

Lehrstuhl für Produktentwicklung
der Technischen Universität München

Elementarmethoden zur Lösungssuche

Joachim Erich Wulf

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., Dr. h.c. K. Th. Renius

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. U. Lindemann
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Birkhofer,
Technische Universität Darmstadt

Die Dissertation wurde am 25. Oktober 2001 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 20. Dezember 2001 angenommen.

Dieses Buch ist erhältlich im Verlag Dr. Hut, München, www.dr.hut-verlag.de (ISBN 3-934767-77-X)

Vorwort des Herausgebers

Problemstellung

Verschiedene Untersuchungen haben den seit geraumer Zeit bestehenden Eindruck bestätigt, dass die „klassische Konstruktionsmethodik“ im Sinn der VDI 2221 nur geringen Anklang in der industriellen Praxis findet. Vor dem Hintergrund der Erkenntnisse aus zwanzig Jahren empirischer Konstruktionsforschung kann dieses Resultat eigentlich nicht überraschen: Die strikte Befolgung methodischer Vorgaben ließ sich letztlich nicht als signifikanter Erfolgsfaktor in Konstruktionsprozessen nachweisen. Sehr wohl nachgewiesen werden konnten dagegen Zusammenhänge zwischen der Vernachlässigung zentraler Aspekte des methodischen Vorgehens (Aufgabenklärung, Lösungsanalyse, etc.) und dem Misserfolg von Entwicklungstätigkeiten. Vieles spricht dafür, dass die Konstruktionsmethodik zwar die zentralen Problemstellungen in Entwicklungsprozessen erfasst hat, jedoch bis heute noch nicht zu einer wirklich anwendungsgerechten Definition des methodischen Vorgehens zur Lösung technischer Problemstellungen gelangt ist.

Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, anhand von Fallbeispielen das konkrete Vorgehen von Produktentwicklern bei der Lösung technischer Problemstellungen zu beobachten und zu analysieren. Die daraus abgeleiteten elementarmethodischen Konzepte sollen einzelne Entwickler und kleinere Teams ohne formalen Zwang bei der handlungslogisch effizienten Lösungsfindung unterstützen. Der zentrale Gedanke besteht dabei in der Ausnutzung der emotionalen Eigendynamik der bei den Beteiligten ablaufenden schöpferischen Prozesse.

Ergebnisse

Die Analyse von Fallbeispielen zeigt, welche Rolle emotionale Aspekte der Lösungssuche und der Entscheidungsfindung für die Entwicklung technisch hochwertiger Lösungsansätze spielen. Mit der *diskursiven Lösungssuche* und der *Lösungsfindung als politischer Prozess* werden zwei elementarmethodische Konzepte vorgestellt, die die natürliche kognitive Dynamik bei den Beteiligten fördern, jedoch gleichzeitig auch im Sinn einer Konstruktionsmethodik kanalisieren.

Bei der diskursiven Lösungssuche wird eine Abfolge handlungslogisch idealer Mikrozyklen durch *abstrakte Zielformulierungen* in Gang gesetzt und aufrecht erhalten, um auf diese Weise Teile des Lösungsraums besonders nachhaltig abzusuchen. Die abstrakten Zielformulierungen dienen dabei auch dazu, Methodenwissen im Prozessablauf zu besserer Wirkung zu verhelfen.

In allen Fallbeispielen wird deutlich, dass eine individuelle Lösungssuche notwendigerweise subjektiv geprägt ist. Auf dem Weg der unmittelbaren Verhaltensrückkopplung werden vom Einzelnen bestimmte Lösungsansätze weit vor Entscheidungspunkten bevorzugt oder unterdrückt. Um dennoch zu echter Lösungsvielfalt im Sinn der Konstruktionsmethodik zu gelangen, wird die Lösungsfindung als politischer Prozess definiert, bei der im Team konkurrierende Lösungsansätze parallel verfolgt werden.

Bestätigung findet die Kombination von diskursiver Lösungssuche und Lösungsfindung als politischer Prozess durch die Interpretation des individuellen Vorgehens bei der Lösungssuche auf der Grundlage der Handlungstheorie von Heckhausen und Gollwitzer: Jede Handlungsausführung bedeutet danach das Unterdrücken konkurrierender Handlungstendenzen. Eine Phase pluralistischer Lösungssuche im Team ermöglicht daher die Erfüllung der konstruktionsmethodischen Grundforderung nach Lösungsvielfalt ohne gleichzeitig die Dynamik der individuellen Lösungssuche zu behindern.

Folgerungen für die industrielle Praxis

Die beiden vorgestellten methodischen Grundkonzepte orientieren sich bewusst am natürlichen Problemlösungsverhalten von Einzelpersonen und Kleingruppen. Manches mag daher in der industriellen Praxis bereits so laufen, wie es in dieser Arbeit vorgeschlagen wird. Sich der Abhängigkeiten zwischen der individuellen Motivationslage und der handlungslogischen Struktur bei der Lösungssuche bewusst zu werden, wird allerdings auch in diesem Fall das methodische Profil des Vorgehens bei der Problemlösung schärfen.

In allen anderen Fällen erlaubt gerade die Einfachheit der „Elementarmethoden“ ihre Einführung von der Basis aus. Der einzelne Produktentwickler kann ohne allzu große Schwierigkeiten in seinem persönlichen Umfeld mit beiden methodischen Konzepten experimentieren. Gelingt es ihm so, seine Arbeitsweise zu verbessern, wird er schnell Gleichgesinnte in seiner Umgebung finden. Dies gilt besonders dann, wenn er die *Konsensfindung* bei der Lösungssuche als Teil des politischen Prozesses nicht vernachlässigt.

Folgerungen für Forschung und Wissenschaft

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, ein Grundschema für die methodische Unterstützung bei der Produktentwicklung zu konzipieren, durch das ein ausgewogenes Verhältnis zwischen optimaler Motivation der Beteiligten und handlungslogisch effizienter Prozessführung eingestellt werden kann. Damit zeigt sich ein erster Ansatz zur Lösung der eingangs geschilderten Problematik, mit dem die klassische Konstruktionsmethodik von einer Lehrmethodensammlung zu einer praktischen Entwicklungsmethodik umgeformt werden könnte.

Neue Herausforderungen ergeben sich in diesem Zusammenhang vor allem für die empirische Konstruktionsforschung, die aufgefordert ist, die formulierten Hypothesen nochmals auf die Probe zu stellen und weiterzuentwickeln. Genaueres Wissen um die

wechselseitigen Einflüsse von Motivationslage, Handlungsplanung und Handlungsausführung bei der Lösungssuche würde es als zweiten Schritt erlauben, Einzelmethoden gezielt handlungsgerecht umzugestalten.

Garching, im April 2002

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

Danksagung

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktentwicklung der TU München vom November 1996 bis zum September 2001. Meinem damaligen Chef, Prof. Udo Lindemann, danke ich für die Betreuung der Arbeit, vor allem jedoch für die inspirierende Atmosphäre, die er am Lehrstuhl für Produktentwicklung geschaffen hat.

Prof. Birkhofer danke ich für die Mitberichterstattung und Prof. Renius für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Allen meinen Kollegen danke ich für ihre vielfältigen Anregungen, ohne die diese Arbeit sicher nicht zustande gekommen wäre. Bei meinen Studenten, insbesondere bei Martin Webhofer und Daniel Siedl, bedanke ich mich dafür, dass sie mir das Gefühl vermittelt haben, fünf Jahre meines Lebens einer sinnvollen Tätigkeit gewidmet zu haben. Schließlich werden mir meine Projektpartner Dr. Klaus Finkenwirth und Dr. Alois Mundt von Liebherr Verzahntechnik als „Ingenieure mit Leib und Seele“ immer ein Vorbild bleiben.

Zuletzt möchte ich meiner Freundin Masae Suganuma danken, die mich mit Rat und Tat unterstützt hat.

München, im September 2002

Joachim Wulf

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	1
1.2	AUFBAU DER ARBEIT	2
2	Entwicklungsmethodik als angewandte Handlungstheorie	5
2.1	GRUNDLAGEN DER HANDLUNGSTHEORIE.....	5
2.2	ENTWICKLUNGSMETHODIK	8
2.2.1	Systems Engineering.....	9
2.2.2	Klassische Konstruktionsmethodik	11
2.2.3	Neuere Ansätze	12
2.2.3.1	Integrierte Produktentwicklung.....	13
2.2.3.2	TRIZ.....	14
2.2.3.3	Axiomatic Design.....	16
2.2.4	Empirische Konstruktionsforschung	18
2.3	PSYCHOLOGIE.....	21
2.3.1	Kognitive Psychologie.....	21
2.3.2	Kleingruppenforschung	25
2.4	FAZIT AUS DER ANALYSE DES FORSCHUNGSSTANDS.....	29
3	Forschungsmethodik	33
3.1	EINZELFALLSTUDIEN	33
3.2	BEOBACHTUNG UND ANALYSE DER PROZESSABLÄUFE	35
4	Wie entsteht „gutes Design“?	37
4.1	FALLBEISPIEL „ENTWICKLUNG EINER TRÄGHEITSGESCHALTETEN REIBUNGSKUPPLUNG“	37
4.1.1	Beschreibung des Entwicklungsprozesses.....	37
4.1.2	Analyse des Entwicklungsprozesses.....	46
4.1.2.1	Mikro- und Makrostruktur des Vorgehens bei der Lösungssuche.....	46
4.1.2.2	Heuristische Aspekte des Vorgehens.....	53
4.1.2.3	Bedeutung von Zielformulierungen und Dialogstruktur der Problemlösung	60
4.2	DISKURSIVE LÖSUNGSSUCHE MIT HILFE VON ZIELFORMULIERUNGEN	68
4.3	ZUSAMMENFASSUNG DES KAPITELS	75
5	Wie setzen sich Lösungsideen im Team durch?	77
5.1	FALLBEISPIEL „KONZEPTFINDUNG FÜR DEN VORSCHUBANTRIEB EINER HOCHGESCHWINDIGKEITS-VERZÄHNUNGSSCHLEIFMASCHINE“	77
5.1.1	Beschreibung des Entwicklungsprozesses.....	78
5.1.2	Analyse des Entwicklungsprozesses.....	84
5.1.2.1	Die Wahrnehmung des Lösungsraums durch die Entwickler	84
5.1.2.2	Spontane Einschätzungen im Entwicklungsprozess	87

5.1.2.3	Bedeutung formaler Bewertungstechniken	95
5.2	LÖSUNGSFINDUNG IM TEAM ALS „POLITISCHER PROZESS“	97
5.2.1	Pluralistische Lösungssuche im Team	99
5.2.2	Formal unterstützte Konsensfindung	102
5.3	STEUERUNG DER ENTSCHEIDUNGSFINDUNG IM TEAM.....	106
5.3.1	Aufklären der Werthierarchien im Entwicklungsteam	108
5.3.2	Gezielte Beeinflussung des Entwicklungsprozesses.....	109
5.4	ZUSAMMENFASSUNG DES KAPITELS	112
6	Überprüfung der elementarmethodischen Konzepte am Fallbeispiel.....	115
6.1	FALLBEISPIEL „ENTWICKLUNG EINES SPREIZMECHANISMUS FÜR DEN EINSATZ BEI DER MINIMALINVASIVEN HERZCHIRURGIE“	115
6.1.1	Beschreibung des Entwicklungsprozesses	115
6.1.2	Validierung der angewendeten methodischen Konzepte	125
6.1.2.1	Diskursive Lösungssuche	126
6.1.2.2	Lösungsfindung als politischer Prozess	128
6.1.2.3	Stellung der elementarmethodischen Konzepte im Entwicklungsprozess	135
6.2	ZUSAMMENFASSUNG DES KAPITELS	139
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	141
7.1	ZUSAMMENFASSUNG	141
7.2	AUSBLICK	145
8	Literatur.....	147
9	Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls für Produktentwicklung.....	159

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Die Geschichte der Technik ist seit ihren Anfängen in der Steinzeit von einer ununterbrochenen Folge genialer Entwicklungen geprägt. Die wenigsten davon waren reine Zufallserfindungen, sie sind vielmehr das Ergebnis hartnäckigen geistigen und handwerklichen Bemühens unzähliger Generationen. Es muss deshalb davon ausgegangen werden, dass die Fähigkeit zur erfolgreichen Lösung technischer Problemstellungen eine Grundeigenschaft der menschlichen Natur darstellt. Jede methodische Unterstützung von Produktentwicklungsprozessen muss darauf hinwirken, dieser Grundbegabung des Menschen zur optimalen Entfaltung zu verhelfen.

Wer den Versuch unternehmen will, Produktentwicklungsprozesse durch die Bereitstellung von Methoden zu verbessern, muss deshalb zu allererst „hinsehen“. Er muss hinsehen und unvoreingenommen beobachten, wie gute technische Lösungen erarbeitet werden. Er muss anschließend die dabei wirkenden Mechanismen aufklären und die Randbedingungen für erfolgreich verlaufende Prozesse identifizieren. Erst im Anschluss daran sollte er darüber nachdenken, ob und wie mit Hilfe von Methoden Randbedingungen geschaffen werden können, die zu einem optimalen Problemlöseverhalten führen.

In dieser Arbeit wird beabsichtigt, die Bedingungen zu untersuchen, unter denen ein Team von ca. 3–12 Personen erfolgreich bei der Lösung technischer Probleme zusammenarbeiten kann. Die Beobachtungen und Schlussfolgerungen des Autors werden im Idealfall den Moderator und Koordinator eines solchen Teams ebenso wie einzelne Teammitglieder in die Lage versetzen, den Prozess der Problemlösung bewusster wahrzunehmen, auftretende Schwierigkeiten rechtzeitig zu erkennen und wirksam darauf reagieren zu können. Die Schlussfolgerungen bezüglich der methodischen Unterstützung von Produktentwicklungsprozessen werden dabei kein weiteres präskriptives Vorgehensmodell hervorbringen.

Diese Arbeit will sich gezielt mit den elementaren Prozessen bei der Entwicklung von Produkten und Prozessen auseinandersetzen. Fragestellungen des übergeordneten Managements von komplexen Produktentwicklungsprozessen wie z. B. in der Automobilindustrie wurden deshalb nicht untersucht. Sie werden nur dort angesprochen, wo unmittelbarer Einfluss auf die Arbeit im Team erkennbar wurde.

Bewusst wurde vom Autor die „Froschperspektive“ im Entwicklungsprozess gewählt, weil seiner Ansicht nach die „Managementperspektive“ in den letzten Jahren in der Forschung zu einseitig betont wurde. Damit soll nicht bestritten werden, dass Planung und Koordination gerade in komplexen Entwicklungsvorhaben eine herausragende Bedeutung zukommt. Allerdings scheinen einige der „managementorientierten“ Forscher manchmal zu vergessen, dass hervorragende technische Lösungen nicht mit Balkenplänen „herbeikontrolliert“

und Portfolios „herbeibewertet“ werden können. Sie müssen vielmehr an der Basis hartnäckig und schöpferisch „erarbeitet“ werden.

1.2 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in sieben Kapitel: Im Anschluss an die Einleitung definiert Kapitel 2 die Entwicklungsmethodik als angewandte Handlungstheorie und beschreibt knapp den Erkenntnisstand in den wichtigen Basisdisziplinen methodische Produktentwicklung und Psychologie. In Kapitel 3 werden Fragen der Forschungsmethodik diskutiert, die sich aus der Durchführung von Einzelfallstudien mit teilnehmender Beobachtung ergeben.

Über ihre drei Hauptkapitel hinweg realisiert die Arbeit den erkenntnistheoretischen Dreischritt von Beobachtung, Hypothesenbildung und empirischer Überprüfung der Hypothesen. Dabei erfolgt die Beobachtung und Hypothesenbildung anhand zweier Fallstudien in den Kapiteln 4 und 5, die abschließende empirische Überprüfung dieser Hypothesen im Rahmen einer dritten Fallstudie in Kapitel 6. Die eingehende und möglichst unvoreingenommene Beobachtung vor jeder Theoriebildung wird darin als der Schlüssel zur erfolgreichen Entwicklung neuer methodischer Ansätze angesehen.

In Kapitel 4 wird anhand einer Selbstbeobachtung der handlungslogische Ablauf eines erfolgreich verlaufenen Entwicklungsprozesses für eine Schaltkupplung analysiert. Aus dieser Analyse wird das methodische Konzept der *diskursiven Lösungssuche* und der Arbeit mit *abstrakten Zielformulierungen* entwickelt. Damit glaubt der Autor eine weithin gültige handlungslogische Grundstruktur für solche Prozessabschnitte beschrieben zu haben, in denen eine erste Lösungsidee zu einer durchdachten und damit rational bewertbaren technischen Lösung entfaltet wird. Die *diskursive Lösungssuche* bezieht sich auf das Vorgehen von Einzelnen oder kleinen Teilgruppen und erhebt deshalb nicht den Anspruch, vollständig abgesicherte Lösungen im Sinne einer umfassenden Entwicklungsmethodik zu generieren.

In Kapitel 5 wird anhand der Entwicklung eines Vorschubantriebs für eine Werkzeugmaschine untersucht, wie sich Lösungsansätze im Verlauf eines Projekts im Team durchsetzen. Dabei wird insbesondere auf die Rolle spontaner individueller Einschätzungen eingegangen, die einen Entwicklungsprozess auf dem Weg der unmittelbaren Verhaltensrückkopplung an klassischen Bewertungs- und Entscheidungsmethoden vorbei beeinflussen können. Aus diesen Beobachtungen wird das methodische Konzept der Lösungsfindung im Team als *politischer Prozess* abgeleitet, mit dem versucht wird, die im wesentlichen unbeflussbare psychische Dynamik der beteiligten Teammitglieder mit den sinnvollen Anforderungen der Entwicklungsmethodik an den Prozess der Lösungssuche in Einklang zu bringen.

Kapitel 6 überprüft schließlich die Anwendbarkeit der beschriebenen methodischen Grundkonzepte in einer letzten Fallstudie, in deren Rahmen ein Spreizer für den Einsatz in der minimalinvasiven Herzchirurgie entwickelt wurde. Die Studie zeigt, dass sowohl das Konzept *der diskursiven Lösungssuche*, als auch das Konzept der *Lösungsfindung als politischer Prozess* im beschriebenen Fallbeispiel erfolgreich angewendet werden konnten. Es folgt eine abschließende Bewertung der beiden elementarmethodischen Konzepte und eine kurze Diskussion ihrer Auswirkungen auf die Anwendung von Entwicklungsmethoden.

Kapitel 7 schließt die Arbeit mit einer Zusammenfassung und dem Ausblick auf mögliche weitere Forschungsaktivitäten ab.

2 Entwicklungsmethodik als angewandte Handlungstheorie

In Kapitel 2 wird die Entwicklungsmethodik als eine spezielle Form angewandter Handlungstheorie definiert. Nach einer kurzen Übersicht über das weite Feld der wissenschaftlichen Handlungstheorie wird dargestellt, aus welchen handlungstheoretischen Elementen sich die Entwicklungsmethodik gebildet hat. Es folgt eine Darstellung des gegenwärtigen Forschungsstands der wichtigsten Entwicklungslinien der Produktentwicklungsmethodik. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf den unterschiedlichen Ansätzen, den Prozess der Lösungs-suche auf elementarem Niveau zu unterstützen. Darüber hinaus wird auf die Stellung eingegangen, die die empirische Konstruktionsforschung derzeit in der Methodenfor-schung einnimmt: Ihre Ergebnisse werden bei der Entwicklung neuer Methoden nicht immer im notwendigen Maß berücksichtigt. Ähnliches gilt für die Erkenntnisse aus dem Bereich der Psychologie, die bezüglich der für diese Arbeit relevanten Themen knapp umrissen werden. Der Forschungsbedarf der vorliegenden Arbeit ergibt sich schließlich aus der Notwendigkeit einer stärkeren Integration empirischer Erkenntnisse aus Konstruk-tionsforschung und Psychologie in den Methodenkanon der Entwicklungsmethodik.

2.1 Grundlagen der Handlungstheorie

„Handeln“ ist eines der grundlegenden Phänomene des menschlichen Daseins. Spezielle Formen des Handelns sind Gegenstand der unterschiedlichsten wissenschaftlichen Diszip-linen. Gerade weil das Handeln eine so fundamentale Dimension des menschlichen Da-seins darstellt, ist die Idee einer umfassenden Handlungstheorie erst sehr spät ins Bewusst-sein des wissenschaftlichen Interesses gerückt. Parsons hat als einer der Ersten versucht, eine universell gültige Lehre vom Handeln zu entwerfen (PARSONS 51). Eine von Lenk in den 70iger und 80iger Jahren herausgegebene Zusammenstellung wichtiger handlungstheo-retischer Ansätze hat gezeigt, dass eine allgemeine Handlungstheorie zum damaligen Zeit-punkt noch nicht in Sicht war (LENK 80). Daran hat sich bis heute nichts geändert. Mit der Auswahl der Beiträge hat Lenk allerdings die Fachwissenschaften benannt, die für eine solche integrierte Handlungstheorie von besonderer Bedeutung sind (Bild 1).

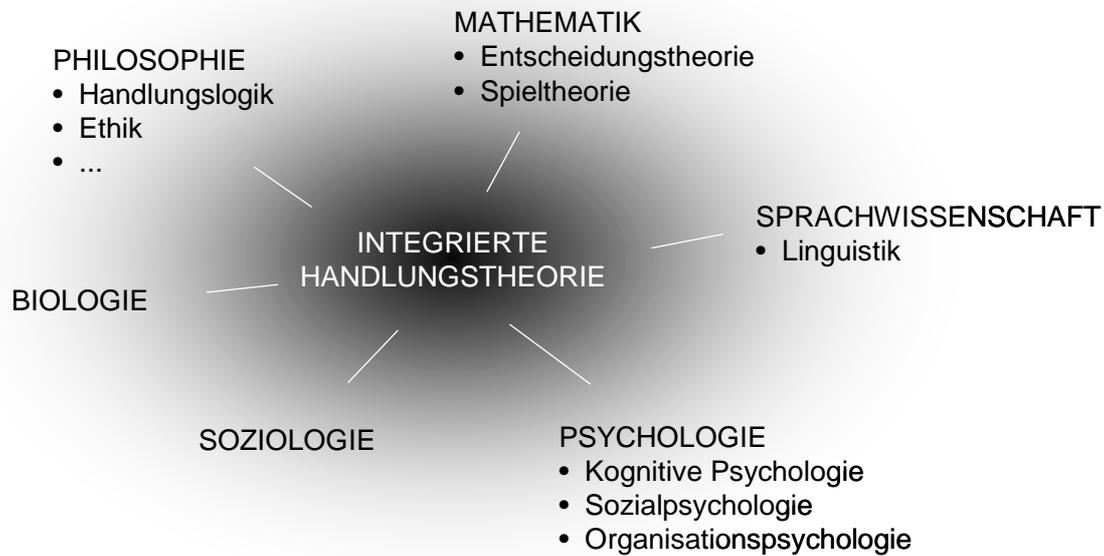


Bild 1: Teildisziplinen einer integrierten Handlungstheorie (nach LENK 80)

Die Philosophie trägt, um nur zwei Beispiele zu nennen, mit der Handlungslogik und der Ethik zu einer integrierten Handlungstheorie bei. Speziell die Handlungslogik dient, anknüpfend an die Aussagenlogik und die Modallogik, der Analyse von Handlungen und der Charakterisierung handlungslogisch gültiger Schlüsse. Damit steht sie in Verbindung zur Mathematik, die in Form der Entscheidungstheorie und der Spieltheorie für die Begründung streng rationalen Handelns von Bedeutung ist. In der Handlungslogik wird bereits die enge Verknüpfung von Sprache und Handlung deutlich, weshalb es unmöglich sein wird, die Phänomene des Handelns ohne einen Blick auf die Sprachwissenschaften und hier speziell die Linguistik zu analysieren. Die wechselseitige Beeinflussung von Handeln und Sprechen zur Handlungsregulation ist auch Gegenstand der psychologischen Handlungstheorie, insbesondere in der kognitiven Psychologie und in der Sozialpsychologie. Die vorwiegend auf das Individuum gerichtete psychologische Sicht ist mit Sicherheit grundlegend für jede Art von angewandter Handlungstheorie. Die Soziologie ergänzt die Sichtweise der Psychologie um den gesellschaftlichen Aspekt menschlichen Handelns. Die Biologie stellt schließlich den Zusammenhang zu einer naturwissenschaftlichen Betrachtungsweise des Phänomens „Handeln“ her.

Dass die von Lenk zur Grundlegung einer integrierten Handlungstheorie vorgesehenen wissenschaftlichen Disziplinen klug gewählt sind, zeigt auch der Blick auf eine angewandte Handlungstheorie wie die Entwicklungsmethodik. Viele Elemente der aufgezählten Disziplinen wurden bewusst oder unbewusst in die heute bestehende Methodenlandschaft integriert. In diesem Kapitel soll ein Schritt weiter gegangen werden: Es soll gezeigt werden, dass wesentliche Schwächen der aktuellen Produktentwicklungsmethodik darauf

beruhen, dass wichtige Erkenntnisse aus den aufgezählten Disziplinen bisher nicht hinreichend berücksichtigt wurden.

Bild 2 zählt Fachwissenschaften auf, deren Erkenntnisse Eingang in die aktuelle Entwicklungsmethodik gefunden haben. Aus dem Fächerkanon einer integrierten Handlungstheorie sind das vor allem die Psychologie mit Ergebnissen der kognitiven Psychologie und der Kreativitätsforschung sowie die Mathematik mit Entscheidungstheorie und Operations Research. Aufbauend auf Erkenntnissen über das Problemlösungsverhalten wurden in der Entwicklungsmethodik eine Reihe präskriptiver Vorgehensmodelle entwickelt. Die in der Kreativitätsforschung entwickelten Methoden wurden dabei für die nichtsystematische Suche nach Problemlösungen übernommen. Methoden der Mathematik wurden dagegen vor allem im Bereich der Lösungsbewertung und -auswahl in die Entwicklungsmethodik aufgenommen. Auf einer übergeordneten Planungsebene fanden darüber hinaus verschiedene Elemente der Operations Research Anwendung in Produkt- und Prozessentwicklung.

Den Grunddisziplinen einer integrierten Handlungstheorie stehen in der Entwicklungsmethodik einige angewandte Wissenschaften gegenüber. Allen voran natürlich der Maschinenbau mit seiner gewachsenen Produktlogik und Produktionstechnik, um nur zwei zentrale Elemente zu nennen. In den letzten Jahren haben sich die Betriebswirtschaft auf der einen und die Informationstechnik auf der anderen Seite als gleichberechtigte Partnerdisziplinen etabliert, die für die erfolgreiche Produktentwicklung von ebenso großer Bedeutung sind.

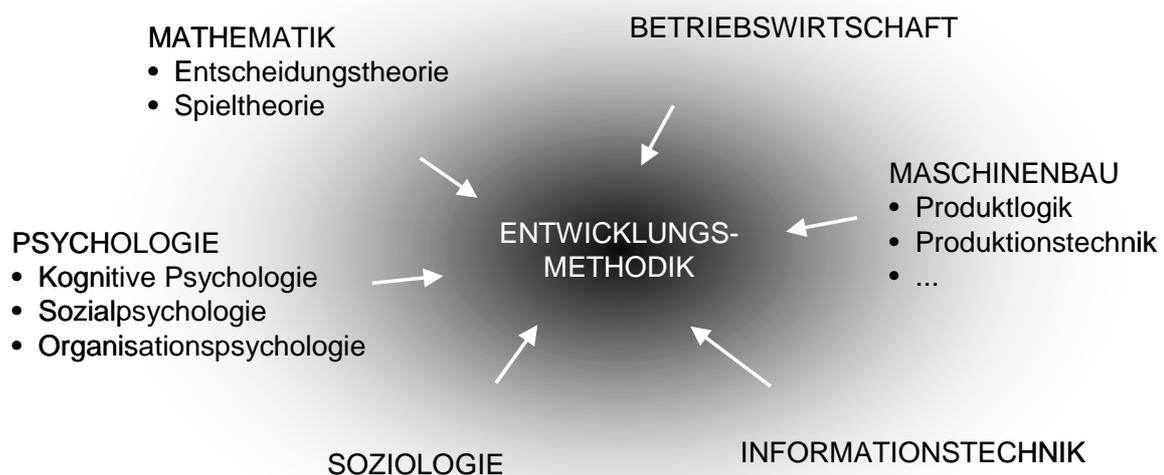


Bild 2: Elemente der Entwicklungsmethodik als spezielle Handlungstheorie

2.2 Entwicklungsmethodik

Es ist unmöglich, die Entwicklung der Konstruktionsmethodik in dieser Arbeit vollständig nachzuvollziehen. Deshalb werden lediglich einige wichtige Monographien der wissenschaftlichen Konstruktions- und Entwicklungsmethodik in einer tabellarischen Übersicht zusammengestellt (Tabelle 1). Diese Übersicht erhebt weder den Anspruch auf Vollständigkeit noch auf nationale Ausgewogenheit.

Zeitraum	Autoren
vor 1960	WÖGERBAUER 43, NIEMANN 50, BISCHOFF/HANSEN 53, BROSS 53, KESSELRING 54, GODE/MACHOL 57
60iger Jahre	BUHL 60, HALL 62, GOSLING 62, MATOUSEK 62, STARR 63, ALGER/HAYS 64, EDER/GOSLING 65, HANSEN 65, KRICK 65, DIXON 66, ZWICKY 66, CHESTNUT 67, MUELLER 67
70iger Jahre	FRENCH 71, RODENACKER 73, DAENZER (HRSG.) 99, VDI 2221 93, VDI 2222 97, PAHL/BEITZ 97, ALTSCHULLER 84, ROTH 94, KOLLER 94, HUBKA/EDER 88
80iger Jahre	EHRENSPIEL 98, FRENCH 85, CLELAND/KERZNER 86, ANDREASEN/HEIN 87, FRENCH 88, CROSS 89
90iger Jahre	PUGH 90, SUH 90, ROOZENBURG/EEKELS 91, ULLMAN 92, BREEING/FLEMMING 93, ERTAS/JONES 93, HALES 93, WILDEMANN 93, LINDE/HILL 93, EHRENSPIEL 95, TERNINKO 96, FRICKE/LOHSE 97

Tabelle 1: Monographien zur wissenschaftlichen Konstruktions- und Entwicklungsmethodik

Seit den 40iger Jahren sind vereinzelt Werke zum methodischen Konstruieren erschienen. Während die in Deutschland veröffentlichten Werke weitgehend alleinstehend blieben (WÖGERBAUER 43, NIEMANN 50, BISCHOFF/HANSEN 53, KESSELRING 54), etablierte sich in den USA der Begriff des Systems Engineering (GODE/MACHOL 57). Die hinter diesem Begriff stehende Methodik wurde in den 60iger Jahren dann systematisch weiterentwickelt (HALL 62, CHESTNUT 67). Der inhaltliche Schwerpunkt bei der Gestaltung des Systems Engineering verlagerte sich dabei bis heute mehr und mehr auf die Entwicklung von Datenverarbeitungssystemen. Unabhängig vom Systems Engineering gab es in den 60iger Jahren sowohl in Europa als auch in den USA weitere entwicklungsmethodische Ansätze von Seiten des Maschinenbaus (BUHL 60, GOSLING 62, MATOUSEK 62, STARR 63, ALGER/HAYS 64, EDER/GOSLING 65, HANSEN 65, KRICK 65, DIXON 66, ZWICKY 66, MUELLER 67).

Trotz der immer größer werdenden Zahl konstruktionsmethodischer Ansätze (FRENCH 71, RODENACKER 73, PAHL/BEITZ 97, ALTSCHULLER 84, ROTH 94, KOLLER 94, HUBKA/EDER 88) kam es in den 70iger Jahren im deutschsprachigen Raum zu einer gewissen Vereinheitlichung. Dazu trug vor allem die Rezeption der Gedanken des Systems Engineering bei, die in Europa durch das Betriebswissenschaftliche Institut der ETH Zürich aufgegriffen und weitervermittelt wurden (DAENZER (HRSG.) 76). Auf dieser Grundlage konnten die verschiedenen methodischen Ansätze gebündelt und mit den beiden Richtlinien VDI 2221 und VDI 2222 ein mittlerweile auch international anerkanntes Vorgehensmodell für die Produktentwicklung geschaffen werden.

Mit der „Standardisierung“ des Konstruktionsprozesses in den beiden VDI-Richtlinien schien die Konstruktion von Produkten weitgehend abgehandelt zu sein. In den 80iger Jahren verlagerte die Forschergemeinde daraufhin ihr Interesse auf übergeordnete Gesichtspunkte der Produktentwicklung. Ehrlenspiel stellte die Beeinflussung der Produktkosten in den Mittelpunkt seiner Arbeit (EHRENSPIEL 85), Cleland und Kerzner befassten sich explizit mit dem Management von Entwicklungsprozessen (CLELAND/KERZNER 86) und Andreasen und Hein schufen den Begriff der „Integrierten Produktentwicklung“ (ANDREASEN/HEIN 87).

In den 90iger Jahren haben verschiedene Autoren dann versucht, die Konstruktionsmethodik auf einem abstrakteren Niveau als Produktentwicklungsmethodik umfassend darzustellen (PUGH 90, ROOZENBURG/EEKELS 91, ULLMAN 92, BREEING/FLEMMING 93, ERTAS/JONES 93, EHRENSPIEL 95). Daneben kamen jedoch auch einige neue methodische Ansätze auf, die sich wieder stärker auf das eigentliche Feld der Konstruktionsmethodik bezogen. Auf der einen Seite schuf Suh das „Axiomatic Design“ (SUH 90), auf der anderen Seite setzte eine zeitverzögerte Rezeption der Gedanken Altschullers (ALTSCHULLER 79, TERNINKO 96) ein, die auch zu epigonalen Neufassungen seiner Theorien führte (LINDE/HILL 93).

Im Folgenden soll auf klassische und neuere konstruktionsmethodische Ansätze näher eingegangen werden, die mir im Zusammenhang mit dieser Arbeit bedeutsam erscheinen. Dabei wird mit der Problemlösungsmethodik des Systems Engineering begonnen, die letztlich ausschlaggebend für eine gewisse Vereinheitlichung der unterschiedlichen konstruktionsmethodischen Ansätze war. Im Anschluß daran wird das konstruktionsmethodische Vorgehen nach den beiden Richtlinien VDI 2221 und VDI 2222 stellvertretend für zahlreiche ähnliche methodische Vorgehensweisen aus dieser Zeit dargestellt. Darüber hinaus werden einige weitere methodische Ansätze behandelt, die sich in wesentlichen Punkten von diesem als klassisch bezeichneten konstruktionsmethodischen Vorgehen unterscheiden.

Mehr oder weniger unabhängig von der Entwicklung der Konstruktions- und Produktentwicklungsmethodik wurden in den letzten beiden Jahrzehnten eine Reihe von empirischen Untersuchungen zum individuellen Verhalten und dem Teamverhalten bei der Lösung technischer Problemstellungen durchgeführt (vgl. Kapitel 2.2.4).

2.2.1 Systems Engineering

Für die spätere Formulierung eines einheitlichen Vorgehensplans für die Produktentwicklung war vor allem die von der Schweizer Schule entwickelte Form des Systems Engineering ausschlaggebend (DAENZER (HRSG.) 99). Die Methodik des Systems Engineering besteht einerseits aus einem abstrakten Vorgehensmodell zur Problemlösung, andererseits aus einer Methodensammlung zum Projektmanagement, mit der die organisatorischen Aspekte einer Projektabwicklung behandelt werden. Das „Schweizer“ Systems

Engineering war dabei ursprünglich zur Lösung von Problemen aus dem betriebswirtschaftlichen Bereich vorgesehen.

Systems Engineering beruht auf konsequenter Anwendung von Systemdenken bei der Lösung von Problemen. Ausgehend von dem zunächst ganz abstrakten Modell eines Systems mit Eingangs- und Ausgangsgrößen, einer Systemumgebung und einem zunächst unbekanntem Innenleben wird versucht, ein grundlegendes Verständnis aller inneren und äußeren Wirkzusammenhänge des betrachteten Problems zu erarbeiten.

Der eigentliche Prozess der Problemlösung orientiert sich im Systems Engineering meist am Vorgehensprinzip „Vom Groben zum Detail“. Daraus ergibt sich das Prinzip der Phasengliederung als Markro-Logik der Problemlösung. Jedes Projekt gliedert sich danach in die sechs Phasen Vorstudie, Hauptstudie, Detailstudien, Systembau, Systemeinführung und Übergabe des Objektes und Abschluss des Projekts.

Der Makro-Logik zur Strukturierung des gesamten Problemlöseprozesses stellt das Systems Engineering eine Mikro-Logik zur inhaltlichen Problemlösung in jeder Projektphase zur Seite. Dieser Problemlösungszyklus (Bild 3) basiert auf der Logik zur Problemlösung von John Dewey (DEWEY 10).

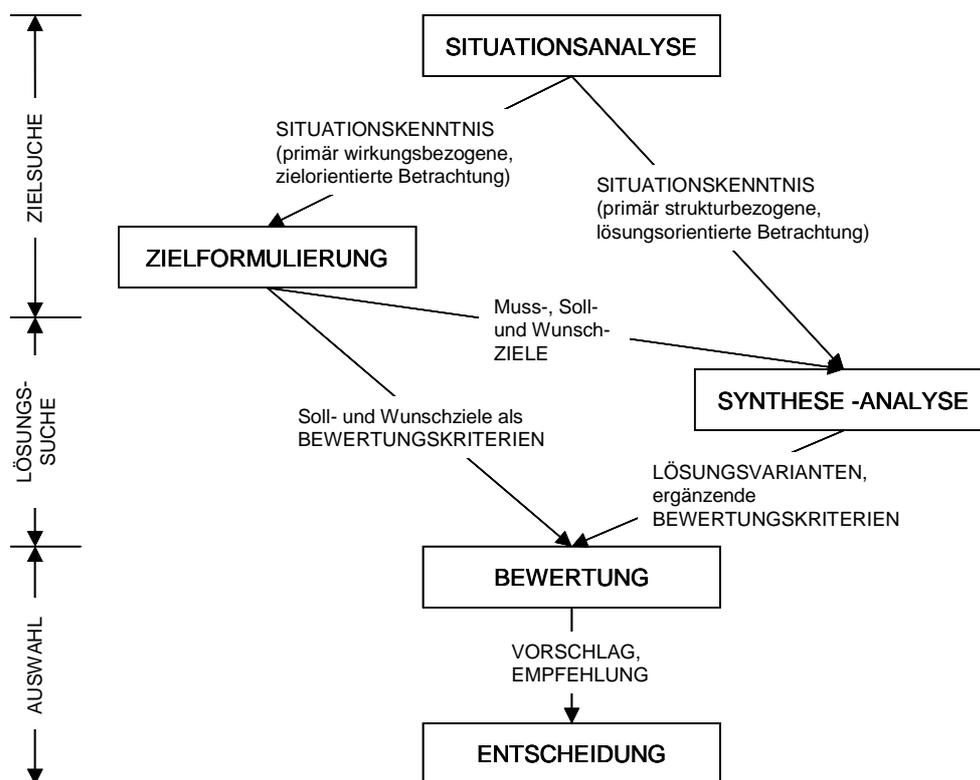


Bild 3: Der Problemlösungszyklus des Systems Engineering (DAENZER 99, S. 96)

Der Problemlösungszyklus nach Bild 3 wird im Systems Engineering dabei nicht als präskriptives Handlungsmodell verstanden, sondern als Orientierungshilfe in real viel komplexeren Handlungsprogrammen. In diesem Zusammenhang wird die Notwendigkeit von Rücksprüngen betont, die entweder als Grobzyklen über mehrere Teilschritte des Vorgehenszyklus hinweg oder als Feinzyklen innerhalb eines Teilschrittes durchgeführt werden müssen.

Auf die zwei Teilschritte „Zielformulierung“ und „Synthese – Analyse“ des Problemlösungszyklus soll an dieser Stelle noch etwas näher eingegangen werden. Im Anschluss an die Situationsanalyse werden im Teilschritt „Zielformulierung“ die Ziele für das weitere Vorgehen definiert. Dabei wird eine „handlungsorientierte“ oder „operationale“ Formulierung der Ziele angestrebt, an die unter anderem Forderungen wie Lösungsneutralität, Vollständigkeit oder Widerspruchsfreiheit gestellt wird. Auch die Zielformulierung wird im Verlauf einer Problemlösung auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen wiederholt und bezieht sich immer konkreter auf einzelne Elemente einer Problemlösung.

Synthese und Analyse werden in einem einzigen Teilschritt des Problemlösungszyklus zusammengefasst. Das Erarbeiten konkreter Lösungen wird im Systems Engineering offensichtlich als ein so enges Wechselspiel von Synthese- und Analyseschritten angesehen, dass es sich im Prozessverlauf nicht sinnvoll weiter untergliedern lässt. Trotzdem werden alternative Strategien bei der Suche nach Lösungen genannt, die alle abhängig von der jeweiligen Situation ihre Berechtigung haben. Dabei wird zwischen linearen und zyklischen Suchstrategien unterschieden (DAENZER (HRSG.) 76, S. 168).

2.2.2 Klassische Konstruktionsmethodik

Zur hier als „klassisch“ bezeichnete Konstruktionsmethodik haben zahlreiche Forscher aus aller Welt durch die Erarbeitung von Einzelmethoden beigetragen. Unter dem Einfluss der Systemtechnik wurde die Vielzahl der methodischen Ansätze in den 70iger Jahren im deutschen Sprachraum in den VDI-Richtlinien VDI 2221 und VDI 2222 zu einem weithin anerkannten „Methodenkanon“ zusammengefasst. Eine nur wenig abweichende und detaillierte Darstellung dieser Methodik findet sich in dem mittlerweile in viele Sprachen übersetzten Werk von Pahl und Beitz (PAHL/BEITZ 97).

Grundlage des klassischen methodischen Vorgehens in der Produktentwicklung bildet eine an die Belange des Maschinenbaus angepasste Phasengliederung des Entwicklungsprozesses (Bild 4). Dieser Vorgehensplan entspricht im wesentlichen der Marko-Logik des Systems Engineering. Auch die VDI 2221 betont, dass die Arbeitsschritte nicht starr nacheinander abgearbeitet werden sollten, sondern oft mehrere Male iterativ durchlaufen werden müssen um zu optimierten Lösungen zu gelangen.

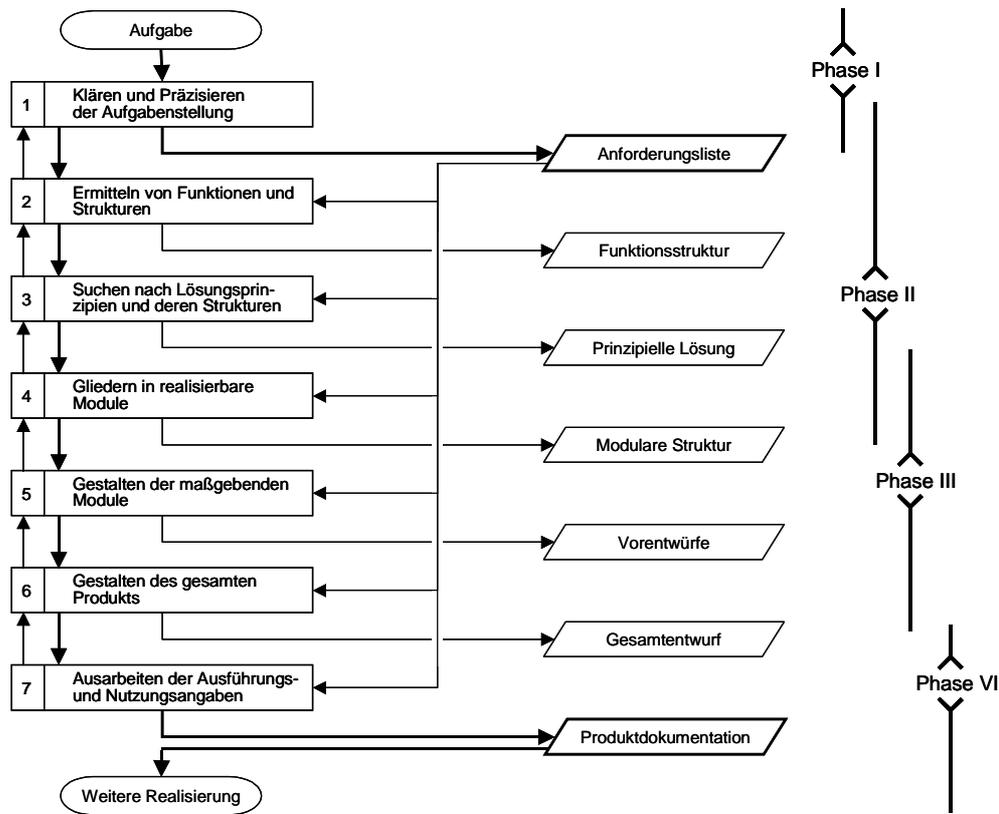


Bild 4: Generelles Vorgehen beim Entwickeln und Konstruieren nach VDI 2221

Zu jedem der Arbeitsschritte des Vorgehensplans stellt die Konstruktionsmethodik eine Reihe von Einzelmethoden zur Verfügung, die den Entwickler beim Erarbeiten des jeweiligen Zwischenergebnisses unterstützen sollen.

2.2.3 Neuere Ansätze

In den 80iger Jahren wurde die Konstruktionsmethodik im engeren Sinne zu einer umfassenden Entwicklungsmethodik ausgebaut. Dies war mit der Hinwendung zu Themen wie dem Management von Entwicklungsprozessen, der Kostenkontrolle bei der Produktentwicklung und einer ganzheitlichen Sicht auf den Produktlebenslauf mit Produktion, Nutzung und Entsorgung verbunden. Dass damit gleichzeitig eine gewisse Vernachlässigung der „Kernkompetenzen“ einherging, zeigte in den 90iger Jahren dann das Aufkommen alternativer konstruktionsmethodischer Ansätze wie *TRIZ* und *Axiomatic Design*. Getragen durch ein handlungsorientiertes Verständnis von methodischer Unterstützung und ein geschicktes Marketing gelang es vor allem den Vertretern von *TRIZ*, den Begriff der Produktinnovation für sich zu besetzen und die klassische Konstruktionsmethodik daneben ziemlich altbacken aussehen zu lassen.

2.2.3.1 Integrierte Produktentwicklung

Ehrlenspiel und seine Mitarbeiter leiteten Anfang der 80iger Jahre die Annäherung der Konstruktionsmethodik an betriebswirtschaftliches Gedankengut ein (EHRENSPIEL 85). Andreasen und Hein (ANDREASEN/HEIN 87) unternahmen unter dem Begriff der „Integrierten Produktentwicklung“ erstmals die Darstellung einer Entwicklungsmethodik, die über den bisherigen Betrachtungsbereich der Konstruktionsmethodik weit hinausgeht. Viele Autoren haben diesen Ansatz, teilweise unter anderem Namen, aufgegriffen und ausgebaut (PUGH 90, ROOZENBURG/EEKELS 91, ULLMAN 92, ERTAS/JONES 93, HALES 93, WILDEMANN 93, EHRENSPIEL 95).



Bild 5: Ziele und Elemente der integrierten Produktentwicklung (LINDEMANN/KLEEDÖRFER 97, S. 115ff)

Genaugenommen handelt es sich bei der integrierten Produktentwicklung um keine abgegrenzte, streng definierte Methodik, sondern um eine systematische Zusammenstellung von Methoden und Arbeitstechniken aus unterschiedlichen Fachdisziplinen. Nur auf diese Weise ist dem interdisziplinären Charakter eines modernen, industriellen Produktentwicklungsprozesses beizukommen.

Bild 5 zeigt die wichtigsten Ziele und Elemente der integrierten Produktentwicklung im Überblick (LINDEMANN/KLEEDÖRFER 97, S. 115ff). Die logische Struktur eines Produkt-

entwicklungsprozesses ergibt sich nach wie vor aus der Makro-Logik eines Vorgehensplans und der Mikro-Logik nachgeordneter Vorgehenszyklen. Das Lösen konkreter Problemstellungen wird darüber hinaus durch Strategien und Einzelmethoden aus der klassischen Konstruktionsmethodik unterstützt. Sie bildet damit nach wie vor eines der konstituierenden Elemente der integrierten Produktentwicklung.

