen lässt sich im Systemfluss als eine Betrachtungsweise im Längsschnitt (kontinuierliche Weiterentwicklung) auffassen, während die klassische Konstruktionsmethodik eher einen Querschnitt betrachtet (umfassende Aufgabenklärung und Variantenbildung).

---

[1] Darauf aufbauend werden bestimmte Prinzipien vorgeschlagen, die nur bedingt mit den systemtheoretischen Prinzipien zu verbinden sind, da es sich hier um rein technische Prinzipien handelt.

[2] Wenn sich die Grenze, gegen die sich das System entwickelt, selbst in Abhängigkeit von der Kennziffer des betrachteten Systems entwickelt, wird die S-Kurve zu einer Sinusschwingung, die z. B. im Räuber-Beute-Verhältnis eines Ökosystems Anwendung findet. Auf den mathematischen Zusammenhang von S-Kurve und Sinuskurve wird hier nicht näher eingegangen.

4.2.2 Explizite Anwendung der Systemtheorie

Es gibt eine Vielzahl von Ansätzen, die bewusst Prinzipien der Systemtheorie auf die Produktentwicklung zu übertragen. Auf die Bionik (z. B. NACHTIGALL 2002) soll hier nicht näher eingegangen werden, da sie sich – ähnlich den Prinzipien in TRIZ (s. a. LINDE & HILL 1993) – auf konkrete technische Lösungen und die Biologie (nicht die Systemtheorie) bezieht. HILL (1997), mit Schwerpunkt Bionik, deutet lediglich die Übertragung evolutionärer Prinzipien auf die Entwicklung schon an. Evolutionsstrategien und Genetische Algorithmen werden in Anhang 7 beschrieben.

LEWENS (2004) vergleicht die technologische Entwicklung über der Zeit mit der Evolution. Er zeigt auf, dass die kulturelle und damit technische Reproduktion von unterschiedlichen Elementen abhängen (z. B. Artefakte, Ideen, Verhalten, Änderungen etc. – *replicators* und *interactors)* im Gegensatz zur biologischen Reproduktion mit der klaren Verknüpfung von Genen und Phänotypen. Er weist auch darauf hin, dass technische Entwicklungen bewusst ablaufen und bei einem Vergleich von technischer und biologischer Evolution nicht abstrakte Bilder sondern Handlungsanleitungen anzustreben sind. Allerdings wird hier nur die „historische“ oder „globale“ technische Entwicklung (Phylogenese) betrachtet, nicht die Entwicklungsprozesse einzelner Produkte (Ontogenese).

Die von BENDER et al. (2002) auf die Konstruktionsforschung übertragenen soziologischen Methoden beschränken sich auf die Analyse von Produktentwicklungsprozessen. Die Zuordnung von Sozialwissenschaften zu analytischen, objektiven Zielen und Ingenieurswissenschaften zu Problemlösung und Nützlichkeit erscheint nicht angemessen. Die Betrachtung der System*technik* als Methodik zur Beherrschung der Komplexität auf die Produktentwicklung findet sich z. B. bei NEGELE (1998) oder bei STEINMEIER (1998). Obwohl hier die Problematik der Komplexitätsbeherrschung richtig angesprochen wird und sinnvolle Methoden eingesetzt werden, „scheitern“ die Ansätze letztendlich an dem Versuch, komplexe Systeme vollständig zu erfassen.

OTTOSON (2001) nutzt den identifizierten Wandel in der Produktentwicklung vom klassischen Newton’schen Paradigma zum Quantenparadigma nur, um die Notwendigkeit teilnehmender Konstruktionsforschung abzuleiten. MARXT (2001) wendet den Ansatz dissipativer Strukturen[1] auf Unternehmen an: Für Innovationen und Neuentwicklungen sind seiner Ansicht nach flexiblere Strukturen und häufigere Änderungen notwendig, wobei die Stufen Individuum, Team, Abteilung und Organisation zu betrachten sind, auf denen sich die Umsetzung von (radikalen oder inkrementellen) Ideen zunehmend schwieriger gestaltet.

DESER (1997) betrachtet Unternehmen vor dem Hintergrund der Chaostheorie und nichtlinearer dynamischer Systeme. Zentrale Ansätze sind die Verwendung von *cognitive maps*

[1] aus chaotischen Ungleichgewichtszuständen bilden sich plötzlich neue Gleichgewichtszustände auf einem neuen Organisationsniveau

(Elemente und deren Relationen) in der Unternehmensorganisation sowie ein besonderes Führungsverständnis. Interessant ist seine (nach MÜRI 1989 zitierte) Auflistung von Werten und Orientierungen der „Ordnungshüter“ und der „Chaoten“ im Unternehmen,[1] die zum Teil kritisierbar ist.

BROADBENT & CROSS (2002) stellen Entwicklungsprozesse und die soziokulturelle Evolution gegenüber und fokussiert in Übereinstimmung mit BANATHY (2000) und LASZLO (1996) eine bewusste soziokulturelle Evolution, in der Design eine zentrale Rolle spielt. Neben einer Vielzahl evolutionstheoretischer Prinzipien, die sie unstrukturiert anführen, betonen sie die besondere Rolle der Ausbildung, sowohl in der Gesellschaft als auch im „Design“. Dem enthaltenen Aspekt der kulturellen Evolution und der damit implizierten Betonung der Lehre sei jedoch ein Aspekt FULLERS (1998) entgegengesetzt: anstatt Design, oder allgemein die Interaktion mit der Umwelt, zu lehren und präskriptiv zu beschreiben, ist es wesentlicher Bestandteil des individuellen Lernprozesses und des kreativen Handelns, selber durch Experimentieren, Handeln und Wahrnehmen den Umgang mit der Umwelt zu lernen oder eine eigene Handlungsoption zu finden.

Bei organisationstheoretischen Ansätzen[2], die aus der Soziologie und der Betriebswirtschaftslehre stammen, ist der evolutionstheoretische Ansatz oder genauer der Population Ecology-Ansatz zu erwähnen (ALDRICH et al. 1984). Hier werden sowohl Populationen von Unternehmen betrachtet, die Selektionsprozessen unterliegen, als auch Populationen der Elemente organisationalen Wissens, so genannte Comps[3], von denen sich die erfolgreicheren durch den stärkeren Austausch der ebenfalls erfolgreichen Mitarbeiter oder die Führungsrolle des Unternehmens stärker ausbreiten, ohne dass es hierfür besonderer Maßnahmen bedarf. Daneben existieren empirische Untersuchungen über die evolutionäre Bedeutung des Alters, der Größe, der Spezialisierung etc. von Unternehmen (KIESER 1999).

Der *St. Gallener Ansatz des evolutionären Managements* (MALIK 1989) betont, dass sich Regeln im Unternehmen ebenfalls weniger bewusst als vielmehr durch einen evolutionären Prozess ergeben. Er betont ebenso, dass die Überlebensfähigkeit von Systemen dann gefährdet ist, wenn die interne Komplexität nicht mehr ausreicht, auf die Umweltprobleme zu reagieren (*law of requisite variety*, ASHBY 1974). Interessant ist der *Münchner Ansatz* von Kirsch: „Der evolutionär rationale Aktor konstituiert sich selbst als autonomes Bewusstsein und als verständigungsorientierter Handelnder“ (KIRSCH 1992, S. 484). KIESER (1999) zählt die schon weiter oben beschriebenen, systemtheoretischen Ansätze zu konstruktivistischen Ansätzen der Organisationstheorie. GIDDENS (1984) versucht in diesem Zusammen-

---

[1] z. B. Ordnungshüter: Wachstums- und Fortschrittsglaube, Verstand und Vernunft, Logik und Kontrolle; Chaoten: Orientierung an Grenzen, Verstand und Emotionen untrennbar, Kontrolle nicht vollständig möglich

[2] s. a. Kap. 2; es ist schwer zu unterscheiden, wo die Systemtheorie aus der Organisationsforschung stammt (Kapitel 2) und wo die Organisationsforschung Elenente der Systemtheorie übernimmt (dieses Kapitel)

[3] kurz für *competences*, wie Verfahrensrichtlinien, Unternehmensphilosophien, Patente, Technologien etc.

hang eine Strukturierung der Sozialwissenschaften, da entweder der Kontext, in dem Organisationen oder Individuen handeln, zu stark abstrahiert wird, oder das Handeln als durch strukturelle Zwänge determiniert erscheint. Die gegenseitige Beeinflussung wird kaum betrachtet und führt zur „Paradigmeninkommensurabilität“ (KUHN 1976), d. h. der Unvereinbarkeit verschiedener Paradigmen.

Auch in der Produktentwicklung scheint somit eine Paradigmeninkommensurabilität vorzuliegen. In Bezug auf die Organisationsforschung berücksichtigt die Produktentwicklung soziologische Ansätze zu wenig, die Organisationsforschung geht dagegen zu wenig auf die konkreten Belange der Produktentwicklung ein; so wie Soziologie und Psychologie, und Psychologie und Neurobiologie also noch keine Schnittstelle ausgeprägt haben, fehlt diese Schnittstelle auch zwischen Produktentwicklung und Organisationsforschung.

4.3 Beobachtungen in der Praxis

Dieses Kapitel ist zentral, da es Beobachtungen aus der Praxis vorstellt, die im Folgenden mit Hilfe der Systemtheorie erklärt und interpretiert werden und somit ein neues Licht auf die Produktentwicklung werden. Dafür brauchen keine detaillierten Einzelfallstudien diskutiert oder statistisch analysiert werden, vielmehr werden einzelne Impressionen aufgezeigt, die den Handlungsbedarf aufzeigen und zu den Kernaussagen führen.

In einem Forschungsprojekt ging es um die **Kosten- und Gewichtsreduktion** eines in Kleinserie hergestellten Aggregats durch konstruktive Maßnahmen. Schon bald zeigte sich jedoch, dass die Probleme fast ausschließlich organisatorischer Natur waren.

- Das Unternehmen agiert an europaweit verteilten Standorten, zwischen denen Wettbewerb herrscht, die jedoch auch auf unterschiedliche Umfänge spezialisiert sind. Problematisch ist, dass sich hier die Ebenen in dem Sinne vermischen, dass der Standort, der das Aggregat vervollständigt und an den Kunden ausliefert, nur ein Tochterunternehmen ist und das Aggregat nicht entwickelt hat. Die Unternehmenszentrale ist dagegen Lieferant einzelner Komponenten, die zwar woanders günstiger eingekauft werden können, dort aber nicht bezogen werden dürfen. Auch wenn dies im Gesamtkonzern u. U. sinnvoll gewesen ist, wurde dies nicht detailliert untersucht.
- Zwischen den Standorten herrscht keine offene Kommunikation. Viele Informationen, wie z. B. Kostensätze, werden bewusst nicht ausgetauscht. Sprachliche Schwierigkeiten führen dazu, dass zentrale Personen überhaupt nicht miteinander kommunizieren. Die Entwicklungsabteilung hat die Fertigungsstandorte erst Jahre nach Produktionsstart der Anlage gesehen. Ansätze wie Simultaneous Engineering oder Zielkostenmanagement waren nicht vorzufinden. Auch innerhalb eines Standortes wurden objektive Betrachtungen von Kostensätzen (z. B. Gemeinkostenzuschläge) verboten, da diese zum Nachteil einer Abteilung gereichen würden.

- Gegenüber den Projektbearbeitern herrschte eine Erwartungshaltung, dass diese das Problem lösen sollten, ohne dass das eigene Unternehmen oder die eigene Abteilung sich beteiligen oder Änderungen zulassen müsste. Letzten Endes erschien es, dass nicht das Problem gelöst, sondern dass indirekt der Beweis erbracht werden sollte, eine weitere Optimierung sei in der Abteilung nicht möglich ist oder führe zu einer vollkommen neuen Anlage, d. h. dass die Abteilung handlungsunfähig sei.
- Umfassende Methoden schienen nicht notwendig zu sein. Selbst einfache Methoden wie Brainstorming dienten lediglich dazu, alle Beteiligten, hier vor allem Entwicklung, Produktion und Einkauf, an einen Tisch zu bringen. Viele Lösungen und Verbesserungsvorschlägen sind längst bekannt und müssen nur kommuniziert werden.
- Die Kostenrechnung entsprach nicht den Anforderungen eines Kleinserienherstellers, dessen Maschinen nur bedingt ausgelastet sind. Darüber hinaus gab es an den Standorten unterschiedliche, nicht vergleichbare Kostenrechnungsarten und generell keine Transparenz in den Kosten. Eine Einhaltung der Kosten ist aus Unternehmenssicht dabei nur zweitrangig, da der eigentliche Gewinn über Ersatzteile u. Ä. gemacht wird.

Problem dieses Projekts war, dass kein Bewusstsein für den Gesamtprozess, das Gesamtunternehmen oder das Gesamtprodukt existierte (Strukturierung), keine Kommunikation stattfand (Prozesssteuerung) und dass keine Bereitschaft zur Veränderung vorhanden war (Reflexivität sowie Übergang von der Strukturierung zur Prozesssteuerung).

In einem weiteren Projekt ging es um das technische und organisatorische **Schnittstellenmanagement** eines größeren Umfangs im Automobil.

- Obwohl es sich um eine Großserie mit starker Kostenfokussierung handelte, sind weder Varianten- noch Kosten- oder Verantwortungsstrukturen eindeutig ersichtlich. Selbst die Abgrenzung des betrachteten Umfangs ist nicht eindeutig möglich. Da es unmöglich erscheint, in solchen Großunternehmen transparente und vollständige Strukturen aufzuzeigen, sind vermutlich andere Ansätze anzustreben.
- Die variantenbezogene Kostenintransparenz bezieht sich auch auf Zulieferer und die Vergabe von Aufträgen. Es erscheint letzten Endes so, dass bestimmte Kosten als Ziel vorgegeben werden, deren tatsächliche Einhaltung aber nebensächlich ist. Zur Aufrechterhaltung der Wirtschaftlichkeit des Unternehmens wird der eigentliche Gewinn über stark überteuerte Sonderausstattungen erzielt.
- Die Analyse der Variantenstruktur zeigte, dass ein Großteil der Varianten (bezogen auf die Kosten) durch globale Unterschiede entsteht, die der Kunde nicht merkt. Die hohen Variantenzahlen, die in die Milliarden gehen, täuschen, da sie das mathematische Produkt unabhängiger Merkmale mit überschaubaren Varianten darstellen. Eine montageorientierte Optimierung der Varianten (z. B. Montagereihenfolge) ist wenig sinnvoll, wenn die ganze Montageanlage auf die Verarbeitung der Varianten ausgelegt ist.
- Ähnlich dem zuvor beschriebenen Projekt herrschten starre Abteilungsstrukturen vor, die im Wesentlichen ihre Umfänge betrachteten. Problematisch wurde dies, als diese

Strukturen den realen Umfang nicht adäquat abbilden konnten; Schnittstellen waren nicht definiert, die Kommunikation war (weil nicht vorgegeben) unzureichend und strukturelle Änderungen konnten von den Betroffenen nicht selbst vorgenommen werden. Auch hier zeigte sich die mangelnde Bereitschaft, sich selbst zu ändern. Letzten Endes lief es wieder darauf hinaus, dass das implizite Ziel war, die Unmöglichkeit einer Änderung (hier eines Baukastenansatzes) aufzuzeigen.

- Eine detaillierte Analyse zeigte Probleme wie z. B. mangelnde Strategien und Entscheidungen, Kapazitätsengpässe, unzureichend definierte Schnittstellen, mangelnde Transparenz, konzernübergreifende Kooperationen u. Ä. auf. Problematisch ist dabei, dass viele positive Kreisschlüsse existieren, die ein Eingreifen in das komplexe Netz von Phänomenen schwierig machen.
- Ein zentraler Umfang (Modulträger als Grundgerüst) wurde einerseits immer wieder von Anfang an entwickelt, andererseits sah er immer wieder konzeptionell gleich aus. Die evolutionäre Entwicklung wurde nicht berücksichtigt, d. h. es wurde weder untersucht, wo auf vorhandenen Prinzipien aufgebaut werden kann, noch betrachtet, welche impliziten Annahmen überdacht werden sollten.
- Viele Maßnahmen zum Baukasten scheiterten an der Dominanz des Designs des betrachteten Umfangs (Differenzierungen, Schnittstellen, strukturelle Unterschiede etc.).
- Kleinere, offensichtliche Maßnahmen scheiterten daran, dass einfache manuelle Tätigkeiten im Produkt vorzusehen sind, um gesetzliche Vorschriften in Bezug auf behindertengerechte Arbeiten zu erfüllen. Dies soll nicht diesen sozial sinnvollen Ansatz kritisieren, wird aber problematisch, wenn es nicht ganzheitlich bewertet werden kann.

Neben der Transparenz mangelte es hier vor allem an dem Bewusstsein für eigenverantwortliches Handeln sowie der Bereitschaft zu Flexibilität. Darüber hinaus fehlte eine Krise, die radikale Änderungen notwendig gemacht hätte.

Diese „Krise“ existierte in einem anderen Projekt des gleichen Unternehmens, bei dem es ebenfalls um die Einführung einer **Baukastenstrategie** ging: Hier war die notwendige Entwicklung mehrerer Projekte kapazitiv nicht mehr möglich, sodass über einen Baukasten Synergieeffekte erzielt werden mussten.

- Die Wirtschaftlichkeit des Baukastens wurde zwar abgeschätzt, war aber scheinbar nicht das offensichtliche Kriterium für den Baukasten. Wichtiger schienen hier ein Treiber, eine Vision und eine Entscheidung für den Baukasten zu sein, sodass sich Mitarbeiter und Zulieferer darauf konzentrieren konnten (Kontingenzschließung). In der gleichen Weise waren Verantwortliche klar benannt.
- Es wurde nicht nach einer technischen Lösung des Baukastens gesucht; vielmehr wurde ein Prozess angestoßen (Strukturierung/Prozesssteuerung), der Zulieferer einerseits zwang, unterschiedliche Projekte zu bedienen und Komponenten anderer Lieferanten flexibel einbinden zu können, der andererseits Zulieferern aber auch ermöglichte, höhere Stückzahlen ihres Umfangs abzusetzen.

Neben der Krise schienen hier die klaren Vorgaben im Sinne der Kontingenzschließung der Erfolg versprechende Ansatz zu sein.

Im gleichen Projekt wurden auch allgemeine Maßnahmen zur **Qualitätssicherung** nach DIN ISO 9000 angegangen, die im Wesentlichen auf geregelte Prozesse und deren Dokumentation, z. B. durch Arbeitsanweisungen oder im „Führungskräfteordner", abzielen.

- Die Prozesssteuerung funktioniert in diesem Fall nicht, da die Prozesse in der Entwicklung nicht formalisierbar sind; Qualitätsmanagementmaßnahmen konzentrieren sich somit auf administrative Sekundäraktivitäten und nicht auf die Funktion der Abteilung. Des Weiteren unterstützten die definierten Prozesse nicht die Kommunikation in der Abteilung und erst recht nicht abteilungsübergreifend.
- Es finden kaum Bezüge zur Organisation oder Ansätze zur Umstrukturierung aus dem Qualitätsmanagement heraus statt (Strukturierung); ebenso mangelt es an einem kritischen Hinterfragen, wozu solche Ansätze wirklich gut sind (Reflexion); dem ist jedoch entgegenzuhalten, dass durch den Zwang zu Qualitätsmanagementmaßnahmen (Zertifizierung etc.) zumindest erste Ansätze zur Prozessoptimierung angedacht werden.

Es ist festzuhalten, dass viele Ansätze zum Qualitätsmanagement in der Entwicklung rein formellen Charakter haben und kaum zu einer praktischen Prozessoptimierung beitragen.

Ähnlich sind datenbankbasierte Wissensmanagement- oder **Dokumentationsansätze** zu betrachten. Der Aufbau solcher Systeme (zur Speicherung von Innovationen und Ideen und zur Strukturierung eines Lastenheftes) stellt das geringere Problem dar. Die Schwierigkeit besteht darin, diese so zu implementieren, dass sie entweder im Tagesgeschäft Verwendung finden oder zur Kommunikation zwischen den Beteiligten beitragen. Andere Ansätze, die ohnehin vorhandene Dokumente ersetzen oder zur direkten Dokumentation z. B. mit Zulieferern dienen, erscheinen hier Erfolg versprechender. Beispiele sind ein Protokollsystem (AMBROSY 1996) oder ein Projektstatus (s. Anhang 7).

Ein weiteres Projekt, in dem es um die frühzeitige **Planung von Baukastenumfängen** in der Automobilentwicklung geht, fokussiert direkt auf die Zusammenarbeit und die Integration der unterschiedlichen Abteilungen, anstatt technische Lösungen zu suchen. Problem ist hier interessanterweise, dass das Interesse der einzelnen Fachabteilungen nicht auf einem Baukasten liegt, sondern sie lieber optimierte Neuentwicklungen durchführen. Das Bewusstsein für die Vorteile oder die generellen Prinzipien und Möglichkeiten eines Baukastens fehlte in diesem Projekt, ebenso wie die Transparenz der Kosten, Varianten etc.

In einem weiteren Projekt wurde eine **Schnittstelle** zwischen einem CAD- und einem PDM-System entwickelt. Ziel war es, Schnittstellen im Produkt, in diesem Fall Toleranzen im Karosseriebau, zu dokumentieren. Das Projekt zeigte, dass technische Schnittstellen bisher nur bedingt betrachtet werden, hier jedoch ein großer Bedarf besteht.

Es ist eher spekulativ, dass fremd finanzierte Projekte aufgrund der mangelnden Kommunikation mit Geld und damit mangelnden Interesses weniger erfolgreich verlaufen.

Zusammenfassend kann man festhalten, dass

- generell keine Kostentransparenz existiert; gleiches gilt für Varianten etc.;
- kaum Bereitschaft zu Veränderungen oder generell Flexibilität vorhanden ist,
- die Kommunikation zwischen Unternehmenseinheiten mangelhaft ist und sowohl technische als auch organisatorische Schnittstellen zu wenig berücksichtigt werden,
- Verantwortungen nicht eindeutig festgelegt sind und somit Entscheidungen nicht rechtzeitig getroffen werden.

Aus systemtheoretischer Sicht sind also folgende Einstellungen problematisch:

- Kosten werden häufig als absolute Werte angesehen. Geld muss gespart werden oder zumindest wird als oberstes Ziel das Geldverdienen angesehen. Dies geht langfristig nicht, da es sich lediglich um ein Kommunikationsmedium handelt. Die Fokussierung auf Geld ist zwar an sich richtig, wird jedoch problematisch, wenn die entsprechenden Strukturen und Prozesse ein Unterlaufen der Kommunikationsfunktion erlauben.
- Strukturen und Prozesse werden ebenfalls als starre Gegebenheiten angesehen. Dass sie selbst einer Entwicklung unterliegen, wird dabei häufig vergessen. Gleichzeitig werden die Nachteile von Strukturen und geregelten Prozessen häufig in den Vordergrund gerückt, dabei bleibt unberücksichtigt, dass eben diese Strukturen die emergenten Eigenschaften, wie die Erstellung eines wirtschaftlichen Produkts, ermöglichen.
- Bei komplexen Produkten scheint der Glaube vorzuherrschen, es gebe eine Person oder Stelle, die das Gesamtprodukt oder den Gesamtprozess überblickt und kontrolliert. Dagegen entwickeln sich Produkte aus der Interaktion einer Vielzahl von Beteiligten, die alle eine Funktion in diesem Prozess einnehmen; die Spitze einer hierarchischen Organisation nimmt eine andere Aufgabe ein als die vollständige Regelung.

Grundsätzlich kann man festhalten, dass das strukturierte „Heile-Welt-Bild“ der Produktentwicklung aus Hochglanzprospekten eine Illusion ist und reale Produktentwicklung einen chaotischen Prozess darstellt, bei dem es manchmal verwundert, dass am Ende ein funktionsfähiges Produkt herauskommt. Unternehmen vermuten diese heile Welt immer in einer anderen Branche (z. B. Luftfahrtindustrie vs. Automobilindustrie). Letzten Endes kämpfen aber alle mit den gleichen oder ähnlichen Problemen.[1]

Dies alles soll die Leistung der Produktentwicklung in keiner Weise schmälern; es soll lediglich das Bewusstsein dafür öffnen, dass Optimierungsansätze auf einer anderen Ebene angreifen müssen, mutmaßlich auf der soziologischen Ebene, die durch Unbestimmtheit charakterisiert ist. Um die vorgestellten Beobachtungen zu interpretieren, ist es notwendig, die neue systemtheoretische Auffassung der Produktentwicklung zu beschreiben.

---

[1] und könnten durch eine Zusammenarbeit auf Prozess- und Methodenebene voneinander profitieren – im Sinne einer systemtheoretischen branchenübergreifenden Interdisziplinarität; s. a. Benchmarking

4.4 Anwendung der Systemtheorie – Interpretation und Optimierung der Produktentwicklung

Produktentwicklung ist ein sozialer Prozess, der nicht vollständig kontrolliert werden kann und in dem nicht alle Elemente mit allen anderen Elementen verknüpft werden können.

Diese Sichtweise setzt sich von individuellen Konstruktionsaufgaben und Arbeiten im Team mit einem gemeinsamen Verständnis ab (Bild 18).[1]

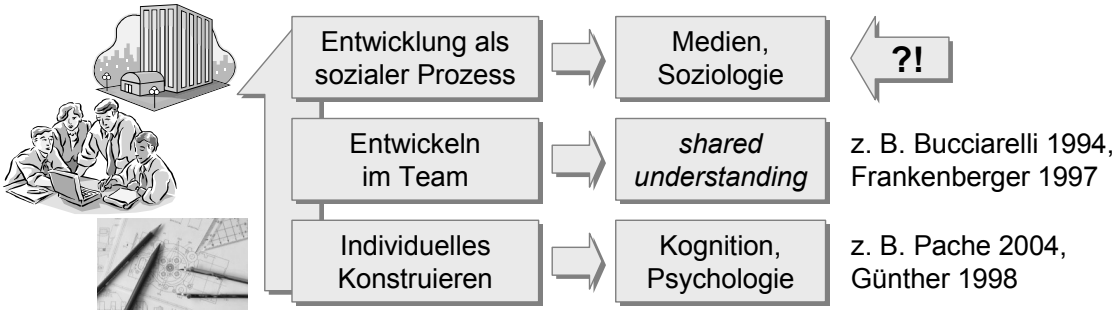


Bild 18: Ebenen in der Produktentwicklung

Diese systemtheoretische prozessorientierte Auffassung ist nochmals in Bild 19 dargestellt. Der grundlegende Gedanke ist, die unterschiedlichen Umfänge des Produkts als Elemente (oder sogar Populationen) des sozialen „Systems“ oder „Ökosystems“ Produkt aufzufassen, die durch Menschen und Abteilungen vertreten werden und die Interessen bezüglich des Bauraums etc. verfolgen. Durch die von Konflikten[2] geprägte Interaktion im sozialen Prozess der Produktentwicklung entsteht schließlich das gesamte Produkt.

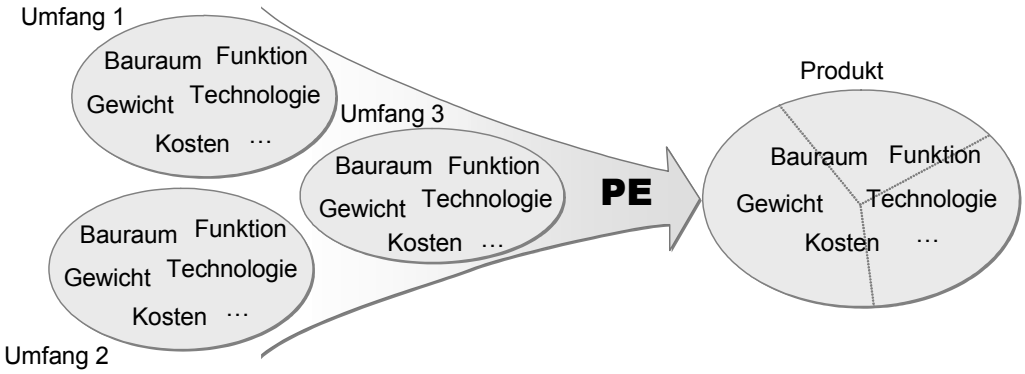


Bild 19: Produktentwicklung als sozialer Prozess (Umfänge vertreten durch Personen/Abteilungen, die wirklich ein soziales System bilden)

[1] die natürlich, auf einer anderen Ebene, durchaus ihre Berechtigung haben

[2] Der Begriff „Konflikt“ muss dabei kein gravierendes Problem darstellen; er verdeutlicht nur, dass die Vertreter unterschiedlicher Umfänge unterschiedliche Interessen haben und unterschiedliche Ziele verfolgen.

Aufgabe der integrierten Produktentwicklung ist die Lösung und Abstimmung dieser Interessenskonflikte. Die Objekte und Umfänge, die durch die Kommunikation abzugleichen sind, sind sowohl konkrete Baugruppen als auch praktisch alle Eigenschaften, die das Produkt beschreiben. Hierzu zählen insbesondere Funktion, Bauraum und Geometrie, Gewicht, Kosten, Bedienung, Design, Werkstoffe etc. Die Umfänge werden als *Systeme* des Produkts aufgefasst.

Design wird also als ein offener, kultureller und sozialer Prozess aufgefasst, der evolutionär „von selbst" abläuft und einer ständigen Anpassung von Systemen an die Umwelt sowie einer ständigen Komplexitätsverarbeitung entspricht. Da nicht alle Elemente miteinander verknüpft werden können, ist keine Transparenz möglich, sondern es sind bestimmte Medien (z. B. Entscheidungen) notwendig, um Anschlusshandlungen zu ermöglichen.

Schwerpunkte der folgenden Betrachtungen sind der evolutionäre Entwicklungsprozess, die Kommunikation in der Produktentwicklung, die Bedeutung von Methoden sowie organisatorische Betrachtungen.

4.4.1 Systemtheoretische Produktentwicklung

4.4.1.1 Funktionen und Systeme

Unter Funktion wird die „lösungsneutrale Formulierung des gewollten […] Zwecks eines technischen Gebildes" verstanden (EHRLENSPIEL 1995, S. 638)[1]. Sie dient dazu, Denkblockaden und Lösungsfixierungen aufzuheben. Eine Funktionsmodellierung (Funktionsanalyse, Funktionsstrukturierung – z. B. AKIYAMA 1994) stellt dabei letztendlich nur eine andere Sichtweise auf das Produkt dar, die die Kunden- oder Anwendersicht und die Bedeutung des Produkts repräsentiert, während die baugruppenorientierte Sicht sich auf die technische Entwicklung und die Produktion bezieht. Nichtsdestoweniger sind Produkt und Funktion untrennbar miteinander verknüpft, da

- zwar die Funktion unterstützt und gewünscht wird, Kunden jedoch auf das Produkt fokussieren (ähnlich einem Medium),
- Produkte eine Vielzahl von Funktionen übernehmen,
- viele (Unter-)Funktionen sich erst durch die Existenz des Produkts ergeben.

Die Frage, ob Funktion oder Produkt an erster Stelle steht, ist somit irrelevant. Aus der systemtheoretischen Betrachtung des Funktionsbegriffs ergeben sich unterschiedliche Handlungsanleitungen (PULM & LINDEMANN 2001):

- Bauteil- und Funktionshierarchie sind parallel aufzubauen und zu detaillieren.

[1] Im Englischen wird hier unterschieden zwischen „functioning" (Operationsweise) und „function" (Zweck).

- Die Funktionshierarchie geht über vom lösungsneutralen Zweck (an der Spitze) zur lösungsspezifischen Funktionsweise (in den Ästen).
- Im Sinne der Handlungs- und Prozessorientierung ist nicht das Ergebnis der Funktionsanalyse, d. h. die Funktionsstruktur entscheidend, sondern eben der Prozess der Abstraktion und Strukturierung, der durch die intensive Beschäftigung mit dessen Zweck zu einem tieferen Verständnis des Produkts führt.
- Dies impliziert, dass ein eindeutiger (z. B. computergestützter) Übergang von Funktionsstruktur zur Baustruktur nicht sinnvoll erscheint und dass es viel mehr um ein Funktionsdenken als eine Erfüllung der formalen Funktionsstrukturierung geht.
- Funktionen können wie Baugruppen behandelt und spezifiziert oder variiert werden.

Im Vergleich entspricht die Funktionsstruktur der Konstruktionsmethodik dem strukturell-funktionalen[1] Ansatz der Systemtheorie. Der funktional-strukturelle[2] Ansatz ist in dem Schritt der Prinziplösung, der systemfunktionale[3] Ansatz in der Produktplanung beinhaltet; der funktional-genetische Ansatz findet sich in Evolutionsstrategien, die Selbstreferenz in ersten Ansätzen selbstoptimierender Systeme (z. B. GAUSEMEIER 2002). Die letzten Aspekte betrachten die „Funktion“ aber nur noch bedingt.

So wie Funktionen und Baugruppen nur Sichten auf das Produkt darstellen, existieren weitere Sichten wie die Anforderungen (zielgerichtete Sicht) oder die Sicht unterschiedlicher Disziplinen. Problematisch ist die ausschließende Klassifizierung durch diese Sichtweisen und die damit verbundenen starren Hierarchien. Hier schaffen „Systeme“ Abhilfe:

Systeme sind beliebig im Produkt abgegrenzte Umfänge, die in Bezug zu anderen Systemen stehen und sich mit anderen Systemen über deren Elemente überschneiden können.

In einem ersten Schritt können Systeme als Verbindung von Bauteilen und Funktionen aufgefasst werden (Bild 20), letztendlich stellen sie jedoch keine Bindeglied als vielmehr eine andere Sicht auf das Produkt dar.

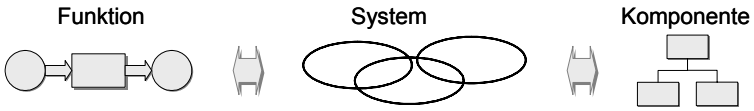


Bild 20: System als Verbindung von Funktion und Komponente

So erfüllt in einem Fahrzeug z. B. das Bremssystem neben der Hauptfunktion Bremsen eine Vielzahl anderer Funktionen und besteht aus einer Vielzahl, nicht eindeutig abgrenzbarer Bauteile. Im zweiten Schritt können Systeme beliebig anforderungs-, funktions-,

[1] Frage nach den Funktionen zur Erhaltung einer gegebenen Struktur

[2] Frage nach den Strukturen, die die Funktion des Systems ermöglichen

[3] Struktur passt sich den Umweltbedingungen an

bauteil- oder disziplinenübergreifend definiert werden, z. B. Designsystem, Gewichtssystem, Elektroniksystem, Lüftungssystem, Metallsystem, Tragsystem etc. (Bild 21). Die Betrachtung von Systemen schließt nicht die Betrachtung konkreter Baugruppen, Funktionen etc. aus, die nicht mehr als eine sehr konkrete Systemabgrenzung darstellen.

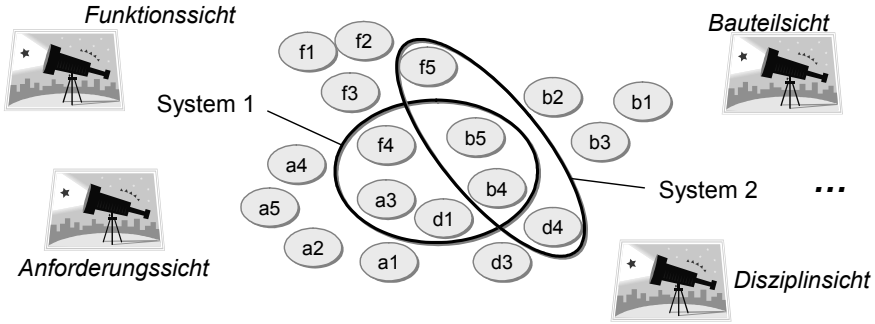


Bild 21: Systeme in der Produktentwicklung (f = Funktion, b = Bauteil, a = Anforderung, d = Disziplin)

Vorteile dieser Denkweise sind, dass

- Systeme beliebig miteinander verknüpft (und verschachtelt) werden können,
- vorhandene Strukturen ständig hinterfragt und neu gebildet werden können,
- Schnittstellen, die ebenfalls explizit als Systeme betrachtet werden, eindeutig definiert werden können,
- Inkonsistenzen in den Strukturen irrelevant werden und
- Verantwortlichkeiten eindeutig zugeordnet werden können.

Das Systemdenken führt dabei zu einigen Fragen, die man sich im Entwicklungsprozess als Systemverantwortlicher zu stellen hat:

- Welche Systeme (Bauteile, Funktionen, Schnittstellen) gehören zu meinem System?
- Zu welchen Systemen gehört mein Umfang (z. B. Elektronik, Bauraum, Klima)?
- Wie grenzt sich der Umfang im Gesamtsystem ab? Ist eine andere Abgrenzung sinnvoll oder notwendig (z. B. Cockpit, Karosserie, Motorraum)?
- Über welche Bezugspunkte definiert sich mein Umfang (Funktion, Technik)?
- Welche Randbedingungen stelle ich für andere Umfänge dar (z. B. Bauraum)?
- Wie betrachten mich andere Systeme (Bauraum, Funktion, Anforderungen)?
- Wie kann ich mein System gestalten, damit es in das Gesamtsystem passt (anstatt Vorgaben zu machen - z. B. Einpassen einer Klimaanlage)?
- Wie kann ich die Komplexität erhalten, um auf sich verändernde Randbedingungen zu reagieren (Varianten, Baukasten, Prozesse etc.)?
- Entspricht eine Optimierung oder das Interesse des eigenen Systems auch der Optimierung oder dem Interesse des Gesamtsystems (Platzbedarf, Kosten, Standardisierung)?
- Wie kann ich mit anderen Systemen kommunizieren (Inhalt, Medien, Stofffluss etc.)?

Diese Betrachtung hat Auswirkungen auf den Entwicklungsprozess, der sich u. a. an den Systementstehungsstufen orientiert.

4.4.1.2 Entwicklungsprozess – Evolutionäre Produktentwicklung

Der hier betrachtete Entwicklungsprozess sowohl von Produkten als auch von Methoden (s. u.) geht davon aus, dass es sich um einen kontinuierlichen Prozess handelt, der nur im Auge des Betrachters als abgegrenzte Einheit erscheint.

Im Bereich des Problemlösens allgemein, der Prozessoptimierung, der Methodik etc. lässt sich das Fehlen einer endgültigen Lösung dadurch erklären, dass es sich bei diesen Prozessen um eine ständige Optimierung und Anpassung der Ressourcen des Gesamtsystems handelt.[1] Der Gegensatz von Ressourcennutzung und Problemdenken lässt sich so formulieren, dass das Problem nicht das Finden *einer* Lösung, sondern der *besten* Lösung ist.

Sieht man Produkte als Ergebnis eines kulturellen Prozesses, wird klar, dass sämtliche Innovationen auf existierenden Lösungen basieren. Dies allgemein nachzuweisen, gestaltet sich schwierig;[2] jedoch lassen sich im Umkehrschluss für jedes Produkt Vorgängerprodukte finden und es lässt sich erklären, wie die Entwicklungsgeschichte, d. h. die bruchlose Phylogenese des Produkts aussieht.

FRENCH (1988) führt weitere Gründe auf, warum erfolgreiche Produkte aus einer kontinuierlichen Weiterentwicklung von Produkten hervorgegangen sind:

- Für ein herausragendes technisches Produkt ist es notwendig, dass man zuvor durch die stufenartige Entwicklung etwas über das Produkt gelernt hat.
- Der Markt und die Nachfrage hoch entwickelter, technischer Produkte muss erst durch einfachere Produkte geschaffen werden.

Akzeptiert man den Prozess der kontinuierlichen Weiterentwicklung von Produkten ergeben sich für die Produktentwicklung folgende Handlungsanleitungen und Prozessmuster.

Die Vision oder Idee eines Produkts und deren Aufrechterhalten sind wesentlich, um die Vielzahl der Beteiligten in eine Richtung zu bewegen.[3]

Des Weiteren:

- Obwohl funktionsfähige und vermarktbare Produkte zu entwickeln sind, ist es weniger entscheidend, eine perfekte Lösung zu entwickeln, als die ersten Schritte einzuleiten.

---

[1] In der Produktentwicklung oder der Produktion führt dies z. B. auch zu Maßnahmen der Komplexitätsreduktion, die am eigentlichen „Problem“ vorbei führen (z. B. Reduktion von Stellfläche am Band, während andere Flächen ungenutzt bleiben).

[2] im Sinne der Wissenschaftstheorie handelt es sich hier um eine bisher nicht falsifizierte Allaussage

[3] s. Beobachtung in der Praxis (Idee eines Baukastens) sowie das Beispiel eines Permanentmagneten

Ist das Ziel klar (z. B. ein Baukasten), ist zu klären, was der erste Schritt zur Verwirklichung ist und warum bisher diese Lösung noch nicht verwirklicht wurde.

- Die Rekapitulation der Phylogenese durch die Ontogenese kann auch auf die Produktentwicklung übertragen werden; die Entwicklung eines neuen Produkts folgt dementsprechend der Entwicklung des Produkttyps. Hierbei gilt z. B.
  - Die Entwicklung des neuen Produkts sollte bei der Komponente, die das Produkt charakterisiert[1], beginnen.
  - Varianten sind so zu priorisieren und zu gestalten, wie sie in der Entwicklungsgeschichte des Produkts aufgetaucht sind. Dabei sind auch Trends und S-Kurven der Variantenentstehung zu berücksichtigen (z. B. Zunahme an Elektronik).
  - Disziplinen sind derart einzubinden, wie sie in der Entstehungsgeschichte des Produkts integriert wurden (z. B. erst Mechanik, dann Elektronik, dann Software).
- Da davon ausgegangen wird, dass das Produkt auf Basis von Vorgängerprodukten[2] evolutionär entwickelt wird, ist klar zu benennen, was verändert, integriert oder differenziert, weggelassen oder hinzugefügt etc. wird. Jeder neue Umfang muss dementsprechend funktional und wirtschaftlich durch die entsprechende Abteilung begründet werden. Dies soll nicht zu einer Differenzierung in Neu-, Anpass- oder Variantenkonstruktion führen, sondern ein Bewusstsein für den evolutionären Prozess schaffen.
- Offensichtliche Entwicklungen, die z. B. aus der bisherigen Phylogenese abgeleitet werden können, sind zu forcieren. Dabei ist insbesondere auch in anderen Disziplinen und Branchen nach dortigen Trends und Standards zu schauen. Das meiste existiert bereits und muss im betrachteten System nicht komplett neu erfunden werden.
- Nach außen hin sind klare, standardisierte Vorgaben zu geben (geringe Komplexität), um anderen Abteilungen zu ermöglichen, ihre Umfänge anzupassen. Nach innen sind Alternativen und Varianten aufrechtzuerhalten (hohe Komplexität), um auf sich ändernde Bedingungen reagieren zu können. Dies entspricht divergenten und konvergenten Prozessen[3] in der Produktentwicklung (Bild 22, s. a. Bild 19).
- Schnittstellen zwischen Bauteilen und entsprechend in der Organisation sind explizit zu beschreiben und zu standardisieren. Schnittstellen sind darüber hinaus als Systeme genauso wie Bauteile zu behandeln (Konstruktion, Dokumentation etc.). Ein geeignetes Schnittstellenmanagement behebt viele Probleme großer Variantenvielfalt.
- Die Kommunikation zwischen den Beteiligten ist durch geeignete formelle und informelle Maßnahmen zu optimieren. Dabei kommt es wirklich auf die Kommunikation

---

[1] beim Auto einerseits die Karosserie („Kutsche“), andererseits der Motor, der das Automobil charakterisiert

[2] NEIROP et al. (1997) haben z. B. am Beispiel von Fahrrädern nachgezogen, dass Produkte vollkommen auf Vorgängern aufbauen, ähnlich wie es MERTON (1993) für die Wissenschaft gezeigt hat

[3] Auf Divergenz und Konvergenz verweisen auch BROADBENT & CROSS (2002), jedoch sind dessen Beispiele kritisch zu hinterfragen; des Weiteren gehen sie kaum auf das Zusammenspiel dieser Prinzipien ein.

und nicht das Verfügbarmachen aller Informationen an. Insbesondere technologische und technische Lösungen und Prinzipien sind zu kommunizieren.

- Um die Entwicklung voranzutreiben und sowohl Handlungsfähigkeit als auch einen Bezugspunkt zu erhalten, sind Entscheidungen von besonderer Bedeutung. Aus diesem Blickwinkel sind Entscheidungen somit eher frühzeitig zu treffen, auch wenn sie später wieder geändert werden. Ohne Entscheidungen als Grundlage sind Entwicklungsmaßnahmen häufig ineffizient (s. u.).
- Eine praktische Maßnahme, die sich unbewusst immer mehr in der Industrie durchsetzt bzw. dort gefordert wird, ist, die Entwicklung (ausschließlich) anhand von Prototypen zu steuern, die im Laufe der Entwicklung optimiert werden und als zentrales Referenzobjekt dienen.
- Es ist genau zu untersuchen, ob Maßnahmen und Methoden zur Komplexitätsreduktion die Komplexität wirklich beherrschbarer machen oder den Umgang mit Komplexität sogar erschweren, indem z. B. durch Klassifikations- und Dokumentationsmaßnahmen nicht handhabbare Strukturen entstehen (z. B. wenn die Komplexität unnötig reduziert wird und trotzdem nur bedingt abgebildet werden kann, obwohl eine komplette Transparenz nicht notwendig wäre).

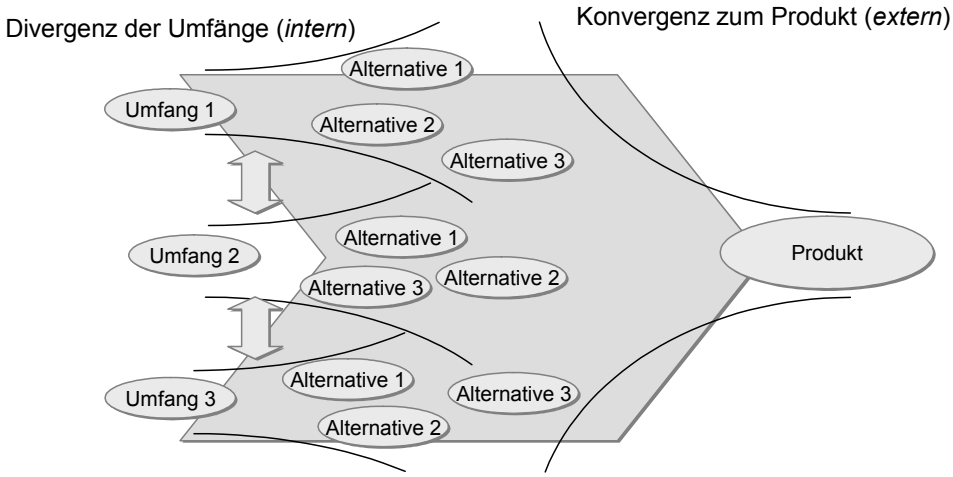


Bild 22: Divergenz und Konvergenz in der Produktentwicklung

Die Systementstehungsstufen und Prinzipien der Systemtheorie lassen sich auch als Vorgehensmodell auffassen. Tabelle 22 verdeutlicht dies für die Entwicklung der Produktentwicklung als Unternehmensfunktion und für die konkrete Produktentwicklung selbst.

Tabelle 22: Produktentwicklung anhand der Systementstehungsstufen

Funktionen	**Prinzip**	**Produktentwicklung als**	
		Unternehmensfunktion	**konkretes Projekt**
Grenzbildung	Differenz	Bestimmung des Produkttyps (z. B. Auto)	
	Zentralisierung	Vermittlung einer gemeinsamen Vision (für das Unternehmen oder das Produkt)	

Funktionen	Prinzip	Produktentwicklung als	
		Unternehmensfunktion	**konkretes Projekt**
Ressourcen-gewinnung	Spezialisierung	Festlegung des Differenzierungsmerkmals (des Unternehmens oder des Produkts)	
	Kontingenzschließung	Festlegen, welche Ziele nicht verfolgt werden (Zielkonflikte) oder was das Unternehmen nicht entwickelt	
Strukturierung	Doppelte Kontingenzschließung	Festlegung der wesentlichen Aufgaben, Beteiligten, Verantwortlichkeiten, organisatorischen Schnittstellen etc.	Festlegen der wesentlichen Komponenten, Varianten, Funktionen, technischen Schnittstellen etc.
	Strukturierung		
Prozess-steuerung	Prozesssteuerung	Festlegung der Entwicklungsprozesse	Parametrisierung von Entwicklungsumfängen
	Kommunikation	Festlegung der notwendigen Kommunikation (Inhalt, Medien etc.) im Unternehmen	Festlegung der Umsatzflüsse im Produkt (z. B. auch Bussystem etc.)
	Zeitbezug	Betrachtung der Weiterentwicklung der Produktentwicklung (Werkzeuge, neue Umfänge etc.)	Betrachtung der Weiterentwicklung des Produkts (z. B. Baukasten, Upgrading etc.)
Reflexion	Reflexivität	Identifikation der eigenen „Aufgabe“, Wahrnehmen der eigenen Position, Gestalten des Marktes (Aufgaben des Marketing in der Produktentwicklung)	Reflexivität des Produkts, z. B. durch Diagnosesysteme, automatische Wartung etc.
	(Subjektivität)		
Genese	Evolution	Übergang zum Multiprojektmanagement etc.	Entwicklung neuer Projekte und Produktgenerationen
	Pluralismus	Verfolgung unterschiedlicher Entwicklungsstrategien	Entwicklung eines Produktspektrums
Übergeordnete Prinzipien	Selbstähnlichkeit	Gestaltung des Marktes/des Unternehmens	Entwicklung ganzer Fabriken (mit Umsatzprodukt: Produkt)
	Emergenz		
	Unvollständigkeit	Dynamisierung der Unternehmensorganisation	Offenhalten von Freiräumen im Produkt
	Unbestimmtheit		

Für alle Entwicklungen anwendbar ist dieser Prozess vereinfacht in Bild 23 dargestellt.

Bild 23: Allgemeiner systemtheoretischer Entwicklungsprozess

Ein Problem der evolutionären oder bezugsorientierten Produktentwicklung ist, dass ein Produkt theoretisch niemals fertig wird, da immer Verbesserungen möglich sind. Somit ist dieser Prozess parallel und verknüpft zu einzelnen Produktentwicklungen zu betrachten.

4.4.1.3 Innovation

Die immer mögliche Rückführung von Produkten auf Vorgängerprodukte widerspricht nicht der Tatsache, dass Produkte ein gewisses Maß an Innovation aufweisen, das für den technischen Fortschritt auch notwendig ist. Im Gegenteil, gerade das bewusste Auseinandersetzen mit der kontinuierlichen, *kulturellen* Weiterentwicklung von Produkten soll ein

neues Innovationsverständnis bilden, das sich qualitativ von der Annahme, Innovationen entstünden aus dem Nichts, abhebt. „Revolutionen“ stellen lediglich einen umfangreicheren Teil eines evolutionären Prozesses dar.

Die existierenden Kreativitätstechniken[1] zeichnen sich letztendlich durch freies Denken und Assoziieren, (Um-)Strukturieren, Bilden von Analogien u. Ä. aus und greifen somit ebenfalls, jedoch z. T. unbewusst auf Existentes zurück. Ohne zu tief einzusteigen, können als Quellen systematischer Innovation u. a. folgende Aspekte herangezogen werden:

- Welche Lösungen existieren in anderen Branchen (Automobil, Luftfahrt, Werkzeugmaschinen), in anderen technischen Disziplinen (Maschinenbau, Bauingenieurwesen, Elektrotechnik etc.), in anderen Disziplinen (Architektur, Medizin, Chemie etc.) oder in anderen Funktionssystemen (Kunst, Wirtschaft, Politik etc.)? Insbesondere der Rückgriff auf die Kunst (Literatur, Science Fiction u. Ä.) erscheint zwar nicht wissenschaftlich, birgt aber ein großes, bisher ungenutztes Potenzial für Innovationen.
- Welche Lösungen oder Produkte können miteinander kombiniert werden (siehe z. B. Handy, Kamera und MP3-Player oder Dach und Solaranlage etc.)?
- Welche Entwicklung haben die Produkte in der Vergangenheit durchgemacht? Lässt sich diese Entwicklung in die Zukunft extrapolieren? Welche Entwicklungen sind offensichtlich? Wie sieht das Produkt aus, wenn technologisch alle Möglichkeiten offen stehen? Wie sieht das Produkt in 10, 50, 100 etc. Jahren aus?

Diese Fragen zur Unterstützung der Kreativität werden ergänzt durch die explizite Betrachtung des Produktzwecks. Betrachtet man erfolgreiche Produkte, so zeigt sich, dass diese einer Systemfunktion zugeordnet werden können. Unter „erfolgreich“ werden in diesem Zusammenhang Produkte verstanden, die das gesellschaftliche Bild wesentlich prägen, wie z. B. das Auto, das Internet, Handys etc. Diese Produkte lassen sich der Systemfunktion der Kommunikation zuordnen, die aktuell am stärksten ausgeprägt zu sein scheint. In der Vergangenheit ähnlich erfolgreich sind Waffentechnik (Grenzbildung), klassische Haushaltsgeräte wie Kühlschrank, Herd etc. (Ressourcengewinnung) sowie spezielle handwerkliche und industrielle Werkzeuge (Strukturierung). Hieraus lässt sich ableiten:

Erfolgreiche Produkte adressieren eine bestimmte Systemfunktion (z. B. Kommunikation).

Es gilt nun, diese adressierte Systemfunktion explizit zu benennen, den Kommunikationsaspekt neuer oder bestehender Produkte zu betonen und in Zukunft verstärkt die Aspekte Reflexion[2] und Genese[3] zu beachten.

---

[1] Brainstorming, Methode 6-3-5, Osborn-Checkliste, Morphologischer Kasten, Synektik etc.

[2] vorstellbar wären z. B. Spielzeuge und Werkzeuge, die individuelle Reflexion, Identitätsbildung und Sinnfindung unterstützen

[3] vorstellbar wären Produkte, die die weitere Ausbreitung der Menschheit unterstützen (z. B. Raumfahrt)

Neben der schon oben angesprochenen ständigen Erweiterung des Produktspektrums sowohl in die Breite (Varianten) als auch in die Tiefe (Produktionsanlagen) ist auch eine den Systemfunktionen entsprechende Technologieerweiterung vorauszusehen. So wie aktuell der Kommunikations- und Prozesssteuerungsaspekt in Produkten fokussiert wird (zunehmende Elektronik und Software), sind **autopoietische**, **selbstreferenzielle** oder **reflexive Produkte** vorstellbar. Solche Produkte bilden ihre Bestandteile aus sich selbst heraus[1] und reagieren auf sich ändernde Umgebungseigenschaften. Erste Ansätze bestehen z. B. in lernenden und sich automatisch anpassenden Systemen, wie z. B. im Sonderforschungsbereich „Selbstoptimierende Systeme im Maschinenbau“ (GAUSEMEIER 2002).

Der Aspekt der Unvollständigkeit von Methoden führt schließlich noch zu einer besonderen Betrachtung von Fehlern, die in der Produktentwicklung stark diskutiert werden, z. B.:

- Im Rahmen der Bezugsorientierung dienen Fehler dem Erkenntnisgewinn und der Produktoptimierung durch das Erkennen der Fehler.
- Fehler sind im Sinne der Subjektivität häufig nur durch den Betrachter erkennbar.

Fehler besitzen somit auch eine hohe Bedeutung für Innovationen.

4.4.2 Kommunikation und Medien der Produktentwicklung

Betrachtet man Produktentwicklung als komplexes soziales System, drängt sich die Frage nach der Kommunikation auf, d. h. ob dort spezielle Medien existieren. Dabei sind der „globale“ Prozess des technischen Fortschritts und die einzelne Produktentwicklung – obwohl eng vernetzt – zu unterscheiden (Tabelle 23).

Tabelle 23: Kommunikationstheorie der Produktentwicklung und der „Technologie“

System	Funktion	Medium (Träger)	Handlung	Objekt	Selektions-kriterium	Programm (Regler)
Techno-logie	Effizienz, Überlebens-fähigkeit	Technologie, Ent-scheidung, Erfin-dung, Produkt	Erfindung, Entscheidung, Entwicklung	Idee, Erfindung	Effizient, nützlich, unterhaltend	Technologisches Paradigma, Innovation, Markt
Produkt-entwick-lung	Fortschritt, Funktions-erfüllung	Entscheidung, Methode, Modell, Repräsentation	Konstruktion, Darstellung, Entscheidung	Ideen, Metho-de, Funktion, Bauraum	Innovativ, wirtschaftlich, funktionsfähig	Innovation, Vision, Markt, Effizienz, Me-thode, Entscheidung

Wesentliches Medium des **technischen Fortschritts** oder der **Technologie** als eigenes Funktionssystem sind technische Prinzipien und Technologien[2] sowie Ideen und Innovationen, die über die Handlung der Erfindung miteinander kombiniert werden und die Grund-

[1] Ein Ansatz wäre zum Beispiel ein Mechanismus, der aus einem Code, ähnlich dem Gencode, selbst eine bestimmte Form schafft.

[2] Von daher wäre eine gute Grundlage für die Entwicklung eine Sammlung (Datenbank, Ausbildung) technischer Prinzipien auf der Ebene von z. B. Getriebemechanismen. Physikalische Prinzipien, wie sie dagegen in der Konstruktionsmethodik verwendet werden, scheinen hier zum Teil zu abstrakt zu sein.

lage für weitere Erfindungen oder Technologien bilden. Dabei werden sowohl unterschiedliche Tätigkeiten als auch die Entwicklung unterschiedlicher Produkte durch eine Vielzahl von Produkten selbst unterstützt. Hier besteht ein enger Zusammenhang von Produktentwicklung und Produktion.[1] Als Regler fungiert im Wesentlichen der Markt, sodass eine enge Verknüpfung mit dem Medium Geld existiert; allerdings spielen auch andere Medien eine Rolle, wie z. B. Macht hinsichtlich der bedeutenden Rolle der Rüstungsindustrie für den technischen Fortschritt. LEWENS (2004, s. o.) weist detailliert auf die Vielzahl vernetzter „Medien", die er nicht so nennt, und den evolutionären Prozess, ohne Berücksichtigung von Systemtheorie oder sozialer Funktion, hin.

In der einzelnen Produktentwicklung findet die Kommunikation ebenfalls über eine Vielzahl von miteinander vernetzen Medien statt Es ist verlockend, Methoden oder Produktrepräsentationen[2] als solche Medien aufzufassen, jedoch muss detaillierter diskutiert werden, welche Bedeutung Methoden als Medien haben und welche Elemente der Produktentwicklung Medien darstellen können:

- Da ein gemeinsames Ziel, das funktionsfähige und wirtschaftliche Produkt, existiert und die Produktentwicklung zeitlich und räumlich nah beieinander stattfindet, ist das wichtigste Kommunikationsmedium immer noch die **Sprache** in der direkten oder über Telemedien ablaufenden Interaktion. Sie versagt bei unvereinbaren Interessenskonflikten und unterschiedlichen Modellierungssprachen oder Terminologien (z. B. elektrische vs. mechanische Funktionen).
- **Geld** spielt als symbolisch generalisiertes Medium *innerhalb* der Produktentwicklung auf den ersten Blick eine geringere Rolle. Die Kosten eines Umfangs stellen eine allgemeine Anforderung dar; das Budget einer Abteilung wird ihr nur unmittelbar als Gegenwert der erbrachten Leistung zugewiesen. Allgemein und insbesondere im Kontakt mit z. B. Zulieferern *ist* es jedoch ein Kommunikationsmedium. Die Kosten eines Umfangs sind kein Absolutwert im Sinne einer Eigenschaft dieses Umfangs, sondern ebenfalls (Einheit aus) Information, Mitteilung und Verstehen, die zu einer Entscheidung und damit Anschlusshandlung führen sollen, die das Ziel ist.

Geld ist auch in der Produktentwicklung nur ein Kommunikationsmedium, das nicht den absoluten Wert eines Umfangs wiedergibt. Deshalb treffen die Kosten nur bedingt zu und sind nicht transparent. Viel wichtiger: Transparenz ist – außer in sehr abgegrenzten Bereichen – auch nicht notwendig, da Geld eben als Medium dient, um der nicht möglichen Transparenz (Komplexität) zu begegnen.

---

[1] Produktentwicklung und Produktion sind dabei ein gutes Beispiel doppelter Kontingenzschließung, da sie sich gegenseitig die Möglichkeiten vergrößern. Produktion selbst ist ein Beispiel eines autopoietischen Systems, da die Produktionsmittel selbst mit Hilfe eben dieser Produktionsmittel produziert werden.

[2] Methoden können dabei generell auch als eine Art Produktrepräsentation aufgefasst werden.

- **Technologien** scheinen als Kommunikationsmedium *innerhalb* der einzelnen Produktentwicklung nur geringere Bedeutung zu besitzen. Hier sind eher technische Beschreibungen der **Schnittstellen** und vor allem **Modelle** (Skizzen, CAD etc.) zu nennen, die der Kommunikation sowohl zwischen unterschiedlichen Bereichen und Disziplinen als auch verschiedenen Bearbeitern dienen.
- WILLKE (2000b) sieht **Entscheidungen** als konstitutives Element von Unternehmen an, da diese sowohl durch Regeln gestützt getroffen werden als auch solche Regeln aufbauen; gleichzeitig stellen sie die Erwartung dar, die an Rollen gestellt werden, die wiederum von den Personen[1] des Unternehmens eingenommen werden. Entscheidungen können als Medien aufgefasst werden, da eine Konzentration auf sie möglich ist und durch die Entscheidung nicht „objektiv" abgleichbare Interessen miteinander verbunden werden können. Entscheidungen sind dabei mit dem Medium Macht verknüpft. Schwierig ist hier zu beurteilen, ob Entscheidungen möglichst früh oder möglichst spät zu treffen sind; der ideale Zeitpunkt ist situativ unter Berücksichtigung beider Aspekte zu suchen. Entscheidungen werden durch Methoden unterstützt.[2]

Entscheidungen sind einerseits früh zu treffen, um Handlungsoptionen zu finden oder Anschlusshandlungen zu ermöglichen, andererseits sind sie spät zu treffen, um Handlungsmöglichkeiten offen zu halten. Dies gilt sowohl intern (individuell) als auch extern (für die Gruppe). Aus diesem Widerspruch resultiert die Entscheidungsunfreudigkeit in der Praxis.[3]

Methoden können somit (als Produktrepräsentation, Sprache, Entscheidungsgrundlage etc.) selbst als Kommunikationsmedium angesehen werden, was näher zu diskutieren ist:

- Im Sinne der Handlungsoption kann die Tätigkeit z. T. vollkommen auf die Methode fokussiert werden, d. h. Zweck der Handlung muss nicht hinterfragt werden und die Handlung wird, bei akzeptierter Methode, als sinnvoll angesehen.
- Auch das Ergebnis der Methode (z. B. eine Entscheidung) wird generell akzeptiert, wenn die Methode generell akzeptiert ist (bei einer eindeutigen Bewertung durch die Nutzwertanalyse z. B. wird eine Entscheidung zur reinen Formsache).
- Eine Vielzahl von Methoden verknüpfen unterschiedliche Sichten, wie z. B. QFD die Kunden- und die Entwicklersicht, Funktionsstrukturierungen eine lösungsneutrale und

[1] Personen scheinen eigentlich das konstitutive Element von Unternehmen darzustellen. Dies ist in erster Instanz richtig, jedoch behält ein Unternehmen seinen Charakter auch nach (z. B. zeitbedingtem) Austausch des Personals. Daher sind es eher die Rollen, die die Personen einnehmen, und somit schließlich die Entscheidungen, die diese Rollen formen, die das Unternehmen repräsentieren.

[2] Auch hier wäre eine Datenbankunterstützung oder -dokumentation von Entscheidungen vorstellbar; das Protokollsystem IPAS kann z. B. dahingehend ausgebaut werden, alle Entscheidungen zu dokumentieren.

[3] Tendenziell scheint jedoch die späte Entscheidungsfindung in der Industrie derzeit ein Problem zu sein. Die Entscheidungsfreudigkeit, d. h. frühe oder späte Entscheidungsfindung, hängt dabei zum Großteil auch von der individuellen, positiven oder negativen Erfahrung der Entscheidungsträger ab.

somit mehr oder weniger disziplinunabhängige Beschreibung etc., und ermöglichen so Anschlusshandlungen über verschiedene Disziplinen hinweg.

- Der gesamte Prozess der Produktentwicklung lässt sich theoretisch durch Methoden beschreiben. Methoden sind gleichzeitig ein Produkt der Entwicklung, wenn Unternehmen ihre Prozesse selbst optimieren. Methoden haben auch keine Daseinsberechtigung *an sich*, d. h. sie dienen immer der Effizienzsteigerung in der Produktentwicklung.

Methoden spielen als Medium eine entscheidende Rolle, zumindest spricht vieles dafür, einen wesentlichen Teil als Kommunikation zu betrachten (Tabelle 24); dies impliziert die Forderung, diesen Kommunikationsanteil stärker in den Vordergrund zu rücken.

Tabelle 24: Kommunikationsanteil von Methoden der Produktentwicklung

Methode	**Kommunikation zwischen…**	**Kommunikation von…**
Brainstorming	Entwicklern	Ideen
Wissensmanagementsysteme	Mitarbeitern *zeitübergreifend*	Ideen, Lösungen, Problemen etc.
QFD	Kunde (Vertrieb) - Entwicklung	Anforderungen
Nutzwertanalyse	Vertretern alternativer Lösungen	Entscheidung
Einflussmatrix	Vertreter unterschiedlicher Umfänge	Priorisierung
Marktportfolio	Vertretern unterschiedlicher Strategien	Marktposition

Als *Kommunikations*medium müssen Methoden des Weiteren den Aspekten Information, Mitteilung und Verstehen dienen, d. h. subjektive Informationen z. B. durch Analysen und Bewertungen erzeugen (Information), diese möglichst genau darstellen (Mitteilung) und durch andere Personen, insbesondere anderer Disziplinen, interpretierbar sein (Verstehen).

So wie Methoden nicht den Produktentwicklungsprozess vollständig abbilden oder automatisieren[1], stellen sie auch nicht das einzige Kommunikationsmedium dar und dienen auch nicht ausschließlich zur Kommunikation. Es zeigt sich, dass in der Produktentwicklung kein eindeutig vorherrschendes Medium existiert, insbesondere nicht *ein* symbolisch generalisiertes Medium, das die Produktentwicklung konstituiert. Neben Methoden und Medien sind natürlich auch andere Maßnahmen zur Förderung der Kommunikation anzustreben, wie z. B. durch geografisch oder zeitlich organisierte Treffpunkte.

Festzuhalten ist, dass auch Technologie ein soziales, kulturelles, autopoietisches Funktionssystem ist, das sich über das entsprechende Medium (Produkte und „Technologien“) selbst erhält und der menschlichen Effizienz dient.

Hiermit lässt sich auch das Problem zwischen (Industrial) Design und Baukästen erklären:

Design ist ein eigenes, der Kunst nahe stehendes System, der Baukasten gehört zur Technologie (und Wirtschaft); deshalb ist die Kommunikation zwischen diesen schwierig.

[1] aufgrund der Unvollständigkeit *kann*, durch die Prozesssteuerung *muss* eine Methode nicht alles abbilden

4.4.3 Methoden der Produktentwicklung

Nach der zentralen Auffassung von Methoden als Kommunikationsmedium betrachtet Tabelle 25 Methoden in Bezug auf alle Systemfunktionen.

Tabelle 25: Anwendung systemtheoretischer Prinzipien auf Methoden

Funktionen	Auffassung von Methoden	Beispiele
Grenzbildung	Methoden dienen zur Abgrenzung von Systemen	Funktionen, Einflussmatrizen
Spezialisierung (Ressourcengew.)	Methoden dienen als Kontingenzschließung zur Handlungsfähigkeit	Vorgehensmodelle
Strukturierung	Methoden unterstützen einzelne, spezielle Aktivitäten; Methoden dienen im Wesentlichen der Strukturierung	statistische und mathematische Methoden
Prozesssteuerung	Methoden dienen zur Kommunikation und zur Verknüpfung von Aktivitäten	Anforderungsliste, Zuordnungs-matrizen wie QFD
Reflexion	Methoden als Reflexion des eigenen Vorgehens; Methode muss bekannt sein	Vorgehensmodelle
Genese	Methoden als Basis zur Entwicklung neuer Systeme	Kreativitätsmethoden
Übergeordnete Prinzipien	Unvollständigkeit und Selbstähnlichkeit von Methoden	Vorgehensmodelle, Methoden-anpassung

Hier soll ihre Bedeutung als Handlungsoption hervorgestellt werden.

4.4.3.1 Methoden als Handlungsoption

Die Methode als Handlungsoption aufzufassen, bedeutet, dass es nicht auf die endgültig richtige Methode für ein Problem ankommt, sondern dass *eine* angemessene Methode wichtig ist, um eine Handlung überhaupt zu ermöglichen. Dies entspricht dem Ansatz, dass Methoden dann unterstützen, wenn man als Entwickler nicht genau weiß, was man machen oder wie man anfangen soll. In diesem Fall stellt sich als wesentliche Anforderung an Methoden (neben der richtigen Auswahl), dass sie präskriptiv anleiten und die Handlung erleichtern müssen, indem nicht mehr über die Hintergründe (also das „Warum“) des Handelns nachgedacht werden muss. Hieraus ergeben sich zwei Schlussfolgerungen:

- die hohe Bedeutung der Lehre einer relativ strikten Methodik, an dem sich das individuelle Handeln orientieren kann, und
- die Fokussierung auf wenige Methoden, mit denen man sich auskennt und mit denen man die unterschiedlichsten Probleme angeht.

Aus dem zweiten Punkt ergibt sich z. B. auch die Stärke von einzelnen Beratern, die sich auf eine spezielle Methodik spezialisiert haben und diese auf die unterschiedlichsten Probleme anwenden. Dies erst führt zum zweiten Schritt, Methoden flexibel zu gestalten und als Reflexion des eigenen Vorgehens zu betrachten. Dabei sind drei Aspekte entscheidend:

- Das eigene Vorgehen bei der Problemlösung wird analysiert, als Methode formuliert und schließlich verinnerlicht; hierdurch wird die hohe Bedeutung deutlich, Methoden nicht nur zu lernen (und lehren), sondern auch selbst zu entwickeln.

- Erst wenn das eigene Vorgehen greifbar beschrieben ist, kann es reflektiert und kritisch hinterfragt werden, d. h. erst durch die (deskriptive) Beschreibung der Methode ist eine Optimierung des Vorgehens möglich.
- Die praktische Auswahl und Anwendung von Methoden erfolgt über deren Bekanntheit und *internen* Zuordnung zu „Elementaraktivitäten". Eine explizite Sammlung von Grundtätigkeiten und Elementarmethoden und deren sofortige Anwendung erscheinen illusorisch. Es ist hier vielmehr eine *individuelle* Sammlung[1] und Zuordnung weniger Elementarhandlungen und *anwendbarer* Methodenelemente anzustreben (Tabelle 26).

Tabelle 26: (Beispiel einer persönlichen) Klassifikation von Methoden

Zweck	Ziel	Methode
Analyse	Sammeln	Literaturrecherche, Wettbewerbsanalyse, Patente, Internetrecherche, Kataloge, Checklisten, speziell Schwachstellenanalyse
	Strukturieren (Vernetzen, Zerlegen, Zuordnen)	Hierarchie (Entscheidungsbaum, Fehlerbaumanalyse), Systeme, Funktionen, Kriterien, Morphologie, Liste (1 Dimension), Portfolio (2-3 Dim.), Tabelle/Matrix (n Dim.), Balkendiagramm (1-2 Dim.), Graph (1 Dim.), Projektmanagement, Team-Trouble-Shooting, Netzdiagramm, Entscheidungstabelle, QFD
	Widersprüche	QFD, TRIZ, Zielkonflikte
	Priorisieren (Bewerten)	Einflussmatrix, Hierarchie, ABC-Analyse, FMEA, Nutzwertanalyse, Gewichtete Punktebewertung, Einfachauswahl, (Kern der) Wertanalyse
	Experiment	Simulation, Versuch, Prototyp, Versuchsmuster
	Prognose	Extrapolation, Szenariotechnik, Target Costing, Trend-Analyse
	Statistik	Multivariate Analyse, Plausibilitätsprüfung, Sensitivitätsanalyse
	Abstrahieren	Funktionsstruktur, Baustruktur, technische Zeichnung, Black Box
	Dokumentation	Liste (1 Dimension), Portfolio (2-3 Dimensionen), Tabelle/Matrix (n Dimensionen), Balkendiagramm (1-2 Dimensionen), Graph (1 Dimension)
	Vergleich	Direkt, Analogie, Metapher, Benchmarking, Vor-/Nachteil-Vergleich, Synektik
	Variation	Variation, Kombination, Evolutionsprinzipien, Systemgrenzenverschiebung
Synthese	Kreation	Brainstorming, Galeriemethode, Methode 635

Zentraler Aspekt ist also die Auffassung von Methoden als Handlungsoption. Die Bekanntheit einer Methode im Sinne der Subjektivität ist zentral für die Akzeptanz von Methoden, denn fremde oder unbekannte Methoden werden nicht sofort angenommen, weil sie nicht dem eigenen Denken entsprechen, d. h. ihre Wirkungsweise unklar ist oder angenommen wird, man könne das Problem auch selber, also ohne Methode lösen.

Ansätze zur Klassifizierung, Adaption und Implementierung von Methoden haben ihre Schwachstelle darin, dass sie einerseits selbst flexibel anzuwenden und nach dem entsprechenden Prinzip unvollständig sein müssen, andererseits selbst zu kompliziert werden, um

[1] Erneut angeführt sei die Funktionsstrukturierung, die weniger als Methode zur objektiven Strukturierung eines Problems dient, als vielmehr ihre Wirkung in der Handlungsanleitung zum individuellen Aufbau einer solchen Struktur hat; d. h. es kommt vielmehr darauf an, selbst eine Funktionsstruktur aufzubauen, um das Problem zu verstehen, als die „richtige" Funktionsstruktur zur Verfügung zu haben. In diesem Sinne bringt es auch wenig, eine Art der Funktionsanalyse vorzuschreiben; vielmehr wird die Funktionsstruktur angewandt, die der Bearbeiter kennt und als dem Problem angemessen betrachtet (PULM & LINDEMANN 2001).

angewandt werden zu können. Hier findet sich der Widerspruch von Flexibilität und Kontingenzschließung zur Handlungsfähigkeit wieder. Sie haben somit die Schwierigkeit, eine inhaltliche und *für die Benutzer* konsistente Einteilung der Elemente zu finden. Letzten Endes dienen solche Klassifikationen vor allem als individuelle Checkliste für Methoden und eine Erinnerungsstütze für die Inhalte der Methode, während deren Auswahl und Adaption an die Randbedingungen individuell erfolgen, die Kenntnis der Methode jedoch Inhalt der Lehre sein muss.[1]

Die individuelle Klassifikation von Methoden wird dadurch unterstützt, dass es realistisch betrachtet gar nicht so viele Methoden gibt, die sich obendrein in ihren Kernelementen häufig ähneln. Während unterschiedliche Methoden nur mit geringen Differenzen anders benannt werden, läuft die Anwendung von Methoden im Wesentlichen auf die Strukturierung des Problembereichs hinaus. Diese wiederum lässt sich nach der Anzahl und Art[2] der betrachteten Dimensionen klassifizieren (s. Strukturieren in Tabelle 26). Das grundlegende Vorgehen beim Strukturieren lässt sich dabei einteilen in Sammeln der Elemente, Sammeln der Kriterien, Priorisieren der Kriterien, Auswahl der Strukturierung, Zuordnung der Elemente und Vernetzung der Elemente.

4.4.3.2 Entwicklung von Methoden

Ein weiterer Aspekt ist die Reflexion des individuellen Vorgehens über die Beschreibung von Methoden. Das Prinzip der Reflexion bedeutet generell, dass ein System sich selbst wahrnimmt und seine Identität oder seinen Sinn selbst bestimmt[3]. Dies führt zur Reflexion der Produktentwicklung, die somit ihre Aufgaben, Ziele, Prozess und Methoden, Produkte etc. selbst bestimmt. An dieser Stelle soll jedoch auf die Reflexion von Methoden eingegangen werden, d. h. Betrachtungsgegenstand der Methode ist die Methode selbst. Dies führt letzten Endes dazu, Methoden als Produkte zu betrachten und methodisch zu entwickeln oder Methoden auf sich selbst anzuwenden (*reflexive Methodenanwendung*).

Hieraus ergeben sich diverse Handlungsanleitungen für die Entwicklung von Methoden:

- Anforderungen an die Methode, Randbedingungen und Ziele sind zu klären;
- Der Methode ist zu strukturieren und funktional zu betrachten;
- Alternativen sind zu entwickeln, zu variieren und zu bewerten;

---

[1] Hilfreich ist hier auch die Analogie zu einem Werkzeugkasten: die einzelnen Werkzeuge und deren Anwendung müssen bekannt oder zuvor vermittelt worden sein. Dafür reicht z. T. schon das Vorleben oder beispielhafte Anwenden der Methode. Neue Werkzeuge werden ebenfalls genutzt, allerdings ist der Zugang zu ihnen schwieriger. Eine Übersicht kann dies nur in Erinnerung rufen oder die Anwendung anregen; sie wird aber selten zu einer blinden Nutzung des Hilfsmittels führen.

[2] „beliebig“, Funktion, Zeit, Priorität, Abhängigkeit etc.

[3] siehe z. B. den philosophischen Ansatz des Existenzialismus

- Methoden können in Konkurrenz zueinander stehen, ihr Erfolg zeigt sich letzten Endes im Markt, d. h. nicht erfolgreiche Methoden verschwinden auch wieder;
- Methoden bedürfen einer ständigen Überarbeitung sowie Innovationen, sie unterliegen den Marktphasen der Einführung, Nutzung und des Auslaufens, sie sind an den Markt anzupassen, prägen den Markt aber auch selbst;
- Auch komplexe Methoden müssen einfach zu bedienen sein, die Anwendung der Methode verlangt nach einer Lernphase oder einer „Bedienungsanleitung";
- Methoden müssen zunehmend individuell den Benutzern anpassbar sein, wofür Modularität einen Ansatzpunkt darstellt;
- Methoden müssen in ihrer Anwendung sicher und zuverlässig sein, auch hierfür ist eine ständige Pflege der Methode notwendig;
- So wie bei mechatronischen Produkten findet sich auch bei Methoden der zunehmende Trend, Funktionalitäten auf dem Rechner abzubilden; es lässt sich hier also bewusst Fragen, welche Methoden oder welche Aktivitäten im Entwicklungsprozess auf den Rechner übertragen werden können.

Die Anwendung einzelner Methoden kann entweder auf sich selbst (z. B. FMEA zur Untersuchung, welche Fehler bei der FMEA auftreten können) oder auf andere Methoden (z. B. Funktionsstrukturierung zur Darstellung der Szenariotechnik) erfolgen. Die Elemente oder Schwerpunkte von Methoden können in Sprache und Modelle, Prozess, Regeln und Werkzeuge eingeteilt werden.[1] Dabei ist ein Gleichgewicht der Aspekte anzustreben oder auf eine Weiterentwicklung der bisher wenig berücksichtigten Aspekte zu achten.

Für die Weiterentwicklung von Methoden ist darüber hinaus die zeitliche Entwicklung zu berücksichtigen. Hierzu zählt, dass

- die Methode nicht von Null anfangen muss, sondern in einem kontinuierlichen Prozess wirkt („Wie entwickelt sich der Betrachtungsgegenstand weiter?", „Wie lässt sich die Methode weiterentwickeln?", „Was verändert sich mit der Zeit, worauf die Methode zurückgreift?" etc.)
- die Methode selbst auf diesen Prozess einwirkt („Was ändert sich, wenn die Methode ihre volle Wirkung entfaltet?", „Welchen Einfluss hat das auf die Eingangsgrößen der Methode?" etc.) und
- die zur Verfügung stehenden (zeitlichen) Ressourcen von der Methode berücksichtigt werden müssen („Was verändert sich an der Methode, wenn nicht genug Informationen oder nicht genug Zeit zur Verfügung stehen?", „Was würde passieren, wenn alle Informationen und ausreichend Zeit zur Verfügung steht" etc.).

---

[1] Die Unified Modeling Language UML (RUMBAUGH et al. 1999) zählt z. B. zur Sprache; Vorgehensmodelle oder das Team-Trouble-Shooting legen ihren Schwerpunkt auf Prozess; Design for X ist bei Regeln angesiedelt; CAD-Systeme zählen zu Werkzeugen; Quality Function Deployment QFD kann zwischen Prozess und Sprache angesiedelt werden; Algorithmen zählen je nach Ausrichtung zu Prozess, Regeln oder Werkzeug.

Der letzte Punkt spielt eine besondere Rolle, denn in einer Vielzahl von industriellen Problemen ist die systematische Lösung relativ einfach und bedarf nur einer ausreichend gründlichen Analyse (siehe z. B. Kostentransparenz, Variantenvielfalt etc.). Das Problem ergibt sich erst, wenn diese Analyse nicht vollständig möglich ist und mit unvollständigen Daten oder begrenzten Ressourcen zu arbeiten ist („Komplexität“ eben).

Eine Einordnung der Konstruktionsmethodik in S-Kurven-Verläufe (anhand von Veröffentlichungen – SCHIPPL 2004) ergab, dass die Konstruktionsmethodik sich in Phase II (mitttlerer Bereich) befindet. Die Anwendung der TRIZ-Prinzipien führte dabei parallel zu den hier beschriebenen Ansätzen (z. B. evolutionäres Systemdenken). Im Folgenden wird an Beispielen gezeigt, wie Methoden mit diesen Prinzipien erweitert werden können.

Beispiel FMEA

Die FMEA ist eine Methode zur Identifikation möglicher Fehler eines neuen Systems. Für Grundlagen der FMEA sei z. B. auf EHRLENSPIEL (1995) verwiesen, an dieser Stelle werden nur die Aspekte beschrieben, die hier erweitert wurden.

- Die eigentliche Suche und Strukturierung der Fehler erfolgt bisher auf Basis aller Teile, Funktionen, Merkmale oder Prozessschritte des betrachteten Systems und wird für jedes Projekt neu erstellt. Die eigentliche Suche nach möglichen Fehlern wird jedoch nur unzureichend unterstützt. Hier bietet sich an, die FMEA nicht vornehmlich als operative Methode, sondern als Dokumentation und Erfahrungsspeicher von bereits aufgetretenen Fehlern betrachten. Dabei reicht es, wenn solche Fehler bereits in den Entwicklungsprojekten abgefangen wurden.
- Anstatt jeden Fehler einzeln zu betrachten, ist ein Netzwerk aus Ursachen und Wirkungen aufzuzeigen.
- Eine kategorische Aussage, wann Maßnahmen zu einem Fehler zu ergreifen sind (z. B. ab einer RPZ[1] von 125) ist angemessen zur Verhinderung großer Risiken; da jedoch grundsätzlich mit begrenzten Ressourcen zu arbeiten ist, wird ein relativer Ansatz gewählt: die Fehler näher zu untersuchen, die die höchsten RPZs aufweisen und mit den vorhandenen Ressourcen bewältigt werden können.
- Ist der Fehler schon einmal aufgetreten, wird dokumentiert, wann und wo dies zuerst geschehen ist, um ähnliche Umstände zu vermeiden oder gezielt auf vorhandene Unterlagen zurückzugreifen. Ebenfalls wird festgehalten, wann und wo der Fehler zuletzt aufgetreten ist. Diese beiden Punkte beinhalten somit, ob der Fehler überhaupt schon einmal aufgetreten ist, und verhindern somit zum Teil das Problem der FMEA, Fehlermöglichkeiten zu „erfinden“.

[1] Risikoprioritätszahl: Produkt aus Auftretenswahrscheinlichkeit, Auswirkung/Bedeutung und Entdeckungswahrscheinlichkeit (jeweils mit 1–10 bewertet)

- Aus diesen Punkten lässt sich schließlich die historische Bedeutung des Fehlers ableiten, d. h. eine weitere Zahl, die bewertet, ob der Fehler aus der Erfahrung heraus relevant war oder noch relevant ist. Dieser Wert lässt sich mit der RPZ verknüpfen oder zur Bestimmung der Auftretenswahrscheinlichkeit einsetzen.
- Die empfohlenen und getroffenen Maßnahmen dienen als Dokumentation, was getan werden kann, wenn der Fehler auftritt, oder was in der Vergangenheit getan wurde.

Durch diese Ansätze soll nicht die FMEA als separat angewandte und anzuwendende Methode ablösen, es soll vielmehr aufgezeigt werden, wie die Methode zu einem angemessenen Dokumentationswerkzeug erweitert werden kann.

Beispiel Einflussmatrix

Einflussmatrizen erlauben, die Zusammenhänge und Abhängigkeiten in einem Wirkungsnetz oder einem beliebigen semantischen Netz übersichtlich darzustellen und auszuwerten. Grundlegende Fragestellung ist dabei, wie die Elemente aufeinander einwirken.

Solche Matrizen finden sich unter verschiedenen Bezeichnungen (Beeinflussungsmatrix, Design Structure Matrix, Korrelations- und Verträglichkeitsmatrix etc.) als Teil unterschiedlicher Methoden und mit unterschiedlichen Inhalten (Probleme, Prozessschritte, Bauteile, Funktionen, Organisationseinheiten etc.) wieder, wie z. B. der Szenariotechnik. Grundsätzlich kann zwischen Zuordnungsmatrizen, die verschiedene Dimensionen miteinander verknüpfen (z. B. QFD oder Wertanalyse), und Relationsmatrizen, die die gleichen Elemente auf beiden Achsen miteinander verknüpfen, unterschieden werden.

Bei der Anwendung der Einflussmatrix treten einige Schwierigkeiten auf. Hierzu zählen:

- die Identifikation von Kreisschlüssen (positive oder negative) in dem Wirkungsnetz,
- die Konsistenz oder Überschneidungsfreiheit der einzelnen Elemente,
- die Gewichtung der einzelnen Elemente sowie
- die Verknüpfung der einzelnen Elemente über mathematische Funktionen.

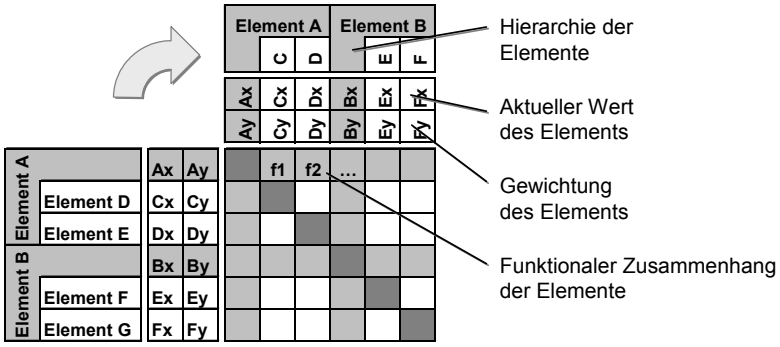


Bild 24: Erweiterte Einflussmatrix

Um diesen Aspekten gerecht zu werden, wird die Einflussmatrix erweitert (Bild 24). Die Elemente werden hierarchisch als Baum angeordnet. Offen ist hier die Verknüpfung von

Elementen unterschiedlicher Ebenen (keine Verknüpfung unterschiedlicher Ebenen, Vererbung nach unten oder nach oben etc.); solange hier jedoch ein einheitliches Vorgehen gewählt wird, spielt dies nur eine untergeordnete Rolle, da die Matrix im Sinne der Bezugsorientierung nur auf einer relativen Bewertung der Elemente zueinander basiert.

Kreisschlüsse in der Matrix sind zu identifizieren[1] und es ist zu untersuchen, ob es sich um positive oder negative Rückkopplungsschleifen handelt, d. h. ob die Schleifen sich selbst verstärken oder ob Eingriffe durch negative Rückkopplungen abgeschwächt oder sogar aufgelöst werden. Problematisch ist die vielfältige Überlagerung solcher Kreisschlüsse; hier hilft wiederum die Analyse in der Einflussmatrix bezüglich kritischer u. a. Elemente. Die Matrix unterstützt also, entweder einzelne Elemente oder einzelne Kreisschlüsse (abgeschlossene Bereiche) zu betrachten. Das gesamte Wirkungsnetz in der Matrix lässt sich über eine Simulation untersuchen. Hierfür werden den einzelnen Elementen Werte (Ax, Bx etc.) zugeordnet; des Weiteren ist es möglich, die Elemente mit Faktoren (Ay, By etc.) zu versehen. In den Zellen steht die mathematische Verknüpfung der einzelnen Elemente („Variablen"); die Simulation erfolgt über schrittweises Anpassen der Werte und kontinuierliches Abgleichen mit der sich weiterentwickelnden Realität.

Die Matrix kann auch genutzt werden, um die Kommunikation und die Medien zwischen den Elementen (z. B. Abteilungen) zu beschreiben. Eine solche Darstellung für ein einzelnes Funktionssystem (z. B. Wirtschaft) hilft, die Bedeutung von Medien besser zu verstehen (z. B. dass es nur als Austauschmittel zwischen einzelnen Individuen dient).

Abschließend ist wieder festzuhalten, dass auch die Einflussmatrix selbst eine Methode ist, die den Ansätzen der Systemtheorie entspricht (z. B. durch Betrachtung einzelner Elemente in einem komplexen Umfeld). Darüber hinaus ist festzuhalten, dass die Ergebnisse der Methode vielfach nicht einer objektiven Wahrheit entsprechen[2], sondern dem Individuum eine Handlungsoption ermöglicht, d. h. vor allem das Individuum überzeugt, welche Elemente am wichtigsten sind, in welcher Reihenfolge zu arbeiten ist etc.

Beispiel Szenariotechnik

Die Szenariotechnik[3] ermöglicht die Entwicklung mehrerer möglicher Zukunftsbilder. Das generelle Vorgehen gliedert sich in die Szenariofeld-Analyse (Einflussfaktoren und Schlüsselfaktoren aus Einflussmatrix), die Szenario-Prognostik (mögliche Zukunftsprojektionen der Schlüsselfaktoren) sowie die Szenario-Bildung (Bestimmung und Beschreibung konsistenter Zukunftsbilder), an die sich der Szenario-Transfer (Ableitung viel versprechender Maßnahmen) anschließt. Aus Sicht der Systemtheorie im Hinblick auf z. B. Unbestimmtheit lassen sich folgende Erweiterungen vorstellen:

---

[1] durch manuelles suchen, Matrizenmultiplikation oder Algorithmen der Künstlichen Intelligenz

[2] durch subjektive Festlegung der Elemente, der Gewichtungen, der Relationen etc.

[3] alternativ Szenario-Management, Szenario etc.

- Anstatt nur zu betrachten, wie sich die Schlüsselfaktoren (Ausprägungen) entwickeln, werden auch Veränderungen der Schlüsselfaktoren (Merkmale) selbst betrachtet.
- Der Trend einzelner Schlüsselfaktoren aus der Vergangenheit wird berücksichtigt; ebenso werden diese kontinuierlich beobachtet und hierüber das Szenario angepasst.
- Es wird untersucht, wie man selbst auf die Schlüsselfaktoren Einfluss nimmt (nehmen kann) und welche Auswirkungen abgeleitete Entscheidungen auf das Szenario haben.
- Hierfür werden Kreisschlüsse in den Einfluss-/Schlüsselfaktoren ermittelt, die sich selbst verstärken oder bei denen sich eine Intervention auflöst (s. Einflussmatrix).

Die Szenario-Technik berücksichtigt jedoch selbst viele Aspekte der Systemtheorie (Netzwerk der Einflussfaktoren, alternative Szenarios) und stellt einen adäquaten Ansatz dar.

4.4.4 Organisatorische Randbedingungen

Die Systemtheorie bietet Ansätze, die Organisation unter dem Titel *Schnittstellenmanagement* oder *dynamische Organisation* zu optimieren. Dies kommt auch der später beschriebenen Entwicklung individualisierter oder komplexer Produkte zugute.

Der Stand der Forschung zu Organisationsprinzipien (siehe Kapitel 4.1.2) lässt sich zusammenfassen, dass immer noch hierarchische Strukturen im Vordergrund stehen (Matrixorganisation), stabile Prozesse (Prozessorientierung) oder einmalige Änderungen (Change Management) betrachtet werden, die Ansätze aus dem Bereich der Produktion (Fraktales Unternehmen) stammen und vielfach auf unternehmensübergreifende Kooperationen und Kommunikationstechnologien (virtuelles Unternehmen) fokussiert wird.

Organisationsbetrachtungen entsprechen im Grunde der Strukturplanung und Modularisierung des „Produkts“ Unternehmen oder Prozess. Ausgangspunkt der Betrachtung sind Aufbau- und Ablauforganisation, die beide als starr, voneinander getrennt, jedoch das ganze Unternehmen abdeckend betrachtet werden. Der Paradigmenwechsel, der sich schon langsam vollzieht, besteht nun darin, ein dynamisches Netz aus Teams als alleinigen Prozesstreiber zu sehen, für den Aufbau- und Ablauforganisation nur als untergeordneter, zeitlicher und räumlicher[1] Rahmen dienen (Bild 25); d. h. Teams[2] werden als zentrale organisatorische Einheit betrachtet, nicht mehr als eher symptombekämpfendes Mittel zur Verknüpfung von Aufbau- und Ablauforganisation. Unstimmigkeiten in der Organisation können dann über neue Teams abgefangen werden.[3]

---

[1] Hierzu zählen z. B. auch Kompetenzen, die an sich auch über ein Team abgebildet werden können.

[2] Obwohl der Begriff „Team“ schon vorgeprägt ist und es sich daher anbietet, einen neuen Begriff zu finden, wird in dieser Betrachtung erst mal der Begriff „Team“ weiterverwendet.

[3] Dies gilt für Überschneidungen in der Matrixorganisation, schwer abzugrenzende Umfänge im Produkt etc.

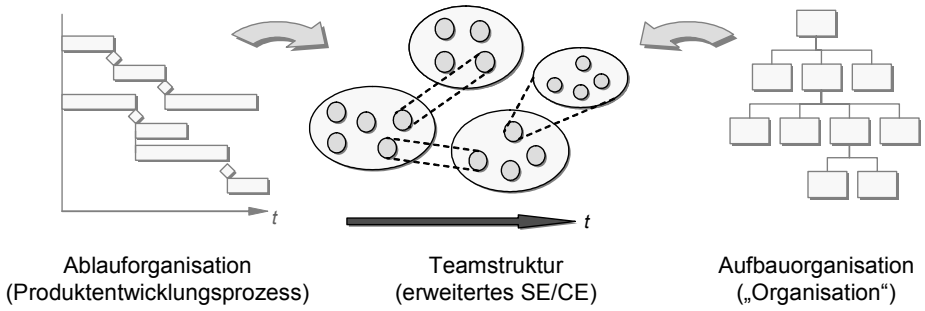


Bild 25: Teamstruktur als Verbindung von Aufbau- und Ablauforganisation, als Erweiterung des SE-Gedankens und als eigentlicher Prozesstreiber

Problem bei der Matrixorganisation[1] ist darüber hinaus, dass einerseits zwei Machtstrukturen entstehen, andererseits zwei Strukturierungen den Bereich der Produkterstellung nur unzureichend abbilden. Bei der Teambildung sind somit aus Produktentwicklungssicht folgende Unterscheidungen zu berücksichtigen:

- Unternehmensbereiche: Marketing, Produktentwicklung, Produktion, Einkauf etc.
- Prozessebene: Forschung, Technologien, Vorentwicklung, Serienentwicklung etc.
- Projekte: Unterschiedliche Baureihen, Produkte, Modelle etc.
- Produktebene oder Bauteile: Unterschiedliche Umfänge im komplexen Produkt
- Funktionsebene und unterschiedliche Disziplinen: Design, Mechanik, Elektronik, Ergonomie, Sicherheit, Qualität etc.[2]
- Aufgabenbereich: Konstruktion, Versuch, Musterbau, Berechnung etc.
- Unternehmensebene: OEM[3], Zulieferer, Ingenieursbüros etc.
- Individuelle Ebene: Zusammenarbeit der einzelnen Mitarbeiter.

Grundgedanke ist also, kein durchgängiges Team zu definieren, sondern Teams situativ zusammenzusetzen und ein Netzwerk aus Teams zu bilden. Damit wird auch dem Aspekt Rechnung getragen, dass unterschiedliche Produkte (im Sinne von Projekten) aufgrund struktureller Unterschiede unterschiedlicher Organisationen bedürfen. Die Fokussierung von Teams ist auf klassische Hierarchien zu erweitern:

- Fachabteilungen stellen langfristige Teams dar, die sich auf den Produktbezogenen Erfahrungs- und Kompetenzaustausch sowie Kapazitätsausgleich spezialisiert haben.
- Management- und Führungsebenen haben weniger die Aufgabe der vollständigen Kontrolle, als eher der Entscheidungsfindung, der Kommunikationsunterstützung, der Ziel-

[1] Hier hat sich auch gezeigt, dass allgemein Reorganisationsmaßnahmen auf Abteilungsebene nicht zu detailliert durchgeführt werden müssen, solange die Abteilung von überschaubarer Größe ist. Dies ist vereinbar mit dem Teamgedanken.

[2] Dieser Punkt ist u. U. nochmals getrennt zu betrachten, einerseits Disziplinen, andererseits Funktionen.

[3] *Original Equipment Manufacturer*, svw. Erstausrüster: hier der Hersteller des Endprodukts

vorgabe etc., d. h. Führungsebenen haben ebenfalls bestimmte Aufgaben, sie sind jedoch keine Zusammenfassung der untergeordneten Abteilungen. Als besondere Aufgabe kommt ihnen zu, Visionen und Modelle aufzustellen, denen die Vielzahl von Beteiligten im Sinne von Anschlusshandlungen und Kontingenzschließung folgen können.

Wesentlicher Aspekt dabei ist, dass die Teams nur bedingt im Vorfeld definiert werden[1] und sich vornehmlich selber im laufenden Prozess bilden. Die Teams sind zeitlich zu definieren und vor allem sind ihnen klare Verantwortungen[2] zuzuordnen. Die Entstehung der Teams, entsprechend der Systemtheorie, ist in Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27: Entstehung von Teams im Unternehmen

Systementstehung	Organisationsbetrachtung
Grenzbildung	Festlegen des betrachteten Umfangs, Festlegen der am Team Beteiligten, Festlegen des zeitlichen Rahmens, Vergleich mit anderen existierenden Teams
Ressourcen-gewinnung	Festlegen des Ziels und des Aufgabenbereichs (Verantwortung, Ergebnisse, Entscheidungen), der Aufgabenbereich ist dabei auch zeitlich abzugrenzen (z. B. Konzept)
Strukturierung	Einordnung in andere Teams bezüglich Aufgabenverteilung, Festlegen der Schnittstellen, innere Strukturierung der einzelnen Aufgaben etc.
Prozesssteuerung	Festlegung der Kommunikation, sowohl innerhalb des Teams als auch mit anderen Teams (Inhalte, Zeitpunkt, Medien); Betrachtung der Entwicklung des Teams
Reflexion	Reflexion, was die eigentliche Teamaufgabe ist/war und ob diese erfüllt wurde; Reflexion, ob Teamzusammensetzung in dieser Form sinnvoll ist/war
Genese	Ausgehend von den Ergebnissen des Teams sind neue Aufgaben zu übernehmen oder neue Teams zu bilden

Die vorgestellten Ansätze verlangen nach einem hohen Maß an Eigenverantwortung sowie die Aufgabe starrer Hierarchie- und damit Machtstrukturen. Gleichzeitig stellt sich die Frage, welche Einrichtungen weggelassen werden können, da sie nur vordergründig die Organisation unterstützen, letztendlich jedoch die Komplexität unnötig steigern. Hierzu können z. B. Dokumentationsmaßnahmen (die nicht genutzt werden) oder Kontrollmaßnahmen (die umgangen werden) zählen. BAECKER (1999) führt unter dem Titel *Management by Complexity* an, dass wohldefininierte Systeme *sich selbst* in schlecht definierte Systeme verwandeln und umgekehrt (weil der Bedarf hierfür besteht beziehungsweise eben fehlt), Komplexität Bedingung für Fehlerfreundlichkeit ist (da das System schneller darauf reagieren kann), und neben Operation und Kontrolle einfach auch die Beobachtung von Unternehmensabläufen von besonderer Bedeutung ist.

Viele der hier angesprochenen Ansätze existieren schon oder sind nur eine andere Sichtweise und Formulierung bestehender Vorgehen. Ein besonderes Bewusstsein hierfür zu schaffen ist jedoch immer noch notwendig, auch zur Implementierung dieser Ansätze und Methoden. Die Methodenimplementierung wurde z. B. von STETTER (2000) eingehend be-

[1] Dies allein wäre jedoch schon ein Fortschritt. Problem derzeit ist, dass definierte Teamstrukturen häufig nur eine andere Form der Hierarchie sind, die sich zudem mit gewachsenen Linienorganisationen überschneiden.

[2] Aufgaben, Entscheidungen, Befugnisse, Ergebnisse

trachtet; dabei wurde die aktive Einführung betont. Ergänzend seien hier folgende Aspekte angemerkt, die auch für Beratungsprojekte gelten, angemerkt:

- Die eigene Handlung und das Vorleben neuer Ansätze ist von entscheidender Bedeutung und häufig die einzige Möglichkeit, direkt Einfluss zu nehmen
- Methodeneinführung ist ein langwieriger Lernprozess, geringe Auswirkungen direkter Maßnahmen müssen in entsprechender Relation gesehen werden.
- Der Lehre kommt somit eine besondere Bedeutung zu
- Maßnahmen und Werkzeuge sind in den täglichen Workflow zu integrieren, d. h. sie dürfen dem natürlichen Vorgehen nicht widersprechen.
- Das betrachtete System muss Bereitschaft zur Veränderung besitzen; Ziele müssen klar sein und allen Beteiligten offen gelegt werden. Besteht keine Bereitschaft zur Veränderung, muss dies selbst das erste Ziel werden. Eine operative Beteiligung ist unbedingt notwendig, d. h. Initiatoren und Leiter von Änderungsmaßnahmen müssen direkt in den Prozess integriert werden und die Durchführenden ein direktes Interesse an den Maßnahmen haben.
- Für die Bereitschaft ist u. U. eine Krise (gestiegene externe Komplexität, die nicht mehr verarbeitet werden kann) notwendig, d. h. auch unkonventionelle Methoden der Methodenimplementierung können nützen, wie z. B. den Leidensdruck zu erhöhen (*Krisenintervention*), das negative Gegenteil explizit zu betrachten (*paradoxe Intervention*), eine externe und eine interne Sicht miteinander zu vergleichen etc.
- Auch Modelle der Methodenimplementierung sind situativ anzupassen und größere Systeme verlangen ebenfalls größere Maßnahmen.
- Bei Analysen des Wirkungsnetzes der Probleme (Einflussmatrix) sind erneut sich verstärkende Kreisschlüsse zu identifizieren und zu nutzen; dabei ist ebenfalls zu betrachten, ob überlagerte, negative Rückkopplungen[1] Maßnahmen nicht im Sande verlaufen lassen. Ebenso ist bei allen Maßnahmen der Prozessoptimierung zu beachten, ob diese sich über Rückkopplungen nicht insgesamt negativ auswirken (z. B. Incentive-Maßnahmen, die dazu führen, dass nur noch die Belohnung betrachtet wird, nicht aber die eigene Arbeit). Bei der Analyse solcher Wirkungsnetze ist darüber hinaus zu fragen, ob Ursache und Wirkung eventuell vertauscht sind[2] oder nur Korrelationen darstellen.
- Als Antrieb und damit auch als Bezugspunkt ist Konkurrenz notwendig. Häufig wird sie als zu bekämpfende Gegnerschaft gesehen. Gleiches gilt für Kunden, Zulieferer etc. Es ist ein Bewusstsein zu entwickeln, dass diese alle zusammen den Markt und damit ein funktionierendes Sozialsystem bilden.

---

[1] An sich sind negative Rückkopplungen im System anzustreben; im Netz aus Problemen erhalten sie jedoch gerade diese Probleme, sodass sie dort aufzulösen sind.

[2] als Beispiel wird z. B. angeführt, dass nicht die Selbstorganisation zu hoher Produktivität führt, sondern hohe Produktivität die Selbstorganisation erlaubt (WEICK 1995)

- Es bleibt zu berücksichtigen, dass es sich bei Organisationen um soziale Systeme handelt, die sich aus subjektiven Individuen zusammensetzen und dementsprechend nicht vollkommen durchgeplant und optimiert werden können. Organisationen sind mit einem Wirkungsgrad behaftet und leisten niemals 100 %.

Bei allen organisatorischen Betrachtungen handelt es sich um erste Ansätze basierend auf der aktuellen Situation. Wie Organisationen in Zukunft *wirklich* aussehen, sollte einem möglichst reflexiven Prozess kontinuierlicher Veränderungen unterliegen.

Mit der Systemtheorie lässt sich nun auch erklären, warum Abteilungen versuchen, Handlungsunfähigkeit nachzuweisen (neben der reinen Ablehnung von Arbeiten):

Systeme weigern sich, von der Strukturierung zur Prozesssteuerung überzugehen, wenn kein triftiger Grund, d. h. eine zu hohe externe Komplexität vorliegt, da ein gesicherter Bereich verlassen wird.[1]

Zur Prozesssteuerung überzugehen, ist schmerzhaft und aufwendig; dieser Schritt scheint nur begründet, wenn es gar nicht mehr anders geht, weil auf die steigende externe Komplexität nicht mehr reagiert werden kann. Es ist ein Bewusstsein zu schaffen, dass die Prozesssteuerung mehr Möglichkeiten bietet. U. U. kann dies unterstützt werden, indem Vorgriffe auf die Reflexion (Sinngebung) unternommen werden. Anstatt *eine* Prozessoptimierung durchzuführen kommt es zusammenfassend auf eine *dauerhafte* Prozessoptimierung an.

4.5 Zusammenfassung

Eine Vielzahl von Ansätzen in der Produktentwicklung und Konstruktionsmethodik macht es schwierig, ein klares Paradigma zu identifizieren. Im Rahmen dieser Betrachtung[2] gilt:

Produktentwicklung ist als sozialer, kultureller, von selbst laufender Prozess zu sehen, der nur bedingt durch einzelne Individuen gesteuert werden kann oder ein *shared understanding* aufweist. Technologie (einschließlich Produktentwicklung) ist dabei ein eigenständiges Funktionssystem, das sich über das Medium Technologien selbst erhält.

Neben dem Systembegriff selbst kommt es dabei insbesondere auf die Kommunikation, die Reflexivität, die kontinuierliche Weiterentwicklung und die Stellung des Individuums in diesem Prozess an. Von besonderer Bedeutung sind dabei Medien (z. B. auch Geld), die Kommunikation und Anschlusshandlungen in einem nicht transparenten System ermöglichen. Problematisch ist die Kommunikation zwischen unterschiedlichen Systemen (z. B. Design und Technologie). Wichtig ist auch zu verstehen, dass Geld nur ein Kommunika-

[1] Dies ist das gleiche Phänomen, das derzeit in Politik und Gesellschaft (Sozialsystem) beobachtbar ist.

[2] und damit bezogen auf umfangreiche Projekte

tionsmedium ist und somit keinen absoluten Wert wiedergibt; Transparenz ist weder möglich, noch notwendig. Auch wurde die hohe Bedeutung einer Vision aufgezeigt.

Von besonderer Bedeutung sind Methoden der Produktentwicklung. Sie sind als Handlungsoption, als anschlussfähiger und standardisierter Prozess, als Kommunikationsmedium und als Bezugspunkt zur Reflexion zu sehen. Dabei scheint es eine kontinuierliche Dialektik zwischen starrer und flexibler Methodik zu geben. Eine starre Methodik hat den Vorteil, dass man nicht über das Handeln nachdenken muss (Effizienz); dagegen steht der Nachteil, dass die Methode nur bedingt auf unterschiedliche Bereiche anwendbar ist. Diese Vor- und Nachteile drehen sich bei einer flexiblen Methodik um. Dementsprechend werden Entscheidungen trotz ihrer hohen Bedeutung durch die Tatsache erschwert, dass sie als Kontingenzschluss früh, als Kontingenzerhalt möglichst spät zu treffen sind.

Aus informationstechnischer Sicht zeigt sich der Bedarf an Datenbanken für Technologien (als zentrale Medien der langfristigen Technologieentwicklung) sowie für Entscheidungen (als Medium zur Ermöglichung von Anschlusshandlungen in der Produktentwicklung).

Unterstützt wird die systemtheoretische Betrachtung durch eine dynamische Organisation, deren zentrales Element (Medium) sich selbst bildende Teams darstellen. Richtlinien zu Organisationsmaßnahmen und Beratungsprojekten runden dies ab.

Das Kapitel hat versucht, ein neues systemtheoretisches Verständnis für Methoden und die Produktentwicklung zu vermitteln. Auswirkungen der Systemtheorie auf Technik und Ethik finden sich in Anhang 3. Die positive Seite der Komplexität sollte nicht unterschätzt werden. Stattdessen ist die Kette von Komplexität, Möglichkeiten, Kontingenzschließung und Entscheidungen zu beachten.

Die Beobachtung der industriellen Praxis hat gezeigt, dass es nicht auf komplexe Methoden ankommt, sondern dass einfache Hilfsmittel für den intransparenten, aber stabilen sozialen Prozess der Produktentwicklung angebrachter erscheinen. Obwohl Methodenbaukästen zum Teil kritisiert wurden, sind sie ein richtiger Schritt in die flexible Verknüpfung einzelner Tätigkeiten im sozialen Prozess. Hier gilt:

Methoden müssen Anschlusshandlungen (Kommunikation) ermöglichen.

Dies bedeutet, dass Methoden nicht alles abdecken, sondern nur einzelne Tätigkeiten unterstützen müssen. Hierauf baut Kapitel 6 auf, das einzelne Methoden anbietet. Diese werden zwar in einem Prozess integriert, jedoch wird nicht vorgetäuscht, mit einer Methodik den ganzen komplexen Prozess der Entwicklung eines Produktspektrums abzudecken.

5 Praktische Anwendung: Individualisierte Produkte

Die bisherigen Ausführungen sollen in einer praktischen Anwendung konkretisiert werden. Es wird der aktuelle marktwirtschaftliche Bedarf individualisierter Produkte oder einer hohen Variabilität von Produkten aufgezeigt, deren Entwicklung anschließend betrachtet wird. Die systemtheoretischen Grundlagen sind gleichzeitig eine Lösung für den real existierenden Bedarf, die gesteigerte Komplexität zu handhaben. Baukasten und Variantenmanagement sind dabei flexibel als Überbegriffe der Thematik aufzufassen.

5.1 Handlungsbedarf

Der schnelle technische Fortschritt und die zunehmende Globalisierung[1] führen zu einer immer stärkeren Diversifizierung von Gebrauchsgütern, die an der wachsenden Zahl von angebotenen Produktvarianten abgelesen werden kann; während der Markt konvergiert, divergiert das Produktangebot. Dies gilt für alle Produkte, von Dienstleistungen und Software über Bekleidung und elektronische Geräte bis hin zu komplexen mechatronischen Produkten wie Automobilen. Die Entwicklung der Industrie begann mit einer Produktorientierung, die mittels Serienfertigung zu preiswerten Produkten führte. Im zunehmenden Wettbewerb fand eine Marktorientierung statt, die Produktspektren an einem statistischen Markt ausrichtete. Aktuell entsteht eine Individualorientierung, die nach individuellen und „maßgeschneiderten“ Produkten verlangt. Dieser Trend ist unterschiedlich zu begründen.

Aus Angebotssicht sind Unternehmen darauf angewiesen, sich vom wachsenden Wettbewerb zu differenzieren; neben kostengünstigeren oder qualitativ hochwertigeren Produkten ist dies insbesondere durch die Besetzung von Nischenmärkten oder funktionelle Diversifizierung möglich. Dabei besteht die Gefahr, dass Nischenprodukte in Konkurrenz zu den eigenen Standardprodukten stehen, diese verteuern und somit unwirtschaftlich machen. Es ist auch zu berücksichtigen, dass neue Produktentwicklungs- und Produktionstechnologien einfach die Erzeugung und das Angebot neuer Varianten *ermöglichen*. Dies führt zur Problematik der internen Variantenvielfalt; z. B. ist es für den einzelnen Konstrukteur manchmal einfacher, ein Bauteil neu zu konstruieren, statt ein schon vorhandenes Bauteil zu suchen und in das Produkt einzupassen.[2] Die Bedienung unterschiedlicher Märkte mit unterschiedlichen Kulturen und Sprachen, rechtlichen Bestimmungen, Normen und Standards, Produktionsstandorte etc. stellt dabei eine wesentliche Variantenursache dar.

---

[1] Auch hier ist die Systemtheorie entscheidend: da Gesellschaft aus Kommunikation besteht, Kommunikation durch neue Medien aber nur noch global vernetzt stattfindet, gibt es praktisch nur noch *eine* Gesellschaft.

[2] Dies ist ein Grund, weshalb Baukastenansätze häufig kritisch betrachtet werden.

Aus Nachfragesicht sind Kunden zunehmend besser über das weltweite Angebot informiert und haben somit die Möglichkeit, das am besten zu ihnen passende Produkt auszuwählen. Gleichzeitig werden Kunden anspruchsvoller und selbstbewusster, und akzeptieren somit nur noch Produkte, die wirklich ihren Anforderungen genügen. Darüber hinaus kann man unterstellen, dass in einer zunehmend konformen Gesellschaft – zumindest teilweise – das Bedürfnis besteht, sich selbst über individualisierte Produkte abzugrenzen.

Angebot und Nachfrage individualisierter Produkte bedingen und steigern sich somit gegenseitig. Trotzdem ist es offen, ob sich dieser Trend eventuell wieder umkehrt und eher standardisierte Produkte gefragt werden, um sich mit anderen Nutzern zu identifizieren oder günstigere Preise zu erzielen.

Unterschieden wird somit zwischen interner und externer Variantenvielfalt: externe Variantenvielfalt bezeichnet das Angebot für den Kunden, interne Variantenvielfalt die zur Realisierung des Angebots notwendige oder durch nicht optimierte Prozesse und Randbedingungen entstandene Vielfalt von Umfängen. Dabei gilt grundsätzlich, die externe Vielfalt zu erhöhen oder dem Markt angemessen zu gestalten und die interne Vielfalt zu reduzieren. Auf den Begriff der Komplexität bezogen ist dies aus systemtheoretischer Sicht differenzierter zu formulieren: Um auf die externe Komplexität (Kunden, Wettbewerb etc.) reagieren zu können, ist zwar eine interne Komplexität aufrechtzuerhalten, jedoch sind Maßnahmen zu treffen, diese Komplexität verarbeiten zu können. Eine reine Reduktion der Variantenvielfalt kann dabei nur Teil der Antwort sein, wie Unternehmen mit Komplexität umzugehen haben.[1] Hier scheint vielmehr ein neuer Ansatz oder Paradigmenwechsel zur Handhabung der ständig steigenden Komplexität notwendig zu sein.

5.2 Stand der Forschung

Aufgrund der Vielzahl von Ansätzen ist es nahezu unmöglich, eine komplette Darstellung des Forschungsstandes im Bereich des Variantenmanagements aufzustellen. Nichtsdestotrotz soll dieses Kapitel einen Überblick über die wesentlichen Ansätze geben.

Als Begriffsklärung wird unter *Variante* eine unterschiedliche Alternative eines ansonsten ähnlichen Produkts oder Produktumfangs verstanden. *Variantenmanagement* oder *Komplexitätsmanagement* werden als Oberbegriffe aller Maßnahmen zur Beherrschung der Vielzahl von Varianten in der Produktentwicklung, der Produktion etc. verstanden. Die Summe aller ähnlichen Varianten bildet das *Produktspektrum*, die *Produktfamilie* oder die *Produktpalette*. *Standardisierung* beinhaltet Maßnahmen, Umfänge (Bauteile, Schnittstellen, Prozesse etc.) gleich zu gestalten, entweder im Vorfeld oder als nachträgliche Optimierungsmaßnahme. *Modularisierung* bezeichnet die Zerlegung eines Produkts (oder Prozesses etc.) in separat handhabbare, unabhängige Einheiten, die neben dem Varianten-

[1] auch aus der Definition, dass Komplexität sich emergent aus kontrollierten Elementen ergibt

management auch der Aufteilung großer Projekte, der Vergabe von Umfängen an Zulieferer, der Optimierung von Produktionsabläufen etc. dienen kann. Ein *Baukasten* ist eine Sammlung von *Bausteinen* mit definierten Schnittstellen, aus denen sich unterschiedliche Produkte zusammensetzen oder *konfigurieren* lassen. Dabei wird zwischen offenen (z. B. Lego®, Gerüste etc.) und geschlossenen Baukästen (z. B. Heimwerkerbaukasten, Küchengeräte etc.) unterschieden. Eine *Plattform* bezeichnet ein standardisiertes, kundenneutrales Grundgerüst, das durch Aufsetzen so genannter „Hüte" produkt- oder kundenspezifisch wird; dabei sind auch Anpassungen an der Plattform möglich. *Baureihe* bezeichnet eine in der Größe (Leistung etc.) skalierte Familie ansonsten gleicher Produkte.

Mass Customization (PINE 1993, ANDERSON 1997) betrachtet die Anpassung von Serienprodukten an die individuellen Wünsche und Bedürfnisse von Kunden, die von einfachen Baukastensystem und konfigurierbaren Produkten bis hin zu wirklich individuell gestalteten Produkten reicht und insbesondere Konsumgüter wie Bekleidung oder Kosmetika betrifft und dort ihren Ursprung hat. PINE (1993) deklariert Mass Customization als Erstellen variierender Produkte mit standardisierten Prozessen (Bild 26 rechts). ANDERSON (1997) zeigt, dass Mass Customization mehr standardisierte Umfänge besitzt und weniger individueller Anpassungen bedarf als reaktive Änderungsmaßnahmen (Bild 26 links). Darüber hinaus unterscheidet er zwischen transparenten Produktänderungen und kosmetischen Änderungen der Repräsentation. *Mass Customization*, *kundenindividuelle Massenproduktion* oder *Individualisierung* sind betriebswirtschaftlich geprägte Schlagworte, die Maßnahmen des Variantenmanagements aus Marketing, Produktion und Entwicklung zusammenfassen.

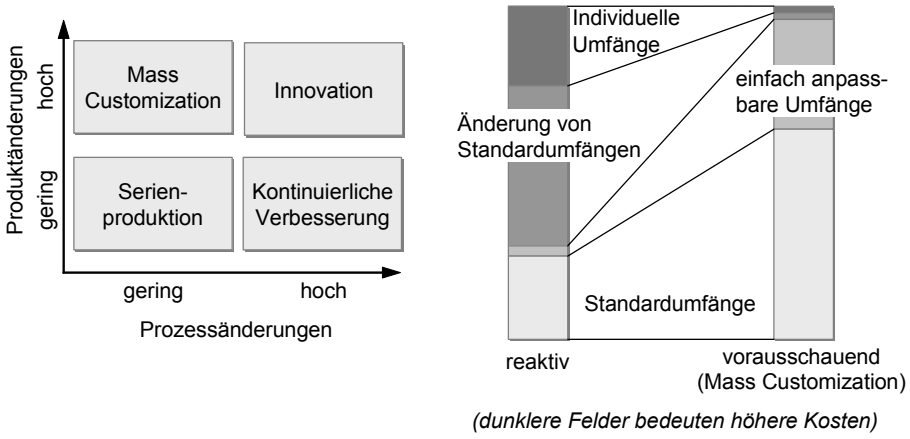


Bild 26: Ausrichtung der Mass Customization[1]

PILLER (1998, 2001) führt das Konzept unter dem Namen *Kundenindividuelle Massenproduktion* im deutschsprachigen Raum ein und betont die Kundeninteraktion. Er sieht Mass Customization als Folge des Trends von *lokalen Märkten* über *Massenmärkte*, *segmentier-*

[1] Innovation kann sich allgemein auch auf Produkte und Prozesse alleine beziehen. Schuh (2004) spricht darüber hinaus von *Mass Innovation* als neuestes Paradigma.

te Märkte, Nischenmärkte hin zu *individuellen Märkten*, sowie der veränderten Marktanforderungen von *Preis und Effizienz*, über *Qualität, Flexibilität* und *Vielfalt* hin zu *Individualität* und *Innovation*. Mass Customization stellt eine hybride Wettbewerbsstrategie dar, d. h. es wird sowohl Differenzierung als auch Kostenführerschaft angestrebt, die für PORTER (1997) an sich entgegengesetzte Strategien darstellen[1]. Es werden sowohl Dienstleistungsanteile als auch Entwicklung, Produktion und Informations- und Kommunikationstechnologien betrachtet sowie das Zusammenspiel von Mass Customization und Massenfertigung beschrieben[2]; PILLER & STOTKO 2003 reißen neben einer Reduzierung der Variantenvielfalt u. a. die Entwicklung einer geeigneten Produktstruktur, der Einsatz flexibler Produktionstechnologien und die Wirtschaftlichkeitsaspekte der Kundeninteraktion an.

Insgesamt wird in der Individualisierung sowohl eine Chance als auch eine Anforderung gesehen, in hoch entwickelten Märkten bestehen zu bleiben (REINHART & ZÄH 2003). GRÄSSLER (2004) fokussiert unter Mass Customization eine Anpassung der Produkte über elektronische oder software-basierte Komponenten und integriert flexible Produkttechnologien. Sie unterscheidet darüber hinaus, ob sich Baukästen auf *bestehende* oder *neue Produkte* beziehen und ob sie *evolutionär* (langsame Entwicklung des Baukastens) oder *revolutionär* (Aufsetzen des gesamten Baukasten) entwickelt werden. ZIPKIN (2001) weist auf die Grenzen der Mass Customization und die Tatsache hin, dass Mass Customization nicht immer rentabel ist; er schlägt jedoch andere Alternativen vor, die sich nicht eindeutig von der „kundenindividuellen Massenproduktion“ abgrenzen lassen.

RATHNOW (1993) betrachtet das Thema Variantenmanagement unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten: Kosten sind bei einer „Komplexitätsreduktion“ nur bedingt abbaubar, z. B. wegen schon beschaffter Maschinen und Betriebsmittel. Theoretische und praktische Ansätze zum Variantenmanagement fassen FRANKE et al. (2002) zusammen; sie weisen darauf hin, dass eine Vielzahl der Ansätze die Darstellung der Varianz betrifft. HERLYN (1990) zeigt auf, wie in der Automobilindustrie über Optionen die Varianz abgebildet werden kann. Eine Zuordnung von Methoden zu einzelnen Schritten im Entwicklungsprozess finden sich z. B. bei RIITAHUHTA & PULKKINEN (2001) oder REITAN et al. (2002).

SCHUH & SCHWENK (2001)[3] schlagen unter dem Begriff Komplexitätsmanagement einen primär montageorientierten[4] Ansatz vor, der mittels Variantenbäume eine in der Produktion möglichst späte Variantenentstehung fordert. (Bild 27). XIAO et al. (2001) unterscheiden ebenfalls in Bezug auf die Automobilproduktion und Mass Customization explizit zwi-

---

[1] Als dritte Wettbewerbsstrategie wird die Fokussierung auf bestimmte Märkte genannt; diese als auch die Kostenführerschaft können jedoch als Sonderformen der Differenzierung (sic!) aufgefasst werden.

[2] So kann die kundenindividuelle Produktion als Marketinginstrument für die Serienfertigung dienen, da z. B. Kundenwünsche direkt dem Unternehmen mitgeteilt werden.

[3] auch SCHUH (1988) und LEHMANN & KÜMPER (1992) mit der *VMEA – Variant Mode and Effects Analysis*

[4] für Ansätze der Produktionsplanung: MENGE (2001), LINGNAU (1994) oder auch ZÄH & RUDOLF (2003)

schen unterschiedlichen Arten montageorientierter Variantenbäume. Montageorientierte Variantenbäume haben jedoch generell den Nachteil, dass sie die Varianz in Bezug auf die Produktstruktur nicht wiedergeben, Montagezwänge kaum berücksichtigen und die gegenseitige Abhängigkeit der Varianten nicht widerspiegeln.

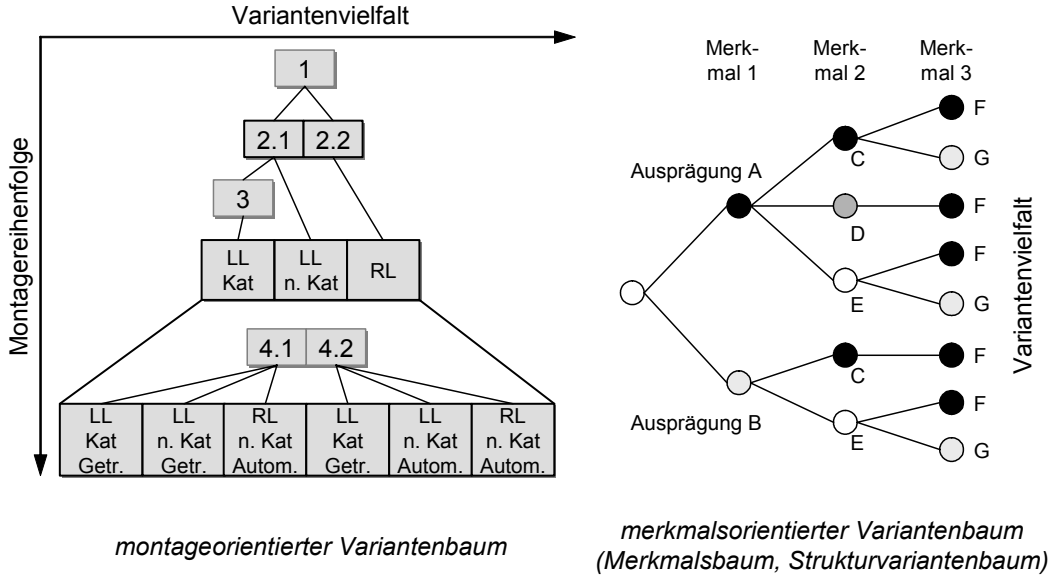


Bild 27: Variantenbäume

Produktorientierte Variantenbäume („Merkmalsbäume“) beinhalten Kombinationszwänge und -verbote. Merkmalsorientierte Variantenbäume haben den Nachteil, dass sie eine logische Abhängigkeit der Merkmale selbst nur bedingt wiedergeben.[1] Beide Variantenbäume haben den Nachteil, dass sie schnell sehr umfangreich und damit nicht mehr handhabbar werden. Es ist, vor allem bei merkmalsorientierten Variantenbäumen, immer festzulegen, auf welchen Umfang sich die Darstellung bezieht.

ADAM (1998) zeigt unter dem Begriff Komplexitätsmanagement mehrere Ansätze auf. Unter dem Begriff *Komplexitätsfalle* wird dabei die Verteuerung (Preis) von Standardprodukten durch extrem teure (Kosten) Exoten, sowie der Teufelskreis aus steigenden Kosten und steigender Komplexität zur Eroberung neuer Märkte verstanden (PILLER & WARINGER 1999, Bild 28); problematisch ist, wenn mehr und mehr Exoten gekauft werden, die das eigentliche Kerngeschäft „kannibalisieren“. SPECHT (1993) betrachtet unterschiedliche Sichten und differenziert Module und Systeme[2]. BARTUSCHAT (1994) geht detailliert auf Kosten und Exoten ein.

---

[1] Beispiel: Merkmal 1 unterscheidet zwischen Elektro- und Verbrennungsmotor; das Merkmal 2a Spannung ergibt nur beim Elektromotor Sinn, das Merkmal 2b Treibstoffart nur beim Verbrennungsmotor. In anderen Fällen kann die Reihenfolge der Merkmale beliebig gewählt werden; ein Austauschen ist mit geeigneter Softwareunterstützung (z. B. auch Pivot-Tabellen in Excel®) möglich.

[2] Module haben im Gegensatz zu Systemen klare (geometrische) Schnittstellen.

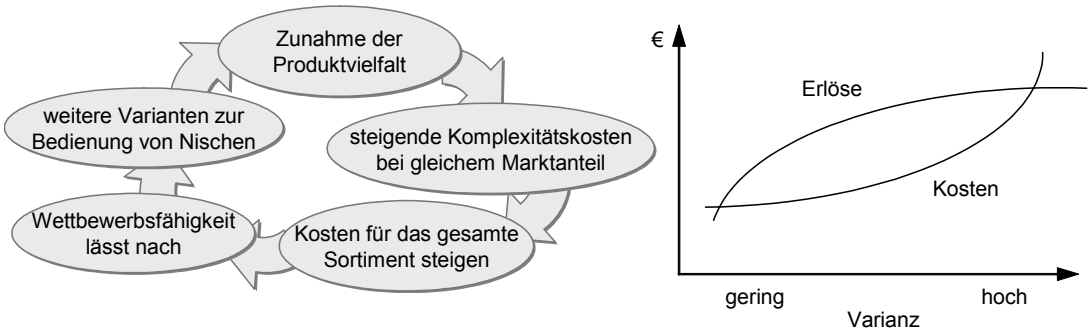


Bild 28: Komplexitätsfalle

JESCHKE (1997) betrachtet die wirtschaftliche Bewertung von Standardisierungsmaßnahmen und zählt dabei die wesentlichen Variantentreiber auf. Die Reduzierung der Variantenvielfalt wird auch von GEMBRYS (1998) untersucht, der ein informationstechnisches Modell der Variantenvielfalt und sowohl ausprägungs- als auch kombinationsbezogene Reduzierungen heranzieht. KOHLHASE (1997) optimiert Baukastensysteme funktions- und montageorientiert und setzt neuronale Netze zur wirtschaftlichen Bewertung ein. Die Erzeugung von Varianten durch parametrische Konstruktion beschreiben z. B. GEISS (1998) oder WEINBRENNER (1994). Ein funktionsorientiertes Bausteinesystem schlägt GIERSE (1999) vor; er berücksichtigt dabei sowohl die Kunden- als auch die Herstellerseite. Theoretische Ansätze werden dabei durch eine Vielzahl von Fallstudien aus der Industrie ergänzt (z. B. BEHR 1998, JUNGERBERG et al. 1998, ZIMMER 2001, BARTUSCHAT 2001).

*Plattform*konzepte (VDI-BERICHTE 1510: 1999, MEYER & LEHNERD 1997) finden sich heutzutage eigentlich nur noch unter dem allgemeinen Begriff „Baukasten". Dieser Ansatz war vor allem in der Automobilindustrie platziert (DUDENHÖFER 2000, HACKENBERG et al. 1999), wurde jedoch auch häufig als Schlagwort missbraucht und äußerst ungenau dargestellt. Die strikte Trennung in Hut und Plattform scheint der Grund zu sein, warum die Ansätze zu einem eher allgemeinen Baukasten gehen.[1]

Zentraler Aspekt von Maßnahmen zum Variantenmanagement ist die Modularisierung, d. h. die Dekomposition des Produkts in definierte Module, die spezifisch ausgetauscht werden können. Neben dem montageorientierten Ansatz nach SCHUH (1988) existieren vor allem funktionsorientierte Gliederungsansätze: Schon BIEGERT (1971) betont eine funktionale Differenzierung. GRÄSSLER (2004) gliedert nach Funktionen und zugeordneten Disziplinen. OTTO (2001) schlägt eine Modularisierung anhand der Funktionsstruktur des Produkts vor und erweitert diesen Ansatz um allgemeine Elemente, die über Algorithmen strukturiert werden können (GASO & OTTO 2003); unterschiedliche Produktarchitekturen werden dabei anhand prozessorientierter Kriterien bewertet. Den Wert von Produktplattformen und den Umgang mit Unsicherheit während der Entwicklung betrachten GONZALEZ-

[1] So bedarf auch die Plattform ständiger Änderungen, gleichzeitig eröffnen sich auch große Potenziale, den Hut als Baukasten zu gestalten oder Teile des Huts und der Plattform funktional zu integrieren.

ZUGASTI et al. (1999). MARTIN & ISHII (2002) modularisieren in Abhängigkeit von Kundenwünschen und deren Entwicklung über die Laufzeit des entsprechenden „Baukastens". ISHII et al. (1995) schlagen darüber hinaus eine Bewertung von Varianten anhand der Kriterien Anzahl der Variationen, Variationszeitpunkt in der Produktion und Änderungsaufwand vor. Die einzelnen Tätigkeiten bei der Modularisierung und deren Strukturierung werden von FUJITA & ISHII (1997) detailliert untersucht. STONE et al. (1999) verwenden einen quantitativen Ansatz zur Bewertung ähnlicher Funktionen in der Produktfamilie. SIDDIQUE & ROSEN (1999, 2001) setzen Elemente der Grafentheorie und Grafengrammatik zur Modularisierung ein. SIMPSON et al. (1999)[1] und MEYER & LEHNERD (1997) gliedern Produkte in Bezug auf Produktplattformen anhand des Marktsegmentes. Die gegenseitige Abhängigkeit der Elemente wird neben GASO & OTTO (2003) auch von SMITH & DUFFY (2001) eingesetzt, um unterschiedliche Produktarchitekturen zu bewerten. Eine Erweiterung um den Einsatz von Dendogrammen wird von HÖLTTA et al. (2003) vorgeschlagen. Auch BLACKENFELT (2001) verwendet einen relationsorientierten Ansatz, der einer Design Structure Matrix (DSM) entspricht. HUMPHRIES & RADCLIFFE (2001) betrachten die Modularisierung großer Anlagen, die nicht die Probleme integrierter Architekturen aufweisen. WILHELM (2001) konzipiert und bewertet eine modulare Fahrzeugfamilie und unterscheidet zwischen Top-Down- und Bottom-Up-Vorgehen bei der Entwicklung von Baukästen.

ERICSSON & ERIXON (1999) präsentieren den umfangreichen Ansatz des *Modular Function Deployment MFD*; hier werden u. a. „Technische Lösungen"[2] nach den „Modularisierungstreibern"[3] Entwicklung, Varianz, Produktion, Qualität, Einkauf und Service bewertet und in unterschiedlichen Architekturen („base unit assembly", „hamburger assembly") zusammengebaut. Darauf aufbauend schlagen LEHTONEN et al. (2003) ein Konzept zur dynamischen Modularisierung („*Dymo*") vor. MÄNNISTÖ & SULONEN (1999) modellieren die Abhängigkeiten einzelner Module und Varianten in Bezug auf die Lebenszeit. COULTER et al. (1998) betrachten das Material und physikalische Schnittstellen bei der Modularisierung.

Die bisher beschriebenen Ansätze fokussieren auf den Aufbau eines variantenreichen Produktspektrums, eines Baukastens o. Ä.; daneben existieren im Entwicklungsprozess die Phasen der Adaption des Derivats, der Konfiguration oder allgemein der Erstellung des individuellen Produkts auf Basis der vorentwickelten Struktur. FINCH (1999) schlägt hier einen satzbasierten Ansatz vor, der die kausalen Zusammenhänge der Entscheidungen und Beteiligten darstellt. WONGVASU et al. (2001) setzen fallbasiertes Schließen (*case based reasoning*) zur Kostenbewertung ein. ZHA et al. (2003) verwenden fallbasiertes Schließen und Multiagentensysteme für die Planung der Montage individualisierter Produkte.