Um jedoch die Planung, Durchführung und Kontrolle komplexer Entwicklungsvorhaben organisieren zu können, musste das Instrumentarium der integrierten Produktentwicklung um Elemente des Projektmanagements, des Kostenmanagements und der Organisations-theorie erweitert werden. Erst auf diese Weise wird es möglich, Konzepte wie „*Simultaneous Engineering*“ bei der Produktentwicklung zu realisieren.

Im Zusammenhang mit dieser Arbeit bleibt festzuhalten, dass sich die integrierte Produktentwicklung bei der Lösung konkreter technischer Problemstellungen im wesentlichen auf die Vorgaben der klassischen Konstruktionsmethodik bezieht. Dass das Bedürfnis der Produktentwickler in der Praxis nach methodischer Unterstützung auf elementarem Niveau damit nicht ausreichend befriedigt werden konnte, zeigt der Erfolg der im folgenden Teilkapitel beschriebenen methodischen Ansätze. Erst seit Mitte der neunziger Jahre bewegt sich die Entwicklungsmethodik im Sinn der *Integrierten Produktentwicklung* in Richtung einer größeren Flexibilität und Anpassbarkeit bei der Methodenanwendung. Anstöße kamen sowohl aus der empirischen Konstruktionsforschung (BIRKHOFFER/LINDEMANN 99, WALLMEIER/BADKE-SCHAUB/STEMPFLE/BIRKHOFFER 2000) als auch aus Forschungsarbeiten zur Einführung und Lehre von Methoden (SCHNEIDER/BIRKHOFFER 99, BIRKHOFFER/LINDEMANN/ALBERS/MEIER 2001). In diesem Zusammenhang sind auch die Arbeiten von Giapoulis (GIAPOULIS 96) und Demers (DEMERS 00) zu sehen, die sich beide mit der situativen Planung und Steuerung von Entwicklungsprozessen befasst haben. Zanker (ZANKER 99) hat auf der Methodenseite ergänzend dazu ein Modell zur situativen Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden vorgeschlagen.

2.2.3.2 TRIZ

TRIZ ist eine von G. Altshuller seit den 50iger Jahren entwickelte „Theorie des erfinderi-schen Problemlösens“ (ALTSCHULLER 84) und kann deshalb eigentlich kaum zu den „neueren“ methodischen Ansätzen gerechnet werden. Andererseits wurde diese in der Sowjetunion bereits in den 70iger und 80iger Jahren sehr populäre Theorie erst nach dem Fall des Eisernen Vorhangs im Westen zur Kenntnis genommen und nahm damit Einfluss auf die Forschung und Praxis der Entwicklungsmethodik.

Erstaunlich ist der kommerzielle Erfolg der Methodik TRIZ und der auf ihr basierenden Rechnerwerkzeuge. Es wäre dumm, diesen Erfolg ausschließlich mit der professionellen Vermarktung der Methodik und der Tools erklären zu wollen. Vielmehr ist davon auszugehen, dass diese Methodik in irgendeiner Weise den „Nerv“ vieler Produktentwickler getroffen hat und ihnen eine wirksamere Unterstützung bietet als andere methodische Ansätze.

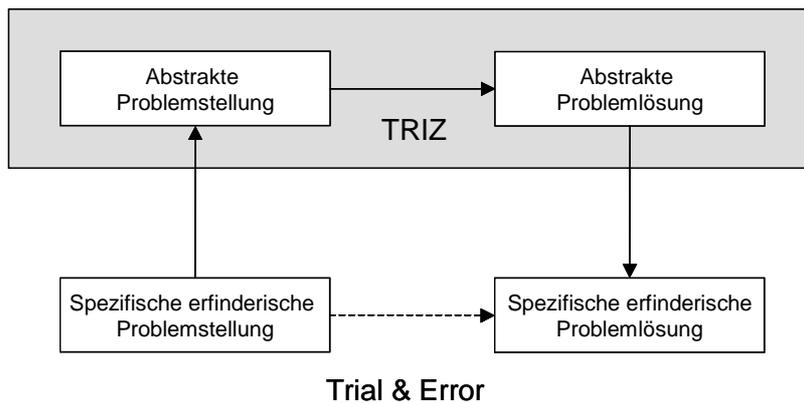


Bild 6: Problemlösen in TRIZ (nach SOUCHKOV 98)

TRIZ ist eine Zusammenstellung verschiedener Einzelmethoden, die alle auf demselben Prinzip der Problemlösung basieren (SOUCHKOV 98, S. 225). Eine spezifische technische Problemstellung wird zunächst abstrakt formuliert. Unterstützt durch die verschiedenen Methoden von TRIZ wird nun auf abstrakter Ebene nach einer Lösung für die abstrakte Problemstellung gesucht. Ist eine solche abstrakte Problemlösung gefunden, wird versucht, sie auf die konkrete Problemsituation zu übertragen. Altschuller (ALTSCHULLER 84, S. 16) wendet sich mit diesem Vorgehen explizit gegen beliebte Techniken wie das Brainstorming (OSBORN 63) oder die Synektik (GORDON 61), die für ihn lediglich eine breiter angelegte Lösungssuche nach dem Prinzip von „Versuch und Irrtum“ ermöglichen und deshalb für die Bearbeitung schwieriger technischer Problemstellungen wenig geeignet sind.

Aufbauend auf seine sehr umfangreichen Untersuchungen von Patentschriften geht Altschuller davon aus, dass sich die unendliche Zahl möglicher bzw. vorhandener technischer Problemlösungen auf eine überschaubare Anzahl abstrakter Prinzipien zurückführen lässt. Die Einzelmethoden von TRIZ fassen diese abstrakten Lösungsprinzipien jeweils für eine bestimmte Problemklasse zusammen und stellen ein mehr oder weniger stark formalisiertes Vorgehen zur Abstraktion des Problems und zur Auswahl eines geeigneten Prinzips zur Verfügung. Die Übertragung des abstrakten Lösungsprinzips auf die spezifische technische Problemstellung bleibt der Fähigkeit des Anwenders zur Analogiebildung überlassen; TRIZ bietet als Hilfestellung dazu konkrete technische Beispiele an.

Nach Altschuller (ALTSCHULLER 84) besteht die Methodik TRIZ im wesentlichen aus fünf verschiedenen Techniken: Dem ARIZ-Algorithmus, den Prinzipien zur Lösung technischer Widersprüche, den Standardlösungen für die Substanz-Feld-Analyse, der Sammlung physikalischer Effekte und den Gesetzmäßigkeiten der Evolution technischer Systeme. Während der ARIZ-Algorithmus ein allgemeiner Vorgehensplan zur Lösung technischer Problemstellungen ist, handelt es sich bei den übrigen Techniken um Methoden, die sich auf spezielle Problemstellungen beziehen.

Die Methodik TRIZ wurde seit Beginn der 90iger Jahre von verschiedenen Seiten aufgegriffen und modifiziert. So hat Linde mit WOIS (LINDE 93) eine in Deutschland etwas bekanntere Methodenzusammenstellung geschaffen, die die Grundgedanken von TRIZ mit den Techniken aus der Entwicklungsmethodik zu verknüpfen versucht.

2.2.3.3 Axiomatic Design

Analog zum Vorgehen in Mathematik und klassischer Mechanik versucht Suh (SUH 90, SUH 98) die Entwicklungsmethodik auf der Grundlage eines Systems von Axiomen aufzubauen. Mit der Formalisierung der Methodik will er eine Verwissenschaftlichung des Entwurfs technischer Systeme erreichen, von der er sich eine Vielzahl von Vorteilen verspricht: Entwickler sollen kreativer werden, Entwicklungsprozesse sollen effizienter ablaufen und der Entwurfsprozess soll letztlich auf den Computer übertragbar gemacht werden.

Nach Suh durchläuft jeder Entwurfsprozess vier unterschiedliche Bereiche, den Kundenbereich, den Funktionsbereich, den physikalischen Bereich und den Prozessbereich (Bild 7). Jeder dieser Bereiche ist durch einen Satz Variablen charakterisiert. Im Kundenbereich ist das die Menge der gewünschten Produkteigenschaften $\{CAs\}$. Beim Übergang in den Funktionsbereich müssen die gewünschten Produkteigenschaften in Funktionsanforderungen $\{FRs\}$ und Randbedingungen $\{Cs\}$ übersetzt werden. Im physikalischen Bereich müssen anschließend Entwurfsparameter $\{DPs\}$ festgelegt werden, die die Funktionsanforderungen unter Einhaltung der Randbedingungen erfüllen. Abgeschlossen wird der Entwurfsprozess durch die Entwicklung geeigneter Fertigungsprozesse für das Produkt, die durch Prozessvariablen $\{PVs\}$ definiert sind.

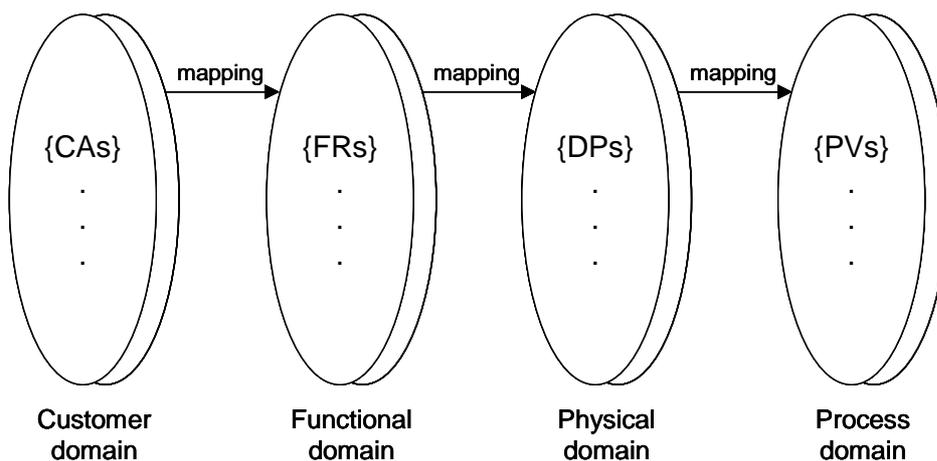


Bild 7: Vier Bereiche des Entwurfsprozesses und ihre charakterisierenden Vektoren

Suh versucht die Übergänge zwischen den Bereichen des Entwurfsprozesses mathematisch abstrakt mit Hilfe der Matrizenrechnung zu beschreiben. Für die Festlegung der Entwurfs-

parameter {DPs} des Systems aus den Funktionsanforderungen {FRs} ergibt sich beispielsweise folgende „Entwurfsgleichung“:

$$\{\mathbf{FRs}\} = [\mathbf{A}]\{\mathbf{DPs}\}$$

Die Entwurfsmatrix [A] verknüpft dabei die Entwurfparameter einer bestimmten Lösung in eindeutiger Weise mit den Funktionsanforderungen. Für ein technisches System mit drei Funktionsanforderungen und drei Entwurfparametern kann die Entwurfsmatrix [A] z. B. folgende drei Formen annehmen:

$$[\mathbf{A}] = \begin{bmatrix} \mathbf{A11} & \mathbf{A12} & \mathbf{A13} \\ \mathbf{A21} & \mathbf{A22} & \mathbf{A23} \\ \mathbf{A31} & \mathbf{A32} & \mathbf{A33} \end{bmatrix} \quad \text{"coupled design"}$$

$$[\mathbf{A}] = \begin{bmatrix} \mathbf{A11} & 0 & 0 \\ 0 & \mathbf{A22} & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{A33} \end{bmatrix} \quad \text{"uncoupled design"}$$

$$[\mathbf{A}] = \begin{bmatrix} \mathbf{A11} & 0 & 0 \\ \mathbf{A21} & \mathbf{A22} & 0 \\ \mathbf{A31} & \mathbf{A32} & \mathbf{A33} \end{bmatrix} \quad \text{"decoupled design"}$$

Im ersten Fall spricht Suh von „coupled design“, im Fall der Diagonalmatrix von „uncoupled design“ und im Fall der Dreiecksmatrix von „decoupled design“. Während bei einem „uncoupled design“ jeder Entwurfparameter DP ein-eindeutig mit einer Funktionsanforderung FR verknüpft ist, bestehen bei einem „coupled design“ und einem „decoupled design“ Abhängigkeiten zwischen den Entwurfparametern, die die Erfüllung der Funktionsanforderungen schwierig oder unmöglich machen kann.

Ein nach Suhs Methodik strukturierter Entwicklungsprozess durchläuft sequentiell die vier Bereiche Kunde, Funktion, Physik und Prozess. Im Verlauf des Prozesses müssen Lösungen gesucht und die dazugehörigen Entwurfsmatrizen erstellt werden. Die meisten technischen Problemstellungen sind allerdings zu komplex, um in einem linearen Prozess gelöst zu werden, der jeden Bereich nur einmal durchläuft. Suh sieht deshalb eine hierarchische Untergliederung des Entwicklungsprozesses vor. Nachdem ein Entwurf im physikalischen Bereich auf dem höchsten Abstraktionsniveau abgeschlossen wurde, erfolgt ein Rücksprung in den Funktionsbereich. Die Funktionsanforderungen werden weiter untergliedert und dazu geeignete Teillösungen und deren Entwurfsmatrizen im physikalischen Bereich erarbeitet. Dieses von Suh als „zigzagging“ bezeichnete, rekursive Durchlaufen von Prozessphasen wird bis zur vollständigen Definition des Systems wiederholt.

Der Kern von Suhs Konstruktionsmethodik besteht allerdings aus einem Satz von ca. 40 Regeln, die die Synthese und Bewertung von Lösungen im Entwicklungsprozess steuern. Die Regeln werden in Form von „Korollaren“ und „Theoremen“ aus zwei grundlegenden

„Axiomen“ abgeleitet. Sowohl die Axiome als auch die abgeleiteten Sätze haben Anforderungscharakter und sollen auf diese Weise die Lösungssuche gezielt beeinflussen.

Das „Unabhängigkeitsaxiom“ legt fest, dass einzelne Funktionsanforderungen eines Systems durch die Entwurfparameter so erfüllt werden müssen, dass die übrigen Funktionsanforderungen dadurch nicht beeinträchtigt werden. In der Sprache von Suhs Matrizenkalkül bedeutet das, dass bei einer brauchbaren konstruktiven Lösung die Entwurfparameter entweder mit einer Diagonal- oder mit einer Dreiecksmatrix mit den Funktionsanforderungen verknüpft sind.

Während die Erfüllung des Unabhängigkeitsaxioms für Suh die notwendige Voraussetzung für brauchbare Lösungen darstellt, ermöglicht das „Informationsaxiom“ die qualitative Bewertung verschiedener akzeptabler Lösungen. Das Informationsaxiom besagt, dass unter verschiedenen Lösungen, die das Unabhängigkeitsaxiom erfüllen, diejenige ausgewählt werden sollte, bei der die Wahrscheinlichkeit am höchsten ist, alle Funktionsanforderungen zu erfüllen. Suh führt dazu ein logarithmisches Mass ein, das die einfache Addition der Einzelwahrscheinlichkeiten erlaubt.

„Axiomatic Design“ sieht auf den ersten Blick nach einem sehr eigenständigen methodischen Ansatz aus. Das liegt vor allem an dem mathematischen Formalismus, den Suh zur Beschreibung der Beziehungen zwischen den Bereichen aufbaut. Suh macht allerdings in keiner seiner Veröffentlichungen deutlich, wie die mathematische Verknüpfung zwischen den Funktionsanforderungen und den Entwurfparametern in komplexeren Systemen realisiert werden kann. In den meisten Beispielen reduziert er die Entwurfsmatrizen auf einfache Tabellen, in denen die Abhängigkeiten zwischen Funktionsanforderungen und Entwurfparametern durch Kreuze gekennzeichnet werden. Das praktische Vorgehen beim „Axiomatic Design“ erinnert daher in mancher Hinsicht an den QFD-Ansatz nach Makabe (SULLIVAN 86), bei dem in einem vierstufigen Vorgehen ausgehend von den Kundenanforderungen die Qualitätsmerkmale bis zur Prozess- und Produktionsplanung sichergestellt werden sollen. Auch die Axiome und die daraus abgeleiteten Sätze weisen bei näherem Hinsehen enge Verwandtschaft mit den von anderen Autoren veröffentlichten methodischen Regelwerken auf. So entspricht Suhs Unabhängigkeitsaxiom z. B. der von Pahl und Beitz (PAHL/BEITZ 97, S.248ff) in ihren Grundregeln zum Gestalten erhobenen Forderung nach der Eindeutigkeit der Funktionserfüllung. Ähnliche Verwandtschaftsverhältnisse mit Theorien wie TRIZ lassen sich auch für weitere Korollare und Theoreme aus Suhs Theorie nachweisen.

2.2.4 Empirische Konstruktionsforschung

Seit Beginn der 80iger Jahre wurde damit begonnen, Konstruktionsprozesse empirisch mit methodischen Ansätzen aus der Psychologie, der Soziologie und den Arbeitswissenschaften zu untersuchen. Auf diese Weise hoffte man, Klarheit über die verschiedenen Einflussfaktoren von Konstruktionsprozessen zu erhalten und die im wesentlichen auf praktischer

Konstruktionserfahrung beruhenden methodischen Ansätze einer wissenschaftlichen Überprüfung zu unterziehen. Tabelle 2 zeigt eine Zusammenstellung wichtiger empirischer Untersuchungen und gibt in Stichpunkten den Schwerpunkt der jeweiligen Untersuchung an.

In der Anfangszeit der empirischen Konstruktionsforschung konzentrierten sich die Forscher vorwiegend auf die Untersuchung des individuellen Vorgehens bei der Produktentwicklung. In dieser Tradition stehen z. B. die Arbeiten von Rutz, Müller, Dylla, Fricke und Günther (RUTZ 85, MÜLLER 89, DYLLA 91, FRICKE 93, GÜNTHER 98), die in erster Linie die makroskopische Struktur des Vorgehens der beobachteten Entwickler untersuchten. Eine zentrale Erkenntnis dieser Forschungsarbeiten fasste Dörner (DÖRNER 94, S. 159) zusammen, als er feststellte: „Konstruktionsprozesse haben wohl keine kanonisierbare Optimalform, welcher der Konstrukteur nach einem festen Ablaufplan folgen kann.“ Zu verschiedenen zeigten sich in den einzelnen Studien die Vorgehenstypen, die Formen der Variantenbildung und die Art der verwendeten mentalen Modelle des Problems, ohne dass sich dabei eine eindeutige Beziehung zwischen der Ausprägung der einzelnen Faktoren und dem Prozessergebnis feststellen ließ. Die Erfüllung der Vorgaben der Konstruktionsmethodik bezüglich der Organisation des Entwicklungsprozesses (Vorgehenspläne) zeigte sich in diesem Zusammenhang zwar nicht unbedingt als hinderlich, war jedoch offensichtlich auch keine notwendige oder hinreichende Voraussetzung für einen Prozessserfolg.

Pache und Römer (PACHE/RÖMER/LINDEMANN/HACKER 01) befassen sich im Unterschied dazu mit sehr elementaren individuellen Abläufen bei der Lösungsgestaltung. Ihre Untersuchung der Bedeutung des Skizzierens bei der Lösungserzeugung umkreist den *Bild-Wort-Zyklus*, den Dörner als einen der wichtigsten kognitiven Mechanismen bei der Lösung konstruktiver Problemstellungen identifiziert hat (DÖRNER 98, S. 3f). Ihre Beobachtungen zeigen sehr deutlich, dass es auch für einen so grundlegenden Mechanismus wie das Skizzieren keine eindimensionalen Erklärungsmodelle gibt.

Eine zweite Entwicklungslinie in der empirischen Konstruktionsforschung befasste sich mit der Untersuchung des Verhaltens von Gruppen im Entwicklungsprozess. Hier liegen sowohl Arbeiten mit soziologischem Hintergrund (z. B. MINNEMAN 91, GLOCK 97) als auch solche mit gruppenpsychologischem Hintergrund vor (z. B. FRANKENBERGER 97, WALLMEIER 01). Frankenger gelang es in Zusammenarbeit mit der Psychologin Badke-Schaub, bei der nicht-teilnehmenden Beobachtung real ablaufender Entwicklungsprozesse die Einzelfallanalyse mit gruppenstatistischen Verfahren zu kombinieren. Durch Reduzieren der Untersuchung des Entwicklungsablaufs auf prozessbestimmende kritische Situationen war es ihm möglich, detaillierte Aussagen über den Einfluss interner und externer Faktoren auf das Prozessergebnis abzuleiten. Wallmeier entwickelte auf der Grundlage der Forschungsmethodik von Frankenger ein Verfahren zur Selbstdiagnostik, das es den Produktentwicklern in der Praxis ermöglichen soll, ungenutzte Potentiale in ihrer eigenen Prozessorganisation zu erkennen und durch geeignete Maßnahmen positiv zu beeinflussen.

Autoren	Art der Untersuchung	Individuum / Gruppe	Disziplinen	
RUTZ 85	Labor	Ind.	Ing.wiss.	Vergleich von realen Konstruktionsprozessen mit theoretischen Problemlösungsmodellen
HALES 87	Praxis	Gruppe	Ing.wiss.	Beschreibung von Konstruktionsprozessen in der Praxis
STAUFFER/ULLMAN 88	Labor	Ind.	Ing.wiss.	Modellierung des Konstruktionsprozesses, Gestaltung von Rechnerhilfsmitteln
MÜLLER 89	Praxis	Ind.	Ing.wiss., Psychologie	Darstellung des Zusammenwirkens der Einflüsse von Anforderungen, Produkt und Bearbeiter
TANG 89	Labor	Gruppe	Ing.wiss.	Grundlagen zur Rechnerunterstützung von Gruppenarbeit
DYLLA 91	Labor	Ind.	Ing.wiss., Psychologie	Analyse des Verlaufs individuell unterschiedlicher Konstruktionsprozesse
LENK 93	Labor	Ind.	Ing.wiss.	Analyse individueller Bewertungsprozesse
FRICKE 93	Labor	Ind.	Ing.wiss., Psychologie	Beschreibung erfolgreicher konstruktionsmethodischer Vorgehensweisen beim Konstruieren
RÜCKERT/SPRINGER 93	Labor	Ind.	Ing.wiss., Arb.wiss.	Belastung durch das Arbeitsmittel (z. B. CAD) beim Konstruieren, Gestaltung rechnergestützter Konstruktionssysteme
BLESSING 94	Labor	Gruppe	Ing.wiss.	Grundlagen für die Rechnerunterstützung des Konstruktionsprozesses
WETH 94	Labor	Ind.	Ing.wiss., Psychologie	Zusammenwirken von heuristischer Kompetenz, Fakten- und Methodenwissen aus psychologischer Sicht
FRANKENBERGER 97	Praxis	Gruppe	Ing.wiss., Psychologie	Zusammenwirken von Person-, Prozessmerkmalen und äußeren Einflüssen in der Gruppenarbeit beim Konstruieren
ATMAN/BURSIC 96	Labor	Ind.	Ing.wiss.	Einfluss von konstruktionsmethodischem Wissen auf den Konstruktionsprozess in der Ausbildung
GÜNTHER 98	Labor	Ind.	Ing.wiss., Psychologie	Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess, Vergleich
GLOCK 97	Praxis	Gruppe	Soziologie	Design als sozialer Prozess; Konstruieren als Zielinterpretation
MINNEMAN 91	Praxis	Gruppe	Ing.wiss., Soziologie	Entwicklung eines Observe-Analyze-Intervene-Zyklus zur Beeinflussung von Prozessabläufen im Entwicklungsteam
WALLMEIER 01	Praxis	Gruppe	Ing.wiss., Psychologie	Identifikation von Optimierungspotentialen in der Produktentwicklung durch Prozessbeobachtung; Prozessoptimierung durch Reflexion
PACHE/RÖMER LINDEMANN/HACKER 01	Labor	Ind.	Ing.wiss., Psychologie	Funktion des Skizzierens bei der Konzeptfindung

Tabelle 2: Überblick über empirische Forschungsarbeiten zur Produktentwicklung (ergänzt nach GÜNTHER 98)

Blessing, Chakrabati und Wallace (BLESSING/CHAKRABATI/WALLACE 98, S. 54) unternehmen eine Zusammenschau der meisten damals verfügbaren empirischen Studien mit dem Ziel, die Grundsätze für eine allgemeine Forschungsmethodik in der Konstruktionsforschung zu entwickeln. Sie kommen in dieser Studie unter anderem zu dem Schluss, dass es eine der Schlüsselaufgaben der Entwicklungsmethodik darstellt, eine Verbindung zwischen den Ergebnissen empirischer Studien und der Entwicklung von Konstruktionsmethoden herzustellen. Zu einem ähnlichen Schluss kommen Birkhofer und Lindemann in ihrem Resümee zur empirischen Konstruktionsforschung (BIRKHOFER/LINDEMANN 99). Sie fordern als konkrete Konsequenz aus den empirischen Erkenntnissen eine grundlegende Flexibilisierung der methodischen Vorgaben für den Konstruktionsprozess.

2.3 Psychologie

In Teilkapitel 2.1 wurde bereits deutlich gemacht, dass Erkenntnisse der Psychologie sowohl für den Aufbau einer integrierten Handlungstheorie als auch für den Aufbau einer speziellen Handlungstheorie wie der Entwicklungsmethodik von großer Bedeutung sind. Tatsächlich wird vor allem im Bereich der kognitiven Psychologie und der Sozialpsychologie bereits seit langem an den Themen individuelles Handeln und Handeln in Gruppen geforscht. Viele Erkenntnisse aus diesen Disziplinen haben z. B. über das Systems Engineering oder das Projektmanagement Eingang in die Entwicklungsmethodik gefunden. In den folgenden Kapiteln soll jedoch vor allem auf solche Erkenntnisse aus kognitiver Psychologie und Sozialpsychologie eingegangen werden, die nach Auffassung des Autors beim Aufbau der Entwicklungsmethodik noch nicht hinreichend gewürdigt wurden.

2.3.1 Kognitive Psychologie

Auch die kognitive Psychologie hat sich zu einer sehr umfassenden Wissenschaft entwickelt, die sich mittlerweile in zahlreiche Spezialdisziplinen aufspaltet. In unserem Zusammenhang sollen vor allem die Themen betrachtet werden, die sich mit Handeln und Problemlöseverhalten (vgl. z. B. TSCHAN 00, S. 44ff) des Menschen befassen.

Psychologische Handlungstheorien definieren Handlungen als zielgerichtetes menschliches Verhalten. Handlungen können deshalb sowohl von ihrem Ziel her als auch bezüglich ihres Ablaufs analysiert werden. Die am Ziel orientierte Analyse zeigt, dass Handlungen als hierarchische Strukturen von Zielen und Teilzielen aufgefasst werden können (HACKER/CLAUSS 76, CRANACH U. A. 80, AEBLI 80). Die hierarchische Dekomposition von Handlungen wird dabei meist bis zur letzten bewussten Zieleinheit fortgesetzt. Der hierarchischen Struktur steht der sequentielle zeitliche Ablauf realer Handlungen gegenüber. Die sequentielle Struktur einer Handlung ergibt sich einerseits aus logischen Restriktionen, die ein Nacheinander bestimmter Teilhandlungen erfordern, andererseits aus der beschränkten

Fähigkeit des Menschen, Handlungen parallel zu vollziehen. Zusammenfassend wird deshalb in der kognitiven Psychologie von der hierarchisch-sequentiellen Struktur menschlichen Handelns gesprochen.

Die Zielhierarchie einer Handlung kann sowohl mit dem Bewusstheitsgrad als auch mit der Regulationsebene der Handlung in Verbindung gebracht werden (vgl. HACKER/CLAUSS 76, CRANACH U. A. 80, Bild 8). Die unterste Stufe einer Zielhierarchie läuft in vielen Fällen automatisiert ab und fällt in den Bereich der sensumotorischen Regulation. Teilziele, die höher in der Hierarchie stehen, werden in zunehmenden Maß bewusstseinsfähig und fallen damit in den Bereich der perceptiv-begrifflichen Regulation. Noch höher in der Zielhierarchie stehen die bewusstseinspflichtigen Handlungselemente, die der heuristisch-intellektuellen Handlungsregulation unterstehen. Selbstverständlich sind die Zuordnungen zwischen Zielhierarchie, Bewusstheitsgrad und Regulationsebene fließend. So können die meisten Handlungen nach einer Einübungsphase auf einer niedrigeren Bewusstseins-ebene als zu Beginn durchgeführt werden.

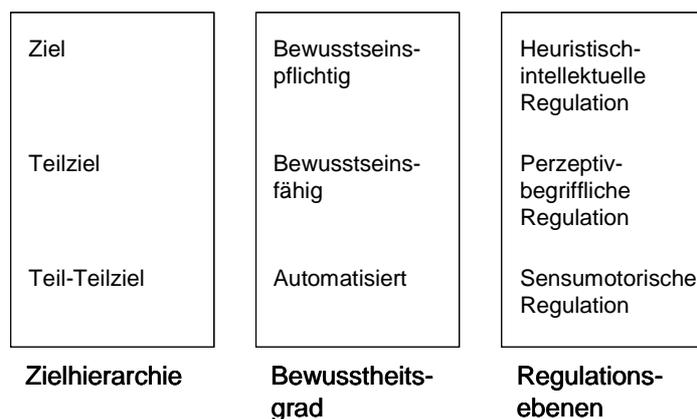


Bild 8: Hierarchien der Handlungsregulation (TSCHAN 00, S. 44ff)

Die bis hierher beschriebenen psychologischen Kategorien dienen vor allem der Beschreibung menschlichen Handelns. Sie sagen noch relativ wenig über die tatsächliche Wirkungsweise der jeder Handlung zugrundeliegenden Regulationsmechanismen aus. Dazu dienen Modelle der handlungsbezogenen Informationsverarbeitung, wie sie von verschiedenen Autoren vorgeschlagen wurden. Am bekanntesten unter diesen Modellen dürfte das von Miller, Galanter und Pribram entwickelte TOTE-Schema sein (MILLER/GALANTER/PRIBRAM 60), das in vielfacher Abwandlung auch bei anderen Autoren auftaucht. Nach dem TOTE-Schema (s. Bild 9) wird die Handlungsausführung durch einen geschlossenen Regelkreis kontrolliert. Der Handelnde überprüft dabei vor jedem Handlungsschritt, ob das angestrebte Handlungsziel bereits erreicht ist (TEST). Ist das nicht der Fall, wird ein Handlungsschritt (OPERATE) durchlaufen, andernfalls wird die Handlung beendet (EXIT).

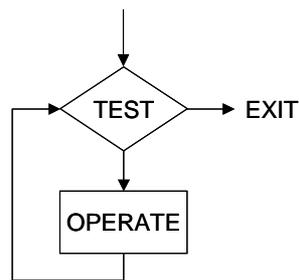


Bild 9: Das TOTE-Schema nach MILLER/GALANTER/PRIBRAM 60

Das TOTE-Schema lässt die Frage der Zielbildung in Handlungsprozessen völlig offen. Viele psychologische Handlungstheorien haben den Regelkreis der Handlungskontrolle darum um Teilschritte der Orientierung und Zielwahl ergänzt (z. B. HACKER 86, CRANACH ET AL. 80, DÖRNER 92, S. 67). Bild 10 zeigt den Zyklus handlungsregulierender Informationsverarbeitung nach Cranach. Jede Handlung setzt danach beim Handelnden eine Phase der Orientierung und eine Phase der Zielwahl und Zielübernahme voraus. Die Reihenfolge dieser Phasen kann unterschiedlich sein, je nachdem, ob der Handelnde ein externes Ziel übernimmt oder ob eine interne Zielbildung stattfinden muss. Über diese beiden alternativen Wege gelangt der Handelnde zur Planung der Handlung, die im Anschluss daran ausgeführt wird. Auf die Ausführung der Handlung folgt die Evaluation oder Ausführungskontrolle. Cranach unterscheidet dabei zwischen der Ausführungskontrolle, die sich auf den korrekten Ablauf der geplanten Handlung bezieht, und der übergeordneten Endbewertung, bei der die Zielerreichung des gesamten Handlungsprozesses überprüft wird. So betrachtet könnte das TOTE-Schema für sich durchaus als untergeordneter Regelungsprozess in einem Zyklus nach Cranach aufgefasst werden.

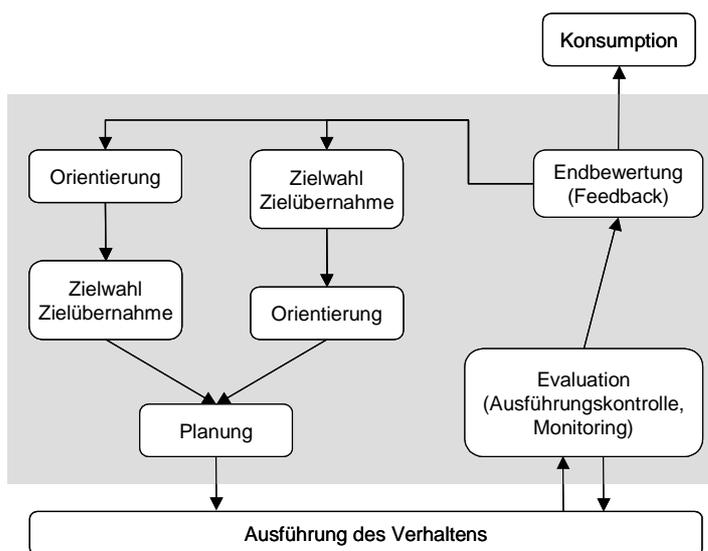


Bild 10: Zyklus handlungsregulierender Informationsverarbeitung nach CRANACH ET AL. 80

Es ist auffällig, dass die psychologischen Handlungszyklen im Gefolge des TOTE-Schemas starke Ähnlichkeit mit den auf Dewey zurückgehenden logischen Problemlösungsschemata (DEWEY 33, DAENZER 99, EHRENSPIEL 95) aufweisen. Dies verwundert jedoch kaum, wenn man bedenkt, dass sich die menschliche Fähigkeit zum Handeln und Problemlösen im Verlauf der Evolution am logischen Aufbau der Realität orientieren musste, um auf Dauer überlebensfähig zu sein.

Dass die an der Handlungslogik orientierten Regelkreismodelle nur einen Teil der psychischen Realität abbilden, zeigt zum Beispiel das „Rubikonmodell der Handlung“ nach Heckhausen und Gollwitzer (HECKHAUSEN 89, GOLLWITZER 90). Dieses Modell lässt sich zwar mit den beschriebenen Regelkreismodellen in Beziehung setzen, beschreibt dabei aber vor allem die Bewusstseinslagen des Handelnden in den verschiedenen Handlungsphasen. Dabei wird grundsätzlich zwischen motivationalen Bewusstseinslagen und volitionalen Bewusstseinslagen unterschieden. Motivationale Bewusstseinslagen sind eher realitätsorientiert, sie lassen Fragen nach der Nützlichkeit einer Handlung ebenso zu wie die Abwägung von Handlungsalternativen. Im Unterschied dazu sind volitionale Bewusstseinslagen eher realisierungsorientiert, sie konzentrieren sich auf die Überwindung von Hindernissen und die Abwehr konkurrierender Handlungstendenzen. Die Informationsverarbeitung ist im ersten Fall offen, im zweiten Fall dagegen selektiv und fokussiert auf die Handlungsausführung.

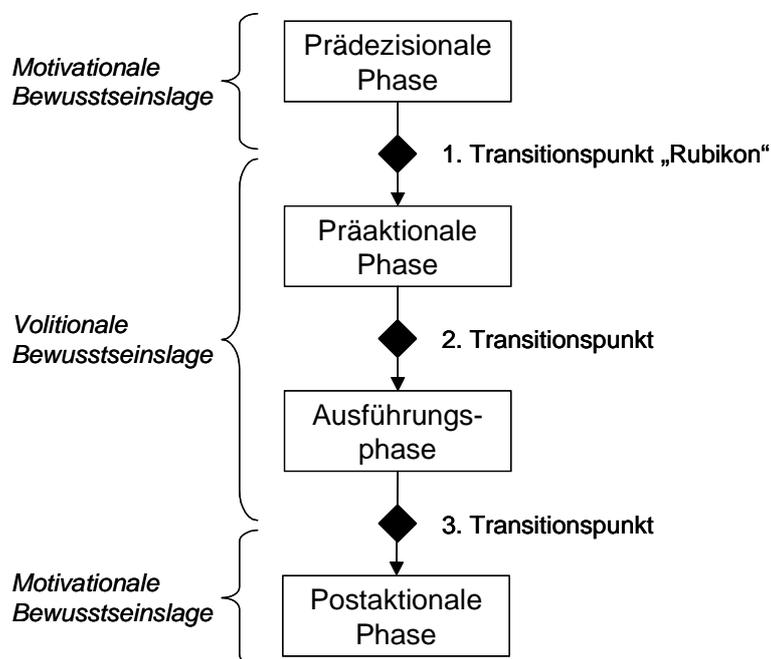


Bild 11: Das „Rubikonmodell der Handlung“ nach Heckhausen und Gollwitzer (HECKHAUSEN 89, GOLLWITZER 90)

Nach Heckhausen und Gollwitzer beginnt jede Handlung mit einer prädeziionalen Motivationsphase. In dieser Phase wird das Für und Wider einer Handlung gegeneinander abgewägt. Überwiegt das Für einer Handlung, entschließt sich die Person zur Durchführung der Handlung, sie überschreitet damit den „Rubikon“. Dieser erste Transitionsunkt kennzeichnet den Übergang von einer motivationalen Bewusstseinslage zu einer volitionalen Bewusstseinslage. Während die motivationale Bewusstseinslage eine unvoreingenommene Lagebeurteilung ermöglicht, beschreibt eine volitionale Bewusstseinslage den „Tunnelblick“ der handelnden Person, der allein auf die Umsetzung der einmal beschlossenen Handlung gegen alle Widerstände gerichtet ist. Nach dem Überschreiten des „Rubikon“ folgt nach Gollwitzer und Heckhausen eine präaktionale Phase, in der die konkrete Handlungsausführung geplant wird. Mit zunehmender Dauer dieser volitionalen Planungsphase wächst beim handelnden Individuum der Drang zur Umsetzung des Handlungsplans, die sog. „Fiat-Tendenz“, bis schließlich ein zweiter Transitionsunkt erreicht wird. Danach beginnt die wiederum volitionale Handlungsausführung. Im letzten Transitionsunkt wird die Handlung abgeschlossen oder abgebrochen und damit die Intention deaktiviert. Dies erfolgt entweder durch den erfolgreichen Abschluss des Handlungsplans oder durch die Frustration eines anhaltenden Misserfolgs. Die sich daran anschließende Bewertung der ausgeführten Handlung wird wieder mit einer motivationalen Bewusstseinslage in Beziehung gebracht.

2.3.2 Kleingruppenforschung

Während in der kognitiven Psychologie vorwiegend das Handeln des Individuums und die damit verbundenen psychischen Prozesse im Mittelpunkt stehen, wird in der Sozialpsychologie und der in unserem Zusammenhang besonders interessierenden Kleingruppenforschung der Schwerpunkt auf die Untersuchung des gemeinsamen Handelns von Gruppen gelegt. Die Frage nach der Leistung von Gruppen ist dabei seit langem eine der zentralen Fragestellungen der Kleingruppenforschung. Hierbei werden zwei grundsätzlich verschiedene Positionen vertreten: Die auf Steiner zurückgehenden Prozessverlustmodelle (STEINER 72) stehen den Synergiemodellen gegenüber (z. B. HACKMAN 87).

In den Prozessverlustmodellen wird davon ausgegangen, dass von der potentiellen Produktivität einer Gruppe unvermeidliche Prozessverluste abgezogen werden müssen. Diese Prozessverluste ergeben sich einerseits als Koordinationsverluste, andererseits als Motivationsverluste („social loafing“) in der Gruppe (TSCHAN 00, S. 17ff). Ausgerechnet in Studien zum Brainstorming wurde dabei das Auftreten von Koordinationsverlusten gegenüber unabhängig voneinander arbeitenden Einzelpersonen immer wieder nachgewiesen (z. B. HARARI/GRAHAM 75, DIEHL/STROEBE 87, ZIEGLER/DIEHL/ZIJLSTRA 00).

Die Vertreter von Synergiemodellen machen dagegen geltend, dass sich durch geschicktes Kombinieren und Ergänzen individueller Leistungen in der Gruppe synergetische Gewinne realisieren lassen, die über eine reine Addition der Einzelleistungen der Gruppenmitglieder

hinauswachsen können. Die Mechanismen, die zu Synergieeffekten in der Gruppe führen, scheinen sich weniger klar spezifizieren zu lassen als die beschriebenen Verlustmechanismen. Generell ließen sich jedoch auch Synergieeffekte in einzelnen Studien empirisch nachweisen (z. B. MICHAELSEN/WATSON/BLACK 89, VEIGA 91, WATSON/MICHAELSON/SHARP 91, WILLIAMS/KARAU 91, HUGUET/CHARBONNIER /MONTEUIL 99).

Tschan (TSCHAN 00, S. 20ff) weist auf zahlreiche methodische Probleme des Vergleichs von Gruppenleistungen mit Individualleistungen hin, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann. Für die praktische Anwendung gruppenpsychologischer Erkenntnisse viel bedeutsamer scheint mir allerdings das Argument zu sein, dass viele Aufgaben, die in der gesellschaftlichen Realität von Gruppen wahrgenommen werden, aufgrund ihres Umfangs oder der dafür benötigten verschiedenartigen Kompetenzen von Individuen prinzipiell nicht zu bearbeiten sind. In diesen Fällen erübrigt sich die Frage nach einem Leistungsvergleich von Gruppen und Einzelpersonen. Dennoch muss festgehalten werden, dass die in den letzten Jahren immer mehr um sich greifende „Teameuphorie“ dazu geführt hat, selektiv nur noch die vermeintlichen Gewinne von Gruppenarbeit wahrzunehmen. Dabei machen gerade die angeführten Studien eines sehr deutlich: Effiziente und effektive Zusammenarbeit in der Gruppe reagiert sehr sensibel auf unterschiedliche und zum Teil noch unverstandene Einflussparameter, so dass die vielbeschworenen Synergieeffekte sehr leicht von gruppentypischen Verlustmechanismen aufgezehrt werden können.

Gruppenproduktivität wird in der Kleingruppenforschung heute weitgehend einheitlich vor dem Hintergrund eines Input-Prozess-Output-Modells betrachtet (TSCHAN 00, S. 23ff). Als Input bestimmen z. B. Faktoren wie die Gruppenzusammensetzung, die Aufgabe und die Umgebung den Gruppenprozess, von dem wiederum das Ergebnis der Gruppenarbeit als Output abhängt. Nicht zuletzt aus forschungspraktischen Gründen wird diese umfassende Betrachtungsweise jedoch häufig auf ein Input-Output-Modell reduziert, bei dem der Prozess mehr oder weniger als Black Box betrachtet wird.

Das Modell der Gruppenleistung nach Gladstein (GLADSTEIN 84, Bild 12) fasst z. B. viele der Faktoren zusammen, die das Gruppenergebnis bei einer vorwiegend Input-Output-orientierten Analyse beeinflussen. Aufgrund ihres organisationspsychologischen Hintergrunds betont Gladstein den Einfluss der Aussenkontakte einer Gruppe für ihre Leistung. Dazu zählt die Vertretung der Gruppe gegen aussen („Ambassador“-Aktivitäten), das Sammeln von Informationen („Scout“-Aktivitäten) und die aufgabenbezogene Koordination mit externen Partnern. Einzelne Studien zeigen allerdings, dass intensive Aussenkontakte nicht in jedem Fall zu einem guten Gruppenergebnis beitragen. So zeigen Gruppen, die während der gesamten Prozessdauer intensiv nach externen Informationen suchen, gegenüber anderen Gruppen eine verminderte Leistung. Für Tschan (TSCHAN 00, S. 28) ist das ein Hinweis darauf, dass die Einflussfaktoren in einem Input-Output-Modell der Gruppenleistung eben nicht eindeutig positiv oder negativ zu bewerten sind. Ihre Bedeutung muss sich vielmehr im Kontext einer konkreten Prozesssituation ergeben.

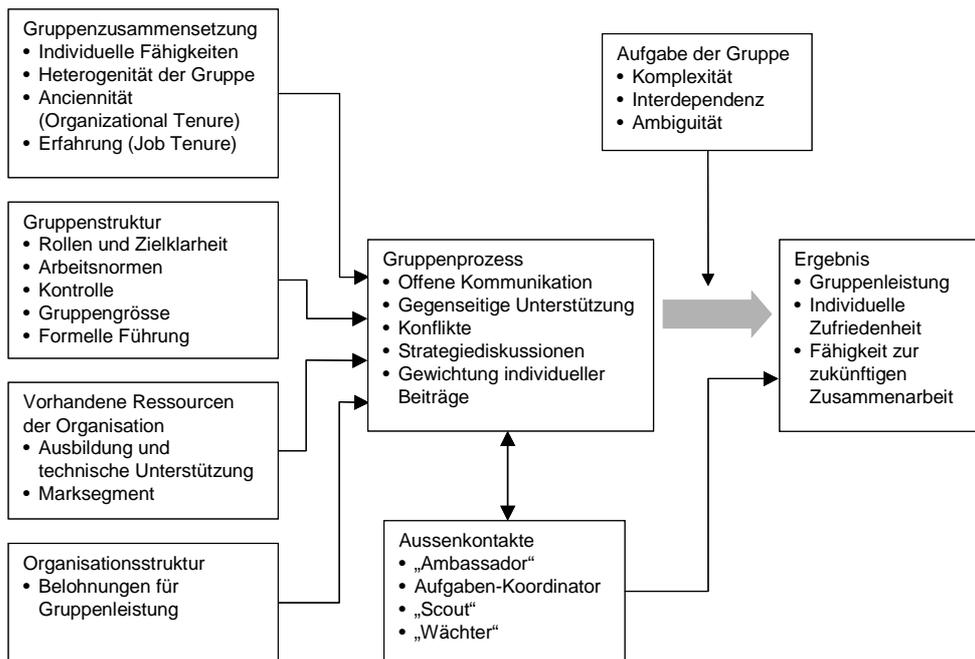


Bild 12: Gruppenleistungen in Organisationen nach GLADSTEIN 84 (zitiert nach TSCHAN 00)

Die Abläufe im Prozess selbst sind Gegenstand zweier im folgenden betrachteter Modelle, von denen sich das eine auf den Aspekt der Selbstregulation von Gruppenhandlungen bezieht, das andere auf die Bedeutung von Zielsetzungen für die Gruppenleistung. Mullen (MULLEN 87) überträgt in seinem Modell die von Carver und Scheier (CARVER/SCHEIER 81) für individuelles Handeln entwickelte Selbstregulationstheorie auf das Handeln von Individuen in Gruppen.

Die Selbstregulationstheorie nach Carver und Scheier geht davon aus, dass drei Faktoren dafür verantwortlich sind, ob ein Individuum zu einer Handlung übergeht oder nicht: Selbstaufmerksamkeit (self-attention), Verhaltensstandards (behavioral standards) und Ergebniserwartungen (outcome-expectancy). Nur wenn diese drei psychischen Faktoren gemeinsam vorliegen, kommt es zu einer Handlungsausführung. Die Selbstaufmerksamkeit des Individuums ist die Grundvoraussetzung jeder Handlung. Ist sie aktuell gering oder nicht vorhanden, kann keine Diskrepanz zwischen dem Ist-Zustand und einem Soll-Zustand wahrgenommen werden. Das Individuum verharrt im Zustand der Selbstvergessenheit und tut nichts. Das Zusammenwirken von Selbstaufmerksamkeit und der Verfügbarkeit von Verhaltensstandards erlaubt es dem Individuum, eine Diskrepanz zwischen Ist und Soll zu realisieren und eine Handlungsausführung zu ihrer Überwindung in Erwägung zu ziehen. Tatsächlich ausgeführt wird die Handlung allerdings nur dann, wenn zu diesen beiden Faktoren eine positive Ergebniserwartung hinzukommt.