---

[1] SIMPSON 2003 gibt darüber hinaus eine umfangreiche Darstellung des Standes der Forschung in Bezug auf Produktplattformen und Modularisierung

[2] *technical solutions*, d. h. Baugruppen

[3] *module drivers*, d. h. Gründe für eine Modularisierung

Eng verknüpft mit der Entwicklung und Produktion individualisierbarer Produkte sind die Bereiche Konfiguration und Änderungen. Das Konfigurationsmanagement (SAYNISCH 1984) entstand ursprünglich, die Vielzahl technischer Änderungen handhaben zu können; es entwickelte sich weiter zum Änderungsmanagement (LINDEMANN & REICHWALD 1998).

Konfigurationssysteme oder Konfiguratoren stellen Software-Systeme dar, die die Zusammenstellung des endgültigen Produkts aus variierenden Modulen oder Parametern ermöglichen und insbesondere auf den Vertrieb zugeschnitten sind. ROGOLL & PILLER (2002) geben einen umfangreichen Überblick kommerziell erhältlicher Systeme. PULS (2002) verknüpft in seinem Ansatz über Konfigurations- und Verträglichkeitsmatrizen Kundeneigenschaften und -wünsche mit Produkteigenschaften und zeigt Algorithmen auf, Konfigurationen zu überprüfen. SEKOLEC et al. (2003) ergänzen diesen Ansatz um eine Berücksichtigung der Produktstruktur. Das Customer Relationship Management vor dem Hintergrund der Mass Customization und Konfigurationssysteme beschreibt WÜPPING (2000); er betrachtet auch einen durchgehenden Prozess der Variantengenerierung, der sich durch marktanalytische Verfahren auf unterschiedliche Kundenwünsche bezieht (WÜPPING 1998). Theoretische Ansätze zur Klassifizierung (z. B. GRABOWSKI et al. 2001), zum Einsatz neuronaler Netze oder Fuzzy-Methoden (z. B. ALDANONDO 2002) werden dabei ebenfalls berücksichtigt. KÜHN (2001) vergleicht unterschiedliche Konfigurationsmethoden (regelbasiert, strukturbasiert, constraint-basiert, ressourcenorientiert, fallbasiert). Eng verknüpft mit der Konfiguration sind auch Ontologien und Ontologie-Editoren (z. B. NOY & MUSEN 2000), die die semantische Verknüpfung beliebiger Inhalte, insbesondere z. B. Internetseiten, ermöglichen. Die rechnertechnische Unterstützung der Konfiguration wird von z. B. BÜTTNER (1997) oder BEHR et al. (1999) betrachtet.

ECKERT et al. (2003b) haben aufgezeigt, dass Mass Customization oder eine Produktindividualisierungen, technische Änderungsprozesse und sogar Innovationsprozesse auf die gleichen Prinzipien zurückgreifen. JARRATT et al. (2002) stellen ein Konzept zur Bewertung von Änderungsauswirkungen (*change propagation*) mit Hilfe einer Einflussmatrix vor. PALANI RAJAN et al. (2003) beurteilen Änderungsauswirkungen unter dem Titel „*Design for Flexibility*“ mit dem Ansatz der *Change Mode & Effects Analysis* CMEA, die eine Abwandlung der FMEA darstellt und Faktoren wie Änderungsaufwand, Änderungswahrscheinlichkeit und Änderungsbereitschaft berücksichtigt.

Die vorgestellten Ansätze beziehen sich vor allem auf die Produktstruktur und -architektur, die vor dem Hintergrund der Individualisierung oder Variantenbildung den zentralen, wenn auch häufig vernachlässigten Aspekt darstellt (PINE 1993, LEHTONEN et al. 2003). PINE (1993) unterscheidet hier zwischen komponententeilender[1] und -tauschender[2] Modularität, Parametrik, Bussystemen und sektionaler Modularität, die offenen Baukästen entspricht.

[1] gleiche Komponente in unterschiedlichen Produkten

[2] unterschiedliche Komponenten in ansonsten gleichem Produkt

Schon BOROWSKI (1961) unterscheidet unterschiedliche Arten von Baukästen und Bausteinen (Klein-, Groß- und Nicht-Bausteine). PAULA (2000) unterscheidet standardisierte, modular austauschbare, parametrische, vom Prinzip adaptierbare und komplett individuell gestaltete Umfänge. Unter dem Titel *Target Engineering* betrachten BURKERT & KONTNY (2001) die Entwicklung der Struktur von der Produktidee über Funktionen, Komponenten und Module hin zum Produkt (s. Bild 29 – eine solche Darstellung hilft zwar der Übersicht der Struktur, unterstützt die Modularisierung als Prozess aber nur bedingt); zentrale Unterscheidung ist hier, welche Teile standardisiert werden und welche variieren können. GÖPFERT & STEINBRECHER (2001) folgen dem gleichen Prozess und kombinieren die technische und die organisatorische Modularisierung (auch GÖPFERT 1998): Technik und Entwicklung sind entweder beide integriert oder beide modular zu gestalten, ansonsten kommt es zu verschenkten Potenzialen oder unnötigem Koordinationsaufwand. Sie unterscheiden, wie SELIGER & BASDERE (2001), zwischen funktional und/oder physikalisch unabhängigen Strukturen sowie zwischen definierten, standardisierten und universellen Schnittstellen. RAPP (1999) betrachtet die Abhängigkeiten von Schnittstellen und Produktmerkmalen. Nichtsdestotrotz werden Schnittstellen ähnlich der Struktur zu wenig in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt. Solche standardisierten Schnittstellen zwischen einzelnen Komponenten fordert WILDEMANN (1999); er sieht als zentrale Ansätze des Variantenmanagements die Komplexitätsreduzierung, -vermeidung und -beherrschung. Diese Ansätze verknüpfen RIEDEL et al. (1999) mit den Bereichen Markt, Produkt und Produktion. Den Nutzen der Standardisierung für die Ablauforganisation zeigen FRANKE et al. (1993) auf.

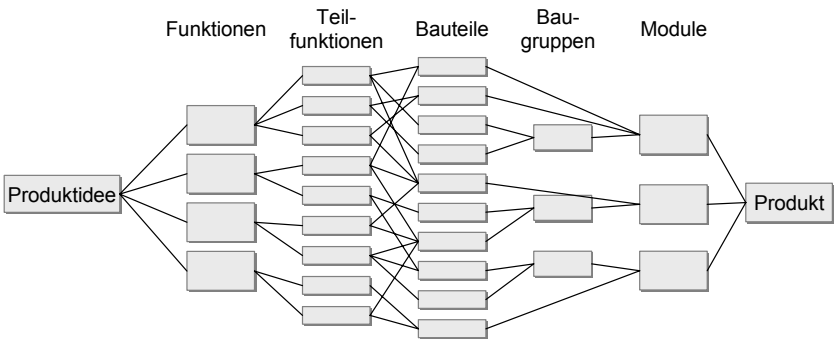


Bild 29: Prozess der Modularisierung

DU et al. (2001) und JIAO (1998) stellen umfangreiche mathematische Konzepte zur Bewertung und Darstellung der Produktarchitektur auf: z. B. zum Priorisieren und Clustern von Funktionen, Verhalten (Freiheitsgraden) und der Struktur (Komponenten). HANSEN et al. (2001) betrachten den Einfluss der Modularisierung auf Entwicklung, Produktion und Service. SVENSSON & JENSEN (2001) unterscheiden Individualisierungsansätze nach Zeitpunkt des Auftretens in Entwicklung, Fertigung, Montage oder Auslieferung. JENSEN (2001) unterscheidet darüber hinaus zwischen wahrgenommenen und latenten Bedürfnissen der Kunden; er verknüpft das Verhalten des Produkts (*behavioral attributes*) mit dessen Struktur (*structural attributes*) und ergänzt dies um den ökonomischen Gesichtspunkt.

TEERAVARUNYOU & SATO (2001) schließen in einem objektorientierten Ansatz vom Kunden und der Nutzung des Produkts auf die Produktstruktur. GRANTE & BYLUND (2002) und EL-HAIK & YANG (1999) z. B. verfolgen theoretische Ansätze zur Komplexität.

Es existiert eine Vielzahl von Ansätzen und Kennzahlen zur Bewertung von Plattform-, Baukasten- oder Mass Customization-Ansätzen. URBANI et al. (2001) bewerten Aufwand und Effizienz konfigurierbarer Systeme. FOGLIATTO et al. (2001) schlagen einen Machbarkeitsindex auf Basis von QFD-Matrizen mit Qualitätscharakteristiken, Produktumfängen und Prozessschritten vor. WANG & JIAO (2003) setzen zur Bewertung der Umsetzbarkeit von Konfigurationen genetische Algorithmen ein. NEFF et al. (2001) setzen die Kosten direkt der Produktdifferenzierung gegenüber und ziehen dazu – mit Hilfe einer *Balanced Scorecard* (KAPLAN & NORTON 1997) – Kriterien aus unterschiedlichen Bereichen heran.

KRISHNAPILLAI & ZEID (2003) erweitern den Ansatz des *Axiomatic Design* (SUH 1988) zur Individualisierung von Produkten. MANN & DOMB (2001) wenden TRIZ auf den Bereich der Mass Customization an. U. a. CHAN & CHEUNG (2001), RIIS et al. (2003), TSIGKAS et al. (2003), HVAM & MALIS (2001) betrachten das Wissensmanagement und wissensbasierte Empfehlungssysteme. GROS (2001) sieht eine enge Verbindung zwischen Individualisierung und Kunst oder Industrial Design. MACCARTHY et al. (2001a) führen Feldstudien durch und untersuchen die Entwicklung der Individualisierung.

LOPITZSCH & WIENDAHL (2001) unterscheiden zwischen „Push“ (Angebot, Ressourcen) und „Pull“ (Nachfrage) bei der Erstellung individualisierter Produkte. WIENDAHL & HARMS (2001) setzen Agentensysteme zur selbstorganisierten Strukturierung der Fabrikplanung in Bezug auf variantenreiche Produkte ein. Einen ähnlichen Ansatz zur Planung des Produktionsprozesses verfolgen CHEN et al. (2001); dabei beziehen sie sie sich auch auf die Autopoiesis Maturanas und die Systemtheorie Luhmanns.

Die Absicherung der Eigenschaften und der Qualität individualisierter Produkte betrachten MACCARTHY et al. (2001b). Die Einbindung des Kunden als Entwickler und Designer sowie als Produzent stellt sowohl für die Wirtschaftlichkeit als auch zur Innovation eine besondere Rolle dar (z. B. SVENSSON & JENSEN 2001, PILLER 2003). CANTAMESSA & RAFELE (2002) betrachten die Einflüsse einer Modularisierung auf Innovationen (z. B. *Technology Roadmaps*) und organisatorische Randbedingungen. Das Controlling variantenreicher Produkte wird von LÖSCH (2001) untersucht. Sehr allgemeine Ansätze werden auch in der integrierten Produktentwicklung (z. B. EHRLENSPIEL 1995) zur Verfügung gestellt.

Auf den ersten Blick scheinen die untersuchten Ansätze z. T. unangemessen zu sein, da sie

- zu montageorientiert oder betriebswirtschaftlich ausgerichtet sind und die Produktentwicklung zu wenig betrachten,
- zu sehr auf eine reine Variantenreduzierung abzielen,
- keinen durchgängigen Prozess mit entsprechender Methodenunterstützung bieten,
- der realen, zahlenmäßigen Komplexität von Produktspektren nicht gerecht werden,

- das (Industrial) Design nicht berücksichtigen,
- zwar mathematisch korrekt, jedoch praktisch nicht anwendbar sind und
- die Produktstruktur und -architektur zu wenig berücksichtigen.

Diese Kritik ist zwar berechtigt, bei genauerem Hinsehen stellt man jedoch fest, dass nicht nur die richtige Methodik fehlt, sondern dass es ein zu großes, nicht mehr überschaubares Angebot von Methoden gibt. Dies mag zum einen darin begründet sein, dass unterschiedlichste Problemstellungen in Bezug auf Varianten und Baukästen auftauchen, die eben mit unterschiedlichen Methoden anzugehen sind und nur aus dem emergenten Zusammenspiel einer Vielzahl von Methoden gelöst werden können. Zum anderen ergibt sich hieraus der Bedarf der Kontingenzschließung, d. h. der persönlichen Beschränkung und Konzentration auf ein bestimmtes Vorgehen, wie es in Kapitel 4 angesprochen wurde.

Bild 30: Geografische Ausrichtung des „Variantenmanagements“ und Einsatz von Matrizen

Wenn auch eine vollständige Darstellung der Ansätze nicht möglich ist, soll Bild 30 einen groben geografischen Überblick über die Ausrichtung der einzelnen Beiträge geben. Interessant ist dabei, dass *Matrizen*, die ein wesentliches Element aller Ansätze darstellen, im englischsprachigen Raum vor allem als Design Structure Matrices (Einfluss der Elemente untereinander), im skandinavischen Raum vor allem zur Bewertung von Umfängen (z. B. Module an Modularitätstreibern), im deutschsprachigen Raum zur Zuordnung und Konfiguration (Abbildung von Kundeneigenschaften auf Produkteigenschaften) und im asiatischen Raum im Rahmen des Quality Function Deployment (Gewichtung Produkteigenschaften anhand Kundenwünschen) angewendet werden.

Neben den aufgeführten Ansätzen spielen weitere Themen eine Rolle in Bezug auf Variantenmanagement; hierzu gehören z. B. die Logistik (DANGLMAIER 1997), die Wandlungsfähigkeit von Unternehmen (WESTKÄMPER et al. 2000), Fabriknetzwerke (WESTKÄMPER 2001), die Einbindung von Zulieferern (VDI-BERICHTE 1394: 1998), die Automatisierung von Entwicklungs- und Produktionsprozessen (ANTONSSON & CAGAN 2001) etc.

Trotz der zunehmenden Variantenvielfalt und auch bedingt durch Maßnahmen zum Variantenmanagement existieren aus Kunden- und Herstellersicht immer noch gravierende Mängel in der Komplexitätsverarbeitung. Diese sind in Tabelle 28 gegenübergestellt.

Tabelle 28: Aktuelle Schwierigkeiten des Variantenangebots

Kundensicht	Herstellersicht
– Produktvarianten sind vorbestimmt und begrenzt – Individuelle Wünsche sind sehr teuer – Lieferzeiten sind zu lang – Nachträgliche Änderungen sind kaum möglich – Es besteht kaum emotionaler Bezug zum Produkt – Kunde verliert sich im Angebot – Kombinationszwänge sind unverständlich – Überflüssige Funktionen müssen in Kauf genommen werden	– Es besteht ein hohes Entwicklungsrisiko für Derivate – Variantenangebot ist intransparent und bedarf einer hohen Steuerungskomplexität – Es existieren hohe Lagerbestände und Überproduktionen – Marketing ist aufwendig; Rabatte schmälern den Gewinn – Der Markt wird nur annähernd getroffen, Nischenmärkte sind sehr begrenzt – Globale Märkte, die bedient werden sollen, haben unterschiedlichste Anforderungen – Das Mitschleppen von Exoten führt zur Überteuerung von Standardprodukten

5.3 Neues Paradigma: Entwicklung individualisierter Produkte

Der Umgang mit der variantenbedingten Komplexität wird durch unterschiedliche Ansätze unterstützt, die sich teilweise überschneiden und zum Teil auch recht schwammig definiert sind. Grundsätzlich bewegt man sich zwischen den beiden Extremen: Serienfertigung identischer Produkte und Einzelfertigung individueller Produkte (Bild 31).

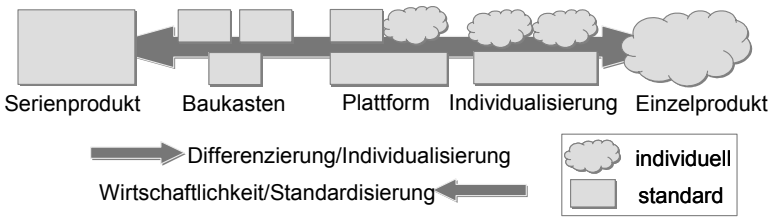


Bild 31: Ansätze zwischen Serienprodukt und Einzelprodukt (die „Wirtschaftlichkeit“ bezieht sich hier auf Skaleneffekte, ohne Berücksichtigung von Marktanteilen o. Ä.)

Eine solche Darstellung ist angebracht, um die Vor- und Nachteile der einzelnen Ansätze *bezugsorientiert* darzustellen: die Vorteile, die ein Baukasten z. B. gegenüber einem reinen Serienprodukt hat, hat ein Einzelprodukt gegenüber dem Baukasten. Die wesentlichsten Vor- und Nachteile sind in folgender Tabelle 29 dargestellt.

Tabelle 29: Vorteile der Individualisierung und der Standardisierung (Nachteile entsprechend)

Individualisierung	Standardisierung
– optimale Funktionserfüllung, Zusatzfunktionen möglich, weniger Kompromisse – Ansprechen größerer Zielgruppen – bessere Kundeninteraktion und Kundenbindung	– Kostensenkung (Skaleneffekte durch Rüstkosten, Lerneffekte, Technologien, höhere Maschinenauslastung etc.), auch im Einkauf – Lieferzeitverkürzung (Möglichkeit d. Lagerhaltung)

Individualisierung	Standardisierung
– geringerer Änderungsaufwand, nachträgliche Änderungen möglich (da „vorausgedacht"), geringer Aufwand für Pflege – Differenzierung gegenüber Wettbewerb – innovationsfördernd – z. T. einfacheres Lebenszyklusmanagement – z. T. besseres Image, bessere Werbung möglich (Marketing) – z. T. weniger Aufwand in der Entwicklung (Simultaneous Engineering), da einzelne Umfänge abgegrenzt werden – geringer stückzahlabhängiger Entwicklungs- und Optimierungsaufwand – bessere Reaktion auf Marktschwankungen – weniger Überproduktion – evtl. weniger Lagerhaltungskosten (Endprodukte) – z. T. weniger Serienanläufe – geringeres Entwicklungsrisiko für Gesamtproduktspektrum	– Qualitätsverbesserung (Lerneffekte und Entwicklungsaufwand) – Geringerer Dokumentationsaufwand – weniger Testläufe, Absicherungsmaßnahmen, auch Wareneingangskontrolle – geringere Zahl von Zulieferern – geringere Anzahl Vorführmodelle, Schulungsaufwand etc. im Vertrieb – Ersatzteilversorgung einfacher – geringes Entwicklungsrisiko für Derivate – vereinfachte Logistik (Teilevielfalt) – keine Überforderung des Kunden bei der Produktauswahl – weniger Ausschuss – kein Mitschleppen teurer Exoten – evtl. weniger Intransparenz der Kosten – Optimierung der Produktionsprozesse (und bessere Steuerung) – evtl. geringere Lagerhaltung (Rohmaterial)

Man sieht, dass sich einige der Aspekte überschneiden, wie z. B. die Lagerhaltungskosten. Daher erscheint es sinnvoller, lediglich eine Sammlung von Kriterien anzugeben, die bei der Einführung solcher Ansätze zu berücksichtigen sind. Diese sind in einer Checkliste zusammengefasst (s. Anhang 4).

Grundsätzliche Fragestellung aller Maßnahmen zum Variantenmanagement und ähnlicher Themen – auch ohne Begründung des zunehmenden Individualisierungstrends – ist, wie ein möglichst großes und passendes Angebot für den Kunden mit möglichst geringem Aufwand (Kosten, Zeit, Ressourcen, Transparenz) erstellt werden kann. Aus organisatorischer Sicht führt dies immer zur Wiederverwendung bestimmter Umfänge (Baugruppen, Struktur, Prozesse oder auch Kunden, Erfahrungen etc). Aus technischer Sicht lassen sich die Struktur und die Komponenten des Produkts und somit zwei Ansätze des Variantenmanagements unterscheiden. Hier gilt:

Wie können innerhalb eines Produkts (einer Struktur) Komponenten oder Bausteine ausgetauscht werden? Und wie können Komponenten in mehreren Produkten (Strukturen) eingesetzt werden?[1]

Wesentliches Element zur Beantwortung dieser Fragen sind die Schnittstellen zwischen den Komponenten, die letzten Endes die Struktur konstituieren. Ein offener Baukasten stellt hier den Sonderfall dar, dass die Struktur selbst ein variables Element wird und nur die Schnittstellen und die Art der Strukturierung einheitlich sind (Bild 32).

[1] Diese Unterscheidung zeigt die beiderseitigen Vorteile eines Baukastens für Zulieferer und OEM: der OEM kann unterschiedliche Komponenten in das Gesamtprodukt einbinden, der Zulieferer kann mit der gleichen Komponente unterschiedliche OEMs bedienen. Dies als Vorgabe („Ergebnis") reicht teilweise aus, Zulieferer einen Baukasten aufbauen zu lassen.

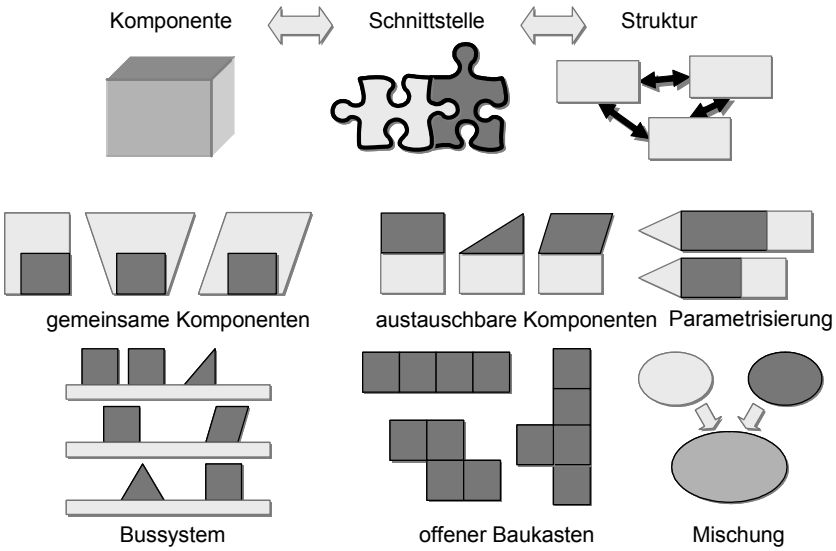


Bild 32: Arten der Variantenbildung (auch Mischformen möglich: z. B. festgelegte Anzahl Module, Gruppierungen, Skalierungen etc. – „Mischung“ z. B. Farben, Chemikalien; im Maschinenbau seltener)

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Entwicklung vollständig individualisierbarer Produkte zu unterstützen. Ein individualisiertes Produkt ist dabei ein Produkt das ideal auf die Wünsche und Bedürfnisse des einzelnen Kunden angepasst ist. Einzelne Bereiche können vollkommen frei gestaltet werden, das individualisierte Produkt enthält jedoch auch Standardkomponenten und definiert sich insbesondere durch die vorgegebene Struktur. Dieser eher herstellerorientierten Sichtweise der Variantenproblematik lassen sich nun Variationsmöglichkeiten aus Kundensicht gegenüberstellen. Tabelle 30 gibt eine Übersicht möglicher Varianzarten. Die Grenze zwischen Hersteller- und Kundensicht ist dabei fließend.

Tabelle 30: Arten der Varianz oder der Spezifizierung

Varianz	Erläuterung	Beispiel
Elementare Bausteine	Produkt ist „unabhängig“ von den Bausteinen	Lego®, Regalsystem, Gerüstbau
Kontinuierliche Spezifikation	Spezifikation ist abhängig von vorheriger Auswahl	Auto (Serie ➔ Modell ➔ Motorisierung)
Modulare Spezifikation	Einzelne Umfänge können unabhängig voneinander gewählt werden, sind aber immer vorhanden	Auto (Felgen, Lenkräder, Farbe etc.)
Zusatz-/Sonderausstattungen	Varianten werden durch Hinzufügen von Umfängen gebildet, die in der Grundausstattung nicht vorhanden sind	Auto (Radio, Schiebedach, Navigation)
Eingebaute Flexibilität	Es können noch später Änderungen vorgenommen werden, entweder kurzfristig oder langfristig	Auto (Sitzeinstellung), Computer (Nachrüsten)
Parametrische Anpassung	Einzelne Werte, auch komplexere Eigenschaften können diskret oder kontinuierlich angepasst werden	Schuhe (Anpassung an Form der Füße)
Strukturelle Unterschiede	Ort einer bestimmten Baugruppe kann frei gewählt werden; Struktur des Produkts ändert sich	Auto (Ort des CD-Wechslers)
Eigenschaftsorientierte Individualisierung	Kunde legt Eigenschaften fest (z. B. Gebrauchszweck), aus denen das Produkt spezifiziert wird	Computer (z. T. Konfiguration nach Anwendung)
Anwenderanpassung	Geschlossener Baukasten, je nach Anwendung angepasst (komplexeres Produkt mit eingebauter Flexibilität)	Heimwerkerset

Das individualisierte Produkt wird zu Konditionen (Kosten, Lieferzeit, Qualität etc.) angeboten, die sich nicht wesentlich von den Konditionen nicht individualisierter Serienprodukte unterscheiden. Auch wenn viele Ansätze – vor allem in der Kombination – neu sind, ähneln sie doch vielfach existierenden Prinzipien. Eine modulare Produktarchitektur, definierte Schnittstellen oder standardisierte (Änderungs-)Prozesse z. B. sind grundlegende Elemente, die auch in diesem Ansatz Verwendung finden. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit der Strukturplanung des Produktspektrums, d. h. der Entwicklung der eigentlichen Produktarchitektur.

Wesentliche Problemfelder bei der Entwicklung individualisierter und allgemein variantenreicher Produktspektren sind der Aufwand (Kosten, Zeit, Ressourcen etc.), der für die Erstellung individualisierter Produkte aufzubringen ist. Die Schwierigkeit besteht dabei in der Komplexität (Intransparenz, gegenseitige Abhängigkeiten, Informationsflut, Vielzahl von Möglichkeiten, Grenzen des Produktspektrums, Absicherung der Produkteigenschaften etc.) während der Erstellung sowie der Unschärfe (Unvorhersehbarkeit, Wandlungsfähigkeit, ungenaue Spezifikation), wenn Umfänge im Voraus entwickelt und produziert werden. Wesentliche Handlungsfelder und neue Ansätze, die sich daraus ergeben, sind:

- Kundenintegration: durch Integration des Kunden in den Wertschöpfungsprozess können Wirtschaftlichkeitspotenziale erschlossen werden; wichtig ist vor allem, ein vertrauensvolles Verhältnis aufzubauen und den Kunden dauerhaft zu binden. Die direkte Interaktion mit dem Kunden ermöglicht auch verstärkt kundengetriebene Innovationen (PILLER 2003).
- Regionalisierung: Durch eine Fokussierung auf regionale Märkte können zum einen lokale Gegebenheiten besonders berücksichtigt werden, zum anderen muss nur ein geringer Teil der weltweit möglichen Anforderungen erfüllt werden.
- Modularisierung: Eine Modularisierung von Produkt, Prozess und Organisation ist unabdingbar, um die Komplexität handhaben zu können. Wichtig sind hier die Unabhängigkeit der Module und die nicht ausschließlich hierarchische Gliederung.
- Prozessorientierung: Anstatt ausschließlich standardisierte Module zu erstellen, wird der Fokus auf standardisierte Prozesse gelegt, die individuelle Produkte ermöglichen; nicht der „Baukasten“ ist das Ziel, sondern der Aufbau, die Pflege und die Weiterentwicklung eines Baukastens.
- Minifabriken: Minifabriken sind kleine, selbstständig operierende Unternehmen, die sowohl Bereiche mit Fabrikcharakter als auch mit Werkstattcharakter besitzen. Durch die begrenzte Größe wird der Intransparenz großer Firmen entgegengewirkt. Die Minifabriken kooperieren in einem selbstorganisierten Netzwerk (ZÄH et al. 2003b).[1]

[1] Die Verarbeitung der Komplexität durch Begrenzung auf Minifabriken widerspricht zuerst dem Ansatz emergenter Systeme und Systemeigenschaften, die in einer großen Fabrik auftauchen. Das Netzwerk aus Minifabriken spiegelt dieses Prinzip jedoch exakt wider.

- Technologien: Neue Produkttechnologien (intelligente Werkstoffe, Mechatronik etc.), neue Produktionstechnologien (Rapid Manufacturing etc.) und neue Informationstechnologien (Künstliche Intelligenz, Parametrik etc.) unterstützen die Erstellung individualisierter Produkte (z. B. HARNISCH 2003).
- Evolutionäre Entwicklung: U. a. der Umgang mit Unschärfe wird durch evolutionäre Strategien, d. h. einer ständigen Weiterentwicklung des Produktspektrums erreicht.
- Kundenprofile und Dienstleistungsanteile: Bei der Produktauswahl wird der Kunde mit Empfehlungen unterstützt, die auf seinem Profil, seinen Eigenschaften sowie den Erfahrungen anderer Nutzer basieren (STEGMANN et al. 2003).

Entscheidend ist dabei, dass nicht ein Ansatz die Idee verwirklicht, sondern dass das Ziel durch die Kombination vieler Einzelansätze erreicht wird.

Zentrale Fragestellung bei der Vorentwicklung des Produktspektrums – neben dem Aufwand der Individualisierung – ist die Erfüllung grundlegender Forderungen wie Qualität, Sicherheit, Ökologie etc. Insbesondere das Industrial Design gestaltet sich als eines der Hauptprobleme, da dieses wesentliches Merkmal moderner Produkte ist (s. Automobil), vom Kunden nur bedingt festgelegt werden kann[1] und von einer Vielzahl von Faktoren abhängt, gleichzeitig aber auch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst.

Betrachtet man die praktische Umsetzung dieser Ansätze, ist zwischen kurz-, mittel- und langfristigen Maßnahmen zu unterscheiden. Kurzfristige Maßnahmen können eine transparente Darstellung der Varianz im Unternehmen sein. Mittelfristige Ansätze betreffen z. B. den Aufbau eines ganzheitlichen, optimierten Produktspektrums. Langfristige Maßnahmen können bis zur Veränderung des Marktes selbst reichen.

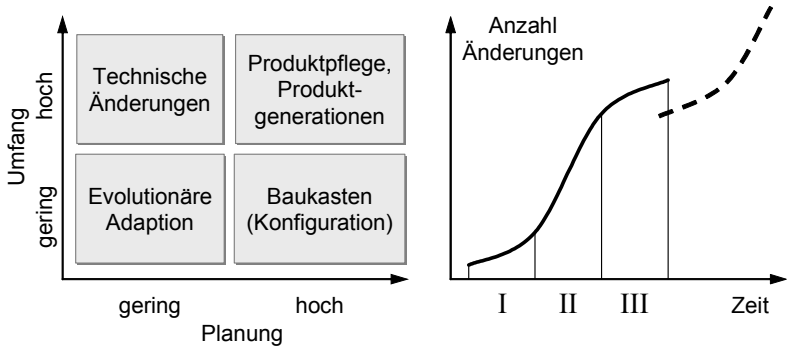


Bild 33: Ausmaß und Zeitpunkt der Änderungen zur Einordnung des Ansatzes

Zur Einordnung des vorzustellenden Ansatzes dient Bild 33. Obwohl eine nicht unerhebliche Vorplanung stattfindet, wird der Fokus eher auf eine nur wenig geplante, inkrementelle Änderung des Produktspektrums gelegt. Damit liegt der Fokus auf der kontinuierli-

[1] So erwarten Kunden in der Regel, ein ansprechendes Design angeboten zu bekommen oder von diesem überrascht zu werden.

chen Weiterentwicklung anstatt auf abgeschlossenen Entwicklungen. Diese Entwicklung lässt sich auch anhand einer S-Kurve verdeutlichen: Zu Beginn, wenn die Strukturentwicklung viel Aufwand verschlingt, werden nur wenige Varianten entwickelt und angeboten, um den ersten Kunden ein Referenzprodukt zu bieten. In der zweiten Phase finden viele Produktadaptionen statt, da hier der Großteil der Kunden über ihre Wünsche neue Funktionen und Ausprägungen des Produkts fordern. In der dritten Phase führen nur noch wenige Wünsche zu weiterem Entwicklungsaufwand, da die meisten Wünsche schon zuvor umgesetzt wurden und auf dieses Wissen zurückgegriffen wird. Die Kapazitäten der Firma können sich dann auf die Entwicklung eines neuen Produktspektrums konzentrieren.

Der Ansatz lässt sich auch mit einem morphologischen Kasten präzisieren, der in Anhang 5 wiedergegeben ist. Wesentliche Punkte sind, dass Endkunden adressiert werden, Kundenprofile gespeichert werden, das Produkt im normalen Bereich bis Premiumsegment angesiedelt ist und es sich um ein mechatronisches Produkt handelt.

Der Bezug zwischen Systemtheorie und dem Ansatz zur Entwicklung variantenreicher oder individualisierbarer Produktspektren zeigt sich in den Aspekten, dass

- das Netzwerk aus Minifabriken dem sozialen Prozess der Spezialisierung, Strukturierung etc. entspricht, das Netzwerk somit selbst ein soziales System darstellt,
- die Individualisierung eine Art der Spezialisierung darstellt,
- Produkt, Kundenwünsche, Fertigungsanlagen etc. sich gegenseitig beeinflussen und in einem sich ständig weiterentwickelnden Prozess nie vollständig sind,
- die Struktur und die Schnittstellen zwischen den einzelnen Umfängen das wesentliche Element und die „Grenze“ des Spektrums darstellen,
- die Komponenten und Produktvarianten einem evolutionären Prozess unterliegen,
- die Minifabrik und die Methodik selber individualisierbare „Produkte“ sind und
- Komplexität im Sinne von „Möglichkeiten“ nicht lediglich reduziert, sondern adäquat genutzt werden muss.

Der letzte Punkt, das neue Verständnis von Komplexität, soll dabei besonders hervorgehoben werden: Komplexität (s. o.) entsteht, wenn innerhalb eines Systems nicht mehr alle Elemente mit allen Elementen handhabbar verknüpft werden können (z. B. Berücksichtigung aller Wechselwirkungen). Grundsätzliches Ziel aller Maßnahmen zum Komplexitätsmanagement muss also sein, diese Elemente möglichst unabhängig voneinander zu halten und ihnen „zu erlauben“, sich selbst an sich ändernde Randbedingungen anzupassen. Dabei ist festzuhalten, dass ein Baukasten – als holistisches Ganzes – zwar weniger optimiert ist als seine Bestandteile oder ein integriertes Produkt, es aber die emergente Eigenschaft des Baukastens ist, auf einem höheren Organisationsniveau effizienter zu sein. Einen Baukasten mit einem integrierten Produkt zu vergleichen, entspricht einer Betrachtung unterschiedlicher Organisationsniveaus. Der Baukasten entsteht darüber hinaus in einem sozialen Prozess und unterstützt diesen.

5.4 Zusammenfassung

Allgemein ist der Trend zunehmender Variantenvielfalt und individualisierbarer Produkte zu beobachten. Unabhängig davon, ob dieser Trend anhält, ermöglichen Werkzeuge des Variantenmanagements, ein möglichst großes Angebot mit möglichst wenigen Ressourcen zu erstellen.[1] Dabei ist es schwierig, sich in der Vielfalt der existierenden Ansätze zurechtzufinden. Es kommt also darauf an, als Kontingenzschließung ein individuelles, aber angemessenes Vorgehen zu finden, um den Aufwand der Entwicklung variantenreicher Produktspektren zu begrenzen und mit der Komplexität und Unschärfe des Betrachtungsgegenstands umzugehen. Hier hilft das Verständnis der Komplexität, wie es in der soziologischen Systemtheorie zu finden ist. Eine reine Reduktion des Variantenangebotes kann nicht die Lösung sein, um auf einen zunehmend komplexen Markt und dessen Nachfrage zu reagieren. Darüber hinaus bauen eine Vielzahl der betrachteten Ansätze nur auf existierenden Produktspektren auf, gehen nicht detailliert genug auf die technische Strukturierung des Produkts ein oder sind aufgrund der realen Komplexität nur bedingt anwendbar.

Schon im Kapitel 3 über Wissenschaft wurde kritisiert, dass es schwierig ist, keine zu abgehobenen Konzepte zu erstellen, die in der Realität nicht anwendbar sind. Dies führt zu einer Gratwanderung, einerseits idealistische Visionen aufzuzeigen, um theoretisch optimale Konzepte anzustoßen; andererseits sind diese Konzepte immer wieder auf realistisch anwendbare Hilfsmittel zu reduzieren. Das Konzept individualisierter Produkte oder der Mass Customization ist somit ein Überbegriff einer Vielzahl von Ansätzen, die flexibel für ebenfalls eine Vielzahl von Fällen und Problemstellungen anwendbar sind. Das folgende Kapitel versucht somit, sowohl ein ganzheitliches Konzept aufzustellen als auch einzelne Hilfsmittel daraus zu extrahieren.

So wie *eine* Methodik nicht den kompletten Prozess einer Baukastenentwicklung abdecken kann, ist die Illusion aufzugeben, eine komplette Übersicht der Komplexität des Produktspektrums wäre möglich. Ein Baukasten entsteht in einem sozialen Prozess, der vielfältigen Einflüssen unterliegt. Gleichzeitig unterstützt ein Baukasten aber den sozialen Prozess der Produktentwicklung durch Modularisierung, Definition der Schnittstellen etc.

Komplexität stellt kein Problem dar, sondern führt höchstens zu anderen Problemen (z. B. Handlungsunsicherheit). In dieser Auffassung von Komplexität können zwei Alternativen („Varianten“) komplexer als 100 Varianten sein, wenn die gewünschten oder notwendigen Bedingungen von jenen zwei Möglichkeiten überhaupt nicht getroffen werden.

Ziel des folgenden Kapitels ist also, Anschlusshandlungen im sozialen System zu ermöglichen. Grundsätzliche Fragestellung ist dabei nicht, *ob* ein Baukasten sinnvoll ist, sondern *wie* ein Baukasten (als Überbegriff) sinnvoll aussieht.

---

[1] Nach der Produktionsoptimierung/-automation folgt nun also die Entwicklungsoptimierung/-automation.

6 Entwicklungsmethodik für flexible Produktspektren – Design for Flexibility

Dieses Kapitel beschreibt die Methodik zur Entwicklung flexibler, variantenreicher und individualisierbarer Produktspektren. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Produktstruktur, der Strukturplanung oder der Produktarchitektur, wobei eine strikte Trennung z. B. zum Marketing aufgehoben wird. Unter Struktur wird in diesem Zusammenhang die logische, technische und räumliche Verknüpfung der einzelnen Produktkomponenten verstanden. Es geht also darum, ein variantenreiches oder individualisierbares Produktspektrum aufzubauen, von dem leicht individuelle Produkte abgeleitet werden können.

Die Ansätze beziehen sich sowohl auf die akademische Seite als auch die industrielle Praxis (Beispiel Automobilsitz und -cockpit); dabei wird sowohl die Erhöhung externer als auch die Reduktion interner Komplexität adressiert. Auf den Bezug zur Systemtheorie wird nur partiell explizit hingewiesen.

6.1 Anforderungen an die Methodik

Ziel des Kapitels ist die Produktspektrums (Produktstruktur), von dem leicht individualisierte Produkte abgeleitet werden können. Diese Planung findet zum Großteil vor der individuellen Adaption statt. Tabelle 31 fasst die Anforderungen an die Methodik zusammen.

Tabelle 31: Anforderungen an die Entwicklungsmethodik

Zielsetzung
– Unterstützung der Entwicklung eines individualisierbaren oder variantenreichen Produktspektrums – Anwendung der Methodik auf unterschiedliche Produkte – Erhöhung des Variantenangebotes, aber Verhindern von Auswucherungen
Methodik
– Regeln zur Anpassung der Methodik
Prozess
– Abbildung des Prozesses von Marketing bis zur Ableitung des individuellen Produkts – Top-Down-Vorgehen bei der Strukturplanung
Komplexität
– Regeln zur praktischen Handhabung der Komplexität – Unterstützende Algorithmen zur Verarbeitung der Komplexität
Rechnerunterstützung
– Basis für Rechnerunterstützung – Schnittstellen zu anderen Anwendungen (CAD, PDM etc.)
Produktspektrum
– Integration eines konsistenten, aber sich kontinuierlich weiterentwickelnden Produktmodells – Transparente Darstellung des Produktspektrums und dessen Komplexität

– Grenzen des Produktspektrums beschreiben – Unterschiedliche Sichten auf das Produktspektrum ermöglichen – Explizite Berücksichtigung technischer Schnittstellen – Berücksichtigung der Weiterentwicklung des Produktspektrums – Keine a priori Begrenzung des Produktspektrums, Kundenwunsch steht an erster Stelle – Berücksichtigung funktionaler und technischer Wechselbeziehungen
Randbedingungen
– Berücksichtigung der Kosten, die für einen Massenmarkt interessant bleiben müssen – Schnittstelle zur geometrischen Konstruktion – Unscharfe Informationen berücksichtigen und aufnehmen – Absicherung des Produkts bezüglich Qualität, Sicherheit, Funktion etc. – Berücksichtigung mechatronischer Produktentwicklung – Berücksichtung produktions-, produkt- und informationstechnischer Möglichkeiten – Besondere Berücksichtigung von Design und Bauraum – Berücksichtigung der Ressourcen – Explizite Betrachtung des Konflikts von Integration und Modularisierung

Zentraler Bestandteil ist das Produktmodell als Ergebnis des betrachteten Prozesses.

6.2 Produktmodell

6.2.1 Stand der Forschung

Ein Produktmodell enthält alle für die Produkterstellung, -nutzung und -entsorgung relevanten Informationen. Es ist eng verknüpft mit der Produktlogik, die die Zusammenhänge zwischen Anforderungen, Produktmerkmalen, sonstigen Einflüssen sowie den Bauteilen und Baugruppen des Produkts umfasst. Daneben zählen zum Produktmodell, Funktionen, die Geometrie etc. GRABOWSKI et al. (1993) sehen in einem integrierten Produktmodell die Voraussetzung für eine Rechnerunterstützung der Produktentwicklung. SPUR & KRAUSE (1997) nennen als wesentliches Element des Produktmodells die Produktstruktur und weisen auf die hohe Bedeutung der Verknüpfung von Produkt- und Prozessmodell hin.

WEINBRENNER (1994) entwirft ein einfaches hierarchisches, aber schon objektorientiertes Produktmodell zur automatisierten Variantengenerierung geometrischer Bauteile. WELLNIAK (1995) entwickelt für den Integrierten Konstruktionsarbeitsplatz ein Produktmodell, das auf Dokumenten basiert und die Logik des Entwicklungsprozesses widerspiegelt; dieses Produktmodell wird von AMBROSY (1996) und ASSMANN (2000) weitergeführt. STEINMEIER (1999) verknüpft in einem systemtechnischen Produktmodell die Bauteile eines komplexen Produkts mit vielfältigen Arten von Abhängigkeiten. GENDERKA (1995) beschreibt eine objektorientierte Methode zur Entwicklung und v. a. Darstellung von Produktmodellen. BREXEL (1997) kombiniert in seinem Produktmodell Bauteile und Varianten, d. h. unterschiedliche Spezifikationen in einem Strukturmodell aus verschachtelten Matrizen. Darüber hinaus existiert eine Vielzahl weiterer Produktmodelle, die sich nicht

wesentlich von den zuvor genannten unterscheiden. COLLIN (2001) verwendet z. B. ein einfaches hierarchisches Modell, um Produktinformationen im CAD-System zu speichern.

Neben konkreten Modellen gibt es Bestrebungen zu standardisierten Produktmodellen. Zentraler Ansatz ist *STEP – STandard for the Exchange of Product model data* (ANDERL & TRIPPNER 2000, DIN ISO 10303: 1995), das auf den standardisierten Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Systemen abzielt. STEP basiert auf der Spezifikationssprache *Express* und stellt ein Schema für branchenspezifische Anwendungsprotokolle dar.

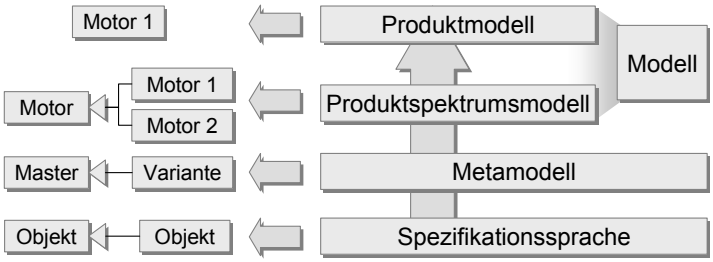


Bild 34: Hierarchie der Produktmodelle

Allgemein ist zwischen dem konzeptionellen Produktmodell (*Metamodell*) und dessen Umsetzung in einer spezifischen Modellierungssprache zu unterscheiden. Auf einer weiteren Ebene ist zwischen diesem branchenspezifischen Metamodell, das die Beschreibung aller Produkte spezifiziert, und dem spezifischen Modell eines Produkts oder Produktspektrums zu unterscheiden (Bild 34).GRABOWSKI et al. (1998) klassifizieren Produktmodelle entsprechend nach unterschiedlichen Stufen: Ein Modell nullter Stufe ist das Produkt selbst, ein Modell erster Stufe ist das Modell des konkreten Produkts, die zweite Stufe entspricht einem Modell der Bauart etc. Produktmodelle für Produktdatenmanagement-Systeme entsprechen größtenteils den hier vorgestellten Ansätzen (SCHICHTEL 2002).

Produktmodelle sind teilweise zu unflexibel und zu spezifisch, d. h. nur für bestimmte Fälle anwendbar; viele Modelle fokussieren z. B. zu stark auf den Entwicklungsprozess *oder* auf die Montage. Solche Partialmodelle zu verknüpfen ist Aspekt einiger Ansätze (BREXEL 1997). Allgemeine Modelle dagegen bieten kaum Unterstützung bei der Modellierung.

6.2.2 Elemente des Produktmodells

Auch bei diesem Produktmodell handelt es sich um individuelle Kontingenzschließung, d. h. nicht *das* richtige Produktmodell ist entscheidend, sondern *ein* Produktmodell, das handlungsfähig macht. Ebenso handelt es sich um ein *Modell*, das nur bestimmte Aspekte der Realität abbildet. Im Folgenden wird primär ein konzeptionelles Modell vorgestellt, das das Zusammenspiel der einzelnen Elemente eines Produkts oder der Produktstruktur widerspiegelt. Die wesentlichen Elemente des Produktmodells sind:

Komponenten[1]

Komponenten sind die konkreten Bestandteile des Produkts. Kerngedanke des vorliegenden Ansatzes ist eine Differenzierung in eine horizontale und eine vertikale Produktstruktur (Bild 35). Die vertikale Produktstruktur spiegelt dabei die Dekomposition, die horizontale Produktstruktur die Spezifizierung wider.

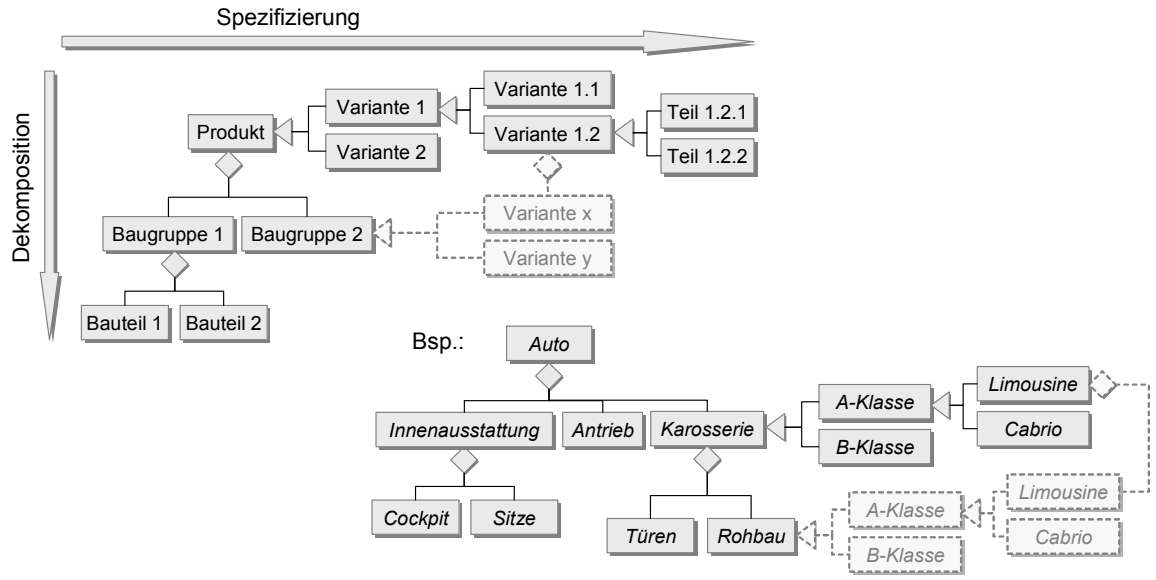
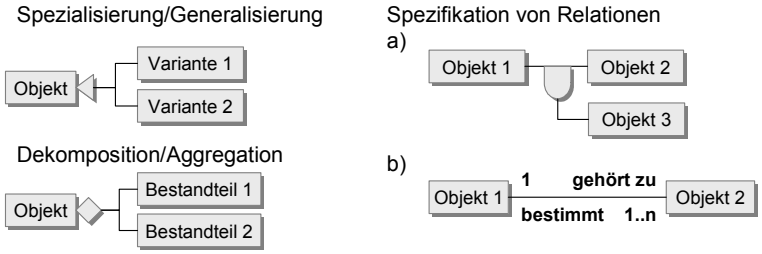


Bild 35: Horizontale und vertikale Produktstruktur

Die Spezifizierung unterschiedet zwischen **Mastern**, die allgemeine, noch nicht spezifizierte Komponenten darstellen, **Varianten**, die zumindest teilweise spezifiziert sind, und **Teilen**, die vollständig spezifiziert, eindeutig identifizierbar und somit real umsetzbar sind.

---

[1] Die Notation folgt den Klassendiagrammen der *Unified Modeling Language UML* (RUMBAUGH et al. 1999): Eine Klasse stellt eine Menge gleichartiger Objekte dar (z. B. Klasse der Funktionen). Zwischen konkreten Objekten und zwischen Klassen gelten dabei ähnliche Beziehungen. Ein Objekt ist eine Instanz einer Klasse.



Die Spezialisierung ist eine Konkretisierung der übergeordneten Klasse, z. B. ein Auto kann eine Limousine oder ein Cabrio sein. Sie ist eine ODER-Verknüpfung, die in umgekehrter Richtung als Generalisierung bezeichnet wird, als Relation „ist ein“ bedeutet und Gemeinsamkeiten widerspiegelt. Die Dekomposition (umgekehrt Aggregation) zeigt die hierarchische Struktur der Bestandteile eines Objektes auf. Sie ist eine UND-Verknüpfung, die „besteht aus“ bedeutet und sich auf die Modularisierung bezieht. Objekte haben Relationen, die über weitere Objekte spezifiziert (a) oder direkt beschrieben (b) werden (die Zahlen geben die Multiplizität an: „mindestens ein bis beliebig viele Objekt(e) 2 gehören zu je einem Objekt 1“).

Die Spezifizierung kann abhängig oder unabhängig voneinander erfolgen. Die Dekomposition unterscheidet zwischen **Produkten** (als solche vermarktbare Umfänge, die i. d. R. nicht Bestandteil einer übergeordneten Baugruppe sind)[1], **Baugruppen**, die aus weiteren Baugruppen und Bauteilen bestehen, und **Bauteilen**, die nicht weiter[2] zerlegbar sind.

Problematisch ist bei dieser Darstellung noch, dass

- die Struktur schnell unübersichtlich wird, da horizontale und vertikale Produktstruktur auf unterschiedlichen Ebenen miteinander vernetzt sind, d. h.
- die Spezifizierung auf unterschiedlichen Ebenen erfolgt (die Spezifizierung Limousine oder Cabrio erfolgt sowohl auf der Ebene „Karosserie“ als auch „Rohbau“) und
- unterschiedliche Varianten unterschiedliche Strukturen besitzen können und
- eine rein hierarchische Struktur der realen Produktstruktur nicht gerecht wird.

Dieser Ansatz bietet die Grundlage, die angesprochenen Schwierigkeiten zu beheben.[3] Die Darstellung stellt zu jeder Variante eine allgemeine Komponente als Bezug her. Die Spezifizierung erfolgt in Abhängigkeit von Freiheitsgraden. Diese Darstellung entspricht also einer klaren Trennung von Komponenten und Freiheitsgraden (Varianten).

Freiheitsgrade

Freiheitsgrade sind die explizite Formulierung der Wahlmöglichkeiten des Kunden[4], die

- explizit formuliert (durch den Kunden) oder
- implizit ausgewählt werden (z. B. durch das Land, in dem der Kunde kauft).

Freiheitsgrade sind variable Eigenschaften. Sie können hierarchisch oder in einem Netzwerk miteinander verknüpft sein und sich auf Funktionen, Anforderungen, bestimmte Komponenten und auch die Struktur selbst beziehen. Freiheitsgrade sollten prognostiziert werden, um die Entwicklung darauf auszurichten. Aber auch nachträglich geäußerte Kundenwünsche sollten explizit als Freiheitsgrade definiert werden, um die Konsistenz der Produktstruktur zu erhalten. Freiheitsgrade können teilweise automatisiert in Abhängigkeit von Kundeneigenschaften festgelegt werden, teilweise müssen unscharf formulierte Kundenwünsche in definierte Freiheitsgradausprägungen übersetzt werden.

Freiheitsgrade und deren Abhängigkeiten können in Entscheidungstabellen, in Matrizen, in logischen Formeln oder auch – weniger effizient – in Variantenbäumen dargestellt werden. Abhängigkeiten von Freiheitsgraden gelten meist in beide Richtungen.

---

[1] Dabei können auch einzelne Bauteile und Baugruppen vermarktbare Produkte darstellen, vor allem z. B. als Ersatzteile, d. h. kontextabhängig in Bezug auf eine Werkstatt (s. a. SCHICHTEL 2002)

[2] Eine Dekomposition in z. B. Geometrieelemente ist zwar möglich, ändert jedoch nichts an dem Ansatz.

[3] Sie verdeutlicht z. B., dass es keinen „Sportsitz“ gibt, sondern ein „virtueller“ Sportsitz (für die Vergabe an Zulieferer, Kosten Versuche etc.) weitere Spezifikationen (elektrisch – manuell, Leder – Stoff etc.) umfasst.

[4] aus Unternehmenssicht sind auch interne Aspekte, z. B. unterschiedliche Zulieferer, Freiheitsgrade

Eigenschaften und Anforderungen

Eigenschaften sind beliebige Attribute eines Systems. Sie teilen sich in Merkmal (Bezug, z. B. Farbe) und Ausprägung (Differenzierung, z. B. rot oder grün) auf. Die Ausprägung ist dabei ein konkreter Wert oder ein Wertebereich (diskret: Liste, Sonderfall ja/nein; kontinuierlich: keine, eine oder zwei Begrenzungen) sein. Eigenschaften lassen sich spezifizieren und dekomponieren sowie in Soll- und Ist-Eigenschaften differenzieren. Ist-Eigenschaften sind „Eigenschaften“ im engeren Sinne, Soll-Eigenschaften stellen Anforderungen dar. Funktionen können als Eigenschaften aufgefasst werden. Man kann Standardmerkmale im Vorfeld definieren, z. B. Existenz im individuellen Produkt oder Kosten.

Der Ansatz, Eigenschaften auch Wertebereiche umfassen zu lassen, kann über einzelne Eigenschaften mit den Merkmalen „untere Grenze“ und „obere Grenze“ dargestellt werden.

Funktionen

Funktionen stellen den abstrahierten Zweck oder die abstrahierte Oparationsweise einer Komponente dar. Funktionen können Komponenten zugeordnet, spezifiziert, dekomponiert und unterschiedlichen Disziplinen zugeordnet werden.

Die Verbindung von Funktion und Komponente ist eine semantische Relation. Die Funktion ist der Komponente gleichgestellt (Komponente erfüllt Funktion), übergeordnet (Komponente trägt zur Funktion bei) oder untergeordnet (Funktion ist Teil der Komponente).

Realisierungsmöglichkeiten

Unter Realisierungsmöglichkeit wird die technische Umsetzung eines Freiheitsgrades in Entwicklung und Produktion verstanden. Die Realisierungsmöglichkeit verknüpft somit die Komponente mit dem Freiheitsgrad sowie mit den Erstellungsprozess und den Produktionstechnologien. Die Realisierungsmöglichkeit kann u. U. selbst ein Freiheitsgrad sein

Kundenwünsche und Kundeneigenschaften

Kundeneigenschaften beziehen sich direkt auf den Kunden (z. B. Körpergröße). Von diesen können Produkteigenschaften z. T. direkt abgeleitet werden. Sie sind im Kundenprofil gespeichert, das zusätzlich Informationen über Vorlieben bei der Produktwahl aus früheren Einkäufen enthält. Auch Umgebungseigenschaften oder Eigenschaften aus dem Anwendungsfall zählen zu den Kundeneigenschaften. Kundenwünsche sind beliebig geäußerte Wünsche des Kunden, die unscharf sein können, und sich entweder auf den Kunden und dessen Umgebung oder direkt auf das Produkt beziehen. Die Abgrenzung zwischen Freiheitsgraden und Kundenwünschen ist schwierig: Daher ist es angebracht, einzelne Wünsche je nach Sichtweise als Kundenwunsch *und* als Freiheitsgrad zu behandeln.

Schnittstelle

Technische Schnittstellen beschreiben die Verbindung von zwei oder mehr Komponenten. Schnittstellen beinhalten – neben den beteiligten Baugruppen – eine eigene Geometrie,

Funktionen, weitere Baugruppen und Bauteile, Stoff-, Energie- und Materialflüsse etc. Sie sind wie Bauteile zu handhaben und können auch Varianten besitzen.

Systeme

In erster Instanz stellen Systeme Komponenten dar, die hierarchisch schwer einordenbar sind und sich vernetzt über große Teile des Produkts erstrecken (Elektriksystem, Bremssystem). In einem zweiten Schritt repräsentieren Systeme bestimmte Aspekte des Produkts, die auch in Funktionen, Anforderungen etc. formuliert sind. So umfasst das Designsystem alle Komponenten, die zum Design des Produkts beitragen, das Gewichtssystem alle Komponenten, die zum Gewicht beitragen, etc. Erst im dritten Schritt können alle Komponenten und auch sonstige Elemente als Systeme aufgefasst werden, die sich über bestimmte Bezüge klassifizieren lassen (Bezug Baustruktur, Bezug Funktionen etc.).

Sonstige Elemente

Neben allgemeinen und konkreten Komponenten enthält das Produktmodell auch definierte Freiräume, prinzipielle Lösungen, parametrische Bauteile etc. Diese werden wie Komponenten behandelt, die Schnittstellen zu anderen Komponenten aufweisen, einen gewissen Bauraum beanspruchen, Funktionen zugeordnet sind etc.

Randbedingungen aus der Produktion und ähnlichen Bereichen werden als Anforderungen integriert. Sie können in Bezug zu Elementen der Produktionsplanung (Werkzeuge etc.) gesetzt werden. Das Produktmodell ist um diese Elemente der Produktion erweiterbar, d. h. zwischen Bauteilen und Werkzeugen wird eine direkte Verbindung hergestellt.

Das Produktmodell enthält darüber hinaus unterschiedliche Projekte, die nicht mehr als Spezifizierungen des Produkts auf oberster Ebene darstellen. Hierdurch sind unterschiedliche Strukturen (auf unterschiedlichen Ebenen der Struktur) in einem Modell abbildbar.

Relationen

Konfigurationsregeln und andere Verknüpfungen sind Relationen, die Elemente (Komponenten, Funktionen etc.) miteinander verbinden. Dabei werden unterschieden:

- Aggregationen: Teil-Ganzes-Hierarchie
- Spezifizierungen: Verallgemeinerung oder genauere Bestimmung von Elementen
- Semantische Relationen: Verknüpfung von z. B. Komponente und Funktion
- Logische Relationen: Verknüpfungsregeln von Eigenschaften, Freiheitsgraden, Varianten etc.; neben logischen Ausdrücken können auch andere mathematische Ausdrücke (Formeln etc.) verwendet werden.

Relationen und Elemente stellen Objekte dar, d. h. auch Relationen können wie Objekte gehandhabt werden und z. B. Eigenschaften oder Freiheitsgrade zugewiesen bekommen.

6.2.3 Gesamtmodell

Bild 36 zeigt, wie die einzelnen Elemente miteinander zu verknüpfen sind. Dabei handelt es sich dabei um ein konzeptionelles Produktmodell, das erst noch auf die spezifische Anwendung angepasst und auf ein entsprechendes Datenmodell übertragen werden muss.

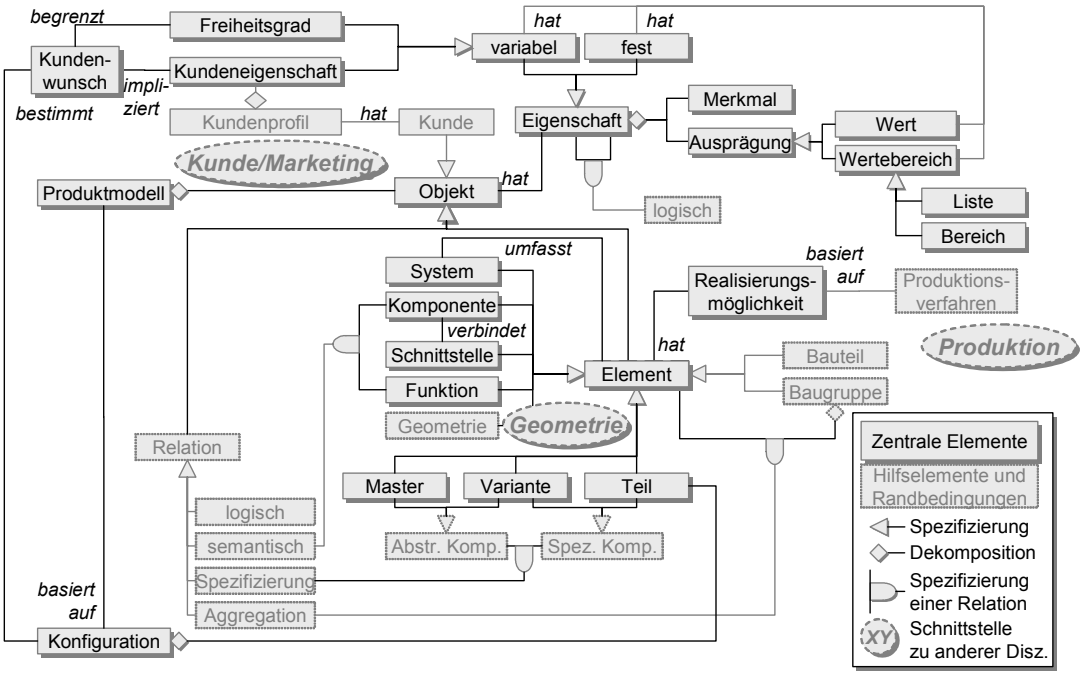


Bild 36: Konzeptionelles Produktmodell (Produktspektrumsmetamodell)

Wurde bisher allgemein von einem Produktmodell gesprochen, handelt es sich eigentlich um ein Produktspektrumsmetamodell. Das Produktspektrumsmodell ist das für ein konkretes Produktspektrum umgesetzte Modell. Das Produktmetamodell oder Produktmodell ist Teil des Produktspektrumsmodells und beschreibt ein konkretes Produkt, das auch als Konfiguration bezeichnet wird und auf den Kundenwünschen und -eigenschaften basiert.

Das Wesentliche an diesem Modell, das es von anderen Modellen abhebt, ist

- die Betrachtung von Eigenschaften mit Wertebereichen,
- die explizite Berücksichtigung technischer Schnittstellen,
- die Integration von allgemeinen Systemen,
- die eindeutige Differenzierung in Masterstruktur und Varianten sowie
- die Schnittstellen zur Produktion, zum Marketing etc.

Das Modell kann für unterschiedliche Bereiche innerhalb der Entwicklung individualisierbarer Produkte herangezogen werden:

- zur Planung und zum Aufbau der Produktstruktur
- zur Konfiguration des individuellen Produkts auf Basis des einzelnen Kunden,

- zur Produktionsplanung einschließlich der Zuordnung von Werkzeugen,
- als Basis von Controllingwerkzeugen, zur Anforderungsklärung und Funktionsstrukturierung, für die Protokollierung und das Dokumentenmanagement etc.

Je nach Anwendung kann das Modell um weitere Elemente wie Dokumente, Versionen, Anwender, Kosten, Ressourcen etc. erweitert werden. Die einzelnen Elemente können mit Gewichtungen versehen werden; dies ist z. B. für die kontinuierliche Weiterentwicklung des Produktspektrums wichtig. Das Modell wird dementsprechend nicht als abgeschlossener Ansatz, sondern nur als konzeptioneller Kern der Produktstrukturierung aufgefasst.

6.2.4 Umsetzung und Anpassung des Produktmodells

Die Umsetzung und Anpassung des Modells erfolgt zum einen abhängig von der Art des Produkts und dessen Varianz, zum anderen abhängig von den zu verwendenden, insbesondere rechnergestützten Hilfsmitteln. Tabelle 32 zeigt Änderungen am Produktmodell in Abhängigkeit von der Art der Varianz auf (s. a. Bild 35). Grundsätzlich geht es dabei darum, ob zuerst eine Dekomposition oder zuerst eine Spezifizierung erfolgt. Diese Unterscheidung ist zentral für die Komplexitätsverarbeitung variantenreicher Produkte.

Tabelle 32: Arten der Varianz und Auswirkung auf das Produktmodell

Varianz	Auswirkungen auf Produktmodell	Beispiel (s. o.)
Elementare Bausteine	Keine Varianten und Master (in Bezug auf das Produkt), Differenzierung der Schnittstellen	Regalsystem: nur Beschreibung der Schnittstellen
Kontinuierliche Spezifikation	Betonung der Varianten mit festgelegter Reihenfolge, Modelle aufteilen (Varianten auf höherer Ebene, die unterschiedliche Strukturen besitzen)	Modelle im Automobilbau (Serie ➔ Modell ➔ Motor)
Modulare Spezifikation	Varianten und Teile nur auf unterster Ebene, Varianten auf höherer Ebene ergeben sich aus Konfiguration, entspricht Kundensicht	Autositz: „Konfiguration“ aus Basis/ Sport (Gestell), Leder/Stoff (Bezug), manuell/elektrisch (Versteller) etc.
Zusatz-/Sonderausstattungen	Keine Varianten (auf höherer Ebene); Teile und optionale Master	CD-Wechsler im Auto
Eingebaute Flexibilität	Freiräume als Master beschreiben, Flexibilität in Komponenten nicht explizit abbilden	Sitzverstellung
Parametrische Anpassung	Keine Varianten, nur Teile und/oder Master	Farben, ergonomische Anpassung eines Griffs
Strukturelle Unterschiede	Unterschiedliche Modelle; Varianten auf oberster Ebene, Relationen abhängig von Freiheitsgraden	Modelle im Automobilbau; Einbauort eines CD-Wechslers
Eigenschaftsorientierte Individualisierung	U. U. Wegfall von Varianten; keine Dekomposition von Varianten, Identifikation über Freiheitsgrade/ Eigenschaften, die unabhängig voneinander sind	Autositz, wenn als gesamter Umfang von Zulieferer
Anwenderanpassung	UND-Verknüpfung in Spezifikations-Struktur: Mehrfachauswahl von Varianten erlauben	Heimwerkerset

Bei der Umsetzung des Produktmodells wird unterschieden, ob allgemeine Elemente spezifiziert und ansonsten beliebig miteinander verknüpft werden können, oder ob die Elemente und ihre Verknüpfungsmöglichkeiten im Vorfeld definiert wurden, d. h. ob es sich um

einen elementaren und flexiblen, oder um einen ausgearbeiteten, anleitenden Ansatz handelt. Des Weiteren wird unterschieden, ob die Umsetzung in Matrizen, in Tabellen und relationalen Datenbanken, oder in objektorientierten Datenbanken erfolgt (Bild 37).

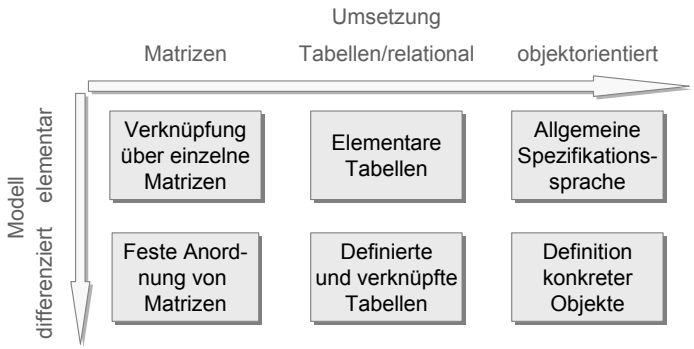


Bild 37: Mögliche Umsetzungen des Produktmodells

Im Rahmen dieser Betrachtung geht es um den Prozess der Strukturplanung, nicht um eine datentechnische Umsetzung (z. B. Erweiterung von STEP). Daher wird im Folgenden eine einfache Darstellungsmöglichkeit des Produktmodells mit Matrizen vorgestellt.

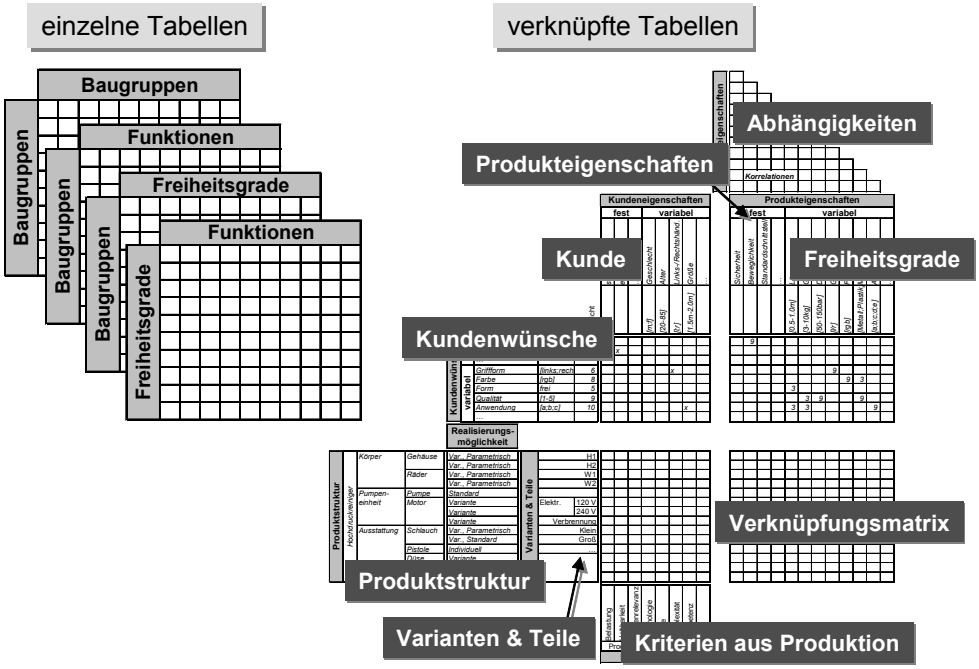


Bild 38: Matrix-Darstellung des Produktmodells

Bild 38 zeigt, wie die einzelnen Elemente entweder über einzelne Matrizen oder in einem „Haus“ von Matrizen miteinander verknüpft werden können.[1] Einzelne Tabellen sind zwar

[1] Eine mathematische Betrachtung der Matrixmultiplikation, falls die Beziehungen quantitativ bewertet werden, d. h. wie die Werte über mehrere Matrizen hinweg zu „addieren“ sind, wird hier ausgeklammert.

flexibler, der verknüpfte Ansatz beinhaltet jedoch Handlungsanweisungen und reduziert Inkonsistenzen in der Verknüpfung. Die Methodik der Strukturplanung stützt sich auf diese Darstellung, da sie am einfachsten nachvollziehbar ist und in der industriellen Praxis am ehesten angewendet wird. Das Vorgehen wird im Folgenden noch detailliert beschrieben.

Ein vollständiges Modell ist zwar möglich, würde aber aufgrund der Komplexität kaum angewendet. Daher erscheint der Ansatz sinnvoller, einfache Hilfsmittel, die bei Bedarf erweitert werden können, zur Verfügung zu stellen. Bild 39 zeigt dies an Beispielen auf.

		Ländervarianten	Farbe Blenden	Antrieb (Schriftzug)	Inhalt Ablage BFS	Summe Varianten
		3	4	2	4	96
Ablage BFS		3			4	12
	Gehäuse	3				3
	Inhalt				4	4
Blenden		2	4	2		16
Ablage FS		3				3

				Modell				
				LL			RL	
				ECE		US	ECE	
				mit	ohne	ohne	mit	ohne
				Kundenvarianten				
Cockpit	Instrumententafel		I-Tafel LL	x	x	x		
			I-Tafel RL				x	x
	Ablage BFS	Kühlbox	Kühlbox	x			x	
		Gehäuse	Ablage BFS LL	x	x			
			Ablage BFS RL				x	x
			Kniefänger BFS			x		
	etc.		etc.					

Bauteilvarianten

LL	Linkslenker
RL	Rechtslenker
mit/ohne	Kühlbox

Bild 39: Einfache Hilfsmittel zur Variantenbeherrschung (BFS: Beifahrerseite, FS: Fahrerseite)

Bild 39 rechts fokussiert auf eine klare Trennung der Kundenvarianten (Freiheitsgrade) und der Bauteilvarianten. Bild 39 links zielt auf die Unabhängigkeit der Freiheitsgrade: Die zwölf Varianten der Ablage ergeben sich aus drei Gehäusen und 4 unterschiedliche Inhalten. Für insgesamt acht Differenzierungen bei der Blende (zwei Ländervarianten, vier Farben, zwei Schriftzüge) sind dagegen 16 Varianten notwendig. Betont werden muss:

> Die kundenbezogene Varianz (Freiheitsgrade) und die produktbezogene Varianz sind klar voneinander zu trennen. Freiheitsgrade sind möglichst unabhängig voneinander zu halten.

6.3 Prozessmodell und methodische Unterstützung

Das Produktmodell führt zum Prozess über, der sich nur bedingt von Methoden und Strategien trennen lässt. Unter Produktstruktur wird sowohl die Varianz des Produktspektrums als auch dessen geometrische und funktionale Architektur verstanden.

6.3.1 Stand der Forschung

Es gibt verschiedene Prozessmodelle zur Entwicklung von Baukastensystemen, Plattformen oder variantenreichen Produkten. Grundsätzliche Phasen sind die Planung des kundenseitigen Variantenspektrums, die daraus resultierende Produktstrukturierung sowie die

Bewertung und Optimierung des Produktspektrums. Diese Optimierung wird auch einzeln als Reduzierung einer existierenden Variantenvielfalt betrachtet (z. B. GEMBRYS 1998).

MEYER & LEHNERD (1997) fokussieren auf die Marktsegmentierung und die Bewertung der Plattformansätze und der entsprechenden Komplexität. SCHUH (1988) fokussiert auf die Strukturierung des Variantenspektrums und die Ableitung geeigneter Gestaltungsmaßnahmen einschließlich der Kostenbewertung aus Montagesicht; er geht ebenfalls von einem existierenden Variantenspektrum aus. KOHLHASE (1997) differenziert zwischen der Generierung von Strukturvarianten und der rechnerunterstützten Ermittlung einer geeigneten Struktur, worunter er jedoch v. a. die mögliche Konfiguration von Baukastenprodukten versteht. PILLER & WARINGER (1999) betonen die Zerlegung in Module, die Differenzierung kundenabhängiger und auftragsneutraler Module sowie die Betrachtung von Funktionen und Schnittstellen. Dieser Ansatz ähnelt den Vorgehensplänen der Konstruktionsmethodik nach PAHL & BEITZ (1996) oder EHRLENSPIEL (1995), die sich jedoch im Wesentlichen auf die Entwicklung einzelner Produkte beziehen und keine Varianz betrachten.

6.3.2 Synthese eines Prozessmodells

Das Modell des Strukturplanungsprozesses basiert auf der VDI 2221 (PAHL & BEITZ 1996), das um den Aspekt der Individualisierung und Varianz erweitert wurde (Bild 40).

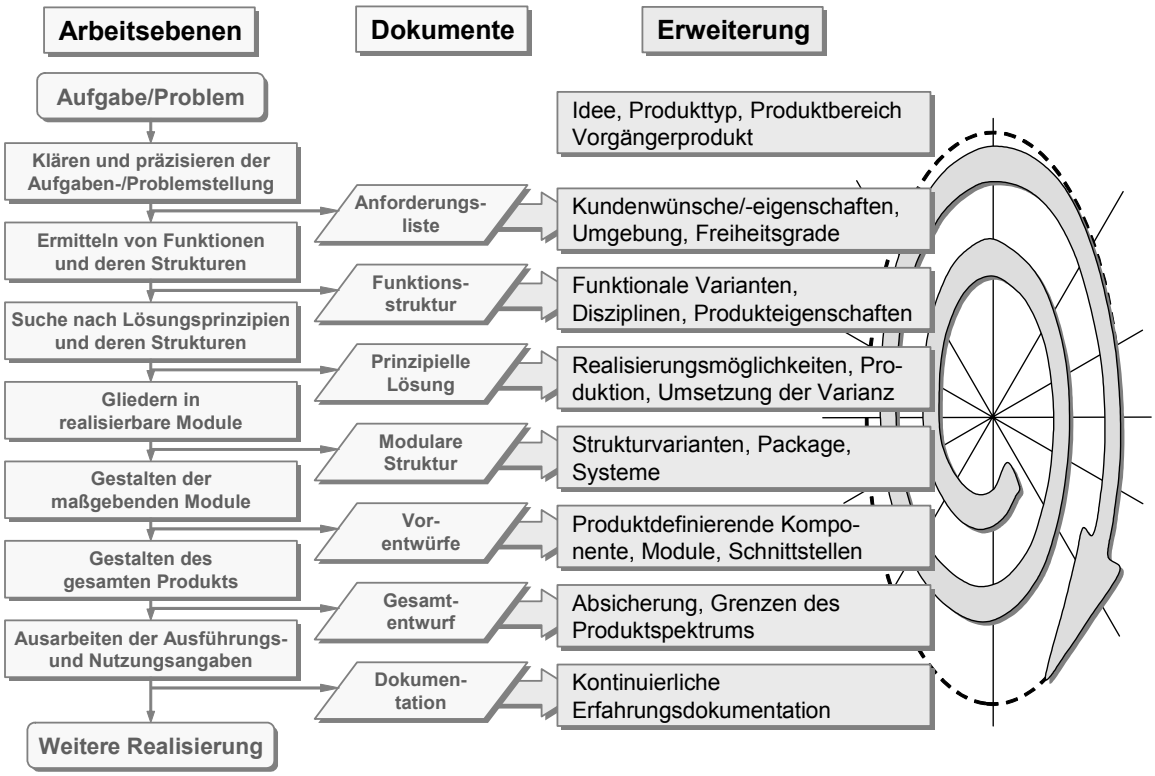


Bild 40: Prozessmodell – Erweiterung des Vorgehensplans um Aspekte des Produktspektrums

Die angedeutete Spirale betont, dass es sich nicht um einen linearen, sondern um einen kontinuierlichen Prozess handelt, der an unterschiedlichen Stellen beginnen kann. Die Spirale[1] wird dabei mehrfach durchlaufen, da sich relevante Kundeneigenschaften und -wünsche z. T. erst ergeben, wenn ein Referenzprodukt vorhanden ist. Dies erfolgt so lange, bis ein stabiler Zustand, d. h. ein vermarktbares Produktspektrum erreicht ist.

Der Prozess spiegelt das Produktmodell in Matrizenform wider. Die Angemessenheit des Modells ist auch vor dem Hintergrund der Kontingenzschließung zu betrachten.

6.3.3 Schritte des Prozessmodells

Die im Folgenden beschriebenen Schritte des Prozessmodells stellen eine Sammlung von Methoden dar, die z. T. schon existieren und in diesen Kontext gestellt werden, z. T. aber auch neu entwickelt und adaptiert wurden. Ein zentraler Ansatz ist dabei die Verknüpfung unterschiedlicher Elemente und Sichtwiesen über Matrizen. Die Matrizen dienen sowohl dem Aufbau des Produktspektrums, als auch der Ableitung des individuellen Produkts. Der Schwerpunkt liegt auf der Ableitung der Freiheitsgrade, der Herleitung der Produktarchitektur und der Absicherung der Produkteigenschaften.

6.3.3.1 Kundenbezug

Neben einer allgemeinen Produktidee oder dem Produkttyp sind Kundeneigenschaften, mögliche Umgebungseigenschaften und Anwendungsfälle sowie daraus prognostizierte Kundenwünsche die wesentlichen Eingangsgrößen zur Entwicklung des Produktspektrums; allerdings können die relevanten Kriterien nur bestimmt werden, wenn das Produkt schon existiert, sodass Iterationen notwendig sind.

Die Kunden- und Umgebungseigenschaften und Anwendungsfälle sind entsprechenden Checklisten zu entnehmen. Tabelle 33 zeigt einen Auszug aus der Checkliste der Kundeneigenschaften; die kompletten Checklisten befinden sich im Anhang 6.

Tabelle 33: Checkliste der Kundeneigenschaften (Auszug)

Merkmal	Ausprägung/Untermerkmal
Körperbau	Größe, Statur, Gewicht etc.
Werte	Aussehen, Spaß, Umwelt etc.
Alter	Kind, jugendlicher, Erwachsener, Senior
Familienstand	Single, Paar, Familie
Physiologie	Gehörschäden, Sehstärke, Körperschwächen, Krankheiten etc.

[1] Die Spirale könnte auch nach innen zulaufend dargestellt werden: Sie entspräche dann der „Verfestigung“ eines realisierbaren Produktspektrums aus der Vielzahl theoretisch möglicher Produktspektren. Hier wurde diese Darstellung als „Aufbau“ des Produktspektrums gewählt.

Aus den Kundeneigenschaften werden Kundenwünsche abgeleitet, die wiederum in Freiheitsgrade überführt werden (Bild 41, Nr. 1 und 2). Dabei wird zwischen festen und variablen Eigenschaften unterschieden (fest z. B.: Qualität und Komfort; variabel z. B.: Körpergröße, Anpassung des Produkts, Bauteilgrößen).

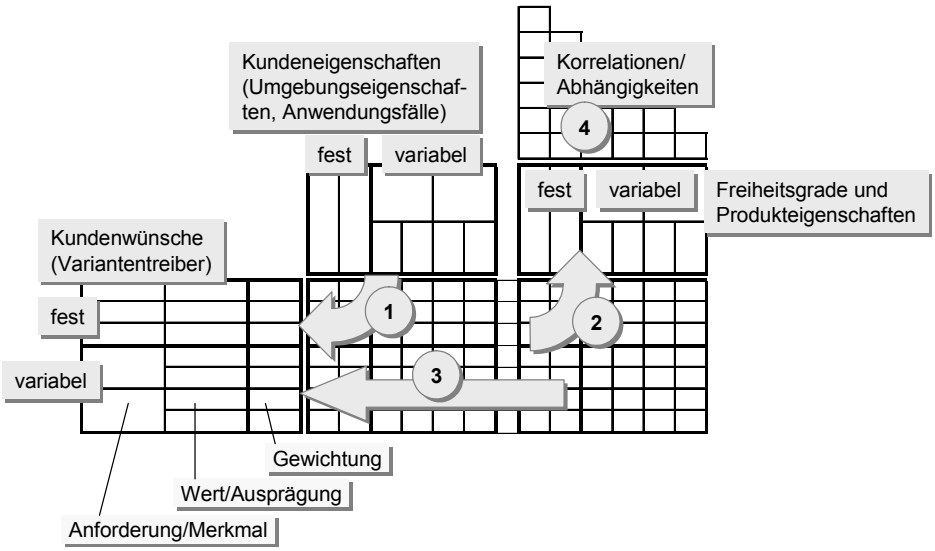


Bild 41: Verknüpfung von Kundeneigenschaften, Kundenwünschen und Freiheitsgraden

Bei der Verknüpfung dieser Elemente gilt:

- Der Ansatz basiert teilweise auf dem ersten Schritt der QFD (Kundenanforderungen und Produkteigenschaften), wurde jedoch um den Aspekt variierender Kundenanforderungen (Kundenwünsche) und Produkteigenschaften (Freiheitsgrade) erweitert.
- Ebenfalls wie bei der QFD ist eine klare Trennung von Kundenwünschen/Kundenanforderungen und Produkteigenschaften/Freiheitsgraden schwierig. Somit sind die Achsen der Matrix nur als Sichten zu verstehen (Sicht auf Kunde/Umgebung, Sicht des Kunden auf das Produkt, Sicht des Entwicklers auf das Produkt); außerdem erfolgt die Festlegung von Kundenwünschen und Freiheitsgraden iterativ (Schritte 2 und 3 in Bild 41). Hierdurch werden auch Ketten und Hierarchien von Freiheitsgraden dokumentiert.
- Zusätzlich zu den Kundenwünschen können auch Variantentreiber und allgemeine Anforderungen aus der Produktion aufgeführt werden, die zu interner Varianz führen und aus Eigenschaften des Unternehmensumfeldes stammen.
- Die Kundenwünsche können ebenso wie die Verknüpfungen der Elemente gewichtet werden, um das Auftreten der Kundenwünsche zu bewerten, Prioritäten im individuellen Produkt zu legen und das Spektrum abzusichern.
- Die gegenseitige Abhängigkeit und Beeinflussung der Freiheitsgrade wird zusätzlich im „Dach“ der Matrix festgehalten (Schritt 4). Dies unterstützt einerseits die Produktabsicherung, andererseits hängt es stark von der späteren Analyse ab (s. u.).

Die Bereiche Freiheitsgrade und Kundenwünsche werden durch die Checkliste der Freiheitsgrade[1] (Tabelle 34 oder Anhang 6) und Variantentreiber unterstützt.

Tabelle 34: Checkliste Freiheitsgrade und Kundenwünsche (Auszug)

Merkmal	Untermerkmal
Funktion	Ausstattung, Automation, Anwendung etc.
Design (Form)	Farbe, Oberfläche, Form, Stil etc.
Technologie	Energieart, technische Merkmale, Elektronik, Software etc.
Leistung	Leistung, Geschwindigkeit, Funktionalität etc.
Maße	Länge, Breite, Höhe, Gewicht, Bauraum etc.
Ergonomie	Mensch-Maschine-Schnittstelle, Bedienung, Anzeigen etc.
Ökonomie	Kaufpreis, Unterhaltskosten, Reparaturkosten, Lieferzeit etc.
Ökologie	Verbrauch, Recycling etc.
Wahrnehmung	Sicht, Geruch, Haptik, Geschmack, Gehör

Die Freiheitsgrade beziehen sich zwar explizit auf Produktkomponenten, sind als Sicht aber unabhängig von der Produktstruktur. Sie lassen sich nach Tabelle 35 klassifizieren, um im nächsten Schritt Realisierungsmöglichkeiten für die Freiheitsgrade zu finden.

Tabelle 35: Klassifizierung der Freiheitsgrade („Varianten“)

Merkmal	Ausprägung			
Produktebene	Produkt	Baugruppe	Bauteil	Eigenschaft
Bezug	Funktion	Komponente	Eigenschaft	
Struktur	Kann-Variante	Muss-Variante		
Wertebereich	binär	diskret skaliert	diskret unskaliert	kontinuierlich
Begrenzung	keine	einseitig	zweiseitig	
Spezifikation	abgestuft	Zusätze	obligatorisch mit Standard	obligatorisch ohne Standard
Variabilität	einmal festgelegt	anpassbar	variabel	

Die Matrizen und die Erfahrungsdokumentation stellen die Basis dar, Anwendungsfälle, Umgebungs- und Kundeneigenschaften sowie Kundenwünsche zusammenzufassen und daraus Rückschlüsse auf die zu realisierenden Freiheitsgrade zu ziehen. Hier helfen auch statistische Auswertungen des Käuferverhaltens, z. B. mit Hilfe der Cluster-Analyse[2].

Weitere Methoden zur Bestimmung möglicher Kundenwünsche und Freiheitsgrade sind die Conjoint-Analyse, Kundenbefragungen, Wettbewerbsanalysen, Szenariotechnik, Analysen von Vorgängerprodukte oder Technologie-S-Kurven (Entwicklung der Varianz) sowie eine SWOT-Analyse zur Bestimmung der unternehmerischen Potenziale. Es bietet sich dabei an, eine mögliche Variabilität aller Produkteigenschaften zu betrachten und auch die zukünftige Entwicklung der Variabilität zu betrachten.

[1] Die einzelnen Kriterien sind dabei miteinander verknüpfbar; sie dienen v. a. der Kreativitätsanregung.

[2] Eine vereinfachte Darstellung findet sich z. B. bei SCHUH (1988); s. a. JIAO (1998).

6.3.3.2 Produktkonzept und Produktarchitektur

Der Aufbau des Produktkonzepts umfasst die Schritte der Funktionsstrukturierung, der Suche nach prinzipiellen Lösungen einschließlich Realisierungsmöglichkeiten sowie der Dekomposition des Produkts in Komponenten und Systeme. Die Struktur des Produktspektrums ist dabei hierarchisch, vernetzt und geometrisch zu betrachten, wobei die technischen Schnittstellen in den Vordergrund gestellt werden.

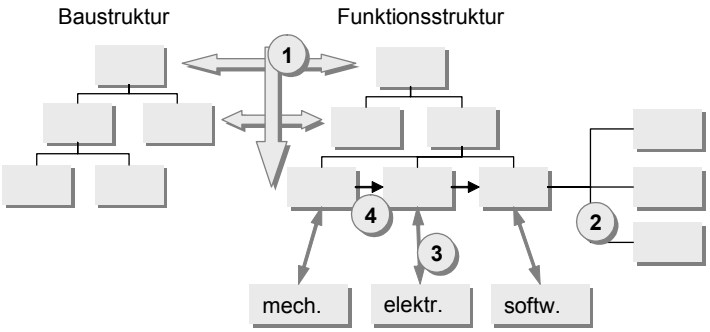


Bild 42: Erweiterungen bei der Funktionsstrukturierung

Der Aufbau der Funktionsstruktur entspricht der klassischen Konstruktionsmethodik und kann hierarchisch, flussorientiert oder widerspruchsorientiert erfolgen. Dabei sind auch Mischformen möglich und zulässig. Zu ergänzen ist in diesem Zusammenhang:

- Die Baustruktur und die Funktionsstruktur sind parallel zu entwickeln (1 in Bild 42).
- Funktionen sind zu dekomponieren und bezüglich ihrer Varianz zu bestimmen („Funktionsgliederung“, GRÄSSLER 2004 – 2).
- Es sind die Disziplinen festzulegen, mit denen die Funktionen und die Varianz der Funktionen realisiert wird (mechanisch, elektrisch, über Software; „Funktionsstrukturierung“, GRÄSSLER 2004 – 3).
- Des Weiteren sind die logischen Abhängigkeiten der Funktionen festzuhalten. In einem Produktspektrum hilft dies, Funktionen zu identifizieren, die zwar nicht explizit gefordert sind, sich aber durch andere Funktionen ergeben (4).
- Eine TRIZ-Funktionsstruktur wird darüber hinaus verwendet, um Widersprüche in Bezug auf den Baukasten (insbesondere Integration vs. Differenzierung) zu betrachten.

Die Funktionen sind sowohl Freiheitsgraden als auch Komponenten zuzuordnen, sollten aber nach Möglichkeit nur auf einer Ebene verknüpft werden. Die Vererbung der semantischen Relation wird über die Hierarchie innerhalb einer Elementart zurückverfolgt. Die Verknüpfung der Funktionen mit Komponenten und Freiheitsgraden ist in Bild 38 (s. o.) nicht dargestellt, erfolgt aber parallel zu den Freiheitsgraden und der Produktstruktur.[1]

[1] Die Problematik der vielfachen Verknüpfungen wird mit dem unten beschriebenen Rechnertool umgangen. Ansonsten ist die Funktionsstrukturierung als separates Werkzeug der Konstruktionsmethodik zu betrachten.

Neben den konkreten Komponenten, den prinzipiellen Lösungen, physikalischen Effekten, wie sie die klassische Konstruktionsmethodik fordert, und den technischen Lösungsmustern erfolgt bei der Konzeptionierung auch die Suche nach den Realisierungsmöglichkeiten der Freiheitsgrade. Realisierungsmöglichkeiten sind, neben den Freiheitsgraden, mit den betroffenen Komponenten und entsprechenden Produktionssystemen verknüpft. Bei der Auswahl der Realisierungsmöglichkeiten hilft eine Klassifikation (Tabelle 36) und eine Checkliste möglicher Prinzipien (Tabelle 37 oder Anhang 6).

Tabelle 36: Klassifizierung der Realisierungsmöglichkeiten

Merkmal	**Ausprägung**				
Umfang Varianz	Standard	Modular	Parametrisch	Prinzipiell	Individuell
Zeitpunkt	Entwicklung	Fertigung	Montage	Auslieferung	Nutzung
Bezug	Struktur		Komponente		
Technik	Geometrie	Material	Funktion		
Technologie	Entwicklung	Produktion	Produkt		
Disziplin	Mechanik	Elektronik	Software		

Tabelle 37: Checkliste Realisierungsmöglichkeiten

Umfang	**Realisierungsmöglichkeit**	**Beispiel (Auto)**
Standard	Anpassbarkeit (manuell)	Sitzeinstellung
	Flexible Materialien	Schäume, aufblasbare Polster
	Software/Elektronik	Digitales Cockpit
Modular	Standardschnittstellen	DIN-Einschub für Radio
	Nicht-materielle Schnittstellen	Fernbedienung, Blue Tooth
Parametrisch	Materialwechsel	Holz-, Titan-, Kunststoffeinlagen
	Parametrische Konstruktion	Länge Sitzschienen
Prinzipiell	Prinzipbeschreibung	Funktionsweise Spoiler
Individuell	Freihalten von Bauraum	Funktionen Handschuhfach

Nach der Identifikation der Existenz von Komponenten werden die hierarchische, die vernetzte und die geometrische Struktur („Package“) der realen Komponenten festgelegt (Bild 43). Übergreifende Systeme werden dabei besonders berücksichtigt und gekennzeichnet.

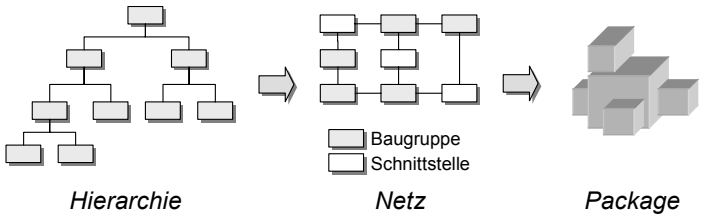


Bild 43: Abfolge des Aufbaus der hierarchischen, vernetzten und geometrischen Struktur

Die Identifikation der Komponenten entspricht im Wesentlichen der Suche nach Prinziplösungen für Funktionen, bei der Suche nach Systemen kann ebenfalls eine Checkliste helfen (Anhang 6). Die Hierarchisierung sowie die Vernetzung finden sich vor allem in der Viel-

zahl der Modularisierungsansätze wieder,[1] z. B. nach der Montagereihenfolge, den Funktionen, Disziplinen, der Marktsegment, dem Lebenszyklus oder der (minimalen) Schnittstellenzahl und gegenseitigen Beeinflussung der Bauteile (s. o. Kapitel 5 – insbesondere Variantentreiber nach ERICSSON & ERIXON (1999)). Daneben lassen sich auch die sichtbare und funktionale Kundenrelevanz, Kosten u. Ä. als Ordnungskriterien verwenden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, aus den zuvor definierten Systemen Schnittmengen zu bilden und hieraus Module abzuleiten (z. B. aus dem Trag- und dem Designsystem das Gehäuse). Das Vorgehen entspricht dabei immer grundsätzlich den Schritten:

- Festlegen der wesentlichen Modularisierungskriterien,
- Strukturieren der für diese Kriterien bedeutenden, wesentlichen Komponenten und
- Einordnen der weiteren Komponenten.

Das Vorgehen beim Aufbau der vernetzten, geometrischen Struktur sieht dementsprechend folgendermaßen aus:

- Definition der Hauptbaugruppen (Module etc.),
- Festlegung der Schnittstellen zwischen den Komponenten und
- weitere Detaillierung der Komponenten und Schnittstellen.[2]

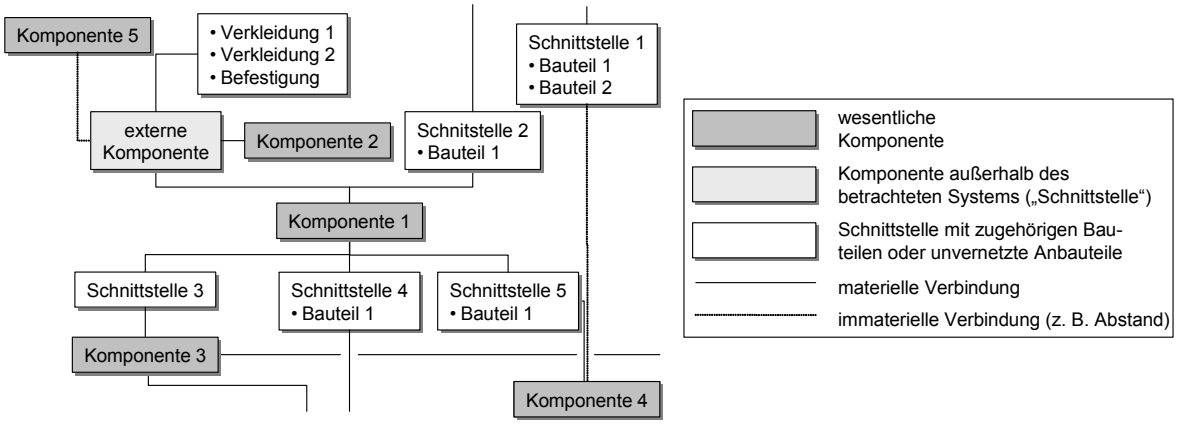


Bild 44: Netzstruktur der logischen Beziehung der Komponenten

Die so erstellte *vernetzte* Struktur (Bild 44) kann entsprechend der Konstruktionsmethodik, d. h. im Sinne der Variation der Gestalt (EHRLENSPIEL 1995) unterschiedlich variiert werden. Als wesentliche Prinzipien kommen hier in Frage: die Integration und Differenzierung (Aufteilung) von Komponenten, Austauschen, Weglassen und Hinzufügen, Skalieren, Duplizieren, Bewegen, Ändern der Verbindungsart und -struktur, Schachtelung und Ausrichtung der Komponenten. Die Strukturen sind in Bezug auf die Variantentreiber zu

[1] Allerdings lassen sich diese beiden Schritte nicht eindeutig voneinander trennen.

[2] Eine übergeordnete Schnittstelle kann dabei auch aus anderen Bauteilen bestehen, wie z. B. Träger oder Halter, die keinen direkten Kundenbezug haben.

bewerten.[1] Die Variation der Struktur ist eng verknüpft mit der geometrischen Gestalt des Produkts, der Fokus liegt hier jedoch auf der Anordnung der Komponenten. Bestehende CAD-Systeme unterstützen diese 3-dimensionale, geometrische Strukturplanung, die top-down abläuft, kaum, da sie bottom-up von einzelnen ausgearbeiteten Bauteilen ausgehen.

Beim Aufbau der *geometrischen* Struktur sollte ebenfalls von den wesentlichen technischen, das Produkt charakterisierenden und kundenrelevanten Komponenten, die z. B. aus ergonomischen oder technischen Gründen in ihrer Lage vorgegeben sind oder viel Bauraum beanspruchen, sowie von der „zentralen Varianz" ausgegangen werden. Eine Priorisierung der Elemente über Einflussmatrizen[2], die Nachverfolgung der Phylogenese des Produkts (d. h. welche Komponenten sind entwicklungsgeschichtlich erst spät hinzugekommen) oder eine Unterscheidung in Endo- oder Exoskelette[3] sind hier ebenfalls sinnvoll. Wesentlicher Schritt ist jedoch die Festlegung des Architekturprinzips[4]. Die explizite Definition und Beschreibung technischer Schnittstellen schließt die Architektur ab. Die Beschreibung der Schnittstellen, die wie Komponenten gehandhabt werden, kann dabei mit einem Schnittstellen-Blatt erfolgen; dabei sind insbesondere Kriterien wie die betroffenen Bauteile, die Geometrie, Flüsse, Anforderungen und Funktionen der Schnittstelle sowie auch Verantwortliche zu berücksichtigen.

Parallel zu dem Prozess werden diese Elemente in dem unteren Teil des Matrizenmodells miteinander verknüpft und dokumentiert (Bild 45). Dabei gilt:

- In Abhängigkeit der Freiheitsgrade und der Produktarchitektur wird die hierarchische Produktstruktur auf Master-Ebene festgehalten. Dabei wird zwischen Komponenten und Schnittstellen differenziert, es werden jedoch beide aufgenommen (1 in Bild 45).
- Den Komponenten werden so weit möglich mit den Freiheitsgraden verknüpft (oder auch erst in Abhängigkeit der Freiheitsgrade festgelegt). Dabei werden u. U. auch Schnittstellen zu Freiheitsgraden in Relation gesetzt (2).
- Für die Komponenten werden in Abhängigkeit von den Freiheitsgraden Realisierungsmöglichkeiten festgelegt (3).
- In Abhängigkeit von den Realisierungsmöglichkeiten und den Freiheitsgraden wiederum werden einzelne Varianten oder auch Spezifizierungsfolgen bestimmt. Diese beziehen sich auf konkrete Komponenten. Standardteile, parametrische Umfänge etc. werden nicht weiter spezifiziert; es sind jedoch auch Mischformen möglich (z. B. zwei Varianten zu einer Master-Komponente, die wiederum parametrisch sind – 4).

---

[1] entweder über oben angesprochene Methoden oder über z. B. eine angepasste Nutzwertanalyse

[2] Der Aufbau der Architektur ist also iterativ eng verknüpft mit der Analyse der Struktur (z. B. unabhängige Bereiche).

[3] Endoskelette (innen liegend) besitzen u. U. mehr Flexibilität, Exoskelette (außen liegend) sind auf den technischen Bereich übertragen aus Designgründen zu bevorzugen.

[4] s. Kapitel 5: gemeinsame Komponenten, austauschbare Komponenten, Parametrisierung, Bussystem etc.

- Den Komponenten und Varianten werden Prozesskriterien zugeordnet, die zu berücksichtigen sind (z. B. Komplexität, Erfahrungen, Integrationsgrad etc.; s. auch BERNARD 1999). Diese sind für die spätere Evaluierung der Lösungen hilfreich (5).
- Die Komponenten werden schließlich in Relation zueinander gesetzt, die den Kern der Struktur darstellen. Dabei können alle oben genannten Relationen, insbesondere aber Verbindungen über technische Schnittstellen festgehalten werden (6).

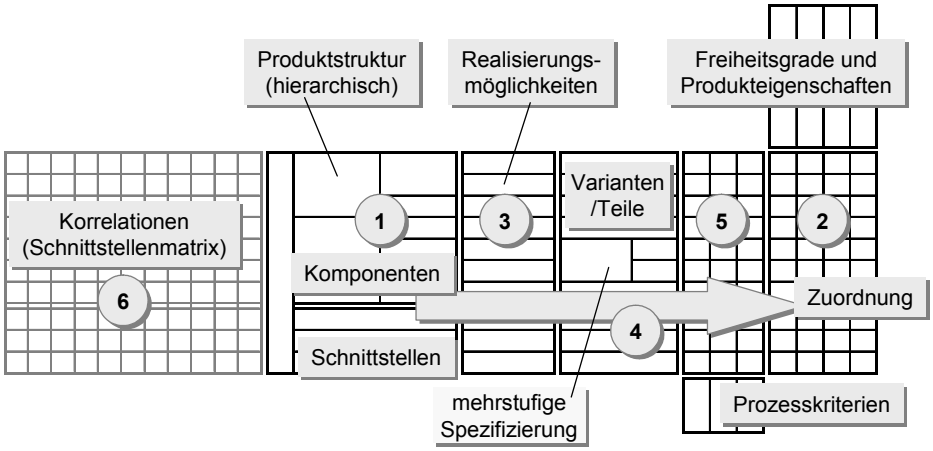


Bild 45: Verknüpfung von Freiheitsgraden, Komponenten und Realisierungsmöglichkeiten

Diese Verknüpfung der Produktstruktur mit den Freiheitsgraden ist – erneut – das zentrale Element der ganzen Methodik. Sie stellt auch die Grundlage dar, die „Variantenstruktur" (d. h. welche Varianten überhaupt angeboten werden) zu optimieren, da nur so klar wird, bei welchen Baugruppen sich Freiheitsgrade überschneiden.

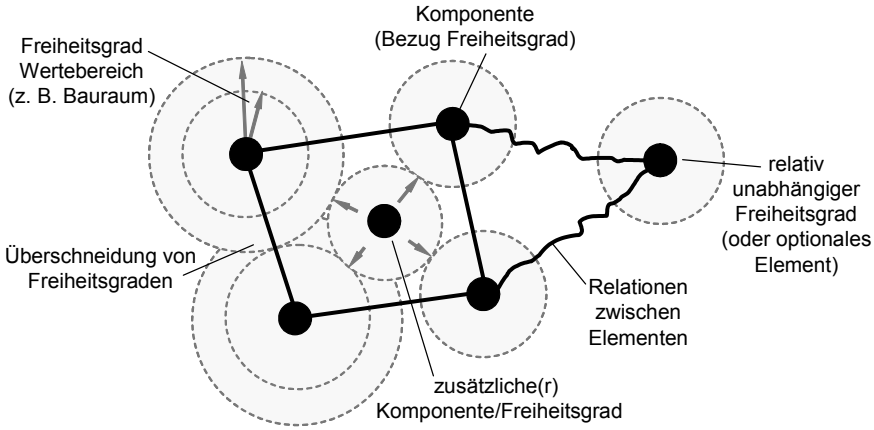


Bild 46: „Gummibandmodell" der Produktspektrumsstruktur

Grundsätzlich kann man sich die Produktstruktur wie in Bild 46 vorstellen: Dieses Modell verknüpft die einzelnen Komponenten *oder* Freiheitsgrade über eine Art *Gummibänder*. Die Elemente können sich so weit ausdehnen, bis sie mit anderen Elementen in Kontakt treten und sich relativ unbestimmt in der Struktur verschieben sowie auch andere Elemente

mit beeinflussen. Ein Freiheitsgrad kann sich z. B. stärker ausdehnen, wenn alle anderen Freiheitsgrade sich einschränken. Während die Relationen („Gummibänder“) in Bezug auf die Geometrie relativ klar erfasst werden können, wird dies bei anderen Abhängigkeiten schwieriger. Eine vollständige mathematische Beschreibung ist zwar theoretisch möglich, aufgrund der hohen Komplexität (sic!) jedoch nicht praktisch umzusetzen.

Der letzte Schritt ist die Ausarbeitung der festgelegten Module und deren Zusammenführung zum Gesamtprodukt. Dieser Prozess des konkreten Konstruierens entspricht der üblichen Konstruktionsmethodik und erfolgt parallel zu der systematischen Strukturplanung. Darüber hinaus ist dies ein rekursiver Schritt, in dem der gesamte Prozess der Strukturplanung auf Ebene der einzelnen Module erneut durchlaufen wird.

6.3.3.3 Evaluation und Optimierung – Versuche und Versuchsplanung

Bei der Absicherung der Produkteigenschaften variantenreicher Produkte, d. h. ob alle geforderten Produkteigenschaften in allen möglichen Varianten des Produkts erfüllt sind, ist das grundsätzliche Problem die Vielzahl der Wechselwirkungen von Eigenschaften und Freiheitsgraden. Die Maßnahmen teilen sich in die Absicherung der Struktur im Vorfeld, d. h. ob die Produkteigenschaften grundsätzlich erfüllbar sind, und die Absicherung des individuellen Produkts, d. h. ob das einzelne Produkt wirklich alle Eigenschaften erfüllt. Darüber hinaus ist zwischen Versuchen, die die generelle Abhängigkeit einer Produkteigenschaft von einem Freiheitsgrad untersucht, und Versuchen, die Produkteigenschaften in Abhängigkeit bestimmter Freiheitsgradausprägungen absichert, zu differenzieren.

Grundsätzliche, komplexitätsverarbeitende Richtlinien zur Eigenschaftsabsicherung sind:

- Die Analyse ist am Wissensstand und nicht am Konstruktionsstand auszurichten (GIAPOULIS 1998). Es sind nicht alle Varianten abzutesten, sondern es sind konkrete Fragen zur Absicherung zu stellen.
- Es ist ein Referenzprodukt abzuleiten und zu überprüfen, das z. B. die minimalen, durchschnittlichen oder maximalen Ausprägungen der Freiheitsgrade aufweist (s. u.).
- Eigenschaften sind zu priorisieren (z. B. Sicherheitsrelevanz) und in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Ressourcen abzutesten.
- Durch den Einsatz Multivariater Analysemethoden, d. h. statistischer Methoden und Methoden des *Design of Experiments DoE*, und weiterer Algorithmen sind abhängige Kriterien zu identifizieren und zu testende Cluster zu bilden.

Im Gegensatz zum *Design of Experiments*[1] steht nicht die Frage im Vordergrund, welchen Einfluss bestimmte Parameter auf einen bestimmten Wert haben, sondern ob die geforderten Eigenschaften erfüllt sind. Das generelle Vorgehen ist in Bild 47 dargestellt.

---

[1] Hierzu zählen statistische Versuchs- und Analysemethoden, d. h. Multivariate Analysemethoden (BACKHAUS et al. 2003) – Stichwort ein-, teil- und vollfaktorielle Versuche.

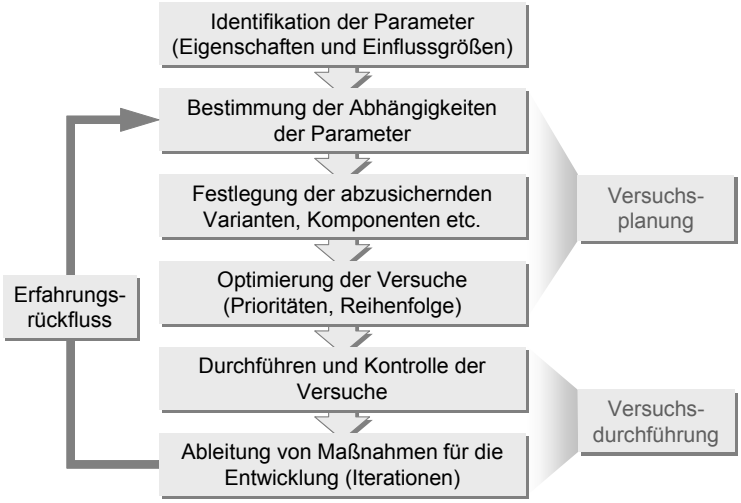


Bild 47: Vorgehen bei der Eigenschaftsabsicherung variantenreicher Produktspektren

Die Identifikation der Parameter bezieht sich auf die Produkteigenschaften und Freiheitsgrade; die Produkteigenschaften sind dabei im Wesentlichen die abzusichernden Parameter, die Freiheitsgrade die unabhängigen Einflussgrößen. Die Bestimmung der Parameterabhängigkeiten erfolgt durch Erfahrung, logische Schlussfolgerungen oder separate Versuche, die dem *DoE* eigentlich entsprechen.[1] Die nächsten drei Schritte werden im Folgenden detailliert beschrieben. Der letzte Schritt der Entwicklungsmaßnahmen reagiert auf die Tatsache, dass vielfach Eigenschaften abgesichert werden, notwendige Iterationsschleifen bei nicht erfüllten Anforderungen aber nicht vorgesehen werden.

Ein einfaches Modell zur Versuchsplanung, am Beispiel eines PKW-Sitzes[2], ist in Bild 48 dargestellt. Die Schritte gliedern sich dabei wie folgt[3]:

- Für jeden Versuch, d. h. für jede Eigenschaft ist eine solche Matrix auszufüllen und es werden die zulässigen Grenzwerte (minimal und/oder maximal) festgehalten (1).[4]
- Entweder direkt oder über die betroffenen Bauteile (s. gesamte Matrix – Bild 38) sind die Freiheitsgrade zu identifizieren, die einen Einfluss auf die Eigenschaft haben. All-

[1] Abstrahiert ist das Vorgehen jedoch gleich: Die Freiheitsgrade stellen die Eingangsgrößen dar, die Ausgangsgröße ist eine binäre Erfüllung der Eigenschaftsforderung. An dieser Stelle werden einfache Hilfsmittel und Prozesse zur Versuchsplanung gesucht, statistische Methoden werden unterstützend eingesetzt. Problematisch ist, dass nicht alle Varianten abgeprüft werden können, eine vollständige Erfassung der Einflussgrößen daher zwar wünschenswert, aber praktisch nicht realisierbar ist. Wenn der Schwerpunkt auf der konkreten Absicherung von Produktvarianten liegt, muss die Erfassung der relevanten Parameter parallel erfolgen oder im Laufe der Zeit durch Erfahrung detailliert und optimiert werden.

[2] H-Punkt-Messung: Hüftpunkt – Referenzpunkt für Fahrerposition

[3] Der Begriff „Versuch“ bezieht sich auf die Absicherung einer Eigenschaft, z. B. „Crashversuch“; der Begriff „Variante“ bezieht sich auf die Konfiguration eines Untersuchungsobjektes.

[4] Dies führt zwar in komplexen Produktspektren zu einer Vielzahl an Versuchen, alles andere würde aber diese Problematik – zumindest in der Planungsphase – nur vernachlässigen. Als erster Schritt ist hier eine generelle Priorisierung der Eigenschaften vorzunehmen.

gemein können auch *Eigenschaften* festgehalten werden, die mit der betrachteten Eigenschaft in Wechselwirkung stehen (2).

- Es sind die technischen Einflussgrößen zu identifizieren, über die der Freiheitsgrad die betrachtete Eigenschaft verändert. Dies können Materialkennwerte o. Ä. sein, die nicht direkt betrachtet werden. Der Einfluss dieser Einflussgrößen ist zu gewichten; außerdem ist die Richtung festzuhalten, in die die Eigenschaft beeinflusst wird (3).

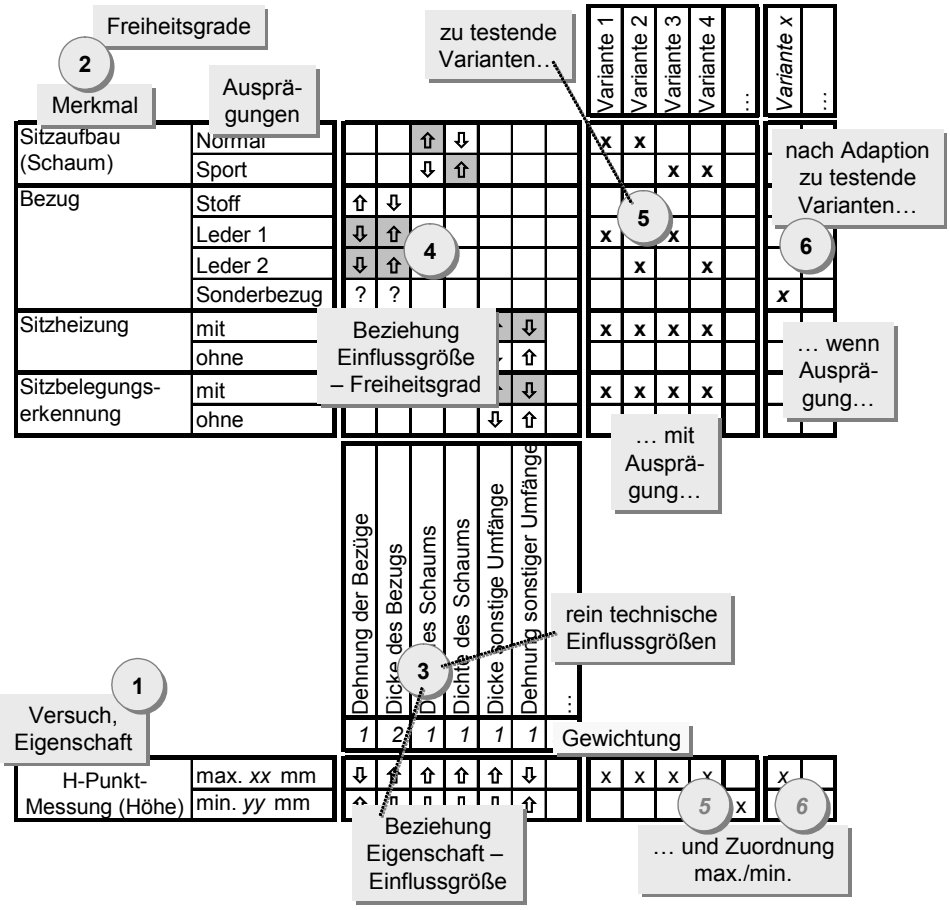


Bild 48: Matrix zur Versuchsplanung – Festlegung der Varianten

- In ähnlicher Weise ist festzuhalten, wie die Ausprägungen der Freiheitsgrade auf die Einflussgrößen wirken. Hier ist entweder die Reihenfolge („1., 2., …“) bei diskreten Werten (Minimal- und Maximalfall) oder die Richtung (wie im Bild mit Pfeilen angedeutet) bei kontinuierlichen Werten festzuhalten (4).
- Als Sonderfälle gilt:
  - Der Zusammenhang zwischen Freiheitsgraden und untersuchter Eigenschaft kann auch direkt (ohne Einflussgrößen erfolgen).
  - Wenn keine quantitativ messbaren Eigenschaften untersucht werden (z. B. Missbrauch allgemein), ist festzuhalten, wie die Freiheitsgrade tendenziell auf die Eigenschaft wirken (kritisch, nicht kritisch).

- Umgebungseigenschaften (z. B. Klimatests) können als Freiheitsgrade oder als Einflussgrößen aufgefasst werden. Meistens stellen sie separate Versuche dar.

- Es sind nun die Ausprägungen der Freiheitsgrade zu Varianten zusammenzufassen, die zur minimalen oder maximalen Ausprägung der betrachteten Eigenschaft führen. Dabei kann es zu Unklarheiten kommen, wenn z. B. eine Ausprägung eines Freiheitsgrades zwei Einflussgrößen betrifft, die die betrachtete Eigenschaft in unterschiedliche Richtungen ändert (z. B. Material und Geometrie). In diesem Fall sind
  - zuerst mehrere Varianten zum Abtesten zu bilden,
  - über die Gewichtungen der Einflussgrößen Varianten zu streichen,
  - die Varianten selbst z. B. nach Kundenbedeutung zu priorisieren.

  Mehrere Varianten sind auch aufzunehmen, wenn der Einfluss unbekannt ist (5). Generell können hier wieder Methoden der statistischen Versuchsplanung herangezogen werden (teil- vs. vollfaktorielle Versuche). Bei dem hier betrachteten Beispiel ergeben sich vier zu analysierende Varianten.
- Kritische Freiheitsgradkombinationen, die im Vorfeld nicht abgetestet werden können, sind festzuhalten und werden in Abhängigkeit von der konkreten Adaption nach Kundenwunsch überprüft. Dies kann der Fall sein, wenn selten gefragte Varianten vorerst nicht getestet werden sollen, die Freiheitsgrade Extremwerte annehmen oder sehr komplizierte Wechselwirkungen zwischen den Freiheitsgraden vorliegen (6).

Die für eine Eigenschaft zu testenden Varianten sind nun in der Summe aller Versuche, d. h. aller Eigenschaften, gegenüberzustellen.

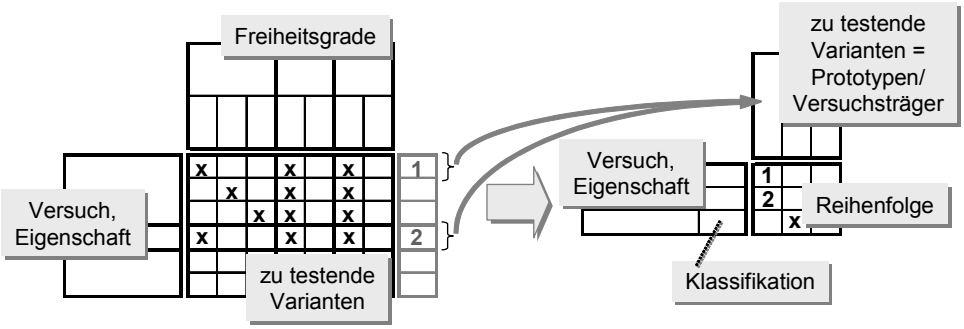


Bild 49: Planung aller Versuche und der Versuchsreihenfolge (auch in einer Tabelle/Matrix darstellbar)

Dafür werden zuerst für *alle* Eigenschaften alle abzusichernden Varianten gegenübergestellt (Bild 49 links); über die Eigenschaften hinweg werden gleiche Varianten gesucht. Anschließend wird die Reihenfolge der Versuche für eine Variante festgelegt (Bild 49 rechts); dafür werden die Versuche nach

- einfacher Funktions- und Maßprüfung,
- belastenden und abnutzenden Versuchen, die das Produkt jedoch nicht zerstören, und
- zerstörenden Versuche eingeteilt.

In dieser Reihenfolge werden die Versuche durchgeführt, um Versuchsträger einzusparen (Bsp.: Da es sich bei der H-Punkt-Messung um einen zerstörungsfreien Versuch handelt, können mit den Variantenmustern problemlos weitere Versuche durchgeführt werden).

Während der Versuchsdurchführung, die zumeist parallel zur Entwicklung und Produktionsvorbereitung erfolgt, sind die Ergebnisse der Versuche festzuhalten. Dies erfolgt als Teil eines Projektstatus (s. Anhang 7). Die in diesem Abschnitt beschriebenen Ansätze lassen sich in der Matrixdarstellung integrieren oder als separate Werkzeuge einsetzen.

Welche Arten von Versuchen zur Absicherung der Eigenschaften herangezogen werden, hängt von der Art des Problems ab und kann z. B. mit dem *Zugriffssystem zur Unterstützung der Methodenauswahl* nach SCHWANKL (2002) unterstützt werden. MACCARTHY et al. (2001b) schlagen darüber hinaus u. a. die Methode *Critical Incident Technique*[1] zur Qualitätssicherung vor. Eine Bewertung der Eigenschaften und Bauteile bezüglich des Absicherungsbedarfs erfolgt nach BERNARD (1999).

Es können entweder Baugruppen in Abhängigkeit der Freiheitsgrade – wie hier dargestellt, wenn alle Versuche für eine Baugruppe durchgeführt wurden – oder analog Freiheitsgrade in Abhängigkeit von den betroffenen Baugruppen freigegeben werden.

Als Ausblick kann die Festlegung der einzelnen Varianten (je Versuch) nochmals mit der gesamten Versuchsplanung (über alle Eigenschaften hinweg) abgeglichen werden, sodass möglichst wenig unterschiedliche Varianten zu testen sind. Ebenso kann auch noch die Betrachtung der Versuchskosten ergänzt werden. Die vorgestellte Methodik stellt jedoch einen *ersten Schritt* dar, die Versuchsplanung in der Industrie zu optimieren.

Bisher wurden nur im weitesten Sinne qualitätsbezogene Aspekte[2] betrachtet. Daneben ist auch eine Bewertung bezüglich Produktionsfaktoren und damit verknüpft insbesondere der Kosten durchzuführen. Aspekte, die bei der Kostenbetrachtung heranzuziehen sind, sind z. B. Entwicklungs-, Logistik-, Material- und Fertigungskosten, Werkzeuge, Stückzahlen, erzielbare Preise etc. Grundlegende Frage ist dabei immer, ob sich eine zusätzliche Variante rechnet. Problematisch ist allerdings erneut die häufig anzutreffende Intransparenz der Kosten. Der folgende Ansatz (Bild 50) kann hier ein erster Schritt zur Verbesserung sein:[3] Für jede Variante werden explizit die Kosten betrachtet (1). Die Kosten werden in Relation zu den Stückzahlen und den erzielbaren Preisen gesetzt und in Bezug auf die Stückzahlen über die Varianten addiert (2). Dabei sind alle entstehenden Kosten, also auch in der Entwicklung, separate Werkzeuge etc., differenziert zu betrachten (3). Schwerpunkt ist also, die Kosten für jede Variante einzeln und in Bezug zu den Stückzahlen zu betrachten. Dabei

[1] Fehlen Erfahrungen aus Fehlern und Unfällen, untersucht man kritische Situationen und simuliert Unfälle.

[2] Qualität direkt, Funktion, Sicherheit, Dauerlauf, Missbrauch etc.

[3] Trotz dieses Ansatzes ist nicht zu vergessen, dass Kosten ein Kommunikationsmedium ist. Dementsprechend erfolgt diese Kostenbetrachtung nur für einen abgegrenzten Bereich.

ist klar zwischen absoluten und relativen Kosten zu unterscheiden, d. h. es ist detailliert zu untersuchen, welche Auswirkungen – sowohl für die betrachtete Variante als auch für die anderen Varianten – eine zusätzliche Variante in Bezug auf Stückzahlen, Kosten und Preise hat. Als Checkliste der möglichen Kostenquellen dient die Auflistung der Vor- und Nachteile von Differenzierungs- und Standardisierungsstrategien.

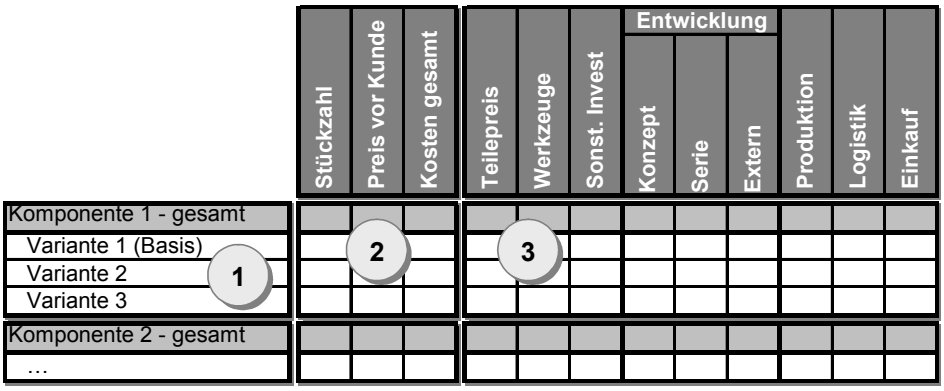


Bild 50: Kostenbewertung variantenreicher Produktspektren

In dieser Phase können zur Optimierung der Struktur zusätzlich die Aspekte Anzahl der Schnittstellen (je höher die Varianz, desto geringer sollte die Anzahl der Schnittstellen sein) oder ein Vergleich interner und externer Varianten betrachtet werden.

6.3.4 Zusammenfassung der Schritte des Prozessmodells

Zusammenfassend stellt Tabelle 38 den Prozess der VDI 2221 und deren Erweiterung einzelnen Schritte gegenüber und ordnet ihnen entsprechende Methoden zu. Diese Methoden sind in Abhängigkeit der Reife des Produktspektrums (frühe, innovative Phasen gegenüber späten, optimierenden Phasen) auszuwählen.

Tabelle 38: Schritte und Methoden der Methodik zur Entwicklung variantenreicher Produkte

Schritte VDI 2221	Erweiterung	detaillierte Schritte	Methoden
Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung	Kundenwünsche/ -eigenschaften, Umgebungseigenschaften, Freiheitsgrade	Idee, Produktbereich	Kreativitätstechniken, SWOT-Analyse, Szenario-Technik
		Kundeneigenschaften	Checkliste, Kundenbefragung, statistische Methoden
		Kundenwünsche	Vorgängerprodukte, Checkliste, Kundenbefragung, Wettbewerbsanalyse
		Produkteigenschaften	Vorgängerprodukte, Technologie-S-Kurve, Checkliste, Kundenbefragung, Wettbewerbsanalyse, Einflussmatrix, Conjoint-Analyse
Ermitteln von Funktionen und deren Strukturen	Funktionale Varianten, Disziplinen	Funktionsstruktur	Funktionsstruktur nach Ehrlenspiel, nach TRIZ etc.

Schritte VDI 2221	Erweiterung	detaillierte Schritte	Methoden
Suche nach Lösungsprinzipien und deren Strukturen	Realisierungsmöglichkeiten, Produktion, Umsetzung der Varianz	Prinziplösungen	Checkliste, Physikalische Wirkprinzipien, Variation der Gestalt, Sammlung technischer Prinzipien, Konstruktionskataloge, Analogien (Bionik etc.), Morphologischer Kasten
Gliedern in realisierbare Module	Strukturvarianten, Package, Systeme	Systeme	Checkliste, Objektorientierung
		Produktarchitektur	Hierarchie, Netzdiagramm, Geometrische Darstellung (CAD, VR, DMU), „einteilige Maschine“
		Schnittstellen	Checkliste, Schnittstellenformular
Gestalten der maßgebenden Module	Produktdefinierende Komponente, Module, Schnittstellen	Module	Vorgehensmodelle, Konstruktionsmethodik, Design For X
Gestalten des gesamten Produkts	Absicherung, Grenzen des Produktspektrums	Gesamtprodukt	Konfiguration
		Absicherung	FMEA, Sammlung Versuchsmethoden, Einflussmatrix, Methode zur Versuchsplanung, Checkliste, Multivariate Analysemethoden
Ausarb. d. Ausführungs- u. Nutzungsangaben	Kontinuierliche Erfahrungsdokumentation	Dokumentation	Erfahrungsspeicher, Gewichtungen

6.4 Adaption des Produkts

Dem Modell der Strukturplanung, das als Spirale darstellbar ist (s. o.), lässt sich ein weiteres Modell gegenüberstellen, das die Zunahme des Potenzials, den parallelen Verlauf von Planungs-, Adaptions- und Produktionsprozessen sowie den Kreislauf individueller Produkte betont (Bild 51).

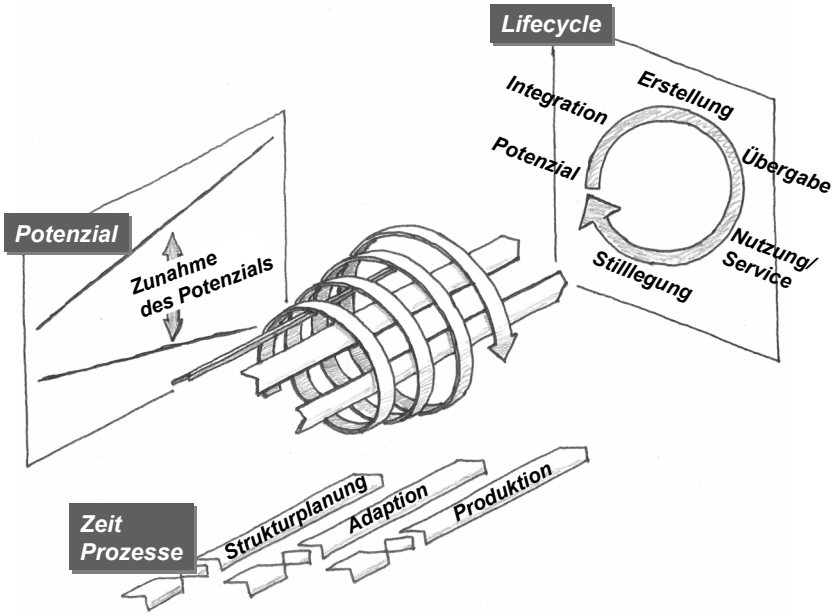


Bild 51: Erweiterung des Potenzials als kontinuierlicher Prozess

Die vorgestellte Strukturplanung ist zwar zu einem großen Teil „klassisches Variantenmanagement“, erlaubt jedoch durch die saubere Darstellung, die Reduktion des Entwicklungsaufwands und die Erhöhung der Komplexität eine schnelle Adaption (s. o. Ähnlichkeit der Ansätze). Diese Adaption des Produkts an den einzelnen Kunden (entspricht der Auswahl oder Konfiguration) sollte durch möglichst standardisierte Prozesse erfolgen, um auch hier den Aufwand zu reduzieren. Die Prozesse sind zu modularisieren, in einem Baukasten abzulegen und mit den Ressourcen des Unternehmens zu verknüpfen (BAUMBERGER et al. 2003). Das generelle Vorgehen bei der Adaption folgt dabei den Schritten:

- Aufnahme der Kundeneigenschaften und Kundenwünsche
- Übersetzung auf Freiheitsgrade und Produktkomponenten
- Überprüfung der Verträglichkeit der Auswahl
- Rückmeldung an den Kunden.

Bei der Übersetzung der Kundeneigenschaften und Kundenwünsche auf Freiheitsgrade und Produkteigenschaften wird die Matrixdarstellung wie oben beschrieben durchlaufen, jedoch werden die entsprechenden Elemente oder die konkreten Ausprägungen der Merkmale *ausgewählt* und *nicht aufgestellt*.

Aus Sicht des Produktspektrums hat der Kunde mehrere Möglichkeiten, auf das Produktspektrum oder einzelne Umfänge zuzugreifen:

- Auswahl eines Standardprodukts
- Konfiguration aus vordefinierten Umfängen
- Festlegen der Freiheitsgrade innerhalb derer Wertebereiche
- Festlegen existierender Freiheitsgrade über deren Wertebereiche hinaus
- Wunsch, der sich auf existierende Komponenten, Funktionen etc. bezieht, aber noch nicht explizit als Freiheitsgrad definiert ist
- Wunsch, der sich auf nichts Existierendes im Produktspektrum bezieht, die Struktur des Produkts aber nicht ändert
- Wunsch, der die Struktur des Produktspektrums ändert.

Hier müssen in zunehmendem Maße professionelle Entwickler in den Adaptionsprozess integriert oder allgemein höherer Aufwand, insbesondere an Zeit, in Kauf genommen werden. Der Zugriff auf das Produktspektrum kann sich darüber hinaus auf Eigenschaften, Funktionen, Prinzipien und Technologien oder konkrete Komponenten beziehen. Im Adaptionsprozess sind sowohl Standardkomponenten zuerst festzulegen als auch vom Kunden priorisierte Anforderungen zuerst umzusetzen. Zielkonflikte sind zu lösen, wenn mehrere Kundenwünsche unterschiedliche Produkteigenschaften verlangen. Die Vielzahl an Aufträgen unterschiedlicher Kunden ist nach Möglichkeit zusammenzufassen.

Wird die Methodik auf einen klassischen Baukasten bezogen, ist im Unternehmen ein Änderungsmanagement des Baukastens einzuführen, das die Notwendigkeit einer Änderung[1] aufzeigt und diese wirtschaftlich bewertet. Problematisch sind hier vor allem nicht berücksichtige Randbedingungen (z. B. Verwechslungsgefahr in der Montage).

Die Zugriffshäufigkeit auf bestimmte Varianten aus dem Produktspektrum ermöglicht, als ein Ansatz zur Komplexitäts*reduzierung*, nicht oder nicht mehr nachgefragte Ausprägungen aus dem Sortiment zu streichen.