Mullen geht in seiner Theorie davon aus, dass sowohl die Selbstaufmerksamkeit bei den Mitgliedern einer Gruppe als auch die Ergebniserwartung entscheidenden Einfluss auf die

Leistung der Gruppe haben. Damit gelingt es ihm, für drei scheinbar widersprüchliche, aber immer wieder nachgewiesene Phänomene in der Kleingruppenforschung eine konsistente theoretische Erklärung zu liefern: *Social loafing*, *social facilitation* und *social impairment*. Unter *social loafing* wird die Tendenz des Einzelnen verstanden, sich aufgrund mangelnder Motivation im Team weniger anzustrengen. *Social facilitation* beschreibt den entgegengesetzten Zustand, nämlich sich im Team stärker zu engagieren. *Social impairment* schließlich beschreibt die Tendenz, im Team wegen Überlastung der Aufmerksamkeit weniger zu leisten (TSCHAN 00, S. 30). Bild 13 zeigt qualitativ den Zusammenhang zwischen der Leistung einer Gruppe und den Parametern Selbstaufmerksamkeit und Ergebniserwartung.

Social facilitation stellt den vielbeschworenen Idealzustand der Zusammenarbeit in der Gruppe dar. Sie geht mit hoher Selbstaufmerksamkeit und hoher Ergebniserwartung einher. Eine hohe Ergebniserwartung kommt vor allem dann zustande, wenn die Aufgabe oder das Problem den Gruppenmitgliedern lösbar erscheint. Damit wird dieser Fall natürlich eher bei einfacheren Aufgaben und Problemstellungen eintreten. Bei gleichbleibend hoher Selbstaufmerksamkeit aber abnehmender Ergebniserwartung kann die *social facilitation* in ihr Gegenteil, das *social impairment* umschlagen. Die kollektiv empfundene vermeintliche oder real bestehende Aussichtslosigkeit führt zur Blockade aller Handlungstendenzen in einer Gruppe. Genau wie beim Individuum führt eine niedrige Selbstaufmerksamkeit auch in der Gruppe dazu, dass ein Handlungsbedarf gar nicht erst erkannt wird. Dieser als *social loafing* bezeichnete Effekt beruht darauf, dass sich die einzelnen Gruppenmitglieder auf ihre Kollegen „verlassen“ und deshalb selbst weniger engagiert an der Problemlösung mitwirken. *Social loafing* lässt sich offensichtlich verstärkt bei homogen zusammengesetzten Gruppen beobachten.

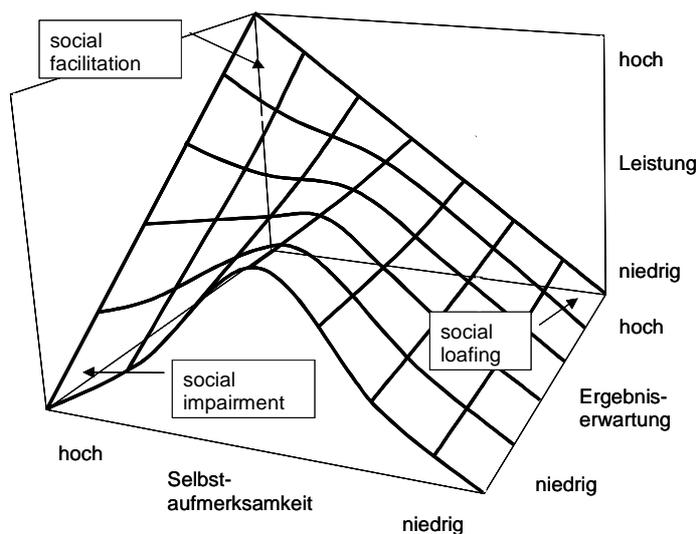


Bild 13: Gruppenleistung (qualitativ) in Abhängigkeit von Selbstaufmerksamkeit und Ergebniserwartung nach Mullen (nach TSCHAN 00, S. 30)

Eine weitere Theorie, welche ursprünglich für individuelles Handeln entwickelt wurde, dann aber erfolgreich auf das Handeln von Gruppen übertragen werden konnte, ist der „high performance cycle“ von Locke und Latham (LOCKE/LATHAM 1990). Das Modell betont die Wichtigkeit von Zielsetzungen sowohl für die Leistung von Individuen, als auch von Gruppen. Dabei gilt, dass „hohe, aber spezifische und erreichbare Zielsetzungen zu höherer Leistung führen als das Setzen keiner, unspezifischer, niedriger oder aber unerreichbarer Ziele“ (TSCHAN 00, S. 325).

In ihren eigenen experimentellen Untersuchungen ging Tschan (TSCHAN 00, S. 153ff) der Frage nach, ob ein Zusammenhang zwischen dem Prozentsatz *idealer Kommunikationszyklen* im Team und der Gruppenleistung besteht. Ideale Kommunikationszyklen im Team spiegeln dabei eine Handlungsorganisation wieder, die den als ideal angesehenen Mikrozyklen der kognitiven Psychologie entspricht. In ihren Experimenten sollten Kleingruppen von 2-3 Personen gemeinsam ein handwerklich-konstruktives Problem lösen. Die elementaren Kommunikationseinheiten wurden bei der Auswertung in die drei Klassen idealer Zyklus, vollständiger Zyklus und unvollständiger Zyklus eingeteilt. Tschan konnte nachweisen, dass die Leistung einer Gruppe signifikant mit dem Prozentsatz *idealer Kommunikationszyklen* während der Bearbeitung der Aufgabe korrelierte.

Arrow, McGrath und Berdahl (ARROW/MCGRATH/BERDAHL 00) legen schließlich eine umfassende Rahmentheorie für Kleingruppen vor. Ihrer Auffassung nach stellen Kleingruppen komplexe adaptive Systeme dar, deren Entwicklung einer Vielzahl externer und interner Faktoren unterliegt. Arrow, McGrath und Berdahl versuchen den Gruppenprozess, gestützt auf zahlreiche empirische Untersuchungen, nach Phasen und Funktionen zu strukturieren und auf diese Weise einen Überblick über die wechselseitigen Abhängigkeiten zu gewinnen.

2.4 Fazit aus der Analyse des Forschungsstands

Die Entwicklungsmethodik wurde in diesem Kapitel als angewandte Handlungstheorie definiert, die enge Verbindungen zu einer Reihe weiterer wissenschaftlicher Disziplinen aufweist. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit wurde darum nicht nur ein Überblick über den Forschungsstand in der Entwicklungsmethodik gegeben, sondern auch versucht, wichtige Erkenntnisse der kognitiven Psychologie und der psychologischen Kleingruppenforschung zusammenzufassen.

Der Überblick über die Entwicklungsmethodik hat gezeigt, dass sich die Forschungstätigkeit im Lauf der Jahre von der Unterstützung elementarer Konstruktionsprozesse immer stärker zu Managementfragen und der übergreifenden Organisation von Entwicklungsprozessen hin verlagert hat. Dies scheint in Zeiten immer komplexer werdender Entwicklungsprozesse durchaus sinnvoll zu sein. Die nur zögerliche Anwendung klassischer Konstruktionsmethodik und der Erfolg von Methoden wie TRIZ zeigt allerdings auch, dass

- in der Praxis weiterhin der Bedarf nach einer methodischen Unterstützung elementarer Entwicklungs- und Konstruktionsprozesse besteht.
- die seit den 80iger Jahren weitgehend unveränderte Konstruktionsmethodik noch weiter verbessert werden müsste.

Die empirische Konstruktionsforschung befasst sich mittlerweile seit über zwanzig Jahren mit der Erforschung von Konstruktionsprozessen. Sie hat im Verlauf dieser Zeit einige wichtige Erkenntnisse erbracht, die allerdings sehr langsam Eingang in die theoretische Entwicklungsmethodik finden. Auch ihr Hauptaugenmerk liegt auf der makroskopischen Struktur des Prozesses. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Kategoriensystem, auf das sich die Analysen der empirischen Konstruktionsforschung aufbauen, in wesentlichen Teilen den präskriptiven Modellen der klassischen Konstruktionsmethodik entnommen ist. Damit ordnen sich ihre Erkenntnisse zum Konstruktionshandeln meist oberhalb der von der Psychologie beschriebenen elementaren Ebene der handlungslogischen Mikrozyklen ein. Das wertet die bisherigen Erkenntnisse der empirischen Konstruktionsforschung in keiner Weise ab, es lässt jedoch eine Lücke in der Erforschung von Konstruktionsprozessen, in die bisher nur punktuell vorgedrungen worden ist.

Die kognitive Psychologie hat eine ganze Reihe von Modellen entwickelt, um Handlungsprozesse auf einer elementaren kognitiven Ebene beschreiben zu können. Die meisten dieser Modelle konzentrieren sich auf eine vorwiegend logische Beschreibung der psychischen Vorgänge bei der Handlungsregulation. Das Rubikonmodell nach Heckhausen und Gollwitzer zeigt jedoch, dass es sinnvoll ist, die handlungslogische Betrachtung um emotionale Aspekte der Handlungsausführung zu ergänzen. Ähnliches gilt für die Kleingruppenforschung. Jüngste empirische Studien haben zwar gezeigt, dass handlungslogische Muster einen bedeutenden Einfluss auf die Ergebnisse der Zusammenarbeit in Gruppen haben. Gerade Gruppenphänomene wie z. B. „social loafing“ lassen sich jedoch aus einem rein handlungslogischen Ansatz heraus nicht befriedigend erklären. Die Erklärungsmodelle wurden deshalb auch hier z. B. um emotionale Aspekte ergänzt.

Bisher fanden vor allem handlungslogische Erkenntnisse und Modelle aus der kognitiven Psychologie Anwendung in Entwicklungsmethodik und empirischer Konstruktionsforschung. Ihre um emotionale Aspekte erweiterten Modifikationen wurden dagegen bisher kaum rezipiert. Diese Tatsache widersprach der zunächst ganz unspezifischen (Selbst-)Erfahrung des Autors aus unterschiedlichen Entwicklungsprojekten, wonach emotionale Mechanismen sehr wohl einen merklichen Einfluss auf den Verlauf von Entwicklungsprozessen haben. Gepaart mit dem Gefühl, dass die klassische Konstruktionsmethodik sowohl den Prozess der individuellen Lösungssuche als auch die Meinungsbildung und Entscheidungsfindung im Team nur unbefriedigend erklären konnte, stellte sich der Autor zu Beginn dieser Arbeit darum zwei grundlegende Fragen:

- Wie entsteht gutes Design?
- Wie setzen sich Ideen im Team durch?

Diese Fragen sollten durch die detaillierte, unvoreingenommene Analyse von Entwicklungsprozessen in Einzelfallstudien geklärt werden. Erst im Anschluss daran sollte darüber nachgedacht werden, durch welche Maßnahmen die Wirksamkeit von Methoden zur Lösungssuche und Entscheidungsfindung gesteigert werden könnte.

3 Forschungsmethodik

Kapitel 3 gibt einen kurzen Überblick über die Projekte, aus deren Beobachtung heraus der Autor die empirische Grundlage dieser Arbeit gewonnen hat. Die Datenerhebung erfolgte dabei sowohl durch die Selbstbeobachtung individuell durchgeführter Prozessabschnitte als auch durch teilnehmende Beobachtung eines Entwicklungsteams. Im zweiten Teil dieses Kapitels folgt deshalb eine Diskussion der Berechtigung und der Problematik dieses Vorgehens in der Konstruktionsforschung.

3.1 Einzelfallstudien

Diese Arbeit beruht im wesentlichen auf den Beobachtungen und Erfahrungen, die der Autor in unterschiedlichen Entwicklungsprojekten machen konnte. In den meisten dieser Projekte wurde ein Konzept für ein technisches System soweit entwickelt, dass ein erster Funktionsprototyp aufgebaut werden konnte. Tabelle 3 listet die verschiedenen Projekte und die dazugehörigen Entwicklungspartner auf.

Projekt	Beschreibung	Projektpartner
Kupplung	Entwicklung einer schaltbaren Kupplung für eine Kfz-Kühlmittelpumpe	Systempartner der Automobilindustrie im Bereich Dichtungssysteme
Laser	Kostensenken an einem Nd-YAG-Laser	Hersteller von Nd-YAG-Lasersystemen für Beschriftungsanwendungen
MeKas	Erarbeiten einer Entwicklungsmethodik für mechatronische Karosseriesysteme / Entwicklung eines Kfz-Aussenspiegels (Bayerische Forschungsstiftung)	Automobilhersteller
Mittelkonsole	Erarbeiten von Qualitätsverbesserungen an einer Pkw-Mittelkonsole	Pkw-Hersteller
Herz-Lungen-Maschine	Entwicklung eines Systems zur Pulserzeugung in Herz-Lungen-Maschinen	Deutsches Herzzentrum München
Tailbumper	Entwicklung einer Zusatzeinrichtung für Flugversuche	Verkehrsflugzeug-Hersteller
Hochgeschwindigkeits-Verzahnungs-schleifmaschine	Forschungsprojekt zur Entwicklung eines Maschinenkonzepts für eine Hochgeschwindigkeits-Verzahnungsschleifmaschine (Bayerische Forschungsstiftung)	Werkzeugmaschinen-Hersteller
Chirurgisches Instrument	Entwicklung eines Instruments für minimalinvasive Herzoperationen	Deutsches Herzzentrum München

Tabelle 3: Gegenstand der betrachteten Entwicklungsprojekte und Projektpartner

Die aufgeführten Projekte waren teilweise von interdisziplinärer Zusammenarbeit im Team geprägt. Die Kupplungsentwicklung wurde in einem ausschließlich aus Maschinenbau-studenten bestehenden Team durchgeführt. Auch die Projekte „Tailbumper“ und „HSG-

Maschine“ waren klassische Ingenieursprojekte mit scheinbar geringem interdisziplinären Charakter. In beiden Projekten traten die Unterschiede in der Denkweise der beteiligten Fachrichtungen Luft- und Raumfahrttechnik, Berechnung und Produktentwicklung jedoch so deutlich zutage, dass ihre Überbrückung im Prozessverlauf oft schwieriger erschien als in den „wirklich“ fachübergreifenden Entwicklungsvorhaben. Dazu zählt einmal das Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit einem Automobilhersteller, bei dem das zentrale Thema die Schaffung einer Entwicklungsmethodik für mechatronische Karosseriesysteme war. Die Methodenentwicklung erfolgte dabei am Beispiel der Kfz-Tür, für die Entwicklungspotentiale im Sinne einer mechatronischen Integration aufgezeigt wurden. Konkret wurde in diesem Projekt ein Kfz-Aussenspiegel in Leadframe-Technologie konstruiert und als Prototyp erprobt. Das Team bestand dabei aus Elektrotechnikern und Maschinenbauern aus unterschiedlichen Abteilungen des Kfz-Herstellers und Studenten der TU München. Bei der konstruktiven Überarbeitung des Nd-YAG-Lasers spielte der fachliche Gegensatz zwischen den Schöpfern des Lasers, physikalischen Technikern und den Maschinenbaustudenten die zentrale Rolle. Die größte fachliche Entfernung bestand jedoch mit Sicherheit zwischen Medizinern und Maschinenbauern bei der Entwicklung einer Pulserzeugungseinrichtung für eine Herz-Lungen-Maschine und eines chirurgischen Instruments.

Mit Ausnahme der Kupplungsentwicklung war der Autor in den aufgezählten Entwicklungsprojekten als Koordinator und Moderator des Teams tätig. Damit fiel ihm die Rolle eines informellen Teamleiters ohne Weisungsbefugnis zu. Ebenso wie die beteiligten Studenten verfügte der Autor zu Beginn der Projekte über nur wenig Produkt- bzw. Anwendungsbezug. Dies schloss die intensive technische Mitarbeit im Entwicklungsprozess jedoch nicht aus. Die Forschungsarbeit gründet sich auf die gemeinsam von den Projektpartnern, den Studenten und dem Autor erarbeiteten Ergebnissen sowie auf der vom Autor durchgeführten Beobachtung und Reflexion des jeweiligen Prozessverlaufs. Auch wenn nur drei Fallstudien detailliert besprochen werden können, beruht die Hypothesenbildung im Rahmen dieser Arbeit auf den Beobachtungen aus den ersten sieben der in Tabelle 3 aufgeführten Fallstudien mit ihren zahlreichen Teilprozessen. Unabhängig davon wurde das letzte Projekt (Chirurgisches Instrument) zu einer ersten Validierung der vorgeschlagenen methodischen Grundkonzepte durchgeführt.

Für Dörner (DÖRNER 98, S. 8ff) stellen Einzelfallanalysen die geeignetste Methode dar, um zu einer Theorie des Konstruktionshandelns zu gelangen. Er begründet das mit der bereits erwähnten Beobachtung, dass beim Lösen technischer Problemstellungen meistens mehrere Wege zum Ziel führen. Seiner Meinung nach gibt es den idealen Prozessablauf nicht, Erfolgsfaktoren in einer konkreten Situation können unter anderen Umständen zum Misserfolg führen. Gruppenstatistische Methoden greifen in so komplexen Situationen nicht, sie könnten letztlich nur zu trivialen Aussagen führen.

Gomm, Hammersly und Foster (GOMM/HAMMERSLY/FOSTER (EDS.) 00) fassen den aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisstand bezüglich der Anwendung von Einzelfallstudien in der Sozialforschung zusammen. Darin vertritt Donmoyer (DONMOYER 00, S. 45ff) die

Auffassung, dass die Ergebnisse qualitativer Einzelfallstudien für den praktischen Anwender von wissenschaftlichen Erkenntnissen oft viel hilfreicher sind als statistische Untersuchungen. Aus praktischen Erwägungen ist daher für ihn die Frage nach der Generalisierbarkeit von Erkenntnissen aus Einzelfallstudien nicht so wichtig, wie es erkenntnistheoretische Überlegungen vielleicht nahe legen. Damit wird allerdings keineswegs die von Lincoln und Guba (LINCOLN/GUBA 00, S. 27ff) bündig formulierte Grundeigenschaft von Einzelfallstudien bestritten: „The only generalization is: There is no generalization.“

Der Autor bedient sich der Methode der Einzelfallstudie in dieser Arbeit, weil sie ihm momentan als die einzige geeignete Forschungsmethode erscheint, um die beiden am Ende des letzten Kapitels gestellten Fragen zu untersuchen. Er ist sich der Einschränkungen dieser Methode bewusst, die eine Verallgemeinerung der Ergebnisse aus den vorliegenden Untersuchungen nicht zulassen. Die im Verlauf der Arbeit entwickelten methodischen Konzepte kommen deshalb nicht über den Status von Arbeitshypothesen hinaus, die sich im abschließenden Fallbeispiel als hilfreich erwiesen haben.

3.2 Beobachtung und Analyse der Prozessabläufe

Auch bei der Beobachtung und Analyse der Prozessabläufe ist der Autor auf Methoden angewiesen, die in der wissenschaftlichen Praxis als problematisch angesehen werden: Selbstbeobachtung und teilnehmende Teambeobachtung.

Die Notwendigkeit zur Selbstbeobachtung ergab sich vor allem bei der Untersuchung der Frage „Wie entsteht gutes Design?“. Die vorliegenden empirischen Untersuchungen zeigen, dass sich die elementaren Denkprozesse beim Konstruieren einer Beobachtung von außen weitgehend entziehen. Das gilt auch bei der Verwendung der Technik des lauten Denkens. Damit können zwar in vielen Fällen zusätzliche Informationen über den Verlauf des Problemlöseprozesses ermittelt werden, es gelingt jedoch im allgemeinen nicht, aus diesen Informationen die genaue Abfolge elementarer kognitiver Handlungszyklen zu rekonstruieren. Dies gelingt noch am besten durch die Selbstbeobachtung bei der Problemlösung und eine möglichst zeitnahe Dokumentation des Handlungsablaufs.

Natürlich besteht dabei die Gefahr einer subjektiven Verfälschung der Beobachtungsergebnisse. Der Autor hat versucht, diese Gefahr durch die standardisierte Aufschlüsselung des Handlungsablaufs nach den Modellen handlungslogischer Mikrozyklen zu reduzieren. Dabei wurden die drei Phasen Zielformulierung, Lösungssuche und Evaluation unterschieden. Der Handlungsablauf wurde nicht um jeden Preis in diesen handlungslogischen Dreischritt gepresst, ließ sich eine Phase nicht deutlich identifizieren, so wurde sie im Protokoll übersprungen.

Der handlungslogische Mikrozyklus als Strukturbaustein des menschlichen Denkens ist in der Psychologie ausreichend empirisch abgesichert, um hier als Beobachtungsmodell für elementare Denkprozesse bei der Produktentwicklung verwendet zu werden. Dies kann

jedoch nicht ganz ausschließen, dass das Protokollschema den Autor im Sinne einer idealen Handlungsorganisation beeinflusst hat.

Auch die teilnehmende Beobachtung von Gruppenprozessen ist eine umstrittene Methode zur Datenerhebung. Dies begründet sich sowohl aus dem unmittelbaren Einfluss des Beobachters auf den Gruppenprozess als auch aus seiner Doppelbelastung als teilnehmendes und zugleich protokollierendes Gruppenmitglied. Wissenschaftlich idealer ist sicher die nicht teilnehmende Gruppenbeobachtung, die unter den gegebenen Umständen allerdings nicht praktikabel war. Die teilnehmende Beobachtung stellt jedoch unter den gegebenen Einschränkungen eine in der empirischen Konstruktionsforschung anerkannte Forschungsmethode dar.

Auch bei der Gruppenbeobachtung hat der Autor die Dokumentation der Prozessabläufe möglichst zeitnah vorgenommen. Dabei wurden vor allem wichtige Aussagen der beteiligten Personen in Teamsitzungen oder Telefongesprächen protokolliert. Diese bildeten zusammen mit der Projektdokumentation die Grundlage für die Untersuchung der zweiten Frage „Wie setzen sich Ideen im Team durch?“. Die zur Analyse der Vorgänge im Team notwendige Interpretation des Verhaltens der beteiligten Personen wurde nach Möglichkeit mit deutlichem zeitlichen Abstand zur Datenaufnahme durchgeführt. Dadurch wurde die Gefahr einer Fehlinterpretation aufgrund eines spontanen Eindrucks vermindert.

Begleitend zur Gruppenbeobachtung hat der Autor eine Selbstbeobachtung seines eigenen Verhaltens und seiner Gefühlslage durchgeführt. Diese Selbstbeobachtung unterliegt natürlich auch den weiter oben diskutierten Einschränkungen. Sie war jedoch hilfreich, um ein umfassendes Bild der jeweiligen Prozesssituation zu gewinnen, das auch die emotionalen Aspekte im Team nicht vernachlässigte.

Der Autor ist sich darüber im klaren, dass die Art der Datenaufnahme in den durchgeführten Fallstudien einzelne subjektive Verzerrungen nicht ausschließen kann. Dies ist auch nicht notwendig, solange die Gefahr eines systematischen Fehlers bei der Datenerhebung zuverlässig ausgeschlossen werden kann. In dieser Hinsicht entspricht die Vorgehensweise des Autors anerkannten wissenschaftlichen Vorgehensweisen der Entwicklungsmethodik.

4 Wie entsteht „gutes Design“?

In Kapitel 4 wird an einem Fallbeispiel untersucht, wie „gutes Design“ in einem Entwicklungsprozess entsteht. Die Analyse beschränkt sich dabei zunächst auf das individuelle Vorgehen eines einzelnen Produktentwicklers. Die Ergebnisse dieser Fallstudie werden im Anschluss daran den Aussagen der Entwicklungsmethodik und der kognitiven Psychologie gegenübergestellt. Wie sich bereits im letzten Kapitel andeutete, tritt dabei eine Diskrepanz zu Tage zwischen dem realen Vorgehen bei der Lösungssuche und den denkpsychologischen Erkenntnissen einerseits und den Vorgaben der Entwicklungsmethodik andererseits. Zur Überwindung dieser Diskrepanz wird vorgeschlagen, sowohl den individuellen Entwicklungsprozess als auch den Entwicklungsprozess in der Gruppe als diskursiven Prozess aufzufassen. Auf diese Weise kann es gelingen, die Ansätze der Entwicklungsmethodik mit denkpsychologischen Erkenntnissen in Einklang zu bringen und dem methodischen Vorgehen insgesamt zu größerer praktischer Wirksamkeit zu verhelfen. Zentraler Gedanke einer diskursiven Entwicklungsmethodik ist die Arbeit mit abstrakten Zielformulierungen über den gesamten Prozess der Lösungssuche hinweg.

4.1 Fallbeispiel „Entwicklung einer trägheitsgeschalteten Reibungskupplung“

Im folgenden ist die Entwicklung einer mechanischen Schaltkupplung beschrieben, die der Autor im Rahmen eines Konstruktionslehreseminars mit einer Aufgabenstellung aus der Industrie selbst durchgeführt hat. Der Autor hat wichtige Abschnitte des Entwicklungsprozesses schriftlich und in Form von Skizzen und Zeichnungen sehr detailliert dokumentiert (WULF 94). Diese Art der Selbstbeobachtung erlaubt eine genaue Rekonstruktion der wesentlichen Gedankengänge, die letztlich zur Lösung des gegebenen Entwurfsproblems geführt haben.

4.1.1 Beschreibung des Entwicklungsprozesses

Diesem Fallbeispiel lag die Entwicklungsaufgabe zugrunde, eine zusätzliche Schaltfunktion in das Kühlsystem eines Kfz-Motors zu integrieren. Im bisherigen System wurde die Kühlmittelpumpe über einen Riementrieb vom Motor direkt angetrieben. Das Drehmoment für das Pumpenrad wurde dabei mit Hilfe einer Magnetkupplung berührungslos in den Kühlkreislauf hinein übertragen (vgl. Bild 14). Diese Design war gewählt worden, um das Risiko eines Dichtungsschadens an der Kühlmittelpumpe prinzipiell auszuschalten. Die zusätzliche Schaltfunktion für den Kühlkreislauf wurde gefordert, um das Abgasverhalten des Motors in der Warmlaufphase zu verbessern. Damit der Motor schnell auf die aus Emissionsgründen günstige Betriebstemperatur kommt, soll während der ersten Betriebsminuten kein Kühlmittelumlauf erfolgen. Aus diesem Grund forderte der Kunde des In-

dustriepartners eine Kupplungsfunktion in der Kühlmittelpumpe, die es erlaubt, die Rotation des Pumpenrades bei laufendem Motor zu unterbrechen. Dabei sollte weder der Bauraum für den Pumpenantrieb noch das Prinzip der berührungslosen Drehmomentübertragung zum Pumpenrad verändert werden.

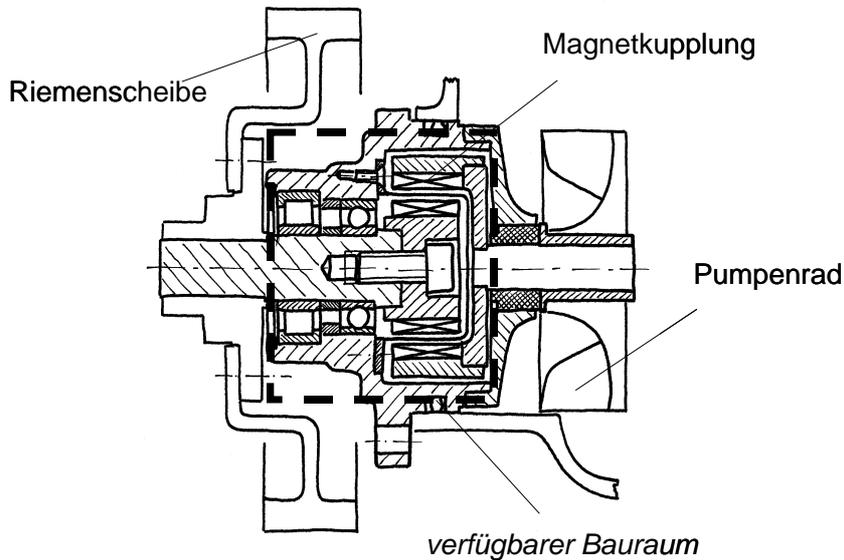


Bild 14: Kühlmittelpumpe mit berührungsloser Drehmomentübertragung auf das Pumpenrad

Das Team, in dem die Entwicklung durchgeführt wurde, bestand aus sechs Studenten und einem Assistenten des damaligen Lehrstuhls für Konstruktion im Maschinenbau. Die Aufgabenklärung und die erste Phase der Lösungssuche wurden gemeinsam im Team durchgeführt. Nachdem sich verschiedene mögliche Lösungsansätze abzeichneten, wurden diese im Sinne einer Konzeptstudie von den Teammitgliedern detailliert ausgearbeitet. In dieser Phase des Seminars arbeiteten die Teilnehmer jeweils für sich an einer Gruppe von Lösungen; Zwischenergebnisse wurden regelmäßig in den Seminarsitzungen präsentiert und diskutiert. Aufgabe des Autors war es, eine elektrisch betätigbare Schaltfunktion für die beschriebene Kühlmittelpumpe auszuarbeiten.

Parallel zur Klärung der Aufgabe und der Erstellung einer Anforderungsliste wurde eine Recherche zu existierenden KupplungsbaufORMen durchgeführt. Das Ergebnis dieser Recherche bezüglich elektromagnetisch ansteuerbarer Wirkprinzipien ist in Bild 15 zusammengefasst. Prinzipiell lässt sich dabei zwischen formschlüssig, kraftschlüssig und originär elektromagnetisch arbeitenden Schaltkupplungen unterscheiden. Bereits in dieser Phase zeichnete sich ab, dass handelsübliche Kupplungen kaum in der Lage wären, das geforderte Drehmoment im zur Verfügung stehenden Bauraum zu übertragen.

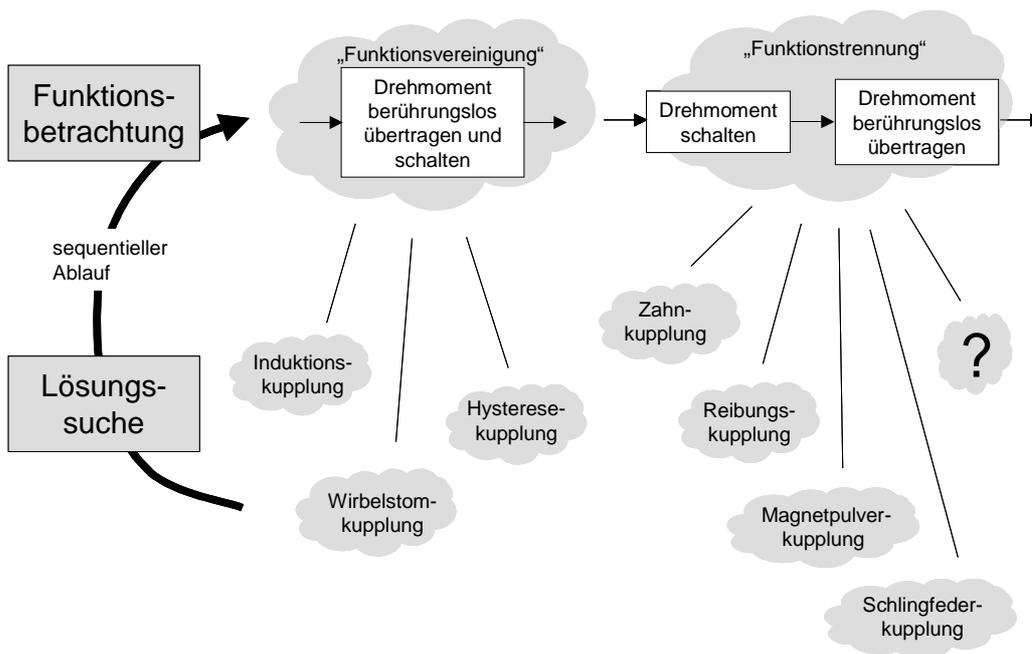


Bild 15: Funktionsbetrachtung im Anschluss an eine orientierende Lösungssuche

Im Anschluss an diese erste Orientierungsphase wurde eine Funktionsbetrachtung des bestehenden und des neu zu entwickelnden Systems vorgenommen. Dabei wurden zwei prinzipielle Möglichkeiten deutlich, die zusätzliche Schaltfunktion in der Kühlmittelpumpe zu realisieren: Entweder konnte die Schaltfunktion „irgendwie“ in die Magnetkupplung integriert werden, oder es musste eine eigenständige Schaltkupplung zwischen die Riemenscheibe und die Magnetkupplung „gequetscht“ werden (vgl. Bild 15 oben). Im direkten Vergleich schien die Funktionsintegration gegenüber der Funktionstrennung der attraktivere Lösungsansatz zu sein. Dies lag vor allem am sehr begrenzten Bauraum, der eigentlich schon von der vorhandenen Lösung vollständig ausgeschöpft wurde.

Die Integration der Schaltfunktion in die Magnetkupplung war auf zweierlei Weise vorstellbar. Die Wirkung der Dauermagnete in der Kupplung kann entweder durch ein geeignetes Wirkprinzip wahlweise „deaktiviert“ werden, oder es muss ein Prinzip zur berührungslosen Drehmomentübertragung gefunden werden, das das Schalten des Drehmomentflusses von Natur aus erlaubt. Die Magnetkupplung kann durch die Unterbrechung der Flusslinien zwischen Innen- und Außenrotor deaktiviert werden. Dieses Unterbrechen der Flusslinien kann durch Auseinanderrücken beider Rotoren in axialer Richtung oder durch das Einschieben einer Hülse aus einem Material hoher magnetischer Permeabilität in den Übertragungsspalt erfolgen. Eine Nachfrage beim Industriepartner ergab, dass dort bereits Versuche zum Abreißen der magnetischen Kraftübertragung gemacht worden waren, bei denen der abtriebsseitige Kupplungsteil mit Gewalt festgehalten und anschließend losgelassen wurde. Dabei hatte sich gezeigt, dass der abtriebsseitige Kupplungsteil nicht selbständig wieder anlief, sondern in unkontrolliertes Rattern verfiel und erst nach dem

Abstoppen des Antriebsstrangs wieder wie vorgesehen arbeitete. Ein derartiges Verhalten war auch bei einer Unterbrechung des magnetischen Flusses der Kupplung nach den oben vorgeschlagenen Methoden zu erwarten. Da die Kühlmittelpumpe laut Anforderungen aber im Lauf geschaltet werden muss, wurden diese Lösungsansätze nicht weiter verfolgt.

Für den zweiten integrativen Lösungsansatz musste ein Prinzip der berührungslosen Drehmomentübertragung gesucht werden, das gleichzeitig das Schalten des Drehmomentflusses erlaubt. Die systematische Recherche hatte drei physikalische Wirkprinzipien erbracht, die auch in marktüblichen Kupplungen zum Einsatz kamen: Hysterese Kupplung, Wirbelstromkupplung und Induktionskupplung. Weitere physikalische Prinzipien zur Kraftübertragung wie z. B. die elektrostatische Anziehung bzw. Abstoßung wurden aus diesem Grund nicht näher betrachtet. Die nähere Analyse der drei Kupplungsprinzipien ergab, dass Hysterese- und Wirbelstromkupplung grundsätzlich mit Schlupf behaftet sind. Ihre Verlustleistung ist deshalb prinzipbedingt höher als die einer Induktionskupplung, von der auch schlupfflos arbeitende Bauformen existieren. Da die zu entwickelnde Kupplung im Betrieb überwiegend ein Drehmoment übertragen muss, spielt eine möglichst geringe Verlustleistung eine wichtige Rolle bei der Auswahl des Funktionsprinzips. Aus diesem Grund konzentrierte sich die Konzeptüberprüfung in der Folge auf das Prinzip der Induktionskupplung. Dafür wurde zunächst ein Grobentwurf für eine Kühlmittelpumpe mit Käfigläufersynchronkupplung erarbeitet. Die Induktionskupplung entspricht in ihrem geometrischen Aufbau weitgehend der Magnetkupplung, so dass die ursprüngliche Konstruktion in ihrer Struktur kaum verändert werden musste. Die Realisierbarkeit des Funktionsprinzips ließ sich überprüfen, indem dieser Grobentwurf mit käuflichen Käfigläufersynchronkupplungen verglichen wurde. Dabei zeigte sich, dass herkömmliche Kupplungen bei sehr viel größerem Bauvolumen nur ca. 60% des für die Kühlmittelpumpe geforderten Drehmoments übertragen können. Da Induktionskupplungen aufgrund der zur Drehmomentübertragung notwendigen Spulen kaum kompakter gestaltet werden können, musste das Funktionsprinzip als unter den gegebenen Randbedingungen nicht realisierbar eingestuft werden.

Nachdem die verschiedenen Lösungsansätze unter dem Gedanken der Funktionsvereinigung zu keinem brauchbaren Funktionsprinzip geführt hatten, musste nach Lösungen gesucht werden, die auf dem Prinzip der Trennung von Schaltfunktion und berührungsloser Drehmomentübertragung auf das Pumpenrad beruhten. Da in der bisherigen Konstruktion der für die Kühlmittelpumpe zur Verfügung stehende Bauraum bereits ausgeschöpft schien, musste zunächst nach Möglichkeiten gesucht werden, zusätzlichen Bauraum für die Integration der Schaltkupplung zu schaffen. Dazu wurde versucht, auf der einen Seite die Magnetkupplung kompakter zu gestalten, auf der anderen Seite durch die Umordnung und Umgestaltung der übrigen Bauteile zusätzlichen Raum zwischen Antriebs- und Abtriebsstrang zu schaffen.

Die Untersuchung von Gestaltungsvarianten für die dauermagnetische Kupplung ergab, dass der Industriepartner mit der Zentralsynchronkupplung bereits die kompakteste Bauform gewählt hatte. Es zeigte sich jedoch auch, dass das mit der im bestehenden Entwurf ver-

wendeten Magnetkupplung übertragbare Drehmoment um ca. 50% über den Anforderungen lag. Es konnte also sowohl der Durchmesser als auch die Breite des Magnettropfes reduziert werden, um Bauraum zu gewinnen. Diese Erkenntnis führte dazu, dass sich in einer der Seminarsitzungen, in der die Galeriemethode zur Lösungsfindung angewandt wurde, eine bestimmte räumliche Anordnung herauskristallisierte, die den größten Bauraumgewinn versprach.

An die provisorische Umgestaltung der Kühlmittelpumpe zur Schaffung von Bauraum schloss sich die systematische Überprüfung der weiteren bei der Recherche ermittelten Wirkprinzipien auf ihre Eignung im zu entwickelnden System an. Dabei ergab sich für jedes der ermittelten Wirkprinzipien ein Ausschlusskriterium. Die formschlüssigen Kupplungen sind prinzipbedingt nicht in der Lage, die großen auftretenden Drehzahldifferenzen zu schalten. Die klassischen Reibungskupplungen (Einflächen-, Einscheiben- und Lamellenkupplung) verfügten zwar über ein physikalisches Wirkprinzip, welches imstande ist, die Anforderungen zu erfüllen. Auch hier zeigte sich allerdings bei einer überschlägigen Auslegung einer Lamellenkupplung mit vier Reibkontakten, dass die Betätigungskräfte so groß sind, dass sie im zur Verfügung stehenden Bauraum von einem Elektromagneten nicht aufgebracht werden können. Das gleiche Problem ergab sich für die Magnetpulverkupplung. Und auch für die Schlingfederkupplung wurde keine Gestaltung erkennbar, die ihre Integration in den gegebenen Bauraum möglich erschienen ließ. Zu diesem Zeitpunkt im Prozess wurde klar, dass das gestellte Problem nicht durch die einfache Anpassung eines bestehenden Wirkprinzips an die spezifischen Anforderungen der Aufgabe gelöst werden konnte.

Bei der Rekapitulation des bisherigen Vorgehens wurden dem Autor zwei wichtige Punkte klar: Zum einen benötigten alle grundsätzlich verwendbaren Kupplungsprinzipien zu große Betätigungskräfte, um unter den gegebenen räumlichen Einschränkungen durch einen Elektromagneten aufgebracht werden zu können. Zum anderen wurde ihm bewusst, dass im Antriebstrang, der mit dem Pumpenrad verbunden werden sollte, quasi „unbegrenzt“ viel Energie für den Schaltvorgang zur Verfügung steht. Der weitere Verlauf des Entwicklungsprozesses ist in einer Übersicht in Bild 16 dargestellt.

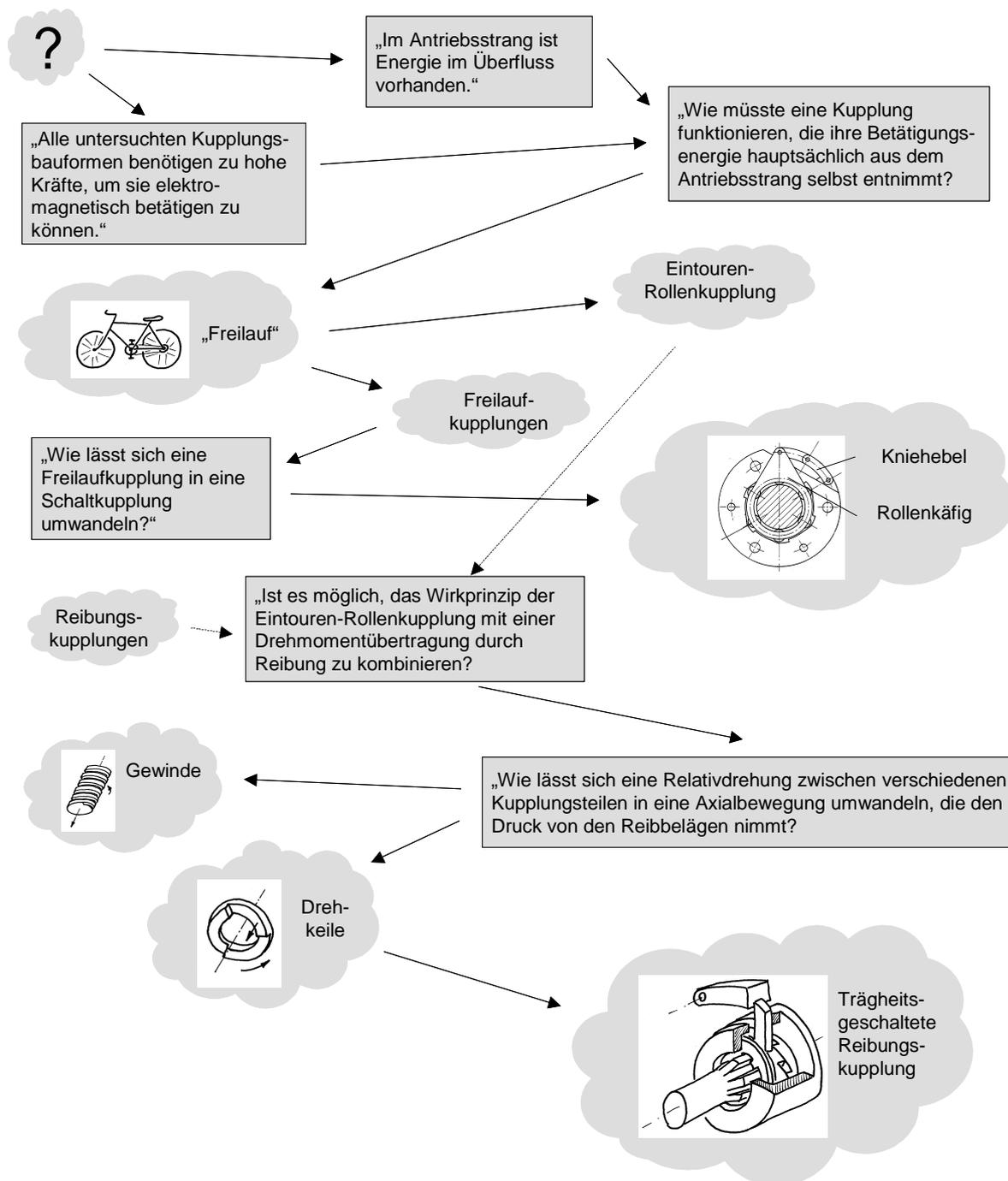


Bild 16: Übersicht über den weiteren Entwicklungsverlauf

Aus beiden Gedanken ergab sich ein neues Ziel: Wie könnte eine Kupplung arbeiten, die den Großteil ihrer Schaltenergie aus dem Antriebsstrang selbst entnimmt? Der einzige Mechanismus, der dem Autor im Zusammenhang mit dieser Fragestellung in den Sinn kam, war der Freilauf eines Fahrrads. Bei der Rotation in die eine Richtung erzeugt der Freilauf die zur Übertragung des Drehmoments notwendigen Kräfte unmittelbar aus dem Antriebsmoment. Bei der Rotation in die entgegengesetzte Richtung ist die Verbindung

zwischen Antriebs- und Abtriebsstrang aufgehoben. Die Idee mit dem Fahrradfreilauf stieß eine weitere Recherche an, die unterschiedliche Funktionsprinzipien und Bauformen von Freiläufen und ein dem Autor bis dahin unbekanntes Kupplungsprinzip ergab.

Bei der sog. Eintouren-Rollenkupplung wird die kinetische Energie des Abtriebsstrangs dazu genutzt, die Rollen aus den Keilspalten eines Freilaufs herauszubewegen und so die Drehmomentübertragung zwischen Antriebs- und Abtriebsstrang zu unterbrechen. Das Problem bei diesem Kupplungsprinzip ist dabei, dass der Abtriebsstrang beim Schalten sehr abrupt abgestoppt werden muss. Die Eintouren-Rollenkupplung ist deshalb nur für relativ langsam rotierende Systeme geeignet. Die beim Zu- und Abschalten der Kühlmittelpumpe zu überwindenden Drehzahldifferenzen sind dafür viel zu groß.

Der Autor wandte sich daraufhin wieder den Rollenfreiläufen zu: Wie müsste ein solcher umgestaltet werden, damit er als Schaltkupplung verwendet werden kann? Zur Drehmomentübertragung müssen die Rollen in die Keilspalten zwischen der Welle und dem Aussenring des Freilaufs gedrückt werden. Dazu müssen die Klemmrollen gemeinsam verdreht werden können, was sich mit Hilfe eines Käfigs realisieren lässt. Wie konnte nun dieser Käfig mit den Klemmrollen gegenüber den Keilspalten des Freilaufs verschoben werden? Damit eine Fremdbedienung überhaupt möglich wird, sollte die Verschiebung des Käfigs gegenüber dem Außenteil der Kupplung erfolgen. Deshalb muss die Schalt-Rollenkupplung mit einem Außenstern arbeiten. Zum Verschieben des Käfigs gegenüber dem Außenstern kam der Autor spontan auf das Prinzip des Kniehebels. Dieses Prinzip weist gleichzeitig den Vorteil einer großen Kraftverstärkung auf, was zum Lösen der Klemmrollen aus den Keilspalten aller Voraussicht nach gebraucht wird. Daraus ergab sich eine vorläufige Wirkstruktur der Schalt-Rollenkupplung.

Auf der Grundlage dieser Wirkstruktur wurde ein maßstäblicher Entwurf der Schalt-Rollenkupplung in zwei Schnitten angefertigt. Der Entwurf zeigte die Realisierbarkeit des Systems unter den gegebenen Bauraumanforderungen. Dabei wurde allerdings auch das zentrale Problem einer solchen Schalt-Rollenkupplung deutlich: Sobald der Käfig mit den Klemmrollen losgelassen wird, verkeilen sich schlagartig Welle und Außenstern der Kupplung. Eine überschlägige Berechnung dieses Beschleunigungsvorgangs ergab, dass die an den Kontaktstellen wirkende Hertzsche Pressung die zulässigen Materialkennwerte bei weitem überschreiten würde. Ein weiteres Mal war der Autor im Verlauf des Entwicklungsprozesses in einer Sackgasse gelandet.

Die Rückschau auf die unterschiedlichen erfolglosen Versuche, das vorliegende technische Problem zu lösen, ließ zwei Gesichtspunkte deutlich hervortreten: Erstens kam aufgrund der enormen Drehzahldifferenz zwischen dem Antriebsstrang und dem Abtriebsstrang zur Drehmomentübertragung während des Kupplungsvorgangs nur Gleitreibung in Frage. Zweitens mussten die Schaltkräfte für die Kupplung hauptsächlich aus dem Antriebsstrang entnommen werden, um eine elektromagnetische Betätigung des Systems zu ermöglichen.