6.5 Umgang mit Komplexität

Die bisher dargestellte Methodik erlaubt einen angemessenen Umgang mit komplexen Produktspektren, d. h. eine Mischung aus logisch korrekter Darstellung und dem Ermöglichen sozialer Anschlusshandlungen. Konkrete Richtlinien zum Umgang mit der Komplexität selber, d. h. wie Produktspektren mit tausenden von Anforderungen gehandhabt werden, erweitern dies. Neben dem Einsatz von Rechnerhilfsmitteln spielen hier die Anpassung der Methodik sowie explizite Prinzipien der Komplexitätsverarbeitung eine besondere Rolle.

6.5.1 Situative Anpassung des Prozess- und Produktmodells

Neben Ansätzen der situativen Anpassung von Methoden nach ZANKER (1999) und den Anpassungen des Produktmodells ist hier vor allem die reflexive Methodenanwendung von Bedeutung: Die Methodik als Produkt aufzufassen, das an unterschiedliche Bedürfnisse anzupassen ist, legt natürlich den Gedanken nahe, hierzu die Methodik selbst heranzuziehen. Erste Schritte der Anpassung stellen sich wie folgt dar.

Im ersten Schritt sind Kunden- und Umgebungseigenschaften in Bezug auf das Produktspektrum zu sammeln. Hinsichtlich der Methodik sind dies beispielsweise:

- Unternehmensbereich: Marketing, Entwicklung, Produktion, Vertrieb etc.[2]
- Organisationsstufe: Strategie, Management, operative Ebene
- Branche: Elektronik, Software, Maschinenbau, auch Bekleidung, Möbel etc.
- Marktposition: Nischenmarkt, Massenmarkt
- Produkt: Anzahl Bauteile, Varianten etc.

Daraus lassen sich z. B. folgende Kundenwünsche ableiten:

---

[1] Idealerweise werden gleiche Komponenten verwendet (Entwicklungsuafwand, Gleichteile etc.). Wesentliches Ziel ist jedoch, die Struktur nicht zu verändern (Auswirkungen auf den gesamten Baukasten).

[2] Wenn auch der Fokus der Methodik auf der Produktentwicklung liegt, ist die Betrachtung des Produktspektrums für andere Bereiche ebenso anwendbar.

- Zielsetzung: Erhöhung externer Komplexität, Reduzierung interner Komplexität
- Anwendung: Aufbau eines neuen Produktspektrums, Konfiguration eines existierenden Produktspektrums, Optimierung eines bestehenden Produktspektrums etc.
- Umsetzung: rechnerbasiert, einfache Hilfsmittel
- Darstellung: konkrete Produktdarstellung, abstrakte Produktdarstellung

Aus diesen Wünschen lassen sich die Freiheitsgrade ableiten; diese sind z. B.:

- Gestaltung der Benutzerschnittstelle: *frei*
- Umsetzung: Matrizen, Grafen etc.
- Datenbasis: Matrizen, relational, objektorientiert

Elemente und Funktionen der Methodik können nun identifiziert werden, die schon Realisierungsmöglichkeiten enthalten (Bild 52).

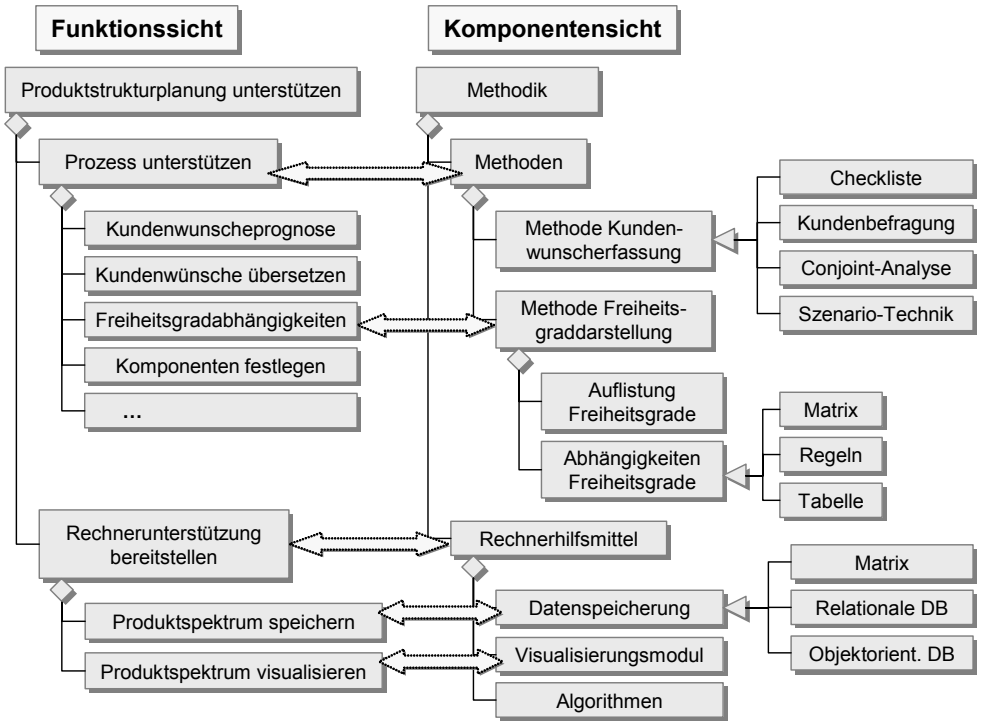


Bild 52: „Produktmodell“ der Methodik

Es ergibt keinen Sinn, eine dreidimensionale Architektur der Methodik aufzubauen, jedoch können die Schnittstellen der Methodik aufgezeigt werden (Bild 53). Wie schon in Bezug auf Produkte angedeutet, haben auch hier die Schnittstellen die gleiche Bedeutung wie oder sogar eine höhere Bedeutung als die konkreten Elemente; in diesem Fall stellen sie direkt die betonte Ermöglichung von Anschlusshandlungen dar.

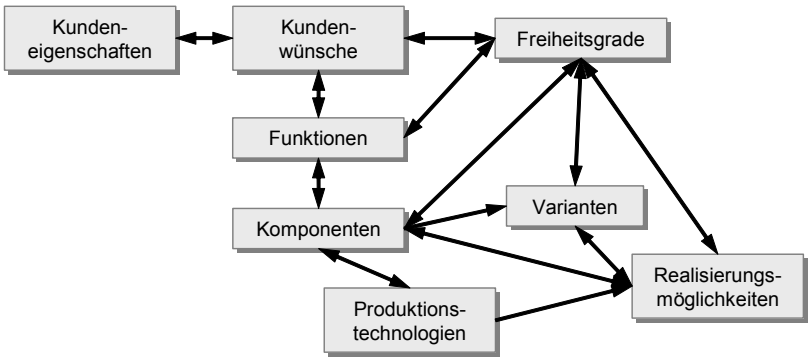


Bild 53: Schnittstellen in der Methodik

Die Freiheitsgrade lassen sich schließlich mit der Produktstruktur verknüpfen. Weitere Schritte und Schleifen führen zu einer kontinuierlichen Weiterentwicklung der Methodik. Als Ausblick gehört hierzu z. B. die Vervollständigung der Elemente und Verfestigung der Schnittstellen, die Optimierung der Methodik anhand unterschiedlicher Fallstudien, die eindeutige Verknüpfung von Randbedingungen und Elementen der Methodik etc. Kriterien zur Methodenanpassung können Anhang 6 entnommen werden.

6.5.2 Prinzipien zur Komplexitätsverarbeitung

Viele Ansätze des Komplexitätsmanagements sowie die bisher vorgestellte Methodik zielen auf eine möglichst vollständige Erfassung der „Komplexität“, d. h. aller Möglichkeiten des Produktspektrums. Um dies zu erreichen, wird die Komplexität, d. h. wieder die Summe der Möglichkeiten des Produktspektrums, eingeschränkt. Im Sinne der Systemtheorie und des vorgestellten Ansatzes zur Individualisierung von Produkten geht es um einen angemessenen Umgang mit Komplexität, der weitere Prinzipien umfasst (Tabelle 39). Dabei gilt noch mal, dass Komplexität kein Problem darstellt, sondern zu Folgeproblemen wie v. a. Handlungsunsicherheit führt.

Tabelle 39: Prinzipien zur Komplexitätsverarbeitung

Funktionen, allg. Prinzipien	Variantenmanagement
Grenzbildung (Differenz, Zentralisierung)	– Systeme (Module, Baugruppen, Umfänge) sind eindeutig abzugrenzen. Die Grenzen sind u. U. anzupassen und nicht als gegeben zu sehen.
Ressourcengewinnung (Spezialisierung, Kontingenzschließung)	– Das System muss sich selbst in den Umfang einpassen, d. h. anstatt Anforderungen an andere Umfänge zu stellen, sind die eigenen Umfänge anzupassen. – Sichten auf das Produktspektrum (Kunde, Entwicklung/Technik) sind klar voneinander zu trennen. – Varianten sind unabhängig zu halten. Viele Konfigurationsregeln erschweren die Handhabung des Produktspektrums (d. h. sie reduzieren zwar die Komplexität („Möglichkeiten“), führen jedoch zu mehr Intransparenz).
Strukturierung (Doppelte Kontingenzschließung, Strukturierung)	– Dekomposition und Spezifikation sind voneinander zu trennen. Einzelne Umfänge sind im Produkt zu separieren und erst nach der Dekomposition weiter zu spezifizieren oder nach der Spezifikation weiter zu dekomponieren (keine Vernetzung der Spezifikationen unterschiedlicher Ebenen).

Funktionen, allg. Prinzipien	Variantenmanagement
	– Elemente und Struktur sind klar voneinander zu unterscheiden, z. B. ob eine Komponente in unterschiedliche Strukturen oder unterschiedliche Komponenten in eine Struktur passen sollen. Es sollte jeweils nur eins von beiden geändert werden. – Das Produkt ist zu modularisieren, die Module und deren Varianz/Komplexität sind isoliert zu betrachten. Eine Betrachtung des gesamten Produktspektrums ist zu aufwendig.
Prozesssteuerung (Prozesssteuerung, Kommunikation, Zeitbezug)	– Schnittstellen in Organisation, Prozess und Technik sind eindeutig und explizit zu benennen. Die Kommunikation zwischen den Schnittstellen ist zu definieren. Hierzu gehört die *selektive Vererbung*: nur die Informationen werden weitergegeben, die für die unter-, neben- oder übergeordnete Komponente relevant ist. – Anstatt auf einen fertigen Baukasten o. Ä. ist auf den Prozess oder die ersten Schritte zum Aufbau eines Baukastens zu fokussieren: • beschriebene und (dann) standardisierte Schnittstellen • langfristige Vorgaben/Anforderungen • Kommunikation zwischen Abteilungen etc.
Reflexion (Reflexivität, Subjektivität)	– Klare Unterscheidung, ob eigener Umfang in Baukasten passen muss, oder ob eigener Umfang als Baukasten aufgebaut ist. – Keine Komplexitätsreduktion bei auf Komplexität ausgerichteten Verfahren (z. B. Produktion). Eigentliches Problem der Komplexität betrachten. – Transparente Darstellung der Komplexität anstreben.
Genese (Evolution, Pluralismus)	– Kein einheitliches Baukastensystem anstreben. Ansätze (Realisierungsmöglichkeiten) vermischen, in Abhängigkeit vom Produkt. Unterschiedliche Vorteile (Entwicklung, Produktion etc.) betrachten.
Übergeordnete Prinzipien: Selbstähnlichkeit, Emergenz, Unvollständigkeit, Unbestimmtheit	– Verzicht auf vollständige Darstellung der Komplexität. Komplexität ist ein emergentes Prinzip, d. h. es sind die Teile des Systems zu kontrollieren, nicht jedoch das gesamte Spektrum. – Damit u. U. auch Verzicht auf Dokumentation, Entwicklung bisher nicht explizit geforderter Varianten, Wiederholgenauigkeit etc.

Zentrales Prinzip des Komplexitäts- und Variantenmanagements ist es somit, die Freiheitsgrade und Varianten möglichst unabhängig voneinander zu halten.[1] Die häufig angeführten Milliarden von möglichen Varianten in der Automobilindustrie z. B. ergeben sich größtenteils aus dem mathematischen Produkt relativ überschaubarer, unabhängiger Auswahlmöglichkeiten.[2] Die Probleme ergeben sich aus den wenigen abhängigen Varianten, gehen jedoch häufig in dem Versuch der vollständigen Darstellung unter. Es sollte genau darauf geachtet werden, zwischen einzelnen Umfängen und Hierarchieebenen nur die für das andere System relevanten Eigenschaften (Information) zu kommunizieren („selektive Vererbung"). Eine Montageoptimierung ist ebenfalls zu hinterfragen, wenn einzelne Montageschritte unabhängig sind oder die gesamte Montageanlage auf die Verarbeitung von Komplexität ausgelegt ist.[3]

[1] siehe z. B. auch FRANKE (1998): Komplexität entsteht durch unscharfe Abgrenzungen

[2] z. B. acht Freiheitsgrade mit je zwei bis zehn Ausprägungen können zu über 100.000 Varianten führen; dies entspricht der mangelnden psychologischen Fähigkeit zur Extrapolation

[3] Wenn eine bestimmte Montage immer an derselben Stelle erfolgt, ist vorher erzeugte Varianz unkritisch.

6.6 Rechnerhilfsmittel

Rechnerhilfsmittel können kein alleiniges Hilfsmittel sein, um mit der sozialen Komplexität von Produktentwicklungsprozessen umzugehen. Rechnerhilfsmittel und deren Fehler (siehe z. B. komplexe Betriebssysteme) zeigen gerade die Schwierigkeiten von Komplexität auf. Nichtsdestotrotz können sie in vielen Bereichen unterstützend wirken. Anhang 7 zeigt hierfür Beispiele (Strukturplanungswerkzeug, Genetische Algorithmen und Neuronale Netze sowie Controllingwerkzeuge) auf. Wesentliche Erkenntnisse dabei sind:

- Ein Rechnerwerkzeug zur expliziten Strukturplanung fehlt bisher. Weder CAD- noch PDM-Systeme unterstützen dies ausreichend. Ein solches Werkzeug sollte die Elemente des Produktmodells graphisch (vernetzt und auch 3-dimensional) sowie in Matrizen darstellen.
- Genetische Algorithmen und Neuronale Netze unterstützen die evolutionäre Entwicklung des Produktspektrums. Genetische Algorithmen bilden die kontinuierliche Entstehung neuer Varianten und deren Selektion nach, Neuronale Netze entsprechen einem kontinuierlichen Lernen möglicher und gewünschter Produktausprägungen.
- Controllingwerkzeuge für den operativen Einsatz dokumentieren, verfolgen und prognostizieren controllingrelevante Größen (Kosten, Gewicht, Termine, Versuche, Probleme etc.) in Bezug auf Soll und Ist und auf Basis der Produktstruktur.
- Bei allen Werkzeugen ist ein Kompromiss aus Transparenz und Abbildung der „Prozesse“ einerseits, der Unterstützung der Kommunikation und der Ermöglichung von Anschlusshandlungen im sozialen System andererseits einzugehen. Praktisch kann dies so aussehen, dass die Werkzeuge in einem abgegrenzten Bereich die eigentliche Tätigkeit unterstützen, im übergeordneten Kontext durch Standardisierung der Darstellung einen Informationsaustausch fördern.
- Ebenso ist die Ausrichtung zwischen umfangreichen, detaillierten Werkzeugen z. B. auf Datenbankbasis und einfachen Hilfsmitteln wie standardisierte elektronische Formblätter z. B. in einer Tabellenkalkulation zur Gewährleistung der Akzeptanz zu wählen.

Die Ansätze können als eigenständige Lösungen aufgesetzt werden oder als mögliche Erweiterung bestehender Systeme gesehen werden (insbesondere die Strukturplanung als Teil von CAD- und PDM-Systemen). Die Prinzipien hinter den Werkzeugen sind – soweit noch nicht durch die systemtheoretischen Betrachtungen geschehen – in das Denken der Entwickler und die Entwicklungsprozesse zu integrieren (insbesondere Genetische Algorithmen und Neuronale Netze).

6.7 Zusammenfassung

In diesem Abschnitt wurde eine Methodik zur Entwicklung variantenreicher und individualisierbarer Produktspektren vorgestellt. Der Fokus lag auf der Planung und Entwicklung der Produktstruktur, nicht auf der Adaption des individuellen Produkts.

Kernpunkt der Methodik ist ein Produktmodell, das zwischen Dekomposition und Spezifikation des Produkts unterscheidet und Aspekte des Kunden sowie der Realisierung umfasst. Der Prozess der Entwicklung orientiert sich an existierenden Ansätzen, betont jedoch, dass sich die einzelnen Elemente des Produktspektrums gegenseitig beeinflussen. Darüber hinaus wurden dem Prozess einzelne Methoden (insbesondere Checklisten) zugeordnet. Neben Richtlinien zur Komplexitätsbewältigung wurden Rechnerhilfsmittel konzipiert, die auf der Produktstruktur basieren und die Methodik abschließen.

Wesentliche Punkte zur Komplexitätsverarbeitung sind zusammengefasst:

- klare Trennung von Dekomposition und Spezifikation der Umfänge,
- klare Trennung der Sichten und explizite Berücksichtigung von Freiheitsgraden, Systemen etc.,
- Unabhängigkeit der einzelnen Freiheitsgrade oder Umfänge voneinander,
- explizite Betrachtung der technischen Schnittstellen und
- eigenverantwortlicher Umgang mit den Umfängen.

Viele der Ansätze sind nicht nur für die Entwicklung variantenreicher Produktspektren geeignet, sondern können auch für andere Problemstellungen herangezogen werden. Dazu mag eine Anpassung der Methodik erforderlich sein, die in ersten Schritten beschrieben wurde. Schlussendlich ist auch die Vorstellung aufzugeben, dass eine lineare Methodik ein komplexes Produktspektrum blind aufbauen kann. Vielmehr ist die Baukastenentwicklung wieder einem sozialen Prozess unterworfen, der jedoch hier möglichst weit berücksichtigt wurde. Dabei ist umgekehrt festzuhalten, dass auch ein Baukasten durch die relative Unabhängigkeit der Bausteine den sozialen Aspekt in der Produktentwicklung unterstützt. Zielsetzung waren somit Einzelmethoden, die im sozialen Prozess der Baukastenentwicklung Anschlusshandlungen ermöglichen. Zentral ist die Erkenntnis:

> Komplexität stellt kein Problem dar, sondern führt nur zu anderen Problemen, insbesondere die Handlungsunsicherheit. Maßnahmen zum „Komplexitätsmanagement“ müssen sich auf den richtigen Aspekt abzielen. Eine Montageoptimierung ergibt keinen Sinn, wenn die Varianz keinen Einfluss hat; eine zahlenmäßige Reduktion der Varianz ergibt keinen Sinn, wenn sie das mathematische Produkt unabhängiger Varianten ist.

Wie ein Produkt in Zukunft tatsächlich aussieht (z. B. in Bezug auf Modularisierung) ist ebenfalls offen. Von Bedeutung ist dabei, dass das Industrial Design einen wesentlichen Einfluss auf die Baukastenentwicklung hat, die jedoch auch andere Vorzüge bietet.

7 Reflexion

Das folgende Kapitel reflektiert die vorliegende Arbeit. Die entwickelte Methodik auf ein Praxisbeispiel zu übertragen, wird als Form der Evaluation kritisch betrachtet. Hieraus ergibt sich schließlich eine kritische Reflexion der Arbeit selbst, des wissenschaftlichen Vorgehens sowie der persönlichen Entwicklung.

7.1 Evaluation der Methodik

In diesem Abschnitt wird ein Projekt herangezogen, das eine PKW-Cockpit-Struktur in Bezug auf technische und organisatorische Schnittstellen optimierte (s. o.). Das Cockpit stellt einen komplexen Umfang dar, der schwer abzugrenzen ist, hochgradig design- und kundenrelevant ist sowie eine Vielzahl von Funktionen, Bauteilen und Zulieferern umfasst.

Der Einstieg erfolgte mit der Betrachtung des Vorgängerprodukts. Die Analyse ergab:

- Anstelle von Variantenbäumen, die nicht mehr handhabbare Größen annahmen, wurden Listen von Freiheitsgraden sowie Matrizen, die Freiheitsgrade und Komponenten verknüpfen, aufgestellt. Hierdurch wurde eine größere Transparenz vor allem in Bezug auf die Abhängigkeiten der Freiheitsgrade erreicht; es wurden Komponenten identifiziert, die eine hohe Variantenzahl aufgrund mehrerer Freiheitsgrade besitzen.
- Neben Kundeneigenschaften wurden insbesondere Umgebungseigenschaften und regionale Anforderungen gesammelt. Es wurde festgestellt, dass über 33 % der Varianz der Bauteile und weit über 25 % der variantenbezogenen Entwicklungskosten durch Länderspezifika entstehen.
- Die Betrachtung der Variantentreiber und der kundenrelevanten Varianz, d. h. was der Kunde sieht oder nutzt, die Untersuchung der technischen Schnittstellen etc. identifizierten Baugruppen, die entweder standardisiert, parametrisiert, individualisiert oder lediglich optimiert werden. Bild 54 zeigt ein Beispiel zur Visualisierung und Begründung von Maßnahmen.
- Durch die Zuordnung von Baugruppen, Varianten (Freiheitsgraden), Zulieferern und Funktionen konnten Module sowie zentrale Zulieferer identifiziert werden; ein Zulieferer mit über 35 % der Umfänge kommt hier z. B. auch als Systemlieferant in Frage. Eine parallele *Funktionsintegrationsliste* strukturiert Bauteile nach ihrer Funktion, Lage, Material und Form; auch hier konnte z. B. ein Integrationsteil aus Lüftungskanälen, Modulträger[1] und Kabelbaum abgeleitet werden (Bild 55).

---

[1] Querträger, der alle Module des Cockpits aufnimmt und somit eine Vormontageeinheit ermöglicht.

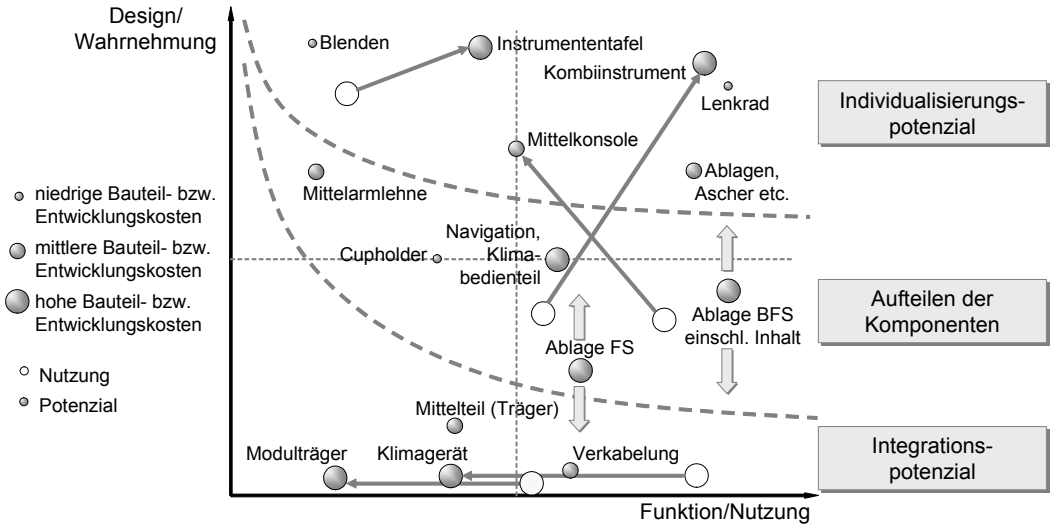


Bild 54: Gegenüberstellung sichtbarer und nutzbarer Varianz

Bauteilhierarchie | Flexibilität | Funktionen | Lage | Material

Ident-Nr.	Funktionsgruppe	Unterfunktions-gruppe	Bauteile	Aus-stattungs-bedingung	Erweiterte Funktionsbeschreibung			Lage (rel.)			Material
					Fkt.-Nr.	Substantiv	Verb	X	Y	Z	
1000	Instrumententafel			Serie							
1100	Instrumententafel	Modulträger		Serie							
1101	Instrumententafel	Modulträger	ZSB Modulträger	Serie	1.1	Aggregate/Systeme	tragen	innenliegend	durchgehend	mittig	Metall
1102	Instrumententafel	Modulträger	ZSB Modulträger	Serie	1.2	Aggregate/Systeme	befestigen	innenliegend	durchgehend	mittig	Metall
1103	Instrumententafel	Modulträger	ZSB Modulträger	Serie	10.1	Kräfte, Momente	aufnehmen	innenliegend	durchgehend	mittig	Metall
1104	Instrumententafel	Modulträger	ZSB Modulträger	Serie	10.3	Kräfte, Momente	leiten	innenliegend	durchgehend	mittig	Metall
1105	Instrumententafel	Modulträger	Haltewinkel re.	Serie	1.2	Aggregate/Systeme	befestigen	innenliegend	rechts	mittig	Metall
...											
1200	Instrumententafel	Heizung/Klimagerät		Serie							
1201	Instrumententafel	Heizung/Klimagerät	Heizung/Klimagerät	Serie	7.1	Innenraum	kühlen	innenliegend	durchgehend	unten	Verbund
1202	Instrumententafel	Heizung/Klimagerät	Heizung/Klimagerät	Serie	7.2	Innenraum	heizen	innenliegend	durchgehend	unten	Verbund
1203	Instrumententafel	Heizung/Klimagerät	Heizung/Klimagerät	Serie	7.3	Innenraum	belüften	innenliegend	durchgehend	unten	Verbund
1204	Instrumententafel	Heizung/Klimagerät	Luftführung mitte	Serie	7.1	Innenraum	kühlen	vorne	mittig	oben	Kunststoff
1205	Instrumententafel	Heizung/Klimagerät	Luftführung mitte	Serie	7.2	Innenraum	heizen	vorne	mittig	oben	Kunststoff
...											
1300	Instrumententafel	Fußhebelwerk		Serie							
1301	Instrumententafel	Fußhebelwerk	Fußhebelwerk	Serie	6.1	Fahrzeug	direkt steuern/regeln	vorne	links	unten	Verbund
1400	Instrumententafel	Instrumententafel		Serie							
1401	Instrumententafel	Instrumententafel	LU Instrumententafel	Serie	1.1	Aggregate/Systeme	tragen	vorne	durchgehend	oben	Kunststoff
1402	Instrumententafel	Instrumententafel	LU Instrumententafel	Serie	2.1	Bauraum	bereitstellen	vorne	durchgehend	oben	Kunststoff
1403	Instrumententafel	Instrumententafel	LU Instrumententafel	Serie	2.2	Ablage	bereitstellen	vorne	durchgehend	oben	Kunststoff
1404	Instrumententafel	Instrumententafel	LU Instrumententafel	Serie	4.2	Insassen	passiv schützen	vorne	durchgehend	oben	Kunststoff

Bild 55: Funktions- und Komponentenintegrationsliste

- Probleme aus alten Modellen, daraus abgeleitete und allgemeine Anforderungen und Ziele sowie schon vorhandene Lösungsansätze wurden gegenübergestellt. Einzelne Vergleiche brachten wenig berücksichtigte Probleme, nicht formulierte Anforderungen und relativ offensichtliche Lösungsansätze zutage.
- Bauteile- und Schnittstellenblätter (Bild 56) beschreiben explizit die abstrakt aufgestellte Produktstruktur, die entsprechend der Darstellung in Kapitel 6 aufgebaut wurde, und verweisen auf Verantwortliche etc.
- Der Modulträger war ein Beispiel für die evolutionäre Entwicklung. Dieses Bauteil wird jedes Mal von Grund auf neu entwickelt, Änderungen gegenüber Vorgängermodellen sind jedoch marginal und neue Konzepte werden kaum entwickelt. Eine evolutionäre Entwicklung würde hier klar auf Vorgängerlösungen basieren und nur notwen-

dige Änderungen aufnehmen; neue Konzepte würden bewusst in Bezug zu dem bestehenden gesetzt. In anderen Bereichen existiert ein solches Vorgehen ansatzweise, wenn gefordert wird, dass neue Teile nur entwickelt und produziert werden dürfen, wenn nachgewiesen wird, dass die vorhergehende Lösung nicht mehr funktioniert.

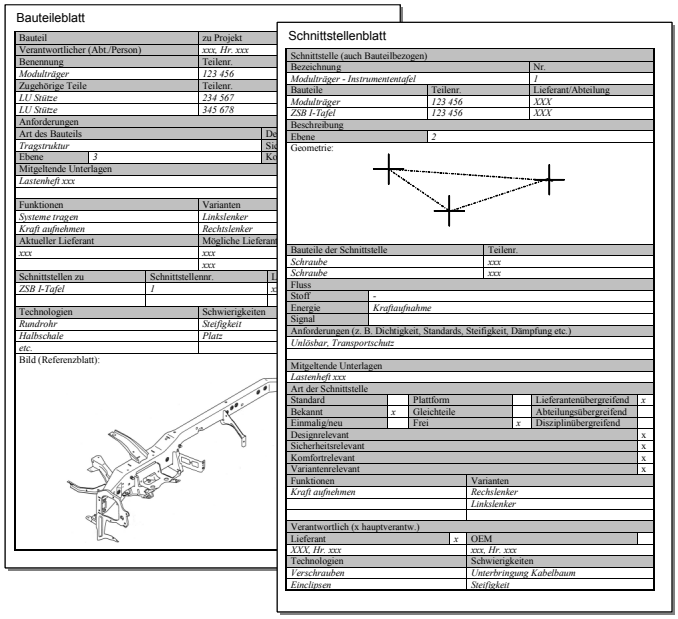


Bild 56: Bauteile- und Schnittstellenblatt

- Die Variantenstruktur stellte die Grundlage dar, eine detaillierte Kostenanalyse, insbesondere der Entwicklungskosten, zu starten. Hier stieß man jedoch an die Grenzen der Transparenz, woraus sich eben der Bedarf ergab, bei zukünftigen Projekten von Beginn an auf die Variantenkosten zu achten oder Kosten bewusst nur als Kommunikation zu betrachten.
- Ebenso ergab sich für die Baukastenentwicklung der Bedarf, andere Organisationseinheiten mit einzubeziehen (Elektrik, Klimaanlage); dies scheiterte anfangs an fehlenden Vorgaben des Managements und jeweils abteilungsinternen Interessen.

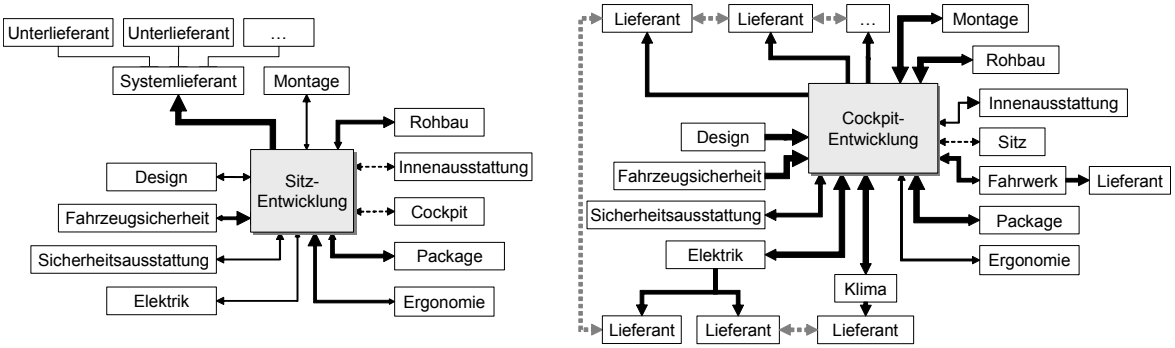


Bild 57: Vergleich Organisationsstrukturen PKW-Sitz- und Cockpitentwicklung

Ein Vergleich zwischen Sitz- und Cockpitentwicklung (Bild 57) zeigte, dass der Umfang Sitz und die zugehörige Organisationsstruktur klarer abgegrenzt sind und somit „Strukturierungsmaßnahmen“ einfacher implementiert werden können. Hier konnte in Verbindung mit dem Aufzeigen der Vision ein Baukasten aufgebaut werden. Gleichzeitig wurde eine separate Abteilung gegründet, die sich karosserieweit mit Integrationsfragen einzelner Umfänge befasst.[1]

Die Methodik der Versuchsplanung aus Kapitel 6, die dort schon an dem entsprechenden Beispiel des Sitzes beschrieben wurde, konnte eine Diskrepanz von ca. 20 % zwischen notwendigen und aus Erfahrung durchgeführten Versuchen aufzeigen.

Die Methodik zur Strukturplanung wurde auch an der Optimierung eines Hochdruckreinigers gespiegelt. Dabei zeigte sich, dass die Methodik sehr umfassend ist und häufig nicht alle Aspekte Berücksichtigung finden müssen. Vielmehr sollte die Methodik selbst als eine Sammlung von Möglichkeiten gesehen werden, die Struktur eines variantenreichen Produktspektrums aufzubauen. Viele weitere Aspekte ergeben sich aus technischer Notwendigkeit und relativ einfachen Überlegungen. Während Methoden also einerseits eine Kontingenzschließung ermöglichen, stellen sie andererseits auch eine neue Komplexität dar, die wiederum verarbeitet werden muss. Dabei hat sich jedoch insgesamt gezeigt, dass einzelne Methoden Anschlusshandlungen ermöglichen, worum es ja eigentlich geht. Dies wurde durch die Beobachtungen in der Industrie unterstützt.

Somit ist es irrelevant, dass die zur Evaluation herangezogen Ansätze anders erscheinen, als die theoretisch dargestellten Methoden. Dies liegt an dem Unterschied zwischen theoretischer Darstellung und praktischer Anwendung von Methoden. Während die Methoden wissenschaftlich abstrakt dargestellt werden müssen, ist es zwar theoretisch möglich, sie genau so in die Praxis umzusetzen, jedoch kommt es dort vor allem auf die durch die Methoden beschriebene Denkweise an, die sich in den praktischen Ansätzen widerspiegelt. Aufgrund dieser Unschärfe sollen die Evaluierung und deren Möglichkeiten nochmals kritisch hinterfragt werden.

7.2 Reflexion der Arbeit

Die wissenschaftliche Evaluation von Methoden nimmt im Zusammenhang mit der Systemtheorie eine besondere Stellung ein. Die Frage, die sich hier stellt, ist, ob die Methodik anhand einer Fallstudie evaluiert wurde, oder ob konkret entwickelte Methoden zur wissenschaftlichen Darstellung abstrahiert wurden, also eine Frage nach dem Zusammenspiel von Handlung und Dokumentation.

[1] An dieser Stelle sei nochmals auf die Beobachtungen in der Industrie (Kapitel 4) verwiesen.

So können konkrete Methoden in *einem* bestimmten Fall evaluiert werden; abstrakt dargestellte Methoden, die allgemein anwendbar sind, worauf die vorliegende Arbeit abzielt, erfordern jedoch immer einer Anpassung und individuelles Handeln, sodass sie nur bedingt evaluiert werden können.

Zur Verdeutlichung zeigt Bild 58 den Zusammenhang von wissenschaftlicher Arbeit und praktischer Evaluation: Da beides auf unterschiedlichen Ebenen abläuft und von anderen Entwicklungen beeinflusst wird (A und B), ist eine eindeutige Abbildung nicht möglich, sondern es ergibt sich immer eine Mischung aus beiden Ebenen. Komplexe[1] Methoden können somit nicht vollständig evaluiert werden, da sie momentan noch einer Weiterentwicklung unterliegen und sich auf einen nicht verfestigten Bereich beziehen. Eine lineare Betrachtung würde zwar den Eindruck einer Evaluation vermitteln, praktisch liegen jedoch Kreisschlüsse vor, wie in Bild 58 (C) angedeutet. Mit anderen Worten, eine Evaluierung in der Industrie würde die ursprüngliche Methodik so verändern, dass sie wiederum nicht evaluiert ist. Gleichzeitig kann eine Evaluation, im Sinne einer Anwendung, erfolgen und dokumentiert werden, ohne die eigentlich kritischen Punkte getroffen zu haben.

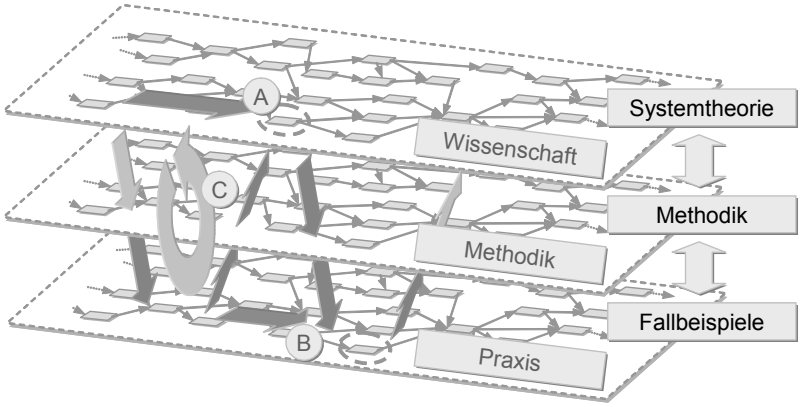


Bild 58: Wechsel zwischen den Ebenen der Wissenschaft und der Praxis

Wenn auch keine vollständige Evaluation durchgeführt werden kann, wurde die Methodik jedoch zumindest in Teilen erfolgreich angewendet. Problem bleibt hier allerdings die subjektive Sichtweise der Angemessenheit und Nützlichkeit. Es ist somit offen, inwieweit letzten Endes alles evaluiert werden kann, eine freie Intervention in ein System sinnvoll ist, oder im streng wissenschaftlichen Kontext eine Einschränkung auf abgegrenzte Experimente und Wissensbausteine Sinn ergibt.

Betrachtet man die gesamte vorliegende Arbeit, findet sich ein solcher Kreisschluss, indem einerseits die vorgestellte Methodik als Evaluierung oder Umsetzung der Systemtheorie dient, andererseits die Systemtheorie Begründung und Herleitung der Methodik darstellt

[1] Komplexität bedeutet eben, Möglichkeiten zur Anpassung offen zu halten.

und selbst durch die Methodik Rückschlüsse[1] erfährt; beide werden unterstützt durch die Beobachtungen in der Industrie und deren Interpretation. Somit fand ein ständiger Kreislauf von Beobachtung/Anwendung, systemtheoretischer Betrachtung und Entwicklung der Methodik statt. Auch die Struktur der Arbeit ist nur eine unter vielen Möglichkeiten und eine Art des Kontingenzschlusses. Wenn ein solcher Kreisschluss auch Kritik zulässt, ermöglicht er letztlich doch mehr Anschlusshandlungen als ein linear verkürzter Ausschnitt mit „einer Lösung".

Wenn auch die vorgestellten Ansätze in der soziologischen Systemtheorie schon existent sind, wurden sie auf eine andere Domäne übertragen beziehungsweise erfolgte eine Einordnung der Produktentwicklung in diesen Kontext. Des Weiteren konnten praktische Ansätze für die Entwicklung variantenreicher Produktspektren und die Produktentwicklung allgemein aus dieser Sichtweise abgeleitet werden. Somit ist der Beweis erbracht, dass die Soziologie und Systemtheorie eine Vielzahl von Möglichkeiten für die kreative Optimierung der Produktentwicklung bereithält.

7.3 Reflexion des wissenschaftlichen Vorgehens

Wird Wissenschaft innerhalb eines Paradigmas noch als Rätsellösen (KUHN 1976) aufgefasst, zeigt eine Reflexion des wissenschaftlichen Vorgehens, dass wissenschaftliche Ergebnisse auch von Zufällen abhängen und somit nur bedingt determiniert sind.[2] Einige Beispiele sollen dies verdeutlichen:

- Genehmigungsverfahren durch Förderinstitutionen gewährleisten zwar eine Qualität der Forschung, zeigen aber, dass keine *objektiven* Fragen Wissenschaft ausmachen.
- Das Zusammenspiel von erfolgreichen und weniger erfolgreichen Projekten sowie deren Reflexion wirken sich wesentlich auf die Einstellung aus, was mit Methoden oder Optimierungsansätzen erreicht werden kann und wo andere Ansatzpunkte liegen können. Dies bezieht sich auch auf disziplinen*interne* (z. B. Psychologie) Sichten und Ansätze: fraglich ist, ob diese wirklich alles abdecken und erklären können.
- In der Vielzahl vorhandener Literatur ist es ebenfalls häufig dem Zufall überlassen, ob man auf bestimmte Quellen stößt (z. B. über Konferenzen) oder welchen Weg man durch das Netz von gegenseitig zitierter Literatur geht und wo man seine Schwerpunkte setzt. In der gleichen Weise existiert das Bewusstsein, dass eine Menge Literatur implizit oder explizit nicht berücksichtigt wurde.

[1] Vermischung der Medien, interne vs. externe Strukturierung, der ausschließliche Fokus, Anschlusshandlungen zu ermöglichen etc.

[2] ohne hier auf eine genauere Diskussion der Begriffe „Zufall" und „determiniert" eingehen zu wollen

- Einzelne Anmerkungen anderer können die eigene Forschung, häufig unbemerkt, aber manchmal auch reflexiv nachvollziehbar, in eine ganz andere Richtung lenken.
- Es ist letzten Endes nicht zu vergessen, dass auch Forscher Privatpersonen sind und sich somit zu einem bestimmten Teil private Ereignisse und Erfahrungen (Interessen, Probleme etc.) mit der Wissenschaft vermischen.

Es ist natürlich gerade ein Charakteristikum der Wissenschaft, solche Einflussfaktoren weitest möglich auszuschalten, jedoch wäre es vermessen, sie in einer Betrachtung der Wissenschaft vollkommen außen vor zu lassen. Dies zu berücksichtigen, ist Teil einer systemtheoretischen Wissenschaft.

Während eine reduktionistische Sicht der Wissenschaft eine solche systemtheoretische Sicht nicht zulässt und somit konsistent mit sich selbst ist, erlaubt die systemtheoretische Sicht eben unterschiedliche Sichten, somit auch eine reduktionistische, und ist ebenfalls konsistent mit sich selbst. Letztere erscheint dabei jedoch in vielen Fällen und für viele Phänomene das bessere Erklärungsmodell zu bieten. Auch in der vorliegenden Arbeit wurde nur *eine* konsistente Sicht unter verschiedenen möglichen, „*kontingenten*“ Sichtweisen aufgeführt.

7.4 Selbstreflexion

Die Tatsache, dass es sich hier nur um *eine* Sichtweise handelt, führt zu dem Punkt, dass *jemand* diese Sichtweise besitzt und sie hier dokumentiert hat. Wenn Wissenschaft nicht objektiv sein kann, so ist es eben von besonderer Bedeutung, auch die persönliche Entwicklung mit zu berücksichtigen. Somit ist wissenschaftliches Arbeiten zu einem Großteil auch Erkenntnis-, Lern- und Rekapitulationsprozess, sowohl in Bezug auf Fachwissen als auch z. B. in Bezug auf Selbstbewusstsein („Reflexion“), Genauigkeit, den Anspruch, neue Ansätze aufzusetzen, eine kritische Einstellung anderen Ansätzen gegenüber etc. Insbesondere ist die Erarbeitung von Methoden, Modellen, Werkzeugen etc. ein Prozess der Kontingenzschließung, eine eigene Handlungsoption zu finden, von der man überzeugt ist. Es steht zum Teil also im Vordergrund, für sich angemessene Handlungsmöglichkeiten zu finden, anstatt *das* wahre Vorgehen vorzuschlagen.

Man kann den Prozess auch so auffassen, dass das eigene „Weltbild“ ständig bewiesen, angepasst und verfeinert wird, hiervon jedoch nur Auszüge, d. h. ein Teil des Prozesses veröffentlicht, diskutiert und „kommuniziert“ werden. Aspekte der Kommunikation führen dazu, dass die aufgestellten Ansprüche an Wissenschaftlichkeit etc. selbst nur zum Teil erfüllt werden können. Die Stufe der Reflexion entspricht dabei einer Systementstehungsstufe, die der Abgrenzung, Strukturierung und Prozesssteuerung folgt und zur Genese führt.

Zu dem Aspekt der Reflexion gehört ebenfalls, den eigenen Persönlichkeitstyp mit in die Betrachtung einzubeziehen (s. Kapitel 2, *Myers-Briggs-Typ-Indikator* nach BAYNE 1997).[1] Eigenschaften wie z. B. Abstraktheit, Idealismus, Inspiration, Gutgläubigkeit, Intuition und Kreativität, Innengewandtheit, Perfektionismus gepaart mit mangelndem Glauben an Perfektion etc. mögen sich in der wissenschaftlichen Arbeit genauso wieder finden wie eine langfristig aufgebaute Auffassung von „Komplexität“[2]. Auch eine Einteilung in die Gruppen „Unterschiede findend“ und „Ähnlichkeiten findend“ nach GHARAJEDAGHI (1999) findet sich in der Kontextdefinition als wesentlichem Ergebnis und dem Aufbau von klaren Unterscheidungen ausgehend von einem einheitlichen Weltbild wieder.

Der subjektive Aspekt findet sich auch darin wieder, dass es sich auch bei der Arbeit um Kommunikation handelt, die aus Information, Mitteilung und Verstehen besteht. Während die Information rein subjektiv ist, stellt die vorliegende Arbeit die Mitteilung dar, während das Verstehen anderen überlassen ist.

7.5 Zusammenfassung der Reflexion

Es ist schwierig bis unmöglich, Wissenschaft wissenschaftlich zu betrachten; gleichzeitig stellt ein solch reflexiver Ansatz die beste Möglichkeit dar, mit der Komplexität der Realität umzugehen. Der Versuch, trotzdem eine „positive“ Methodik zu entwickeln, obwohl Kernaussage der Betrachtung das ständige Hinterfragen ist, zeigt, wie schwer es ist, den „Lösungs-Ansatz“ aufzugeben. Letzten Endes stellt die Arbeit nur *eine* persönliche Sicht dar, die von jemandem geschrieben wurde. Somit ist auch die Arbeit in gewisser Weise ein Experiment mit offenem Ende, dessen Bewertung auf anderer Ebene erfolgt. Da der Ansatz per definitionem unvollständig ist, wurde versucht, möglichst viele Handlungsoptionen zu eröffnen und ein neues Fundament zu legen.

[1] Hierbei ergab sich der Persönlichkeitstyp INFP (introvertiert, intuitiv, fühlend, wahrnehmend).

[2] sowohl der wahrgenommenen als auch der gewünschten

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit stellt *eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung* dar. „Produktentwicklung“ umfasst die wissenschaftliche Disziplin, die Organisationseinheit und den Prozess der Gestaltung neuer Produkte. „Systemtheoretisch“ bezieht sich auf die Systemtheorie der Soziologie und die Ansätze nach Luhmann. „Eine Betrachtung“ betont, dass es sich hierbei nur um *eine* Sichtweise auf ein komplexes System handelt.

Diese Betrachtung verfolgt das Ziel, ein besseres Erklärungsmodell für bestimmte Phänomene der Produktentwicklung bereitzustellen. Hiermit wird Problemen begegnet, wie z. B. die wenig genutzten wissenschaftlichen Ergebnisse und das fehlende Paradigma der Designforschung oder die nicht erreichbare Transparenz von Kosten, die schwierige Zusammenarbeit in Unternehmen und das unangemessene Methodenverständnis in der Industrie.

Ausgangsbasis – Systemtheorie

Die moderne Systemtheorie hat sich von einer reduktionistischen Auffassung von Systemen zu einer selbstreferenziellen Kommunikationstheorie entwickelt, d. h. Paradigmenwechsel durchgemacht, die in anderen Bereichen ebenfalls anzustoßen sind. Ein System ist dabei Bestandteil eines komplexen Ganzen, das nicht kontrolliert oder gesteuert, sondern nur beeinflusst und beobachtet werden kann.

Mit Hilfe dieses Ansatz der Systemtheorie aus der Soziologie wurde untersucht, was Entwicklungsprozesse sind, wie wissenschaftlich gearbeitet werden kann, was Komplexität bedeutet etc. Die Hypothese war, dass die Soziologie Erklärungsmodelle und Ansätze für die Optimierung von Produktentwicklungsprozessen bereithält. Damit grenzt sich der Betrachtungsgegenstand der Arbeit auf komplexe Entwicklungsprozesse (z. B. Automobilbau) im Gegensatz zu „einfachen“ konstruktiven Aufgaben ab.

Komplexität umfasst in der Systemtheorie die Vielzahl der Verknüpfungsmöglichkeiten der Teile des Systems sowie die Unmöglichkeit, *alle* Teile miteinander zu verknüpfen, sodass Selektionen stattfinden und Anschlusshandlungen ermöglicht werden müssen, d. h. ein Element des Systems muss in Abhängigkeit von den anderen Systemelementen eine angemessene Handlungsoption finden. Die Vielzahl der Möglichkeiten ist die Kontingenz, die im Sinne einer Entscheidung geschlossen, zur Reaktion auf eine ebenfalls komplexe Umwelt aber offen gehalten werden muss.

Der soziologische Prozess der Systementstehung – als Verarbeitung der Komplexität – teilt sich ein in die Schritte der Abgrenzung von der Umwelt, der Spezialisierung als Kontin-

genzschließung, der Strukturierung der einzelnen Teile, der Prozesssteuerung zwischen diesen Teilen hin zur Kommunikation über (symbolisch generalisierte) Medien, der Reflexion sowie der Genese. Diese Genese entspricht der allgemeinen Evolution, die sich auf die Entstehung unterschiedlicher Stufen organisierter Komplexität bezieht.

Die Systemtheorie unterscheidet in Bezug auf Kommunikation zwischen der Information, der Mitteilung und dem Verstehen. Sprache und Schrift als erster Schritt, symbolisch generalisierte Medien wie z. B. Geld als zweiter Schritt vereinfachen dabei die Kommunikation zeitlich, räumlich oder inhaltlich entfernter Handlungen.

Diese Ansätze führen zu einem flussorientierten Systemmodell, das eine eher statische Sicht von Systemen ablöst. Eine klare Abgrenzung der betrachteten Systemebene sowie der Übergang zwischen den Systemebenen sind bei der Betrachtung zentral.

Wissenschaft

Eine Anwendung der Systemtheorie auf die Wissenschaftstheorie führt zu der Auffassung von Wissenschaft als sozialer Prozess der Kommunikation individueller Erkenntnisse, die sich im Laufe der Evolution verfestigen. Wissenschaftliches Arbeiten zeichnet sich dadurch aus, dass es Anschlusshandlungen im System Wissenschaft ermöglicht. Hiermit wird die Kritik mangelnder Objektivität beantwortet. Bei wissenschaftlichen Untersuchungen ist zu bestimmen, inwieweit der Betrachtungsgegenstand bereits verfestigt ist oder noch einer Konstruktion unterliegt. Daher sind unterschiedliche Ansätze für unterschiedliche Wissensarten, Disziplinen, Betrachtungsgegenstände etc. notwendig.

Ausgehend von der allgemeinen Betrachtung wurde der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit als theoretisch, deduktiv und reflexiv mit kausalem Erkenntnisinteresse festgelegt.

Produktentwicklung und Konstruktionsmethodik

Ein einheitliches Verständnis von Produktentwicklung wird durch ein mangelndes Paradigma (Designtheorie) erschwert. Die Systemtheorie erlaubt einen differenzierten Blick der Produktentwicklung. Produktentwicklung wird hier – ergänzend und nicht ausschließlich – als sozialer Prozess aufgefasst, der den kognitiven Bereich des Individuums und ein „gemeinsames Verständnis“ einer überschaubaren Gruppe von Entwicklern übersteigt, d. h. ein Prozess, der in einem Umfeld stattfindet, in dem nicht mehr jeder Beteiligte mit jedem Beteiligten interagieren kann, sondern besondere Strukturen, Prozesse und Kommunikationsmedien zur Komplexitätsbewältigung notwendig sind.

Technologie wird als ein Funktionssystem aufgefasst, das sich aus seinen Bestandteilen heraus selbst erhält. Auch das Produkt wird als ein sich entwickelndes „soziales“ System aufgefasst, das durch die Organisation repräsentiert wird; die einzelnen Umfänge des Produkts passen sich im Entwicklungsprozess gegenseitig an. Diese Umfänge sind „Systeme“, die das Produkt nicht eindeutig hierarchisch zerlegen und neben konkreten Baugruppen z. B. auch das Designsystem, Sicherheitssystem etc. umfassen.

Hierauf baut die Diskussion auf, welche Bedeutung symbolisch generalisierte Medien (Geld, Macht etc.) in der Produktentwicklung haben, ob es in der Produktentwicklung separate Medien gibt (Entscheidungen, Methoden, Ideen, Technologien etc.) und welche Bedeutung Methoden haben (Kommunikationsmedium, Handlungsoption, Basis für Reflexion, Prozesssteuerung etc.). Die Medien dienen dabei als Ersatz für die nicht erreichbare Transparenz des Gesamtprozesses. Methoden besitzen zumindest teilweise einen Kommunikationsaspekt und ermöglichen Anschlusshandlungen.

Durch diese Betrachtungen lassen sich Beobachtungen in der Industrie interpretieren und in einen anderen Zusammenhang stellen. Der Versuch, Handlungsunfähigkeit nachzuweisen, hat den Grund darin, dass Abteilungen nicht den Schritt von der Strukturierung zur Prozesssteuerung wagen, der zwar eine höhere Komplexitätsverarbeitung zulässt, aber zuerst das Verlassen einer gesicherten Stufe bedeutet. Die Schwierigkeiten des Industrial Design in der Entwicklung sind darin begründet, dass Design im System Kunst oder als eigenständiges System, die Entwicklung zum größten Teil im System Technologie abläuft. Da Geld und Kosten nur Kommunikationsmedien sind, ist Transparenz – außer in sehr abgegrenzten Bereichen – weder möglich noch nötig; Geld *dient* vielmehr dazu, die intransparente Komplexität zu verarbeiten. In komplexen Systemen sind darüber hinaus Visionen und Treiber sowie Entscheidungen notwendig. Bei Entscheidungen ist insbesondere das Problem, dass sie als Kontingenzschluss (Anschlusshandlung) früh, als Kontingenzerhalt spät zu treffen sind. Obwohl das Verhalten stark von individuellen Erfahrungen abhängt, scheint in der Industrie eher die späte Entscheidungsfindung problematisch zu sein.

Organisation

Die Anwendung der Systemtheorie auf die unternehmerische Organisation der Produktentwicklung und deren Umfeld ist nahe liegend. Ansatz ist hier eine dynamische Organisation, in der Teams das Bindeglied von Aufbau- und Ablauforganisation darstellen und sich bedarfsgerecht selbst bilden.

Im Bereich der Methodeneinführung ist ein wesentliches Element das individuelle Lernen in einem langfristigen Prozess. Lehre, persönliche Entwicklung und Interdisziplinarität sind somit Themen, die hier in besonderem Maße adressiert werden.

Variantenmanagement, Individualisierung und Baukästen

Praktisches Thema war die Entwicklung variantenreicher, individualisierbarer Produktspektren oder Baukästen mit Schwerpunkt auf der Struktur des Produkts, die einer späteren Adaption möglichst gerecht werden soll. Grundsätzlich geht es darum, ein möglichst großes Produktspektrum mit möglichst geringen Ressourcen zu entwickeln. In diesem Sinne werden Baukästen, Variantenmanagement, Individualisierung, Plattformen, Mass Customization etc. als Überbegriffe des gleichen Themas verstanden.

Existierende Ansätze sind aus Sicht der Produktentwicklung teilweise zu theoretisch oder setzen den Fokus auf die falschen Aspekte, z. B. eine reine Montageoptimierung oder eine reine Reduktion der Varianz. Aus systemtheoretischer Sicht ist Komplexität zur flexiblen Reaktion auf äußere Veränderungen aufrechtzuerhalten und zu „verarbeiten“.

Kernpunkt der Methodik zur Entwicklung variantenreicher Produktspektren ist ein Produktmodell, das im Wesentlichen zwischen der Dekomposition und der Spezifizierung des Produkts und seiner Komponenten unterscheidet sowie Freiheitsgrade explizit betont. Hinzu kommt ein iteratives Prozessmodell.

Diese Methodik berücksichtigt soziale Aspekte und konzentriert sich darauf, die Kommunikation zwischen den Beteiligten zu unterstützen und einzelne Anschlusshandlungen zu ermöglichen. Ein Baukasten unterstützt den sozialen Prozesses durch seine Modularität. Wesentliche Prinzipien zur Komplexitätsverarbeitung sind die Fokussierung auf die Schnittstellen sowie auf die Unabhängigkeit von Freiheitsgraden. Letzten Endes sind es unabhängige Freiheitsgrade, die die hohe Komplexität von Produktspektren ermöglichen, während die Probleme in den voneinander abhängigen Freiheitsgraden liegen.

Wenn auch die Komplexitätsverarbeitung nicht auf eine Rechnerunterstützung reduziert werden kann, bieten rechnerbasierte Werkzeuge (zur Strukturplanung und -analyse sowie ein Projektstatus zum Controlling) wertvolle Unterstützung.

Reflexion

Die vorgestellte Methodik wurde in verschiedenen Projekten evaluiert, gleichzeitig aber auch aus diesen entwickelt (*Anwendung* und *Abstraktion*). Hieraus ergibt sich der Widerspruch, dass situativ anzupassende, sich ständig weiterentwickelnde Methoden nur schwer evaluiert werden können. Diese Schwierigkeit der Systemtheorie wurde durch eine Reflexion des Vorgehens umgangen. Der Kreisschluss aus Beobachtung und Intervention, Analyse und Synthese oder Optimierung und Evaluation scheint insgesamt ein besseres Vorgehens- und Erklärungsmodell einer systemtheoretischen Wissenschaft zu sein, insbesondere für das Verständnis der ablaufenden Prozesse. Des Weiteren ermöglicht ein solches Modell mehr Anschlusshandlungen oder Handlungsoptionen. In diesem Sinne ist es auch eher als individuelle Handlungsoption anzusehen, die einen nicht zu vernachlässigenden Teil wissenschaftlicher Arbeit im Bereich der Produktentwicklung ausmacht.

Die vorliegende Arbeit hat erste Schritte unternommen, die Systemtheorie der Soziologie auf die Produktentwicklung zu übertragen. Damit wurde der Beweis erbracht, dass Prinzipien der Soziologie auf die Produktentwicklung anwendbar sind und dass Produktentwicklung ein sozialer Prozess ist, und zwar in weit stärkerem Maße, als bisher berücksichtigt wurde. Anspruch der Arbeit war es vor allem, neue Möglichkeiten der Forschung oder der Prozessoptimierung zu eröffnen, d. h. vorerst steht die neue Denkweise im Vordergrund.

Kernpunkt dieser Denkweise ist die Betonung der Kommunikation der doppelten Kontingenzschließung, der Bezugsfindung, der Evolution, der Reflexion und Weiterentwicklung,

der Möglichkeitsorientierung und der Differenzierung. Die generellen Probleme sind ungenaue Differenzierungen und das nicht Ermöglichen von Anschlusshandlungen aufgrund einer zu naiven, reduktionistischen Sichtweise. Komplexität im Sinne von Möglichkeiten ist hochzuhalten und zu verarbeiten. Im sozialen System und im Konflikt von Kontingenzschluss und Kontingenzerhalt sind Anschlusshandlungen zu ermöglichen.

Dass der detaillierte Inhalt selbst einmal überkommen sein wird, ist systemtheoretisch uninteressant. Es zeigt sich jedoch, dass es extrem schwierig ist, das Lösungsdenken aufzugeben und komplett auf Prozesse überzugehen. Solche „harten“ Elemente mögen als Teil der Systemtheorie sinnvoll sein, deshalb ist die implizit ausgesprochene Kritik an anderen Ansätzen relativ zu sehen. Unabhängig von der Wahrheit der Systemtheorie stellt sie ein gutes Werkzeug und Modell zur Interpretation der Produktentwicklung dar.

Aus Sicht des radikalen Konstruktivismus sei nochmals darauf hinzuweisen, dass es sich bei der vorliegenden Arbeit ebenfalls um eine individuelle Sicht handelt. Die Arbeit ist Kommunikation, die sich in Information, Mitteilung und Verstehen aufteilt. Der dokumentierte Teil der Arbeit stellt die Mitteilung dar und ermöglichte Anschlusshandlungen.

8.2 Ausblick

Die Offenheit des Ansatzes sowie die Breite des neu aufgestoßenen Themenfeldes ermöglichen und fordern die Beantwortung einer Vielzahl weiterer Fragen und Schritte. Im Folgenden werden die systemtheoretischen Fragestellungen angedeutet.

- Die soziale Auffassung der Produktentwicklung ist näher zu untersuchen, z. B. wie viel Transparenz in großen Entwicklungsprojekten möglich oder notwendig ist, welche Medien oder Elemente von besonderer Bedeutung sind, wie die Kommunikation weiter gefördert werden kann, aber auch wo die Kommunikation einzugrenzen ist etc. Produktentwicklung ist vor diesem Paradigma weiter zu beobachten und zu beschreiben.
- Es ist genauer zu untersuchen, welche Rückschlüsse aus der Produktentwicklung auf die Soziologie und die Systemtheorie getroffen werden können. Idealerweise ist eine Systemtheorie zu entwickeln, die sowohl die Aspekte der Soziologie als auch der Technik gleichermaßen berücksichtigt. Hierzu gehört die Selbstreferenz, wie aus informationstechnischer Sicht ein System ohne äußeren Bezug Sinn erzeugen kann.
- Die einzelnen Funktionssysteme und deren Regeln sind gegeneinander abzugleichen. Der ursprüngliche Anspruch der Systemtheorie, eine Einheit der Wissenschaften zu erreichen, ist wieder aufzugreifen.

Für die Wissenschaft in den Ingenieurswissenschaften lässt sich folgern, dass

- genauer zu untersuchen ist, welche Bereiche und Betrachtungsgegenstände verfestigt sind und welche noch einer individuellen oder sozialen Konstruktion unterliegen,

- eine einheitliche Designtheorie als Bezugspunkt und Kommunikationsbasis aufzubauen ist, deren Eindeutigkeit und Richtigkeit zweitrangig ist, und
- exakte Experimente basierend auf Hypothesen zu formulieren sind.

Im Bereich der Produktentwicklung und der Konstruktionsmethodik sowie des Variantenmanagements ergeben sich folgende Fragestellungen und weiterführende Ansätze:

- Welche detaillierten Auswirkungen hat die Systemtheorie auf den Themenkomplex „Ethik und Technik“, d. h. wie ist Ethik systemtheoretisch zu sehen?
- Wie lassen sich Ökonomie und Ökologie vor dem Hintergrund der Systemtheorie (Geld als Kommunikationsmedium der Wirtschaft) vereinen?
- Existiert wirklich Individualisierungsbedarf oder ist dieser zum Teil konstruiert?
- Die Methodik zur Strukturplanung ist konsequent auf sich selbst anzuwenden und ständig weiter zu optimieren. Insbesondere ist eine Versuchsplanung zu entwickeln, die über das Produktspektrum hinweg die Variantenauswahl optimiert.
- Die konzipierten Werkzeuge und Ansätze zu Genetischen Algorithmen und Neuronalen Netze (s. Anhang 7) sind auszuarbeiten und umzusetzen. Weitere Algorithmen zur Unterstützung der Strukturplanung sind auf ihre Eignung hin zu analysieren und zu transferieren. Solche Algorithmen (z. B. Multivariate Analysemethoden) sind für den leicht verständlichen, praktischen Gebrauch durch Nicht-Experten zu reduzieren.
- Konkrete Richtlinien zum Industrial Design in Bezug auf Baukästen sind wünschenswert, da Design eines der Haupthindernisse bei der Umsetzung solcher Strategien darstellt. Hierzu ist eine engere Zusammenarbeit zwischen Designern und Ingenieuren notwendig sowie ein beiderseitiges Verständnis für die jeweils anderen Interessen.
- Dabei kann die Frage gestellt werden, wie Produkte in Zukunft aussehen, d. h. ob Produkte mit hohem Designanspruch in Zukunft vollkommen anders aufgebaut sind (z. B. im Sinne eines komplett modularen Autos). Gleiches gilt für die Organisation.
- Im Bereich der Rechnersysteme ist zu untersuchen, wie z. B. PDM- oder CAD-Systeme in Zukunft aussehen oder in welche Richtung sie sich entwickeln. Die vorgestellten Werkzeuge müssen nicht unbedingt als Insellösungen betrachtet werden, sondern können Teil andere Systeme werden oder deren Entwicklung beeinflussen.
- Zuletzt bleibt die Frage zu klären, ob die Komplexität von Produktentwicklungsprozessen, des Fortschritts der Technik sowie der Kunden *hoch* genug ist, um statistische Ansätze und Evolutionsstrategien anzuwenden.

Die Unvollständigkeit der Arbeit bezieht sich sowohl auf die mögliche Weiterentwicklung als auch auf das notwendige Anwenden. Neben der Anwendung der Ansätze in der Praxis zur genaueren Evaluation ist auch die Anwendung der Systemtheorie auf anderer Bereiche (Kostenrechnung, Produktionsplanung etc.) anzudenken. Der Paradigmenwechsel in der Systemtheorie und damit in anderen Disziplinen steht praktisch gerade erst am Anfang.

9 Literatur

ABRAMOVICI, M.; SIEG, O.:
PDM-Systeme für E-Engineering unerlässlich.
CADplus (2001) 7, S. 44ff.

ADAM, D. (Hrsg.):
Komplexitätsmanagement.
Wiesbaden: Gabler 1998.

AKAO, Y.:
QFD – Quality Function Deployment.
Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1992.

AKIYAMA, K.:
Funktionsanalyse.
Landsberg/Lech: Moderne Industrie 1994.

ALDANONDO, M. (Ed.):
Configuration. Papers from the Workshop n°4 at ECAI 2002, 15th European Conference on Artificial Intelligence, 22-23 July 2002, Lyon.
Lyon: 2002.
http://www.enstimac.fr/recherche/gind/ecai-2002-config-ws/Config-Wrksh-ecai02.pdf (Stand 03/2004).

ALDRICH, H. E.; MCKELVEY, B.; ULRICH, D.:
Design strategy from the population perspective. Journal of Management 10 (1984) 1, S. 67-86.

ALTSCHULLER, G.:
Erfinden – Wege zur Lösung technischer Probleme.
Berlin: Verlag Technik 1984 [1969].

AMBROSY, S.:
Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1997. (Konstruktionstechnik München, Band 26)
Zugl.: München: TU, Diss. 1996.

ANDERL, R.; TRIPPNER, D.:
STEP – STandard for the Exchange of Product Model Data. Eine Einführung in die Entwicklung, Implementierung und industrielle Nutzung der Normenreihe ISO 10303 (STEP).
Stuttgart: Teubner 2000.

ANDERS, G.:
Die Antiquiertheit des Menschen 1. Über die Seele im Zeitalter der zweiten industriellen Revolution.
München: Beck 2002.

ANDERSON, D. M.:
Agile Product Development for Mass Customization.
Chicago: Irwin 1997.

ANDREASEN, M. M.; KÄHLER, S.; LUND, T.:
Design for Assembly.
Berlin: Springer 1988.

ANDREASEN, M. M.; WOGNUM, N.; MCALOONE, T.:
Design Typology and Design Organisation. In: Marjanovic, D. (Ed.): Proceedings of the 7th International Design Conference, Design 2002, May 14-17 2002, Dubrovnik.
Zagreb: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, The Design Society 2002, S. 1-6.

ANDREASEN, M. M.; HEIN, L.:
Integrated Product Development.
Berlin: Springer 1987.

ANTONSSON, E. K.; CAGAN, J. (EDS.):
Formal Engineering Design Synthesis.
Cambridge: Cambridge University Press 2001.

ARCHER, L. B.:
The Implications for the Study of Design Methods of Recent Developments in Neighbouring Disciplines.
In: Proceedings of ICED'85.
Zürich: Heuristika 1985.

ARROW, H.; MCGRATH, J.; BERDAHL, J. L.:
Small Groups as Complex Systems. Formation, Coordination, Development, and Adaptation.
Thousand Oaks: Sage 2000.

ASHBY, W. R.:
Einführung in die Kybernetik.
Frankfurt: Suhrkamp 1974.

ASSMANN, G.:
Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 38)
Zugl.: München: TU, Diss. 2000.

BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.; WEIBER, R.:
Multivariate Analysemethoden.
Berlin: Springer 2003.

BADKE-SCHAUB, P.; GEHRLICHER, A.:
Patterns of Decisions in Design: Leaps, Loops, Cycles, Sequences and Meta-Processes. In: Proceeedings of the 14th International Conference on Engineering Design. ICED'03, Stockholm August 19-21 2003.
Stockholm: The Design Society 2003.

BAECKER, D.:
Organisation als System.
Frankfurt/Main: Suhrkamp 1999.

BANATHY, B. H.:
Guided Evolution of Society. A Systems View.
New York: Kluwer 2000.

BARTLETT, C. A.; GHOSHAL, S.:
Managing Across Borders.
Boston: Harvard Business School Press 1998.

BARTUSCHAT, M.:
Entwicklung und Einsatz eines Konfigurationssystems am Beispiel des Omnibus. In: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen. Erfahrungen, Methoden und Instrumente; Tagung Kassel 7./8. November 2001.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2001, S. 103-120. (VDI-Berichte 1645)

BARTUSCHAT, M.:
Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der Serienfertigung.
Essen: Vulkan 1995.
Zugl.: Braunschweig: TU, Diss. 1994.

BATESON, G.:
Ökologie des Geistes.
Frankfurt: Suhrkamp 1983.

BAUM, R.:
The Limit of Professional Responsibility. In: Schaub, J.; Pavlovic, K.: Engineering Professionalism and Ethics.
New York: Wiley Interscience 1983, pp. 287-299.

BAUMBERGER, C.; LINDEMANN, U.; PONN, J.:
Prozessanforderungen und -gestaltung der Übersetzung individueller Kundenwünsche in Produktdefinitionen. In: Meerkamm, H. (Hrsg.): 14. Symposium Design for X, 13./14. Oktober 2003, Erlangen.
Erlangen: Lehrstuhl für Konstruktionstechnik 2003.

BAXTER, M.:
Product Design: A Practical Guide to Systematic Methods of New Product Development.
London: Chapman & Hall 1999.

BAYNE, R.:
The Myers-Briggs Type Indicator.
Cheltenham: Nelson Thornes 1997.

BECK, U.; BONSS, W. (Hrsg.):
Die Modernisierung der Moderne.
Frankfurt: Suhrkamp 2001.

BEHR, P.:
Komplexitätsmanagement von Produkten und Prozessen – Wie läßt sich Komplexität managen? In: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1998, S. 39-52. (VDI-Berichte 1434)

BEHR, P.; EISENHART ROTHE, M. V.; HEYNEN, C.; SPORS, K.:
Computer Supported Management of Component Variety in the Automotive Industry. In: Lindemann, U.; Birkhofer, H.; Meerkamm, H.; Vajna, S. (Eds.): Proceedings of the 12th International Conference on Engineering Design ICED 99, Munich.
München : TU 1999, pp. 1501-1506.

BENDER, B.; KAMMERER, U.; PIETZCKER, F. P.; HACKER, W.; BLESSING, L. T. M.:
A systematic approach to observations, analysis, and categorization of design heuristics. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Eds.): Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design. ICED'01, Volume Design Research – Theories, Methodologies, and Product Modelling, Glasgow August 21-23 2001.
Bury St. Edmunds: IMechE 2001, S. 197-204.

BENDER, B.; REINICKE, T.; WÜNSCHE, T.; BLESSING L. T. M.:
Application of Methods from Social Sciences in Design Research. In: Marjanovic, D. (Ed.): Proceedings of the 7th International Design Conference, Design 2002, May 14-17 2002, Dubrovnik.
Zagreb: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, The Design Society 2002, S. 7-16.

BERCSEY, T.; VAJNA, S.; MACK, P.:
Genetic Analogies in Design. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Eds.): Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design. ICED'01, Volume Design Research – Theories, Methodologies, and Product Modelling, Glasgow August 21-23 2001.
Bury St. Edmunds: IMechE 2001, S. 21-28.

BERNARD, R.:
Early Evaluation of Product Properties within the Integrated Product Development.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 36)
Zugl.: München: TU, Diss. 1999.

BERTALANFFY, L. V.:
General System Theory. Foundations, Development, Applications.
New York: George Braziller 1969.

BICHLMAIER; C.:
Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 39)
Zugl.: München: TU, Diss. 1999.

BIEGERT, H.:
Die Baukastenbauweise als technisches und wirtschaftliches Gestaltungsprinzip.
Karlsruhe: TH, Diss. 1971.

BIRKHOFER, H.:
Konstruieren im Sondermaschinenbau – Erfahrungen mit Methodik und Rechnereinsatz.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1990. (VDI-Berichte Nr. 812)

BIRKHOFER, H.; LINDEMANN, U.; ALBERS, A.; MEIER, M.:
Product Development as a Structured and Interactive Network of Knowledge – A Revolutionary Approach. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Eds.): Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design. ICED'01, Volume Design Applications in Industry and Educationg, Glasgow August 21-23 2001.
Bury St. Edmunds: IMechE 2001, S. 457-464.

BISCHOFF, W.; HANSEN, F.:
Rationelles Konstruieren.
Berlin: VEB-Verlag Technik 1952.

BLACKENFELT, M.:
Managing complexity by product modularisation. Balancing the aspects of technology and business during the design process.
Stockholm: Royal Institute of Technology, Doctoral Thesis 2001.

BLESSING, L.:
A Process-based Approach to Computer Supported Engineering Design.
Twente: University, PhD thesis 1994.

BLESSING, L.T.M.; CHAKRABARTI, A.; WALLACE, K.M.:
An Overview of Descriptive Studies in Relation to a General Design Research Methodology. In: Frankenberger, E.; Badke-Schaub, P.; Birkhofer, H. (Eds.): Designers – The Key to Successful Product Development.
Berlin: Springer 1998.

BLESSING, L.:
What is this Thing Called Design Research? In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design. ICED'03, Stockholm August 19-21 2003.
Stockholm: The Design Society 2003.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W.:
Product Design for Manufacture and Assembly.
New York: Marcel Dekker 1994.

BORGHOFF, U. M.; SCHLICHTER, J. H.:
Rechnergestützte Gruppenarbeit. Eine Einführung in Verteilte Anwendungen.
Berlin: Springer 1998.

BOROWSKI, K.-H.:
Das Baukastensystem in der Technik.
Berlin: Springer 1961.

BRACEWELL, R. H.; SHEA, K.; LANGDON, P. M.; BLESSING, L. T. M.; CLARKSON, P. J.:
A Methodology for Computational Design Tool Research. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Eds.): Proc. of the 13th International Conference on Engineering Design. ICED'01, Volume

Design Research – Theories, Methodologies, and Product Modelling, Glasgow August 21-23 2001.
Bury St. Edmunds: IMechE 2001, S. 181-188.

BREXEL, D.:
Methodische Strukturmodellierung komplexer und variantenreicher Produkte des integrativen Maschinenbaus.
Paderborn: HNI-Verlag 1997. (HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 32, Rechnerintergrierte Produktion)
Zugl.: Paderborn: Univ.-GH, Diss. 1997.

BROADBENT, J.; CROSS, N.:
Design Education in the Information Age. In: Marjanovic, D. (Ed.): Proceedings of the 7th International Design Conference, Design 2002, May 14-17 2002, Dubrovnik.
Zagreb: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, The Design Society 2002, S. 23-28.

BRUNS, M.:
Systemtechnik. Methoden zur interdisziplinären Systementwicklung.
Berlin: Springer 1991.

BUCCIARELLI, L.:
Designing Engineers.
Cambridge, MA: MIT Press 1994.

BUCCIARELLI, L.:
Engineering Philosophy.
Delft: Delft University Press 2003.

BUCKLEY, W.:
Society as a complex adaptive system. In: Buckley, W. (Ed.): Modern systems research for the behavioral scientist.
Chicago: Aldine 1968, pp. 490-513.

BUDGEN, D.:
Software Design.
Reading: Addison Wesley Longman 1993.

BUHL, H.:
Creative Engineering Design.
Ames: Iowa State University Press 1960.

BULLINGER, H.-J.; WARSCHAT, J.:
Concurrent Simultaneous Engineering Systems.
London: Springer 1996.

BURGHARDT, M.:
Projektmanagement. Leitfaden für Planung, Überwachung und Steuerung von Entwicklungsprojekten.
Zürich: Siemens 1993.

BURKERT, W.-D.; KONTNY, H.:
Target Management – An approach to manage product diversity. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

BURKHARDT, F.:
Design and „avantpostmodernism". In: Thakara, J. (Ed.): Design After Modernism.
New York: W. W. Nortn & Co. 1988, pp. 145-151.

BÜSCHGES, G.; ABRAHAM, M.; FUNK, W.:
Grundzüge der Soziologie.
München: Oldenbourg 1998.

BÜTTNER, K.:
Rechnerunterstütztes Konfigurieren von Baukastenprodukten.
Darmstadt: TU, Diss. 1997.

CANTAMESSA, M.; RAFELE; C.:
Modular Products and Product Modularity – Implications for the Management of Innovation and for New Product Development. In: Marjanovic, D. (Ed.): Proceedings of the 7th International Design Conference, Design 2002, May 14-17 2002, Dubrovnik.
Zagreb: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, The Design Society 2002, S. 29-36.

CANTAMESSA, M.:
Design research in perspective – a meta-research on ICED 97 and ICED 99. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Eds.): Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design. ICED'01, Volume Design Research – Theories, Methodologies, and Product Modelling, Glasgow August 21-23 2001.
Bury St. Edmunds: IMechE 2001, S. 29-36.

CARL, A.:
Konstruktive Berechnungsmodelle auf Basis Neuronaler Netze.
Berlin: IPK 2000.
Zugl.: Berlin: TU, Diss. 2000.

CARRIZOSA, K.; ERIS, Ö.; MILNE, A.; MABOGUNJE, A.:
Building the Design Observatory: a Core Instrument for Design Research. In: Marjanovic, D. (Ed.): Proceedings of the 7th International Design Conference, Design 2002, May 14-17 2002, Dubrovnik.
Zagreb: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, The Design Society 2002, S. 37-42.

CERHAK, A.:
Projektdokumentation in der Produktentwicklung.
München: TU, unveröffentlichte Diplomarbeit 1999.

CHALMERS, A. F.:
Wege der Wissenschaft. Einführung in die Wissenschaftstheorie.
Berlin: Springer 2001.

CHAN, F. Y.; CHEUNG, W. K.:
A Knowledge-based Recommender System for Customized Online Shopping. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

CHECKLAND, P.:
Systems Thinking, Systems Practice.
Chichester: John Wiley & Sons 1981.

CHECKLAND, P.; SCHOLES, J.:
Soft Systems Methodology in Action.
Chichester: John Wiley & Sons 2000.

CHEN, K.-Z.; FENG, X.-A.:
A Framework of the Genetic-Engineering-Based Design Theory and Methodology for Product Innovation. In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design. ICED'03, Stockholm August 19-21 2003.
Stockholm: The Design Society 2003.

CHEN, M. Y.; ZHANG, M.; GUPTA, A.; TSENG, M. M.:
Autopoietic Approach for Production Management in Mass Customization. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

CHESTNUT, H.:
Methoden der System-Entwicklung.
München: Hanser 1973.

CHURCHMAN, C. W.; ACKOFF, R. L.; ARNOFF, E. L.:
Operations Research. Eine Einführung in die Unternehmensforschung.
Wien: Oldenbourg 1964.

CLAM, J.:
Was heißt, sich an Differenz statt an Identität orientieren? Zur De-ontologisierung in Philosophie und Sozialwissenschaft.
Konstanz: UVK 2002.

CLARKSON, P. J.; COLEMAN, R.; KEATES, S.; LEBBON, C.:
Inclusive design: design for the whole population.
Berlin: Springer 2003.

COLLIN, H.:
Management von Produkt-Informationen in kleinen und mittelständischen Unternehmen.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 43)
Zugl.: München: TU, Diss. 2001.

COULTER, S. L.; MCINTOSH, M. W.; BRAS, B.; ROSEN, D. W.:
Identification of limiting factors for improving design modularity. In: Proceedings of DETC1998, ASME Design Engineering Technical Conferences, December 13-16, 1998, Atlanta.
Atlanta: ASME 1998.

CRABTREE, R. A.; FOX, M. S.; BAID, N. K.:
Case Studies of Coordination Activities and Problems in Collaborative Design. Research in Engineering Design (1997) 9. pp. 70-84.

CRANACH, M. V.; OCHSENBEIN, G.; VALACH, L.:
Zielgerichtetes Handeln.
Bern: Huber 1980.

CROSS, N.:
Engineering Design Methods. Strategies for Product Design.
Chichester: John Wiley & Sons 1994.

CUFF, D. C.:
Negotiating Architecture: A Study of Architects and Clients in Design Practice.
Berkeley: University of California, PhD Dissertation 1982.

DAENZER, W. F.; HUBER, F. (Hrsg.):
Systems Engineering. Methodik und Praxis.
Zürich: Industrielle Organisation 1999 [1976].

DANGLMEIER , W.:
Vision Logistik: Logistik wandelbarer Produktionsnetze.
Paderborn: HNI 1997.

DEMERS, M.:
Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 40)
Zugl.: München: TU, Diss. 2000.

DESER, F.:
Chaos und Ordnung im Unternehmen. Chaosforschung als ein Beitrag zum besseren Verständnis von Unternehmen als Nichtlinearen Dynamischen Systemen.
Heidelberg: Physica 1997.
Zugl.: Mannheim: Univ., Diss. 1996.

DETZER, K.:
Technikkritik im Widerstreit; Gegen Vereinfachungen, Vorurteile und Ideologien.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1987.

DIN EN ISO 9000ff:
Qualitätsmanagementsysteme.
Berlin: Beuth 2000.

DIN ISO 10303:
Industrieautomatisierungssysteme und Integration. Produktdatendarstellung und -austausch.
Berlin: Beuth 1994.

DIN EN ISO 9241-11:
Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit; Leitsätze.
Berlin: Beuth 1998.

DIXON, J. R.:
Design Engineering: Inventiveness, Analysis, and Decision Making.
New York: McGraw-Hill 1966.

DOPPLER, K; LAUTERBURG, C.:
Change Management. Den Unternehmenswandel gestalten.
Frankfurt: Campus 2002.

DORMER, P.:
The ideal world of Vermeer's little lacemaker. In: Thakara, J. (Ed.): Design After Modernism.
New York: W. W. Nortn & Co. 1988, pp. 135-144.

DÖRNER, D.:
Problemlösen als Informationsverarbeitung.
Stuttgart: Kohlhammer 1979.

DÖRNER, D.:
Bauplan für eine Seele.
Reinbek: Rowohlt 1999.

DÖRNER, D.:
Die Logik des Mißlingens.
Reinbek: Rowohlt 1989.

DORST, K.:
Understanding Design, 150 Reflections on Being a Designer.
Amsterdam: BIS Publishers 2003.

DU, X.; JIAO, J.; TSENG, M. M.:
Understanding the Architecture of Product Family for Mass Customization. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

DUDENHÖFER, F.:
Plattform-Effekte in der Fahrzeugindustrie. Controlling (2000) 3, S. 145-151.

DURKHEIM, E.:
Über soziale Arbeitsteilung.
Frankfurt: Suhrkamp 1999 [1893].

EBERHARD, K.:
Einführung in die Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie. Geschichte und Praxis der konkurrierenden Erkenntniswege.
Stuttgart: Kohlhammer 1999.

ECKERT, C. M.; CLARKSON, P. J.; STACEY, M. K. (2003a):
The Spiral of Applied Research: A Methodological View on Integrated Design Research. In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design. ICED'03, Stockholm August 19-21 2003. Stockholm: The Design Society 2003.

ECKERT, C.; PULM, U.; JARRATT, T. (2003b):
Mass Customisation, Change and Inspiration – Changing Designs to Meet New Needs. In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design. ICED'03, Stockholm August 19-21 2003. Stockholm: The Design Society 2003.

EHRLENSPIEL, K.; KIEWERT, A.; LINDEMANN, U.:
Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. Kostenmanagement beid er integrierten Produktentwicklung.
Berlin: Springer 1998.

EHRLENSPIEL, K.:
Integrierte Produktentwicklung. Methoden für Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion.
München: Hanser 1995.

EIGNER, M.; STELZER, R.:
Produktdatenmanagement-Systeme. Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management.
Berlin: Springer 2001.

EINSTEIN, A.:
Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie.
Braunschweig: Vieweg 1956 [1916].

EL-HAIK, B.; YANG, K.:
Measures of Complexity in Design. In: Proceedings of the DETC99/DAC, ASME Design Engineering Technical Conference, September 12-15, 1999, Las Vegas, Nevada.
Las Vegas: ASME 1999.

ENCARNAÇÃO, J. L.; BENÖLKEN, P.; KNÖPFLE, CH.; RETTIG, A.:
VR-Technologien und ihre Anwendungen im Produktentstehungsprozess. In: Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ) u. a.: Virtual Product Creation. Proceedings 2002: iViP- Abschlusskonferenz. Berlin 2002.

ERICSSON, A.; ERIXON, G.:
Controlling Design Variants. Modular Product Platforms.
New York: ASME Press 1999.

ERIS, Ö.:
Asking generative design questions: a fundamental cognitive mechanism in design thinking. In: Proc. of the 14th International Conference on Engineering Design. ICED'03, Stockholm August 19-21 2003. Stockholm: The Design Society 2003.

ETZIONI, A.:
Die aktive Gesellschaft.
Opladen: Westdeutscher Verlag 1975.

EVANS, J. H.:
Ship Structural Design Concepts.
Centreville: Cornell Maritime Press 1975.

EVERSHEIM, W.; BOCHTLER, W.; LAUFENBERG, L.:
Simultaneous Engineering.
Berlin: Springer 1995.

FEYERABEND, P.:
Wider den Methodenzwang.
Frankfurt: Suhrkamp 1986 [1976].

FINCH, W. W.:
Set-Based Models of Product Platform Design and Manufacturing Processes. In: Proc. of DETC1999/ DTM, ASME Design Engineering Technical Conferences, September 12-15, 1999, Las Vegas, Nevada. Las Vegas: ASME 1999.

FOERSTER, H. V.:
Cybernetics of Cybernetics, The Control of Control and the Communication of Communication. Urbana: University of Illinois 1995 [1974].

FOGLIATTO, F. S.; DA SILVEIRA, G. J. C.; ROYER, R.:
Feasibility Index for Mass Customization. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

FORRESTER, J. W.:
Principles of Systems.
Cambridge: Wright-Allen 1976.

FRANKE, H.-J.:
Konstruktionsmethodik und Konstruktionspraxis – eine kritische Betrachtung. In: Proceedings of ICED'85 Hamburg.
Zürich: Heuristika 1985.

FRANKE, H.-J.:
Produkt-Variantenvielfalt – Ursachen und Methoden zu ihrer Bewältigung. In: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1998, S. 1-14. (VDI-Berichte 1434)

FRANKE, H.-J.; LIPPARDT, S.; JESCHKE, A.; FELDHAHN, K.-A.:
Standardisierung der Produktstruktur zur Verbesserung der Ablauforganisation in einem Unternehmen des Spezialmaschinenbaus. VDI-Z 135 (1993) 10, S. 70-75.

FRANKE, H.-J.; HESSELBACH, J.; HUCH, B.; FIRCHAU, N. L. (Hrsg.):
Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung.
München: Hanser 2002.

FRANKENBERGER, E.:
Arbeitsteilige Produktentwicklung – Empirische Untersuchung und Empfehlungen zur Gruppenarbeit in der Konstruktion.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1997. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 1 Nr. 291.)

FRENCH, M. J.:
Invention and evolution. Design in nature and engineering.
Cambridge: Cambridge University Press 1988.

FRENCH, M. J.:
Conceptual Design for Engineers.
Berlin: Springer 1985.

FRICKE, G.; LOHSE, G.:
Entwicklungsmanagement. Mit methodischer Produktentwicklung zum Unternehmenserfolg.
Berlin: Springer 1997.

FUJITA, K.; ISHII, K.:
Task Structuring toward Computational Approaches to Product Variety Design. In: Proceedings of 1997 ASME Design Engineering Technical Conferences, Sacramento, California, USA.
Sacramento: ASME 1997.

FULLER, R. B.:
Bedienungsanleitung für das Raumschiff Erde.
Dresden: Fundus 1998 [1969].

GAITANIDES, M.; SCHOLZ, R.; VROHLINGS, A.; RASTER, M.:
Prozeßmanagement. Konzepte, Umsetzungen und Erfahrungen des Reengineering.
München: Hanser 1994.

GASO, B.; OTTO, K.:
Generating Product Architectures Using Partitioning Algorithms. In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design. ICED'03, Stockholm August 19-21 2003. Stockholm: The Design Society 2003.

GAUL, H.-D.:
Verteilte Produktentwicklung – Perspektiven und Modell zur Optimierung.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 45)
Zugl.: München: TU, Diss. 2001.

GAUSEMEIER, J.:
Von der Mechatronik zur Selbstoptimierung. In: 20th CAD-FEM Users Meeting 2002, 9.-11. Okt. 2002.
Friederichshafen: 2002.

GAUSEMEIER, J.; EBBESMEYER, P.; KALLMEYER, J.:
Produktinnovation. Strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen.
München: Hanser 2001.

GAUSEMEIER, J.; LINDEMANN, U.; REINHART, G.; WIENDAHL, H.-P.:
Kooperatives Produktengineering. Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens.
Paderborn: HNI 2000.

GEISS, M.:
Parametrisch generierbare Varianten/Baureihenkonzepte. In: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1998, S. 83-98. (VDI-Berichte 1434)

GEMBRYS, S.-N.:
Ein Modell zur Reduzierung der Variantenvielfalt in Produktionsunternehmen.
Berlin: IPK 1998. (Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin)
Zugl.: Berlin: TU, Diss. 1998.

GEN, M.; CHENG, R.:
Genetic algorithms and engineering design.
New York: John Wiley & Sons 1997.

GENDERKA, M.:
Objektorientierte Methode zur Entwicklung von Produktmodellen als Basis Integrierter Ingenieursysteme.
Aachen: Shaker 1995.
Zugl.: Paderborn: Univ.-GH., Diss. 1994.

GERST, M.:
Strategische Produktentscheidung in der integrierten Produktentwicklung.
München: TU, Diss. 2002.

GHARAJEDHAGI, J.:
Systems Thinking. Managing Chaos and Complexity. A Platform for Designing Business Architecture.
Boston: Butterworth-Heinemann 1999.

GIAPOULIS, A.:
Modelle für effektive Konstruktionsprozesse.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 27)
Zugl.: München: TU, Diss. 1996.

GIDDENS, A.:
The Constitution of Society.
Cambridge: Polity Press 1984.

GIERHARDT, H.:
Global verteilte Produktentwicklungsprojekte – Ein Vorgehensmodell auf der operativen Ebene. München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 46)
Zugl.: München: TU, Diss. 2001.

GIERSE, F. J.:
Bausteinesysteme – universelles Werkzeug zur Effizienzsteigerung in Industrieunternehmen. In: Plattformkonzepte auch für Kleinserien und Anlagen? Düsseldorf: VDI-Verlag 1999, S. 1-27. (VDI-Berichte 1510)

GIESECKE, M.:
Reflexive Informationsverarbeitung.
http://www.michael-giesecke.de/theorie/dokumente/02_information3d/fliesstext/02_reflexive_infoverarb.htm (Stand Feb. 2004).

GLASERSFELD, E. V.:
Radikaler Konstruktivismus. Ideen, Ergebnisse, Probleme.
Frankfurt: Suhrkamp 1996.

GLAZER, N.:
The Schools of the Minor Professions.
Palo Alto: Minerva 1974.

GLEICK, J.:
Chaos – The Amazing Science of The Unpredictable.
London: Vintage 1998 [1988].

GLOCK, F.:
Zur Soziologie des Konstruierens.
Berlin: Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung 1997.

GLOCK, F.:
Konstruieren als sozialer Prozeß.
Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag 1998.

GOMEZ, P.:
Modelle und Methoden des systemorientierten Managements.
Bern: Haupt 1981.

GONZALEZ-ZUGASTI, J. P.; OTTO, K. N.; BAKER, J. D.:
Assessing Value for Product Family Design and Selection. In: Proc. of the 25th Design Automation Conference 1999, ASME Design Engineering Technical Conferences, Sept. 12-15, 1999, Las Vegas, Nevada. Las Vegas: ASME 1999.

GOODE, H.; MACHOL, R.:
System Engineering. An Itroduction to the Design of large-scale Systems.
New York: McGraw-Hill 1957.

GÖPFERT, J. R.; STEINBRECHER, M.:
Komplexitätsbeherrschung durch modulare Produktentwicklung. In: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen. Erfahrungen, Methoden und Instrumente; Tagung Kassel 7./8. November 2001. Düsseldorf: VDI-Verlag 2001, S. 351-368. (VDI-Berichte 1645)

GÖPFERT, J.:
Modulare Produktentwicklung. Zur gemeinsamen Gestaltung von Technik und Organisation. Wiesbaden: Gabler 1998.

GRABOWSKI, H.; RUDE, S.; GREIN, G. (Eds.):
Universal Design Theory. Proceedings of the Workshop Universal Design Theory, May 1998, Karlsruhe. Aachen: Shaker 1998.

GRABOWSKI, H.; LOSSACK, R.; WEISSKOPF, J.:
Datenmanagement in der Produktentwicklung – Automatische Klassifikation von Produktdaten aus 3D-CAD-Systemen, PDM- und ERP-Systemen, XML- und Office-Dokumenten ...
München: Hanser 2001.

GRABOWSKI, H.; ANDERL, R.; POLLY, A.:
Integriertes Produktmodell.
Berlin: Beuth 1993.

GRABOWSKI, H.; RUDE, S.; LEUTSCH, M.:
Produktentwicklung auf Basis variabler und invariabler Konstruktionsgrößen in integrierten Produktmodellen. In: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1998, S. 133-155. (VDI-Berichte 1434)

GRABOWSKI, H.; GEIGER; K.:
Neue Wege zur Produktentwicklung.
Stuttgart: Raabe 1997.

GRAMANN, J.:
Problemmodelle und Bionik als Methode.
München: TU, Diss. 2004.

GRANTE, C.; BYLUND, N.:
A Study of the Effects of Different Types of System Architecture on the Development Process. In: Marjanovic, D. (Ed.): Proc. of the 7th Intern. Design Conference, Design 2002, May 14-17 2002, Dubrovnik.
Zagreb: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Arch., The Design Society 2002, S. 137-144.

GRÄSSLER, I.:
Kundenindividuelle Massenproduktion.
Berlin: Springer 2004.

GREGORY, S. A.:
Creativity in Engineering.
London: Butterworth 1970.

GRILLS, S. (ED.):
Doing Ethnographic Research: Fieldwork Settings.
Thousand Oaks: Sage 1998.

GROS, J.:
Individualization and Personalization are Characteristics of Art – Applied now as Art Customization. In: Proc. of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

GRUENENFELDER, M.; HOFER, A. P.:
The Case for Process Cockpits in Mechanical Engineering and Plant Manufacturing. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Eds.): Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design. ICED'01, Volume Design Research – Theories, Methodologies, and Product Modelling, Glasgow August 21-23 2001.
Bury St. Edmunds: IMechE 2001, S. 133-140.

GRUNWALD, A.:
Technikfolgenabschätzung zwischen soziologischer Systemtheorie und philosophischer Ethik. In: Pins, M. (Hrsg.): Möglichkeiten, Risiken und Grenzen der Technik auf dem Weg in die Zukunft.
Bonn: Friedrich-Ebert-Stiftung 1998, S. 153-169.

GÜNTHER, G.:
Beiträge zur Grundlegung einer operationsfähigen Dialektik. Bd. 1.
Hamburg: Felix Meiner 1976.

GÜNTHER, J.:
Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess.
Aachen: Shaker 1998. (Produktentwicklung München, Band 30)
Zugl.: München: TU, Diss. 1998.

HACKENBERG, U.; HIRTREITER, K.; RUMMEL, C.:
Entwicklungs- und Produktionssynergien der Baukastentechnik. ATZ/MTZ Sonderausgabe (1999), S. 48-57.

HACKER, W.; CLAUS, A.:
Kognitive Operationen, inneres Modell und Leistung bei Montagetätigkeiten. In: Hacker, W. (Hrsg.): Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten.
Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften 1976, S. 88-102.

HACKER, W.:
Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten.
Bern: Hans Huber 1998.

HACKMANN, J. R.:
The design of work teams. In: Losch, W. (Ed.): Handbook of organizational behavior.
Englewood Cliffs: Prentice-Hall 1987.

HALES, C.:
Analysis of the Engineering Design Process in an Industrial Context.
Eastleigh/Hampshire: Gants Hill Publications 1987.

HALL, A. D.:
A Methodology for Systems Engineering.
Princeton: Van Nostrand 1963.

HAMMER, M.; CHAMPY, J.:
Business Reengineering. Die Radikalkur für das Unternehmen. So erneuern Sie Ihre Firma.
Frankfurt: Campus 1994.

HANSEN, P. K.; JENSEN, T.; MORTENSEN, N. H.:
Case study on the impact of modularization in Danish industry. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

HARNISCH, J.:
Rapid Manufacturing of Individual Components. In: Piller, F. T.; Reichwald, R.; Tseng, M. (Eds.): Proc. of the 2nd World Congress on Mass Customization and Personalization MCPC 2003, October 6-8, 2003, München.
München: 2003.

HAUPT, R. L.; HAUPT, S. E.:
Practical Genetic Algorithms.
New York: John Wiley & Sons 1998.

HECKHAUSEN, H.:
Motivation und Handeln.
Berlin: Springer 1989.

HEGEL, G. W. F.:
Phänomenologie des Geistes.
Ditzingen: Reclam 1988 [1807].

HEIDEGGER, M.:
Sein und Zeit.
Tübingen: Niemeyer 1993 [1927].

HEISENBERG, W.:
Physik und Philosophie.
Stuttgart: Hirzel 2000 [1958].

HEYMANN, M.; WENGENROTH, U.:
Die Bedeutung von „tacit knowledge“ bei der Gestaltung von Technik. In: Beck, U.; Bonss, W. (Hrsg.): Die Modernisierung der Moderne.
Frankfurt: Suhrkamp 2001.

HELLBARDT, G.:
Zum Selbstverständnis des Ingenieurs und den Folgerungen für eine verantwortbare Praxis.
Stuttgart: VDI-Arbeitskreis Gesellschaft und Technik 1997.

HERLYN, W. J.:
Zur Problematik der Abbildung variantenreicher Erzeugnisse in der Automobilindustrie.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1990. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 16 Nr. 52)

HEYES, C.; HULL, D. L.:
Selection theory and social construction. The evolutionary naturalistic epistemology of Donald T. Campbell.
Albany: State University of New York 2001.

HILL, B.:
Innovationsquelle Natur. Naturorientierte Innovationsstrategie für Entwickler, Konstrukteure und Designer.
Aachen: Shaker 1997.

HODGSON, S.; PERDAN, S.:
Engineering, Ethics and the Environment. In: Spier, R. (Hrsg.): Science and Technology Ethics.
London: Routledge 2002, S. 220-241.

HOFSTADTER, D.:
Gödel, Escher, Bach. Ein endlos geflochtenes Band.
München: dtv 1991 [1979].

HOLLAND, J. H.:
Adaptation in Natural and Artificial Systems.
Cambridge: MIT Press 1992 [1975].

HOLLAND, J. H.:
Emergence – from chaos to order.
Oxford: Oxford University Press 1998.

HÖLTTA, K. ; TANG, V. ; SEERING, W. P.:
Modularizing Product Architecture Using Dendograms. In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design. ICED’03, Stockholm August 19-21 2003.
Stockholm: The Design Society 2003.

HORVÁTH, I.:
A contemporary survey of scientific research into engineering design. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Eds.): Proc. of the 13th International Conference on Engineering Design. ICED’01, Vol. Design Research – Theories, Methodologies, and Product Modelling, Glasgow August 21-23 2001.
Bury St. Edmunds: IMechE 2001, S. 13-20.

HUANG, G. Q.:
Design for X: Concurrent Engineering Imperatives.
London: Chapman & Hall 1996.

HUBKA, V.; EDER, W. E.:
Engineering Design.
Zürich: Heuristika 1992.

HUBKA, V.; EDER, W. E.:
Design Science: Introduction to the Needs, Scope & Organization of Engineering Design Knowledge. Berlin: Springer 1996.

HUBKA, V.:
Theorie Technischer Systeme. Grundlagen einer wissenschaftlichen Konstruktionslehre. Berlin: Springer 1984.

HUMPHRIES, J.; RADCLIFFE, D.:
Functional Modular Design – An Industry Case Study. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Eds.): Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design. ICED'01, Volume Design Methods for Performance and Sustainability, Glasgow August 21-23 2001. Bury St. Edmunds: IMechE 2001, S. 483-490.

HUSSERL, E.:
Ideen zu einer reinen Phänomenologie und phänomenologischen Philosophie. Allgemeine Einführung in die reine Phänomenologie. Tübingen: Niemeyer 1993 [1913].

HVAM, L.; MALIS, M.:
A Knowledge Based Documentation Tool for Configuration Projects. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong. Hongkong: HKUST, TUM 2001.

ISHII, K. ; JUENGEL, C. ; EUBANKS, C. F. :
Design for Product Variety : Key to Product Line Structuring. In: Proceedings of the ASME 7th International Conference on Design Theory and Methodology, Boston, MA, September, 1995. Boston: ASME 1995.

JARRATT, T.; ECKERT, C.; CLARKSON, P. J.; SCHWANKL, L.:
Product Architecture and the Propagation of Engineering Change. In: Marjanovic, D. (Ed.): Proceedings of the 7th International Design Conference, Design 2002, May 14-17 2002, Dubrovnik. Zagreb: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, The Design Society 2002, S. 75-80.

JENSEN, T.:
Modeling of Application Knowledge in Sales Configuration Systems. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong. Hongkong: HKUST, TUM 2001.

JESCHKE, A.:
Beitrag zur wirtschaftlichen Bewertung von Standardisierungs-Maßnahmen in der Einzel- und Kleinserienfertigung durch die Konstruktion. Braunschweig: TU, Diss. 1997.

JIAO, J.:
Design for Mass Customization by Developing Product Family Architecture. Hongkong: Hongkong University of Science and Technology, PhD thesis 1998.

JOHNSON, J.:
Coherence Theory in the Science of Complexity. In: McCarthy, I.; Rakotobe-Joel, T. (Eds.): Complex Systems and Complexity in Industry. Coventry: University of Warwick 2000.

JUNGERBERG, H.; BRANDT, R.; BEITZ, W.:
Methodische Baureihenentwicklung am Beispiel einer neuen Waschgerätebaureihe der Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH Berlin. In: Effektive Entwicklung und Auftragsabwicklung variantenreicher Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1998, S. 69-82. (VDI-Berichte 1434) et al. 1998,

KANT, I.:
Kritik der praktischen Vernunft.
Frankfurt: Suhrkamp 2000 [1781].

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P.:
Balanced Scorecard.
Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1997.

KESSELRING, F.:
Technische Kompositionslehre.
Berlin: Springer 1954.

KIBED, M. V. V.; SPARRER, I.:
Tetralemmaarbeit und andere Grundformen Systemischer Strukturaufstellung – Ganz im Gegenteil – für Querdenker und solche, die es werden wollen.
Heidelberg: Carl-Auer-Systeme 2002.

KIESER, A. (Hrsg.):
Organisationstheorien.
Stuttgart: Kohlhammer 1999.

KIRSCH, W.:
Kommunikatives Handeln, Autopoiesie, Rationalität. Sondierungen zu einer evolutionären Führungslehre.
München: 1992.

KLOOCK, D.; SPAHR, A.:
Medientheorien.
Stuttgart: UTB 2000.

KLOSE, J.:
Zur Entwicklung einer speicherunterstützten Konstruktion von Maschinen unter Wiederverwendung von Baugruppen.
Dresden: TU, Habilitationsschrift 1979.

KOHLHASE, N.:
Strukturieren und Beurteilen von Baukastensystemen. Strategien, Methoden, Instrumente.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1997. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 1 Nr. 275)

KOLLER, R.:
Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen, Arbeitsschritte, Prinziplösungen.
Berlin: Springer 1985.

KOLLER, R.:
CAD – Automatisiertes Zeichnen, Darstellen und Konstruieren.
Berlin: Springer 1989.

KORZYBSKI, A.:
Science and Sanity.
New York: Institute of General Semantics 1994 [1933].

KRALLMANN, D.; ZIELMANN, A.:
Grundkurs Kommunikationswissenschaft.
München: Wilhelm Fink 2001.

KRAUSE, F.-L.:
Auf dem Weg zur virtuellen Produktentwicklung. In: Neue Generation von CAD/CAM-Systemen, München.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1997, S. 17-34. (VDI-Berichte 1357)

KRAUSE, D.:
Luhmann-Lexikon.
Stuttgart: Lucius & Lucius 2001

KRISHNAPILLAI, R.; ZEID, A.:
Adaptive Design Customization for Mass Customization: A Framework. In: Piller, F. T.; Reichwald, R.; Tseng, M. (Eds.): Proceedings of the 2nd World Congress on Mass Customization and Personalization MCPC 2003, October 6-8, 2003, München.
München: 2003.

KRIZ, J.:
Grundkonzepte der Psychotherapie.
Weinheim: Beltz 2001.

KUHLENKAMP, A.:
Konstruktionslehre der Feinwerktechnik.
München: Hanser 1971.

KUHN, T. S.:
Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen.
Frankfurt/Main: Suhrkamp 1976 [1962].

KÜHN, C.:
Vergleich unterschiedlicher Konfigurationsmethoden im Hinblick auf die Nutzbarkeit von Wissen über das Zustandsverhalten der Konfigurationsobjekte. In: Proceedings of KI 2001 Joint German/Austrian Conference on Artificial Intelligence, Workshop "Planen, Scheduling und Konfigurieren, Entwerfen", Wien, 18. September 2001.
Wien: 2001.
http://www-is.informatik.uni-oldenburg.de/~sauer/puk2001/papers/kuehn.pdf (Stand 03/2004).

LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. (Hrsg.):
Kritik und Erkenntnisfortschritt.
Braunschweig: Vieweg 1974.

LARSSON, A.; TÖRLIND, P.; KARLSSON, L.; MABOGUNJE, A.; LEIFER, L.; LARSSON, T.; ELFSTRÖM, B.-O.:
Distributed Team Innovation – A Framework for Distributed Product Development. In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design. ICED'03, Stockholm August 19-21 2003.
Stockholm: The Design Society 2003.

LASZLO, E.:
Evolution – The General Theory.
Cresskill: Hampton Press 1996.

LEHMANN, F.; KÜMPER, R.:
Variantenmanagement durch verursachungsgerechte Produktbewertung. In: Horváth, P.: Effektives und schlankes Controlling.
Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1992.

LEHTONEN, T.; JUUTI, T.; PULKKINEN, A.; RIITAHUHTA, A.:
Dynamic Modularization - A Challenge for Design Process and Product Architecture. In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design. ICED'03, Stockholm August 19-21 2003.
Stockholm: The Design Society 2003.

LENK, H.:
Zwischen Wissenschaft und Ethik.
Frankfurt: Suhrkamp 1992.

LENK, H.; ROPOHL, G. (Hrsg.):
Technik und Ethik.
Stuttgart: Reclam 1993.

LESZINSKI, C. M.:
Ein Visualisierungs- und Navigationsassistent für Produktstrukturen in der Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 2001.
Zugl.: Bochum: Ruhr-Univ., Diss. 2000.

LEWENS, T.:
Organisms and Artifacts: Design in Nature and Elsewhere.
Cambridge: MIT Press 2004.

LEYER, A.:
Maschinenkonstruktionslehre.
Basel: Birkhäuser 1963.

LINDE, H.; HILL, B.:
Erfolgreich Erfinden – Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie.
Darmstadt: Hoppenstedt 1993.

LINDEMANN, U.; REICHWALD, R.:
Integriertes Änderungsmanagement.
Berlin: Springer 1998.

LINDEMANN, U.:
Methods are Networks of Methods. In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design. ICED'03, Stockholm August 19-21 2003. Stockholm: The Design Society 2003.

LINDEMANN, U.:
Flexible Adaptation of Methods within the Design Process. In: Marjanovic, D. (Ed.): Proceedings of the 7th International Design Conference, Design 2002, May 14-17 2002, Dubrovnik.
Zagreb: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, The Design Society 2002, S. 29-36.

LINDEMANN, U.; MÖRTL, M.; HESSLING, T.; HUTTERER, P.:
The Guideline „Design for Upgrading" as a Medium for Sustainable Design. In: Marjanovic, D. (Ed.): Proceedings of the 7th International Design Conference, Design 2002, May 14-17 2002, Dubrovnik.
Zagreb: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Arch., The Design Society 2002, S. 1331- 1338.

LINGNAU, V.:
Variantenmanagement: Produktionsplanung im Rahmen einer Produktdifferenzierungsstrategie.
Berlin: Erich Schmidt 1994.
Zugl.: Berlin: TU, Diss. 1994.

LIPNACK, J.; STAMPS, J.:
Virtual Teams: Reaching Across Space, Time, and Organizations with Technology.
Chichester: John Wiley & Sons 1998.

LOPITZSCH, J. R.; WIENDAHL, H.-P.:
Push OR Pull? Mass Customisation by Adaptive Production Control. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

LORENZEN, P.:
Lehrbuch der konstruktiven Wissenschaftstheorie.
Stuttgart: Metzler 2000.

LÖSCH, J.:
Controlling der Variantenvielfalt. Eine koordinationsorientierte Konzeption zur Steuerung von Produktvarianten.
Aachen: Shaker 2001.
Zugl.: Braunschweig: TU, Diss. 2001.

LOVELOCK, J.:
Das Gaia-Prinzip. Die Biographie unseres Planeten.
Zürich: Artemis & Winkler 1991.

LUHMANN, N.:
Die Gesellschaft der Gesellschaft. 2 Bände.
Frankfurt: Suhrkamp 1997.

LUHMANN, N.:
Einführung in die Systemtheorie.
Heidelberg: Carl-Auer-Systeme 2002.

LUHMANN, N.:
Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie.
Frankfurt: Suhrkamp 1984.

MABOGUNJE, A.; HANSEN, P. K.; ERIS, Ö.; LEIFER, L.:
Product Development Processes Ontology. In: Marjanovic, D. (Ed.): Proceedings of the 7th International Design Conference, Design 2002, May 14-17 2002, Dubrovnik.
Zagreb: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Arch., The Design Society 2002, S. 197-202.

MACCARTHY, B. M.; BRAMHAM, J.; BRABAZON, P. G. (2001a):
Examination of mass customisation through field evidence. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

MACCARTHY, B.; BRABAZON, P. G.; BRAMHAM, J. (2001b):
Suitability of common quality assurance and quality control systems and practices for mass customisation operations. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

MACCORMACK, R.:
Das Dilemma der Ingenieurethik. In: Lenk, H.; Ropohl, G. (Hrsg.): Technik und Ethik.
Stuttgart: Reclam 1993.

MALIK, F.:
Strategie des Managements komplexer Systeme.
Bern: Haupt 1989.

MALIK, F.:
Systemisches Management, Evolution, Selbstorganisation. Grundprobleme, Funktionsmechanismen und Lösungsansätze für komplexe Systeme.
Bern: Haupt 2003.

MANN, D. L.; DOMB, E.:
Using TRIZ To Overcome Mass Customization Contradictions. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

MÄNNISTÖ, T.; SULONEN, R.:
Evolution of Schema and Individuals of Configurable Products. In: Proceedings of the First International Workshop on Evolution and Change in Data Management (ECDM'99). Advances in Computer Modeling. Lecture Notes in Computer Science.
Berlin: Springer 1999.

MARCA, D. A.; MCGOWAN, L.:
SADT – Structured Analysis and Design Technique.
New York: McGraw-Hill 1988.

MARTIN, M.V.; ISHII, K.:
Design for Variety: Developing Standardised and Modularised Product Platform Architectures. Research in Engineering Design, 13 (2002) 4, pp. 213-235.

MARXT, C.:
Application of Dissipative Structures to Improve the Generation and Selection of New Product Ideas. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Eds.): Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design. ICED'01, Volume Design Research – Theories, Methodologies, and Product Modelling, Glasgow August 21-23 2001.
Bury St. Edmunds: IMechE 2001, S. 323-330.

MATURANA, H. R.; VARELA, F. J.:
Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln menschlichen Erkennens.
München: Goldmann 1987.

MCCULLOCH, W. S.:
Verkörperungen des Geistes.
Wien: Springer 2000 [1965].

MENGE, M.:
Ein Beitrag zur Beherrschung der Variantenvielfalt in der auftragsbezogenen Einzel- und Kleinserienfertigung komplexer Produkte.
Essen: Vulkan 20001.
Zugl.: Braunschweig: TU, Diss. 2001.

MERTON, R. K.:
On the Shoulders of Giants.
Chicago: University of Chicago Press 1993 [1965].

MEYER, M. H.; LEHNERD, A. P.:
The Power of Product Platforms. Building Value and Cost Leadership.
New York: The Free Press 1997.

MILLER, J.:
Living Systems.
New York: McGraw-Hill 1987.

MILLS, J.:
Soziologie der Gruppe.
München: Juventa 1969.

MINNEMANN, S.:
The Social Construction of a Technical Reality: Empirical Studies of Group Engineering Practice.
Palo Alto: Stanford University, PhD thesis 1991.

MITCHELL, M.:
An Introduction to Genetic Algorithms.
Cambridge: MIT Press 2002.

MITTELSTAEDT, W.:
Wissenschaft und Ethik. Herausforderung für das 21. Jahrhundert.
Saarbrücken: 2001.
http://www.zukunft-gzs.de/texte/sonstige/Wissenschaft.pdf (Stand 03/2004).

MÖRTL, M.:
Entwicklungsmanagement für langlebige, upgradinggerechte Produkte.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 51)
Zugl.: München: TU, Diss. 2002.

MÜLLER, J.:
Grundlagen der systematischen Heuristik.
Berlin: Dietz 1970.

MÜLLER, J.:
Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften. Systematik, Heuristik, Kreativität.
Berlin: Springer 1990.

MÜLLER, M. (Bearb.):
Kleines Fremdwörterbuch.
Stuttgart: Reclam 1996.

MÜNKER, S.; ROESLER, A.:
Poststrukturalismus.
Stuttgart: Metzler 2000.

MÜRI, P.:
Chaos Management.
München: Heyne 1989.

NACHTIGALL, W.:
Bionik.
Berlin: Springer 2002.

NAZAREWSKI, W.:
Verantwortung und Ethik in der Produktentwicklung.
München: TU, unveröffentlichte Semesterarbeit 2003.

NEFF, T.; JUNGE, M.; VIRT, W.; HERTEL, G.; BELLMANN, K.:
Ein Ansatz zur Bewertung modularer Fahrzeugkonzepte im Spannungsfeld von Standardisierung und Differenzierung. In: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen. Erfahrungen, Methoden und Instrumente; Tagung Kassel 7./8. November 2001.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2001, S. 27-52. (VDI-Berichte 1645)

NEGELE, H.:
Systemtechnische Methodik zur ganzheitlichen Modellierung am Beispiel der integrierten Produktentwicklung.
München: TU, Diss. 1998.

NEIROP, O. A. V.; BLANKENDAAL, A. C. M.; OVERBEEKE, C. J.:
The evolution of the bicycle: a dynamic systems approach. Journal of Design History 10 (1997) 3, pp. 253-267.

NEUMANN, J. V.; MORGENSTERN, O.:
Theory of Games and Economic Behavior.
Princeton: Princeton University Press 1990 [1944].

NIEMANN, G.:
Maschinenelemente.
Berlin: Springer 1950.

NOHR, H.:
Das Verhältnis von Technik und Ethik.
Hamburg: FH 1997.
http://www.iuk.hdm-stuttgart.de/nohr/publ/Ethik.pdf (Stand 03/2004).

NOY, N. F.; MUSEN, M. A.:
Algorithm and Tool for Automated Ontology Merging and Alignment. In: Proceeding of the Seventeenth National Conference on Artificial Intelligence (AAAI-2000), Austin, TX, 2000.
Austin: 2000.

OESER, K.:
Aktuelle Probleme der Umweltethik.
Darmstadt: TU 1999.
http://zit1.zit.tu-darmstadt.de/lehre/umweltwissenschaften/oekologie1/oes.doc (Stand 03/2004).

OSBORN, A.:
Applied Imagination – Principles and Procedures of Creative Thinking.
New York: Scribner's 1953.

OTTO, K. N.; WOOD, K. L.:
Product Design.
Upper Saddle River: Prentice Hall 2000.

OTTO, K.:
A Process of Modularizing Product Families. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Eds.): Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design. ICED'01, Volume Design Methods for Performance and Sustainability, Glasgow August 21-23 2001.
Bury St. Edmunds: IMechE 2001, S. 523-530.

OTTOSON, S.:
Dynamic concept development – a key for future profitable innovations and new product variants. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Eds.): Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design. ICED'01, Volume Design Research – Theories, Methodologies, and Product Modelling, Glasgow August 21-23 2001.
Bury St. Edmunds: IMechE 2001, S. 331-338.

PACHE, M.:
Mechanisms of Creativity in Sketching for Conceptual Design.
München: TU, Diss. 2004 *(in process)*.

PAHL, G.; BEITZ, W.:
Engineering Design. A Systematic Approach.
London: Springer 1996.

PALANI RAJAN, P. K.; VAN WIE, M.; CAMPBELL, M.; OTTO, K.; WOOD, K.:
Design for Flexibility – Measures and Guidelines. In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design. ICED'03, Stockholm August 19-21 2003.
Stockholm: The Design Society 2003.

PARSONS, T.:
Aktor, Situation und normative Muster.
Frankfurt: Suhrkamp 1986.

PARSONS, T.:
General Theory in Sociology.
In: Merton, R. (Ed.): Sociology Today.
New York: Harper & Row 1959, pp. 3-38.

PARSONS, T.:
Gesellschaften: evolutionäre und comparative Perspektiven.
Frankfurt: Suhrkamp 1975.

PATZAK, G.:
Systemtechnik – Planung komplexer innovativer Systeme. Grundlagen, Methoden, Techniken.
Berlin: Springer 1982.

PAULA, M.:
Web-basierter Produktkonfigurator für modulare Metrofahrzeuge. In: 4. Internationales Heinz Nixdorf Symposium – Auf dem Weg zu den Produkten für die Märkte von morgen....
Paderborn: HNI 2000.

PETERS, T.:
Kreatives Chaos. Die neue Management-Praxis.
München: Heyne 2000.

PFEIFER, W.:
Etymologisches Wörterbuch des Deutschen.
München: dtv 1993.

PHLEPS, U.:
Recyclinggerechte Produktdefinition – Methodische Unterstützung für Upgrading und Verwertung.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 34)
Zugl.: München: TU, Diss. 1999.

PIAGET, J.:
Einführung in die genetische Erkenntnistheorie.
Frankfurt: Suhrkamp 1996 [1970].

PILLER, F. T.; STOTKO, C. M. (Hrsg.):
Mass Customization und Kundenintegration. Neue Wege zum innovativen Produkt.
Düsseldorf: Symposion 2003.

PILLER, F. T.; WARINGER, D.:
Modularisierung in der Automobilindustrie – neue Formen und Prinzipien: Modular Sourcing, Plattformkonzepte und Fertigungssegmentierung als Mittel des Komplexitätsmanagements.
Aachen: Shaker 1999.

PILLER, F. T.:
Kundenindividuelle Massenproduktion. Die Wettbewerbsstrategie der Zukunft.
München: Hanser 1998.

PILLER, F. T.:
Mass Customization. Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter.
Wiesbaden: Gabler 2001.

PILLER, F. T.:
Die neue Rolle des Kunden: Grundsätze und Varianten der Kundenintegration. In: Piller, F. T.; Stotko, C. M. (Hrsg.): Mass Customization und Kundenintegration. Neue Wege zum innovativen Produkt.
Düsseldorf: Symposion 2003, S. 43-93.

PINE II, B. J.:
Mass Customization. The New Frontier in Business Competition.
Boston: Harvard Business School Press 1993.

POPPER, K.:
Logik der Forschung.
Tübingen: Mohr 1994 [1935].

PORTER, M. E.:
Wettbewerbsstrategie.
Frankfurt: Campus 1997.

POSER, H.:
Wissenschaftstheorie. Eine philosophische Einführung.
Stuttgart: Reclam 2001.

PRECHTL, P.; BURKARD, F.-P. (Hrsg.):
Metzler Philosophie Lexikon.
Stuttgart: Metzler 1999.

PRIGOGINE, I.:
Die Gesetze des Chaos.
Frankfurt: Insel 1998.

PUGH, S.:
Total Design – Integrated Methdos for Successful Product Engineering.
Reading: Addison-Wesley 1990.

PULM, U.; LINDEMANN, U. :
Enhanced systematics for functional product structuring. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Eds.): Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design. ICED'01, Volume Design Research – Theories, Methodologies, and Product Modelling, Glasgow August 21-23 2001.
Bury St. Edmunds: IMechE 2001, S. 477-484.

PULS, C.:
Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix als Beitrag zum Management von Konfigurationswissen in KMU.
Zürich: ETHZ, Diss. 2002.

QUINE, W. V. O.:
Wort und Gegenstand.
Ditzingen: Reclam 1980 [1960].

RAPP, T.:
Produktstrukturierung: Komplexitätsmanagement durch modulare Produktstrukturen und -plattformen.
Wiesbaden: Gabler 1999.
Zugl.: St. Gallen: Univ., Diss. 1999.

RATHNOW, P. J.:
Integriertes Variantenmanagement.
Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 1993.

RECHENBERG, I.:
Evolutionsstrategie '94.
Stuttgart: frommann-holzboog 1994.

REESE-SCHÄFER, W.:
Niklas Luhmann zur Einführung.
Hamburg: Junius 1999.

REICHWALD, R.; MÖSLEIN, K.; SACHENBACHER, H.; ENGLBERGER, H.; OLDENBOURG, S.:
Telekooperation: Verteilte Arbeits- und Organisationsformen.
Berlin: Springer 1998.

REINERTSEN, D. G.:
Die neuen Werkzeuge der Produktentwicklung.
München: Hanser 1998.

REINHART, G.; LINDEMANN, U.; HEINZL, J.:
Qualitätsmanagement.
Berlin: Springer 1996.

REINHART, G.; ZÄH, M.:
Marktchance Individualisierung.
Berlin: Springer 2003.

REITAN, J.; STORMO, S.; AASLAND, K.:
Redesigning Product Programs – Focusing on Variety, Complexity and Commonality. In: Marjanovic, D. (Ed.): Proceedings of the 7th International Design Conference, Design 2002, May 14-17 2002, Dubrovnik.
Zagreb: Faculty of Mechanical Engineering and Naval Arch., The Design Society 2002, S. 235-239.

RIEDEL, D.; VOIGT, P.:
Management und Organisation. In: Lindemann, U.; Reichwald, R. (Hrsg.): Integriertes Änderungsmanagement.
Berlin: Springer 1998.

RIEDEL, H.; EVERSHEIM, W.; KORRECK, A.:
Variantenorientierte Produktprogrammplanung – Komplexitätsbewältigung zwischen Markt und Produktion. In: Plattformkonzepte auch für Kleinserien und Anlagen? Düsseldorf: VDI-Verlag 1999, S. 29-48. (VDI-Berichte 1510)

RIEDL, R.:
Strukturen der Komplexität. Eine Morphologie des Erkennens und Erklärens.
Berlin: Springer 2002.

RIIS, J.; HANSEN, B. L.; HVAM, L.:
Framework for product knowledge and product related knowledge which supports product modelling for mass customization. In: Piller, F. T.; Reichwald, R.; Tseng, M. (Eds.): Proceedings of the 2nd World Congress on Mass Customization and Personalization MCPC 2003, October 6-8, 2003, München.
München: 2003.

RIITAHUHTA, A.; PULKKINEN, A.:
Design for Configuration. A Debate based on the 5th WDK Workshop on Product Structuring.
Berlin: Springer 2001.

RITTEL, H.; WEBER, M. M.:
Dilemmas in General Theory of Planning. Policy Sciences (1973) 4, pp. 155-169.

RODENACKER, W. G.:
Methodisches Konstruieren.
Berlin: Springer 1970.

ROGOLL, T. A.; PILLER, F. T.:
Konfigurationssysteme für Mass Customization und Variantenproduktion. Strategie, Erfolgsfaktoren und Technologie von Systemen zur Kundenintegration.
München: ThinkConsult 2002.

ROOZENBURG, N. F. M.; EEKELS, J.:
Product Design: Fundamentals and Methods.
Chichester: John Wiley & Sons 1995.

ROPOHL, G.:
Eine Systemtheorie der Technik. Zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie.
München: Hanser 1979.

ROPOHL, G.:
Systemtechnik – Grundlagen und Anwendung.
München: Hanser 1975.

ROTH, K.:
Konstruieren mit Konstruktionskatalogen.
Berlin: Springer 1982.

RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I.; BOOCH, G.:
The unified modeling language reference manual.
Reading: Addison Wesley Longman 1999.

RUSSELL, B.; WHITEHEAD, N.:
Principia Mathematica. Vorwort und Einleitungen.
Frankfurt: Suhrkamp 2002 [1910].

SACHSE, P.; HACKER, W.:
Unterstützung des Denkens und Handelns beim Konstruieren durch Prototyping. Konstruktion 49 (1997), S. 12-26.

SACHSSE, H.:
Ethische Probleme des technischen Fortschritts. In: Lenk, H.; Ropohl, G. (Hrsg.): Technik und Ethik. Stuttgart: Reclam 1993, S. 49-80.

SARDAR, Z.; ABRAMS, I.:
Introducing Chaos.
Cambridge: Icon Books 1998.

SAUSSURE, F. D.:
Grundfragen der allgemeinen Sprachwissenschaft.
Berlin: de Gruyter 1967 [1916].

SAYNISCH, M.:
Konfigurationsmanagement – fachlich-inhaltliche Entwurfssteuerung, Dokumentation und Änderungswesen im ganzheitlichen Projektmanagement.
Köln: TÜV Rheinland 1984.

SCHEIN, E.:
Professional Education.
New York: McGraw-Hill 1973.

SCHICHTEL, M.:
Produktdatenmodellierung in der Praxis.
München: Hanser 2002.

SCHIPPL, G.:
Evolutionäre Entwicklung von Produkten und der Konstruktionsmethodik.
München: TU, unveröffentlichte Semesterarbeit 2004.

SCHÖN, D. A.:
The Reflective Practitioner. How Professionals Think in Action.
New York: Basic Books 1983.

SCHOEN, S.:
Gestaltung und Unterstützung von Communities of Practice.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 47)
Zugl.: München: TU, Diss. 2000.

SCHREGENBERGER, J. W.:
Methodenbewusstes Problemlösen. Ein Beitrag zur Ausbildung von Konstrukteuren, Beratern und Führungskräften.
Bern: Haupt 1982.

SCHUH, G.; SCHWENK, U.:
Produktkomplexität managen. Strategien, Methoden, Tools.
München, Hanser 2001.

SCHUH, G.:
Gestaltung und Bewertung von Produktvarianten.
Aachen: RWTH, Diss. 1988.

SCHUH, G.:
Change Management – Von der Strategie zur Umsetzung.
Aachen: Shaker 1999.

SCHUH, G.:
Industrie braucht dringend mutigere Innovatoren. VDI-Nachrichten (2004) 10, S. 2

SCHWANKL, L.:
Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 49)
Zugl.: München: TU, Diss. 2002.

SEIDENSCHWARZ, W.:
Target Costing: Marktorientiertes Zielkostenmanagement.
München: Vahlen 1993.

SEKOLEC, R.; KUNZ, A.; MEIER, M.:
Methodology for Product Structuring in the Early Stages of the Design Process. In: Proceedings of the 14th International Conference on Engineering Design. ICED'03, Stockholm August 19-21 2003.
Stockholm: The Design Society 2003.

SELIGER, G.; BASDERE, B.:
Product Modularity and Environmental Aspects. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

SELVINI-PALAZZOLI, M.:
Paradoxon und Gegenparadoxon.
Stuttgart: Klett-Cotta 1981.

SENG, T.; KNAPP, C.; HOFFMANN, J.:
Project Monitoring, Betonwerk + Fertigteil-Technik (1998) 12, S. 57-62.

SENGE, P. M.:
The Fifth Discipline. The Art & Practice of the Learning Organization.
New York: Currency Doubleday 1990.

SHANNON, C. E.; WEAVER, W.:
The Mathematical Theory of Communication.
Chicago: University of Illinois Press 1998 [1949].

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.:
Mechanical Engineering Design.
New York: McGraw-Hill 2001.

SIDDIQUE, Z; ROSEN, D. W.:
Product Platform Design: A Graph Grammar Approach. In: Proceedings of DETC1999/DTM, ASME Design Engineering Technical Conferences, September 12-15, 1999, Las Vegas, Nevada.
Las Vegas: ASME 1999.

SIDDIQUE, Z.; ROSEN, D. W.:
Identifying Common Platform Architecture for a Set of Similar Products. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

SIGL, M.:
Anwendung, Optimierung und konzeptionelle Weiterentwicklung eines Projektmonitors zur aufwandsarmen, transparenten und fortlaufenden Projektdokumentation.
München: TU, unveröffentlichte Diplomarbeit 2000.

SIMON, H. A.:
The Sciences of the Artificial.
Cambridge, MA: MIT Press 1999 [1969].

SIMPSON, T. W.:
Product Platform Design and Customization: Status and Promise. In: Proceedings of DETC2003/DAC, ASME Design Engineering Technical Conferences - Design Automation Conference, September 2-6,

2003, Chicago, IL.
Chicago: ASME 2003.

SIMPSON, T. W.; MAIER, J. R. A.; MISTREE, F.:
A Product Platform Concept Exploration Method for Product Family Design. In: Proceedings of DETC1999/DTM, ASME Design Engineering Technical Conferences, September 12-15, 1999, Las Vegas, Nevada.
Las Vegas: ASME 1999.

SMITH, J. S.; DUFFY, A. H. B.:
Modularity in Support of Design for Re-Use. In: Culley, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Eds.): Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design. ICED'01, Volume Design Management – Process and Information Issues, Glasgow August 21-23 2001.
Bury St. Edmunds: IMechE 2001, S. 195-202.

SMITH, A.:
Der Wohlstand der Nationen.
München: dtv 2001 [1776].

SMYRE, M.; DOOLEY, K.:
Social Networks of Systems Engineers in Integrated Product Development. In: 8th Annual International INCOSE Symposium Proceedings. International Council on Systems Engineering: 1998.

SOUCHKOV, V.:
TRIZ: A Systematic Approach to Conceptual Design. In: Grabowski, H.; Rude, S.; Grein, G. (Eds.): Universal Design Theory. Proceedings of the Workshop Universal Design Theory, May 1998, Karlsruhe.
Aachen: Shaker 1998.

SPECHT, W.:
Konstruktiver Entwurf eines vollständig modularisierten Automobils auf der Grundlage einer systematischen Konstruktionsmethodik.
Braunschweig : TU, Diss. 1995.

SPENCER, H.:
Principles of Sociology.
London: Williams and Northgate, 1898 [1855].

SPENCER-BROWN, G.:
Laws of Form – Gesetze der Form.
Lübbeck: Bohmeier 1997 [1969].

SPENGLER, O.:
Der Untergang des Abendlandes.
München: dtv 1997.

SPIER, E.:
Science and Technology Ethics.
London: Routledge 2002.

SPRENGER, R. K.:
Das Prinzip Selbstverantwortung.
Frankfurt: Campus 2002

SPUR, G.; KRAUSE, F.-L.:
Das virtuelle Produkt – Management der CAD-Technik.
Offenbach: Gabal 1997.

STERK, W.:
Die herrschende Weltwirtschaftsordnung - Analyse und Kritik.
Frankfurt: Attac 2003.
http://www.attac.de/awwo/p-texte/wolfgang_sterk--Thesen_Glob-Oekologie.htm (Stand 03/2004).

STEGMANN, R.; KOCH, M.; LACHER, M.; LECKNER, T.; RENNEBERG, V.:
Generating Personalized Recommendations in a Model-Based Product Configurator System. In: Proceedings of the Workshop on Configuration, International Joint Conference on Artificial Intelligence, Mexiko, August 2003.
Acapulco: 2003.

STEINER, I. D.:
Group processes and productivity.
New York: Academic Press 1972.

STEINMEIER, E.:
Realisierung eines systemtechnischen Produktmodells – Einsatz in der PKW-Entwicklung.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 28)
Zugl.: München: TU, Diss. 1998.

STETTER, R.:
Method Implementation in Integrated Product Development.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 41)
Zugl.: München: TU, Diss. 2000.

STINY G.:
How to Calculate with Shapes. In: ANTONSSON, E. K.; CAGAN, J. (EDS.): Formal Engineering Design Synthesis.
Cambridge: Cambridge University Press 2001, pp. 20-64.

STONE, R. B.; WOOD, K. L.; CRAWFORD, R. H.:
Product Architecture Development with Quantitative Functional Models. In: Proc. of DETC1999/DTM, ASME Design Engineering Technical Conferences, September 12-15, 1999, Las Vegas, Nevada.
Las Vegas: ASME 1999.

STÖSSER, R.:
Zielkostenmanagement in integrierten Produkterstellungsprozessen.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 33)
Zugl.: München: TU, Diss. 1999.

STRICKBERGER, M. W.:
Evolution.
Boston: Jones and Bartlett 1996.

STROHSCHNEIDER, S.:
Die Aufrechterhaltung der Handlungsfähigkeit. In: Strohschneider, S.; Weth, R. v. d.: (Hrsg.): Ja, mach nur einen Plan.
Bern: Hans Huber 1993, S. 36-50.

SUH, N. P.:
The Principles of Design.
Oxford: Oxford University Press 1988.

SVENSSON, C.; JENSEN, T.:
The customer at the final frontier of mass customisation. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

SZENT-GYÖRGYI, A.:
Teaching and the Expanding Knowledge. Science 164 (1964), S. 1278-1279.

TAGUCHI, G.:
Introduction of Quality Engineering.
New York: UNIPUB 1986.

TANG, J.:
Listing, Drawing, and Gesturing in Design: A Study of the Use of Shared Workspaces by Design Teams. Palo Alto: Stanford University, Doctoral Dissertation 1989.

TEERAVARUNYOU, S.; SATO, K.:
User Process Based Product Architecture. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

TERNINKO, J.; ZUSMAN, A.; ZLOTIN, B.:
Step-by-step TRIZ: Creating innovative solution concepts.
Nottingham: Responsible Management/Ideation International 1996.

TOINBEE, A.:
Menschheit und Mutter Erde.
München: Claassen 1996.

TSCHAN, F.:
Produktivität in Kleingruppen. Was machen produktive Gruppen anders und besser?
Bern: Huber 2000.

TSIGKAS, A.; PAPANTONIOU, A.; LOUMOS, V.:
Towards Knowledge-Based Mass Customization: A Framework for On Demand Design (ODD). In: Piller, F. T.; Reichwald, R.; Tseng, M. (Eds.): Proceedings of the 2nd World Congress on Mass Customization and Personalization MCPC 2003, October 6-8, 2003, München.
München: 2003.