Die erste Forderung wurde von den bereits betrachteten Scheiben- oder Lamellenkupplungen erfüllt. Die oben beschriebenen Eintouren-Rollenkupplung realisiert dagegen in beinahe idealer Weise die zweite Forderung. Aus dieser Erkenntnis erschloss sich eine weitere Fragestellung: Wäre es möglich, das Betätigungsprinzip der Eintouren-Rollenkupplung mit einer Drehmomentübertragung durch Reibung zu verknüpfen? Auf diese Weise könnten unter Umständen beherrschbare Schaltmomente während des Kupplungsvorgangs mit geringen Betätigungskräften verwirklicht werden. In der Eintouren-Rollenkupplung wird die Rotationsenergie des Abtriebsstrangs dazu genutzt, die Klemmrollen der Kupplung aus den Keilspalten herauszudrehen. Analog dazu müsste eine federkraftbetätigte Reibungskupplung entwickelt werden, die sich mit Hilfe der Massenträgheitskräfte in der Hohlwelle lüften ließe.

Bei den betrachteten Reibungskupplungen erfolgt die Wirkbewegung zum Anpressen und Lüften der Reibkontakte in axialer Richtung. Dagegen ergibt sich die Kupplungsbewegung bei der Eintouren-Rollenkupplung aus der relativen Drehung zwischen dem fixierten Rollenkäfig und dem aufgrund seiner Massenträgheit weiterrotierenden Antriebsstrang. Um die Wirkprinzipien der beiden Kupplungen miteinander zu verknüpfen, musste folglich ein weiteres Wirkprinzip gefunden werden, das die Umwandlung der einen Bewegung in die andere erlaubt. Mit dem Gewinde und dem Stirndrehkeil fielen dem Autor spontan zwei Prinzipien ein, die diese Bewegungsumwandlung erlauben. Aufgrund der nur geringen geforderten Axialbewegung und seiner kompakten Bauform schien der Stirndrehkeil im vorliegenden Fall die geeignetere Lösung darzustellen.

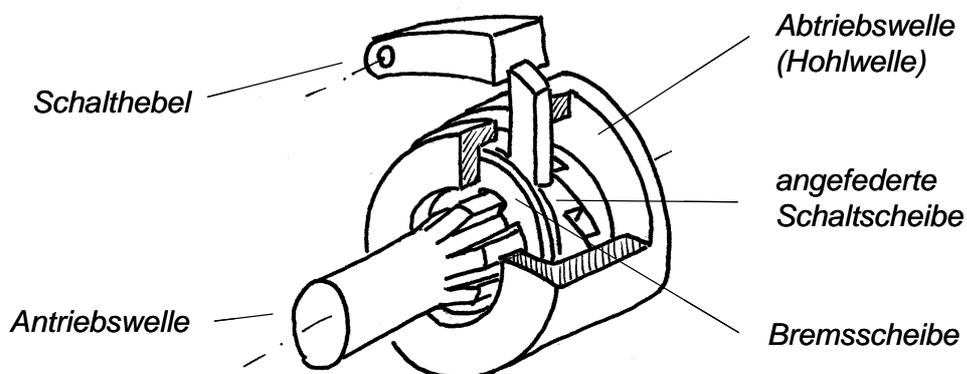


Bild 17: Skizze der trägheitsgeschalteten Reibungskupplung

Die drei Wirkprinzipien Reibungskupplung, Trägheitsschaltung und Stirndrehkeil mussten nun zu einem ersten Kupplungskonzept zusammengesetzt werden. Bild 17 zeigt eine Skizze der Wirkstruktur der trägheitsgeschalteten Reibungskupplung. Die Einleitung des Drehmoments erfolgt über die auf der Antriebswelle axial verschiebbare innere Kupplungsscheibe. Diese befindet sich zwischen dem Stirnanschlag der Hohlwelle und einer in der Hohlwelle axial verschiebbaren Anpressscheibe. Wird diese Anpressscheibe zusammen

mit der inneren Kupplungsscheibe gegen den Anschlag in der Hohlwelle gedrückt, so wird das Drehmoment durch die beiden Reibkontakte von der Antriebswelle auf die Hohlwelle übertragen. Erzeugt wird die Anpresskraft durch eine Keilscheibe, die auf einem in die Hohlwelle eingearbeiteten gegenläufigen Stirndrehkeil gleitet. Die Keilscheibe ist tangential so angefedert, dass die Kupplung im Grundzustand Antriebs- und Abtriebswelle drehmomentschlüssig miteinander verbindet.

Zum Lösen der Kupplung muss die Kupplung von außen festgehalten werden. Aufgrund ihrer Massenträgheit bewegt sich die Hohlwelle gegen die Anfederung der Keilscheibe in Antriebsrichtung weiter. Dadurch verschiebt sich der Stirndrehkeil der Hohlwelle gegenüber der Keilscheibe so, dass ein Kupplungsspalt freigegeben wird, in dem sich die innere Kupplungsscheibe frei drehen kann. Nachdem auch die Hohlwelle bis zum Stillstand abgebremst ist, muss wie bei der Eintouren-Rollenkupplung verhindert werden, dass sie durch die gespannte Drehfeder zurückbewegt wird. Fehlt diese Funktion, würde die innere Kupplungsscheibe immer wieder mit dem Antriebsstrang verbunden werden, was zu einem „Rattern“ der Kupplung führen würde.

Um die Drehmomentübertragung wieder einzuschalten, muss lediglich die Blockade der Keilscheibe aufgehoben werden. Daraufhin wird die Keilscheibe durch die tangentielle Anfederung in die Ruhelage zurückgedreht und der Reibkontakt zwischen Antriebs- und Abtriebsstrang wiederhergestellt. Die elektronische Ansteuerung der Kupplung hat dafür Sorge zu tragen, dass die Kupplung nur während der Rotation geschaltet wird. Das Abstoppen und Freigeben der Keilscheibe kann wie bei der Eintouren-Rollenkupplung durch eine elektromagnetisch betätigte Arretierungsklinke erfolgen.

Auf der Grundlage des eben beschriebenen Konzepts wurde ein Grobentwurf für die trägheitsgeschaltete Reibungskupplung erarbeitet. Mit diesem Grobentwurf konnte nachgewiesen werden, dass das Kupplungskonzept in den zur Verfügung stehenden Bauraum integriert werden kann.

Am Grobentwurf konnten darüber hinaus die für die zuverlässige Funktion der Kupplung kritischen Fragestellungen erkannt und einer rechnerischen Überprüfung unterzogen werden. Dabei wurden gleichzeitig der Steigungswinkel des Drehkeils und die Drehfeder als funktionsbestimmende Parameter der Kupplung ausgelegt. Zum Abschluss der Auslegungsrechnung wurde der Verdrehwinkel der Hohlwelle gegenüber der Keilscheibe beim Auskuppeln mit der minimal auftretenden Drehzahl berechnet. Es zeigte sich, dass es auch in diesem Fall zu einem zuverlässigen Lüften der Anpressscheibe kommt.

Das Konzept der trägheitsgeschalteten Reibungskupplung schien damit die einzige brauchbare Lösung zu sein, um die Kühlmittelpumpe unter den gegebenen Randbedingungen vom Antriebstrang abzukuppeln. Aus diesem Grund wurde das Konzept vollständig ausgearbeitet. Die nochmalige Nachrechnung der ausgearbeiteten Kupplung ergab eine Betätigungskraft, die problemlos vom vorgesehenen Elektromagneten aufgebracht werden konnte.

4.1.2 Analyse des Entwicklungsprozesses

Im Verlauf der folgenden Analyse sollen die Strukturen und Mechanismen der oben geschilderten Lösungssuche herausgearbeitet werden. Dabei wird sich zeigen, dass die Beobachtungen des Autors aus der Fallstudie mit aktuellen Erkenntnissen aus der Psychologie in Einklang stehen. Dagegen zeigen sich deutliche Diskrepanzen zu gängigen Vorstellungen vom methodischen Vorgehen in der Entwicklungsmethodik. Ziel dieser Analyse ist es darum, die Voraussetzungen für methodische Konzepte zu schaffen, mit denen die Widersprüche zwischen Empirie und methodischer Theorie in der Praxis überbrückt werden können.

4.1.2.1 Mikro- und Makrostruktur des Vorgehens bei der Lösungssuche

Die genauere Analyse des Entwicklungsprozesses für die elektromagnetisch betätigte Schaltkupplung zeigt deutlich, dass das Vorgehen des Produktentwicklers in eine Abfolge handlungslogischer Einheiten zerfällt, die sich mit den bereits diskutierten Modellen aus der Psychologie¹, dem Systems Engineering² oder der Entwicklungsmethodik³ beschreiben lassen. Dies sei an zwei Beispielen aus der Anfangsphase der beschriebenen Lösungssuche verdeutlicht.

Zum Einstieg in die Lösungssuche wählte der Autor eine Recherche, deren Ziel das Zusammenstellen bekannter Kupplungsbauformen war. Diese Recherche lässt sich in die Grundschritte der erwähnten Handlungsmodelle aufgliedern. In Anlehnung an den Vorgehenszyklus der Entwicklungsmethodik können z. B. die drei Teilschritte Aufgabenklärung, Lösungssuche und Lösungsauswahl unterschieden werden. Der erste Teilschritt bestand darin, aus der vorhandenen Anforderungsliste die für die Lösungssuche massgeblichen Parameter auszuwählen. Mit dem zu übertragenden Drehmoment und der groben Abschätzung des verfügbaren Bauraums aus der Zeichnung war dieser Schritt abgeschlossen und es konnte zum Teilschritt Lösungssuche übergegangen werden. Die Recherche nahm ihren Ausgangspunkt in der gängigen Übersichtsliteratur (DUBBEL 90, NIEMANN 81) und vertiefte sich von dort aus in spezifische Fachliteratur zum Thema Kupplungen und die Kataloge zahlreicher Kupplungshersteller. Auf diese Weise konnten schnell die bekannten Bauformen für Schaltkupplungen zusammengestellt werden. Weniger deutlich ist die Lösungsauswahl als letzter Teilschritt des Vorgehenszyklus zu erkennen. Nichtsdestotrotz erfolgte auch in diesem Beispiel während der Lösungssuche eine Vorauswahl und Bewertung der zusammengetragenen Alternativen, die in eine erste Einschätzung der Ergebnisse einfluss.

¹ TOTE-Schema, VVR, Zyklus handlungsregulierender Informationsverarbeitung nach CRANACH ET AL. 80 etc.

² Mikrozyklus nach DAENZER 76

³ Vorgehenszyklus nach EHRENSPIEL 95

Dabei wurde klar, dass die Aufgabenstellung wahrscheinlich kaum mit handelsüblichen Kupplungen zu lösen wäre.

Aus der Recherche heraus hat sich die Funktionsbetrachtung als eine weitere handlungslogische Einheit entwickelt, die sich ebenfalls in den Dreischritt Aufgabenklärung, Lösungssuche und Lösungsauswahl unterteilen lässt. Im ersten Schritt der Aufgabenklärung wurden aus den konkreten Anforderungen an das System die zu erfüllenden Produktfunktionen abstrahiert. Im Teilschritt Lösungssuche wurden anschließend zwei prinzipielle Varianten zur Erfüllung der Produktfunktionen gebildet. Die Anwendung des Gestaltungsprinzips „Funktionsvereinigung“ führte zu einem funktionalen Kupplungsmodell, in dem die berührungslose Drehmomentübertragung und die Schaltfunktion durch dasselbe Wirkprinzip realisiert werden. Die Anwendung des Gestaltungsprinzips „Funktionstrennung“ resultiert dagegen in einem Funktionsmodell, in dem die berührungslose Drehmomentübertragung und die Schaltfunktion in zwei unterschiedlichen, in Serie geschalteten Wirkprinzipien realisiert wird. Auch in diesem zweiten Beispiel wurde der Teilschritt der Lösungsauswahl des Vorgehenszyklus nicht bis zu einer endgültigen Entscheidung vorangetrieben. Das wäre zum damaligen Zeitpunkt überhaupt nicht möglich gewesen, da keine ausreichenden Informationen über die beiden Varianten zur Verfügung standen. Allerdings beeinflusste die spontane Bevorzugung der auf Funktionsvereinigung basierenden Variante durch den Autor den weiteren Ablauf der Lösungssuche.

Die Analyse der beiden logischen Handlungseinheiten zeigt, dass das reale Vorgehen bei der Lösungssuche im wesentlichen mit den von der Entwicklungsmethodik vorgegebenen Vorgehenszyklen beschrieben werden kann. Diskrepanzen ergeben sich lediglich aus der Tatsache, dass die Handlungszyklen in der Praxis nicht unbedingt im Sinn einer wirklichen Lösungsauswahl abgeschlossen werden können. Ehrlenspiel umgeht dieses Problem, indem er die Möglichkeit postuliert, die Vorgehenszyklen rekursiv zu verschachteln (EHRENSPIEL 95, S. 87). Der Vorgehenszyklus wird dabei solange unterbrochen, bis alle hierarchisch untergeordneten Teilprobleme in weiteren, sich unter Umständen weiter verzweigenden Vorgehenszyklen gelöst sind. Im Fall der beschriebenen Funktionsbetrachtung würde der Vorgehenszyklus daher erst ganz am Ende des Prozesses der Lösungssuche mit der Entscheidung für die trägheitgeschaltete Reibungskupplung seinen Abschluss finden. Diese Vorstellung mag für die Definition eines präskriptiv verstandenen Planungsmodells zur Problemlösung Vorteile haben. Gleichzeitig entfernt sich das Modell damit jedoch von der empirischen Realität elementarer Handlungszyklen, deren Merkmal vor allem eine gewisse zeitliche Abgeschlossenheit ist. Die psychologischen Modelle handlungsbezogener Informationsverarbeitung wie das TOTE-Schema⁴, die VVR-Einheit⁵ oder der Zyklus

⁴ TOTE-Schema: Test-Operate-Test-Exit-Schema nach MILLER/GALANTER/ PRIBRAM 60

⁵ VVR-Einheit: Vergleichs-Veränderungs-Rückkopplungseinheit nach HACKER 76

handlungsregulierender Informationsverarbeitung⁶ weisen das beschriebene Problem nicht auf, da sich bei ihnen der abschließende Bewertungsschritt in erster Linie auf die Folgehandlungen bezieht, nicht jedoch auf ein inhaltliches Ergebnis im Hinblick auf eine technische Problemlösung.

Unabhängig davon, welches der diskutierten Modelle nun genau der Beschreibung zugrunde gelegt wird, lässt sich der untersuchte Prozess relativ eindeutig in abgeschlossene Handlungseinheiten zerlegen. Unsicherheiten ergeben sich vor allem bei der Abgrenzung handlungslogischer Einheiten von Einzelaktionen; die genaue Grenzziehung kann hier in vielen Fällen diskutiert werden, ist jedoch für die Analyse des Prozesses von untergeordneter Bedeutung. Der Autor hat im untersuchten Fallbeispiel etwas über zwanzig abgrenzbarer Handlungseinheiten ausgemacht, die in vielfältiger Weise zueinander in Beziehung stehen. Aus psychologischer Sicht ist die hierarchisch-sequentielle Struktur zielgerichteten menschlichen Handelns von besonderer Bedeutung. Die *hierarchische Struktur* gliedert eine Handlung dabei in Ziele und logisch untergeordnete Teilziele, die zum Abschluss einer Handlung erreicht werden müssen. Die *sequentielle Struktur* beschreibt den zeitlichen Ablauf einer Handlung, der teilweise frei wählbar ist, teilweise jedoch auch von den logischen Abhängigkeiten in der Zielhierarchie bestimmt wird.

Ziel der Lösungssuche bei der methodischen Produktentwicklung ist es, mit angemessenem Aufwand zu einer möglichst idealen Lösung der gegebenen technischen Problemstellung zu gelangen. Die Erkenntnisse der Entwicklungsmethodik zeigen, dass das Generieren guter Lösungen im Verlauf eines Entwicklungsprozesses weitgehend dem Zufall überlassen bleibt, wenn nur ein einzelner Lösungsansatz betrachtet wird. Ausgehend von der zu erfüllenden technischen Funktion sollten darum nach Möglichkeit alternative Lösungsansätze entwickelt und mit zunehmender Konkretisierung immer wieder miteinander verglichen werden. Zeichnet sich dabei auf einer bestimmten Konkretisierungsstufe, z. B. nach der Anwendung von Techniken zur Eigenschaftsfrüherkennung, eine eindeutige Überlegenheit von bestimmten Lösungsalternativen ab, so sollte die weitere Bearbeitung der unterlegenen Alternativen natürlich gestoppt werden. Auf diese Weise ergibt sich im Verlauf einer methodischen Lösungssuche ein Lösungsbaum, der ein Abbild der produktlogischen Struktur der Lösungssuche darstellt. Der Lösungsbaum kann deshalb als ein Abbild der logisch-hierarchischen Struktur des Handelns der Produktentwickler angesehen werden. Bild 18 zeigt den Lösungsbaum für die Entwicklung der elektrisch betätigbaren Schaltkupplung aus dem Fallbeispiel. Der Lösungsbaum entspringt einer Wurzel, die die funktionale Definition des zu entwickelnden Gesamtsystems enthält. Aus dieser Wurzel ergaben sich im Verlauf der Lösungssuche zwei funktionale Varianten, die ihrerseits wieder in eine Vielzahl von Teillösungen zerfallen. Im Sinn der Handlungslogik kann jeder Knoten des Baums als eine technische Problemstellung aufgefasst werden, die durch einen Handlungszyklus bearbeitet wird. Gelingt es nicht, das Problem auf der aktuellen Hand-

⁶ Zyklus handlungsregulierender Informationsverarbeitung nach CRANACH 80

lungsebene zu lösen, werden Folgehandlungen definiert, die die definierten Teilprobleme auf einer niedrigeren Hierarchieebene behandeln. Bei der technischen Lösungssuche können sich die untergeordneten Teilhandlungen entweder auf die Konkretisierung alternativer Lösungsansätze für einen definierten Funktionsumfang beziehen oder aber auf die Entwicklung notwendiger Teilfunktionen zur Erfüllung eines übergeordneten Funktionsumfangs. Zwischen einer hierarchisch übergeordneten Handlungseinheit und den ihr nachgeordneten Handlungseinheiten können folglich, produktlogisch betrachtet, sowohl UND- als auch ODER-Verknüpfungen auftreten. Diese sind im Bild 18 durch UND- bzw. ODER-Symbole gekennzeichnet.

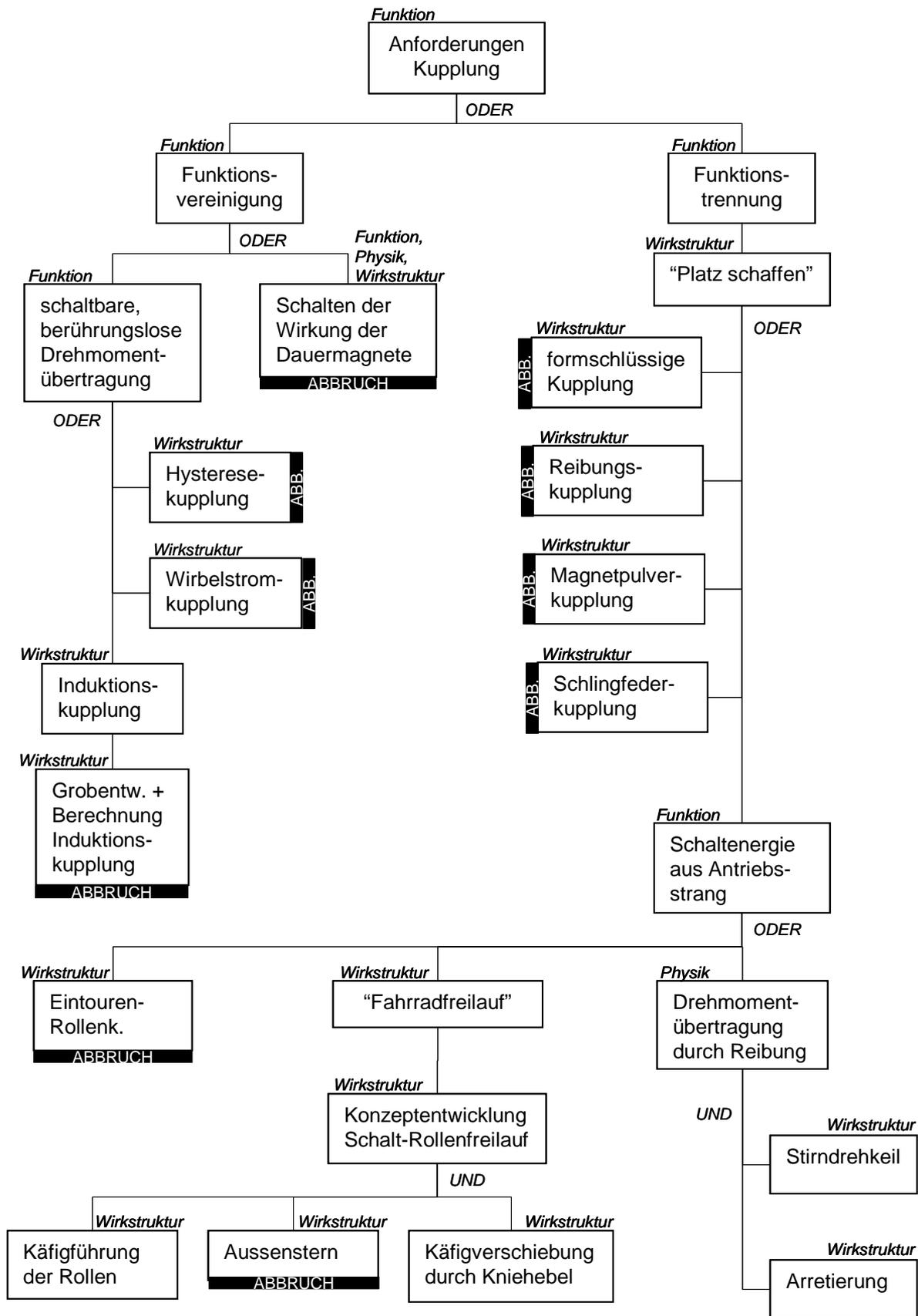


Bild 18: Der Lösungsbaum als logisch-hierarchisches Abbild des Entwicklungsprozesses

Neben der logisch-hierarchischen Struktur lässt sich auch die sequentielle Struktur der Lösungssuche wiedergeben. Diese beschreibt, in welcher Reihenfolge die an der Lösungssuche beteiligten Personen die Handlungseinheiten im Lösungsbaum durchlaufen haben (vgl. Bild 20). Dabei zeigt sich, dass das tatsächliche Vorgehen bei der Lösungssuche beträchtlich vom schrittweise hierarchischen Vorgehen abweicht, wie es vereinzelt als methodisches Ideal vorgeschlagen wird. Im Fallbeispiel beginnt die Lösungssuche zwar mit der Klärung der Funktionsanforderungen an der Wurzel des Lösungsbaums, bei der anschließenden Recherche nach bekannten Kupplungsprinzipien folgt dann allerdings ein Sprung in nachgeordnete Hierarchieebenen des Lösungsbaums. Erst nachdem der Autor eine Übersicht über die bekannten Lösungen gewonnen hatte, wurden die dazwischenliegenden Knoten in der Hierarchie durch entsprechende Handlungseinheiten konstruiert. Nachdem der Lösungsbaum zur Wurzel hin komplettiert war, wurden die einzelnen Äste nacheinander bis zu ihren Endknoten vervollständigt. Die Reihenfolge des Vorgehens wurde dabei von unterschiedlichen heuristischen Erwägungen geleitet. Diese Beobachtung stimmt im wesentlichen mit den Ergebnissen anderer empirischer Untersuchungen aus der Konstruktionsforschung überein. So kam Dörner bereits vor einiger Zeit aufgrund der ihm vorliegenden Studien zu der Schlussfolgerung „Konstruktionsprozesse haben wohl keine kanonisierbare Optimalform, welcher der Konstrukteur nach einem festen Ablaufplan folgen könnte.“ (DÖRNER 94, S.159). Birkhofer und Lindemann haben aus den Ergebnissen der empirischen Forschung ihrerseits die Notwendigkeit abgeleitet, das methodische Vorgehen im Rahmen der Integrierten Produktentwicklung grundlegend zu flexibilisieren (BIRKHOFFER/LINDEMANN/ALBERS/MEIER 01, vgl. Bild 19).

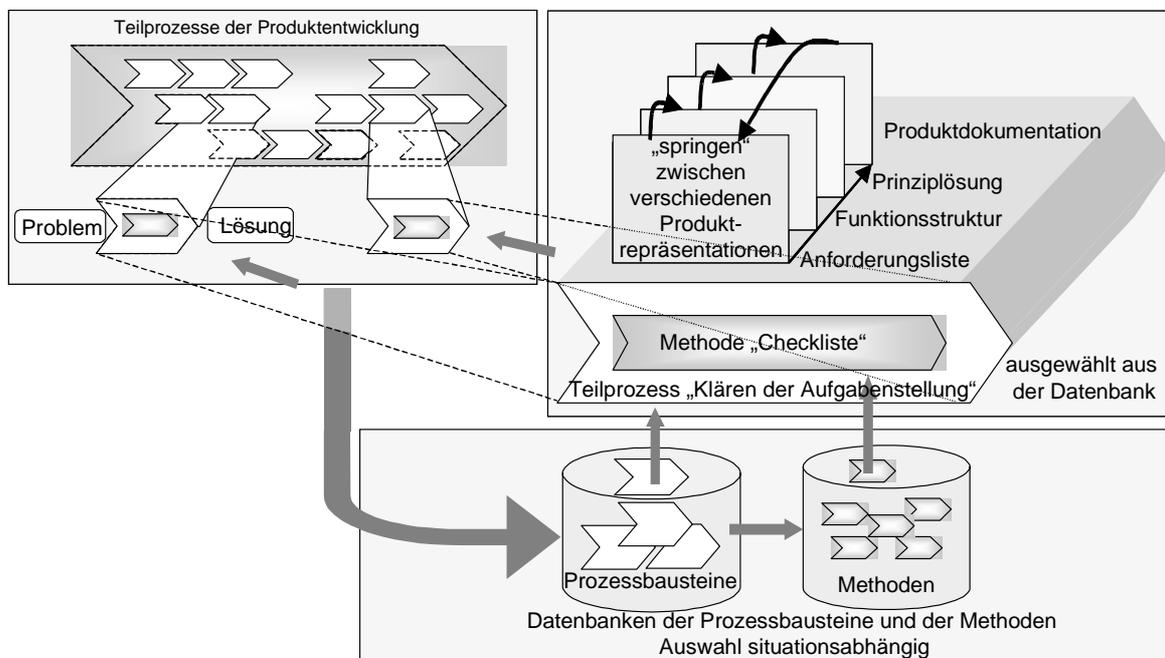


Bild 19: Flexible Prozessgestaltung und Methodenanwendung bei der Produktentwicklung (BIRKHOFFER/LINDEMANN/ALBERS/MEIER 01, zitiert nach COLLIN 00)

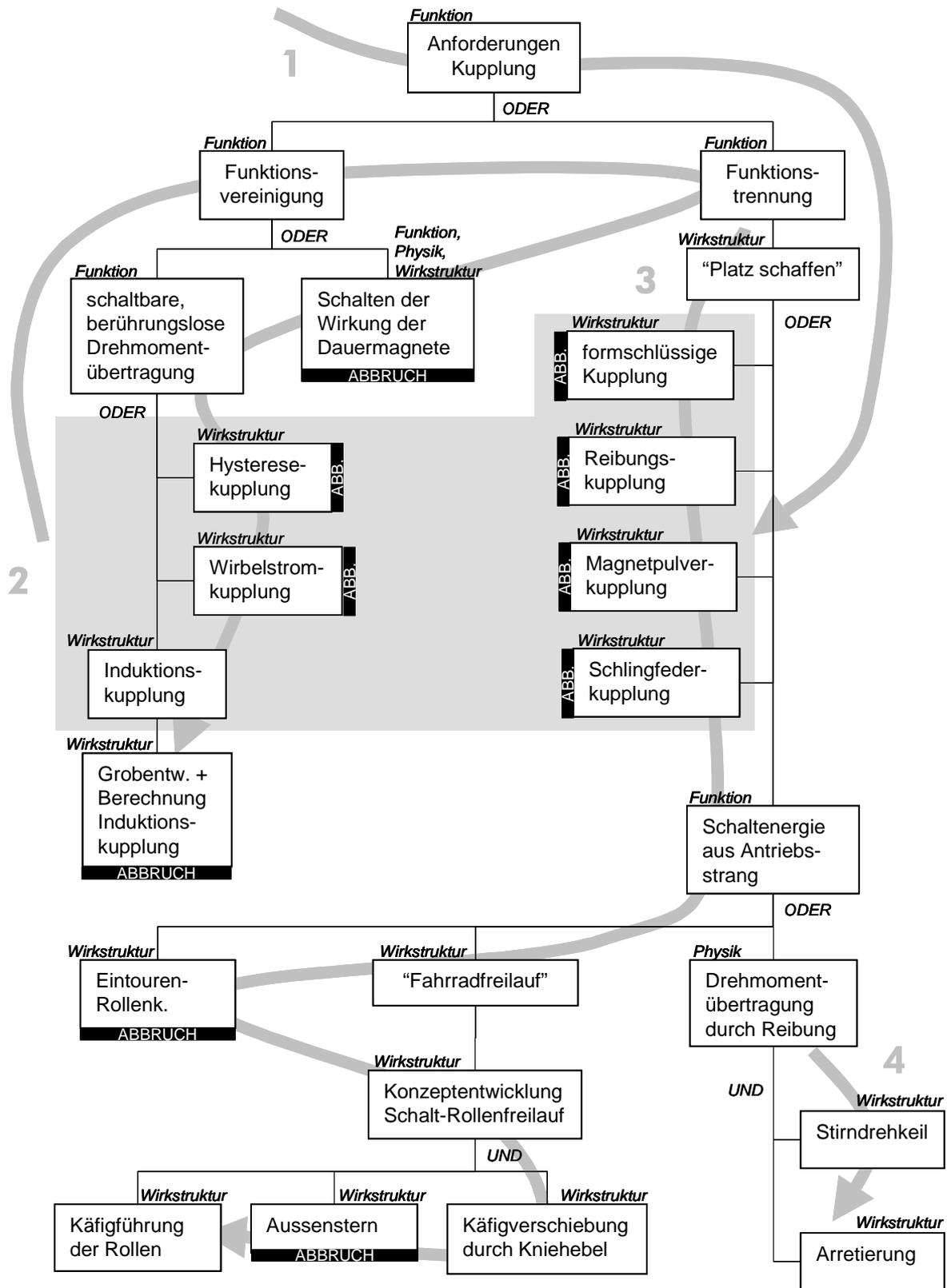


Bild 20: Das sequentielle Vorgehen im Lösungsbaum bei der Kupplungsentwicklung

4.1.2.2 Heuristische Aspekte des Vorgehens

Die Analyse der heuristischen Aspekte des Vorgehens bei der Lösungssuche im Fallbeispiel zerfällt in zwei Teile. Zunächst soll an der logisch-hierarchischen Struktur des Lösungsbaums die logischen Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Handlungseinheiten untersucht werden. In einem zweiten Schritt werden dann die Gründe für die konkrete sequentielle Abfolge der Handlungseinheiten im Fallbeispiel näher betrachtet.

Die Untersuchung der einzelnen Handlungseinheiten im Hinblick auf ihre produktlogische Einordnung und die angewendeten Techniken zur Problemlösung führt zu interessanten Beobachtungen. Wie nicht anders zu erwarten, sind die Wurzel des Baums und die Knoten auf den beiden nachfolgenden Hierarchieebenen durch die Analyse der Funktionsanforderungen an das System und die Synthese erster funktionaler Strukturen innerhalb des Systems bestimmt. Bereits auf der zweiten Hierarchieebene beginnt der Übergang zu einer an der Gestaltung von Wirkstrukturen orientierten Betrachtungsweise. Den auf funktionaler Ebene definierten Strukturen sind die bei der Recherche ermittelten KupplungsbaufORMen zugeordnet. Die von der Entwicklungsmethodik geforderte Ebene der physikalischen orientierten Lösungssuche wird dabei fast vollständig übersprungen, auch wenn sich aus der Logik der Problemstellung heraus eine eindeutige physikalische Zuordnung der Kupplungsprinzipien zu den beiden Hauptästen des Lösungsbaums ergibt: Die auf physikalischer „Fernwirkung“ basierenden Kupplungsprinzipien wurden dem Ansatz der Funktionsvereinigung, die übrigen Kupplungsprinzipien dem Ansatz der Funktionstrennung zugeordnet. Viele Äste des Lösungsbaums enden bereits auf der dritten Hierarchieebene. In diesen Fällen ergaben die elementaren Handlungseinheiten eindeutige Ausschlusskriterien für den untersuchten Lösungsansatz. So konnte z. B. die Gruppe der formschlüssigen Kupplungen (Zahnkupplungen) mit Sicherheit ausgeschlossen werden, da sie prinzipbedingt nicht zum Schalten grösserer Drehzahlunterschiede geeignet sind.

Insbesondere bei der Analyse des Astes „Funktionstrennung“ fällt auf, dass auf der dritten Hierarchieebene eine funktional orientierte Handlungseinheit neben den Handlungseinheiten steht, die die Überprüfung bekannter KupplungsbaufORMen zum Inhalt hatten. Diese Handlungseinheit wurde angestossen, nachdem alle bisher betrachteten Verzweigungen des Lösungsbaums zu keinem brauchbaren Ergebnis geführt hatten. Aus der Analyse der Ausschlusskriterien der bisher betrachteten Lösungsansätze wurde ein abstraktes Ziel formuliert, das die Überwindung des zugrundeliegenden Problems versprach: Wie konnte die Energie zum Schalten der Kupplung unmittelbar aus dem Antriebsstrang entnommen werden? Diese *abstrakte Zielformulierung* generierte die spontane Assoziation zum „Fahrradfreilauf“. Die daraufhin begonnene Recherche zum Thema Freilauf erbrachte nicht nur die unterschiedlichsten Bauformen von Freiläufen, sondern mit der „Eintouren-Rollenkupplung“ auch eine dem Autor bis dahin völlig unbekannte KupplungsbaufORMe. Auch auf dieser Ebene des Lösungsbaums steht eine „atypisch“ orientierte Handlungseinheit neben zwei Handlungseinheiten zur Anpassung bekannter Wirkstrukturen. Auch diese funktional-physikalische Handlungseinheit wurde generiert, nachdem die beiden anderen

Verzweigungen dieses Astes des Lösungsbaums zu keinem befriedigenden Ergebnis geführt hatten. In dieser Handlungseinheit spielte die Formulierung eines abstrakten Entwicklungsziels ebenfalls eine zentrale Rolle. Das Schaltprinzip der Eintouren-Rollenkupplung (Trägheit) sollte mit der Drehmomentübertragung durch Reibung kombiniert werden. Als Ergebnis dieser Handlungseinheit wurde eine Wirkstruktur definiert, deren Funktionsfähigkeit in den nachgeordneten Handlungseinheiten nachgewiesen werden konnte.

Die sequentielle Abfolge der Handlungseinheiten im Lösungsbaum weist wie die hierarchische Struktur einige Besonderheiten auf, die das klassische Vorgehensmodell der Entwicklungsmethodik in dieser Form nicht vorsieht. Der Prozess beginnt zwar mit der Zusammenstellung der Anforderungen an das zu entwickelnde System. Fast gleichzeitig beginnt jedoch auch die Recherche der bekannten Kupplungsbauformen, die sich im wesentlichen auf der dritten Hierarchieebene des Lösungsbaums bewegt und sich dabei direkt mit Fragen der Wirkstruktur auseinandersetzt (Bauraum, übertragbare Kräfte etc.). Der Aufbau der zwischen den funktionalen Anforderungen und konkreten Wirkstrukturen liegenden Hierarchieebenen des Lösungsbaums erfolgt dabei rückwärts durch das Ordnen und die zunehmende Abstraktion der betrachteten Kupplungsvarianten. Erst im nachhinein ergab sich so die Strukturierung des Lösungsbaums in seine zwei Hauptäste „Funktionsvereinigung“ und „Funktionstrennung“.

Mit der Unterteilung der Lösungsansätze in solche, die Funktionvereinigung, und solche, die Funktionstrennung realisieren, war eine Problemzerlegung gefunden, die sich zur Strukturierung des weiteren Vorgehens nutzen ließ. Von jetzt an konnte der Lösungsbaum noch einmal von der Wurzel aus systematisch durchgegangen, um sinnvolle, fehlende Verzweigungen ergänzt und in seiner Tiefe und Breite ausgebaut werden. Bei der Steuerung der Reihenfolge beim Generieren des Lösungsbaums orientierte sich der Autor zunächst am Prinzip der Vermeidung von Komplexität. Da das Prinzip der Funktionsvereinigung unter den äußerst beengten Bauraumanforderungen der Problemstellung die einfachere Lösung versprach, wurde dieser Ast zuerst durchsucht. Erst nachdem in diesem Bereich des Lösungsbaumes alle Lösungsansätze ohne Erfolg überprüft worden waren, wurde mit der systematischen Lösungssuche im zweiten Ast begonnen. Dabei folgte der Autor der heuristischen Maxime „Vom Bekannten zum Unbekannten“ – erst nachdem die bekannten Kupplungsbauformen sicher ausgeschlossen werden konnten, wurde auf der Grundlage einer *abstrakten Zielformulierung* nach neuen Wirkprinzipien gesucht bzw. solche systematisch generiert. Dasselbe Vorgehen wiederholt sich eine Hierarchieebene tiefer, wo zunächst ausgehend von Freilauf und Eintouren-Rollenkupplung nach einer technischen Lösung gesucht wird. Erst als diese Zweige des Lösungsbaums zu keinem Ergebnis führen, wird wieder mit Hilfe eines abstrakt formulierten Funktionsprinzips nach einer unbekanntem Lösung gesucht. Wie sich in der Folge zeigt, erfüllt diese schließlich die Anforderungen an das zu entwickelnde System.

Mit der Entwicklung der Wirkstruktur für eine trägheitsbetätigte Reibungskupplung, ihrer anschließenden Detaillierung und einem rechnerischen Funktionsnachweis konnte die

vorgegebene technische Problemstellung erfolgreich gelöst werden. Das beschriebene Fallbeispiel weicht insofern von vielen technischen Problemstellungen ab, als die Anforderungen an das zu entwickelnde System so hart waren, dass der Bearbeiter am Ende froh war, überhaupt eine geeignete Lösung gefunden zu haben. Am Ende des Entwicklungsprozesses kam es deshalb nicht zu einer Bewertung alternativer Lösungsvarianten. Gerade weil es sich im Fallbeispiel um einen Entwicklungsprozess handelte, der bis zum Schluss vom endgültigen Scheitern bedroht war, lohnt es sich, die Frage zu stellen, welche Faktoren auf der Ebene des makroskopischen Vorgehens für den erfolgreichen Abschluss des Projekts verantwortlich waren.

Die Erfolgsfaktoren im vorliegenden Fallbeispiel sind nach Auffassung des Autors vor allem in der logisch-hierarchischen Strukturierung des Lösungsfeldes zu suchen. Sie lassen sich in drei Gruppen zusammenfassen:

- Systematischer Aufbau und Ausbau des Lösungsbaums
- Situationsgerechte Wahl der Abstraktionsebene der Lösungssuche
- Übergreifende Informationsverknüpfung

Von zentraler Bedeutung für den Erfolg einer Lösungssuche ist sicherlich der systematische Aufbau und Ausbau des Lösungsbaums. Der erste Schritt dazu ist die Suche nach geeigneten Strukturierungsprinzipien. Im Fallbeispiel war das die Einteilung der Lösungsansätze in solche auf der Grundlage von Funktionsvereinigung und solche auf der Grundlage von Funktionstrennung. Die Analyse der sequentiellen Struktur des Vorgehens hat dabei gezeigt, dass der Aufbau des Lösungsbaums vor allem zu Beginn unter Anwendung der Technik der Abstraktion von nachgeordneten Hierarchieebenen in Richtung der Wurzel des Baumes erfolgt. Dies ist eigentlich das natürliche Vorgehen bei der Anwendung von Abstraktion, wo ja ausgehend vom Konkreten nach Verallgemeinerungen einer Problemstellung gesucht wird. Dem widerspricht in gewisser Hinsicht die klassische Entwicklungsmethodik, die ja davon ausgeht, dass technische Systeme vorzugsweise in einem top-down-strukturierten Vorgehen entwickelt werden sollen. Allerdings wurde bereits von verschiedener Seite Zweifel an der Richtigkeit dieses Grundsatzes geäußert. So fordert z. B. Ehrlenspiel (EHRENSPIEL 95, S. 326ff) eine *kreative Klärung* der Problemstellung zu Beginn eines Entwicklungsprozesses, die den Zweck verfolgt, über die Abstraktion aus spontanen Lösungen zu einer geeigneten Problemzerlegung zu gelangen. Auch die bereits beschriebene Methode TRIZ (ALTSCHULLER 84, TERNINKO 97) wählt den entgegengesetzten Weg um zu neuen Lösungsansätzen zu gelangen: Eine sehr konkrete, wertende Funktionsmodellierung der technischen Problemstellung dient ihr dazu, abstrakte Problemformulierungen zu generieren. Auch beim Erweitern des Lösungsbaumes in unbekanntes Gebiet hinein zeigt sich im Fallbeispiel die Abfolge „konkret – abstrakt – konkret“, die Souchkov (SOUCHKOV 98, S.225) für TRIZ in Anspruch nimmt. Vor dem Hintergrund empirischer Studien entwickelt Lindemann schließlich ein Modell des individuellen Konstruktionsprozesses als ein bisher nur teilweise verstandenes Wechseln zwischen unterschiedlichen

Strategien, Sichten und Handlungen (LINDEMANN 99, S. 760). Diese führen erst in ihrer Kombination zu einem effizienten Vorgehen bei der Problemlösung.

An dieser Stelle im Prozess wird besonders deutlich, dass die Leistung der Abstraktion zur gezielten Erweiterung des Lösungsbaums vom Autor kaum zu erbringen gewesen wäre, wenn er sich nicht vorher intensiv mit den bekannten Lösungen für Schaltkupplungen auseinandergesetzt hätte. Die Idee, die Schaltenergie aus dem Antriebsstrang zu entnehmen, wäre wohl kaum aufgekommen, wenn nicht vorher deutlich geworden wäre, dass die zur Überwindung der Drehzahldifferenzen geeigneten Reibungskupplungen aufgrund ihrer hohen Schaltkräfte unter den gegebenen Umständen nicht eingesetzt werden können. Und auch die letztlich zum Erfolg führende Idee der Kombination von Reibungskupplung und Eintouren-Rollenkupplung konnte erst entstehen, nachdem die positiven Eigenschaften dieser beiden Kupplungsbauformen in vorhergehenden Handlungseinheiten im Sinn einer Abstraktion erkannt worden waren.

Bei der Lösungssuche kommt es darauf an, den Lösungsbaum zielgerichtet auf- und auszubauen. Das bedeutet, alle Äste mit vielversprechenden Lösungsansätzen soweit auszubauen, bis eine funktionsfähige Lösung entwickelt wurde oder aber ein eindeutiges Abbruchkriterium identifiziert werden konnte. Der systematische Auf- und Ausbau des Lösungsbaums bedeutet allerdings nicht, dass die Abarbeitung der Handlungseinheiten zwangsweise der hierarchischen Struktur des Lösungsbaums zu folgen hat. Sowohl die Analyse des Fallbeispiels, als auch die erwähnten neueren methodischen Ansätze weisen darauf hin, dass das Vorgehen in der Praxis oft den entgegengesetzten Weg nimmt: Die Untersuchung bekannter Lösungsansätze führt auf dem Weg der Abstraktion zur Strukturierung des Lösungsfeldes und weist damit den Weg zu einem systematischen Auf- und Ausbau des Lösungsbaumes.

Einen zweiten wichtigen Erfolgsfaktor im untersuchten Prozess der Lösungssuche sieht der Autor in der angepassten Wahl der methodischen Abstraktionsebene bei der Lösungssuche. Dabei werden, der klassischen Auffassung der Entwicklungsmethodik folgend, die Ebene der funktionalen Betrachtungsweise, die Ebene der physikalischen Betrachtungsweise und die Ebene der Wirkstruktur unterschieden. Die Analyse der logisch-hierarchischen Struktur der Lösungssuche zeigt ziemlich deutlich, dass den unterschiedlichen Hierarchieebenen des Lösungsbaums die drei Abstraktionsebenen nicht eindeutig zugeordnet werden können. Vielmehr ergibt sich die Wahl der Abstraktionsebene, auf der sich die einzelne Handlungseinheit vornehmlich bewegt, aus der jeweiligen Prozesssituation heraus. Der Autor vermutet, dass die Qualität einer Lösungssuche ganz entscheidend von der Fähigkeit des Produktentwicklers abhängt, in einer bestimmten Situation die richtige Abstraktionsebene für sein Handeln zu wählen. So war es im Fallbeispiel z. B. notwendig, den Versuch zu unternehmen, die bekannten Kupplungsbauformen auf der Ebene der Wirkstruktur konkret an die Anforderungen der Aufgabenstellung anzupassen. Nur das Denken in den Kategorien von Bauraum, Reibdurchmesser, übertragbarer Umfangskraft etc. ermöglichte es, die Probleme der bekannten Lösungsansätze herauszuarbeiten. Erst nachdem auf diesem Weg die „Un-

möglichkeit“ aller bekannter Lösungsansätze nachgewiesen worden war, ergab sich die Notwendigkeit zu einem Wechsel der Abstraktionsebene des Handelns: Auf funktionaler Ebene wurde das abstrakte Idealbild einer Kupplung konstruiert, die die Schwächen der übrigen Lösungsansätze überwinden sollte, indem sie die Schaltenergie aus dem Antriebsstrang des Systems entnimmt. Das gleiche Muster wiederholt sich eine Hierarchiestufe tiefer im Lösungsbaum. Der Nachweis der mangelnden Eignung von Freilauf und Eintouren-Rollenkupplung führt zum hier physikalisch-abstrakt definierten Konzept einer trägheitsgeschalteten Reibungskupplung. Wie aber lässt sich das problemangepasste Abstraktionsniveau ermitteln? Bei der Beantwortung dieser Frage zeigt sich, dass die Hierarchisierung technischen Handelns durch die Konstruktionsmethodik entsprechend den Ebenen Funktion, Physik und Wirkstruktur keineswegs aus der Luft gegriffen ist. Es ist nur unzulässig, das Vorgehen in einem Entwicklungsprozess präskriptiv diesen Hierarchiestufen unterordnen zu wollen. Führt die Problemlösung mit den auf einem Abstraktionsniveau zur Verfügung stehenden methodischen Mitteln (z. B. der Variation der Gestalt auf dem Niveau der Wirkstruktur) zu keinem befriedigenden Ergebnis, so sollte ein Rückschritt auf das nächst höhere Abstraktionsniveau der Lösungssuche erfolgen. Dieser Rückschritt macht allerdings nur dann Sinn, wenn der bis dahin bekannte Lösungsbaum sorgfältig untersucht wurde und für die unterschiedlichen Lösungsansätze eindeutige Abbruchkriterien ermittelt werden konnten. Denn gerade über die abstrakte Formulierung von Zielen zur Überwindung dieser Abbruchkriterien kann oft zuverlässig das richtige Einstiegsniveau für einen weiteren, neuen Lösungsansatz ermittelt werden. In einem effektiv ablaufenden Entwicklungsprozess muss die Wahl des richtigen Abstraktionsniveaus der Lösungssuche mehr oder weniger spontan durch den oder die beteiligten Produktentwickler erfolgen. Darin ähnelt das Vorgehen bei der Lösungssuche dem Formulieren von grammatikalisch korrekten Sätzen im Gespräch. Es muss in der Praxis immer wieder eingeübt werden, damit die notwendige Sicherheit bei der Bestimmung einer erfolgreichen Handlungsstrategie aufgebaut wird bzw. erhalten bleibt.

Als drittes wichtiges Merkmal für einen erfolgreichen Prozessablauf muss die Verknüpfung von Informationen über den gesamten Lösungsbaum hinweg angesehen werden. Auch diese Eigenschaft zeigt sich jeweils in den drei wichtigen Abstraktionsschritten des untersuchten Fallbeispiels. Beim rückwärtigen Aufbau des Lösungsbaums ausgehend von den untersuchten bekannten KupplungsbaufORMen mussten die Informationen auf diesem Niveau mit den Funktionsanforderungen an der Wurzel des Lösungsbaums verknüpft werden. Beim Formulieren des abstrakten Entwicklungsziels einer Kupplung, die ihre Schaltenergie aus dem Antriebsstrang bezieht, musste die Problematik zu hoher Schaltkräfte als ein gemeinsames Problem verschiedener bis dahin untersuchter Lösungsansätze erkannt werden. Und schließlich mussten vor der Formulierung der zunächst abstrakten Idee einer trägheitsgeschalteten Reibungskupplung der hier interessierende Vorteil der Reibungskupplung (Schalten hoher Drehzahldifferenzen) mit dem entsprechenden Vorteil der Eintouren-Rollenkupplung (Ausnutzung der Trägheitskräfte zum Schalten der Kupplung) in Zusammenhang gebracht werden. Doch wovon hängt die intellektuelle Verknüpfung von

Informationen aus entfernten Knoten des Lösungsbaums ab? Aus psychologischer Sicht hängt die Verfügbarkeit von Informationen stark von der Art und Weise ab, wie sie im Gedächtnis einer Person niedergelegt sind. Eine wichtige Rolle spielt dabei das Ordnungsschema, das einer bestimmten Gruppe von Informationen zugrunde liegt. Im Fall einer Produktentwicklung wie der beschriebenen stellt der Lösungsbaum das Ordnungsschema dar, anhand dessen die Einzelinformationen im Gedächtnis des oder der Beteiligten abgelegt werden. Je übersichtlicher und logischer der Lösungsbaum im Verlauf einer Lösungssuche aufgebaut wird, desto leichter wird es den Beteiligten gelingen, auch entfernte Informationen zueinander in Beziehung zu setzen. Während bei einem einzeln agierenden Entwickler davon ausgegangen werden kann, dass er den Lösungsbaum im Verlauf der Lösungssuche automatisch „verinnerlicht“ und damit die Voraussetzung für eine prozessübergreifende Informationsverknüpfung schafft, ist diese Bedingung für eine erfolgreiche Lösungssuche in Teams nicht ohne weiteres erfüllt. In kleineren Teams mag es noch möglich sein, durch eine enge Abstimmung in gemeinsamen Treffen den Lösungsbaum mit all seinen Aspekten den Beteiligten ins Bewusstsein zu bringen. Doch wird sich im Normalfall auch hier der Einzelne auf bestimmte Bereiche des Lösungsbaums spezialisieren, was die allgemeine Informationspräsenz verringert und damit die Entwicklung neuer und unkonventioneller Lösungsansätze durch die intelligente Verknüpfung auch entfernterer Informationsbestandteile erschwert. Bestätigt wird diese Überlegung sowohl durch Erkenntnisse aus der psychologischen Forschung als auch durch die Gepflogenheiten in der industriellen Entwicklungspraxis. So existieren eine Reihe von psychologischen Untersuchungen, in denen Prozessverluste bei der Bewältigung kreativer Aufgabenstellungen im Team nachgewiesen wurden. Zwar sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen auch unter den Psychologen umstritten, sie sind jedoch ein deutlicher Hinweis darauf, dass im Team durchaus Mechanismen wirken können, die der Suche nach kreativen Problemlösungen im Weg stehen können. Und auch die in der Industrie geübte Praxis, großen industriellen Entwicklungsvorhaben Vorentwicklungsprojekte voranzuschicken, spricht dafür, dass technisch anspruchsvolle Neuentwicklungen in kleinen, überschaubaren Teams besser aufgehoben sind.

Warum kommen den Aspekten der logisch-hierarchischen Strukturierung der Lösungssuche eine vergleichsweise große Bedeutung für den Erfolg eines Entwicklungsprojekts zu? Zur Klärung dieser Frage ist es sinnvoll, unabhängig davon den Einfluss der sequentiellen Strukturierung der Lösungssuche im Fallbeispiel zu betrachten. Die größte Abweichung des Prozessablaufs von der logisch-hierarchischen Struktur des Vorgehens tritt zu Beginn der Lösungssuche auf, als eigentlich parallel zur Aufgabenklärung mit der Suche nach bekannten KupplungsbaufORMen gestartet wird. Wie bereits ausführlich erläutert, ist diese Abfolge im Vorgehen notwendig, um auf dem Wege der Abstraktion zu einer geeigneten Problemzerlegung zu gelangen, anhand der sich das weitere Vorgehen strukturieren lässt. Die weiteren Entscheidungen über die Reihenfolge des Vorgehens im Projekt betrafen dagegen immer die Frage, welcher Ast im Lösungsbaum zuerst untersucht werden sollte. Der Autor folgte dabei meist der heuristischen Maxime „Vom Einfachen zum Komplizier-

ten“. Hinter der Anwendung gerade dieser Maxime stand der natürliche Wunsch des Bearbeiters, möglichst schnell zu einer zuverlässig arbeitenden technischen Lösung zu gelangen. Die Entscheidung, ob zuerst die Lösungsansätze auf der Grundlage von Funktionsvereinigung oder die Lösungsansätze auf der Grundlage von Funktionstrennung betrachtet werden sollten, fiel deshalb vor dem Hintergrund der intuitiven Einschätzung der Eleganz bzw. Einfachheit der beiden Gestaltungsprinzipien. Dabei spielte die Überlegung die entscheidende Rolle, dass unter den beengten Platzverhältnissen die Integration zweier hintereinander geschalteter Kupplungen noch schwieriger sein müsste als die Integration einer auf physikalischer Fernwirkung beruhenden Schaltkupplung. Die genauere Untersuchung dieses Asts des Lösungsbaums hat gezeigt, dass diese Einschätzung nicht korrekt war. Daraufhin musste die Lösungssuche notgedrungen im verbleibenden Ast des Lösungsbaums fortgesetzt werden. Das gleiche Entscheidungsverhalten des Bearbeiters zeigt sich auch in der Reihenfolge des Vorgehens auf den nachgeordneten Hierarchieebenen des Lösungsbaums. So wurden in der dritten Ebene die bekannten KupplungsbaufORMen überprüft, bevor die Definition einer Handlungseinheit zur Entwicklung eines ganz neuen Lösungsansatzes erfolgte. Die Überprüfung der bekannten Lösungsansätze konnten relativ schnell und mehr oder weniger parallel erfolgen, so dass bei der zweiten, vertieften Abarbeitung dieser Handlungseinheiten keine bewusste Festlegung der Reihenfolge festgestellt werden kann. Dasselbe Bild zeigt sich eine Ebene tiefer im Lösungsbaum: Zuerst erfolgt die Ausarbeitung des Lösungsastes „Freilauf“, dann die Überprüfung des Konzepts der „Eintouren-Rollenkupplung“ und erst zuletzt die Definition und das Abarbeiten der Handlungseinheiten zur Kombination von Reibungskupplung und Eintouren-Rollenkupplung. Der Überblick über die sequentiellen Entscheidungspunkte im Prozessablauf zeigt, dass sich eigentlich nur die Entscheidung zugunsten der Lösungsansätze mit Funktionsvereinigung nicht zwingend aus der Logik des Lösungsbaums ergab, sondern aufgrund von Effizienzerwägungen getroffen wurde. Und auch in diesem Fall hätte die gegenteilige Entscheidung nicht zur Verkürzung des Entwicklungsprozesses beigetragen: Spätestens nach dem Scheitern der Lösungsansätze mit bestehenden kraft- und formschlüssigen KupplungsbaufORMen hätte der Lösungsast „Funktionsvereinigung“ und die ihm zugeordneten bekannten Lösungsansätze näher betrachtet werden müssen. Erst danach wäre es sinnvoll gewesen, über eine Erweiterung des Lösungsbaums im Bereich „Funktionstrennung“ über die bestehenden Ansätze hinaus nachzudenken.

Die Analyse des Fallbeispiels zeigt relativ deutlich, dass die Reihenfolge der Abarbeitung der unterschiedlichen Lösungsansätze im Lösungsbaum für die Effizienz und Schnelligkeit der Problemlösung von untergeordneter Bedeutung war. Entscheidend für den Erfolg der Lösungssuche war vielmehr der systematische und um Vollständigkeit bemühte Auf- und Ausbau des logisch-hierarchischen Lösungsbaumes. Dabei spielten Reihenfolgeeffekte nur insofern eine Rolle, als die genaue Analyse bekannter Lösungsansätze die notwendige Voraussetzung zur Entwicklung der zielführenden neuen Lösungsansätze darstellte. Die Deutlichkeit dieses Ergebnisses mag damit zusammenhängen, dass im vorliegenden Fallbeispiel letztlich nur eine einzige Lösung gefunden werden konnte, die überhaupt dazu in

der Lage war, die gestellten Anforderungen zu erfüllen. Würde der Untersuchung eine „leichtere“ technische Problemstellung zugrunde liegen, die mehr Lösungsmöglichkeiten zuließe, wäre die Effizienz der Lösungssuche bis zum Auffinden einer geeigneten Lösungsalternative stärker vom Verhalten des Bearbeiters in den sequentiellen Entscheidungspunkten beeinflusst worden. Dies gilt allerdings nur für den Fall, dass schnellstmöglich irgendeine geeignete Lösung gefunden werden soll. Wird dagegen die möglichst vollständige Gegenüberstellung verschiedener guter Lösungsalternativen angestrebt, tritt die Bedeutung von Entscheidungen über die Reihenfolge des Aufbaus des Lösungsbaums automatisch in den Hintergrund.

4.1.2.3 Bedeutung von Zielformulierungen und Dialogstruktur der Problemlösung

Mit der Untersuchung der heuristischen Aspekte wurde bisher vor allem der Einfluss der Markrostruktur des Vorgehens auf den Erfolg der Lösungssuche betrachtet. Dabei wurde bereits deutlich, dass der systematische Auf- und Ausbau des Lösungsbaums nicht nur von der übergreifenden Struktur des Vorgehens abhängt, sondern mindestens in gleichem Maß von der Qualität der Ergebnisse der elementaren Handlungseinheiten beeinflusst wird. Aus diesem Grund soll hier der Frage nachgegangen werden, von welchen Faktoren die Qualität des Ergebnisses einzelner Handlungseinheiten bestimmt wird, die in ihrer Gesamtheit ja schließlich den Erfolg einer Lösungssuche ausmachen.

Bereits in Kapitel 4.1.2.1 wurde deutlich, dass sich der Gesamtprozess in elementare Handlungseinheiten aufgliedern lässt, die in ihrer inneren Struktur wiederum bekannten Handlungsmodellen aus Psychologie, Systems Engineering oder Konstruktionsmethodik (vgl. Kapitel 2) entsprechen. Diese Beobachtung steht im Einklang mit den bereits erwähnten Versuchsergebnissen von Tschan (TSCHAN 00, S. 153ff), die in Experimenten mit Kleingruppen von 2-3 Personen nachweisen konnte, dass die Leistung einer Gruppe beim Lösen einer handwerklich-konstruktiven Problemstellung von dem Prozentsatz *idealer Kommunikationszyklen* abhängt, die für die Handlungsregulation in der Gruppe verantwortlich sind. Diese Kommunikationszyklen sind zur Koordination der Handlungen einer Gruppe notwendig und spiegeln in ihrem Aufbau mehr oder weniger ideal die Struktur handlungslogischer Mikrozyklen wieder. Aus diesem Grund können Tschans Erkenntnisse nach Auffassung des Autors mit einiger Berechtigung auch auf das Handeln des Individuums übertragen werden: Für den Erfolg einer komplexen Handlung wie z. B. der Lösungssuche in einem Entwicklungsprojekt wäre demnach der Anteil ideal ablaufender, elementarer Handlungszyklen von großer Bedeutung. Die Untersuchung des Fallbeispiels bestätigt diese Vermutung. Jeder Knoten des Lösungsbaums stellt einen solchen handlungslogischen Mikrozyklus dar, und die meisten von ihnen entsprechen tatsächlich der von Tschan konstatierten Idealform. Diese beginnt mit handlungsvorbereitender Informationsverarbeitung (Orientierung und Planung) und endet mit handlungsevaluierender Informationsverarbeitung (Ausführungskontrollen).

Doch was genau führt dazu, dass eine Handlungseinheit ideal im Sinn von Tschan, anderer psychologischer Modelle oder der präskriptiven Mikrozyklen aus dem Systems Engineering und Entwicklungsmethodik abläuft? Der Blick auf das Fallbeispiel zeigt sehr deutlich, dass die Handlungsregulation innerhalb der Mikrozyklen auch beim individuellen Handeln in hohem Maß auf verbalem Weg erfolgt. Dies kann an der Entwicklung der trägheitsgeschalteten Reibungskupplung nach der Überprüfung der bekannten KupplungsbaufORMen nachvollzogen werden. Dazu soll noch einmal der innere Monolog des Autors analysiert werden, der die Gedankenführung im für die Handlungsregulation verantwortlichen „Stream of conciousness“ rekonstruiert. Bild 21 schlüsselt einen Ausschnitt des Vorgehens des Autors in die Grundbestandteile elementarer Handlungszyklen auf. Es zeigt sich, dass sich der hier betrachtete Prozessabschnitt relativ eindeutig in fünf miteinander verknüpfte Handlungszyklen unterteilen lässt. Speziell für unsere Analyse wurde jeder Elementarzyklus in die drei Schritte Zielformulierung, Lösungssuche und Evaluation aufgegliedert. Prinzipiell könnte der betrachtete Prozessabschnitt mit jedem der erwähnten Modelle elementarer Handlungszyklen beschrieben werden. Unser Interesse gilt jedoch hier nicht in erster Linie der Tatsache, dass sich dieser Prozessabschnitt in elementare Handlungseinheiten zerlegen lässt. Es soll vielmehr die Frage geklärt werden, wie es dazu kommt, dass auf einen idealen Handlungszyklus im Sinne von Tschan mit einiger Wahrscheinlichkeit ein weiterer idealer Handlungszyklus folgen kann.

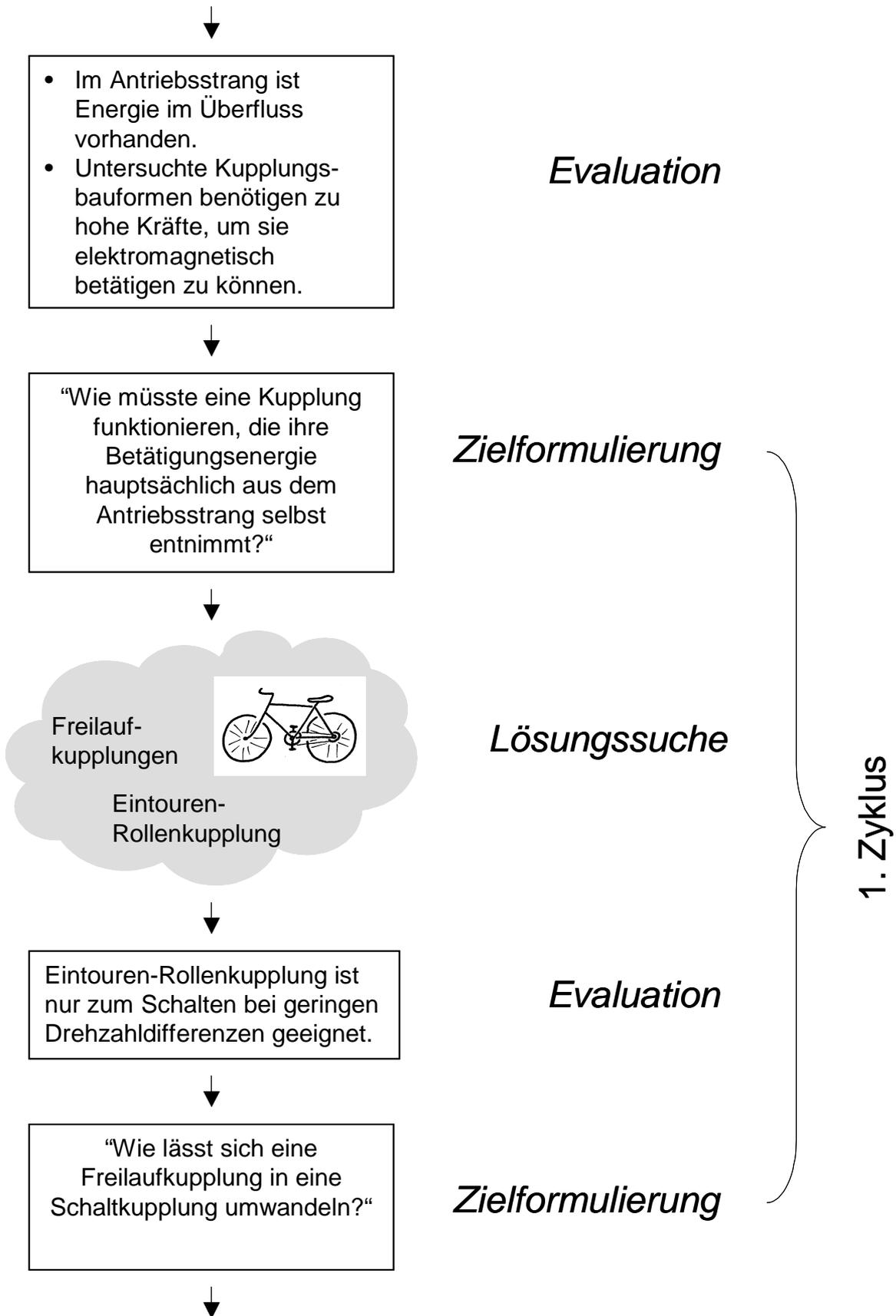


Bild 21: Prozessausschnitt bei der Entwicklung einer trägheitsgeschalteten Reibungskupplung (1)

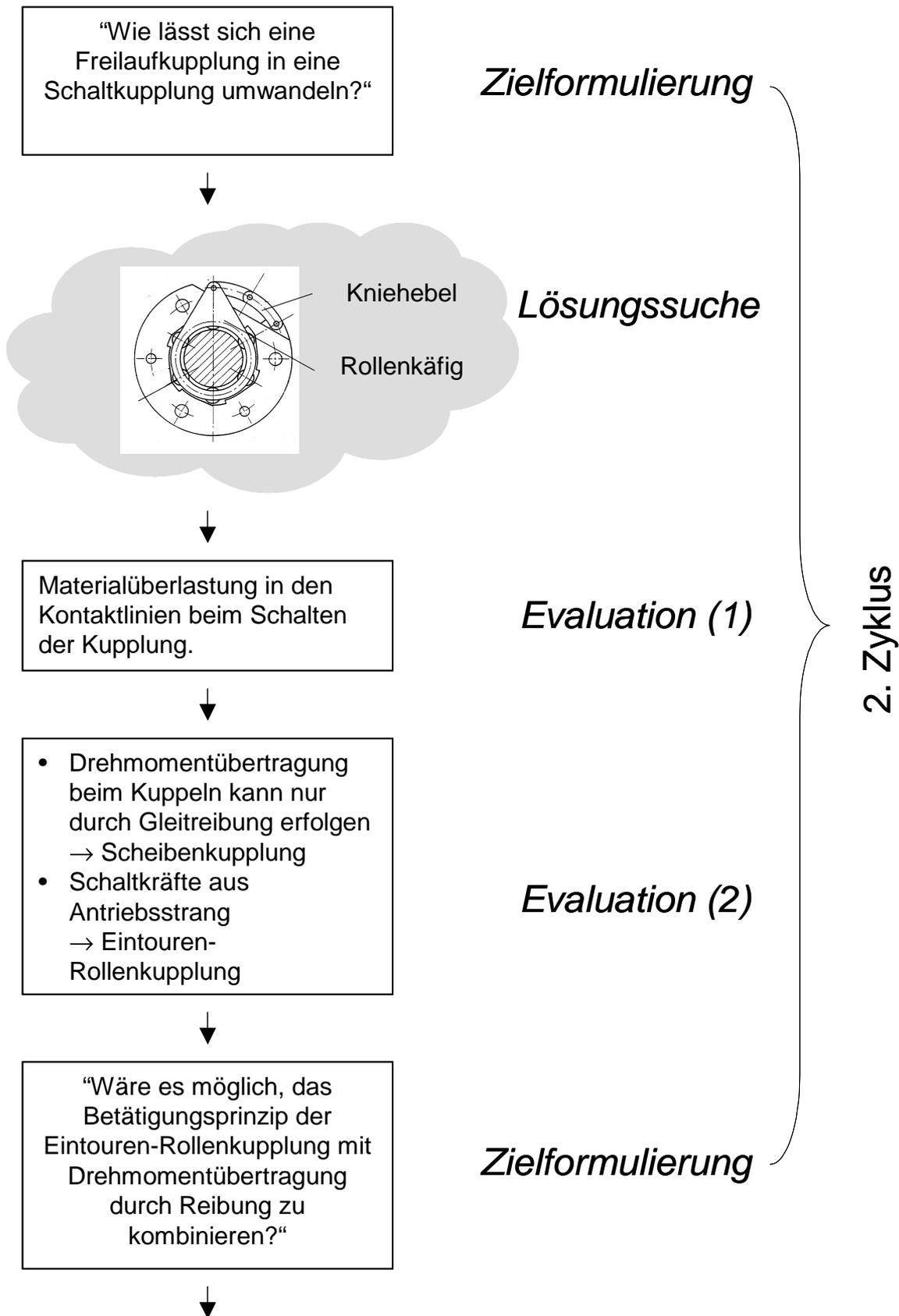


Bild 22: Prozessausschnitt bei der Entwicklung einer trägheitsgeschalteten Reibungskupplung (2)

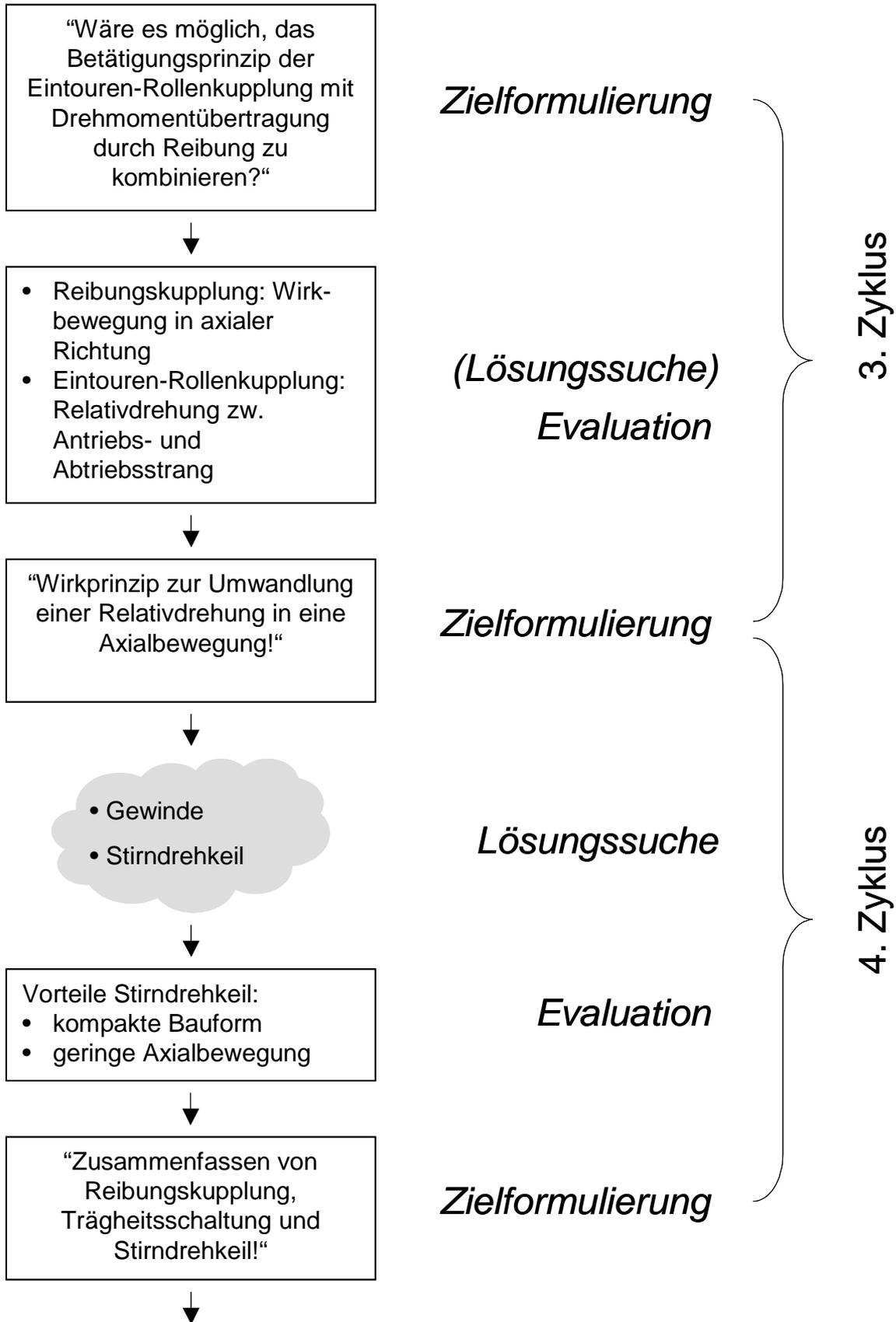


Bild 23: Prozessausschnitt bei der Entwicklung einer trägheitsgeschalteten Reibungskupplung (3)

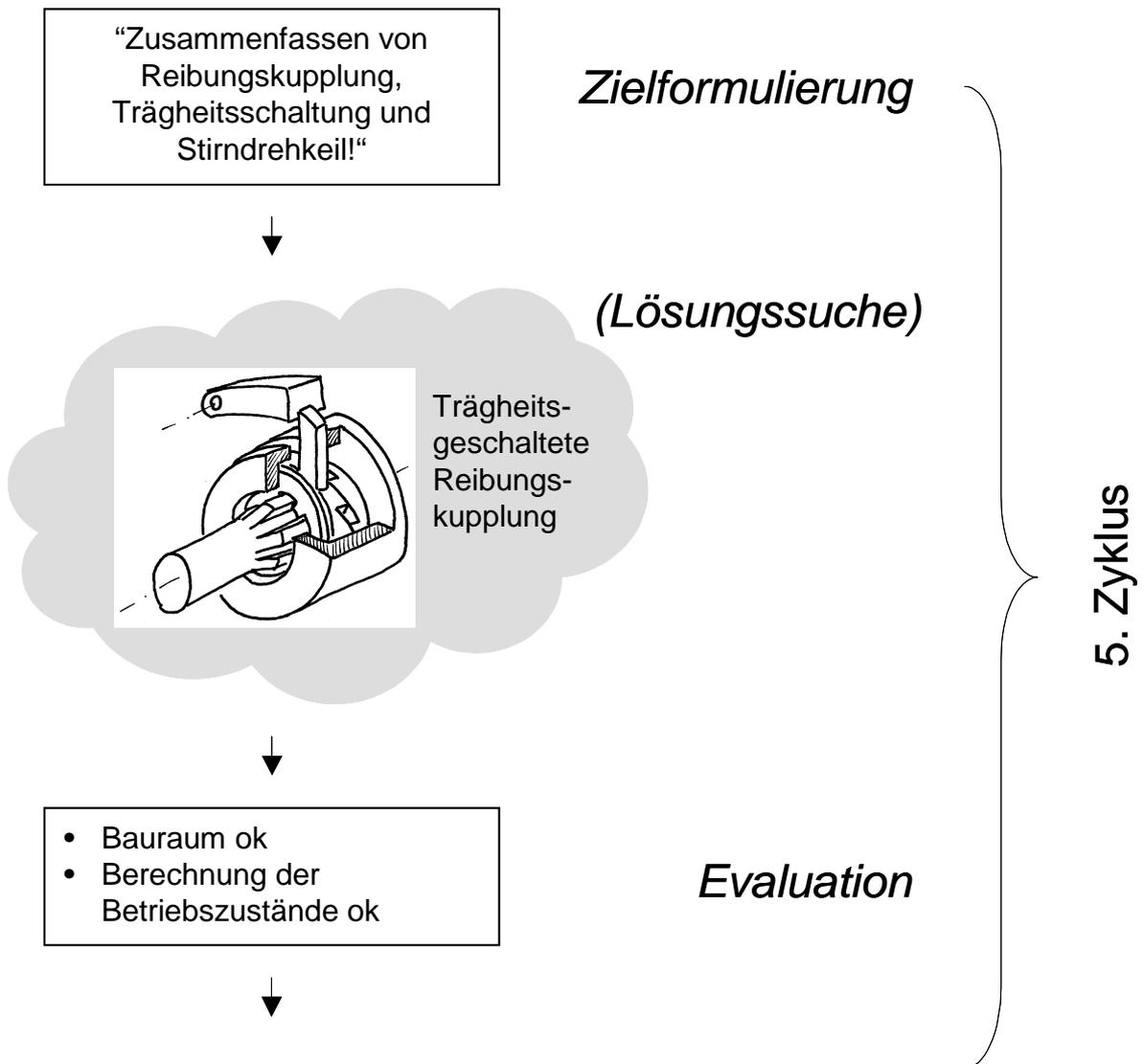


Bild 24: Prozessausschnitt bei der Entwicklung einer trägheitsgeschalteten Reibungskupplung (4)

Nach den Beobachtungen des Autors nehmen die in Bild 21 als *Zielformulierungen* bezeichneten sprachlichen Konstrukte eine zentrale Rolle beim Übergang von einer Handlungseinheit zur nächsten und damit beim Aufbau eines kohärenten, zusammenhängenden Handlungsstrangs ein. Nur auf den ersten Blick lassen sie sich dabei z. B. eindeutig mit der Phase der Aufgabenklärung im Vorgehenszyklus nach Ehrlenspiel (Ehrlenspiel 95) zur Deckung bringen. Dies zeigt sich bereits in der Art und Weise, wie sie während des Prozessverlaufs entstehen. Entsprechend der Logik der elementaren Handlungszyklen schließt sich an jede Synthesephase (Lösungssuche) eine Analysephase (Evaluation) an. So beginnt der betrachtete Handlungsabschnitt mit einer Evaluation der Lösungssuche auf der Grundlage bekannter Kupplungsprinzipien. Diese Evaluation kommt zu den Feststellungen, dass einerseits alle untersuchten KupplungsbaufORMen zu hohe Kräfte erfordern, um sie unter

den gegebenen Umständen elektromagnetisch betätigen zu können, dass andererseits aber im Antriebsstrang (mechanische) Energie „im Überfluss“ vorhanden ist. Die Evaluation des bisherigen Prozessverlaufs kumuliert daraufhin in einer als Frage gefassten Zielformulierung „Wie müsste eine Kupplung funktionieren, die ihre Betätigungsenergie hauptsächlich aus dem Antriebsstrang entnimmt?“. Diese Frage ergibt sich hier unmittelbar aus der Evaluationsphase des aktuellen Handlungszyklus und fasst ihr Resultat zusammen. Gleichzeitig wird in dieser Formulierung jedoch auch auf einem abstrakten sprachlichen Niveau das Ziel für den weiteren Handlungsablauf konstruiert. Auf diese Weise definiert sich das handelnde Individuum ein neues Handlungsziel und gibt sich damit selbst den Impuls, dem aktuellen Handlungszyklus einen weiteren folgen zu lassen. Dadurch, dass die *abstrakte Zielformulierung* die Evaluationsphase des endenden mit der Orientierungsphase des folgenden Handlungszyklus verknüpft, kommt es mit großer Wahrscheinlichkeit zu einer Fortsetzung idealer Handlungsstrukturen bei der Lösungssuche im Sinn der Beobachtungen von Tschan.

Auch im weiteren Verlauf des betrachteten Prozessabschnitts zeigt sich deutlich der Einfluss *abstrakter Zielformulierungen* auf die Handlungsregulation. Diese nehmen immer eine Scharnierfunktion im Handlungsablauf ein, indem sie aus der Bewertung des bisherigen Handlungsergebnisses ein neues Zwischenziel für die strukturierte Weiterführung der Handlung ableiten. Bei der detaillierteren Analyse der einzelnen Zielformulierungen wird deutlich, dass die *abstrakten Zielformulierungen* diese Funktion im Prozessablauf auf sehr differenzierte Weise erfüllen können:

- „*Wie müsste eine Kupplung funktionieren, die ihre Betätigungsenergie hauptsächlich aus dem Antriebsstrang entnimmt?*“
(Beginn 1. Zyklus, Bild 21)
Diese abstrakte Zielformulierung ergab sich aus der Evaluation aller bisher betrachteter, erfolgloser Lösungsansätze. Sie formuliert ein neues Entwicklungsziel auf abstrakt-funktionalem Niveau. Zum Auftakt der Lösungssuche induzierte sie einen assoziativen Sprung zum „Fahrradfreilauf“, der in eine systematische Recherche bezüglich Freilaufkupplungen einmündete.
- „*Wie lässt sich eine Freilaufkupplung in eine Schaltkupplung umwandeln?*“
(1./2. Zyklus, Bild 22)
Mit der zweiten abstrakten Zielformulierung fragte der Entwickler nach der Anpassung eines bekannten Lösungsprinzips an die gegebenen Randbedingungen. Es ergab sich eine Umgestaltung des Wirkprinzips des Rollenfreilaufs zur zusätzlichen Realisierung einer fremdgesteuerten Schaltfunktion.
- „*Wäre es möglich, das Betätigungsprinzip der Eintouren-Rollenkupplung mit einer Drehmomentübertragung durch Reibung zu kombinieren?*“
(2./3. Zyklus, Bild 23)
In der Evaluationsphase des 2. Zyklus stellte der Entwickler zunächst nur eine

Materialüberlastung in den Kontaktlinien des modifizierten Rollenfreilaufs während des Kupplungsvorgangs fest. Viel wichtiger war allerdings das sich anschließende, zyklusübergreifende Resümee, in dem auf einer höheren Abstraktionsebene unterschiedliche Elemente des bisher abgesuchten Lösungsbaums zueinander in Beziehung gesetzt wurden. Die daraus abgeleitete Zielformulierung modellierte auf sprachlichem Weg das Wirkprinzip des später als zielführend erkannten Lösungsansatzes.

- *„Wie lässt sich eine Relativdrehung zwischen verschiedenen Kupplungsteilen in eine Axialbewegung umwandeln, die den Druck von den Reibbelägen nimmt?“*
(3./4. Zyklus, Bild 23)

Im 3. Zyklus wurde die Phase der Lösungssuche übersprungen, da die Wirkprinzipien aus früheren Prozessabschnitten bereits bekannt waren. Die Evaluationsphase schloss sich darum unmittelbar an die vorhergehende abstrakte Zielformulierung an. In ihrem Verlauf wurde ein fehlendes Glied der zu entwickelnden trägheitsgeschalteten Reibungskupplung entdeckt und in Form einer weiteren abstrakten Zielformulierung in den Handlungsablauf einbezogen. Die Zielformulierung führte den Entwickler unmittelbar zu zwei physikalischen Effekten zur Erfüllung der fehlenden Funktion.

- *„Fasse die Prinzipien von Reibungskupplung, Trägheitsbetätigung und Stirndrehkeil zu einem Kupplungskonzept zusammen!“*
(4./5. Zyklus, Bild 24)

Die letzte abstrakte Zielformulierung im betrachteten Prozessabschnitt leitet die Detailgestaltung ein, an deren Ende eine vollständige rechnerische Überprüfung des entwickelten Kupplungsprinzips möglich sein sollte.

Die Beobachtung des Autors, dass dem sprachlichen Ausdruck im Verlauf eines Konstruktionsprozesses eine sehr wichtige Funktion zukommt, wird durch ähnliche Beobachtungen von Dörner gestützt. Er kommt nach der Analyse des Konstruktionsprozesses für eine Wandhalterung zu dem Schluss, dass „[...] die sprachliche Benennung der Unschärfen oder Unbestimmtheiten [...] dem ausgebildeten Ingenieur vermutlich meist eine Menge von Möglichkeiten aufweisen [wird], die Lücken [einer Konstruktion] zu füllen oder die Unbestimmtheiten zu beseitigen“ (DÖRNER 94, S. 157). Dabei verweist er auf die besondere Bedeutung von Begriffen für den Wissensaufruf aus dem Gedächtnis des Konstrukteurs. In einer späteren Veröffentlichung entwickelt Dörner diesen Gedanken weiter und definiert den „Bild-Wort-Zyklus“ als einen der zentralen kognitiven Mechanismen des Konstruktionsprozesses (DÖRNER 98, S. 5ff). Durch den sprachlichen Ausdruck einer bildhaften technischen Idee werden auf dem Weg der Assoziation alternative Bilder generiert, die zu weiteren Lösungsansätzen führen. Dieser Mechanismus wirkt nach Dörner besonders auch bei der Arbeit im Team: “The ‘benefits of chatting’ and generally the benefits of teamwork are based partially on the inherent necessity to communicate one’s ideas and thus unconsciously to launch the ‘picture-word cycle’.”

Die assoziative Kraft *abstrakter Zielformulierungen* im Sinn des „Bild-Wort-Zyklus“ zeigt sich sehr schön im 1. Zyklus. Es wäre jedoch zu einfach, die Wirkung von Zielformulierungen allein auf mehr oder weniger zufällige assoziative Sprünge beschränkt zu sehen. Die weiteren Zyklen im untersuchten Prozessabschnitt deuten vielmehr darauf hin, dass mit der Zielformulierung auch die Abstraktionsebene definiert wird, auf der die aktuelle Lösungssuche stattfinden wird. Tatsächlich führt nur die Zielformulierung des 1. Zyklus zu einem assoziativen Sprung, während die Lösungssuche in den übrigen Fällen in wohlgeordneten methodischen Bahnen verläuft. So wird die Lösung im 2., 3. und 5. Zyklus vorwiegend durch systematische Variation der Wirkstruktur entwickelt, während im 4. Zyklus die Lösungssuche auf der Grundlage physikalischer Effekte erfolgt. Speziell im Fall des 1. Zyklus wird ein neues Funktionsprinzip auf einem abstrakt-funktionalem Niveau artikuliert, gleichzeitig verweist die Zielformulierung – wenn auch nicht explizit – auf das aus der Konstruktionsmethodik bekannte Gestaltungsprinzip der Selbsthilfe. Daraus kann geschlossen werden, dass die in diesem Fallbeispiel ohne besondere Absicht und aus der Situation heraus gebildeten Zielformulierungen den methodisch vorgebildeten Autor⁷ auf jeweils bestimmte Techniken der Lösungssuche geführt haben.

Alle oben aufgeführten *abstrakten Zielformulierungen* sind sprachlich entweder in Frage- oder in Befehlsform gehalten. Damit ist ihnen ein gewisser Aufforderungscharakter zu eigen, der dem Prozess der Lösungssuche eine zusätzliche Dynamik verleiht. Jede Frage verlangt nach einer Antwort, jede Aufforderung nach einer Handlung – der Autor hat den geschilderten Prozessabschnitt und ähnliche Phasen der Lösungssuche in anderen Projekten oft als ein hochkonzentriertes Frage-Anwortspiel erlebt, in dem eher sprachliche Analyse- und vorwiegend bildliche Syntheseschritte sich in schneller Folge abwechselten. Das Vorgehen bei der Lösungssuche in Form von Frage und Antwort, Rede und Gegenrede wurde in diesem Zusammenhang nicht nur als innerer Monolog bei der Selbstbeobachtung festgestellt, sondern auch bei der Problemlösung in Kleingruppen mit zwei bis drei Personen (vgl. Kapitel 6.1.1). Vor dem Hintergrund seiner eigenen Analysen, die durch die Beobachtungen von Dörner gestützt werden, erscheint es dem Autor darum sinnvoll, das zunächst nur deskriptiv erfasste Phänomen der *diskursiven Lösungssuche* als ein elementarmethodisches Konzept zur Optimierung der Lösungssuche zu definieren.

4.2 Diskursive Lösungssuche mit Hilfe von Zielformulierungen

Das deskriptiv erfasste Phänomen der diskursiven Lösungssuche soll als Methode mit Hilfe eines Modells beschrieben werden, das Birkhofer und Lindemann (BIRKHOFFER/LINDEMANN/ALBERS/MEIER 01, S. 461) im Rahmen ihrer Aktivitäten zur Schaffung des strukturierten und interaktiven Wissensnetzwerks „*thekey*“ entwickelt haben. In diesem

⁷ Der Autor hatte zum damaligen Zeitpunkt bereits die Vorlesung zur Konstruktionslehre gehört und sich darüber hinaus im Rahmen des Seminars intensiv mit Konstruktionsmethodik auseinander gesetzt.

Modell werden Methoden als Referenzprozesse angesehen, deren Wirksamkeit in der Vergangenheit bereits vielfach erprobt wurde. Das Modell selbst zerfällt in die Hauptelemente Input, Prozessablauf und Output. Wichtige Randbedingungen für die Prozessdurchführung werden durch die ergänzenden Kategorien Anwender, Hilfsmittel, allgemeine Bedingungen und Tipps erfasst. Bild 25 zeigt die Beschreibung der *diskursiven Lösungssuche* nach dem Modell aus „thekey“.

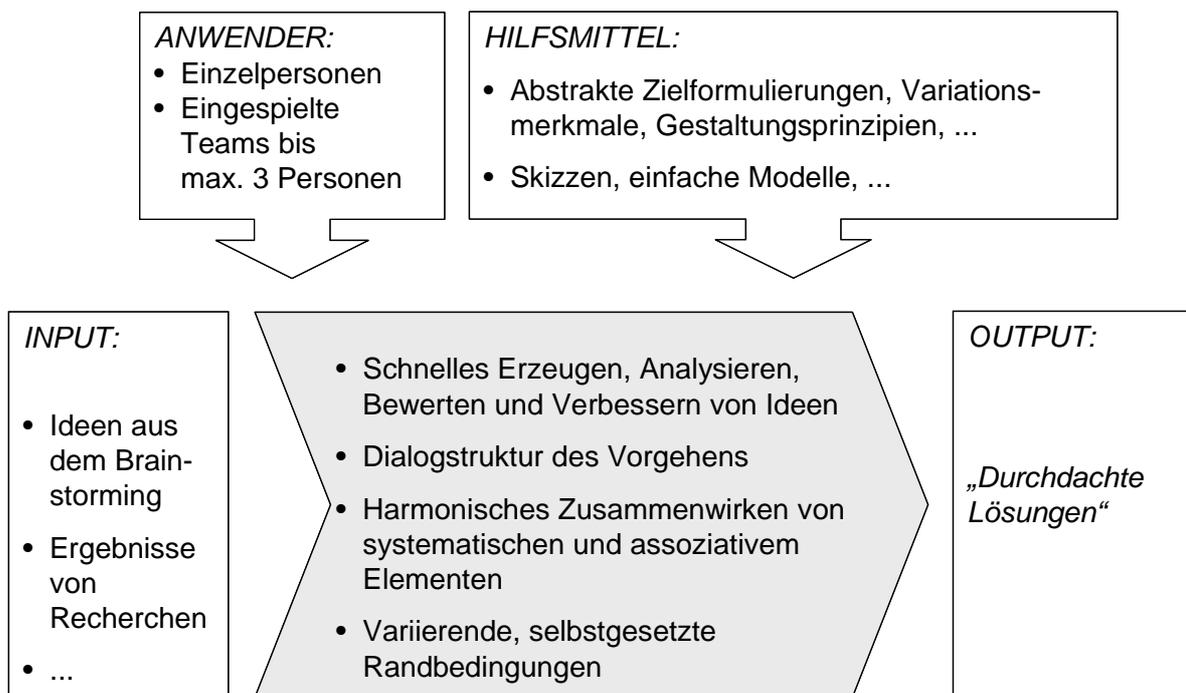


Bild 25: Der Diskurs der Gestaltfindung im Prozessmodell

- **INPUT**

Ausgangspunkt der diskursiven Lösungssuche bilden ganz allgemein Lösungsansätze, die noch weiter ausgearbeitet werden müssen, um zu einem späteren Zeitpunkt im Entwicklungsprozess einem umfassenden Bewertungsschritt unterzogen werden sollen. Speziell bei der Konzeptfindung werden das häufig Ideen aus Brainstorming-Sitzungen oder die Ergebnisse erster Recherchen sein. Grundsätzlich kann allerdings jede „unausgeorene“ Idee als Einstieg in die diskursive Lösungssuche dienen.

- **PROZESSABLAUF**

In ihrer Grundstruktur besteht die *diskursive Lösungssuche* aus einer Abfolge handlungslogischer Mikrozyklen, wie sie mit unterschiedlichen Modellen aus Psychologie, Systems Engineering oder Entwicklungsmethodik beschrieben werden kann. Gesteuert wird diese Abfolge in erster Linie auf sprachlichem Wege durch *abstrakte Zielformu-*

lierungen, die die Bindeglieder zwischen den einzelnen Handlungszyklen darstellen. Aufgrund der Dynamik, die sich aus dem Aufforderungscharakter der Zielformulierungen ergibt, wird von „diskursiver“ oder Dialogstruktur der Lösungssuche gesprochen. Charakterisiert wird der Prozessablauf darüber hinaus durch das harmonische Zusammenwirken systematischer und assoziativer Elemente und das Setzen variierender, temporärer Randbedingungen.

- *OUTPUT*

Ziel der diskursiven Lösungssuche ist die Schaffung „durchdachter“ Lösungen. Als „durchdacht“ werden dabei solche Lösungen bezeichnet, die von ihrem aktuellen Konkretisierungsgrad her die Voraussetzungen dafür erfüllen, einem rationalen Bewertungs- und Entscheidungsprozess unterzogen zu werden. Das bedeutet natürlich, dass in unterschiedlichen Phasen des Entwicklungsprozesses jeweils andere Anforderungen zu stellen sind, damit eine Lösung als durchdacht gelten kann. Die Kriterien dafür müssen sich aus der übergreifenden Planung eines Entwicklungsprozesses ergeben.

- *ANWENDER*

Die erfolgreiche Durchführung einer *diskursiven Lösungssuche* ist nach Auffassung des Autors nur durch Einzelpersonen oder vertrauensvoll zusammenwirkende Kleingruppen von maximal drei Personen möglich. Das liegt daran, dass das beschriebene sprachlich – bildhafte Wechselspiel einen empfindlichen Prozess darstellt, bei dem die Beteiligten wirklich auf die Äußerungen ihres Dialogpartners eingehen müssen. Dies ist im Normalfall eben nur in dialogischen Situationen und damit in sehr kleinen Gruppen möglich.

- *HILFSMITTEL*

Zentrales Hilfsmittel bei der *diskursiven Lösungssuche* sind die *abstrakten Zielformulierungen*, mit denen der Handlungsablauf gesteuert wird. Über sie fließt im Idealfall das relevante heuristische Wissen des Entwicklers in den Prozess der Lösungssuche ein. Das kann auf der einen Seite Erfahrungswissen sein, das sich der Entwickler in früheren Projekten erworben hat, auf der anderen Seite jedoch auch Methoden im Sinn von Referenzprozessen, die er beherrscht. Auf diese Weise können bewährte Methoden wie z. B. die Lösungssuche mit physikalischen Effekten, die Variation der Gestalt, die Widerspruchsprinzipien nach Altshuller (ALTSCHULLER 84, S. 85ff) als Hilfsmittel in den Prozess der diskursiven Lösungssuche integriert werden.

Ein zweite wichtige Klasse von Hilfsmitteln zur Unterstützung der *diskursiven Lösungssuche* stellen Skizzen und einfache Modelle dar. Während die *abstrakten Zielformulierungen* Ausdruck der Lösungssuche auf sprachlich-abstraktem Niveau sind, nehmen Skizzen und manchmal auch einfache Modelle (vgl. 6.1) diese Funktion für die bildhaft-konkreten Phasen der Lösungssuche wahr. Ihre vielfältigen Funktionen im Prozess der Lösungssuche sind äußerst komplex und noch lange nicht vollständig verstanden (vgl. PACHE ET AL. 01, S. 461ff und PACHE ET AL. 99, S.679ff). Im analysierten Fallbeispiel drückt sich in ihnen meist die Antwort oder Reaktion auf die Frage oder

Aufforderung der vorangegangenen abstrakten Zielformulierung aus. Damit bilden sie oft eine wichtige Grundlage für die Evaluation im einzelnen Mikrozyklus, aus der heraus die nächste Zielformulierung abgeleitet wird.