ULLMAN, D. G.:
The Mechanical Design Process.
Boston: McGraw-Hill 1997.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D.:
Product Design and Development.
New York: McGraw-Hill 1999.

ULRICH, H.:
Die Unternehmung als produktives soziales system. Grundlagen der allgemeinen Unternehmungslehre.
Bern: Haupt 1968.

ULRICH, H.; PROBST, G.:
Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln.
Bern: Haupt 1991.

URBANI, A.; MOLINARI-TOSATTI, L.; BOSANI, R.; PIERPAOLI, F.:
Flexibility and Reconfigurability for Mass Customization: An Analytical Approach. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

VDI-BERICHTE 1394:
Outsourcing und Local Content – Herausforderung für Konstruktion und Fertigung.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1998.

VDI-BERICHTE 1510 :
Plattformkonzepte auch für Kleinserien und Anlagen?
Düsseldorf: VDI-Verlag 1999.

VDI-RICHTLINIE 2206:
Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme.
Berlin: Beuth 2003.

VDI-RICHTLINIEN 2221:
Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte.
Berlin: Beuth 1993.

VDI-RICHTLINIE 2222:
Konstruktionsmethodik - Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien.
Berlin: Beuth 1997.

VICO, G.:
Die neue Wissenschaft über die gemeinschaftliche Natur der Völker.
Berlin: de Gruyter 2000 [1744].

WACH, J. J.:
Problemspezifische Hilfsmittel für die Integrierte Produktentwicklung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 12)
Zugl.: München: TU, Diss. 1993.

WÄCHTLER, R.:
Die Dynamik des Entwickelns (Konstruierens). Feinwerktechnik 73 (1969), S. 329-333.

WALLMEIER, S.:
Potentiale in der Produktentwicklung. Möglichkeiten und Grenzen von Tätigkeitsanalyse und Reflexion.
Darmstadt: TU, Diss. 2001.

WANG, Y.; JIAO, J.:
Product Family Configuration Design Evaluation. In: Piller, F. T.; Reichwald, R.; Tseng, M. (Eds.): Proc. of the 2nd World Congress on Mass Customization and Personalization MCPC 2003, October 6-8, 2003, München.
München: 2003.

WARNECKE, H.-J.:
Die Fraktale Fabrik. Revolution in der Unternehmenskultur.
Berlin: Springer 1992.

WARNECKE, H.-J.:
Aufbruch zum Fraktalen Unternehmen.
Berlin: Springer 1995.

WATZLAWICK, P.:
Die erfundene Wirklichkeit.
München: Piper 1985.

WEICK, K. E.:
Der Prozeß des Organisierens.
Frankfurt: Suhrkamp 1995.

WEIL, V.:
Engineering Ethics. In: Spier, R. (Hrsg.): Science and Technology Ethics.
London: Routledge 2002, S. 59-89.

WEINBRENNER, V.:
Produktlogik als Hilfsmittel zum Automatisieren von Varianten- und Anpassungskonstruktionen.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 11)
Zugl.: München: TU, Diss. 1993.

WELLNIAK, R.:
Das Produktmodell im rechnerintegrierten Konstruktionsarbeitsplatz.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 17)
Zugl.: München: TU, Diss. 1994.

WESTKÄMPER, E.:
Modulare Produkte – Modulare Montage. wt Werkstattstechnik 91 (2001) 8, S. 479-482.

WESTKÄMPER, E.; ZAHN, E.; BALVE, P.; TILEBEIN, M.:
Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen. wt Werkstattstechnik 90 (2000) 1/2, S. 22- 26.

WIENDAHL, H.-P.; HARMS, T.:
Self-organized Structure Adaptation on the Basis of Production Agents. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

WIENER, N.:
Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine.
Cambridge: MIT Press 1965 [1948].

WILDEMANN, H.:
Produktklinik. Wertgestaltung von Produkten und Prozessen. Methoden und Fallbeispiele.
München: TCW 1999.

WILHELM, B.:
Konzeption und Bewertung einer modularen Fahrzeugfamilie.
Aachen: RWTH, Diss. 2001.

WILLKE, H. (2000a):
Systemtheorie I: Grundlagen.
Stuttgart: Lucius & Lucius 2000.

WILLKE, H. (2000b):
Systemtheorie II: Interventionstheorie.
Stuttgart: Lucius & Lucius 2000.

WILLKE, H.:
Systemtheorie III: Steuerungstheorie.
Stuttgart: Lucius & Lucius 2001.

WINTER, G.; PÉRIAUX, J.; GALÁN, M.; CUESTA, P.:
Genetic Algorithms in Engineering and Computer Science.
New York: John Wiley & Sons 1995.

WISSLER, F.:
Entwicklungscontrolling im Produktentwicklungsprozess. In: Schraft, R. D., Westkaemper, E.: Effizienzsteigerung in der Produktentwicklung.
Stuttgart: Fraunhofer IPA 2001.

WITTGENSTEIN, L.:
Tractatus logico-philosophicus.
Frankfurt: Suhrkamp 2003 [1921].

WÖGERBAUER, H.:
Die Technik des Konstruierens.
München: Oldenbourg 1943.

WOMACK, J. P.; JONES, T. D.; ROOS, D.:
Die zweite Revolution in der Automobilindustrie: Konsequenzen der weltweiten Studie aus dem MIT.
Frankfurt: Campus 1992.

WONGVASU, N.; KAMARTHI, S. V.; ZEID, I.:
Case-based Reasoning for Rapid Cost Estimation of Mass-Customized Products. In: Proceedings of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong.
Hongkong: HKUST, TUM 2001.

WULF, J.:
Elementarmethoden zur Lösungssuche.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 49)
Zugl.: München: TU, Diss. 2002.

WÜPPING, J.:
Maßgeschneidert von der Stange – Konfigurationstechnik für die individuelle Serienfertigung. IT Mangement (2000) 4, S. 2-9.

WÜPPING, J.:
Integrierter Ansatz zur kundengerechten Produktentwicklung – Marktnahe Innovationsprozesse. Konstruktion 50 (1998) 9, S. 38-42.

XIAO, T.; QIAO, G.; DONG, J.:
Implementing Strategy and Key Technologies of Mass Customization in Automotive Manufacturing. In: Proc. of the World Congress on Mass Customization and Personalization 2001, MCPC'01, Hongkong. Hongkong: HKUST, TUM 2001.

ZÄH, M.; HOFFMANN, H.; REINHART, G.; MILBERG, J. (Hrsg., 2003a):
Grenzen Überwinden – Wachstum der neuen Art. Münchener Kolloquium 2003.
München: Utz 2003.

ZÄH, M. F.; RUDOLF, H.:
Computer Aided Process Planning as an Enabler for Mass Customization: State of the Art and Future Areas for Research. In: Piller, F. T.; Reichwald, R.; Tseng, M. (Eds.): Proceedings of the 2nd World Congress on Mass Customization and Personalization MCPC 2003, October 6-8, 2003, München. München: 2003.

ZÄH, M. F.; RUDOLF, H.; WAGNER, W. (2003b):
Minifabriken für die marktnahe Produktion individualisierter Produkte. In: Müller, E. (Hrsg.): Vernetzt planen und produzieren VPP 2003, Chemnitz.
Chemnitz: TU 2003, S. 175-179.

ZAKHARIAN, S.; LADEWIG-RIEBLER, P.; THOER, S.:
Neuronale Netze für Ingenieure
Wiesbaden: Vieweg 1998.

ZANKER, W.:
Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München; Bd. 36)
Zugl.: München, TU, Diss. 1999.

ZHA, X. F.; LIM, S. Y. E.; LU, W. F.:
A Knowledge Intensive Multi-Agent System for Cooperative/Collaborative Assembly Modeling and Process Planning. In: Transactions of the SDPS 7 (2003) 1, pp. 99-122 .

ZIMMER, D.:
Entwicklung eines Getriebemotoren-Baukastens. In: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen. Erfahrungen, Methoden und Instrumente; Tagung Kassel 7./8. November 2001.
Düsseldorf: VDI-Verlag 2001, S. 77-88. (VDI-Berichte 1645)

ZIPKIN, P.:
The limits of mass customization. Sloan Management Review 42 (2001) 3, S. 81-87.

ZÜST, R.:
Einstieg ins Systems Engineering.
Zürich: Industrielle Organisation 2000.

ZWICKY, F.:
Entdecken, Erfinden, Forschen im Morphologischen Weltbild.
München: Droemer-Knaur 1966.

10 Anhang

10.1 Anhang 1 – Medien

System	Funktion, Leistung	Medium	Träger	Handlung	Objekt	Grund	Selektions-kriterium	Code	Programm	Regler
Wirt-schaft	Ressourcenver-teilung, Knapp-heitsminderung, materielle Repro-duktion, Bedürf-nisbefriedigung	Geld, Eigentum (Macht)	Währun-gen	Zahlung (Arbeit)	Arbeit, Be-sitz, Res-sourcen	Ressourcen-knappheit	Wert, Bedarf	Haben/ Nichthaben	Knappheit	Kurse, Zinsen
Wissen-schaft	Erzeugung neuer Erkenntnisse/ neuen Wissens	Erkenntnisse, Wissen, Wahr-heit, Meinung	Publika-tionen	Publikation, Wahrheits-behauptung	Meinung, Erfahrung, Erkenntnis	Neugier, Überlebens-fähigkeit	Nutzen, Ob-jektivität, Glaub-würdigkeit	wahr/ unwahr	Theorien und Methoden, Paradigmen	Paradig-men, Re-view, Titel
Recht	Konfliktregulie-rung, Erwartungs-erleichterung nor-mativen Verhal-tens	Recht, Geset-ze, Entschei-dungen	Urteile, Gesetze	Rechtspre-chung, Ur-teilsfindung	Möglich-keiten, Interessen	Wettbewerb, Interessens-konflikte	Gerechtig-keit, Zumut-barkeit, Moral/Ethik	recht/ unrecht	Rechtsnor-men, Verfas-sung, Gesetze	Verfas-sung, Gerichte
Politik	Kollektiv binden-de Entscheidun-gen, Macht-beschränkung	Macht	Wahl-stimmen	Kollektiv bin-dende Ent-scheidung	Ausbreitung	Unsicherheit, Bedrohung, Platzbedarf	Sicherheit	Regie-rung/Op-position	Ideologien, Verfassung	Wahlen, Verfas-sung
Religion	Kontingenzaus-schaltung, Glau-benssicherheit, Diakonie	Glaube	Bilder, Glaubens-bekennt-nisse	Glaubens-bekenntnis, Gebet	Sinn, Glaube	„Grundlosig-keit“, Kontin-genz	Sinngebung, Welterklä-rung	Immanenz/ Transzen-denz	Offenbarung, heilige Schrift, Dogmatik	Kirche, Gebote
Kunst	Innovation, Refle-xion/Beobachtung der Welt, Ver-arbeitung Wider-sprüche	Empfindungen, Geschmacks-urteile, Kunst-werke, Aus-sagen	Kunst-werke	Gefühlsaus-druck, Darstellung	Empfindung, Geschmack, Widerspruch, Ästhetik	Widersprü-che, Gefühls-verarbeitung	Schönheit, Anregung, Innovation	Schön/ hässlich; stimmig/ nicht st.	Stile	Kritiken
Massen-medien	Kommunikations-asymmetrisie-rung, Forum öffentlicher Mei-nung, Information und Unterhaltung	Informationen („Mitteilungen“)	„Medien“, Berichte, Zeitschrif-ten etc.	Publikation, Verbreitung, „Mitteilung“	Information	Informations-menge, Neu-gier	Information, Unterhaltung	Informa-tion/Nicht-information	Öffentliche Meinung (“antizipierte“)	Zensur
Techno-logie	Fortschritt, Effi-zienz, Arbeits-erleichterung, Überlebensfähig-keit, Ausbreitung	Technologien, Entscheidun-gen, Erfindun-gen, Methoden, Produkte	Produkte, Patente, Veröffent-lichungen	Erfindung, Konstruktion, Entschei-dung	Idee, Erfindung, Methode	Effizienz, Aufwand, Überlebens-kampf	Effizienz, Nutzen, Un-terhaltung, Funktion	Nützlich/ nicht nützlich	Technologi-sches Para-digma, Inno-vation, Vision	Markt, Kunden, Entschei-dungen
Produkt-entwick-lung	Funktionserfül-lung, Fortschritt etc.	Methoden, Ent-scheidungen, Ideen, Repräsentationen, Modelle, Ideen, Entwürfe	Modelle, Repräsen-tationen	Konstruktion, Darstellung, Entschei-dung	Idee, Bau-raum, Funk-tionen	Erstellung wirtschaft-licher Pro-dukte, Funk-tionserfüllung	Wirtschaft-lichkeit, Funktions-fähigkeit, Innovation	Wirtschaft-lich/nicht wirtschaftl.; funktions-fähig/nicht funktionsf.	Wirtschaftlich-keit, Innova-tion, Vision	Methoden, Entschei-dungen

10.2 Anhang 2 – Prozessmuster wissenschaftlicher Arbeit

Im Folgenden werden die Prozessmuster wissenschaftlichen Arbeitens vorgestellt, die zu einem wissenschaftlichen Vorgehen flexibel zu konfigurieren sind. Die Sammlung der Prozessmuster erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie werden den einzelnen Phasen der Systementstehung (sowie übergeordneten Prinzipien und Prinzipien der Evolution) zugeordnet. Des Weiteren erfolgt ein Hinweis auf die mit dem Prozessmuster beantwortete Schwierigkeit sowie eine Differenzierung in Analyse und Synthese.

Grenzbildung

Die Grenzbildung beschreibt die Abgrenzung des Systems von seiner Umwelt und damit die Identifikation des Systems. Im Sinne des magisch-mystischen Erkenntnisweges spielt hier vor allem die Idee eine Rolle, die aus der Erfahrung gewonnen wird.

Tabelle 40: Prozessmuster der Grenzbildung

Prozessmuster Wissenschaft	Prinzip
Problemabgrenzung (Analyse/Synthese) Mit der Problemabgrenzung wird der Bezug des betrachteten Systems oder der Frage zur Umgebung hergestellt. Dabei ist zu beantworten – welche Organisationsebene (im Sinne der allgemeinen Evolution) betrachtet wird, – welcher reale Bereich betrachtet wird, – welcher Disziplin dieses zuzuordnen ist, – welches Funktionssystem im Falle soziokultureller Aspekte betroffen ist, – ob die Forschung in die Breite oder in die Tiefe geht, – ob das Ziel analytisch oder synthetisch ist, – wer der Beobachter mit entsprechenden Interessen und Hintergründen (Persönlichkeitstypen) ist. Dabei muss noch keine Zielrichtung der Forschung angegeben werden. Von der Hypothesengenerierung hängt jedoch die Problemabgrenzung nochmals iterativ ab. An dieser Stelle kommt aus auf eine erste Idee in Abhängigkeit von der Erfahrung/dem Gefühl an.	**Differenz** *Problem*: Bezugsrahmen, Widersprüche
Abgrenzung der Forschergruppe (Synthese) Hier wird bestimmt, wer an der Forschung beteiligt ist. Dadurch soll sichergestellt werden, dass gemeinsame Ziele verfolgt und umfangreichere Vorhaben ermöglicht werden.	**Zentralisierung** *Problem*: Komplexität
Erste Beobachtung (Analyse) Die erste Beobachtung dient in diesem Zusammenhang weniger der eigentlichen Forschung als vielmehr, Ideen und Ansätze für die eigentliche Forschung zu finden.	**Differenz** *Problem:* Bezugsrahmen

Erkenntnisse sind in klarem Bezug zum Betrachtungsgegenstand und zum Beobachter zu setzen, da Widersprüche meist nur durch unterschiedliche Bezüge existieren. Aussagen werden bedeutungslos, wenn nicht zumindest implizit der Bezugsrahmen festgelegt wird. Umgekehrt erlaubt eine explizite Betrachtung des Bezugsrahmens zu hinterfragen, in welchem Maß die Ergebnisse von dem Bezugsrahmen abhängen oder wann sie nicht mehr gültig sind. Die Zentralisierung (Paradigma) ermöglicht, dass umfangreiche Erkenntnisse, die nur durch mehrere Wissenschaftler oder Disziplinen erzielt werden können, möglich werden und dass eine gewisse Kontinuität erreicht wird.

Spezialisierung

Die Spezialisierung ist ein Kontingenzschluss zur Erreichung der Handlungsfähigkeit, d. h. eine Einschränkung der Möglichkeiten als Komplexitätsreduktion. Damit passen Systeme sich in das übergeordnete System ein. Im Rahmen des wissenschaftlichen Vorgehens ist dies der deduktiv-dogmatische Erkenntnisweg, der Resultate aus vorhandenen Erkenntnissen logisch schlussfolgert.

Tabelle 41: Prozessmuster der Spezialisierung

Prozessmuster Wissenschaft	Prinzip
Hypothesengenerierung (Synthese) Die Hypothese ist als Ausgangsbasis (auch implizit) notwendig, da man sich sonst in der Vielfalt der Möglichkeiten verliert; die Richtigkeit der Hypothese ist dabei unwesentlich („Bezug"); Die Hypothesengenerierung muss in Abhängigkeit von ersten Ideen, Stand der Forschung, dem Paradigma etc. eventuell mehrmals erfolgen und verfeinert werden. Zur Hypothesenformulierung gehören Ziel, Funktion und Anforderungen an die Forschung oder das Ergebnis. Die Hypothese kann auch als Frage formuliert werden, wobei geschlossene Fragen gegenüber offenen wegen ihrer Eindeutigkeit vorzuziehen sind. Dabei sind nach Möglichkeit messbare, quantitative Kriterien zur Bewertung der Ergebnisse und zur Überprüfung der Hypothese festzulegen. Die Hypothese ist somit als singuläre Existenzaussage oder als Allaussage zu spezifizieren.	**Kontingenzschließung** *Problem*: Hypothese, Bezugsrahmen
Stand der Forschung (Analyse) Der Stand der Forschung ist über Literaturrecherchen u. Ä. aufzuzeigen. Eine vollständige Darstellung ist dabei nicht möglich, vielmehr ist auf eine sinnvolle Abgrenzung und das Erreichen von Handlungsfähigkeit zu achten, d. h. die Informationsflut ist für Handlungsfähigkeit bewusst einzuschränken. Wird die Wissenschaft als Kommunikation aufgefasst, d. h. Erkenntnisse und Publikationen sind nur kurzlebige Kommunikationsmedien, reicht eine zeitlich begrenzte Recherche, da diese zumindest implizit die vorhergehenden Erkenntnisse beinhaltet. Dies verbietet jedoch nicht die Verwendung weiter zurück liegender Ansätze, wenn diese zur Handlungsfähigkeit beitragen.	**Kontingenzschließung, Spezialisierung, (Kommunikation)** *Problem*: Informationsflut, Kommunikation
Logische Herleitung (Synthese) Aus dem Stand der Forschung sind durch Kombination und Diskussion (Dialektik) neue Erkenntnisse und Hypothesen abzuleiten. Neben der formalen oder reinen Logik spielt hier aber auch Heuristik und Interpretation eine wesentliche Rolle.	**Kommunikation, Evolution** *Problem:* Kontinuität
Definition, Begriffsbestimmung (Synthese) Definitionen und Begriffsbestimmungen dienen einem klaren Verständnis der Aussagen. Problematisch sind Kreisschlüsse, d. h. dass Begriffe durch andere Begriffe zu beschreiben sind und damit, im abstrakten Bereich, Bezeichnendes und Bezeichnetes nie klar voneinander getrennt werden können. Trotzdem dient die Begriffsbestimmung der Überwindung von Subjektivität sowie der Kommunikation und verhindert das Entstehen von Widersprüchen.	**Bezug, Kontingenzschließ.** *Problem:* Subjektivität, Kommunikation, Widersprüche
Festlegung des Paradigmas (Synthese) Ähnlich wie die Hypothese ist auch das Paradigma festzulegen, in dem die Hypothese gültig ist. Dieses Paradigma beschreibt den übergeordneten Rahmen oder das Modell, in dem der Betrachtungsgegenstand gesehen wird. Betrachtet man die wissenschaftliche Praxis (dies gilt auch z. T. für andere Disziplinen), ist fraglich, ob diese Paradigmen jemals explizit formuliert oder bewusst sind, oder ob nur unbewusst in diesen Paradigmen gearbeitet wird.	**Kontingenzschließung** *Problem:* Bezugsrahmen
Festlegung des Vorgehens (Synthese) (auch *Strukturierung*) Innerhalb des Paradigmas kann das Vorgehen im Detail festgelegt werden. Dies verbindet die Problemabgrenzung mit dem Experiment, das hier gestaltet wird. Beim wissenschaftlichen Vorgehen kommt es weniger auf ein deskriptiv übliches oder präskriptiv richtiges Vorgehen an, als vielmehr auf eine präskriptive, gegebene Handlungsoption, die sich an bewährten deskriptiven oder reflexiv hergeleiteten Ansätzen orientiert.	**Kontingenzschließung (Reflexion)** *Problem:* Vorgehen, Analyse/ Synthese
Analogieschließung (Analyse/Synthese) Die Analogieschließung nimmt in diesem Zusammenhang einen Ansatz aus einem anderen Bereich und überträgt ihn auf ein neues „Problem". Dies kann vom Ansatz ausgehen oder vom Problem. Zu diesem Punkt gehören – die Wahl des Ansatzes (der Analogie), – das Anpassen (Abstrahieren, Umformulieren etc.) des Ansatzes – das eigentliche Übertragen des Ansatzes – die Analyse der Übertragung und der damit erzielten Resultate und schließlich – die Interpretation und Bewertung der Ergebnisse. Diese einzelnen Schritte rekapitulieren teilweise schon den gesamten Prozess der Forschung. Von Bedeutung ist hier, dass aufgrund von Subjektivität, Kontingenzschließung und der damit verbundenen Trennung von Modell und Realität praktisch jeder Ansatz auf	**Spezialisierung** *Problem:* Vorgehen, Betrachtungsgegenstand, Subjektivität

jeden Bereich übertragen werden kann. Kriterium ist weniger die generelle Möglichkeit als vielmehr die Nützlichkeit, die wiederum subjektiv ist.	
Aufbau von Prototypen (Synthese) Prototypen können als Spezialisierung, Hypothese und Experiment aufgefasst werden. Daneben stellen sie jedoch auch eine Gestaltung und somit ein besseres Verständnis des Betrachtungsgegenstands selbst dar.	**Kontingenz-schließung** *Problem:* Betrachtungs-gegenstand

Die Kontingenzbeschränkung ist wieder der wesentliche Aspekt der Spezialisierung, um aufgrund der Vielzahl von Möglichkeiten handlungsfähig zu werden. Da Wissenschaft von Entscheidungen abhängt, ist sie im weitesten Sinne nicht determiniert.

Strukturierung

Mit der Strukturierung werden das Problem und der Betrachtungsgegenstand so weit zerlegt, dass einzelne Erkenntnisse erreichbar und in das Gesamtbild eingefügt werden können. Dieser Bereich entspricht dem induktiv-experimentellen Weg, sodass hier Daten aus der Beobachtung gewonnen und strukturiert werden. Hier soll noch mal festgehalten werden, dass die Prozessmuster in den Tabellen keine (100%ige) Reihenfolge darstellen.

Tabelle 42: Prozessmuster der Strukturierung

Prozessmuster Wissenschaft	Prinzip
Dekomposition (Analyse) Die Dekomposition zerlegt das Problem und den Betrachtungsgegenstand in handhabbare Module, denen gegebenenfalls unterschiedliche Disziplinen zuzuordnen sind. Die Struktur, d. h. die Schnittstellen der einzelnen Teile sind dabei wichtiger als die Elemente selbst; dies wird bisher nur unzureichend berücksichtigt (z. B. statt auf die Verknüpfung biologischer und psychologischer oder psychologischer und soziologischer Prinzipen zu achten, werden Phänomene ausschließlich in einer Disziplin betrachtet). Die Strukturierung kann dabei zeitlich, begrifflich, räumlich, hierarchisch, vernetzt oder in Systemen erfolgen. Im Falle einer Systembetrachtung sind Kriterien zu deren Abgrenzung zu bestimmen. Insbesondere langfristige Forschung ist zeitlich aufzuteilen.	**Strukturierung** *Problem*: Komplexität, Disziplinen, Länge der Zyklen
Kombination (Synthese) Im Gegensatz zu Dekomposition sind die deduktiv und induktiv gewonnenen Erkenntnisse wieder zu einem Ganzen zusammenzuführen. Durch die Verknüpfung bisheriger und neuer Erkenntnisse ist die Kontinuität der Forschung explizit sicherzustellen.	**Strukturierung** *Problem*: Komplexität, Kontinuität
Datenbeschaffung, Beobachtung (Analyse[1]) Dies ist der wesentliche Punkt der Analyse des Betrachtungsgegenstands. Es kann unterschieden werden zwischen - reiner Beobachtung, - teilnehmender Beobachtung und - integrierter Reflexion (ethnografische Methode). In dieser Reihenfolge nimmt die Objektivität der Beobachtung ab, das Verständnis nimmt jedoch zu. Um genau zu sein, jede dieser drei Formen ist subjektiv, bei der reinen Beobachtung ist jedoch der Beobachter subjektiv, bei der integrierten Reflexion ist auch das Beobachtete Subjektivität ausgesetzt. Weitere Methoden der Datenbeschaffung sind Interviews, Fragebogen, Dokumentenanalyse und weitere, zum Teil sehr spezielle Methoden, die eine Detaillierung der vorher genannten darstellen.	**Strukturierung** *Problem:* Komplexität, Subjektivität, Analyse/ Synthese, Hinterfragen
Modellbildung (Synthese) Aus den Beobachtungen wird ein Modell gebildet (z. B. im Sinne oben angesprochenen Er-	**Doppelte Kontingenz-**

[1] Insbesondere hier gilt natürlich wieder die konstruktivistische Einheit von Handlung und Wahrnehmung.

klärungsmodells), das die Beobachtungen abstrahiert und reduziert und im Folgenden eine Simulation des Betrachtungsgegenstands erlaubt. Die Modellbildung ist eng verknüpft mit der Hypothesenformulierung und der Beobachtung oder stellt deren Verknüpfung dar. Hier ist klar zu unterscheiden, was dargestellt werden soll und wie (womit) es dargestellt werden kann. Dafür ist zu hinterfragen, ob und inwieweit sich die Struktur des betrachteten Systems schon verfestigt hat. Ansonsten bleibt zu berücksichtigen, dass sich Modell (Hypothese, Theorie) und Realität (Experiment, Beobachtung) gegenseitig beeinflussen.	**schließung** *Problem:* Subjektivität
Auswertung und Interpretation (Analyse/Synthese) Eng verknüpft mit der Modellbildung werden die Daten und Beobachtungen ausgewertet und/oder interpretiert. Von besonderer Bedeutung sind hier statistische Analysen (multivariate Analysemethoden, multiple Grundratenversuche u. Ä.) oder hermeneutische (interpretative) Vorgehensweisen. Ein Vergleich externer („objektiv“) und interner („subjektiv“) Beobachtungen bringt hier tiefere Erkenntnisse, bedarf aber einer gewissen Offenheit.	**Doppelte Kontingenz-schließung** *Problem:* Subjektivität, Komplexität
Versuchsplanung (Synthese) Um die Komplexität zu begrenzen sowie die Subjektivität und Theoriegebundenheit zu vermindern, sind Experimente und Versuche genau zu planen. Dies beinhaltet, – die Umgebung so zu gestalten, dass eine Beobachtung möglich ist (Labor), und – den Betrachtungsgegenstand so einzuschränken, dass einzelne Merkmale genau identifiziert werden können. Ein Experiment wird damit von einer Beobachtung unter Laborbedingungen dergestalt abgegrenzt, dass es speziell zur Evaluation einer Hypothese entwickelt wurde; dies wird durch Methoden der statistischen Versuchsplanung oder des Design of Experiments unterstützt.	**Strukturierung, Kontingenz-schließung** *Problem:* Komplexität, Subjektivität, Hinterfragen
Experiment (Analyse) Es folgt die eigentliche Durchführung des Experiments, das sich je nach Art der Hypothese als Falsifikation oder Bestätigung darstellt. Störende Einflüsse sind auszuschalten oder zu dokumentieren. Daneben ist durch – Wiederholungen oder – Vergleichsgruppen eine Vergleichsmöglichkeit (Bezug) der Ergebnisse herzustellen. Auch Feldversuche und Versuch-und-Irrtum-Vorgehen fallen in dieses Muster.	**Strukturierung, Kontingenz-schließung** *Problem:* Evaluierung, Subjektivität
Hypothesenüberprüfung, Auswertung, Evaluation (Synthese) Zuletzt müssen die Ergebnisse des Experiments ausgewertet mit der Hypothese verglichen werden. Neben der schon angesprochenen Vergleichsgruppe oder parallelen Versuchen sollten hier auch Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen mit einbezogen und als erster Schritt eines kritischen Hinterfragens Zweifel (evtl. mit weiteren Experimenten) widerlegt werden. Aussagen können auch gemacht werden, wenn es *nicht* gelingt, eine Hypothese zu beweisen. Gegebenenfalls sind Hypothesen nicht zu verwerfen, sondern nur anzupassen.	**Strukturierung, Kontingenz-schließung** *Problem:* Evaluierung, Komplexität

Ansatz der Strukturierung ist die Zerlegung des Betrachtungs- oder Forschungsgegenstands in analysierbare Objekte, in dem Sinne, dass Experimente sie exakt untersuchen können. Von Bedeutung ist die zeitliche Dekomposition in einzelne Analyse- und Syntheseschritte.

Prozesssteuerung

Die Prozesssteuerung fokussiert auf die Interaktionen zwischen den Elementen des Systems, wobei keine starren Prozesse betrachtet werden, sondern flexible Prozessmuster. Dies entspricht dem in Kapitel 3 verfolgten Ansatz. Im Sinne des deduktiv-theoriekritischen Erkenntnisweges werden hier Ergebnisse überprüft und verändert. Der Fokus liegt ab hier nicht mehr auf der einzelnen Erkenntnis, sondern auf dem Prozess der Erkenntnisverfeinerung.

Tabelle 43: Prozessmuster der Prozesssteuerung

Prozessmuster Wissenschaft	Prinzip
Dekomposition/Modularisierung (Analyse/Synthese) Hier werden Ergebnisse und ganzheitliche, starre Ansätze wieder zerlegt, um über flexibel miteinander verknüpfbare Module (z. B. Prozessmuster) ein höheres Maß an Komple-	**Prozess-steuerung** *Problem*:

xität zu erreichen. Gleichzeitig werden Prozesse (ebenso andere Ergebnisse) auf elementare Aktionen (u. Ä.) zurückgeführt, um diese mit anderen Ansätzen zu vergleichen.	Hinterfragen, Wirksamkeit
Kommunikationsanalyse (Analyse/Synthese) Die Ergebnisse sind zu abstrahieren, auf die in ihnen enthaltene Kommunikation sowie die verwendeten Medien hin zu untersuchen und aus dieser Sichtweise zu beschreiben. Dazu gehört auch die Übersetzung unterschiedlicher Medien in unterschiedlichen Systemen. Dies beleuchtet den eigentlichen Zweck und die Funktionsweise des Ergebnisses als System. Zur Vereinfachung kann hier die langfristige Veränderung des Ergebnissystems betrachtet werden. Die Kommunikationsanalyse soll schließlich ermöglichen, eine neutrale, systemische Beschreibung des Ergebnisses zu erlangen, die zwischen Disziplinen ausgetauscht werden kann.	**Kommunikation** *Problem:* Hinterfragen
Zeitliche Einordnung/Kausalitätsanalyse (Analyse/Synthese) Aus der Kommunikation des Systems kann nach den Systementstehungsprinzipien eine zeitliche Einordnung erfolgen („Wie sah die Strukturierung aus?“, „Wie sah die Grenzbildung aus?“, „Wie wird die Reflexion aussehen“?). Hier ist, entsprechend der Betrachtung eines einzelnen Elements im Systemfluss, zu betrachten – welche Gründe und Folgen das System hat, – welche Ein- und Ausgangsgrößen das System besitzt und – woraus sich das System entwickelt hat und wohin es sich entwickelt. Bei der zukünftigen Entwicklung sollte gefragt werden, was das eigentliche Ziel der Ergebnisse ist (teleologische Betrachtung). Die Kausalitätsanalyse sollte auch Bedingungen für die Ergebnisse, „Wenn-dann“- oder „Je-desto“-Aussagen enthalten und faktische Konsequenzen aus der Erfahrung oder der Geschichte betrachten. Diese Analyse kann der Kommunikationsanalyse vorausgehen, auf ihr aufbauen oder sie ersetzen, falls die Identifikation der Kommunikation nicht gelingt.	**Zeitbezug** *Problem:* Kontinuität, Wirksamkeit, Sozialer Prozess, Fortschritt
Dokumentation (Synthese) Dokumentation ist die Grundlage, dass auch die Wissenschaft als aus Kommunikation/ Medien bestehendes System aufgefasst werden kann und entsprechende Komplexität zu verarbeiten in der Lage ist. Bei der Dokumentation ist zu berücksichtigen, dass – diese möglichst systemtheoretisch neutral erfolgt (zum Austausch zw. Disziplinen), – Analyse und Synthese adäquat darstellt (Vorgehen muss nachvollziehbar sein), – Ergebnisse kritisierbar ohne Absolutheitsanspruch formuliert sind und – nur dokumentiert wird, wenn es einen Unterschied macht (s. „Information“).	**Kommunikation** *Problem*: Sozialer Prozess, Subjektivität
Diskussion/Kommunikation (Analyse) Neben der Dokumentation ist die Diskussion auch in direktem Kontakt möglich. Grundsätzliche Ziele sind, – die Kommunikation aufrechtzuerhalten, – Ergebnisse einer Kritik auszusetzen (theoriekritische Phase) und somit – eine kontinuierliche Dialektik zu ermöglichen. Hierfür sind die Aspekte der Kommunikation Information, Mitteilung und Verstehen sowie Genauigkeit, Semantik und Effekt zu berücksichtigen. Ergebnisse sind nicht als objektive Wahrheiten, sondern als Kommunikation von subjektiven Erkenntnissen aufzufassen und zu vermitteln. (In diesem Sinne ist Zitation auch nicht „Mittel zum Zweck“, sondern Teil der Kommunikation).	**Kommunikation** *Problem*: Sozialer Prozess, Subjektivität, Zitieren, Wissenschaftsverständnis, Nicht-wissenschaftliche Ziele
Anpassung (Synthese) In der Kommunikation sind die Ergebnisse anzupassen, zu verwerfen und weiterzutragen sowie Alternativen zu bilden. Dieser Prozess entspricht der biologischen Evolution.	**Evolution** *Problem:* Unvollständigkeit

Insbesondere beim Zeitbezug ist zu berücksichtigen, dass sich die Umwelt radikal ändern kann, sodass Ergebnisse irgendwann ihre Bedeutung verlieren können. Daher ist die langfristige Entwicklung zum Teil aus dem wissenschaftlichen Vorgehen auszublenden. Allerdings sollten offensichtliche Entwicklungen (z. B. stärkere Rechnerleistungen) nicht vollkommen ignoriert und Ergebnisse nur auf die aktuellen Möglichkeiten bezogen werden.

Reflexion

Hier wird das wissenschaftliche Vorgehen selbst betrachtet. Als dialektisch-materialistischer Erkenntnisweg geht es hier um die reflektierende Anpassung und Vertiefung der Ergebnisse in der praktischen Anwendung.

Tabelle 44: Prozessmuster der Reflexion

Prozessmuster Wissenschaft	Prinzip
Vertiefung der Ergebnisse (Analyse) Die Ergebnisse können und sollten durch ein kritisches Hinterfragen vertieft werden. Hierzu können verschiedene Methoden herangezogen werden: – **Wechsel des Bezugsrahmens**: untersucht, wie die Ergebnisse in einem anderen Bezugsrahmen, in einem anderen Paradigma, auf ein anderes Problem angewandt etc. wirken – **Relativierung**: untersucht, inwiefern Beobachter, Raum- oder Zeitbezug etc. die Ergebnisse beeinflussen und wie diese ohne diesen Bezug aussehen würden; hier wird auch die Subjektivität explizit betrachtet – **Etymologische Methode**: hinterfragt, was die eigentliche Bedeutung von Ausdrücken (oder Ansätzen) war, die herangezogen wurden, und überträgt diese auf das entwickelte Ergebnis – **Fremdsprachenmethode**: hinterfragt, wie sich die Ergebnisse durch Hin- und Herübersetzen verwendeter Begriffe verändern – **Einordnung**: untersucht, welche Bedeutung und welche Funktion die Ergebnisse im übergeordneten Zusammenhang (und auf weiteren Ebenen darüber) haben; ebenso kann untersucht werden, welche Auswirkungen sie auf untergeordnete Ebenen haben (oder welche Bedingungen diese wiederum erfüllen müssen) – **Widerspruchsbetrachtung**: ein Widerspruch zu dem Ergebnis muss mit diesem vereint werden; wenn ein solcher Widerspruch nicht offensichtlich ist, sollte dieser herbeigeführt oder konstruiert werden – **Hinterfragung Modellbildung**: detailliertes Hinterfragen, was eigentlich mit dem Modell/mit der Erkenntnis erklärt wird (Trennung Modell und Realität), d. h. bewusst davon ausgehen, dass die Realität noch mal etwas anderes ist	**Subjektivität, Bezug** *Problem*: Hinterfragung, Subjektivität
Überprüfen der wissenschaftlichen Richtigkeit (Analyse) Auch für die Überprüfung des wissenschaftlichen Vorgehens können unterschiedliche Methoden herangezogen werden: – **Umkehr der Sichtweisen**: nachdem die Ergebnisse in einem Paradigma gefunden werden, ist jetzt die Frage, welche Auswirkungen das als richtig angenommene Ergebnis auf das Paradigma hat; gleiches gilt für die Auswirkungen auf den Bezugsrahmen, die Umwelt, den Beobachter etc. – **Bewusste Nicht-Akzeptanz**: es wird angenommen, die Ergebnisse stimmen nicht; dann ist danach zu suchen, warum sie nicht stimmen und warum sie dennoch so dargestellt wurden – **Bewusste Akzeptanz**: trotz Zweifel der Richtigkeit werden die Ergebnisse akzeptiert, indem nur gefragt wird, welchen Nutzen man aus ihnen ziehen kann (z. B. Anregung, die keiner Richtigkeit bedarf) – **Nichtwissenschaftlichkeit konstatieren**: nachdem der Wissenschaftlichkeitsanspruch angezweifelt wird, ist die Frage zu stellen, was getan werden müsste, damit die Ergebnisse wissenschaftlich werden. Astrologie müsste zur Erfüllung der Wissenschaftlichkeit[1] z. B. entweder statistisch signifikante Analysen oder ein gutes Erklärungsmodell liefern – **Hypothesenumkehr**: es ist zu untersuchen, ob nicht auch die entgegengesetzte Hypothese „bewiesen“ werden kann	**Subjektivität** *Problem:* Subjektivität, Vorgehen, Evaluierung

[1] Wobei spekulativ ihre praktische Zielsetzung einer wissenschaftlichen Erklärung widerspricht, da sie auf dem magisch-mythischen Glaubensprinzip basiert.

– **Psychologische Interpretation**: im ersten Schritt ist anzunehmen, dass die Ergebnisse nur subjektive Interpretation sind; im zweiten Schritt ist zu untersuchen, welche Bedeutung diese psychologischen Aspekte für die Realität haben	
Betrachtung der Ästhetik (Analyse) Die Betrachtung der Ästhetik hat neben einer ethischen und rein ästhetischen Komponente auch Bezug zur Gültigkeit der Ergebnisse. Nimmt man an, dass ästhetisches Empfinden durch eine evolutionäre Anpassung des Menschen an „richtige" Phänomene entstanden ist, können im Umkehrschluss ästhetische Phänomene als „richtig" angenommen werden. Dies ist ein Paradebeispiel doppelter Kontingenzschließung oder des Bezugswechsels (nicht das menschliche Empfinden leitet die Evolution, sondern die Evolution lenkt die Entwicklung der menschlichen Empfindung), der auf viele evolutionär entstandene menschliche Empfindungen angewandt werden kann.	**Doppelte Kontingenzschließung** *Problem:* Hinterfragen, Kontinuität
Sicherstellen der Weiterverwendbarkeit (Synthese) Als erstes ist hierfür die Kommunizierbarkeit und Lehrbarkeit der Ergebnisse gefragt. Komplexe, umfangreiche Erkenntnisse sind soweit zu vereinfachen (Prozessmuster), dass sie kommuniziert werden können. Um die Ergebnisse, die zumeist eine längere Entwicklung vorausgreifen, auch wirklich umzusetzen, ist nach dem nächsten Schritt ausgehend von der aktuellen Situation in Richtung des Ziels zu fragen. Bei deskriptiven Ergebnissen ist zu fragen, ob diese in präskriptive umgewandelt werden können. Präskriptive Ansätze sind zu hinterfragen, ob sie auch als deskriptive Beobachtungen vorgestellt werden können. Schließlich sind auch Effekte, die der eigentlichen Zielsetzung entgegenwirken, anzunehmen, wenn die Erkenntnisse so umgesetzt werden.	**Reflexion, Zeitbezug** *Problem*: Wirksamkeit, Kontinuität
Steigerung der Komplexitätsverarbeitungskapazität (Synthese) Das höchste Maß an Komplexitätsverarbeitung wird durch Reflexion erreicht. Dieses Prinzip auf die Wissenschaft zu übertragen, bedeutet, die Ergebnisse auf sich selbst anzuwenden und damit zu adaptieren. Hieraus entsteht ein unendlicher Prozess, der die Ergebnisse ständig an neue Randbedingungen anzupassen vermag. Hierdurch ist eine Selbstorganisation des entwickelten Systems herzustellen.	**Reflexion** *Problem*: Komplexität, Kontinuität
Integration anderer Disziplinen, disziplinäre Reflexion (Analyse/Synthese) Bei den Schnittstellen zu anderen Disziplinen ist zu untersuchen, – wie andere Disziplinen den Betrachtungsgegenstand und das Ergebnis sehen würden, – wie andere Disziplinen die eigene Disziplin betrachten und – wie andere Disziplinen sich selbst betrachten. Dies ermöglicht eine kritische Betrachtung und ein kritisches und erweitertes Selbstverständnis. Des Weiteren gehören neben der allgemeinen systemtheoretischen Formulierung hierzu eine gemeinsame Zielsetzung und die Aufgabe des Alleinstellungsanspruchs.	**Reflexion** *Problem:* Disziplin, Bezugsrahmen

Wissenschaftliches Arbeiten definiert sich letztendlich über die reflexive Betrachtung.

Genese

Hier werden die wissenschaftlichen Erkenntnisse in die Realität getragen. Im Sinne der Aktionsforschung geht es vor allem um die Intervention in reale Systeme.

Tabelle 45: Prozessmuster der Genese

Prozessmuster Wissenschaft	Prinzip
Synthese (Synthese) Aus den Erkenntnissen sind anwendbare „Produkte" zu entwickeln, da sich die Wissenschaft im Wesentlichen in ihrer Anwendung und in der „Kultur" verfestigt. Für diese Synthese, die schon in der Prototypenentwicklung eine Rolle spielte, können Methoden der Produktentwicklung wie z. B. Kreativitätstechniken etc. angewendet werden. Aus wissenschaftlicher Sicht kann es hier sinnvoll sein, „Aggression" (Widersprüche, Extrempunkte, Gegensätze etc.) aufzubauen, um den Fortschritt zu unterstützen. Die Synthese umfasst ebenfalls (ähnlich der Analogiebildung) die Anwendung existenter Technologien (Computer, Datenbanken etc.) auf neue Bereiche oder Problemstellungen.	**Evolution, Pluralismus** *Problem*: Wirksamkeit, Kontinuität, sozialer Prozess

Implementierung (Analyse/Synthese) Die entwickelten Ergebnisse sind schließlich auch in der Zielumgebung zu implementieren. Dabei ist zumeist eine weitere Anpassung, sowohl der Ergebnisse als auch der Umgebung, notwendig.	**Evolution** *Problem:* Kontinuität
Umsetzung (Synthese) Die Umsetzung bezieht sich nun auf den Wissenschaftler: Hier, und das ist die eigentliche Bedeutung von „Genese“, ist es das Ziel, den einzelnen Menschen über die Wissenschaft zur Handlungsfähigkeit zu bringen. D. h. die wissenschaftliche Erkenntnis muss z. T. durch den Wissenschaftler selbst – immer wieder – zur Anwendung gebracht werden. Wenn die Systemtheorie dem Menschen die besondere Bedeutung genommen hat, wird sie ihm hier als reflektierender und handelnder Teil der kulturellen Entwicklung (Kommunikation) wieder gegeben.	**Evolution** *Problem:* Wirksamkeit, Subjektivität
Verifikation (Analyse/Synthese) Implementierung und Umsetzung sind die Grundlage für Rückmeldungen (Feedback), die auch noch separat sichergestellt werden muss. Diese erst ermöglicht einen übergeordneten Versuch-und-Irrtums-Prozess und stellt somit die Evolution wissenschaftlicher Erkenntnis sicher.	**Evolution** *Problem:* Evaluierung, Hinterfragen
Entwurf langfristiger Forschung (Synthese) Wird die bewusste Entwicklung der Umgebung mit in die Betrachtung gezogen, lässt sich auch langfristige Forschung planen. Hierfür sind Organisationsebenen, Disziplinen und zeitliche Abschnitte miteinander zu verknüpfen und dynamisch anzupassen.	**Evolution** *Problem*: Komplexität, Länge der Zyklen
Übergang zur Aktionsforschung (Synthese) Der Übergang zur Aktionsforschung erlaubt schließlich, die Grenze von Analyse und Synthese aufzuheben und nicht-wissenschaftliche Ziele zu integrieren. Er erlaubt schließlich auch einen Pluralismus der Erkenntnisse. Auf konkreter Ebene werden hierfür eine Vielzahl von Handlungsanweisungen angegeben (z. B. EBERHARD 1999, S. 56).	**Evolution** *Problem:* Analyse/Synthese, sozialer Prozess

Die Genese führt schließlich wieder zur Grenzbildung und damit zur Abgrenzung einzelner Bereiche. Gleichzeitig erlaubt die Genese, in Verbindung mit der Subjektivität, die Existenz von Widersprüchen, unterschiedlichen Modellen, Sichtweisen etc. Diese Entstehung verschiedener Systeme führt schließlich zum Bedarf unterschiedlicher Disziplinen. Widersprüche sind nicht grundsätzlich zu eliminieren, sondern für neue Erkenntnisse und die Synthese zu nutzen.

Übergeordnete Prinzipien der Systemtheorie

Zusammengefasst ergeben sich hier folgende Handlungs- oder Verständnisanweisungen, die mit den Prozessmustern zu verknüpfen sind.

Tabelle 46: Übergeordnete Prinzipien der Systemtheorie

Prozessmuster Wissenschaft
Emergenz (Teil – Ganzes) – Wahl der richtigen Organisationsebene (Betrachtungsgegenstand als System und als Teil des übergeordneten Systems) – Zusammenspiel der Wissenschaften beachten
Selbstähnlichkeit – Analogien zwischen Organisationsebenen (insbesondere, wenn betrachtete Ebene nur schwer wahrnehmbar ist) – individuelles Lernen als Teil der Wissenschaft betrachten (Ontogenese rekapituliert Phylogenese) – Richtigkeit von Ergebnissen und Erkenntnissen ergibt sich im soziokulturellen Prozess
Unvollständigkeit – keine vollständige Erfassung von Informationen möglich – keine vollständigen Klassifikationen etc. möglich

Unbestimmtheit
- Integration dialektisch-materialistischer Forschung und Aktionsforschung
- Effekte zur Erreichung eines gewünschten Zustands kritisch betrachten, z. B. aus der Sicht des intervenierten Systems

Prinzipien der Evolution

Die Prinzipien der biologischen Evolution, d. h. auf einer Organisationsebene, beziehen sich hier auf die Vermehrung und Selektion des Wissens.

Tabelle 47: Übertragung der Prinzipien der biologischen Evolution

Prinzip	Übertragung
Vermehrung	Wissenschaft lebt nicht von finalen Erkenntnissen, sondern von einer ständigen Vermehrung und Weiterentwicklung des Wissens.
Vererbung	Das Wissen basiert damit auch immer auf vorhergehendem Wissen. Wesentliche Punkte des Ausgangswissens bleiben in den neu erzeugten Erkenntnissen bestehen. Das vererbte Wissen ist das eigentliche Resultat.
Paarung	Neues Wissen ergibt sich aus der Kombination vorhandenen Wissens, das sich als „angepasst“ erwiesen hat. Dieser Nachweis ergibt sich jedoch wiederum aus der Weitervererbung selbst (Wissen, das sich weitervererben kann, ist angepasst).
Mutation	Bei der Weiterentwicklung kommen auch unvorhergesehene (zufällige) Veränderungen vor. Größere Veränderungen werden über Doppelfunktionen und die Neuinterpretation vieler kleiner Veränderungen erlangt.
Selektion	Als Gegenpol zur Vermehrung müssen wissenschaftliche Ergebnisse auch wieder aussortiert werden. In der Beherrschung der Informationsflut geschieht dies bewusst durch Widerlegung oder unbewusst durch Nichtberücksichtigung.
Einzellige Stufe	Bei der Weiter-/Neuentwicklung wissenschaftlicher Erkenntnis ist diese immer wieder auf ihren eigentlichen Kern zurückzuführen. Generell ist der Kernpunkt der Erkenntnis herauszuarbeiten.
Wachstum	Neben der Vermehrung spielt auch das Wachstum eines wissenschaftlichen Ansatzes eine wesentliche Rolle. Dies bedeutet, dass das System mit immer mehr Elementen ergänzt wird. Gleichzeitig sind diesem Wachstum jedoch auch Grenzen gesetzt (Paradigmenwechsel).
Genetische Codierung	Sowohl die Information (der eigentliche Ansatz) als auch dessen Interpretation (der Bezug) sind im wissenschaftlichen System miteinander zu verschmelzen. Die Bedeutung und die Anwendung (Interpretation) wissenschaftlicher Erkenntnis können dabei unterschiedlich erfolgen.
Struktur und Organisation	Es bleibt zu berücksichtigen, dass Realität (Struktur) unterschiedlich dargestellt (Organisation) werden kann. Die Differenzierung von Struktur und Element bedeutet auch in der Wissenschaft, dass entweder einzelne Elemente in der Gesamtstruktur ausgetauscht werden können oder sich die Struktur gleich bleibender Elemente ändert.
Wahrnehmung	Wissenschaftliches Arbeiten, sowohl synthetisch als auch analytisch, ist letzten Endes ein ständiges sich Anpassen in der Umwelt und dem Wissenschaftssystem. Dessen Bewertung hängt lediglich vom Beobachter des wissenschaftlichen Arbeitens selber ab.

Die biologischen Prinzipien angewandt auf die Wissenschaft verdeutlichen nur noch mal den evolutionären Fluss der Wissenschaft. Die biologische Evolution entspricht dabei der Weiterentwicklung des Systems auf einer Organisationsstufe und repräsentiert das wissenschaftliche Vorgehen („Rätsellösen“) in einem Paradigma. Die Paradigmenwechsel und dafür notwendigen Krisen können in der biologischen Evolution dem Auftreten umfangreicher Mutationen oder Anpassungen des Organismus sowie der Entstehung neuer Organisationsstufen gleichgesetzt werden.

10.3 Anhang 3 – Ethik, Ökologie und Ökonomie

Zur Kritik an der Systemtheorie nach Luhmann gehört der Vorwurf, der Mensch fände nicht ausreichend Berücksichtigung[1]. Auch BERTALANFFY (1969) z. B. zögert, seine Systemtheorie über den Menschen hinaus weiterzudenken. Es ist verständlich, dass man als Mensch oder komplexes psychisches System an seiner besonderen Stellung festhält. Besonders deutlich zeigt sich diese Problematik in der aktuellen Diskussion um Technik und Ethik, die auf einem humanzentrierten Moralkodex basiert. Die Unterscheidung „moralisch – unmoralisch“ oder „ethisch – nicht ethisch“ bedarf jedoch eines „moralischen“ Standpunktes, der wiederum vom unmoralischen Standpunkt nur durch einen weiteren moralischen Standpunkt (Beobachter) unterschieden werden kann.

Dieser unendliche Regress wird durch die subjektive und reflexive Identität des Menschen unterbrochen, der hier seine Ethik als soziales Überlebensprinzip formuliert. Dies ist aus systemtheoretischer Sicht für das System Mensch gerechtfertigt, kann jedoch nicht die letzte Wahrheit darstellen. Eine konsequente Systemtheorie muss dies als einen beliebig gewählten Bezugspunkt betrachten und Systeme jeder Organisationsebene gleich behandeln. Somit darf der Mensch zwar seine Position behalten, erhält jedoch keine a priori Vormachtstellung gegenüber anderen Systemen.

Die ethische Technikdiskussion befasst sich mit den Fragen der persönlichen, gesellschaftlichen und umweltgefährdenden Bedeutung der Technik z. B. durch Entfremdung, Unvorhersehbarkeit von Wechselwirkungen, bewussten und unbewussten Risiken etc. sowie mit konkreten technischen Fragen wie z. B. Gentechnik, Nukleartechnologie, Waffentechnik etc. Hieraus werden ethische Grundsätze und Ethikkodizes, Definitionen von Verantwortung, Bewertungsverfahren, Ausbildungskonzepte und Institutionen abgeleitet, die einen angemessenen Umgang mit neuen Technologien ermöglichen sollen. An dieser Stelle kann keine vollständige Erörterung der Thematik „Technik und Ethik“ erfolgen.[2] Vielmehr soll gezeigt werden, dass die Systemtheorie auch dieses Thema in ein neues Licht stellt.

LENK (1992) stellt fest, dass Menschen mehr können als sie dürfen. Für dieses „Dürfen“ bedarf es jedoch eines moralischen oder rechtlichen Standpunktes, d. h. einer Kontingenzschließung, die sich am Selbsterhalt orientiert.

HELLBARDT (1997) weist darauf hin, dass sowohl Ethik als auch Technik dynamische Prozesse sind, die einer ständigen Reflexion in der Gesellschaft bedürfen. Somit sind, im Sinne des Zeitbezugs, kategorische Ansätze nicht angebracht. Technik und „Freiheit“ (ANDERS 2002) bedingen sich dabei gegenseitig, d. h. im Sinne der Kontingenzschließung bringt Technik neue Möglichkeiten, *indem* andere Einschränkungen akzeptiert werden.

SACHSSE (1993) meint, dass Technik das Werk des Menschen ist und daher von ihm kontrolliert werden muss, während DETZER (1987) einsieht, dass Technikfolgen immer unvorhersehbar bleiben. HODGSON & PERDAN (2002) stellen fest: „Wenn die Natur stirbt, sterben wir auch.“ OESER (1993) sagt in diesem Sinne, dass Erde und Natur nicht als Ressourcen angesehen werden dürfen. Diese Trennung von Natur und Technik ist systemtheoretisch unzulässig; die Natur ist eine Ressource, darf jedoch nicht aufgebraucht werden. Gleichzeitig ist es unwahrscheinlich, dass die Natur vor uns stirbt; die Natur wird überleben, die Frage ist, ob wir auch überleben werden. Eine Kontrolle der Technik durch den Menschen ist nicht unbedingt notwendig, wenn Technik als höhere Organisationsstufe sich selbst zu kontrollieren vermag.

---

[1] Tatsächlich verwendet Luhmann auch nicht den Begriff „Mensch“, sondern eher „psychisches System“, „Bewusstsein“ oder im Zusammenhang mit Kommunikation „Personen“.

[2] Eine umfassender Stand der Forschung findet sich bei NAZAREWSKI 2003.

Ethische Deklarationen (MITTELSTAEDT 2001) sind im Sinne der Kontingenzschließung als Richtschnur notwendig, jedoch müssen sie die Betroffenen auch erreichen. Kritisch ist jedoch, dass sie zu abstrakt und ohne Bezug zur Praxis sind (BAUM 1983) und nicht mit dem Wettbewerbsdenken der Wirtschaft vereinbar sind (WEIL 2002). Dementsprechend weist GRUNWALD (1998) darauf hin, dass Ethik eine Reflexionsdisziplin als Angebot zur Komplexitätsverarbeitung ist. Es wird oft behauptet, dass ethische Grundsätze sich nicht an technischen Möglichkeiten orientieren dürfen und die Menschenwürde (der Gentechnik) vorgeht; dies widerspricht der Geschichte und der doppelten Kontingenzschließung von Technik und Kultur; der Begriff der Menschenwürde erscheint dabei noch abstrakter und undefinierter als jegliche Ethik. Um beim Beispiel der Gentechnik zu bleiben, stellte z. B. auch der Philosoph Peter Sloterdijk fest, dass der Mensch sich seit jeher in einem fortlaufenden Optimierungsprozess befinde und eine gentechnische Manipulation seiner selbst zu seiner Natur gehöre. Dies entspricht dem Erreichen der Systemstufen Reflexivität und Genese; nicht das Eingreifen ist problematisch, sondern dessen Unkontrollierbarkeit. *Teller* (nach LENK & ROPOHL 1993) schließt, dass der technische Mensch das, was er verstanden hat, anwenden soll und sich dabei keine Grenzen setzen darf. Letzten Endes ist es nur eine Frage der Zeit, dass er es anwenden und sich keine Grenzen setzen oder gesetzte Grenzen überschreiten *wird*.

MACCORMACK (1993) stellt fest, dass Ingenieure im Gegensatz zu Medizinern weisungspflichtig sind und ihre Ziele nicht selbst bestimmen können. Dies widerspricht der Systemtheorie und stellt eher ein fehlgeleitetes, kulturelles Phänomen dar. NOHR (1997) konstatiert dementsprechend, dass Verantwortung im menschlichen Handeln liegt und nur der einzelne Mensch Verantwortung übernehmen kann. Dass der Ansatzpunkt hierfür in der Ingenieurausbildung oder sogar schon in der Schulbildung und einer entsprechenden kulturellen Erziehung liegt, zeigt z. B. SPIER (2002) auf. Schwierig ist, dass es sich dabei um einen langfristigen Prozess handelt; im Sinne der Systemtheorie kommt es aber nicht auf die Lösung, sondern auf den ersten Schritt zum Umdenken an.

Fast man die Diskussion um Technik und Ethik zusammen, kann kritisiert werden, dass

- eine zu starke Humanorientierung stattfindet,
- Ansätze (wie Ethikkodizes) nicht praxistauglich sind und
- endgültige Lösungen angestrebt werden.

Im Sinne der Systemtheorie kommt es jedoch darauf an

- ein langfristiges, in sich selbst schlüssiges und sich erhaltendes („autopoietisches“) System zu etablieren,
- die Ausbildung, möglichst schon in der Schule, hin zu ethischem Verhalten auszurichten und somit
- selbstverantwortliches Handeln zu betonen.

Im Rahmen des Selbsterhalts (auch „Nachhaltigkeit“) weist STERK (2003) darauf hin, dass die Ökonomie ein Subsystem der Ökologie sei. Da Unternehmen im Funktionssystem Wirtschaft „nur“ ökonomische Interessen verfolgen, Ökologie jedoch ohne eigenes Funktionssystem auskommen muss und nur partiell von Politik, Recht etc. vertreten wird, kommt es hier zu Interessenkonflikten. Die systemtheoretische Lösung müsste so ansetzen, dass Ökonomie wieder Teilsystem der Ökologie wird, d. h. Bezugsrahmen des Mediums Geld müssten ökonomische Interessen (Ressourcen, Natur, Umwelt etc.) sein und sich zumindest teilweise von Arbeit und Besitz trennen.[1]

[1] z. B. durch höchste Besteuerung von Ressourcenverbrauch anstatt von Arbeit, die somit „unattraktiv“ wird

10.4 Anhang 4 – Kriterien Individualisierungs- und Standardisierungsmaßnahmen

Marketing	
– Funktionserfüllung (Unter-, Übererfüllung), Zusatzfunktionen, Kompromisse – Länderspezifika – Kundenspezifika – Anforderungsspezifika – Größe der Zielgruppe – Kundeninteraktion und Kundenbindung – Differenzierung gegenüber Wettbewerb Image/Werbung – Reaktion auf Marktschwankungen	– Überproduktion – Lieferzeit – Qualität (auch durch Lerneffekte und höheren Entwicklungsaufwand) – Überforderung des Kunden – Exoten – Gewicht – Design – Differenzierung vs. Identität (Kunde)
Entwicklung	
– Änderungsaufwand (nachträgliche Änderungen), Pflege – Innovationsförderung/-verhinderung – Lebenszyklusmanagement – Abgrenzen von Umfängen, Simultaneous Engineering – Stückzahlabhängiger Entwicklungs-/Optimierungsaufwand	– Entwicklungsrisiko Produktspektrum – Entwicklungsrisiko Derivate – Dokumentationsaufwand – Tests, Versuche, Absicherungsmaßnahmen – Identifikation mit Produkt – Entwicklungszeit (Time to Market) – Reorganisation – Kerneigenleistung
Produktion	
– Anzahl Serienanläufe – Skaleneffekte (Rüstkosten, Lerneffekte, Technologien, Maschinenauslastung etc.) – Ressourcenschwankungen – Arbeitsbedingungen in Produktion – Automatisierung – Fertigungstiefe – Investitionsbedarf	– Fehlermöglichkeiten durch Teilevielfalt – Ausschuss – Optimierung und Steuerung der Produktionsprozesse – Montagereihenfolge – Vormontierbarkeit – Prüfbarkeit – Prozesssicherheit
Einkauf/Logistik	
– Lagerhaltung Endprodukte – Lagerhaltung Bauteile, Rohmaterialien etc. – Stückzahleffekte – Wareneingangskontrolle/Abnahme	– Anzahl Zulieferer – Flexibilität der Zulieferer – Handhabung der Teilevielfalt – Transportkosten
Service	
– Anzahl Vorführmodelle – Schulungsaufwand etc. im Vertrieb – Reparatur- und Austauschmöglichkeiten	– Ersatzteilversorgung – Produktflexibilität
Sonstiges	
– Transparenz der Kosten – Umweltgerechtigkeit – Recycling	– Weiterverkauf – Kosten (Einzel-, Gemeinkosten etc.)

10.5 Anhang 5 – Klassifikation des Individualisierungsansatzes

Merkmale	**Ausprägungen**						
Kunde	Endverbraucher	Zwischenhändler	OEM				
Auftragsaus-lösungsart	Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen	Produktion auf Bestellung mit Rahmenaufträgen	Kundenanonyme Vorpro-duktion/auftragsbezogene Endproduktion	Produktion auf Lager			
Kundenwünsche/ Freiheitsgrade	Sind sehr unscharf	Betreffen Freiheitsgrade	Betreffen Bauteile	Betreffen Funktio-nen/Anforderungen	Betreffen Anforderun-gen/Eigenschaften		
Aufnahme des Kundenwunsches	Kunde gibt Eigenschaften und Wünsche an (Bottom up)	Kunde beginnt mit Standardprodukt und gibt Änderungswünsche an (Top down)					
Beratung des Kunden	Kunde spezifiziert sein Produkt am Rechner selbst	Kunde spezifiziert Produkt selbst, bei Bedarf Beratung	Kunde und Berater spezifizieren Pro-dukt gemeinsam	Kunde wird beraten und Berater spezi-fiziert das Produkt			
Kundenprofil	"Konfiguration"/Kundenprofil wird gespeichert	Individualisierung immer wieder neu					
Interaktionsformen	Persönlich in Minifabrik	Über Multimedia	Über Vertreter	Über herkömm-liche Wege	Über Service Provider		
Leistung (Angebot)	Produkt	Produkt-Leistungsbündel	Leistung				
Angebotenes Produktspektrum	Beliebiges Produkt	Eine spezielle Produktgruppe	Eine spezielle Produktart	Ein spezielles Produkt			
	Erzeugnisse nach Kundenspezifikation	typisierte Erzeugnisse mit kundenspezif-ischen Varianten	Standarderzeug-nisse mit Varianten	Standarderzeug-nisse ohne Varianten			
Produktspektrum	Komplette Produkte	Einzelne Komponenten					
Erzeugnisstruktur	mehrteilige Erzeugnisse mit komplexer Struktur	mehrteilige Erzeugnisse mit einfacher Struktur	gering-/einteilige Erzeugnisse				
Preisklasse	<10 €	10 – 100 €	100 – 1.000 €	1000 – 10.000 €	>10.000 €	>100.000 €	
Qualität/Segment	Billigprodukt	Normale Qualität	Premiumsegment				
Art des Produkts 2	Mechanisch	Elektrisch	Software	Mechatronisch			
Grenzen des Produktspektrums	keine Grenzen (nach Ermessen des Beraters)	Produkt darf be-stimmte Eigen-schaften nicht haben	Produkt muss bestimmte Eigenschaften oder Funktionen haben	Grenzen sind vorbestimmt			
Konditionen des Produktspektrums	Kunde bekommt alles (aus dem Produktspektrum) zu angemessenen Konditionen	Kunde kann alles bekommen, jedoch zu entsprechenden Konditionen, die ihm aufgezeigt werden					
Preis des individualisierten Produkts	Alle Produkte kosten das Gleiche, unab-hängig von Individu-alisierung	Kosten der Individu-alisierung werden nicht vollständig weitergegeben	Kosten der Indivi-dualisierung werden vollständig an Kun-den weitergegeben	Kunde muss für Individualisierung mehr zahlen (Prei-se), als diese kostet			
Stückzahl vergleich-baren Standardprod.	1	10	100	1.000	10.000	100.000	1.000.000 und mehr
	Einzelfertigung	Kleinserie	(Serienfertigung)	Massenfertigung			
Verschiedenartigkeit der Produkte	einzelne Unikate (Stückzahl 1)	ca. 10 Stück gleich oder sehr ähnlich	ca. 100 Stück gleich oder sehr ähnlich	ca. 1000 Stück gleich oder sehr ähnlich	> 1000 Stück gleich oder sehr ähnlich		
Potenzial der Mini-fabrik (Entwicklung)	zu Beginn festgelegt und nicht erweitert	Beginn festgelegt und nur bei Bedarf erweitert	zu Beginn nur bedingt fest-gelegt und ständig erweitert				
Kompetenzen der Minifabrik	Kompetenzen werden aufgeteilt und gemeinsam genutzt	Jede Minifabrik hat die gesamte Kompetenz zur Fertigung des Produktspektrums					
Fertigungstiefe	Minifabrik stellt alle Teile selbst her	Minifabrik bezieht Standardteile	Minifabrik bezieht spe-zifische Komponenten	Minifabrik montiert lediglich Endprodukt			
	groß	mittel	gering				

Merkmale	Ausprägungen			
Alternativen zu Standardprogramm	einziges Angebot	Angebot von Standardvariante aus Produktspektrum	Höherwertig in normalem Angebot	Alternativ zu normalem Angebot (Konkurrenz)
Festlegung des Lieferzeitpunkts	Minifabrik legt Lieferzeitpunkt fest: Standardwert	Minifabrik legt Lieferzeitpunkt fest: Lieferung möglichst schnell	Kunde legt Lieferzeitpunkt fest	
Vernetzung der Minifabriken	keine; selbstständige Firmen	Minifabriken tauschen Informationen aus, sonst selbstständig	Minifabriken tauschen Teile, Kompetenzen, Kapazitäten etc. aus	Minifabriken gehören zu einem zentralen Konzern
Mobilität Minifabrik	An einem festen Standort	mobil, z. B. als "Aktionscontainer"		

10.6 Anhang 6 – Checklisten

Tabelle 48: Checkliste der Kundeneigenschaften

Merkmal	Ausprägung/Untermerkmal
Körperbau	Größe, Statur, Gewicht etc.
Geschlecht	Männlich, weiblich
Ausbildung	Schule, Universität, Lehre etc.
Beruf	Arbeitszeit/-dauer, Art der Tätigkeit, Verdienst, Hilfsmittel
Nationalität	Sprache, Religion, Gesetze, Normen
Soziale Schicht	Status, Vermögen etc.
Werte	Aussehen, Spaß, Umwelt etc.
Interessen	Hobbies, Sport, Kultur
Alter	Kind, jugendlicher, Erwachsener, Senior
Familienstand	Single, Paar, Familie
Psychologie	Persönlichkeitstypen
Physiologie	Gehörschäden, Sehstärke, Körperschwächen, Krankheiten, Konstitution (stark/schwach), Wärme-/Kälteempfindlichkeit etc.
Händigkeit	Links-/Rechtshänder

Tabelle 49: Checkliste der Umgebungseigenschaften

Merkmal	Ausprägung/Untermerkmal
Witterung	Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag
Anschlüsse	Wasser, Strom, Gas, Telefon, Internet
Lärm	Lärmempfindlichkeit, Lärmpegel
Bodenbeschaffenheit	Feuchtigkeit, Festigkeit, Unebenheit
Gebäude	innen/außen
Sauberkeit	Staub, Schmutz, Empfindlichkeit, Bedarf an Sterilität
Raumangebot	hoch, niedrig

Tabelle 50: Checkliste der Anwendungsfälle

Merkmal	Erklärung/Beispiel
Dauer	der einzelnen Nutzung, Lebenszeit
Häufigkeit	Regelmäßigkeit
Flexibilität	Änderung der Funktion o. Ä. über der Zeit

Merkmal	Erklärung/Beispiel
Ort	s. o., innen/außen etc.
Zeitpunkt	Tag/Nacht, Jahreszeit
Modus	Privat, beruflich, gewerblich
Zweck	Spaß, Transport, Reinigung, Information, Bildung, Bearbeitung, Werbung, Organisation
Bearbeitungsobjekt	Auto, Haus, Körper, Büro, Kleidung etc.