Bereits im vorigen Teilkapitel wurde deutlich, warum den *abstrakten Zielformulierungen* als Bindegliedern zwischen einzelnen Handlungszyklen besondere Bedeutung für den erfolgreichen Handlungsablauf bei der *diskursiven Lösungssuche* zukommt. Im folgenden soll das vom Autor deskriptiv erfasste Phänomen der *abstrakten Zielformulierung* kurz mit ähnlichen Elementen aus präskriptiven Methoden zur Lösungssuche verglichen werden. In diesem Zusammenhang soll deutlich werden, warum es nach Meinung des Autors nicht sinnvoll wäre, die *diskursive Lösungssuche mit abstrakten Zielformulierungen* in ein starres, formal-methodisches Korsett im Sinn eines streng einzuhaltenden Algorithmus zu zwingen: Sie würde unweigerlich ihre mentale Dynamik und damit auch einen Großteil ihrer Effektivität verlieren.

Eine Gruppe von Methoden, der im Rahmen der wissenschaftlichen Entwicklungsmethodik seit jeher große Bedeutung eingeräumt wurde, ist die Arbeit mit Funktionsstrukturen. In der klassischen Konstruktionsmethodik stellen sie das Bindeglied zwischen den Anforderungen an ein zu entwickelndes Produkt und der Suche nach physikalischen Wirkstrukturen dar. Bezogen auf die makrologische Struktur des Entwicklungsprozesses sollen Funktionsmodelle oder -strukturen damit ähnliche Aufgaben erfüllen, wie sie im Fallbeispiel für *abstrakte Zielformulierungen* innerhalb elementarer Handlungszyklen erkannt worden sind. Beim Aufbau von Funktionsmodellen und -strukturen soll auf einem relativ abstrakten Niveau eine Definition des zu entwickelnden Systems geschaffen werden, die als „Zielvorstellung“ Orientierung im weiteren Verlauf des Entwicklungsprozesses bieten soll. Zur Unterstützung dieser Arbeit wurden bereits zahlreiche und werden immer wieder neue formale Methoden zur Funktionsmodellierung geschaffen (z. B. KALLMEYER 98, SHAKERI 98, PULM/LINDEMANN 01). Der hohen Wertschätzung der Funktionsmodellierung durch akademische Kreise stehen massive Probleme bei der Anwendung in der Praxis gegenüber, die bereits verschiedentlich nachgewiesen werden konnten (BONACCORSI/MANFREDI 99, S. 414 und WULF 98, S. 62ff). Der Autor hat die Probleme im damals untersuchten Fallbeispiel darauf zurückgeführt, dass die Ergebnisse der formalen Funktionsmodellierung im weiteren Verlauf des Entwicklungsprozesses kaum Verwendung finden. Wird der zum Teil beträchtliche Aufwand bedacht, der zum Aufbau eines formal korrekten Funktionsmodells nach einer der vielen zur Verfügung stehenden Methoden notwendig ist, überrascht es kaum, dass die Technik der formalen Funktionsmodellierung in der Praxis kaum Verwendung findet. Der Autor hat deshalb vorgeschlagen, zur Funktionsmodellierung auf eines der am weitesten verbreiteten und flexibelsten Werkzeuge zurückzugreifen, das dem Produktentwickler zur Verfügung steht: die menschliche Sprache. Im Zusammenspiel mit formal ungebundenen grafischen Strukturierungsmethoden (z. B. Strukturbäumen etc.) stellt sie ein in vielen Fällen vollkommen ausreichendes und sehr flexibles Werkzeug dar, das zentrale Anforderungen an Modellierungsmethoden erfüllt. Nur wenn der weitere

Prozessablauf vollständig formal durchstrukturierte Funktionsmodelle erforderlich macht, sollten aufwendigere Techniken eingesetzt werden⁸.

Die damals zur Funktionsmodellierung gemachten Aussagen finden durch die Analysen dieses Kapitels zusätzliche Bestätigung. Der Prozess der Lösungssuche bedarf in seinem Verlauf immer wieder sprachlicher Impulse, die als *abstrakte Zielformulierungen* permanent neu gebildet werden müssen. In einem Teil der Fälle entspricht der Inhalt von Zielformulierungen Festlegungen, die im Rahmen der Funktionssynthese beim Aufbau eines formalen Funktionsmodells zu treffen wären („*Wie müsste eine Kupplung funktionieren, die ihre Betätigungsenergie hauptsächlich aus dem Antriebsstrang entnimmt?*“, vgl. Kap. 4.1.2.3). Wenn die meisten formalen Techniken zur Funktionsmodellierung in der Praxis kaum Anwendung finden, so ist das für den Autor ein starkes Indiz dafür, dass sie von ihrer Struktur und Anwendung her eben nicht imstande sind, solche sprachlichen Impulse zu liefern. Die Mehrheit der Produktentwickler in der Praxis lässt diese Gruppe von Methoden daher vielleicht zurecht „links liegen“.

Für die eben geäußerte Vermutung spricht auch der Erfolg einer Form von Funktionsmodellierung, die zusammen mit der Methodik TRIZ eine gewisse Verbreitung gefunden hat (TERNINKO/ZUSMAN/ZLOTIN 96, S. 48-64). Genauso wie in Systems Engineering und Entwicklungsmethodik wird der Aufbau einer Funktionsstruktur eingesetzt, um das zu entwickelnde System und sein Umfeld zu analysieren. Durch die Unterscheidung von nützlichen und schädlichen Funktionen gibt die entstehende sprachlich-grafische Struktur gegensätzliche Einflüsse innerhalb und ausserhalb eines Systems sehr viel deutlicher wieder, als die aus der klassischen Konstruktionsmethodik stammenden flussorientierten Funktionsmodelle. Die Funktionsstruktur dient zur formalen Ableitung von „Problemformulierungen“, die einerseits die Methodenauswahl im Rahmen von TRIZ unterstützen, andererseits jedoch auch unmittelbar als sprachliche „Initialzündungen“ für die intuitive und systematische Lösungssuche wirken (LINDEMANN ET AL. 01, S. 93). Nicht zuletzt darin besteht eine größere *Handlungsorientierung* dieser Art von Funktionsmodellierung (LINDEMANN/WULF 01, S. 136f), die sie für die praktische Anwendung attraktiver erscheinen lässt als die zahllosen anderen fluss- oder objektorientierten Techniken zur Funktionsmodellierung, die die Entwicklungsmethodik hervorgebracht hat.

Nach den Erfahrungen des Autors führt die Funktionsmodellierung nach Terninko et al. jedoch aufgrund ihrer strikt formalen Vorgehensweise in der Praxis ebenfalls zu Problemen. Bereits relativ übersichtliche technischen Problemstellungen ergeben eine so große Anzahl von Problemformulierungen, dass eine sinnvolle Bearbeitung im Rahmen eines Projekts vom Aufwand her kaum noch möglich erscheint. In solchen Fällen wurden die Problemformulierungen herausgegriffen, die ein bestimmtes Problem am zutreffendsten

⁸ Dies könnte z. B. sinnvoll sein, wenn bei der Entwicklung mechatronischer Systeme formale Funktionsmodelle direkt für die Softwareerstellung verwendet werden können; in den vom Autor untersuchten Fallbeispielen war das allerdings nie möglich.

charakterisierten, und die Lösungssuche damit fortgesetzt. Dabei wurden häufig auch sprachliche Veränderungen vorgenommen, durch die die formal erzeugten Problemformulierungen grammatikalisch korrekt und damit verständlicher wurden. Damit näherten sich die Problemformulierungen für TRIZ von ihrer sprachlichen und inhaltlichen Struktur den *abstrakten Zielformulierungen* dieses Kapitels an.

Den diskutierten praktischen Schwierigkeiten bei der Anwendung formal strukturierter Funktionsmodelle und der Ableitung von sprachlichen Handlungsimpulsen steht die Beobachtung des Autors in den von ihm durchgeführten Fallstudien gegenüber, dass die beteiligten Produktentwickler fast immer dazu in der Lage sind, solche Handlungsimpulse aus der Analyse einer aktuellen Situation heraus zu formulieren. Dies kann eigentlich nicht weiter verwundern, ist doch nach Dörner der Bild-Wort-Zyklus eines der konstituierenden kognitiven Prinzipien bei der Lösung konstruktiver Aufgabenstellungen (DÖRNER 98, S. 5ff). Mehr oder weniger explizit verbalisierte Handlungsimpulse sollten deshalb als grundlegender Bestandteil des Problemlöseverhaltens bei der Produktentwicklung betrachtet werden. Die geringe praktische Akzeptanz vieler formaler Techniken zur Funktionsmodellierung wurde als Beispiel dafür herangezogen, dass die Missachtung dieses Grundprinzips des Problemlöseverhaltens die Akzeptanz eines methodischen Hilfsmittels gefährden kann.

Aus diesen Überlegungen ergeben sich weitreichende Folgen für die Arbeit mit *abstrakten Zielformulierungen* innerhalb des methodischen Konzepts der *diskursiven Lösungssuche*. Nach Ansicht des Autors verbieten sich methodische Ansätze, die versuchen, Zielformulierungen mit Hilfe algorithmischer Schemata aus vorhandenen Eingabeparametern abzuleiten. Anzustreben ist vielmehr das freie Äußern kreativer *abstrakter Zielformulierungen* aus konkreten Prozesssituationen heraus. Die besten Voraussetzungen dafür bietet eine Dialogsituation, die der Entwickler entweder im *Selbstgespräch* oder bei der *Diskussion von Lösungsansätzen in sehr kleinen Gruppen* herbeiführen kann. Die konstruktive Kritik der aktuell diskutierten Lösungsvarianten ist dabei wesentlicher Bestandteil des Handlungsablaufs. Innerhalb der elementaren Handlungszyklen des Prozesses kommt ihr die Funktion der Evaluation des Handlungsergebnisses zu. Daraus ergeben sich neue abstrakte Zielformulierungen, die weitere Handlungszyklen initiieren. Die Einbeziehung von Evaluationschritten in den Prozessablauf unterscheidet die *diskursive Lösungssuche* grundlegend von Methoden zur reinen Ideenfindung wie dem Brainstorming (OSBORN 63) oder der Synektik (GORDON 61). Nur dadurch ist es allerdings möglich, von der reinen Ideenfindung zur systematischen Ausarbeitung von Ideen zu gelangen.

Wesentliche sprachliche Eigenschaft abstrakter Zielformulierungen ist ihr Aufforderungscharakter, der ganz entscheidend dazu beiträgt, die Dynamik des Handlungsprozesses über verschiedene Handlungszyklen hinweg aufrechtzuerhalten. Im Fallbeispiel traten abstrakte Zielformulierungen dabei sowohl in Frage- als auch in Befehlsform auf. Die genaue grammatikalische Form scheint jedoch ohne besondere Beutung zu sein.

Die detaillierte Analyse einzelner Prozessabschnitte im Fallbeispiel dieses Kapitels hat bereits die inhaltliche Breite der auftretenden *abstrakten Zielformulierungen* deutlich gemacht. Diese umfasst alle von der Entwicklungsmethodik definierten Konkretisierungsstufen auf dem Weg zum vollständigen Produktkonzept, angefangen mit der Ebene der Funktionsanalyse und -synthese, über die Ebene der physikalischen Wirkstruktur hin zur Gestaltvariation bei der ersten Detaillierung des Gesamtkonzepts. Den abstrakten Zielformulierungen kommt dabei die wichtige Funktion zu, geläufige methodische Hilfsmittel in den Prozess der Lösungssuche zu integrieren. Gerade dieser Aspekt der Arbeit mit Zielformulierung dürfte für die Optimierung der methodischen Unterstützung von Produktentwicklern von Bedeutung sein.

Auf jeder dieser produktlogischen Ebenen können mit abstrakten Zielformulierungen unterschiedliche Zwecke verfolgt werden. Der Autor konnte drei Arten von Zwecken hinter abstrakten Zielformulierungen unterscheiden, die im Fallbeispiel eine Rolle gespielt haben:

- Einfordern von Anforderungen:
„Wie lässt sich eine Relativdrehung zwischen verschiedenen Kupplungsteilen in eine Axialbewegung umwandeln, die den Druck von den Reibbelägen nimmt?“
- Verwirklichung von Gestaltungsprinzipien:
„Wie müsste eine Kupplung funktionieren, die ihre Betätigungsenergie hauptsächlich aus dem Antriebsstrang entnimmt?“
- Verbale Konstruktion eines zunächst fiktiven technischen Systems:
„Wäre es möglich, das Betätigungsprinzip der Eintouren-Rollenkupplung mit einer Drehmomentübertragung durch Reibung zu kombinieren?“

In den letzten beiden Fällen setzen die *abstrakten Zielformulierungen* neue Randbedingungen im Entwicklungsprozess, die ganz unabhängig von den vorgegebenen Anforderungen sein können. Die Beobachtungen zeigen jedoch, dass gerade das kreative Setzen solcher Randbedingungen die Lösungssuche in eine ganz neue Richtung lenken kann. Im Fallbeispiel führte es dazu, dass der Autor aus konstruktiven „Sackgassen“ im Lösungsbaum herauskam und letztlich zu einer funktionsfähigen Lösung gelangte. Bild 26 fasst noch einmal die wichtigsten charakteristischen Eigenschaften abstrakter Zielformulierungen zusammen, die das zentrale Hilfsmittel im Verlauf der diskursiven Lösungssuche darstellen.



Bild 26: Charakteristische Eigenschaften von abstrakten Zielformulierungen

4.3 Zusammenfassung des Kapitels

Ausgehend von der detaillierten Analyse der Entwicklung einer Schaltkupplung wurden in diesem Kapitel Einflussfaktoren untersucht, die zum erfolgreichen Abschluss der Lösungssuche im beschriebenen Projekt geführt haben. Bezüglich der makroskopischen Aspekte des Vorgehens konnten einige wichtige Erkenntnisse der empirischen Konstruktionsforschung der letzten Jahre nachvollzogen werden. Dazu zählt vor allem der Einfluss heuristischer Prinzipien beim Aufbau eines Lösungsbaumes für die gegebene technische Problemstellung. Die Untersuchung hat jedoch darüber hinaus gezeigt, dass neben der übergeordneten Handlungsorganisation auch die effiziente Steuerung elementarer handlungslogischer Mikrozyklen entscheidenden Einfluss auf den Erfolg der Lösungssuche ausübt. Diese Beobachtung stimmt mit jüngsten Erkenntnissen der psychologischen Kleingruppenforschung überein, wurde in Entwicklungsmethodik und empirischer Konstruktionsforschung jedoch bisher nur vereinzelt und eher beiläufig artikuliert.

Die Analysen des Autors zeigen, dass die Abfolge handlungslogisch idealer Mikrozyklen während der Lösungssuche im Fallbeispiel auf verbalem Weg aufrechterhalten wurde. Dabei fassen *abstrakte Zielformulierungen* das Ergebnis eines abgeschlossenen Handlungszyklus zusammen und geben gleichzeitig den Impuls für die Durchführung eines weiteren Handlungszyklus. Auf diese Weise erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein kohärenter Handlungsstrang entwickeln kann, an dessen Ende ein durchdachter Lösungsansatz erarbeitet worden ist.

Aufgrund des Dialogcharakters, den der Handlungsablauf unter dem Einfluss der *abstrakten Zielformulierungen* annimmt, wurde die *diskursive Lösungssuche* als elementarmethodisches Konzept beschrieben. Die *diskursive Lösungssuche* ist kein präskriptives Verfahren, sondern hat den Status einer Arbeitshypothese, die den Anspruch erhebt, entscheidende Grundprinzipien der erfolgreichen Lösungssuche bei der technischen Problemlösung wiederzugeben. Sie soll zeigen, wie vage Lösungsideen durch Einzelne oder Kleingruppen zu durchdachten technischen Konzepten weiterentwickelt werden. Eine erste Validierung des Konzepts der *diskursiven Lösungssuche* wird in einem weiteren Fallbeispiel in Kapitel 6 dieser Arbeit erfolgen.

Die *diskursive Lösungssuche* ist als methodisches Konzept zur Synthese technischer Lösungen stark auf intuitive Evaluationsschritte innerhalb des Prozesses angewiesen. Sie kann deshalb grundsätzlich nicht die berechtigten Forderungen der Entwicklungsmethodik an eine objektive Bewertung von Lösungsalternativen erfüllen. Phasen diskursiver Lösungssuche müssen deshalb in übergeordnete Bewertungs- und Entscheidungsprozesse eingebettet werden. Das folgende Kapitel wird darum der Frage nachgehen, wie sich Lösungsansätze in Projektteams durchsetzen und welche Konsequenzen sich daraus für die methodische Strukturierung des Vorgehens ergeben.

5 Wie setzen sich Lösungsideen im Team durch?

In Kapitel 5 wird anhand eines Fallbeispiels geschildert, wie sich eine Idee in einem Entwicklungsprozess durchsetzt. Auch hier soll der beobachtete Ablauf eines realen Entwicklungsprozesses den präskriptiven Vorgaben der Entwicklungsmethodik gegenübergestellt werden. Dabei wird sich zeigen, dass die von der Entwicklungsmethodik angestrebte Rationalisierung der Entscheidungsfindung prinzipiell unvollkommen bleiben muss, da sich eine spontane Bewertung und Vorauswahl von Lösungsideen durch die am Prozess beteiligten Menschen nicht verhindern lässt. Vielmehr wird deutlich, dass keine Idee ins Bewusstsein einer Gruppe gelangen kann, ohne von einem ihrer Mitglieder mindestens zeitweise für interessant gehalten zu werden. Und auch der weitere Erfolg einer Lösungsidee hängt oft stärker von der in sie investierten Arbeit ab als von ihrer „objektiven“ rationalen Qualität. Das Engagement des Einzelnen oder von Teilen der Gruppe für eine bestimmte Idee hängt dabei wieder maßgeblich von subjektiven Einschätzungen ab. Deshalb hat jede Idee, die in einen im Sinne der Entwicklungsmethodik rationalen Bewertungsprozess gelangt, bereits eine Vielzahl von intuitiven Bewertungsschritten hinter sich. Im zweiten Teil von Kapitel 5 wird der Frage nachgegangen, wie mit dem sehr wesentlichen und nicht reduzierbaren Anteil spontaner und intuitiver Entscheidungsfindung im Entwicklungsprozess umgegangen werden soll. Dazu wird vorgeschlagen, die Entscheidungsfindung im Entwicklungsteam im Sinne eines politischen Meinungsbildungsprozesses aufzufassen. Im Verlauf einer Produktentwicklung sollte darum das Äußern und Ausarbeiten alternativer Lösungsideen durch Einzelne oder Teile der Gruppe aktiv angeregt werden. Der Anwendung formaler Methoden zur Bewertung und Entscheidungsfindung kommt in diesem Fall die sehr wichtige Funktion zu, die Regeln für einen fairen Wettkampf zwischen konkurrierenden Lösungsansätzen festzulegen.

5.1 Fallbeispiel „Konzeptfindung für den Vorschubantrieb einer Hochgeschwindigkeits-Verzahnungsschleifmaschine“

Der im folgenden beschriebene Teilabschnitt eines Entwicklungsprozesses wurde von einem Kollegen und einem Studenten zusammen mit dem Autor im Rahmen des Forschungsvorhabens „High-Speed-Grinding, Entwicklung einer HSG-Maschine“ durchgeführt⁹. Dieses Forschungsvorhaben wurde von der Bayerischen Forschungstiftung gefördert und hatte die Entwicklung der technologischen und maschinentechnischen Grundlagen für eine Hochgeschwindigkeits-Verzahnungsschleifmaschine zum Ziel. Auf der Grundlage von Aufzeichnungen, Skizzen und Dokumenten kann der Ablauf des Prozesses der Lö-

⁹ J. Gramann, D. Siedl, Projektpartner: Liebherr Verzahntechnik GmbH, ZF Passau, iwb (TU München), WZL (RWTH Aachen)

sungssuche bis zu den verschiedenen Stadien der Entscheidungsfindung sehr genau rekonstruiert werden.

5.1.1 Beschreibung des Entwicklungsprozesses

Ziel des erwähnten Forschungsvorhabens war es, die technologischen und maschinentechnischen Grundlagen für eine Verzahnungsschleifmaschine zu entwickeln, die eine Halbierung der derzeit bei der Zahnradherstellung üblichen Fertigungszeiten erlaubt. Dazu sollte die Technologie des High-Speed-Grindings zur Anwendungsreife entwickelt werden, bei der Werkzeugdrehzahlen bis zu 40.000 U/min realisiert werden müssen. Um die Vorteile der im Vergleich zu bisher 10-fach höheren Schnittgeschwindigkeiten ausnützen zu können, muss sowohl die Geschwindigkeit als auch die Dynamik des Vorschubantriebs in einer solchen Maschine deutlich erhöht werden. Für den zu entwickelnden Prototypen einer HSG-Maschine wurde deshalb eine Vorschubgeschwindigkeit von 24 m/min und eine Eilganggeschwindigkeit von 45 m/min bei einer maximalen Beschleunigung von 6 m/s^2 gefordert. Dabei beträgt die vertikal bewegte Masse des Schleifkopfs und des Axialschlittens ca. 1000 kg und der Widerstand der Rollenführungen ca. 1000 N. Der Vorschubantrieb sollte für eine Lebensdauer von mindestens 26.000 Stunden ausgelegt werden. Verantwortlich für die Entwicklung des Konzepts für den Vorschubantrieb waren die Mitarbeiter des Lehrstuhls für Produktentwicklung, wobei alle wichtigen Entscheidungen natürlich gemeinsam im Team der Projektpartner getroffen wurden.

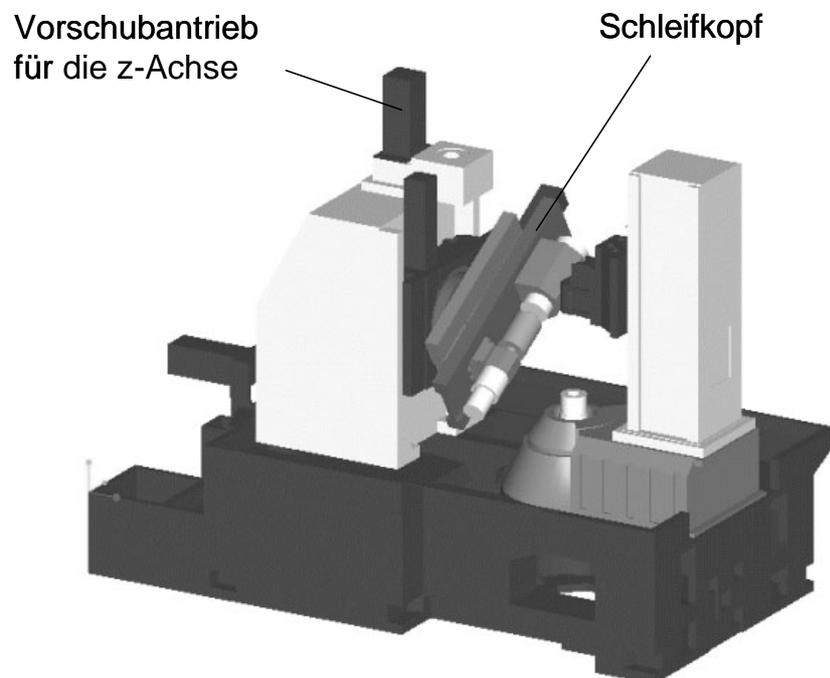


Bild 27: CAD-Modell der zu optimierenden Verzahnungsschleifmaschine

Im Anschluss an die Anforderungskklärung im Team und die Definition des Arbeitspakets „Vorschubantrieb“ wurde vom beteiligten Studenten eine erste Recherche zu diesem Thema durchgeführt. Eine Vielzahl von theoretischen Alternativen reduzierte sich in einer von ihm durchgeführten Vorauswahl sehr schnell auf die drei im Werkzeugmaschinenbau derzeit eingesetzten Lösungen für hochgenaue und hochdynamische Vorschubachsen (vgl. Bild 28). Dabei stellt der Servomotor in Kombination mit einem Kugelgewindetrieb (KGT) die aktuell kostengünstigste Standardlösung dar, die allerdings bei den geforderten Beschleunigungsparametern an ihre Grenzen stößt. Deutlich höheres dynamisches Potenzial bietet der Servoantrieb in Kombination mit einer hydrostatischen Gewindespindel, deren Nachteil im sehr hohen Preis und dem größeren technischen Aufwand für die Druckölversorgung liegt. Die höchsten Beschleunigungswerte sind in jedem Fall mit einem Servolinearmotor zu erreichen, der von den Kosten etwas günstiger als die hydrostatische Gewindespindel ist. Unwägbarkeiten ergeben sich beim Einsatz eines Linearmotors im vorliegenden Fall vor allem aus den im Vergleich zu den anderen Systemen größeren Auswirkungen auf das Maschinenkonzept und den möglicherweise bei der Montage und im Betrieb auftretenden Probleme aufgrund der starken, offenen Magnetfelder.

Aufgabe:

Auslegung Vorschubantrieb
 Beschleunigung 6 m/s²
 Vorschub 24 m/min
 Eilgang 45 m/min
 bewegte Masse 1000 kg
 Lebensdauer 26000 h

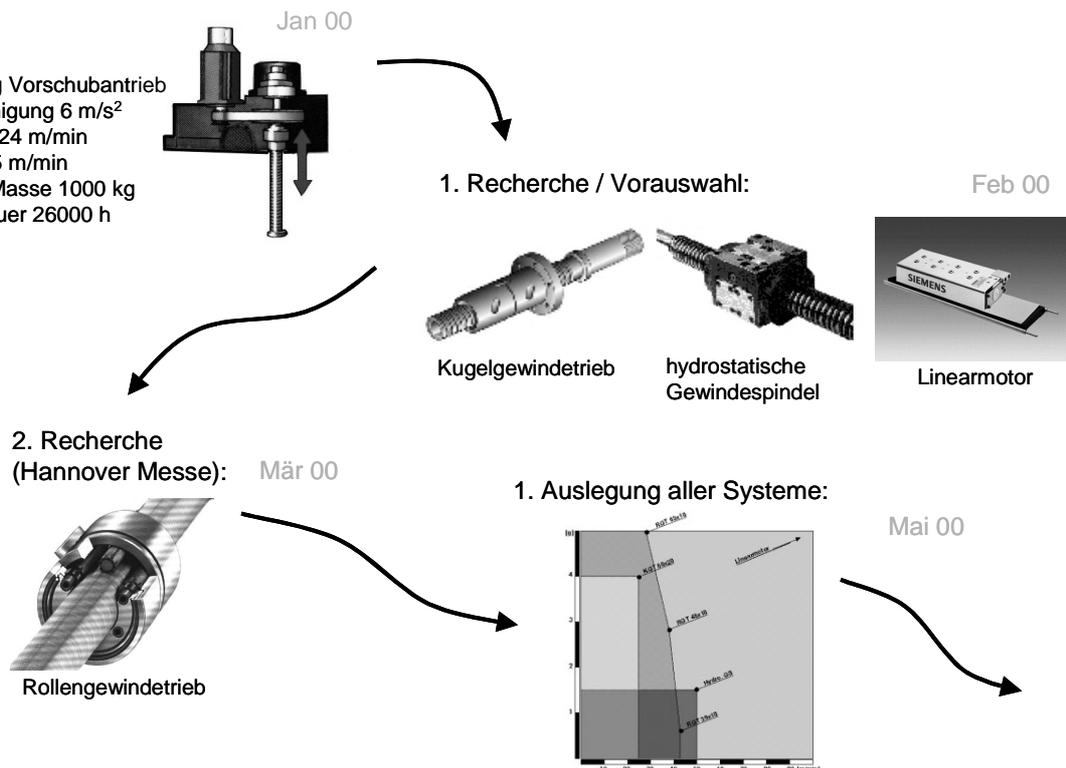


Bild 28: Prozessablauf zur Festlegung eines Vorschubantriebs (1)

Auf der Grundlage dieser ersten Klärung des Lösungsfeldes für den Vorschubantrieb führte der Autor eine zweite Recherche auf der Hannover Messe 2000 durch. Ziel dieser Recherche war es eigentlich, einen möglichst vollständigen Überblick über die am Markt verfü-

baren Systeme für die oben beschriebenen Lösungsansätze zu gewinnen. Dabei stieß der Autor jedoch auf einige „exotische“ Systeme zur Umwandlung einer Rotationsbewegung in eine Linearbewegung: Rollengewindetriebe in vielen unterschiedlichen Ausführungsformen und Wälzringgewindetriebe. Eine Vorauswahl mit Hilfe von K.O.-Kriterien führte zum Ausschluss fast aller Systeme. Überraschenderweise fand sich für den dem Autor bis dahin völlig unbekanntem Rollengewindtrieb kein eindeutiges Ausschlusskriterium. Den Angaben der Hersteller zufolge war er dem Kugelgewindtrieb sogar in allen wichtigen technischen Parametern deutlich überlegen. Gleichzeitig war er sehr viel preisgünstiger als die beiden anderen, bisher betrachteten Alternativen zum Kugelgewindtrieb. Der Rollengewindtrieb in Kombination mit einem Servomotor musste damit nach Auffassung des Autors unbedingt in die engere Wahl für den Vorschubantrieb der HSG-Maschine gezogen werden.

Im weiteren Verlauf des Projekts übernahm der beteiligte Kollege die Auslegungs- und Entwurfsarbeiten für den Vorschubantrieb. Er unternahm erste Auslegungsberechnungen und verglich auf dieser Grundlage die verschiedenen Antriebsvarianten untereinander. Dabei bestätigte sich die erste intuitive Bewertung des Autors. Aufgrund der hohen Steifigkeit und Tragfähigkeit der Rollengewindemutter können bei gleicher Belastung und Lebensdauer sehr viel geringere Spindeldurchmesser als bei einem bzgl. Belastung und Lebensdauer gleichwertigen Kugelgewindtrieb verwendet werden. In Kombination mit einem Servomotor erlaubt der Rollengewindtrieb wegen des viel geringeren Massenträgheitsmoments der dünneren Spindel deutlich höhere Beschleunigungen als ein Kugelgewindtrieb oder ein hydrostatischer Gewindtrieb. In gleicher Weise übertrifft der Rollengewindtrieb den Kugelgewindtrieb bzgl. der erreichbaren Höchstgeschwindigkeiten. In technischer Hinsicht übertroffen werden alle drei rotatorischen Systeme vom Servolinearmotor, der noch einmal eine nachhaltige Steigerung der dynamischen Parameter des Vorschubantriebs erlauben würde. Dennoch verfestigte sich im Laufe der Auslegungsarbeiten im Projektteam am Lehrstuhl für Produktentwicklung die Auffassung, dass der Rollengewindtrieb als Vorschubantrieb für die HSG-Maschine im Vergleich zu den übrigen betrachteten Systemen eine sehr attraktive technische Alternative darstellt.

Beim folgenden routinemäßigen Arbeitstreffen wurden den an der Maschinenentwicklung beteiligten Projektpartnern die vier alternativen Antriebskonzepte von dem beteiligten Kollegen präsentiert. Bis auf den Rollengewindtrieb waren die Antriebskonzepte den Beteiligten geläufig. Die sich im Verlauf der Präsentation ergebende Diskussion machte die Skepsis der Projektpartner deutlich. Das zentrale Argument in diesem Zusammenhang war die Frage, warum ein Antriebssystem mit derart guten technischen Parametern so gut wie unbekannt ist und nicht in größerem Umfang eingesetzt wird. Die Diskussion musste natürlich letztlich ergebnislos bleiben, da die Gruppenmitglieder von PE auf die Skepsis der Übrigen gegenüber dem unerwarteten Antriebskonzept immer nur mit dem Verweis auf die Herstellerangaben reagieren konnten – genau diese wurden jedoch mit dem oben zitierten Argument massiv angezweifelt. Dennoch wurde nach dem vorläufigen Abbruch der

Diskussion in der Gruppe ein paarweiser Vergleich aller Antriebsalternativen für die HSG-Maschine durchgeführt. Die Alternativen wurden dabei bezüglich neun vorab vereinbarter Bewertungskriterien miteinander verglichen. Die Bewertung wurde mit Hilfe eines Beamers unmittelbar am Rechner durchgeführt. Jedem Vergleich ging dabei eine kurze Diskussion in der Gruppe voraus. Der Entwicklungsleiter des beteiligten Industriepartners hatte als Verantwortlicher naturgemäß eine Art Vetorecht bei der Bewertung. Praktisch bedeutete dies, dass von der übrigen Gruppe kein Votum gegen seinen ausdrücklichen Willen durchgesetzt werden konnte. Das in Punkten ausgedrückte Ergebnis des paarweisen Vergleichs zeigte den Rollengewindtrieb mit moderatem Vorsprung vor dem Linearantrieb. Deutlich dahinter lagen der Kugelgewindtrieb und der hydrostatische Gewindtrieb.

Das Ergebnis des paarweisen Vergleichs hatte natürlich die Vorbehalte der Beteiligten gegenüber dem Rollengewindtrieb als Antriebselement nicht ausgeräumt. Die Bewertung hatte jedoch deutlich gemacht, dass der Rollengewindtrieb im vorliegenden Fall eine fast ideale Lösung des Antriebsproblems darstellen würde, falls sich die vorhandenen Informationen bestätigen sollten. Dies liegt einerseits an der sehr ausgewogenen, positiven Bewertung bezüglich aller definierten Kriterien, andererseits an der beträchtlichen Übererfüllung der dynamischen Anforderungen an den Vorschubantrieb der HSG-Maschine. Bezüglich des weiteren Vorgehens im Projekt wurde darum Folgendes im Team beschlossen:

- Solange sich der Rollengewindtrieb nicht aufgrund eindeutiger Ausschlusskriterien als ungeeignet erweist, wird der Vorschubantrieb für die HSG-Maschine auf seiner Grundlage weiterentwickelt. Die Entwurfsarbeiten für den Prototypen werden dabei so durchgeführt, dass im Notfall mit geringen Änderungen auch ein Kugelgewindtrieb zum Einsatz kommen kann. Diese „Rückfalllösung“ ist aufgrund der großen Strukturähnlichkeit zwischen Rollengewindtrieb und Kugelgewindtrieb möglich.
- Es soll geprüft werden, ob der Rollengewindtrieb ohne allzu großen Umbauaufwand in der aktuellen Schleifmaschine auf seine Eignung als Vorschubantrieb getestet werden kann.
- Servolinearantrieb und Servomotor in Kombination mit hydrostatischer Gewindespindel werden als Alternativen für den Vorschubantrieb der HSG-Maschine nicht weiter betrachtet. Beide Lösungen bieten bei deutlich höheren Kosten unter den gegebenen Anforderungen keine Vorteile gegenüber dem Rollengewindtrieb.

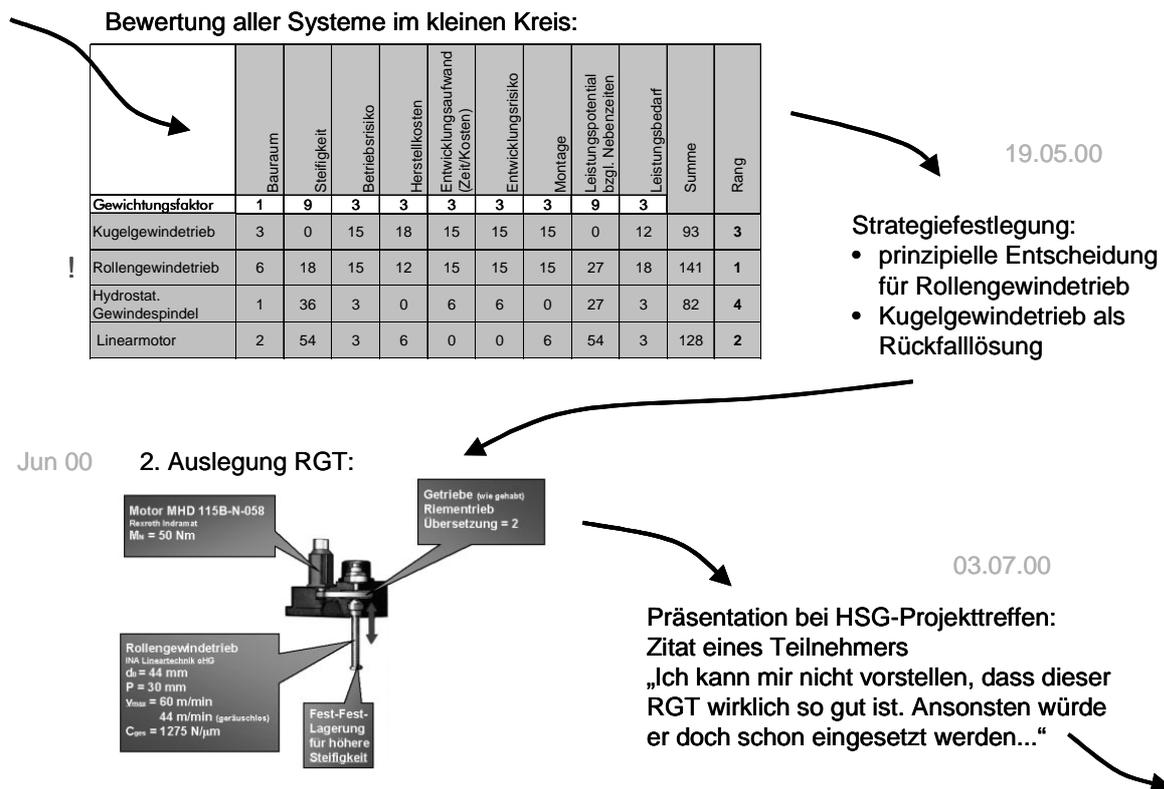


Bild 29: Prozessablauf zur Festlegung eines Vorschubantriebs (2)

Im Anschluss an das Arbeitstreffen im kleinen Kreis wurde der Vorschubantrieb von beteiligten Kollegen in enger Abstimmung mit der Herstellerfirma GSA vollständig ausgelegt. Bei diesem Entwurf wurde zwischen dem Servomotor und dem Rollengewindetrieb ein Zahnriemengetriebe mit zweifacher Übersetzung vorgesehen.

Dieser Entwurf bildete die Grundlage für die Präsentation des Konzepts für den Vorschubantrieb beim nächsten Projekttreffen im großen Kreis. Auch bei diesem Treffen wurden wieder die bekannten Einwände gegen den Einsatz eines Rollengewindetriebs im Vorschubantrieb vorgebracht. Besonders skeptisch äußerte sich einer der am Projekt beteiligten Lehrstuhlinhaber, der sich nicht vorstellen konnte, dass Rollengewindetriebe tatsächlich die genannten Vorteile gegenüber den dominierenden Kugelgewindetrieben haben sollten. Auch er argumentierte, dass sie andernfalls doch bereits seit langem eingesetzt werden müssten. Der Autor und sein Kollege reagierten auf diese prinzipielle Infragestellung des Konzepts mit dem wiederholten Hinweis auf die sorgfältige Auslegung des Vorschubantriebs in enger Zusammenarbeit mit der Herstellerfirma der Rollengewindetriebe und die geplanten Versuche. In Ermangelung sachlicher Gegenargumente konnte die Diskussion zu diesem Thema damit abgebrochen werden.

Das erneute Aufflammen der Antriebsdiskussion beim Projekttreffen hatte noch einmal deutlich gemacht, dass aktuell zwar keine sachlichen Argumente gegen den Rollengewin-

betrieb im Vorschubantrieb vorgebracht werden konnten, dass andererseits jedoch unsere Projektpartner auch noch nicht von dem unbekanntem System überzeugt waren. Auszuräumen waren diese Zweifel nur durch den Test des Rollengewindetriebs in einer Vorschubachse. Um diesen Test vorzubereiten, organisierte PE einen Termin der Entwickler beim Projektpartner mit Vertretern der Herstellerfirma. Bei diesem Treffen präsentierten der Firmeninhaber und der Cheftwickler die eigene Firma und ihre Produkte. Im Anschluss daran wurde noch einmal das Konzept für den Vorschubantrieb der HSG-Maschine durchgesprochen. Dabei wurden die Auslegungsberechnungen von PE durch die Vertreter der Herstellerfirma „persönlich“ bestätigt. Insgesamt wurden bei dem Treffen kaum neue Informationen bekannt, der persönliche Kontakt mit hochrangigen Vertretern der Herstellerfirma trug allerdings stark dazu bei, die skeptische Grundhaltung der Entwickler in eine „neugierige“ umzuwandeln. Nach der Klärung einiger technischer Detailfragen zu den Anschlussmaßen wurde die Bestellung zweier RGT zu Versuchszwecken vereinbart.

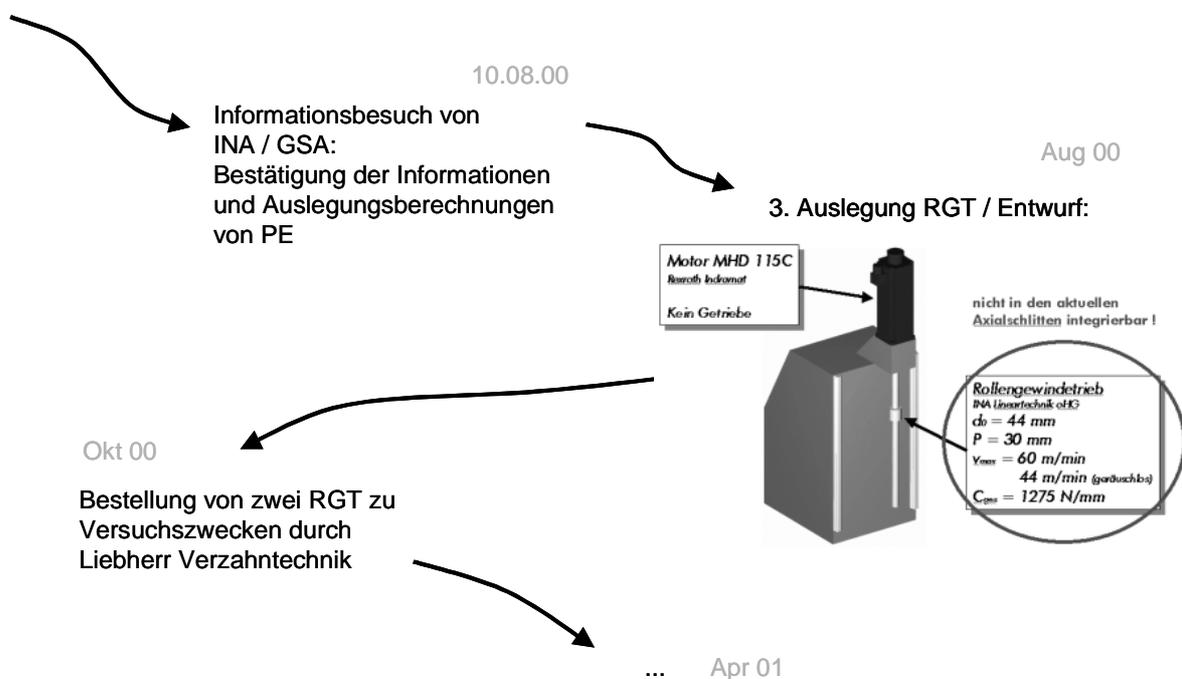


Bild 30: Prozessablauf zur Festlegung eines Vorschubantriebs (3)

Zwischenzeitlich waren beim Entwicklungsleiter Zweifel am Sinn des Riemengetriebes zwischen dem Antriebsmotor und dem RGT aufgekommen. Aufgrund der hohen zu übertragenden Drehmomente mussten sehr breite Riemenscheiben vorgesehen werden, die sowohl konstruktive Probleme bereiteten, als auch das dynamische Verhalten des Antriebsstrangs negativ beeinflussten. Auf seine Anregung hin wurde darum die aus Kostengründen bereits verworfene Verwendung eines Direktantriebs noch einmal überprüft. Der beteiligte Kollege nahm daraufhin eine weitere Auslegung für den Antriebsstrang mit einem direkt angetriebenen RGT vor. Dabei blieb ein gewisser Kostennachteil dieser Variante bestehen.

Dieser war jedoch nicht so gravierend, dass dafür die Nachteile der Variante mit Getriebe in Kauf genommen wurden.

Auch wenn die Bestellung einer RGT für Versuchszwecke bereits beschlossene Sache zu sein schien, verzögerte sie sich bis über das Ende des Forschungsprojekts hinaus. Als Ursache dafür ist die Überlastung der Mitarbeiter des Industriepartners durch das Tagesgeschäft zu sehen, die eine Ausweitung der Versuchsaktivitäten im Rahmen des Projekts kaum zuließ. Dennoch wird vom Projektpartner immer wieder betont, dass bei der Umsetzung der Ergebnisse des Forschungsvorhabens in den kommenden Maschinenentwicklungen die beschriebene zweigleisige Strategie beim Vorschubantrieb umgesetzt werden soll.

5.1.2 Analyse des Entwicklungsprozesses

Der geschilderte Prozess der Lösungssuche, Bewertung und Entscheidungsfindung für den Vorschubantrieb einer Werkzeugmaschine scheint dem Autor in verschiedener Hinsicht charakteristisch für den Ablauf von Entscheidungsprozessen bei der Produktentwicklung zu sein. Die nun folgende Analyse soll zeigen, dass zentrale Mechanismen solcher Prozesse durch die Entwicklungsmethodik bisher nur unvollständig beschrieben wurden und deshalb kaum Berücksichtigung bei der Ausgestaltung des methodischen Vorgehens gefunden haben. Dazu zählen das bewusste oder unbewusste Nicht-Wahrnehmen von Lösungsalternativen, die Auswirkung spontaner Einschätzungen auf das Vorgehen im Prozess und die tatsächliche Bedeutung formaler Bewertungsmethoden für die Entscheidungsfindung.

5.1.2.1 Die Wahrnehmung des Lösungsraums durch die Entwickler

Rückblickend betrachtet, lässt sich der Prozess der Lösungsfindung für den Vorschubantrieb der HSG-Maschine bis zur Bewertung und Entscheidungsfindung im kleinen Team in drei Abschnitte einteilen. Jeder dieser Abschnitte beginnt mit einer Orientierungsphase, die fließend in die eigentliche Lösungssuche übergeht, und endet mit einer Bewertungs- und Entscheidungsphase. Der erste Abschnitt des Prozesses führte zu drei Standardlösungen zur Realisierung hochdynamischer Vorschubachsen im Werkzeugmaschinenbau. Alle drei Lösungen wiesen mindestens einen gravierenden Nachteil auf, so dass eine gewisse Unzufriedenheit bei den Beteiligten mit den Lösungsansätzen bestehen blieb. Der zweite Abschnitt der Lösungsfindung mit dem Messebesuch sollte eigentlich dazu dienen, die geeignetsten am Markt verfügbaren Systeme und Anbieter für die vorausgewählten Standardlösungen ausfindig zu machen. Dabei kamen dem Autor jedoch bald Zweifel an der Vollständigkeit der bisherigen Lösungssuche. Es erfolgte eine vertiefte Lösungssuche, die verschiedene neue Lösungsansätze erbrachte. Nach einer erneuten Vorauswahl in Abschnitt 2 kam zu den drei Standardlösungen ein weiterer vielversprechender Lösungsansatz dazu. In Abschnitt 3 wurde für jedes der vier in die engere Wahl gezogenen Antriebssysteme auf Grundlage der gesammelten Informationen eine grobe Auslegung durchgeführt, die detail-

liertere Aussagen über technische Leistungsdaten und Kosten des jeweiligen Systems erlaubte. Damit wurde die Voraussetzung für eine formale Bewertung der Systeme im Entwicklungsteam und eine rational begründete Entscheidungsfindung geschaffen.

Ein näherer Blick auf die Orientierungsphase von Abschnitt 1 des Prozesses zeigt, dass die Anforderungen an das gesuchte Vorschubsystem sorgfältig geklärt wurden. Dabei konnten die zentralen technischen Parameter in einer vorläufigen Anforderungsliste kompakt und lösungsneutral zusammengefasst werden. Nach den Vorstellungen der Entwicklungsmethodik sollte eine solche Anforderungsliste die selbstverständliche Grundlage jeder Lösungssuche bilden und bedürfte deshalb eigentlich keiner weiteren Erläuterungen. Interessant an der Anforderungsklä rung in unserem Fallbeispiel ist jedoch, dass die handlungsbestimmende Prämisse der Lösungssuche im Team nie explizit artikuliert wurde und deshalb natürlich auch in der Anforderungsliste nicht auftaucht. Diese unausgesprochene Prämisse lässt sich in etwa folgendermaßen in Worte fassen: „Für den Vorschubantrieb der HSG-Maschine kommt nur eine bewährte, am Markt etablierte Antriebslösung in Frage.“ Erkennbar wird ihre Wirkung auf das Vorgehen des Projektteams vor allem in der Art wie und mit welchem Aufwand die Lösungssuche für die beschriebenen Teilaufgabe durchgeführt wurde. Die Frage nach der Sinnhaftigkeit der Prämisse soll in unserer Analyse vorerst zurückgestellt werden.