Tabelle 51: Checkliste Kundenwünsche und Freiheitsgrade

Merkmal	Untermerkmal
Bezug	Identität – Differenz
Zweck	Spaß, Funktion, Geltung, Ästhetik
Funktion	Ausstattung, Automation, Anwendung, Infotainment etc.
Design (Form)	Farbe, Oberfläche, Form, Stil, Erscheinungsbild, Typbezeichnung etc.
Technologie	Energieart, technische Merkmale, Elektronik, Software etc.
Leistung	Leistung, Geschwindigkeit, Funktionalität etc.
Maße	Länge, Breite, Höhe, Gewicht, Bauraum etc.
Ergonomie	Mensch-Maschine-Schnittstelle, Bedienung, Anzeigen, Komplexität, Anatomie, Sprache
Ökonomie	Kaufpreis, Unterhaltskosten, Reparaturkosten, Lieferzeit etc.
Ökologie	Verbrauch, Recycling, Verträglichkeit der Materialien, Herstellverfahren etc.
Struktur	Konfiguration, räumliche Anordnung
Flexibilität	Modularität, fest/änderbar/einstellbar/anpassend/allgemein
Komfort	Bequemlichkeit, Federung, Klima, ergonomische Anpassung, Automatisierung
Werkstoff	Material, Aussehen, Haptik – Rauheit, Temperatur, Gewicht)
Lebenslauf	Wartbarkeit, Internationalität, Weiterverkauf, Anzahl der Benutzer
Sicherheit	Aktive Sicherheit, passive Sicherheit, normal/gehoben/extrem
Qualität	Verarbeitung, Lebensdauer, Funktionserfüllung, normal/gehoben/extrem
Wahrnehmung	Sicht, Geruch, Haptik, Geschmack, Gehör
Service	Transport, Wartung, Verbrauchsstoffe, Recycling, Funktionsübernahme
implizit	*(s. o.) politische und soziale Strukturen, Wertauffassungen, Sprache, Anatomie, klimatische Bedingungen, Standards (z. B. Elektrik), Normen, Vorschriften, Richtlinien (insbesondere in Bezug auf Sicherheit)*
intern	*Produktionsstandorte, -ressourcen, Zuliefererpolitik, Branding, Entwicklungsressourcen*

Tabelle 52: Klassifizierung der Freiheitsgrade („Varianten“)

Merkmal	Ausprägung				
Produktebene	Produkt	Baugruppe	Bauteil	Geometrie	Eigenschaft
Bezug	Funktion	Komponente	Eigenschaft		
Struktur	Kann-Variante	Muss-Variante			
Wertebereich	binär	diskret skaliert	diskret unskaliert	kontinuierlich	
Begrenzung	keine	einseitig	zweiseitig		
Spezifikation	abgestuft	Zusätze	obligatorisch mit Standard	obligatorisch ohne Standard	
Variabilität	einmal festgelegt	anpassbar	variabel		

Tabelle 53: Checkliste weiterer Modularitätstreiber

Merkmal	**Untermerkmal**
Varianten	s. o. Freiheitsgrade: Funktion, Design, Technik/Technologie etc.
Fertigung/Montage	Montierbarkeit, Logistik, Handhabung
Standorte	Regionale Gegebenheiten, Produktionsstätten, Gesetze
Entwicklung/Organisation	Outsourcing, Kompetenzen, Einkauf
Wartung, Instandhaltung	Reparatur, Ersatzteile, Erreichbarkeit
Recycling	Demontierbarkeit, Weiterverwendung, Gebrauchtmarkt
Transport	Logistik, Handhabung
Kontrolle	Zugänglichkeit, Austauschbarkeit, separate Prüfbarkeit
Kosten	Gleichteile, Wiederholteile, Normteile, Standards
Upgrading	Austauschbarkeit, Erweiterbarkeit

Tabelle 54: Klassifizierung der Realisierungsmöglichkeiten

Merkmal	**Ausprägung**					
Umfang Varianz	Standard	Modular	Parametrisch	Prinzipiell	Individuell	
Zeitpunkt	Entwicklung	Fertigung	Montage	Auslieferung	Nutzung	…
Bezug	Struktur		Komponente			
Technik	Geometrie	Material	Funktion			
Technologie	Entwicklung	Produktion	Produkt			
Disziplin	Mechanik	Elektronik	Software			

Tabelle 55: Checkliste Realisierungsmöglichkeiten

Umfang	**Realisierungsmöglichkeit**
Standard	Anpassbarkeit (manuell)
	Flexible Materialien
	Software/Elektronik
	Symmetrie/Anordnung
	Übererfüllung von Funktionen
	Automatische Anpassung (z. B. elektronisch)
Modular	Standardschnittstellen
	Austausch von Modulen
	Austausch von Oberflächen
	Elementare Bausteine
	Multiplikation von Elementen
	Zusammenstellen externer Teile/Zubehör
	Unterschiedliche Serien/Modelle
	Ausschalten von Funktionen
	Nicht-materielle Schnittstellen
Parametrisch	Materialwechsel
	Parametrische Konstruktion
	Skalierung einfacher Bauteile

Umfang	Realisierungsmöglichkeit
Prinzipiell	Prinzipbeschreibung
	Service-Adaption, Dienstleistungen
Individuell	Manuelle Anpassung
	Freihalten von Bauraum

Tabelle 56: Checkliste Systeme

Merkmal	Untermerkmal
Baugruppen	Baugruppen, Module, „Systeme“, Montage
Disziplinen	Mechanik, Elektrik, Hydraulik, Software
Struktur	Gewicht, Tragsystem
Wirtschaftlichkeit	Kosten
Design	Design, Haptik, Geruch, Geräusch, Bedienung, Ergonomie
Funktion	Funktionen, Qualität, Sicherheit
Funktionen	Antrieb, Unterhaltung, Reinigung, Energiewandlung, Bremsen, Sicherung, Kommunikation, Regelung etc.

Tabelle 57: Checkliste Schnittstellen

Merkmal	Ausprägung/Untermerkmal
Verbindungsrichtung	Stoß, Winkel, Rotation
Abstand	ineinander greifend, Kontakt, definierter Abstand, beliebiger Abstand
Überdeckung	mit/ohne
Verbindungsart	starr/gelenkig/elastisch – Stoff-, Form-, Kraftschluss
Kontaktart	Punkt, Linie, Fläche
Verbindungsstruktur	Anordnung, Reihenfolge, Schaltungsart
Bezugssystem	Bezug, statische Bestimmtheit
Sichtbarkeit	sichtbar/nicht sichtbar
Montage	Montierbarkeit, Werkzeugbedarf
Anzahl der Teile	Anzahl Teile, Anzahl Verbindungsteile, Anzahl Berührungspunkte
Flexibilität/Service	lösbar/nicht lösbar, verstellbar
Dämpfung	elastische Glieder, Dämpfungsfunktion, Schwingungsempfindlichkeit
Fluss	Stoff, Energie, Information
Art	Standard, bekannt, nicht materiell, neu
Relevanz	Design, Sicherheit, Qualität, Komfort, Varianten, Funktionen
Funktion	Tragen, leiten, verbinden
Sonstiges	Zulieferer, Technologien, Schwierigkeiten, Disziplinen

Tabelle 58: Kriterien zur Anpassung der Methodik

Merkmal	Ausprägung
Nutzer	Marketing, Entwicklung, Produktion, Vertrieb
Organisationsstufe	Strategie, Management, operative Ebene
Branche	Elektronik, Software, Maschinenbau, Mechatronik, Konsumgüter (Lebensmittel, Bekleidung, Kosmetik), Möbel
Marktposition	Nischenmarkt, Massenmarkt, Marktführer

Merkmal	Ausprägung
Produkt	Komplexität, Anzahl Bauteile, Anzahl Varianten, Technologie (fortschrittlich, etabliert)
Softwarelandschaft	PDM-Systeme, Konfiguratoren, Datenbanken (allgemein)
Unternehmensgröße	groß, mittel, klein – Größe der Entwicklung, Größe der Produktion
Innovation	Produktoptimierung, neue Produktgeneration, neues Produkt, Innovation
Umsetzung	Rechner, Papier

Tabelle 59: Absicherungsbedarf

Kriterien	
Funktion	Dauerlauf
Gewicht	Sicherheit (z. B. Crash)
Missbrauch	Funktion nach Defekt
Maßhaltigkeit	Qualität/Anmutung
Klimaempfindlichkeit	Wiederholgenauigkeit

10.7 Anhang 7 – Rechnerhilfsmittel

Ein Rechnerhilfsmittel kann zwar nicht die alleinige Lösung zur Handhabung der Variantenvielfalt sein, jedoch die Verarbeitung von Komplexität in vielen Bereichen unterstützen. Im folgenden Abschnitt werden Werkzeuge beschrieben, die die Strukturplanung unterstützen oder auf einer Darstellung der Struktur variantenreicher Produktspektren aufbauen.

10.7.1 Stand der Technik

In Tabelle 60 sind allgemein Rechnerhilfsmittel mit Vor- und Nachteilen aufgeführt, die die Struktur komplexer Produktspektren verwalten, auf dieser aufbauen oder dazu dienen *könnten*, sie aufzubauen, d. h. im weitesten Sinne mit der Produktstruktur verknüpft sind.

Tabelle 60: Rechnerwerkzeuge mit Bezug zur Produktstruktur

Rechnerwerkzeug	Fokus	Vorteile	Nachteile
CAD – Computer Aided Design	Geometrieerstellung, z. T. parametrisch	direkter Bezug zur Geometrie, Visualisierung, Zusammenbau der Bauteile	kein Top-Down-Vorgehen, keine expliziten Schnittstellen, kein abstrakter Strukturaufbau
PDM/PLM – Product Data/Lifecycle Management	Verwaltung der Produktdaten (einschl. Produktlebenszyklus und Versionierung)	Handhabung großer Datenmengen, Regelung prozess- und organisationsübergreifenden Datenzugriffs	umständliche Bedienung, zu unflexibel, nur Hierarchie, keine Konstruktionsmethodik (Aufbau der Struktur in frühen Phasen)
PPS – Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme	Organisation der Ressourcen und Materialflüsse	Bezug zum Produktionsprozess, Berücksichtigung von Ressourcen (*Produktion*)	kein Bezug zur Entwicklung, Produktstruktur ist nur Basis zur Produktionsplanung
Konfiguratoren	Produktkonfiguration aus vordefinierten Bausteinen	Übersicht Wahlmöglichkeiten, Konfigurationsregeln, Kundenbezug (*Vertrieb*)	keine Unterstützung des Strukturaufbaus, schwieriges Nachvollziehen der Konfigurationsregeln
Ontologie-Editoren	Semantische Strukturierung von z. B. Web-Inhalten	Handhabung beliebiger Daten, umfangreiche Verknüpfungsmöglichkeiten	kein direkter Produktbezug, keine Unterstützung des Entwicklers, Reifegrad der Systeme

Rechnerwerkzeug	Fokus	Vorteile	Nachteile
Konstruktionsleitsysteme	Unterstützung des systematischen Entwicklungsprozesses	Prozessunterstützung, Dokumentation, Prozess-Teilautomation	keine Berücksichtigung von Varianten, Reifegrad der Systeme
VR/DMU – Virtual Reality/Digital Mock-Up	Visualisierung virtueller, intuitiver Produktmodelle	grafische Darstellung, intuitive Bedienung	kein direkter Strukturaufbau, keine abstrakte Darstellung
Workflowmanagementsysteme	Organisation der Prozesse (Arbeitspakete, Verantwortung)	Optimierung der Prozessabläufe, Unterstützung der „Kommunikation“	kein direkter Bezug zur Produktstruktur, schwach definierte Prozesse nur schwer abbildbar
Projektmanagementtools	Planung von Projekten	Übersicht des Projektablaufs, Ressourcenplanung	kein direkter Bezug zur Produktstruktur
Controllingtools	Kontrolle des Entwicklungsprozesses, vor allem Kosten	Kostenkontrolle, Verdichtung der relevanten Informationen	kein direkter Bezug zur Produktstruktur, kaum Bezug zum Entwicklungsprozess
CSCW – Computer Supported Collaborative Work	Unterstützung der Kommunikation und der Zusammenarbeit	Ortsunabhängige Kommunikationsplattform	kein direkter Bezug zur Produktstruktur
Datenmanagementsysteme[1]	Strukturierung beliebiger Dokumente, Zugriffsverwaltung	einfache Handhabung und Integration beliebiger Inhalte	nur hierarchische Struktur, kein direkter Bezug zum Produkt, keine Unterstützung des Entwicklers
Spezielle Datenbanken	Beliebige Datenbanken für bestimmte Zwecke	auf die speziellen Bedürfnisse angepasst	keine einheitliche Produktstruktur, sehr spezielle Schnittstellen zu anderen Systemen
Standardanwendungen	Erstellung beliebiger Dokumente	flexibel, leicht anwendbar, weit verbreitet	kein Bezug zur Produktstruktur, keine Entwicklerunterstützung

Allen gemein ist, dass sie den logischen und systematischen Aufbau der Produktstruktur oder Architektur nur bedingt unterstützen, zu starr sind, nicht durch den Prozess führen, auf vorhandenen Produktspektren basieren oder eine große Einarbeitungszeit benötigen. Darüber hinaus beruht eine Vielzahl von speziellen Anwendungen auf den methodischen Ansätzen aus Kapitel 5, z. B. der Complexity-Manager (SCHUH & SCHWENK 2001), ein relationales Datenbankkonzept (GEMBRYS 1998), objektorientierte Produktmodelle (GENDERKA 1994) oder Visualisierungsassistenten für PDM-Systeme (LESZINSKI 2000).

10.7.2 Werkzeug zur Strukturplanung

Aus den zuvor beschriebenen Schwachstellen existierender Werkzeuge ergibt sich der Bedarf, ein rechnerbasiertes System zur Unterstützung der Strukturplanung zu konzipieren. Die wesentlichen Anforderungen an ein solches System sind in Tabelle 61 aufgelistet. Kernpunkt des Werkzeugs ist der Aufbau des oben beschriebenen Produktmodells über Matrizen und Grafen, die miteinander verknüpft sind, sowie die Navigation durch das Produktspektrum zur Verarbeitung der Komplexität. Primäres Ziel ist dabei nicht, ein konsistentes Modell zu dokumentieren, sondern den Entwickler bei der Strukturplanung zu unterstützen, indem die Verknüpfungen des aktuell betrachteten Elements aufgezeigt werden.

[1] Speziell sei hier die Software TheBrain® genannt, die eine grafische vernetzte Strukturierung anbietet, jedoch nicht auf die Produktentwicklung ausgerichtet ist und keine Matrizendarstellung beinhaltet.

Tabelle 61: Anforderungen an ein Rechnerwerkzeug zur Unterstützung der Strukturplanung

Zentrale Anforderungen
– Darstellung und Speicherung des oben beschriebenen Produktmodells – Führen durch den Prozess der Strukturplanung (*Aufbau* der Struktur) – Unterschiedliche Sichten auf das Produktspektrum ermöglichen • über Tabellen, Matrizen oder Grafen • unterschiedliche Elemente • Bereiche ein-/ausblenden, zoomen etc. – Implementierung von Algorithmen zur Analyse (und Synthese) des Produktspektrums – Einfache Anwendung, nach Möglichkeit basierend auf Standardanwendungen – Schnittstelle zu anderen Systemen, z. B. CAD, PDM etc. – Kontinuierliche Anpassung des Produktspektrumsmodells – Gewichtung von Komponenten, Relationen etc. (nach technischer Bedeutung, Kundenbedeutung etc.) – Unterstützung der Kreativität des einzelnen Entwicklers (Fokus: individuelle, operative Ebene) – Top-Down-Vorgehen beim Strukturaufbau (aber auch bottom-up möglich)
Weitere Anforderungen
– Dreidimensionale Darstellung des Produktspektrums – Schnittstelle zu einzelnen Methoden – Darstellung unscharfer Informationen – Verknüpfung mit controllingrelevanten Informationen (Kosten etc.) – Konsistenz der Daten oder expliziter Umgang mit widersprüchlichen Inhalten – Nutzbar von unterschiedlichen Anwendern (Entwicklung, Produktion, Vertrieb etc.) – Dokumentation von Erfahrungswissen

Bild 59 verdeutlicht das Konzept des Werkzeuges,[1] das dem Entwickler ermöglicht

- über das Kontrollfenster Element- und Relationsarten zu verwalten, die Verknüpfungen eines Elementes zu betrachten sowie weitere Darstellungen aufzurufen,
- über die Matrixdarstellung jeweils zwei Elementarten miteinander zu verknüpfen und dabei die Relationen übersichtlich und vollständig zu betrachten,
- über die grafische Darstellung alle Verknüpfungen eines Elementes zu allen anderen Arten von Elementen zu betrachten und hier durch das Produktspektrum zu navigieren (z. B. durch „Anklicken“ eines Elementes, das dann ins Zentrum gerückt wird), Verbindungen aufzudecken und neue Elemente hinzuzufügen,
- über Listen und Tabellen Elemente zusammenzufassen oder zusammen einzugeben (z. B. alle Unterbaugruppen einer Baugruppe).

Das Vorgehen sieht tendenziell so aus, dass man im Kontrollfenster die zentralen Element- und Relationsarten anlegt. In der grafischen Darstellung bildet man die wesentlichen Komponenten und verknüpft sie miteinander. In der Matrixdarstellung vervollständigt man die Verknüpfungen; im Wechsel von Matrixdarstellung und grafischer Darstellung detailliert und analysiert man schließlich das Modell. Änderungen in einer Darstellung wirken sich dabei immer direkt auf die andere Darstellung aus.

Das Werkzeug kann die Strukturplanung unterstützen, indem es z. B.

- alle Verknüpfungen eines Elementes aufzeigt,
- beliebige Matrizen miteinander verknüpft und Inkonsistenzen aufdeckt,

[1] Prototypen des Werkzeuges sind umgesetzt, da jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht die Umsetzung im Mittelpunkt steht, wurde eine abstrahierte Darstellung gewählt.

- längere Ketten von Zusammenhängen ableiten kann,
- Einflussanalysen (Einflussmatrix) ermöglicht und
- relativ unabhängige Bereiche in der Struktur identifizieren lässt.

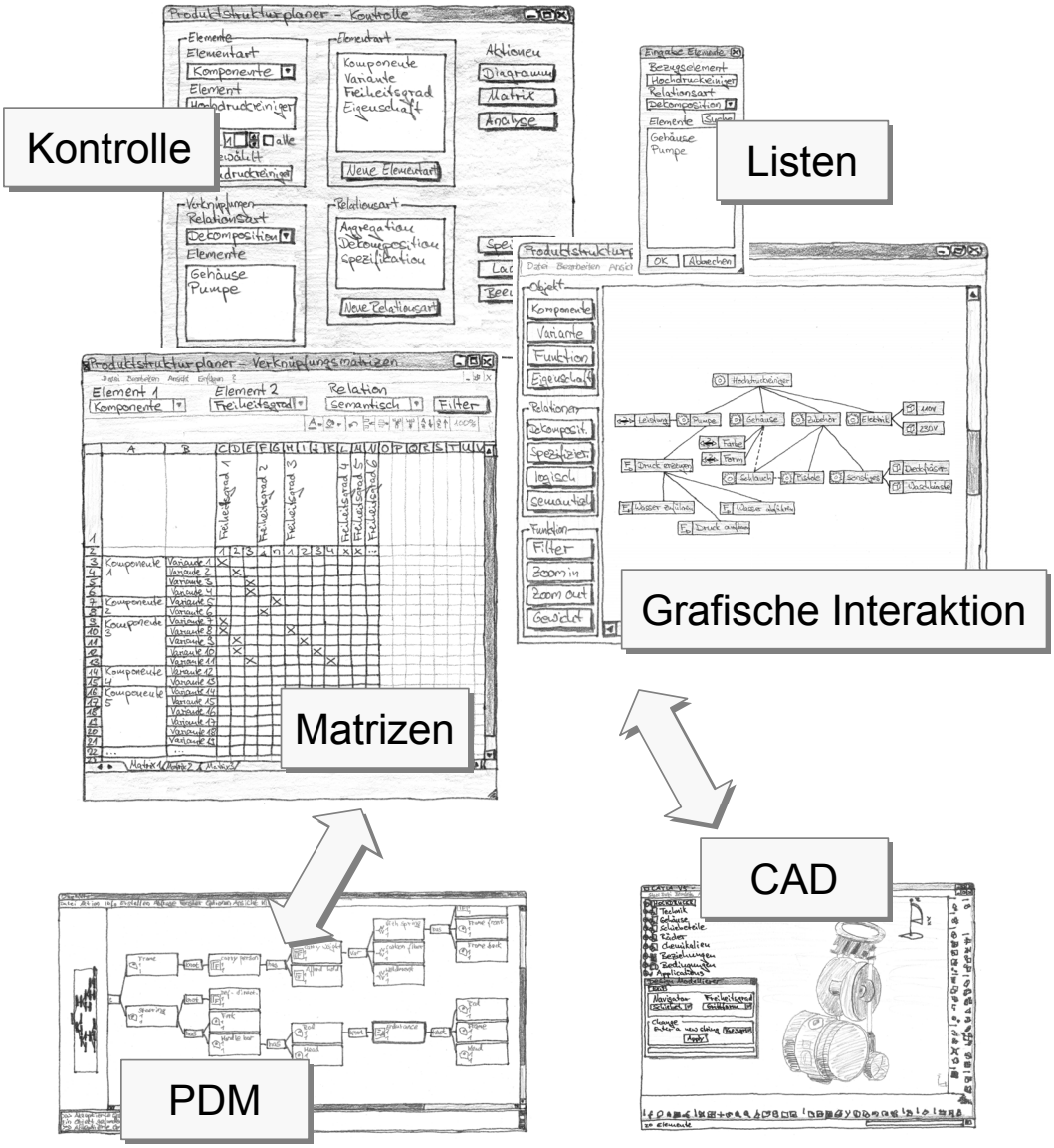


Bild 59: Konzept eines Rechnerwerkzeugs zur Strukturplanung

Das Werkzeug kann die Grundlage von Controllingwerkzeugen sowie Algorithmen zur Analyse und Synthese des Produktspektrums darstellen. Eine Schnittstelle des Werkzeuges zu PDM-Systemen und CAD-Systemen ist darüber hinaus anzustreben: Für das PDM-System[1] kann das Werkzeug unterstützend zur einfachen Strukturerstellung dienen, das CAD-System ist als Basis vorstellbar, die Architektur (Package) des Produkts direkt dreidimensional *top-down* aufzubauen.

[1] Umgekehrt können auch PDM-Systeme in diese Richtung erweitert warden. So wurden z. B. Elemente der Konstruktionsmethodik in ein PDM-System integriert (PULM & LINDEMANN 2001). Ebenso können CAD-Systeme in diese Richtung der *Strukturplanung* erweitert werden.

Eine Umsetzung des Werkzeuges ist als eigenständige Lösung oder als Erweiterung von Standardanwendungen[1] möglich. Es sind objektorientierte, und relationale Datengrundlagen möglich; dieser Ansatz empfiehlt jedoch die einfach zu handhabende Matrixform.

10.7.3 Evolutionäre Algorithmen und Neuronale Netze

Zur Verarbeitung der Komplexität des Produktspektrums bietet sich der Einsatz von rechnergestützten Algorithmen an. Aus der Vielfalt der Ansätze der Künstlichen Intelligenz werden Genetische Algorithmen und (Künstliche) Neuronale Netze hervorgehoben. Dabei steht ihre Anwendung, im Gegensatz zu der technischen Umsetzung, im Vordergrund.

10.7.3.1 Grundlagen

Genetische Algorithmen (z. B. HOLLAND 1992, WINTER et al. 1995, GEN & CHENG 1997, HAUPT & HAUPT 1998, MITCHELL 2002) übertragen die biologischen Prinzipien der Codierung des Gens, der Vererbung, Fortpflanzung, der Rekombination und Mutation sowie der Selektion auf den Rechner und damit auf Probleme anderer Bereiche. Der grundsätzliche Ablauf ist in Bild 60 dargestellt: Das Problem wird binär oder zumindest quantitativ codiert, außerdem wird eine Fitnessfunktion definiert, die die Güte einer Lösung bewertet. Über die Codierung wird eine zufällige Ausgangspopulation erzeugt; die Individuen der Population werden anhand der Fitnessfunktion bewertet. Die besten Individuen werten selektiert. Durch Kombination und Mutation ihres Gencodes wird eine Folgepopulation erzeugt, die wiederum bewertet wird. Dieser Vorgang wird so oft durchlaufen, bis ein bestimmtes Abbruchkriterium erreicht ist (meist Konvergenz der Ergebnisse).

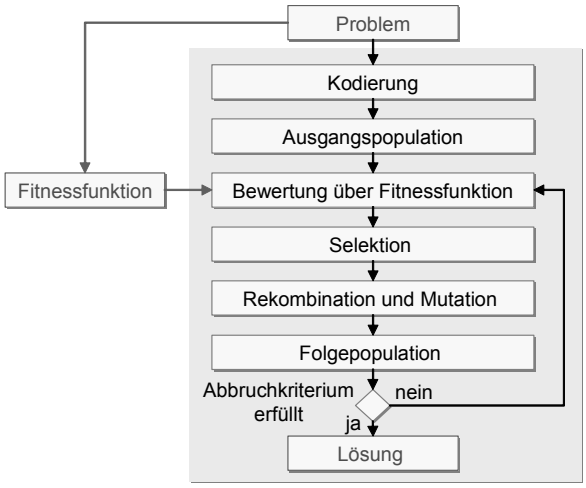


Bild 60: Prinzipieller Ablauf von Evolutionären Algorithmen

Dieser relativ einfache Ablauf erfordert eine genaue Codierung des Problems und eine exakte Bewertung der Fitness. Darüber hinaus sind Parameter wie Größe der Population, Anzahl selektierter Individuen, Verhältnis der rekombinierten zu mutierten Individuen, Umfang der Mutation etc. entscheidend, eine gute Lösung zu finden. Generelles Problem ist dabei, den Algorithmus allgemein, aber auch nicht zu schnell auf ein lokales Optimum zu konvergieren zu lassen. Hierzu dient im

[1] z. B. Microsoft Excel®, Visio® etc.

Wesentlichen die Mutation, die jedoch häufig auch als treibende Kraft der Variation verwendet wird, z. B. bei Evolutionsstrategien (RECHENBERG 1994). In diesen Evolutionsstrategien gibt es auch andere Sonderfälle wie Mittelwertbildung bei der Rekombination oder die Implementation von „Kindergärten“ oder „Altersheimen“, die von der Selektion oder Fortpflanzung zeitweise ausgeklammert werden. Grundsätzlich gibt es keine feste Definition, mit welchen Parametern eine solcher Algorithmus für ein spezielles Problem aufzusetzen ist; jedoch können auch die Parameter selber über einen Genetischen Algorithmus optimiert werden.

Künstliche Neuronale Netze oder auch einfach nur Neuronale Netze (z. B. ZAKHARIAN et al. 1998) bilden natürliche neuronale Netze wie z. B. das Gehirn nach. Der grundsätzliche Aufbau sieht wie folgt aus (Bild 61): Ein Neuron hat mehrere Eingänge, die mit Gewichten versehen sind, und einen Ausgang, der in der Regel einer Sprungfunktion entspricht. Der Ausgang ist aktiv, sobald die Summe der gewichteten Eingänge über einem gewissen Schwellenwert liegt. Die einzelnen Neuronen sind in Schichten miteinander verbunden. Über die erste Schicht erfolgt die Eingabe der Ausgangsdaten, über die Ausgabeschicht werden die Ergebnisse abgegriffen.

Die Verknüpfungen in Bild 61 sind nur vorwärts gerichtet, es gibt jedoch auch Neuronale Netze mit Schleifen.[1] Ein Neuronales Netz wird trainiert, indem die Gewichte bekannten Fällen angepasst werden. Sobald das Netz trainiert ist, können für neue Fälle (Eingangsgrößen) die Ergebnisse ermittelt werden, ohne dass alle Zusammenhänge im Detail bekannt wären. Eine Methode des Trainings ist das *backpropagating*: Während die Berechnung vorwärts erfolgt, wird das erzielte Ergebnis mit dem realen Ergebnis verglichen und die Gewichte werden rückwärts so angepasst, dass der Fehler zwischen berechnetem und erwartetem Ergebnis über alle betrachteten Fälle möglichst klein wird. Die Nutzung Neuronaler Netze gliedert sich somit in eine Lern- und eine Anwendungsphase.

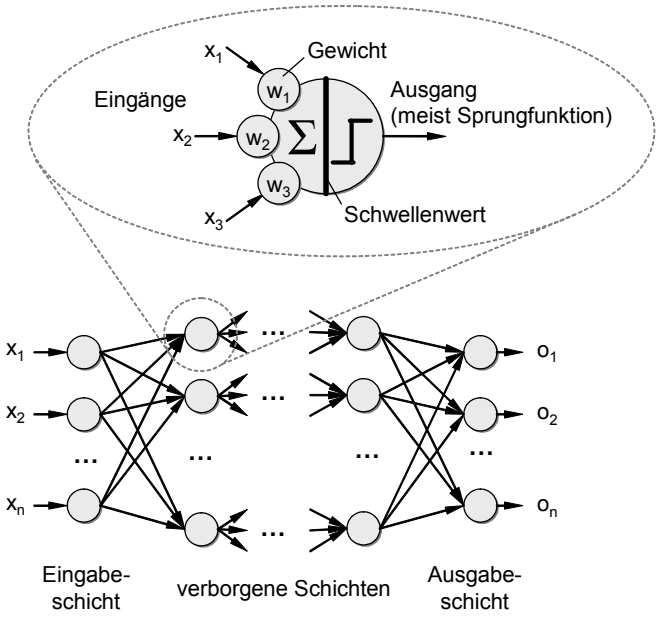


Bild 61: Künstliches Neuronales Netz und Funktion eines einzelnen Neurons

Interessant ist die Verknüpfung Neuronaler Netze mit Genetischen Algorithmen: Neuronale Netze können einerseits als Fitnessfunktion des Genetischen Algorithmus dienen, der Gencode ist dann

[1] sowie allgemein unterschiedlichste Arten Neuronaler Netze; auf weitere Details wie Shortcuts, Berechnungsformeln, Bias-Neuronen etc. soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden

die Eingangsgröße, die Fitness der Ausgang; Genetische Algorithmen helfen andererseits, die Gewichte des Neuronalen Netzes zu bestimmen, wofür die Gewichte des Netzes codiert werden und die Güte des Netzes der Fitnessfunktion entspricht.

10.7.3.2 Anwendung

Neuronale Netze werden z. B. zur Mustererkennung und Spracherzeugung, als künstliche Intelligenz in Spielen und zur Optimierung von Prozessen eingesetzt. Im ingenieurswissenschaftlichen Bereich finden sie z. B. Anwendung zur Prognose der Kosten von Baukastensystemen (KOHLHASE 1997) oder zur Berechnung konstruktiver Parameter (CARL 2000). Sie werden herangezogen, wenn aus einer Vielzahl von Erfahrungen *empirisch* Voraussagen abgeleitet werden sollen, also ohne die kausalen Zusammenhänge zu kennen.

Genetische Algorithmen werden zur Lösung komplexer Probleme mit vielen Variablen herangezogen. Typisches Beispiel ist hier das „*traveling-salesman*"-Problem[1]. Im Ingenieursbereich werden Genetische Algorithmen z. B. auf Prozessoptimierungen angewandt, wie die Produktionsplanung, Logistikprobleme, die zeitliche Projektplanung etc., oder auf strömungstechnische Optimierungen (z. B. BERCSEY et al. 2001). ANTONSSON & CAGAN (2001) wenden Genetische Algorithmen auf die Entwicklung von Mikrosystemen an. CHEN & FENG (2003) nutzen Genetische Algorithmen, um aus allen bisherigen und möglichen Teillösungen eines Produkts „Innovationen" zu erzeugen.

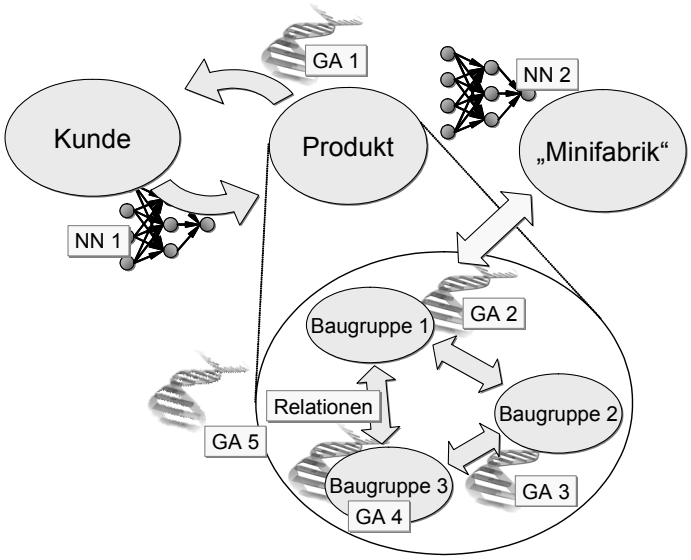


Bild 62: Anwendung Genetischer Algorithmen und Neuronaler Netze auf die Entwicklung variantenreicher Produkte (GA: Genetischer Algorithmus, NN: Neuronales Netz)

Bild 62 deutet an, wie Neuronale Netze und Genetische Algorithmen bei der Entwicklung und Adaption individualisierbarer Produkte angewendet werden können:

- Über ein Neuronales Netz (NN 1) werden ausgehend von den Kundeneigenschaften die Produkteigenschaften[2] ermittelt. Nimmt man diese Produkteigenschaften als Vorschlag für den

[1] die Frage nach dem kürzesten Weg, wenn bestimmte Orte auf einer Landkarte anzufahren sind

[2] alternativ können Kundenwünsche zwischengeschaltet werden; ebenso können Kunden- und Produkteigenschaften als Eingangsgröße herangezogen werden, der Ausgang gibt die Verträglichkeit an

Kunden, ist eine Trennung von Trainings- und Nutzungsphase des Neuronalen Netzes nicht nötig. Vielmehr wird der Produktvorschlag auf Basis des Neuronalen Netzes erstellt, das Netz lernt jedoch durch Anpassung an das tatsächlich gewählte Produkt des Kunden hinzu.

- Das Produktspektrum wird über einen Genetischen Algorithmus (GA 1) variiert und gegen die real gesammelten oder simulierten Kundenwünsche und -eigenschaften bewertet. Somit lässt sich ein Produktspektrum aufbauen, das wesentliche Kundenwünsche erfüllt, jedoch nicht mit unnötigen Varianten überladen ist. In dieser *Anwendung* entspricht der Genetische Algorithmus der marketingtechnischen Conjoint-Analyse.
- Die durch den GA 1 erzeugten oder durch reale Kunden gewünschten Varianten können zusammen mit Eigenschaften der Minifabrik[1] über ein Neuronales Netz (NN 2) auf ihre Machbarkeit hin bewertet werden, d. h. es wird die Verträglichkeit der einzelnen Varianten und Produkteigenschaften untereinander bewertet.
- Die Variation des Produkts kann aufgeteilt werden in Variationen einzelner Umfänge, entsprechend der Realität der verteilten Produktentwicklung in einem sozialen Gefüge. Jede Baugruppe kann für sich über einen Genetischen Algorithmus (GA 2 bis 4) variiert werden. Die Fitness ergibt sich aus der Verträglichkeit mit den anderen Baugruppen, die sich ebenfalls an die anderen Baugruppen „anpassen“. Bedingungen ergeben sich aus den Relationen zwischen den einzelnen Umfängen, wobei zur Bewertung eines Umfangs bei den angrenzenden Umfängen z. B. Mittelwerte der dortigen Population herangezogen werden. Dieses Prinzip kann sowohl auf die technische Entwicklung eines Umfangs als auch auf die Auswahl einer Variante angewandt werden.[2]
- Die Struktur des Produkts selbst wird über einen Genetischen Algorithmus (GA 5) bewertet. Die Fitnessfunktion hier entspricht den Kriterien bei der Modularisierung, also z. B. Montagereihenfolge, Anzahl der Schnittstellen oder funktionale Ähnlichkeiten.

Die Anwendung der Genetischen Algorithmen und Neuronalen Netze kann alternativ über z. B. ein Gleichungssystem erfolgen. Vorteil der Algorithmen ist, dass sie den zeitlichen Entwicklungsprozess besser erfassen, sich ständig anpassen, Ungenauigkeiten besser verarbeiten und leichter aufzustellen sind. Ebenso wäre es grundsätzlich möglich, das Produkt nicht aufzuteilen und alle Eigenschaften über einen Algorithmus zu optimieren.[3] Die Aufteilung auf einzelne Umfänge macht jedoch die Handhabung einfacher und entspricht eher realen Entwicklungsprojekten; gleichzeitig können einzelne Umfänge mit unterschiedlichen Methoden bearbeitet werden und im Gesamtsystem wieder zusammengeführt werden.

Dies führt letztendlich zu einer Abstraktion der Prinzipien, diese als Modell der Produktentwicklung zu sehen und in das Denken zu integrieren. Hierzu gehört z. B.:

- Entwicklung von Alternativen innerhalb einer Abteilung und Auswahl derjenigen, die am besten in das aus anderen Umfängen gebildete Umfeld passen; diese variieren und kombinieren.
- Festhalten der Kundeneigenschaften und -wünsche sowie der entsprechenden Produkteigenschaften; hierdurch kontinuierliche Anpassung der Zuordnung dieser Aspekte.

---

[1] in diesem Zusammenhang als Vertreter der Produktionsmöglichkeiten und der technischen Funktionalität

[2] s. o.: Auffassung des Produkts als soziales System oder „Ökosystem“

[3] Interessant an dieser Betrachtung ist der Rückschluss auf die Biologie: die Betrachtung einzelner Gene in einzelnen Individuen kann somit auch durch die Betrachtung eines übergeordneten „virtuellen“ Genes des Ökosystems ersetzt werden.

Die vorgestellten Ansätze stellen nur eine Auswahl und einen ersten Schritt der Anwendung dieser Algorithmen auf die Produktentwicklung dar. Als limitierendes und zu analysierendes Element bleibt hier der Aspekt oder die Frage, ob z. B. die Anzahl der Kunden ausreicht, um ein aussagekräftiges Bild zu erhalten, oder ob z. B. die Anzahl der Produkteigenschaften zu groß ist, um hier effizient solche Algorithmen anzuwenden.

10.7.4 Controllingwerkzeuge

Die Auffassung der Produktentwicklung als ein komplexer sozialer Prozess, wie er in der Realität zu beobachten ist, führt dazu, dass dieser nur bedingt kontrollier- und planbar ist. Dementsprechend kommt dem Controlling als Planung, Überwachung und Steuerung eines Projekts besondere Bedeutung zu; es reicht nicht aus, einen Prozess zu Beginn zu planen und lediglich die Abarbeitung des Prozesses zu beobachten. Die Variantenproblematik erschwert das Controlling zunehmend.

Existierende Controllingwerkzeuge sind weniger für Entwickler und die operative und detaillierte Informationserfassung, -verdichtung und -aufbereitung controllingrelevanter Daten geeignet. Controllingrelevante Daten sind z. B. Kosten, Gewichte, Termine und Meilensteine, die Funktionserfüllung (Qualität, Sicherheit etc.), Versuchsergebnisse etc. Ziel eines konzipierten Controllingwerkzeugs ist, im nicht vollständig planbaren Prozess einen transparenten, konsistenten und verdichteten Status anzugeben, der auf konkreten Zahlen beruht und den Projektfortschritt widerspiegelt. Anforderungen an ein solches Hilfsmittel, das im Folgenden Projektstatus genannt wird, sind in Tabelle 62 zusammengefasst.

Tabelle 62: Anforderungen an ein Controllingwerkzeug

Anforderungen
– Aktualität der Informationen bezüglich der Aspekte Kosten, Gewichte, Termine, Funktionen, Versuche etc.
– Eindeutigkeit und Vollständigkeit, Aktualität, Wahrheit und Vertrauenswürdigkeit der Daten
– Verdichtung der Informationen zum eigentlichen Status, d. h. beliebige Detaillierungsstufe der Daten
– Prognose und Dokumentation der Entwicklungsstände, d. h. jederzeit kann der, eventuell prognostizierte, Status jedes beliebigen Zeitpunkts abgefragt werden
– Standardisierung der Controllinginstrumente, insbesondere einfacher Statusübersichten, die in der Regel (z. B. in unterschiedlichen Excel®-Listen) sowieso geführt werden
– Zuordnung von Zuständigkeiten und Anpassung an individuelle Bedürfnisse (z. B. auch Abfrage aller persönlichen Aufgaben)
– Erfassung von Problemen, Risiken und Potenzialen
– Vergleich von Soll- und Ist-Werten und dynamische Anpassung der Projektvorgaben
– Aufzeigen von Problemen und Ableiten von Maßnahmen
– Unterstützung der Entscheidungsfindung
– einfache, selbsterklärende Anwendung
– durchgängige Nutzung im Entwicklungsprozess und Schnittstellen zu anderen Systemen
– Datensicherheit in Bezug auf Datenerhalt und Geheimhaltung

Unter dem Titel *Project Monitoring* bieten SENG et al. (1998) ein papierbasiertes Controllingwerkzeug, das die wesentlichen Controllinggrößen wiedergibt. GRUENENFELDER & HOFER (2001) präsentieren ein Prozesscockpit (*process cockpit*), das sich eher auf den Status einer Abteilung oder Organisation bezieht oder den Projektstatus mit eher allgemeinen Kennzahlen erfasst.[1] STÖSSER

[1] Zur Erfassung des Projektstatus über weiche Kennzahlen, d. h. die direkte Einschätzung der Beteiligten, siehe SIGL 2000. Hier wird jedoch auf die Erfassung des Projektstatus mit harten Kennzahlen fokussiert.

(1999) hat im Rahmen des Zielkostenmanagements ein System zur detaillierten Kostenverfolgung im Entwicklungsprozess entworfen. WISSLER (2001) setzt mit dem Entwicklungscontrolling auf vordefinierte Indikatoren, die im Entwicklungsprozess verfolgt und abgearbeitet werden; dabei wird der Produktentwicklungsprozess als Regelkreis aufgefasst (Bild 63).

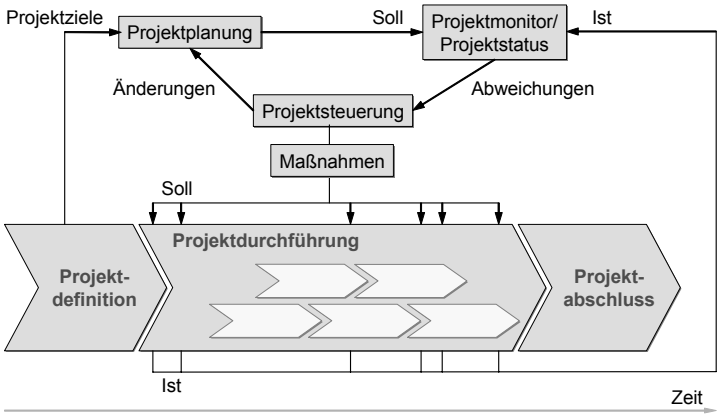


Bild 63: Projektmanagement als Regelkreis

Die Produktstruktur (das Produktmodell) bildet die Basis für ein rechnergestütztes Controllingwerkzeug[1]. Hierfür wird das Modell um Versionen der Komponenten (z. B. nach Datum) und die entsprechenden Controllinggrößen erweitert. Ein Konzept dieses Werkzeuges zeigt Bild 64.

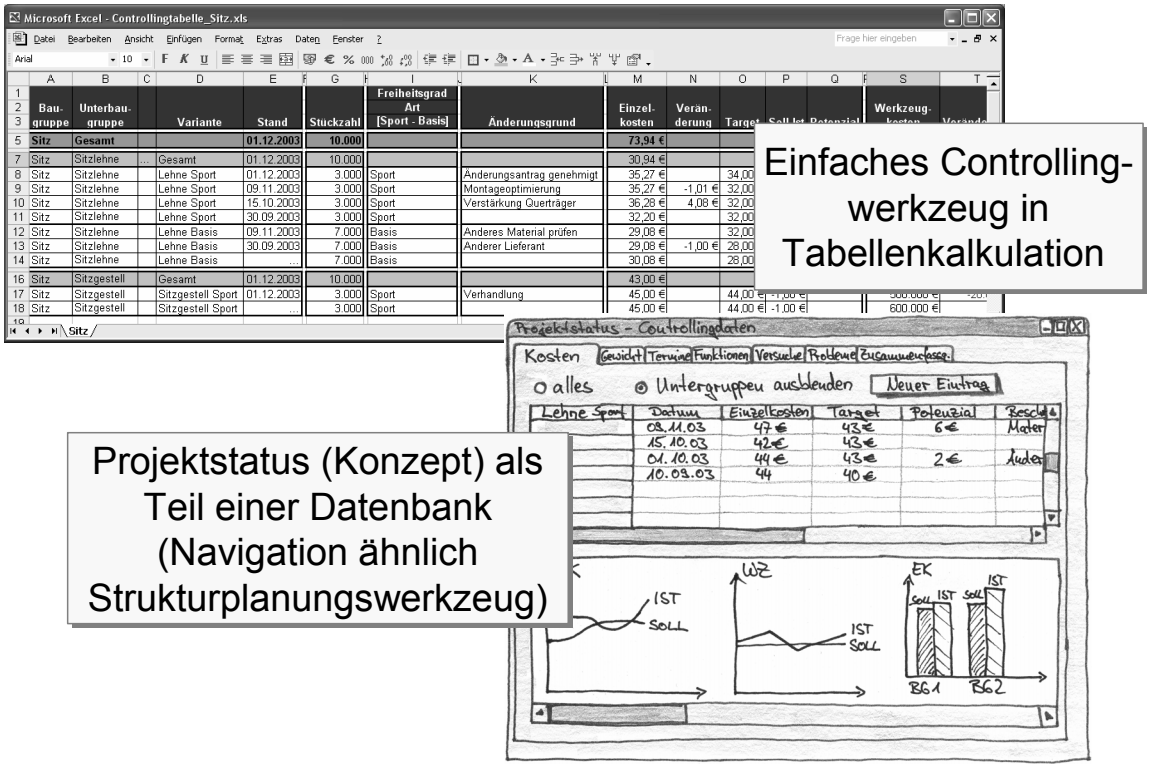


Bild 64: Konzept des Controllingwerkzeuges Projektstatus

[1] Die Basis hierfür wurde, von einer anderen Seite kommend, durch CERHAK (1999) gelegt.

In einer Strukturdarstellung wird durch das Produktspektrum navigiert und die zu betrachtende Komponente als aktuelle Komponente ausgewählt. Diese ähnelt dem Strukturplanungswerkzeug; wesentlich ist dabei wieder die Differenzierung von Spezifizierung und Dekomposition. Die ausgewählte Komponente kann auf einer beliebigen Spezifizierungs- oder Dekompositionsebene liegen, die entsprechenden Daten werden bei Bedarf aus den anderen Komponenten errechnet.[1]

Es ist jedoch nicht notwendig, einen umfangreichen Datenbankansatz zu verfolgen. Bild 64 (oben) zeigt den Controllingansatz in einfacher Tabellenform. Ein solches Werkzeug ist meist ausreichend, um einen Umfang in einem bestimmten Umfeld oder auf einer bestimmten Abstraktionsebene zu betrachtet (Projektleiter, Entwicklungsteam etc.). Die Darstellung des Werkzeugs wird standardisiert, sodass verdichtete Werte auf einer höheren Ebene zusammengefasst werden können.[2]

In der Tabelle im Auswerte- und Darstellungsfenster werden die eigentlichen Daten der Baugruppe eingegeben und verwaltet. Hier wird im Wesentlichen unterschieden zwischen:

- Informationen bezüglich Kosten, Gewicht, Funktionen, Terminen (Meilensteine), Problemen sowie Versuchen (über z. B. Register),
- bei Kosten insbesondere: Einzelkosten, Entwicklungskosten, Werkzeugkosten etc.
- bei Terminen insbesondere: Freigaben, Werkzeuge, Produktionsstart etc.
- bei Funktionen insbesondere: Grundfunktion, Qualität, Sicherheit, Haltbarkeit, Montierbarkeit, Missbrauch, Design, Optik etc. (gewichtet und prozentual bewertet)
- der Baugruppe und den zugehörigen Unterbaugruppen *oder* Varianten, über die Summen oder Mittelwerte gebildet werden (z. B. in der ersten Spalte),
- unterschiedliche Stände und Versionen, repräsentiert durch das Datum der Änderung mit Erläuterung (z. B. in der zweiten Spalte),
- Soll- (*target*) und Ist-Werte (in Spalten),
- Potenziale oder Risiken mit Begründung (in Spalten),
- Absolut- und Relativwerte (Änderungen oder Differenzen; in Spalten)
- eingetragene, geschätzte oder berechnete Werte; Berechnung der Werte über Komponenten oder über Varianten (Zeilen).

Die Berechnung und Verdichtung der Information kann dann zu Schwierigkeiten führen, wenn Vernetzungen über Dekomposition und Spezifikation vermischt werden. Beispielsweise kann es zu Ungenauigkeiten kommen, wenn die Komponenten eines Basissitzes detailliert betrachtet werden, ein optionaler Sportsitz jedoch als Paket vergeben und z. B. bezüglich Kosten bewertet wird. Eine genaue Betrachtung des Produktmodells hilft, solche Ungenauigkeiten und Inkonsistenzen aufzudecken.[3] Eine Kennzeichnung der Werte in der Tabelle (berechnet oder eingetragen) unterstützt dies ebenso. Weitere Prinzipien, die häufig nicht explizit beachtet werden, sind, eine klare Reihenfolge der Spezifikation vorzugeben[4] und, ausgehend von einem Element, nur eine Strukturierungsrichtung (Dekomposition oder Spezifizierung) anzugeben oder zu priorisieren.

---

[1] Wird auf Zwischenvarianten verzichtet, kann in obiger Darstellung der mittlere Bereich weggelassen werden und die Spezifikation lediglich über die Freiheitsgrade erfolgen.

[2] Dieser Ansatz unterstützt sowohl den sozialen Aspekt, die Kommunikation von relevanten Informationen, als auch eine Transparenz der Controllinggrößen. Wo der Schwerpunkt liegt, ist situativ zu beurteilen.

[3] Dies kann durch Algorithmen unterstützt werden.

[4] z. B. Basis-, Sport-, Komfortsitz ➔ elektrischer/manueller Sitz ➔ mit/ohne Lordose ➔ Leder-/Stoffbezug – Reihenfolge in Abhängigkeit der strukturellen Unterschiede (zuerst die größten Differenzen)

Über entsprechende Abfragen kann ein Projektstatus aggregiert werden. Dabei erscheint es nicht sinnvoll, eine einzige Kennzahl zu definieren.[1] Vielmehr sollte eine Übersicht über die wesentlichen Größen, deren Verlauf sowie einer angemessenen Einschätzung deren Bedeutung erfolgen. Die Einschätzung oder Bewertung erfolgt z. B. nach einer „Ampel“[2].

Ein Datenbankansatz stellt die Grundlage für ein komplexes Controlling- und Entwicklungswerkzeug dar. Dieses kann um ein Protokollierungswerkzeug (AMBROSY 1996) oder ein Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung, um eine Strukturierung der Anforderungen im Sinne eines Lastenheftes, einen separaten Versuchsstatus oder um Elemente der Aufbau- oder Ablauforganisationsplanung erweitert werden. Problematisch ist nur, dass ein zu komplexes Werkzeug schwer zu pflegen und im Unternehmen einzuführen ist und kaum akzeptiert wird. Einfache Werkzeuge sind im sozialen Prozess der Produktentwicklung daher zu bevorzugen. Die Produktstruktur ist aber die Grundlage, um sowohl im praktischen Arbeiten Ungenauigkeiten und Schwachstellen aufzudecken, als auch in Zukunft eine umfassende Transparenz hinsichtlich des Controllings des komplexen Produktspektrums zu erreichen.

[1] in dem Sinne: „Projekt ist zu x % abgeschlossen“

[2] grün: Planung wird eingehalten; gelb: mit geringen Maßnahmen wird Planung eingehalten; rot: Planung muss überarbeitet werden oder umfangreiche Maßnahmen sind erforderlich, um Planung einzuhalten

11 Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls für Produktentwicklung

Lehrstuhl für Produktentwicklung
Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching
Dissertationen betreut von

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

D1 COLLIN, H.:
Entwicklung eines Einwalzenkalanders nach einer systematischen Konstruktionsmethode. München: TU, Diss. 1969.

D2 OTT, J.:
Untersuchungen und Vorrichtungen zum Offen-End-Spinnen.
München: TU, Diss. 1971.

D3 STEINWACHS, H.:
Informationsgewinnung an bandförmigen Produkten für die Konstruktion der Produktmaschine.
München: TU, Diss. 1971.

D4 SCHMETTOW, D.:
Entwicklung eines Rehabilitationsgerätes für Schwerstkörperbehinderte.
München: TU, Diss. 1972.

D5 LUBITZSCH, W.:
Die Entwicklung eines Maschinensystems zur Verarbeitung von chemischen Endlosfasern.
München: TU, Diss. 1974.

D6 SCHEITENBERGER, H.:
Entwurf und Optimierung eines Getriebesystems für einen Rotationsquerschneider mit allgemeingültigen Methoden.
München: TU, Diss. 1974.

D7 BAUMGARTH, R.:
Die Vereinfachung von Geräten zur Konstanthaltung physikalischer Größen.
München: TU, Diss. 1976.

D8 MAUDERER, E.:
Beitrag zum konstruktionsmethodischen Vorgehen durchgeführt am Beispiel eines Hochleistungsschalter-Antriebs.
München: TU, Diss. 1976.

D9 SCHÄFER, J.:
Die Anwendung des methodischen Konstruierens auf verfahrenstechnische Aufgabenstellungen.
München: TU, Diss. 1977.

D10 WEBER, J.:
Extruder mit Feststoffpumpe – Ein Beitrag zum Methodischen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1978.

D11 HEISIG, R.:
Längencodierer mit Hilfsbewegung.
München: TU, Diss. 1979.

D12 KIEWERT, A.:
Systematische Erarbeitung von Hilfsmitteln zum kostenarmen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1979.

D13 LINDEMANN, U.:
Systemtechnische Betrachtung des Konstruktionsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Herstellkostenbeeinflussung beim Festlegen der Gestalt.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1980. (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften Reihe 1, Nr. 60). Zugl. München: TU, Diss. 1980.

D14 NJOYA, G.:
Untersuchungen zur Kinematik im Wälzlager bei synchron umlaufenden Innen- und Außenringen.
Hannover: Universität, Diss. 1980.

D15 HENKEL, G.:
Theoretische und experimentelle Untersuchungen ebener konzentrisch gewellter Kreisringmembranen.
Hannover: Universität, Diss. 1980.

D16 BALKEN, J.:
Systematische Entwicklung von Gleichlaufgelenken.
München: TU, Diss. 1981.

D17 PETRA, H.:
Systematik, Erweiterung und Einschränkung von Lastausgleichslösungen für Standgetriebe mit zwei Leistungswegen – Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1981.

D18 BAUMANN, G.:
Ein Kosteninformationssystem für die Gestaltungsphase im Betriebsmittelbau.
München: TU, Diss. 1982.

D19 FISCHER, D.:
Kostenanalyse von Stirnzahnrädern. Erarbeitung und Vergleich von Hilfsmitteln zur Kostenfrüherkennung.
München: TU, Diss. 1983.

D20 AUGUSTIN, W.:
Sicherheitstechnik und Konstruktionsmethodiken – Sicherheitsgerechtes Konstruieren.
Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz 1985. Zugl. München: TU, Diss. 1984.

D21 RUTZ, A.:
Konstruieren als gedanklicher Prozeß.
München: TU, Diss. 1985.

D22 SAUERMANN, H. J.:
Eine Produktkostenplanung für Unternehmen des Maschinenbaues.
München: TU, Diss. 1986.

D23 HAFNER, J.:
Entscheidungshilfen für das kostengünstige Konstruieren von Schweiß- und Gußgehäusen. München: TU, Diss. 1987.

D24 JOHN, T.:
Systematische Entwicklung von homokinetischen Wellenkupplungen.
München: TU, Diss. 1987.

D25 FIGEL, K.:
Optimieren beim Konstruieren.
München: Hanser 1988. Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Figel, K.: Integration automatisierter Optimierungsverfahren in den rechnerunterstützten Konstruktionsprozeß.

Reihe Konstruktionstechnik München

D26 TROPSCHUH, P. F.:
Rechnerunterstützung für das Projektieren mit Hilfe eines wissensbasierten Systems.
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 1). Zugl. München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Tropschuh, P. F.: Rechnerunterstützung für das Projektieren am Beispiel Schiffsgetriebe.

D27 PICKEL, H.:
Kostenmodelle als Hilfsmittel zum Kostengünstigen Konstruieren.
München: Hanser 1989. (Konstruktionstechnik München, Band 2). Zugl. München: TU, Diss. 1988.

D28 KITTSTEINER, H.-J.:
Die Auswahl und Gestaltung von kostengünstigen Welle-Nabe-Verbindungen.
München: Hanser 1990. (Konstruktionstechnik München, Band 3). Zugl. München: TU, Diss. 1989.

D29 HILLEBRAND, A.:
Ein Kosteninformationssystem für die Neukonstruktion mit der Möglichkeit zum Anschluß an ein CAD-System.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 4). Zugl. München: TU, Diss. 1990.

D30 DYLLA, N.:
Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 5). Zugl. München: TU, Diss. 1990.

D31 MÜLLER, R.
Datenbankgestützte Teileverwaltung und Wiederholteilsuche.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 6). Zugl. München: TU, Diss. 1990.

D32 NEESE, J.:
Methodik einer wissensbasierten Schadenanalyse am Beispiel Wälzlagerungen.
München: Hanser 1991. (Konstruktionstechnik München, Band 7). Zugl. München: TU, Diss. 1991.

D33 SCHAAL, S.:
Integrierte Wissensverarbeitung mit CAD – Am Beispiel der konstruktionsbegleitenden Kalkulation.
München: Hanser 1992. (Konstruktionstechnik München, Band 8). Zugl. München: TU, Diss. 1991.

D34 BRAUNSPERGER, M.:
Qualitätssicherung im Entwicklungsablauf – Konzept einer präventiven Qualitätssicherung für die Automobilindustrie.
München: Hanser 1993. (Konstruktionstechnik München, Band 9). Zugl. München: TU, Diss. 1992.

D35 FEICHTER, E.:
Systematischer Entwicklungsprozeß am Beispiel von elastischen Radialversatzkupplungen.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 10). Zugl. München: TU, Diss. 1992.

D36 WEINBRENNER, V.:
Produktlogik als Hilfsmittel zum Automatisieren von Varianten- und Anpassungskonstruktionen.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 11). Zugl. München: TU, Diss. 1993.

D37 WACH, J. J.:
Problemspezifische Hilfsmittel für die Integrierte Produktentwicklung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 12). Zugl. München: TU, Diss. 1993.

D38 LENK, E.:
Zur Problematik der technischen Bewertung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 13). Zugl. München: TU, Diss. 1993.

D39 STUFFER, R.:
Planung und Steuerung der Integrierten Produktentwicklung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 14). Zugl. München: TU, Diss. 1993.

D40 SCHIEBELER, R.:
Kostengünstig Konstruieren mit einer rechnergestützten Konstruktionsberatung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 15). Zugl. München: TU, Diss. 1993.

D41 BRUCKNER, J.:
Kostengünstige Wärmebehandlung durch Entscheidungsunterstützung in Konstruktion und Härterei.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 16). Zugl. München: TU, Diss. 1993.

D42 WELLNIAK, R.:
Das Produktmodell im rechnerintegrierten Konstruktionsarbeitsplatz.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 17). Zugl. München: TU, Diss. 1994.

D43 SCHLÜTER, A.:
Gestaltung von Schnappverbindungen für montagegerechte Produkte.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 18). Zugl. München: TU, Diss. 1994.

D44 WOLFRAM, M.:
Feature-basiertes Konstruieren und Kalkulieren.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 19). Zugl. München: TU, Diss. 1994.

D45 STOLZ, P.:
Aufbau technischer Informationssysteme in Konstruktion und Entwicklung am Beispiel eines elektronischen Zeichnungsarchives.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 20). Zugl. München: TU, Diss. 1994.

D46 STOLL, G.:
Montagegerechte Produkte mit feature-basiertem CAD.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 21). Zugl. München: TU, Diss. 1994.

D47 STEINER, J. M.:
Rechnergestütztes Kostensenken im praktischen Einsatz.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 22). Zugl. München: TU, Diss. 1995.

D48 HUBER, T.:
Senken von Montagezeiten und -kosten im Getriebebau.
München: Hanser 1995. (Konstruktionstechnik München, Band 23). Zugl. München: TU, Diss. 1995.

D49 DANNER, S.:
Ganzheitliches Anforderungsmanagement für marktorientierte Entwicklungsprozesse.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 24). Zugl. München: TU, Diss. 1996.

D50 MERAT, P.:
Rechnergestützte Auftragsabwicklung an einem Praxisbeispiel.
Aachen: Shaker 1996. (Konstruktionstechnik München, Band 25). Zugl. München: TU, Diss. 1996 u. d. T.: MERAT, P.: Rechnergestütztes Produktleitsystem

D51 AMBROSY, S.:
Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1997. (Konstruktionstechnik München, Band 26). Zugl. München: TU, Diss. 1996.

D52 GIAPOULIS, A.:
Modelle für effektive Konstruktionsprozesse.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 27). Zugl. München: TU, Diss. 1996.

D53 STEINMEIER, E.:
Realisierung eines systemtechnischen Produktmodells – Einsatz in der Pkw-Entwicklung
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 28). Zugl. München: TU, Diss. 1998.

D54 KLEEDÖRFER, R.:
Prozeß- und Änderungsmanagement der Integrierten Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 29). Zugl. München: TU, Diss. 1998.

D55 GÜNTHER, J.:
Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozeß.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 30). Zugl. München: TU, Diss. 1998.

D56 BIERSACK, H.:
Methode für Kraftleinleitungsstellenkonstruktion in Blechstrukturen.
München: TU, Diss. 1998.

D57 IRLINGER, R.:
Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 31). Zugl. München: TU, Diss. 1999.

D58 EILETZ, R.:
Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte – am Bsp. PKW-Entwicklung.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 32). Zugl. München: TU, Diss. 1999.

D59 STÖSSER, R.:
Zielkostenmanagement in integrierten Produkterstellungsprozessen.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 33). Zugl. München: TU, Diss. 1999.

D60 PHLEPS, U.:
Recyclinggerechte Produktdefinition – Methodische Unterstützung für Upgrading und Verwertung.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 34). Zugl. München: TU, Diss. 1999.

D61 BERNARD, R.:
Early Evaluation of Product Properties within the Integrated Product Development.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 35). Zugl. München: TU, Diss. 1999.

D62 ZANKER, W.:
Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 36). Zugl. München: TU, Diss. 1999.

Reihe Produktentwicklung München

D63 ALLMANSBERGER, G.:
Erweiterung der Konstruktionsmethodik zur Unterstützung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 37). Zugl. München: TU, Diss. 2000.

D64 ASSMANN, G.:
Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 38). Zugl. München: TU, Diss. 2000.

D65 BICHLMAIER, C.:
Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 39). Zugl. München: TU, Diss. 2000.

D66 DEMERS, M. T.
Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 40). Zugl. München: TU, Diss. 2000.

D67 STETTER, R.:
Method Implementation in Integrated Product Development.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 41). Zugl. München: TU, Diss. 2000.

D68 VIERTLBÖCK, M.:
Modell der Methoden- und Hilfsmitteleinführung im Bereich der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 42). Zugl. München: TU, Diss. 2000.

D69 COLLIN, H.:
Management von Produkt-Informationen in kleinen und mittelständischen Unternehmen.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 43). Zugl. München: TU, Diss. 2001.

D70 REISCHL, C.:
Simulation von Produktkosten in der Entwicklungsphase.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 44). Zugl. München: TU, Diss. 2001.

D71 GAUL, H.-D.:
Verteilte Produktentwicklung - Perspektiven und Modell zur Optimierung.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 45). Zugl. München: TU, Diss. 2001.

D72 GIERHARDT, H.:
Global verteilte Produktentwicklungsprojekte – Ein Vorgehensmodell auf der operativen Ebene.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 46). Zugl. München: TU, Diss. 2001.

D73 SCHOEN, S.:
Gestaltung und Unterstützung von Community of Practice.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 47). Zugl. München: TU, Diss. 2000.

D74 BENDER, B.:
Zielorientiertes Kooperationsmanagement.
München: Dr. Hut 2001. (Produktentwicklung München, Band 48). Zugl. München: TU, Diss. 2001.

D75 SCHWANKL, L.:
Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 49). Zugl. München: TU, Diss. 2002.

D76 WULF, J.:
Elementarmethoden zur Lösungssuche.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 50). Zugl. München: TU, Diss. 2002.

D77 MÖRTL, M.:
Entwicklungsmanagement für langlebige, upgradinggerechte Produkte.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung München, Band 51). Zugl. München: TU, Diss. 2002.

D78 GERST, M.:
Strategische Produktentscheidungen in der integrierten Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2002. (Produktentwicklung, Band 52). Zugl. München: TU, Diss. 2002.

D79 AMFT, M.:
Phasenübergreifende bidirektionale Integration von Gestaltung und Berechnung.
München: Dr. Hut 2003. (Produktentwicklung, Band 53). Zugl. München: TU, Diss. 2002.

D80 FÖRSTER, M.:
Variantenmanagement nach Fusionen in Unternehmen des Anlagen- und Maschinenbaus.
München: TU, Diss. 2003.

D81 GRAMANN, J.:
Problemmodelle und Bionik als Methode.
München: TU, Diss. 2004.