Offensichtlich stand für die Mitglieder des Entwicklungsteams (einschließlich des Autors) von vornherein fest, dass eine Suche nach Lösungen für die Vorschubproblematik auf elementarem Niveau unter den gegebenen Umständen wenig sinnvoll wäre. Damit wurde das in der Entwicklungsmethodik übliche Vorgehen zur Lösung neuartiger Problemstellungen (Funktionsanalyse, physikalische Wirkstruktur, Gestaltvariation usw.) von vornherein ausgeschlossen und die Suche auf vorhandene und bewährte Lösungen eingeschränkt. Mit der Prämisse verbunden war also gleichzeitig die Festlegung des Vorgehens bei der Lösungssuche und die Wahl der anzuwendenden Methoden verbunden. Statt elementarer Synthesemethoden kamen Recherchemethoden wie das Studium von Fachliteratur, die Internetrecherche, die Katalogrecherche und der Messebesuch zur Anwendung. Ohne dass das Thema zu irgend einem Zeitpunkt während des Entwicklungsprozesses auch nur diskutiert worden wäre, schrumpfte der potentiell sehr große Lösungsraum auf einige wenige Antriebsvarianten zusammen. Im Zusammenspiel von Literatur- und Internetrecherche waren die erwarteten Lösungsansätze für den Vorschubantrieb schnell zusammengetragen. Die mit der Prämisse verknüpfte Methodenauswahl hat über die massive Einschränkung der Wahrnehmung der beteiligten Entwickler auch den Aufwand der Lösungssuche bezüglich dieses Teilproblems stark reduziert.

Wie stark sich neben der Methode auch die aufgewendete Zeit auf das Ergebnis einer Lösungssuche auswirkt, wird in Abschnitt 2 des Prozesses deutlich. Das Ergebnis der Vorauswahl in Abschnitt 1 hatte die Erwartungen der Beteiligten voll und ganz erfüllt, jede weitere Lösungssuche schien damit überflüssig zu sein. Dennoch erbrachte die Fortsetzung der Suche eine ganze Reihe zusätzlicher Lösungsansätze, die sich nicht alle auf den ersten

Blick als ungeeignet abtun ließen. Und sogar nach Abschluss der Konzeptsuche im Verlauf des Projekts stieß der Autor immer wieder auf andere realisierte Wirkprinzipien für Vorschubsysteme (z. B. Uhing-Rollringprinzip). Grundsätzlich besteht ein starker Zusammenhang zwischen der in die Lösungssuche investierten Zeitdauer und der Zahl und Qualität der gefundenen Lösungen. Dies lässt bereits für einfache Rechercheaufgaben wie die beschriebene Suche nach einem Vorschubantrieb beobachten, gilt jedoch vermutlich noch in viel stärkerem Maße für Syntheseaufgaben bei denen vollkommen neuartige technische Lösungsansätze entwickelt werden müssen.

Das Fallbeispiel zeigt den an und für sich trivialen Zusammenhang zwischen Zeitdauer der Lösungssuche und dem Umfang ihres Ergebnisses. Offiziell abgeschlossen wurde die Lösungssuche mit der Teamentscheidung am 19.05.00. Diese rein äußerliche Betrachtungsweise sagt allerdings kaum etwas über die Motivlage der an der Entscheidung beteiligten Parteien aus. Tatsächlich schien mit Abschluss von Abschnitt 1 des Entwicklungsprozesses das Feld möglicher Lösungen bereits abgesteckt zu sein und eine endgültige Entscheidung nach der genaueren Analyse der verbliebenen Varianten nur noch eine Frage kurzer Zeit zu sein. Die nicht unmittelbar mit der Lösungssuche befassten Parteien sahen sich in ihren Erwartungen bestätigt und sahen deshalb kaum noch einen Grund für eine weitergehende Suche. Die nach wie vor schwelende Unzufriedenheit mit den drei betrachteten Standardlösungen führte seitens PE erst in dem Moment zu erneuten Suchaktivitäten, in dem dem Autor beim Besuch der Hannover Messe bewusst wurde, dass unter Umständen doch weitere geeignete Lösungen für das Antriebsproblem existieren könnten. Diese vertiefende zweite Suchphase erbrachte nach einer weiteren Vorauswahl den Rollengewindetrieb als zusätzlichen Lösungsansatz. Bei der Vorauswahl entstand bei PE schnell der Eindruck, dass dieses Antriebssystem in fast idealer Weise die Leistungslücke zwischen dem Kugelgewindetrieb auf der einen, und dem Synchronlinearantrieb auf der anderen Seite schließt. Damit war für das Team von PE der Unzufriedenheit mit dem Ergebnis der Lösungssuche die Berechtigung entzogen und es schien endgültig keinen Grund mehr zu geben, nach weiteren Lösungen zu suchen. Das Auftauchen einer zunächst subjektiv „vielversprechenden“ Lösung führte in diesem Fall Anfang Mai 00 zum Rückzug aus der aktiven Lösungssuche lange bevor diese Einschätzung eine rational sauber begründete Bestätigung fand. Und auch wenn sich bis heute keine „bessere“ Antriebslösung als der RGT für den Vorschubantrieb gefunden hat, zeigt das zwischenzeitliche Auftauchen weiterer Lösungsprinzipien, dass die Suche bis zu diesem Zeitpunkt auf jeden Fall noch unvollständig war.

Unsere Analyse des Fallbeispiels hat gezeigt, dass die Anforderungskklärung nicht unbedingt die einzige Beschränkung des Lösungsraums für eine technische Problemstellung darstellen muss. Teams wie Einzelpersonen können ihre Wahrnehmung des Lösungsraums durch die Rücksichtnahme auf unausgesprochene Prämissen mehr oder weniger stark einschränken. Qualität und Quantität des Ergebnisses der Suche im verbleibenden Lösungsraum hängen stark von der Intensität der Lösungssuche ab. Bezogen auf die beteilig-

ten Produktentwickler spielen dabei im Verlauf der Suche sowohl externe, wie auch interne Faktoren eine wichtige Rolle. So setzt eine intensive Lösungssuche sicherlich ausreichend Zeit und Kapazität seitens der Entwickler voraus. Im Verlauf des Suchprozesses stellen die externen Faktoren allerdings nur hinreichende Bedingungen für eine hohe Intensität der Lösungssuche dar. Damit der oder die Entwickler tatsächlich aktiv nach Lösungen suchen, muss als Handlungsanreiz zunächst eine gewisse Unzufriedenheit mit bekannten Lösungen bestehen. Gleichzeitig müssen sie sich allerdings auch vorstellen können, dass das Problem auf irgend eine Weise lösbar ist. Bei unveränderten äußeren Faktoren wird der weitere Prozessverlauf vor allem über die Rückkopplung der internen Faktoren im Individuum oder im Team beeinflusst. Das bedeutet, dass eine intensive Lösungssuche nur solange aufrecht erhalten werden kann, wie einerseits Unzufriedenheit mit dem Erreichten, andererseits ausreichend hohe Erfolgsaussichten bestehen. Jede im Prozessverlauf auftauchende „vielversprechende“ Lösung muß sich folglich auf die Motivationslage des oder der Entwickler und damit der Intensität der weiteren Lösungssuche auswirken. Gleichzeitig beeinflussen auch zu lange Phasen erfolgloser Lösungssuche die Motivation der Entwickler negativ und führen zu einem Abflauen der Suchaktivitäten. Beide Effekte lassen sich hervorragend im vorliegenden Fallbeispiel beobachten. Mit dem Zusammenstellen der erwarteten drei Standardlösungen in Abschnitt 1 des Prozesses war die Unzufriedenheit mit dem Ergebnis der Lösungssuche auf ein im Vergleich zu vorher niedriges Niveau zurückgegangen, die Erfolgsaussicht einer weiteren Lösungssuche schienen gering zu sein. Damit kam der Suchprozess zu einem vorläufigen Stillstand. Erst die durch den Messebesuch vermittelte Einsicht „Es geht vielleicht doch noch anders!“ veränderte die subjektive Einschätzung der Erfolgsaussichten einer weiteren Lösungssuche durch den Autor und führte so zu einer vertieften Lösungssuche. Die Phase erhöhter Suchaktivität hielt solange an, bis sich im Team von PE mit der Vorauswahl der Eindruck vom Rollengewindetrieb als vielversprechender Antriebslösung verfestigte. Damit ging die Unzufriedenheit mit den bisherigen Lösungen auf ein noch niedrigeres Niveau zurück, die Erfolgsaussichten einer weiteren Suche schienen noch geringer zu sein als vorher: Offensichtlich war für die Beteiligten der Zeitpunkt zum Voranschreiten im Prozess gekommen.

5.1.2.2 Spontane Einschätzungen im Entwicklungsprozess

Bereits in der Analyse des Fallbeispiels im vorherigen Teilkapitel wurde deutlich, dass subjektive und oft spontane Einschätzungen einen viel größeren Einfluss auf den Verlauf eines Entwicklungsvorhabens nehmen, als das die traditionelle Entwicklungsmethodik vielleicht wahrhaben will. Dieser Einfluss ergibt sich aus der unmittelbaren Verknüpfung der prozessinternen Faktoren mit eben solchen subjektiven Einschätzungen. Wie oben beschrieben, steuern diese prozessinternen Faktoren maßgeblich die Wahrnehmung des Lösungsraums durch die beteiligten Entwickler. Im folgenden sollen darum die Einschätzungen der unterschiedlichen Lösungsansätze durch die am Fallbeispiel beteiligten drei Parteien in ihrem zeitlichen Verlauf nachvollzogen werden. Diese Einschätzungen wurden

vom Autor aus Diskussionbeiträgen bei Projekttreffen und weiteren Gesprächen mit Beteiligten abgeleitet. Auf diese Weise ließ sich das ungefähre Meinungsbild der Prozessbeteiligten zum Zeitpunkt der beiden Vorauswahlschritte am Ende von Abschnitt 1 und 2 rekonstruieren.

Am Ende von Abschnitt 1 der Lösungssuche standen die Lösungsansätze Kugelgewindetrieb, hydrostatische Gewindespindel und Synchronlinearantrieb zur Debatte. Die Einschätzung der drei Lösungsalternativen durch unseren Industriepartner fiel dabei recht eindeutig aus: Er favorisierte mit dem Kugelgewindetrieb klar die bisher verwendete Lösung. Sie stellte für ihn ein bewährtes Konzept dar, mit dem sich einfach, zuverlässig und kostengünstig die geforderte Funktion realisieren ließ. Aufgrund von Problemen bei der Beschaffung und Inbetriebnahme eines Kugelgewindetriebs für einen HSG-Versuchsträger, die parallel zur beschriebenen Maschinenentwicklung ablief, war allerdings deutlich geworden, dass der Kugelgewindetrieb unter den gegebenen Anforderungen an seine technologischen Grenzen gelangen würde. Das System wurde deshalb durchaus auch als eine potentielle Problemquelle in einer zukünftigen HSG-Maschine angesehen. Die insgesamt positive Bewertung des Kugelgewindetriebs ging einher mit einer negativen Bewertung der beiden anderen Antriebsalternativen. Für die hydrostatische Gewindespindel war die Einschätzung klar nachvollziehbar: Bei sehr hohen Kosten und einem absehbar großen konstruktiven Aufwand bot sie gegenüber den Kugelgewindetrieben nur eine relativ geringe Leistungssteigerung. Die Argumente gegen den Linearantrieb erschienen dagegen gleichsweise dubios: Gegen seine unbestrittenen technischen Leistungsvorteile wurden immer wieder Probleme der Abdichtung („Schleifspäne auf den Sekundärteilen“) und Montage („Festkleben von Primär- und Sekundärteil“) ins Feld geführt. Beide Argumente basierten offensichtlich eher auf Hörensagen als auf tatsächlicher technischer Erfahrung. Dem Autor schienen das vorgeschobene Argumente zu sein; die wahre Ursache für die Ablehnung des Linearmotors lag vermutlich in der Scheu vor dem konstruktiven Aufwand und dem Risiko, die mit dem Einsatz einer neuen Antriebstechnologie verbunden wären.

Den Gegenpol zur Position des Industriepartners nahmen die Teammitglieder unseres Hochschulpartners ein. Bei ihrer Einschätzung der Alternativen traten die technischen Leistungsparameter wie Geschwindigkeit, Beschleunigungsfähigkeit und Steifigkeit im Vordergrund, weshalb für sie der Synchronlinearantrieb an erster Stelle stand. Dazu kam das Interesse daran, im Rahmen des Forschungsprojekts etwas „Neues“ zu entwickeln, ein Anspruch, den der Linearantrieb im Gegensatz zum „altbackenen“ Kugelgewindetrieb eher realisiert. Damit waren die beiden verbleibenden Lösungsalternativen weniger interessant, ohne dass eindeutige Argumente gegen sie vorgebracht wurden.

Unsere Position bewegte sich zu diesem Zeitpunkt zwischen den beiden Polen. Auf der einen Seite waren auch wir stark daran interessiert, neue Lösungsansätze in die HSG-Maschine zu integrieren. Im Unterschied zu unserem Industriepartner sahen auch wir keine ernst zu nehmenden technischen Gründe gegen den Einsatz eines Linearmotors als Vorschubantrieb, sondern eher eine Reihe handfester Vorteile. Auf der anderen Seite waren

wir im Projekt für die Konzeptfindung für den Vorschubantrieb verantwortlich. Wir sahen den höheren konstruktiven Aufwand, der bei einer Entscheidung für den Linearantrieb auf uns zukam. Außerdem waren wir uns bewusst, dass wir kein Konzept gegen den erklärten Willen unseres Industriepartners würden durchsetzen können. Da die hydrostatische Gewindespindel auch unserer Meinung nach aus den oben genannten Gründen nicht in Frage kam, blieb praktisch nur die Suche nach einer optimalen Ausführungsform für den Kugelgewindetrieb. Diese Situation war in gewisser Hinsicht unbefriedigend, was im weiteren Prozessverlauf auch als eine der Ursachen für die zweite, vertiefte Lösungssuche identifiziert werden kann.

Bereits dieses erste Stimmungsbild macht deutlich, wie vielschichtig das Geflecht aus Einschätzungen und Motiven in einem Entwicklungsteam sein kann. Dabei spiegeln die von den Parteien explizit geäußerten Argumente und Einschätzungen indirekt die ihren Handlungen zugrundeliegende Werthierarchie wieder. Die vom Industriepartner gegen den Linearmotor vorgebrachten Punkte, die Abdichtung der Sekundärteile gegen Schleifspäne und die schwierige Montage, waren zu diesem Zeitpunkt des Prozesses keine echten Probleme, sondern höchstens offene Fragen, über die noch nachgedacht werden musste. Sie wurden wahrscheinlich vorgeschoben, um viel tiefergehende, aber unspezifischere Bedenken gegen den Linearmotor zu vertreten: Die Furcht vor den beim Einsatz eines Linearmotors notwendigen umfangreichen Konzeptänderungen an der Maschine, die ein zurück zur bewährten Lösung beim Auftreten von Problemen mit dem neuen Antriebssystem kaum noch zulassen würden.

Eine ähnliche Unterscheidung von expliziter Argumentation und Motiven lässt sich für unseren zweiten Projektpartner erschließen. Die starke Betonung der technischen Leistungsdaten des Linearmotors wahr wahrscheinlich vom Wunsch geleitet, ein Maschine mit diesem Antriebskonzept zu entwickeln. Der Linearmotor ist im Werkzeugmaschinenbau derzeit „in“, was ihn aus der Perspektive eines Forschungsinstituts natürlich viel attraktiver als die übrigen Antriebsvarianten erscheinen lässt.

Und auch unsere eigene Unentschlossenheit bezüglich der eindeutigen Festlegung auf eine der drei Varianten war letztlich nicht durch technische Erwägungen bestimmt. Als Verantwortliche für das Arbeitspaket „Vorschubantrieb“ galt unser Hauptinteresse natürlich dem erfolgreichen Abschluss der Entwicklungsarbeit. Und dieses Ziel ließ sich im Konsens mit dem Industriepartner wahrscheinlich einfacher auf der Grundlage des bestehenden Antriebskonzepts verwirklichen.

An dieser Stelle sei ausdrücklich betont, dass die verklausulierte Art der Äußerung und dem damit verbundenen Versuch der Einflussnahme auf den Prozess zunächst nichts über die Berechtigung der dahinter stehenden Einschätzungen aussagt. Es ist sogar zu vermuten, dass das immer wieder angesprochene „implizite Wissen“ in der Produktentwicklung sich häufig auf dem Weg der verklausulierten Einflussnahme Geltung verschafft. Vor dem Hintergrund der Analysen des letzten Kapitels wird allerdings auch deutlich, warum die

oftmals verborgene Werthierarchie der Mitglieder eines Entwicklungsteams so großen Einfluss auf den Verlauf von Lösungssuche und Entscheidungsfindung in einem Projekt hat. Diese Werthierarchie bildet die Grundlage für die spontane Einschätzung neuer Ideen im Entwicklungsprozess. Genau diese spontanen Einschätzungen wirken aber, wie im vorherigen Teilkapitel beschrieben, in unmittelbarer Rückkopplung auf die Motivationslage der Bearbeiter und damit den weiteren Verlauf der Lösungssuche zurück. Lange bevor es zu systematischen Analysen von Lösungsansätzen und formalen Bewertungen kommen kann, bestimmen sie so, welche Bereiche des Lösungsraums aktiver wahrgenommen werden als andere. Oftmals ergeben sich auf diese Weise Festlegungen im Verlauf der Lösungssuche, die von viel größerer Reichweite sein können als die formal korrekten Entscheidungen am Ende einer Lösungssuche.

Die vertiefte Lösungssuche und Vorauswahl in Abschnitt 2 und die Konkretisierung der verbliebenen Lösungen in Abschnitt 3 wurden von PE weitgehend ohne Beteiligung der übrigen Entwicklungspartner durchgeführt. Ein weiteres Meinungsbild ließ sich darum erst wieder aus der Diskussion ableiten, die der formalen Bewertung der vier Antriebsvarianten vorausging. Zu diesem Zeitpunkt hatte PE die von den Herstellern verfügbaren Informationen soweit aufbereitet, dass die Antriebsvarianten bezüglich der interessierenden Leistungsdaten und der Kosten miteinander verglichen werden konnten. Es konnte nun beobachtet werden, wie die verschiedenen Parteien vor dem Hintergrund ihrer Werthierarchie auf die Vorstellung des Rollengewindetriebs als weitgehend unbekanntes Antriebsvariante reagierten.

Die erste Reaktion beim Industriepartner war zunächst ein ungläubiges Staunen darüber, dass es eine der bestehenden Lösung mindestens ebenbürtige, am Markt verfügbare Antriebsvariante geben soll, von der man noch nie etwas gehört hatte. Dieses Staunen verdichtete sich dann sehr schnell zu dem bereits mehrfach erwähnten Gegenargument, dass dieses Antriebsselement doch längst überall eingesetzt würde, wenn es tatsächlich so gut wäre wie behauptet. Auf die Struktur dieses Arguments, das sich durch den gesamten weiteren Projektverlauf zog, soll später noch im Detail eingegangen werden. Es formuliert jedoch einen so fundamentalen Zweifel, dass eine Einschätzung der Variante auf der Grundlage der eigenen Werthierarchie noch überhaupt nicht sinnvoll erscheint. Insofern wurde die weitere Diskussion nur als Gedankenspiel geführt, „unter der Annahme, dass das, was vorher erzählt worden war, tatsächlich der Realität entspräche“. Im Rahmen dieses Gedankenspiels zeigte sich, dass der Rollengewindetrieb viel besser mit der Werthierarchie des Industriepartners in Einklang stand als der Linearantrieb. In seiner äußeren geometrischen Struktur unterscheidet er sich kaum vom Kugelgewindetrieb und ließe sich daher leicht in bestehende und zukünftige Maschinenkonzepte integrieren. Dabei versprach er die Anforderungen der HSG-Maschine mit deutlichen Leistungsreserven zu erfüllen und war ein gutes Stück günstiger als der Linearantrieb. Somit war der Rollengewindetrieb im Vergleich zum Linearantrieb auf jeden Fall das kleinere „Übel“, das die Chance bot, die ja

ebenfalls vorhandenen Risiken des Kugelgewindetribs ohne großen Aufwand zu umgehen.

Auch unsere Entwicklungspartner von der Universität mochten zunächst kaum glauben, dass es ein nahezu unbekanntes Antriebselement gibt, das den Standardlösungen in der technischen Leistungsfähigkeit deutlich überlegen sein sollte. Insofern schlossen sie sich der skeptischen Argumentation des Industriepartners an. Unter dem Vorbehalt des Gedankenspiels fanden auch sie Gefallen am Rollengewindtrieb. Er würde im Werkzeugmaschinenbau auf jeden Fall etwas Neues darstellen, auch wenn er in seiner technischen Leistungsfähigkeit deutlich hinter dem Linearantrieb zurückstand. Insofern war er der bisherigen Lösung tendenziell vorzuziehen.

Aus unserer eigenen Sicht heraus stellte sich die Verwendung eines Rollengewindetribs als Vorschubantrieb für die HSG-Maschine immer mehr als die Ideallösung heraus. Es war eine im Werkzeugmaschinenbau bis dahin unübliche Lösung, die gegenüber der Standardlösung mit Kugelgewindtrieb deutliche Leistungsvorteile versprach. In dieser Hinsicht entsprach sie voll und ganz unserem Ehrgeiz im Rahmen des Forschungsprojekts, etwas „Neues“ zu schaffen. Sie unterschied sich in ihren Schnittstellen kaum von einem Kugelgewindtrieb. Damit hielt sich für uns der konstruktive Aufwand und die Risiken im Entwurf in Grenzen, gleichzeitig war den Sorgen unseres Industriepartners bezüglich der Probleme beim Einsatz eines Linearmotors die Grundlage entzogen. Diese Einschätzung hatte natürlich unmittelbare Auswirkungen auf unser Verhalten im Prozess der Lösungssuche. Der Schwerpunkt unserer Aktivitäten hatte sich automatisch von der mehr oder weniger unvoreingenommenen Suche hin zu zielgerichteter Überzeugungsarbeit verlagert. Dazu wurden weitere Informationen zum Rollengewindtrieb gesammelt und ausgewertet. Wir versuchten mögliche Gegenargumente und Kritikpunkte unserer Partner zu antizipieren und plausible Antworten darauf zu finden. Allein durch dieses Engagement für eine zunächst abwegig erscheinende Lösung des Antriebsproblems gelang es, Vergleichbarkeit mit den übrigen Lösungen herzustellen und dem Rollengewindtrieb eine faire Chance in einem formalen Bewertungsverfahren einzuräumen. Natürlich waren auch wir zu diesem Zeitpunkt nicht vollkommen von den Leistungsangaben der Herstellerfirmen überzeugt. Die Chancen die sich mit dem Einsatz dieses Maschinenelements ergaben, erschienen uns jedoch viel zu groß, um die Lösung mit sachlich nicht fundierten Argumenten einfach vom Tisch zu wischen.

An dieser Stelle soll noch einmal die Art und vor allem auch die Berechtigung der Einschätzungen und Argumente diskutiert werden, die im Verlauf der Lösungssuche von den einzelnen Projektpartnern mehr oder weniger offen vorgebracht wurden. Dabei kann grundsätzlich zwischen zwei Klassen von Argumenten unterschieden werden: Argumente die sich auf Sachverhalte beziehen und Argumente die sich am Verhalten anderer orientieren.

Argumente der ersten Art beziehen sich unmittelbar auf technische oder organisatorische Sachverhalte und lassen sich damit scheinbar problemlos in einen Prozess rationaler Entscheidungsfindung integrieren, wie ihn die Entwicklungsmethodik vorschlägt. Unsere Analyse des Fallbeispiels hat allerdings gezeigt, dass das nicht in allen Fällen zutreffen muss. Sachverhaltsbezogene Argumente, die im Prozessverlauf geäußert werden, gehen auf Einschätzungen zurück, die sich aus der aktuellen Werthierarchie des jeweiligen Teammitglieds ableiten. Dabei muss zwischen dem angesprochenen Sachverhalt und dem ausschlaggebenden Motiv kein direkter Zusammenhang bestehen. Vielmehr ist es häufig so, dass Argumente vorgeschoben werden, wenn jemand der Auffassung ist, dass der ursprüngliche Wert seiner Zielhierarchie direkt nur schlecht vertreten werden kann. Dieser Fall tritt natürlich grundsätzlich dann auf, wenn Teammitglieder in einem Projekt private Interessen vor die erfolgreiche Erfüllung der gemeinsamen Aufgabe stellen. Umgekehrt wäre es jedoch auch ein großer Fehler, hinter jeder Form indirekter Argumentation das Wirken unlauterer Privatinteressen zu vermuten. Ein gutes Beispiel dafür ist die Art und Weise, wie unser Industriepartner im Fallbeispiel seine Skepsis gegenüber dem Einsatz von Linearantrieben geäußert hat. Rückblickend betrachtet, können die beiden vorgebrachten Einwände („Schleifspäne auf den Sekundärteilen“, „Festkleben von Primär- und Sekundärteil“) ziemlich eindeutig als vorgeschobene Argumente identifiziert werden. Sie weisen letztlich nur darauf hin, dass einige konstruktive und fertigungstechnische Detailfragen bei der Anwendung von Linearantrieben im Unterschied zu den bewährten Kugelgewindetrieben noch nicht geklärt sind. Das ist selbstverständlich, wenn neue Systeme zum ersten Mal in eine Maschine integriert werden sollen. Es handelt sich hierbei um ein immer wieder anzutreffendes Argumentationsmuster, bei dem der hohe Detaillierungsgrad einer bestehenden Lösung gegen die notwendigerweise größere Unbestimmtheit neuer Lösungen ausgespielt wird. Als Motiv hinter beiden Argumenten ist die Aversion der Verantwortlichen beim Industriepartner zu vermuten, ein Antriebssystem auszuwählen, das Einfluss auf weite Teile des Maschinenkonzepts ausüben und damit natürlich ein erhebliches Entwicklungsrisiko mit sich bringen würde. Es kann also durchaus von einem lauterem Interesse im Sinn des Projekterfolgs ausgegangen werden, auch wenn der Industriepartner seine berechtigte Skepsis vielleicht etwas umständlich geäußert hat. Der Autor vermutet, dass oft versucht wird, scheinbar oder tatsächlich schwierig zu vermittelnde Einschätzungen über derartige „Umwege“ in den Prozess der Lösungssuche im Team einfließen zu lassen. Wahrscheinlich ist dieser indirekte oder verklausulierte Weg der Einflussnahme ein sehr gängiger Weg, auf dem sich implizites Wissen im Prozessverlauf durchsetzt.

Die zweite Gruppe von Argumenten, auf die hier näher eingegangen werden soll, beziehen sich von vornherein nur indirekt auf den betroffenen technischen Sachverhalt. Dabei wird ausgehend von der Beobachtung des Verhaltens Dritter auf das Bestehen technischer Sachverhalte geschlossen. Der uns nach der Präsentation des Rollengewindetriebs durch das gesamte Projekt verfolgende zentrale Einwand gegen das relativ unbekannte Maschinenelement stellt ein Paradebeispiel für diese Art der Argumentation dar. Im Fallbeispiel wurde quasi die weltweite Werkzeugmaschinenindustrie als „Zeuge“ dafür herangezogen,

dass der Rollengewindtrieb sehr wahrscheinlich nichts taugen kann. Denn würde er tatsächlich etwas taugen, dann hätten ihn all die anderen doch schon längst eingesetzt ... Was ist von dieser Art der Argumentation zu halten? Zunächst einmal handelt es sich um eine auch in vielen anderen Lebensbereichen übliche Art des Schließens und Argumentierens, die in gewisser Weise den „Herdentrieb“ des Menschen widerspiegelt. Mache ich nur das, was die anderen auch machen, mache ich in vielen Fällen nichts falsch. In weiten Bereichen des Wirtschaftslebens hängt der Erfolg einer Handlung in erster Linie von der richtigen Einschätzung des Verhaltens anderer ab. Damit kommt der beschriebenen Form des indirekten Schließens naturgemäß eine wichtige Rolle zu. Die Frage ist nun, inwieweit eine derartige Argumentation bei der Bewertung technischer Sachverhalte im Rahmen von Entwicklungsprozessen sinnvoll ist.

Indirekte Argumentation kann grundsätzlich in zwei verschiedenen Formen auftreten. Einmal als positiver Handlungsanreiz, wenn das Verhalten anderer als Argument für bestimmte Lösungsansätze herangezogen wird. Auf der anderen Seite als negativer Handlungsanreiz, wenn auf Grund des Verhalten anderer bestimmte Lösungsansätze als ungeeignet dargestellt werden. Im ersten Fall wird es sich spätestens bei der Inbetriebnahme des betreffenden technischen Systems herausstellen, ob es richtig war, sich in seiner Entscheidung am Verhalten anderer zu orientieren: Das System funktioniert den Anforderungen entsprechend oder es funktioniert nicht. Schwieriger ist die Situation im zweiten Fall. Da das Ergebnis dieser Form der Argumentation hier im Unterlassen einer Handlung besteht, sind die negativen Konsequenzen der Handlung schwieriger zu erkennen. Die Auswirkungen einer verpassten Gelegenheit werden oft nur dann offenbar, wenn ein anderer den aufgrund der indirekten Argumentation verworfenen Lösungsansatz aufgreift und erfolgreich verwirklicht.

Handlungsentscheidungen, die auf der Grundlage indirekter Argumentation getroffen werden, haben immer zur Folge, dass sich die Beteiligten nicht mehr wirklich über das „Warum?“ ihrer Handlungen im Klaren sind. Dieser Kontrollverlust im Entwicklungsprozess birgt zweierlei Risiken in sich. Im ersten Fall besteht die Gefahr, einem technischen „Modetrend“ zu folgen, der sich irgendwann als „Flop“ herausstellen kann. Im zweiten Fall kann die einseitige Orientierung an der „Meute“ dazu führen, technologische Chancen nicht zu erkennen und deshalb mit dem eigenen Produkt auf dem Markt ins Hintertreffen zu geraten. Es sollte daher in jedem Fall versucht werden, diese Art der Argumentation zu überwinden und die sich daraus ergebenden Einschätzungen auf ein solides, rationales Fundament zu stellen. Wenn möglich, sollten dazu natürlich unbedingt bestätigte, nachvollziehbare Erkenntnisse Dritter herangezogen werden. Das können wissenschaftliche Veröffentlichungen ebenso sein wie Produktinformationen renommierter Unternehmen. Parallel dazu können kritische Fragestellungen mit den Techniken der Eigenschaftsfrüherkennung (Berechnung, Simulation, Versuche ... vgl. BERNARD 99, SCHWANKL 01) untersucht werden. Auch wenn eine Überprüfung indirekter Argumentationsweisen im Produktentwicklungsprozess immer anzustreben ist, soll ihre Berechtigung als ergänzende Ge-

sichtspunkte bei der Entscheidungsfindung hier nicht grundsätzlich in Frage gestellt werden. Es werden in Entwicklungsprozessen immer wieder Situationen auftreten, in denen schnell eine Entscheidung getroffen werden muss. Oft besteht in solchen Fällen keine Möglichkeit, die für eine wohlbegründete Entscheidung notwendigen Informationen schnell genug zu beschaffen. In solchen Fällen ist kann es sinnvoll sein, das bestehende Informationsdefizit zeitweise zu überbrücken, indem man sich am Verhalten anderer orientiert. Bevor man sich bewusst für ein solches Vorgehen entscheidet, sollten allerdings zwei Fragen unbedingt geklärt werden:

- Sind die Personen oder Institutionen, die wir zur Referenz unseres Handelns machen wollen, ihrerseits in der Lage, eine rational begründete Entscheidung bezüglich ihres Handelns zu treffen? Ist das nicht der Fall, ist unsere Art der Entscheidungsfindung rein zufällig.
- Sind sich die Personen oder Institutionen, die wir zur Referenz unseres Handelns machen wollen, ihres Einflusses auf unsere Entscheidungen bewusst? In diesem Fall besteht die Gefahr, dass wir getäuscht werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass spontane Einschätzungen während des Entwicklungsprozesses eine zentrale Rolle bei der Lösungssuche und damit bei der Wahrnehmung des Lösungsraums durch die Entwickler spielen. Diese Einschätzungen erfolgen vor dem Hintergrund der individuellen Werthierarchie der am Projekt beteiligten Produktentwickler. Diese Werthierarchien, die von Einzel- wie Gruppeninteressen geprägt sein können, werden in vielen Fällen von den Vorgaben der Anforderungsklä rung abweichen. Trotzdem sollte die Beeinflussung des Prozessablaufs durch spontane Einschätzungen keinesfalls als methodischer „Betriebsunfall“ angesehen werden; sie stellen vielmehr ein notwendiges Element effektiver und effizienter Abläufe bei der Produktentwicklung dar. Spontane Einschätzungen müssen im Team argumentativ vertreten werden, damit sie Einfluss auf Handlungsentscheidungen erlangen können. In manchen Fällen wird der Zusammenhang zwischen dem ausschlaggebenden Motiv und der Einschätzung eines Sachverhalts dabei explizit geäußert, in anderen Fällen erfolgt er verklausuliert durch vorgeschobene Argumente. Auch bezüglich der Art der vorgebrachten Argumente lässt sich eine Unterscheidung zwischen sachverhaltsbezogenen Argumenten und indirekten Argumenten vornehmen. Während sich Argumente der ersten Art unmittelbar auf technische oder organisatorische Sachverhalte beziehen, wird im zweiten Fall versucht, die eigenen Handlungsentscheidungen am Verhalten Dritter zur orientieren. Die Frage nach der Zulässigkeit einer konkreten Argumentation und der dahinterstehenden Einschätzung kann nicht pauschal, sondern nur aus der jeweiligen Situation heraus entschieden werden. Insbesondere die zuletzt beschriebenen indirekten Argumentationsstrukturen bergen allerdings spezifische Risiken in sich, die durch eine sachliche Aufarbeitung der Argumentation ausgeräumt werden können.

5.1.2.3 Bedeutung formaler Bewertungstechniken

Die beiden vorangegangenen Abschnitte erwecken den durchaus richtigen Eindruck, dass wesentliche Weichenstellungen im Entwicklungsprozess durch den Einfluss spontaner Einschätzungen auf die Lösungssuche zustande kommen. Diese Einsicht wirft die Frage auf, welche Funktion der von der Entwicklungsmethodik geforderten Formalisierung der Bewertungs- und Entscheidungsprozesse dann überhaupt noch zukommt. Die Analyse unseres Fallbeispiels wird in diesem Zusammenhang deutlich machen, dass den formalen Bewertungs- und Entscheidungstechniken eine etwas andere Rolle zukommt, als diejenige, die ihnen von der methodischen Theorie her zugedacht ist. Dennoch wird sich zeigen, dass den formalen Techniken eine sehr wesentliche Rolle bei der Entscheidungsfindung in Entwicklungsteams zukommt.

Welche Stellung nahmen formale Bewertungstechniken in unserem Fallbeispiel ein? Im Verlauf der Lösungssuche wurden die gefundenen Lösungsansätze zunächst mit Hilfe von K.O.-Kriterien auf ihre prinzipielle Eignung hin überprüft. Diese K.O.-Kriterien ergaben sich aus den technischen Anforderungen an das Vorschubsystem, die im Verlauf der Aufgabenklärung definiert worden waren. Auch wenn dabei nicht streng formal mit Hilfe einer Vorauswahlliste vorgegangen wurde, entsprach dieses Vorgehen im wesentlichen den Vorgaben der Entwicklungsmethodik. Zentralen Einfluss auf den Projektablauf hatte danach die formale Bewertung der verschiedenen Lösungsansätze, die am Ende von Abschnitt 3 des Entwicklungsprozesses durchgeführt wurde. Dieser Einfluss war dabei sowohl im Vorfeld als auch nach dem eigentlichen Bewertungstermin spürbar.

Die Tatsache, dass ein formaler Bewertungsschritt im Team bevorstand, führte dazu, dass die vier nach der Vorauswahl verbliebenen Lösungsansätze systematisch auf diesen Bewertungstermin vorbereitet wurden. Für die drei Standardlösungen war dieses Vorgehen selbstverständlich. Nachdem wir den Rollengewindetrieb im Verlauf der vertieften Lösungssuche und der Vorauswahl als sehr vielversprechenden neuen Ansatz eingeschätzt hatten, galt unser persönlicher Ehrgeiz in hohem Maß der Vorbereitung dieses Systems auf den bevorstehenden Entscheidungsprozess. Aufgrund der geringen Bekanntheit des Rollengewindetriebs rechneten wir dabei von Anfang an mit relativ starkem Widerstand gegen diesen Lösungsansatz. Der bevorstehende Bewertungstermin stellte in diesem Zusammenhang einen enormen Ansporn dar, das System bezüglich der Anforderungen soweit möglich „auf Herz und Nieren zu testen“ und damit einen fairen Vergleich mit den übrigen Systemen in die Wege zu leiten. Dieser Ansporn erhöht die Sicherheit der Lösungsanalyse im Vorfeld der Bewertung und trägt damit natürlich dazu bei das Entwicklungsrisiko zu reduzieren. Wichtiger noch scheint dem Autor allerdings die Motivation zu sein, die von der Aussicht auf eine faire Gegenüberstellung konkurrierender technischer Lösungen auf die Mitglieder des Entwicklungsteams ausgeht. Sie hat in unserem Fall mit dazu geführt, dass wir den Aufwand einer zusätzlichen Lösungssuche und -analyse aufbrachten und damit einen weiteren Lösungsansatz entscheidungsreif machen konnten. Hätten wir diesen Aufwand unterlassen, wäre das im weiteren Verlauf des Projekts wohl niemanden aufgefal-

len – auch wenn in diesem Fall mit Sicherheit ein anderes, wahrscheinlich weniger gut geeignetes Konzept für den Vorschubantrieb ausgewählt worden wäre.

Es wurde bereits ausführlich geschildert, mit welchen Einwänden wir unmittelbar nach der Vorstellung des Rollengewindetriebs im Team konfrontiert wurden. Es war das Verdienst des im Projekt angewandten formalen Bewertungsverfahrens, dass trotz der fundamentalen Skepsis der Mehrzahl der Teammitglieder gegenüber der unerwarteten neuen Lösung eine geordnete Diskussion und Bewertung der vier Antriebsalternativen durchgeführt werden konnte. Dabei wurden die Vor- und Nachteile der vier Alternativen bezüglich der festgelegten Bewertungskriterien der Reihe nach in der Gruppe diskutiert. Im Anschluss an jeden Diskussionspunkt wurde ein paarweiser Vergleich durchgeführt. Der Rollengewindtrieb profitierte bei der Bewertung vor allem von seiner großen strukturellen Ähnlichkeit mit dem bewährten Kugelgewindtrieb, was ihm bezüglich vieler eher sekundärer Bewertungsmerkmale (z. B. Montage, ...) gute Teilbewertungen einbrachte. Zusammen mit den die Anforderungen voll erfüllenden technischen Leistungsmerkmalen brachte ihn das in der Gesamtbewertung auf Platz 1. Dagegen schnitt der Linearmotor bei den meisten der angesprochenen sekundären Bewertungsmerkmale deutlich schlechter ab als der Kugelgewindtrieb; trotz seiner sehr guten technischen Leistungsmerkmale kam er deshalb in der Gesamtbewertung nur auf Platz 2. Rückblickend betrachtet lässt sich dieses Ergebnis jedoch teilweise auch als Folge der im Vorfeld positiven Einschätzung des Rollengewindetriebs durch das Team von PE interpretieren. Vielleicht hätte mancher der Kritikpunkte am Linearantrieb abgemildert oder ausgeräumt werden können, wenn von uns im Vorfeld mehr Kapazität in die Lösung der Detailprobleme investiert worden wäre. Aufgrund der spontanen Einschätzung seitens PE flossen diese Kapazitäten natürlich verstärkt in den Lösungsansatz mit Rollengewindtrieb.

Das Fallbeispiel zeigt sehr deutlich, dass ein formales Bewertungsergebnis, das zunächst rein auf Grundlage der gestellten Anforderungen zustande kam, auf seine Konsequenzen für die weitere Prozessplanung hin untersucht werden muss. In unserem Fall ergab sich fast unmittelbar aus dem Ergebnis die aufwandsarme Doppelstrategie, bei der der Vorschubantrieb für die HSG-Maschine in der Entwicklung sowohl für den Einsatz eines Rollengewindetriebs als auch eines Kugelgewindetriebs vorbereitet wird. Die zum gegenwärtigen Zeitpunkt risikoreiche Entscheidung für den Rollengewindtrieb konnte so bis zum Vorliegen aussagekräftiger Versuchsergebnisse aufgeschoben werden. Nicht immer wird die Entscheidung für eine Handlungsalternative so eindeutig ausfallen wie in unserem Beispiel. In solchen Situationen kann es notwendig werden, die sich aus dem Ergebnis der Bewertung technischer Lösungsansätze ergebenden Handlungsalternativen wiederum einer genauen Analyse und Bewertung zu unterziehen. Giapoulis und Demers beschreiben, wie hierbei insbesondere Fragen des Entwicklungsrisikos in die Bewertung einzelner Handlungsalternativen mit einbezogen werden können (GIAPOULIS 96, DEMERS 00).

Das Ergebnis der formalen Bewertung der verschiedenen Antriebsvarianten und die Festlegung einer Strategie für das weitere Vorgehen war im weiteren Verlauf des Entwicklungs-

prozesses für die Durchsetzung der getroffenen Entscheidung von großer Bedeutung. Einerseits konnte in der Folge systematisch versucht werden, die nach wie vor berechtigten Zweifel am Rollengewindetrieb auszuräumen. Zum anderen ermöglichte es der Hinweis auf das Bewertungsergebnis und das daraus abgeleitete Vorgehen, sachlich unbegründete Kritik auch von höherer Stelle geschlossen zurückzuweisen.

Als Quintessenz aus unserem Fallbeispiel lässt sich damit folgendes über die Funktion formaler Bewertungsschritte im Entwicklungsprozess aussagen:

- Die Anwendung formale Bewertungsmethoden kann nicht verhindern, dass sich wichtige Entscheidungen bereits während des Prozesses der Lösungssuche und -analyse ergeben.
- Formale Bewertungsschritte ermöglichen eine gezielte Vorbereitung von Lösungsansätzen auf die Bewertung und Entscheidung. Von angekündigten Bewertungsterminen kann darum eine starke motivierende Wirkung auf die Produktentwickler ausgehen, „ihre“ Lösungen genau zu durchdenken und kritische Punkte bereits vorab zu entkräften.
- Jedes Mitglied eines Entwicklungsteams kann sich sowohl vor als auch nach dem Bewertungsschritt auf diesen berufen. Damit verfügt jeder Beteiligte über ein wirksames Argument gegen den Versuch einer unlauteren Einflussnahme auf den Entscheidungsprozess.

5.2 Lösungsfindung im Team als „politischer Prozess“

Die Analyse des Fallbeispiels enthüllte eine Reihe von Mechanismen, die charakteristisch dafür sind, wie sich Ideen bei der Lösungssuche und Entscheidungsfindung im Team durchsetzen:

- Neben externen Faktoren wie der zur Verfügung stehenden Zeit und der Zahl der Mitarbeiter beeinflussen vor allem prozessinterne Faktoren den Verlauf von Lösungssuche und Entscheidungsfindung.
- Diese prozessinternen Faktoren gewinnen ihre Stärke aus ihrer direkten Rückkopplung mit dem Verhalten der an der Lösungssuche beteiligten Personen.
- Prozessinterne Faktoren von zentraler Bedeutung sind spontane Einschätzungen von Situationen und Zwischenergebnissen im Verlauf des Prozesses.
- Diese spontanen Einschätzungen ergeben sich aus der individuellen Erfahrung und der Werthierarchie der Teammitglieder.
- Auf dem Weg der unmittelbaren Verhaltensrückkopplung bestimmen sie maßgeblich den Ressourceneinsatz von Einzelpersonen bzw. Teilen des Teams mindestens bis zur nächsten Teamsitzung.

- Spontane Einschätzungen sind damit häufig dafür verantwortlich, welche Lösungsansätze tatsächlich entscheidungsreif gemacht werden und welche im Lösungsraum nicht wahrgenommen werden.

Die Entwicklungsmethodik ist bestrebt, den Produktentwicklungsprozesses stärker zu rationalisieren, indem sie der Einfluss spontaner Einschätzungen und Entscheidungen auf den Prozessablauf zu reduzieren versucht. Aus diesem Grund wird gefordert, die Synthese von Lösungsansätzen strikt von der anschließenden Analyse und Bewertung zu trennen. Die Untersuchung des Fallbeispiels im vorigen Kapitel hat allerdings gezeigt, dass Synthese- und Analyseschritte bei der Erarbeitung konstruktiver Lösungen auf einem elementaren Niveau der Lösungssuche untrennbar miteinander verbunden sind. Und auch die Analyse der Lösungsfindung in diesem Kapitel hat deutlich gezeigt, dass es auch auf dem übergeordneten Niveau des Vorgehens im Team unmöglich ist, elementare psychische Mechanismen wie den der spontanen Einschätzung von Situationen und Zwischenergebnissen durch methodische Vorgaben außer Kraft zu setzen. Die von der Entwicklungsmethodik zur Rationalisierung des Vorgehens vorgesehenen formalen Bewertungs- und Entscheidungsschritte täuschen deshalb darüber hinweg, dass wichtige Entscheidungen auch im methodisch strukturierten Entwicklungsprozess bereits während der Lösungssuche auf der Grundlage spontaner Einschätzungen getroffen werden.

Mit diesen Beobachtungen sollen keinesfalls die zwei zentralen Forderungen der Entwicklungsmethodik in Frage gestellt werden: Die unvoreingenommene Suche nach alternativen Lösungsansätzen einerseits und die Trennung von Lösungssuche und Entscheidungsfindung bei zentralen oder kritischen technischen Problemstellungen andererseits. Vielmehr soll im folgenden versucht werden, ein Modell für das methodische Vorgehen zu entwickeln, mit dem es gelingen kann, diese beiden zentralen Forderungen der Entwicklungsmethodik mit den beschriebenen unveränderlichen Konstanten im menschlichen Verhalten in Einklang zu bringen. Nur wenn das gelingt, kann die Entwicklungsmethodik wirklich zur Prozessverbesserung beitragen und damit eine natürliche Akzeptanz in der industriellen Praxis finden.

Der zentrale Gedanke, mit dessen Hilfe die Forderungen der Methodik mit den Mechanismen des menschlichen Verhaltens in Einklang gebracht werden sollen, besteht darin, den Entwicklungsprozess als *politischen Prozess* aufzufassen, dessen Regeln deutlich vom derzeit stark planungsorientierten Ansatz der Entwicklungsmethodik abweichen. Die Entwicklung eines Produktes als politischer Prozess, der zwischen den Mitgliedern eines Entwicklungsteams abläuft, wird dabei auf der einen Seite von einer *pluralistischen Lösungssuche*, auf der anderen Seite von einer durch *formale Methoden unterstützten Konsensfindung* getragen.

5.2.1 Pluralistische Lösungssuche im Team

Die Forderung nach einer unvoreingenommenen Suche alternativer Lösungsansätze lässt sich am ehesten durch Zulassen bzw. gezieltes Fördern einer *pluralistischen Lösungssuche* im Entwicklungsprozess verwirklichen. Der Grundgedanke dabei ist, die Vielfalt der mehr oder weniger individuellen Einschätzungen der beteiligten Teammitglieder gezielt dazu auszunützen, unterschiedliche alternative Lösungsansätze zu generieren. Dabei soll die diesen individuellen Einschätzungen innewohnende Motivationskraft dazu führen, dass einzelne Mitglieder oder Teile des Teams parallel und in einer gewissen Konkurrenz zueinander nach Lösungen suchen. Auf diese Weise kann es gelingen, all jene Lösungsansätze, die mindestens von einem Teil des Teams für vielversprechend gehalten werden, bis zur Entscheidungsreife zu konkretisieren.

Der pluralistische Ansatz bietet gegenüber dem klassischen methodischen Vorgehen bei der Lösungssuche Vorteile in dreierlei Hinsicht:

- *Erarbeitung echter Lösungsalternativen*
Bei der pluralistischen Lösungssuche werden echte Lösungsalternativen im Sinne der Entwicklungsmethodik erarbeitet und bis zur Entscheidungsreife konkretisiert. Die Vorbereitung eines bestimmten Lösungsansatzes auf die Entscheidung erfolgt durch genau die Mitglieder des Teams, die diesen Ansatz aufgrund ihrer persönlichen Einschätzung für besonders vielversprechend halten. Die Teammitglieder sind darum aus sich heraus motiviert und werden mit großem persönlichen Engagement an der Verbesserung „ihrer“ Lösung arbeiten.
- *Vermeidung von Scheinalternativen*
Die pluralistische Lösungssuche verringert die Gefahr, dass Scheinalternativen erarbeitet werden, die nur dazu dienen, den Anschein methodischer Korrektheit zu wahren. Lösungsansätze, die keinen Fürsprecher im Team finden, werden nicht weiter betrachtet. Das Mitschleppen solcher Lösungsansätze bis zu definierten Entscheidungspunkten ist völlig überflüssig. Sie dienen lediglich der methodischen Staffage ohne je eine ernsthafte Chance zu erhalten, in die engere Wahl gezogen zu werden.
- *Vermeidung systematischer Fehler bei der Lösungssuche*
Ein pluralistischer Ansatz reduziert die Gefahr systematischer Fehler bei der Lösungssuche, indem er sich die Zufälligkeit ebenso wie den unterschiedlichen Erfahrungshintergrund individueller Einschätzungen zunutze macht. Indem das Denken in Alternativen auf diese Weise gefördert wird, lässt sich der eigentliche Sinn der methodischen Forderung nach der Erarbeitung unterschiedlicher alternativer Lösungsansätze in kaum zu verbessernder Weise erfüllen.

Natürlich müssen in einem Team bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, damit sich eine pluralistische Lösungssuche im beschriebenen Sinn tatsächlich durchführen lässt. Konkurrierende Lösungsansätze können natürlich nur dann aufkommen, wenn unterschiedliche Meinungen im Team bestehen und auch frei geäußert werden können. Insofern können

ausgeprägte hierarchische Strukturen und fachliche Grenzziehungen im Team die Entfaltung alternativer Lösungsansätze stark behindern. Im Verlauf der Lösungssuche muss deshalb versucht werden, sowohl die hierarchische als auch die fachliche Struktur des Teams im Bewusstsein seiner Mitglieder in den Hintergrund treten zu lassen. Gerade die fachlich heterogene Zusammensetzung vieler moderner Entwicklungsteams bietet andererseits jedoch auch die Chance, unterschiedliche Sichtweisen auf eine technische Problemstellung zu gewinnen. Allein die fortschreitende fachliche Differenzierung der an Entwicklungsprojekten beteiligten Fachbereiche wird deshalb in vielen Fällen eine ausreichende Meinungsvielfalt im Entwicklungsteam hervorrufen. Diese Meinungsvielfalt wird in noch stärkerem Maß hervortreten, wenn z. B. fachübergreifende Entwicklungsteams aus Medizinern und Ingenieuren gebildet werden.

Als zweite wichtige Voraussetzung für die Durchführung einer wirklich pluralistischen Lösungssuche müssen die beteiligten Teammitglieder über ausreichend Zeit für die Lösungssuche im Rahmen des gemeinsamen Projekts verfügen. Die Fallbeispiele im vorhergehenden und in diesem Kapitel haben beide gezeigt, wie wichtig ausreichend Zeit für die Erarbeitung qualitativ hochwertiger konstruktiver Lösungen ist. Damit einzelne Mitglieder oder Teile des Teams die von ihnen favorisierten Lösungsansätze vorantreiben können, muss zumindest in bestimmten Phasen eines Projekts ausreichend Zeit für die freie Lösungssuche eingeplant werden. Diese Zeit soll bewusst dazu genutzt werden, die konkurrierenden Lösungsansätze bezüglich vorab festgelegter Kriterien entscheidungsreif zu machen.

Die beiden vorhergehenden Absätze haben bereits deutlich gemacht, dass die erfolgreiche Durchführung einer pluralistischen Lösungssuche an die Erfüllung bestimmter Bedingungen geknüpft ist. Tatsächlich sieht der Autor eine Reihe von Problemen, die bei dem Versuch auftreten könnten, die beschriebene Auffassung von Lösungssuche in der Praxis einzuführen:

- *Rechtfertigung von Doppelarbeit bei der Konzeptsuche*
Unter Umständen kann es für einen Projektverantwortlichen schwierig sein, die bei der pluralistischen Lösungssuche geforderte Doppelarbeit zu rechtfertigen. Diese Doppelarbeit ist jedoch unbedingt notwendig, um die Erarbeitung konkurrenzfähiger Alternativlösungen im Sinn der Konstruktionsmethodik zu ermöglichen. Zumindest bei risikoreichen Neuentwicklungen hat diese Grundforderung der Entwicklungsmethodik mittlerweile breite Akzeptanz gefunden. Dazu kommt, dass die auf den ersten Blick oft redundant erscheinenden Alternativlösungen in vielen Fällen doch wiederverwertet werden können. So ist es durchaus vorstellbar, dass in unserem Fallbeispiel die Auslegung eines Linearantriebs für die Vorschubachse der HSG-Maschine in einem zukünftigen Projekt die Grundlage für ein ganz neues Antriebskonzept bildet.
- *Entscheidungsvorbereitung der Lösungsalternativen in heterogenen Teams*
Je heterogener die fachliche Struktur eines Entwicklungsteams ist, desto schwieriger

wird es für Einzelne oder Teile des Teams, „ihren“ Lösungsansatz adäquat auf die Bewertung und Entscheidungsfindung vorzubereiten. Denn um eine Lösung wirklich auszuarbeiten bedarf es heute eben oft der vereinten Kräfte eines interdisziplinär zusammengesetzten Entwicklungsteams. Was jedoch auf den ersten Blick wie ein fundamentaler Widerspruch im Modell der pluralistischen Lösungssuche aussieht, sollte im positiven Sinn als gemeinschaftsstiftendes Element zwischen den divergierenden Untergruppen des Entwicklungsteams aufgefasst werden. Bei aller gewollten Konkurrenz innerhalb des Team muss immer klar sein, dass die verschiedenen Parteien einander zu Dienstleistungen bei der Ausarbeitung ihrer Lösungsalternativen verpflichtet sind. Die pluralistische Lösungssuche stellt deshalb besondere Anforderungen an den Moderator oder Leiter eines Teams, der zwischen den verschiedenen Fraktionen vermitteln muss und dazu verpflichtet ist, die unzulässige Ausübung von fachlicher Autorität zu unterbinden. Gleichzeitig wird die wechselseitige Unterstützung im Team jedoch auch dazu führen, dass die Teammitglieder alle alternativen Lösungsansätze in irgend einer Form als „ihre“ betrachten. Damit wird die Grundlage für eine weitere produktive Zusammenarbeit im Team nach zentralen Lösungsentscheidungen gelegt, bei der es naturgemäß Sieger und Unterlegene geben wird.

- *Gefährdung der Zusammenarbeit durch Konkurrenzdenken im Team*

Bei der pluralistische Lösungssuche soll das emotionale Engagement der Teammitglieder zugunsten bestimmter Lösungsideen gezielt zur Intensivierung der Lösungssuche und zur Erarbeitung konkurrierender alternativer Lösungsvorschläge für eine technische Problemstellung genutzt werden. Damit wird zumindest in bestimmten Phasen eines Entwicklungsprojekts das Konkurrenzdenken im Team bewusst gefördert. In diesem Zusammenhang besteht die Gefahr, dass sich der Wettbewerb innerhalb des Teams so stark aufschaukelt, dass er gefährliche Auswirkungen auf die Beziehungsebene der Beteiligten hat. Im ungünstigsten Fall kann so die Zusammenarbeit im Team in Gefahr geraten und dadurch der Projekterfolg insgesamt gefährdet werden. Abgesehen davon, dass die Gefahr des Auseinanderbrechens eines Teams aufgrund zu großer inhaltlicher Gegensätze natürlich immer besteht, wurden im vorherigen Teilkapitel bereits Ansatzpunkte für die Schaffung eines ausgewogenen Verhältnisses von Konkurrenz und Kooperation bei der Lösungssuche aufgezeigt.

Die Probleme, die bei der Realisierung einer pluralistischen Lösungssuche in der Praxis auftreten könnten, machen deutlich, dass dieses Konzept für sich allein noch keinen geeigneten methodischen Ansatz der Entwicklungsmethodik darstellt. In der Auffassung von der Lösungsfindung im Team als *politischer Prozess* steht der *pluralistischen Lösungssuche* darum die *formal unterstützte Konsensfindung* als gleichberechtigtes methodisches Gegenstück gegenüber.

5.2.2 Formal unterstützte Konsensfindung

Mit der formal unterstützten Konsensfindung wird die pluralistische Lösungssuche im Team zu ihrem Abschluss gebracht. Im Team wird dabei eine verbindliche Entscheidung vorbereitet oder getroffen, die den Ausgangspunkt für die Fortführung des Entwicklungsprozesses darstellt. Die Bewertung der Lösungsalternativen mit den Techniken der Entwicklungsmethodik stellt dabei nur den formalen Schlusspunkt eines Prozesses dar, in dem begleitend zur Lösungssuche immer wieder nach Kompromisslösungen gesucht wird, denen alle Parteien positive Seiten abgewinnen können. Ziel der Konsensfindung ist es dabei, einer zu starken Polarisierung des Entwicklungsteams während der Lösungssuche entgegenzuwirken ohne die positiven Effekte eines gewissen Wettbewerbsdrucks zu verlieren.

Das Fallbeispiel hat gezeigt, dass formale Bewertungskriterien im allgemeinen nur die externen Anforderungen an die technische Lösung repräsentieren, wie sie sich z. B. aus einem Pflichtenheft ergeben können. Um einen tragfähigen Konsens im Team zu erreichen, müssen darüber hinaus auch die individuellen Werthierarchien der Teammitglieder bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden. Diese stellen ein Gemenge aus privaten Vorlieben und individuellen Erfahrungen dar, in dem sich auch wichtige, unscharfe Erfolgskriterien niederschlagen können.

Die formal unterstützte Konsensfindung als Abschluss der pluralistischen Lösungssuche sollte sich daher im Idealfall durch folgende positive Merkmale auszeichnen:

- *Aufklärung der Werthierarchien im Team*
Begleitend zur Aufgabenklärung und Lösungssuche wird versucht, die individuellen Werthierarchien im Team aufzuklären. Diese Werthierarchien lassen sich am einfachsten aus den spontan geäußerten Einschätzungen der Teammitglieder während des Prozesses der Lösungssuche ableiten. Die im Verlauf der Lösungssuche wirkenden Wertmaßstäbe sollten den betroffenen Einzelpersonen oder Teilgruppen zugeordnet, systematisiert und in ihren Auswirkungen auf den Prozessablauf analysiert werden. Erst danach kann über den Umgang mit individuellen Werthierarchien und den sich daraus ergebenden Einschätzungen im weiteren Prozess der Lösungssuche nachgedacht werden.
- *Explizite Formulierung individueller Bewertungsmaßstäbe*
Die unterschiedlichen individuellen Bewertungsmaßstäbe werden explizit formuliert, soweit das möglich ist. Grundsätzlich angestrebt werden sollte das für alle sachlich begründete Argumente, die lediglich aufgrund ihrer Unbestimmtheit nicht in die offene Diskussion eingebracht wurden. Oft gelingt in solchen Fällen im Team eine prägnante Umformulierung eines vagen individuellen Gefühls in ein prägnantes Bewertungskriterium, das allgemeine Akzeptanz finden kann.
Erheblich schwieriger ist der Umgang mit sachlich nicht begründbaren individuellen Bewertungsmaßstäben. Dazu können schwer nachvollziehbare individuelle Vorlieben genauso zählen wie das Vertreten handfester persönlicher Interessen. Sie können in vielen Fällen im Team nicht angesprochen werden, ohne das betroffene Mitglied öffent-

lich bloßzustellen und so einen schwerwiegenden Konflikt zu provozieren. Es wäre allerdings unklug, die sachlich nicht begründbaren Bewertungsmaßstäbe der Beteiligten einfach ignorieren zu wollen. Sie werden, wenn auch unterschwellig, in jedem Fall ihre Wirkung im weiteren Projektverlauf entfalten.

Die Frage, inwieweit im Verlauf eines Projekts auf die letztgenannten individuellen Bewertungskriterien eingegangen werden soll, muss deshalb ausschließlich im Hinblick auf den Projekterfolg entschieden werden. Beeinträchtigt ihre Berücksichtigung das Ergebnis der Lösungssuche, so ist jedem Versuch der Beeinflussung auf ihrer Grundlage mit sachlich begründeten Argumenten entschieden entgegenzutreten. Sind diese individuellen Bewertungskriterien für die Qualität einer Lösung dagegen nicht von Bedeutung, so ist es sinnvoll, sie in möglichst vielen Lösungsalternativen zu berücksichtigen.

- *Optimale Entscheidungsvorbereitung / Teilhabe an konkurrierenden Lösungsalternativen*

Die zweite Phase der Lösungssuche zielt darauf ab, die unterschiedlichen betrachteten Lösungsalternativen optimal auf den geplanten formalen Bewertungsschritt vorzubereiten. Die Konsensorientierung in dieser Phase besteht jedoch vor allem darin, die Alternativen so umzugestalten, dass sie möglichst breite Akzeptanz quer durch die unterschiedlichen Fraktionen des Entwicklungsteams finden können. Dabei geht es keinesfalls darum, auf der Grundlage konkurrierender Lösungsvarianten „faule“ technische Kompromisse zu schließen. Die unterschiedlichen Lösungsansätze sollen auf jeden Fall als eigenständige Varianten erhalten bleiben, jedoch an die unterschiedlichen Werthierarchien im Team angepasst werden, soweit das sinnvoll möglich ist. Der Grundgedanke ist, die Teammitglieder in der Phase der konsensorientierten Lösungssuche in irgendeiner Form auch an konkurrierenden Lösungsvorschlägen zu beteiligen. Dies kann z. B. in Form von Änderungen geschehen, die gezielt auf individuelle Wünsche eingehen oder durch die Übernahme von Lösungselementen aus anderen Varianten. Auf diese Weise kann einer zu starken Polarisierung des Entwicklungsteams bezüglich der konkurrierenden Lösungsansätze der formalen Bewertung und Entscheidungsfindung bereits im Vorfeld wirksam begegnet werden.

Die konsensorientierte Lösungssuche vor der formalen Bewertung sollte nicht in dem Sinn verstanden werden, dass für jede Lösungsvariante die Form gesucht wird, die den kleinsten gemeinsamen Nenner zwischen den Werthierarchien der Teammitglieder darstellt. Vielmehr wird es im Verlauf der Lösungssuche auch zu einer intensiven Auseinandersetzung mit den eigenen Bewertungskriterien und den Kriterien der anderen Teammitglieder kommen. In der Folge wird es darum nicht nur zu einer Veränderung der Lösungsansätze kommen, sondern auch zur Anpassung und Abstimmung der Werthierarchien im Team. Das bedeutet, dass sich nicht nur die konkurrierenden Lösungsansätze auf die unterschiedlichen Standpunkte im Team zubewegen, sondern auch der Einzelne oder Teile des Teams ihre Bewertungsmaßstäbe bezüglich konkurrierender Lösungen modifizieren.

- *Tolerante Atmosphäre bei der Bewertung der Lösungsalternativen*

Im Idealfall kann die Bewertung der Alternativlösungen nach der konsensorientierten Vorbereitung in einer von Toleranz geprägten Atmosphäre stattfinden, in der Sieg und Niederlage nicht die Hauptrolle bei der Entscheidungsfindung spielen. Natürlich wird es auch in diesem Fall Sieger und Unterlegene geben. Wird letzteren jedoch bereits im Vorfeld der Entscheidung das Gefühl vermittelt, auch zur ausgewählten Lösung beigetragen zu haben, wird es ihnen auch nach im Team umstrittenen Lösungsentscheidungen leichter fallen, den eingeschlagenen Weg mit vollem Engagement zu folgen.

In manchen Fällen wird die Lösungssuche und Entscheidungsfindung in Entwicklungsprozessen bereits heute die positiven Merkmale tragen, die soeben für die formal unterstützte Konsensfindung aufgezählt wurden. In vielen praktischen Fällen scheitern Projekte jedoch auch an der unzureichenden Konsensfindung. Deshalb ist die Frage zu stellen, welche Voraussetzungen erfüllt werden müssen, damit die Entscheidungsfindung eine wirkliche Konsensfindung im geschilderten positiven Sinne darstellt:

- Es muss ein systematisches Aufklären und Erkennen der individuellen Werthierarchien im Team stattfinden.
- Mit dem Wissen um den „Verhaltenshintergrund“ der Teammitglieder muss sensibel und diskret umgegangen werden.
- Ausgehend von diesem Wissen muss die Lösungssuche so beeinflusst werden, dass der Konsens der Teammitglieder bezüglich aller Lösungsvarianten anwächst.

In der Praxis kann sich das Erfüllen dieser Voraussetzungen alles andere als einfach herausstellen. Das beginnt bereits mit der richtigen Interpretation der Äußerungen und des Verhaltens der Mitglieder des Teams, die ja die Voraussetzung für das Erkennen der Werthierarchie einer anderen Person darstellt. Die Fähigkeit, aus den Äußerungen und dem Verhalten eines Anderen ein korrektes Bild der sein aktuelles Handeln bestimmenden Werthierarchie abzuleiten, hängt stark von der sozialen Kompetenz der beurteilenden Person ab. Erfahrungsgemäß ist die soziale Kompetenz in Teams aller Art ungleichmäßig verteilt. Die beschriebene Aufgabe im Verlauf eines Entwicklungsprojekts kann deshalb meist nur von wenigen oder einzelnen Mitgliedern eines Entwicklungsteams geleistet werden.

Eine zweite Schwierigkeit bei der konsensorientierten Lösungssuche besteht darin, dass eine Verhaltensanalyse im beschriebenen Sinn unter keinen Umständen „offen“ erfolgen darf. Zwar stellen derartige Verhaltensanalysen die notwendige Grundlage jeder erfolgreichen zwischenmenschlichen Kommunikation dar und werden deshalb von jedem immer wieder bewusst oder unbewusst durchgeführt. Eine Grundvoraussetzung für den Erfolg besteht allerdings eben gerade darin, dass die Einschätzung des Gegenübers unmittelbar in eine Anpassung des eigenen Verhaltens einmündet und nicht explizit geäußert wird. Jeder Verstoß gegen diese Regel führt normalerweise zu einer schweren Störung des Kommunikationsprozesses. In der gleichen Weise würde eine offene Analyse der individuellen

Werthierarchien im Verlauf einer Lösungssuche im Team wahrscheinlich zum sofortigen Ende jeder konstruktiven Zusammenarbeit führen. Sowohl des Aufklären und Erkennen der handlungsbestimmenden Werthierarchien im Team als auch das Steuern der Lösungssuche im Sinn des Projekterfolgs muss daher mehr oder weniger im Verborgenen erfolgen. Diese Aufgabe kann mit der notwendigen Sensibilität und Diskretion deshalb nur von einer einzelnen Person oder einer sehr kleinen Führungsgruppe durchgeführt werden.

Die Notwendigkeit, auf handlungsbestimmende Werthierarchien im Team reagieren zu müssen, ohne sie in vielen Fällen direkt anzusprechen zu können, schränkt die Möglichkeiten der Einflussnahme auf den Prozess der Lösungssuche natürlich stark ein. Gleichzeitig hat die Analyse des Fallbeispiels gezeigt, dass die Anordnung von Maßnahmen im Verlauf der Lösungssuche gegen die spontanen Einschätzungen der Teammitglieder nur wenig Erfolg verspricht. Ein sensibler kreativer Prozess kann deshalb auf Dauer nur durch Sachargumente und Überzeugung durch Einsicht gesteuert werden. Die Leitungsfunktion in der ersten pluralistischen wie auch in der zweiten konsensorientierten Phase der Lösungssuche muss denn auch vor allem darin bestehen, die Teammitglieder zu möglichst großer Eigeninitiative zu ermutigen und sie auf ihrem Weg zu einer entscheidungsreifen Lösungsvariante nach Kräften zu unterstützen. Die wirksamste Möglichkeit den Prozess der Lösungssuche nicht nur über die organisatorischen Randbedingungen sondern auch inhaltlich zu beeinflussen, besteht darin, Eigeninitiative zu ergreifen und eigene Vorschläge auszuarbeiten. Nach Auffassung des Autors ist es deshalb für den Erfolg eines Projekts notwendig, dass der Projektleiter sowohl über den Sachverstand als auch über die Kapazität verfügt, inhaltlich in den Projektverlauf einzugreifen. Erkennt dieser inhaltliche Fehlentwicklungen im Verlauf der Lösungssuche, so reichen oft schon kleine Initiativen seinerseits aus, um diese zu korrigieren. Eine schnelle Recherche, eine überschlägige Berechnung oder eine andere vom Projektleiter selbst durchgeführte Maßnahme lenkt das Interesse des Teams auf den bisher vernachlässigten Aspekt der Lösungssuche. Spricht das Ergebnis dieser Maßnahme für den Erfolg des Ansatzes, wird es im allgemeinen nicht schwer sein, andere Teammitglieder dazu zu animieren, diesen Lösungsansatz intensiver weiterzuverfolgen.

Mit der Kenntnis der Werthierarchien der Mitglieder eines Entwicklungsteams auf der einen Seite und der Möglichkeit auf der anderen Seite, durch gezielte Eigeninitiative den Ablauf eines Entwicklungsprozesses zu beeinflussen, wurden zwei mächtige Techniken aufgezeigt, mit deren Hilfe sich ein Entwicklungsprozess gerade in der Phase der Lösungssuche und Entscheidungsfindung im Sinn des Projekterfolgs steuern lässt. Die Analyse der Voraussetzungen und der Schwierigkeiten, die bei der Anwendung dieser Techniken auftreten können, hat deutlich gemacht, dass diese Techniken im Team keine explizite Erwähnung finden dürfen. Ihre Anwendung kann deshalb nur durch Einzelpersonen oder sehr vertrauensvoll zusammenwirkende Kleingruppen (max. 2-3 Personen) erfolgen. Im Idealfall wird daher der Projektleiter diese Funktion übernehmen. Prinzipiell kann jedoch auch jedes andere Teammitglied mit dem entsprechenden sozialen Gespür diese Aufgabe wahr-

nehmen. In der Praxis tritt der Fall gar nicht so selten auf, dass neben dem nominellen Projektleiter ein informeller Projektleiter den Verlauf des Entwicklungsprozesses steuert.

5.3 Steuerung der Entscheidungsfindung im Team

Auf den letzten Seiten mag hin und wieder der Eindruck entstanden sein, der Autor fasse Entwicklungsprozesse als eine Art „Menschenschach“ auf, in denen ein Projektleiter mit dem Instrumentarium des Psychoanalytikers die Beweggründe der Teammitglieder aufspürt um anschließend das Handeln des Teams durch verborgene Maßnahmen im Sinne des Projekterfolgs zu manipulieren. Diese negative Sichtweise täuscht darüber hinweg, dass die vom Autor beschriebenen Mechanismen beim Handeln im Team immer eine bedeutende Rolle spielen. Unabhängig davon, ob wir das für sinnvoll halten oder nicht, wird die Arbeit eines Teams immer von den Personen bestimmt werden, die die beschriebenen Mechanismen intuitiv oder bewusst erkannt haben und sich ihrer zu bedienen wissen. Indem die Mechanismen hier offengelegt und bewusst zu den Grundstruktur des methodischen Vorgehens bei der Lösungssuche und Entscheidungsfindung im Team gemacht werden, soll zweierlei erreicht werden. Erstens soll dem sachlich-logischen Vorgehen der Entwicklungsmethodik zum Durchbruch verholfen werden. Zweitens soll auf diese Weise die Gefahr der unlauteren Einflussnahme durch Einzelne oder Teilgruppen auf das Vorgehen bei der Lösungssuche im Team reduziert werden.

Das methodische Konzept der *pluralistischen Lösungssuche* und mehr noch das der *formal unterstützten Konsensfindung* lebt von einem besonnen agierenden Projektleiter, der die Rolle des „Troubleshooters“ sowohl in technischen, als auch in organisatorischen Fragen aktiv ausfüllt. Das bedeutet im Idealfall, dass er technische und organisatorische Fehlentwicklungen nach Möglichkeit erkennt und Gegenmaßnahmen einleitet, noch bevor sie Probleme verursachen können. Das wichtigste Kontrollinstrument des Projektleiters stellt dabei die permanente Analyse der aktuell im Team bestehenden Werthierarchien auf der Grundlage spontan geäußerter Einschätzungen dar. Als Ergebnis dieser Analyse gewinnt er Erkenntnisse in zwei Richtungen, auf deren Grundlage er über eventuelle Maßnahmen entscheiden kann:

- Aus den *technischen Einschätzungen* der Mitarbeiter kann der Projektleiter ein umfassendes Bild der aktuellen Projektsituation ableiten. Sein Ziel muss es sein, jederzeit über alle wichtigen Themen und ihre Bewertung durch die beteiligten Parteien informiert zu sein. Es sollte also nicht vorkommen, dass auf Projekttreffen irgend etwas „herauskommt“, das die Situation im Projekt schlagartig verändert.
- Die genaue Kenntnis der *persönlichen Interessenlagen* erlaubt es dem Projektleiter, drohende Konflikte bereits im Vorfeld zu erkennen und entsprechend darauf zu reagieren. Kann er das Verhalten der Parteien richtig einschätzen, wird es ihm in vielen Fällen gelingen, Gefahrenstellen im Prozessverlauf mit Hilfe eleganter diplomatischer Lö-

sungen zu umschiffen. Mögliche Maßnahmen sollten sich dabei am Grundprinzip der pluralistischen Lösungssuche orientieren, den unterschiedlichen Parteien soviel Gestaltungsfreiheit wie möglich zu lassen. Jeder sollte nach seiner Façon glücklich werden, solange der Projekterfolg dadurch unterstützt wird.

Die mächtige Stellung des Projektleiters birgt natürlich ebenfalls die Gefahr eines Missbrauchs seiner Position in sich. Diese Gefahr lässt sich eigentlich nur durch die Auswahl eines geeigneten Projektleiters wirksam einschränken. Neben der Überprüfung seiner fachlichen und sozialen Eignung muss deshalb vor allem auch der Frage nachgegangen werden, wie stark seine persönlichen Interessen mit dem Projekterfolg verknüpft sind. Schwierigkeiten, die in diesem Zusammenhang in der Praxis häufig auftreten können, sind die zu starke Verankerung eines Projektleiters in einer Fachabteilung oder andere hierarchische Abhängigkeiten in der Unternehmensstruktur, die der Konzentration auf den Projekterfolg entgegenstehen. In diesem Fall muss durch geeignete organisatorische Veränderungen sichergestellt werden, dass der Erfolg des Projekts im unmittelbaren persönlichen Interesse des potentiellen Projektleiters liegt.

Das Zusammenwirken von Projektleiter und Teamprozess lässt sich in Analogie zur Funktionsweise eines einfachen Regelkreises darstellen. Nach dem Start des Entwicklungsprozesses folgt dieser der Eigendynamik des Teams. Der Teamleiter nimmt dabei aktiv Informationen aus dem Prozessablauf auf, verknüpft sie und macht sich ein Bild von der Motivationsstruktur der einzelnen Teammitglieder. Erkennt er dabei Entwicklungen, die dem Projekterfolg entgegenstehen, so versucht er gezielt auf die Motivationslage der Mitarbeiter einzuwirken und so den Projektablauf wieder auf den richtigen Weg zu bringen.

Bei der Planung von Maßnahmen zur Beeinflussung des Prozesses sollte sich der Projektleiter an der Vorstellung von Lösungssuche und Entscheidungsfindung als *politischem Prozess* orientieren. In der ersten Phase einer Lösungssuche sollte er deshalb im Sinn der beschriebenen *pluralistischen Lösungssuche* die Meinungsvielfalt im Team fördern und auf die Ausarbeitung wirklich alternativer Lösungsansätze hinwirken. In der zweiten Phase einer Lösungssuche, der *formal unterstützten Konsensfindung*, kommt es dagegen eher darauf an, die den konkurrierenden Lösungsansätzen innewohnenden Gemeinsamkeiten herauszuarbeiten und quer durch das Entwicklungsteam bewusst zu machen.

Bis hierhin wurden die bei der Lösungssuche und Entscheidungsfindung im Team wirkenden Mechanismen beschrieben und die grundlegenden Strategien definiert, mit denen im Rahmen der des methodischen Vorgehens darauf reagiert werden soll. Damit bleibt noch zu klären, wie diese Strategien vom Projektleiter in der Praxis umgesetzt werden können. In den folgenden beiden Kapiteln soll darum näher erläutert werden, wie Werthierarchien im Entwicklungsteam aufgeklärt werden können und wie der weitere Entwicklungsprozess auf Grundlage dieser Erkenntnis gesteuert werden sollte.

5.3.1 Aufklären der Werthierarchien im Entwicklungsteam

Welche Informationen genau muss der Teamleiter aus dem Prozessablauf gewinnen, um seine Aufgabe als Regelglied im Prozess der Lösungssuche und Entscheidungsfindung erfolgreich erfüllen zu können? Zur Klärung dieser Frage sollte von den Lösungsideen und -ansätzen ausgegangen werden, wie sie beim methodischen Vorgehen z. B. in Brainstormings oder Recherchen zusammengetragen und dokumentiert werden. Aufgabe des Teamleiters ist es nun, prozessbegleitend die Bewertung der unterschiedlichen Lösungsansätze und die hinter diesen Bewertungen stehenden Motive möglichst aller Teammitglieder zu erkennen. Die Einstellung einer Person zu einem Lösungsansatz manifestiert sich dabei in zwei Schichten, die normalerweise auch nacheinander aufgedeckt werden müssen.

- Die erste Urteilsschicht umfasst die „offizielle“ fachliche Einschätzung eines Lösungsansatzes, die von der betreffenden Person explizit geäußert wird. Diese Einschätzung besteht aus einer Reihe von Argumenten, deren Gewichtung meist zu einer insgesamt positiven oder negativen Bewertung des zugrunde liegenden Lösungsvorschlags führt.
- Hinter der ersten Urteilsschicht liegt in vielen Fällen eine zweite, „inoffizielle“ Urteilsschicht, die die betreffende Person aus unterschiedlichen Gründen nicht explizit artikulieren mag. Existiert diese zweite Schicht, so wird sie immer das Verhalten dieser Person dominieren. Die offiziell geäußerten Argumente werden damit zu vorgeschobenen Argumenten, die einem mehr oder weniger verborgenen Zweck dienen. Problematisch wird diese zweite Urteilsschicht dann, wenn ihre Motive dem Projekterfolg zuwider laufen.

Es dürfte unmittelbar einsichtig sein, dass die aktuelle Kenntnis sowohl der ersten, wie auch der zweiten Urteilsschicht in einem Team für den Leiter von unschätzbarem Wert ist. Nur wenn ihm beides bekannt ist, kann er das Verhalten der Teammitglieder einigermaßen zuverlässig einschätzen und divergierende Interessen durch geeignete Maßnahmen im Sinne des Projekterfolgs bündeln. Auf welche Weise kann der Projektleiter aber dem Prozessablauf die notwendigen Informationen entnehmen, um die Werthierarchien und Motivlagen im Team aufzuklären? Im wesentlichen stehen ihm dazu zwei Möglichkeiten zur Verfügung, die er beide aktiv nutzen sollte. Auf der einen Seite muss der Projektleiter die Äußerungen und das Verhalten der Beteiligten bei den gemeinsamen Projekttreffen beobachten, analysieren und Schlussfolgerungen daraus ziehen. Auf der anderen Seite hat er die Möglichkeit, gezielt persönliche Gespräche mit den Teammitgliedern zu führen und so Unklarheiten aktiv auszuräumen.

Bei der Analyse und der Interpretation des Verhaltens der Beteiligten kann die Anwendung kommunikationstheoretischer Modelle hilfreich sein. An dieser Stelle muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass formale Modelle das Urteilsvermögen des Projektleiters höchstens ergänzen, jedoch in keiner Weise ersetzen können. Dieses Urteilsvermögen baut sich über ein Menschenleben hinweg auf und lässt sich nicht durch wie auch immer geartete Methoden schlagartig verbessern. Kommunikationstheoretische Modelle können das

meist nur intuitive Wissen strukturieren und damit bewusst machen. Auf diese Weise kann der Erfahrungsaufbau unter Umständen beschleunigt werden.

Das Aufklären der Werthierarchien innerhalb eines Teams ist ein komplexes Vorhaben, das sich nur schrittweise umsetzen lässt. Tatsächlich stellt das vollständige Offenlegen der Motivationsstruktur des Teams ein Ideal dar, dem sich der Teamleiter nur graduell annähern kann – sobald er in seinen Bemühungen nachlässt, wird sich sein Bild von der Situation aufgrund der Eigendynamik des Teams sehr schnell von der aktuellen Realität entfernen. Der schrittweise Aufbau eines stimmigen Bildes von den im Team wirkenden Werthierarchien kann allerdings meistens im Gleichklang mit den Teilschritten des methodischen Vorgehens bei der Lösungssuche erfolgen. Diese wird häufig mit der Zusammenstellung denkbarer Lösungsansätze im Team begonnen. Diese Zusammenstellung kann z. B. in Form einer Brainstorming-Sitzung im strengen Sinn oder einer freien Diskussion erfolgen. In beiden Fällen bietet ein solches Zusammentreffen dem Teamleiter die Gelegenheit, die unterschiedlichen Ideen, Standpunkte und Argumente im unmittelbaren Aufeinandertreffen zu erleben. Gleichzeitig kann er aus den Reaktionen der Mitglieder aufeinander viel über die soziale Abhängigkeiten in seinem Team erfahren. Das alles erlaubt es ihm, ein genaues aktuelles Bild der expliziten Urteilsschicht zu gewinnen. Darüber hinaus kann er wahrscheinlich auch schon einen ersten Eindruck gewinnen, inwieweit verborgene Motive den Urteilsbildung im Team bestimmen. Dem Projektleiter muss in diesem Zusammenhang klar sein, dass seine ersten Einschätzungen der Motivstruktur im Team in hohem Maß fehleranfällig sind. Er sollte sie daher von vornherein als Hypothesen betrachten, die einer Bestätigung bedürfen, bevor sie die Grundlage zur Planung von Maßnahmen bilden können. Mit dem Führen persönlicher Gespräche steht dem Projektleiter allerdings ein hervorragendes Mittel zur Verfügung, seine Hypothesen über die Strukturen im Team einer systematischen Überprüfung zu unterziehen. Werthierarchie und Motivationslage im Team unterliegen einem permanenten Wandel. Es ist daher nicht ausreichend, den beschriebenen Zyklus von Beobachtung, Hypothesenbildung und Überprüfung nur einmal zu durchlaufen. Unabhängig davon, ob der Teamleiter versucht hat, den Prozess durch Maßnahmen gezielt zu beeinflussen, muss er sein Bild der Situation im Team durch erneutes Durchlaufen des Zyklus immer wieder auf einen aktuellen Stand bringen.

5.3.2 Gezielte Beeinflussung des Entwicklungsprozesses

Nachdem der Projektleiter einen mehr oder weniger abgesicherten Eindruck von Werthierarchien und Motivlage im Team gewonnen hat, muss er abschätzen, inwieweit die vorgefundene Situation dem Projekterfolg zuträglich ist. Im Einklang mit der Vorstellung von der Lösungssuche und Entscheidungsfindung als politischem Prozess sollten dabei folgende Bewertungsgrundsätze beachtet werden:

- In der Phase der pluralistischen Lösungssuche muss vor allem darauf geachtet werden, dass die Lösungssuche durch ad-hoc-Entscheidungen nicht unzulässig eingeschränkt wird.
- In der Phase der formal unterstützten Konsensfindung sollte die Aufmerksamkeit des Teams dagegen auf die systematische Vorbereitung der konkurrierenden Lösungsansätze auf die formalen Bewertungsschritte und das Herausarbeiten von Konsenspotential gerichtet sein.

Die bei der Lösungssuche und der Entscheidungsfindung im Individuum ablaufenden Prozesse sind nach Auffassung des Autors zu sensibel, um durch irgend welche Zwangsmassnahmen wirkungsvoll beeinflusst werden zu können. Niemand kann auf Befehl eine Lösungsidee zu einer durchdachten konstruktiven Lösung weiterentwickeln, wenn er die Idee von vornherein für unbrauchbar hält. „Verdonnert“ man ihn trotzdem dazu, wird seine Lösung in erster Linie die Unmöglichkeit ihrer Realisierung nachweisen – das ist Zeitverschwendung. Wird also im Sinn der Entwicklungsmethodik wirkliche Lösungsvielfalt im Verlauf der Lösungssuche angestrebt, so verbietet sich die Anwendung von Zwang zur Steuerung des Entwicklungsprozesses. Dennoch kann auch in einem solchen politischen Prozess eine gewisse Steuerung durch den Projektleiter notwendig werden. Diese Steuerung muss auf dem Prinzip des Überzeugens beruhen und wird deshalb in erster Linie argumentativ ablaufen. Die Möglichkeiten des argumentativen Überzeugens sind in der Praxis allerdings begrenzt, so dass dem Projektleiter noch andere Mittel der Einflussnahme zur Verfügung stehen müssen. Die stärkste Überzeugungskraft geht dabei immer noch vom Erfolg konkreten Handelns aus. Ein zentrales Element des vorgeschlagenen methodischen Konzepts ist deshalb die aktive inhaltliche Mitarbeit des Projektleiters im Entwicklungsprozess. Der Projektleiter muss sowohl die fachliche Kompetenz als auch die notwendigen Kapazitäten haben, den Prozessablauf durch *Initialhandlungen* im Sinn des Projekterfolgs zu beeinflussen. Unter Initialhandlungen werden deshalb alle inhaltlichen Aktivitäten des Projektleiters verstanden, die den Prozess der Lösungssuche und Entscheidungsfindung in eine von ihm gewünschte Richtung lenken sollen. Das Ziel des Projektleiters ist es dabei immer, seine Aktivitäten so schnell wie möglich an ein interessiertes und geeignetes Teammitglied zu übertragen und damit zum Selbstläufer werden zu lassen. In Bild 31 wurden die wichtigsten Merkmale der Technik des Initialhandelns in Form der bekannten Methodenbeschreibung aus „thekey“ (BIRKHOFER/LINDEMANN/ALBERS /MEIER 01, S. 461) zusammengestellt.

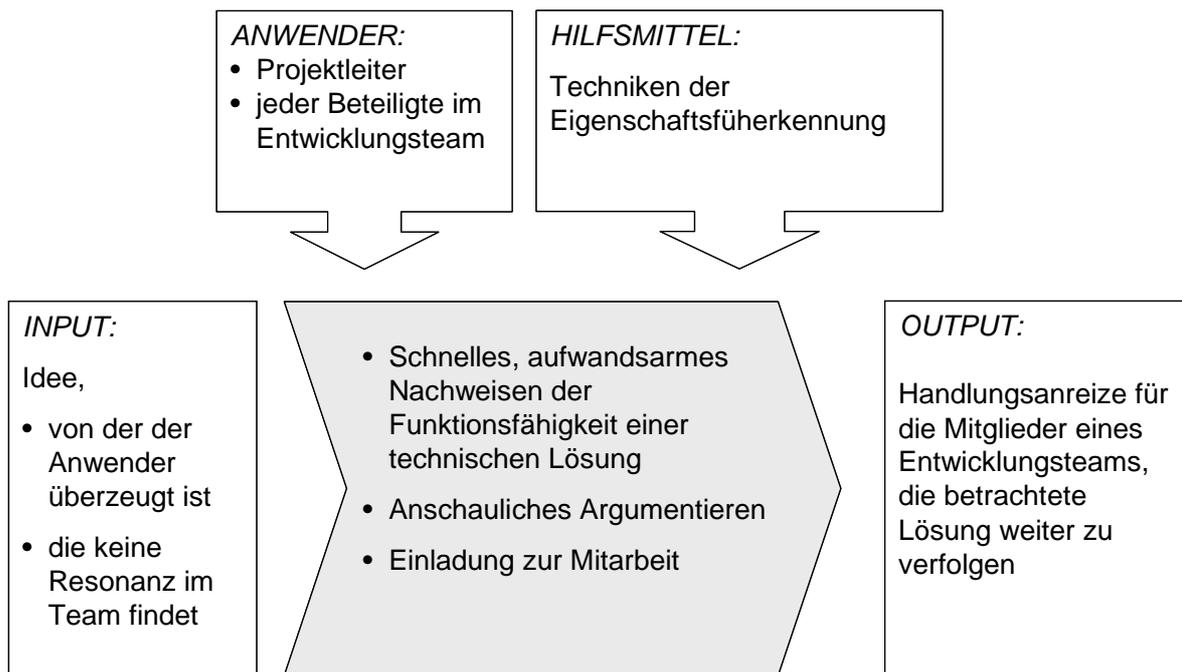


Bild 31: Initialhandeln im Prozessmodell

Damit die Initialhandlung zum wirksamen Mittel der Prozessbeeinflussung in der Hand des Projektleiters wird, muss sie grundsätzlich drei Eigenschaften aufweisen:

- *Hohe Überzeugungskraft*
Das Ergebnis der Initialhandlung muss über eine hohe Überzeugungskraft verfügen. Sowohl das Vorgehen als auch das Ergebnis der Initialhandlung sollte deshalb so anschaulich wie möglich vermittelt werden. Beides muss für alle Teammitglieder unmittelbar nachvollziehbar sein.
- *Schnelle Resultate*
Die Initialhandlung muss schnell zu Resultaten führen, da der Projektleiter möglichst unmittelbare eine Beeinflussung des Entwicklungsprozesses anstrebt.
- *Geringer Aufwand*
Die Initialhandlung muss ohne großen Aufwand durchführbar sein, da dem Projektleiter meist wenig Zeit zur inhaltlichen Mitarbeit im Projekt bleibt.

Die Charakterisierung von Initialhandlungen zur effektiven Prozesssteuerung verweist auf das Instrumentarium der Eigenschaftsfüherkennung (EHRENSPIEL 95, BERNARD 99). Interessant für einen Projektleiter sind in diesem Zusammenhang die einfachen Analysemethoden, die ihm schnell und ohne großen Aufwand zu einem nachvollziehbaren Ergebnis verhelfen. Dazu zählen z. B. der Aufbau einfacher Funktions- oder Anschauungsmodelle und die Durchführung überschlägiger Berechnungen und orientierender Versuche. Diese Techniken können vor allem in der Anfangsphase einer Lösungssuche dazu verwendet werden, das „Abschmettern“ von Vorschlägen auf der Grundlage von ad-hoc-Bewertungen

zu verhindern und so gezielt zu einer größeren Lösungsvielfalt im Interesse der pluralistischen Lösungssuche zu gelangen. In der Phase der Konsensfindung ist der Projektleiter dagegen eher gefordert, nach Ansatzpunkten zur Zusammenarbeit über die konkurrierenden Lösungsansätze hinweg zu suchen. Dabei werden ihm eher die klassischen Techniken der Lösungssuche aus der Entwicklungsmethodik wie z. B. die Variation der Gestalt oder morphologische Kästen eine Hilfe sein.

Die Technik des Initialhandelns wurde hier als das wirksamste Mittel eines Projektleiters beschrieben, einen Entwicklungsprozess im Team ohne die Anwendung von Zwang in die für richtig gehaltenen Richtung zu lenken. Der Aufforderungscharakter einer Initialhandlung kann sich dabei entweder an das gesamte Team oder an ausgewählte Individuen richten. So kann beispielsweise eine vom Projektleiter durchgeführte, überschlägige Berechnung den Zweck haben, einen zögerlichen Berechnungsingenieur gezielt zur Durchführung einer weiteren Variantenrechnung zu bewegen. Oder aber ein einfaches Funktionsmodell wird bei einem gemeinsamen Treffen dazu verwendet, das Team insgesamt für eine bisher unterschätzte Lösungsidee zu interessieren. Initiativhandeln zur Beeinflussung des Entwicklungsprozesses ist natürlich nicht ausschließlich dem Leiter eines Projektes vorbehalten. Vielmehr können die beschriebenen Techniken der Einflussnahme auch von jedem anderen Teammitglied erfolgreich angewendet werden. Dieser Effekt ist im Rahmen des vorgeschlagenen methodischen Vorgehens durchaus beabsichtigt, ja der Projektleiter sollte die Beteiligten durch sein eigenes Vorbild dazu animieren, selbst die Initiative zu ergreifen. Im Idealfall kann sich im Team eine solche Atmosphäre der Aktivität ausbilden, dass der Projektleiter sich weitgehend auf seine Funktion als Moderator des Prozesses zurückziehen kann.

5.4 Zusammenfassung des Kapitels

In diesem Kapitel wurde der Prozess der Konzeptfindung für den Vorschubantrieb einer Hochgeschwindigkeits-Verzahnungsschleifmaschine einer detaillierten Analyse unterzogen. Dabei galt die Aufmerksamkeit des Autors der Fragestellung, wie sich Lösungsideen im Verlauf des Entwicklungsprozesses im Team durchsetzen. Die Untersuchung des Fallbeispiels zeigte sehr deutlich, dass spontane Einschätzungen bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt die Wahrnehmung des Lösungsraums durch die Entwickler beeinflussen. Auf dem Weg der unmittelbaren Verhaltensrückkopplung haben sie zur Folge, dass positiv eingeschätzte Lösungsansätze mit Nachdruck auf methodisch vorgegebene Entscheidungspunkte vorbereitet werden, während negativ eingeschätzte Lösungsansätze nicht wirklich entscheidungsreif gemacht werden. Es besteht deshalb die Gefahr, dass bei formalen Bewertungs- und Entscheidungsschritten lediglich die Wahl zwischen einer oder wenigen „ernsthaften“ Lösungen und zahlreichen Scheinalternativen möglich ist.

Einerseits widerspricht eine solche Situation fundamental der Forderung der Entwicklungsmethodik, mehrere alternative Lösungen auszuarbeiten, um sie anschließend einer

objektiven, rational begründeten Bewertung und Entscheidungsfindung zu unterziehen. Andererseits ist es weder möglich noch wünschenswert, die natürlichen Handlungsinstitute der am Prozess beteiligten Entwickler einfach abzuschalten. Als Ausweg aus diesem scheinbaren Dilemma wurde die *Lösungsfindung als politischer Prozess* beschrieben, bei der unterschiedliche Teile des Teams konkurrierende Lösungsansätze auf methodisch vorgegebene formale Entscheidungsschritte vorbereiten. Auf diese Weise entstanden im Fallbeispiel echte Lösungsalternativen, zwischen denen nach einem formalen Bewertungsschritt eine rationale Entscheidung herbeigeführt werden konnte.

Die *Lösungsfindung als politischer Prozess* zerfällt in die erste Phase der *pluralistischen Lösungssuche* und die zweite Phase der *formal unterstützten Konsensfindung*. Während der Teamleiter in der ersten Phase bestrebt sein muss, die Meinungsvielfalt im Team zu fördern, kommt es in der zweiten Phase darauf an, zu einer für alle Beteiligten akzeptablen Entscheidung zu gelangen. Dies ist besonders wichtig, da das Team im Normalfall im Anschluss an die Entscheidung gemeinsam an dem ausgewählten Lösungsansatz weiterarbeiten muss.

Das aus dem Fallbeispiel abgeleitete methodische Konzept gründet sich ganz wesentlich auf die Eigeninitiative der Teammitglieder. Aus diesem Grund verbietet sich jede Art von Zwangsmassnahmen zur Steuerung des Prozesses der Lösungssuche durch den Teamleiter. Um auf Fehlentwicklungen dennoch reagieren zu können, wurde die Technik des *Initialhandelns* beschrieben. Die Grundgedanke hinter dieser Methode besteht darin, dass die größte Überzeugungskraft zur Beeinflussung anderer von einem erfolgreichen Handlungsergebnis selbst ausgeht. Durch schnelles, aufwandsarmes Nachweisen der Funktionsfähigkeit einer technischen Lösung kann der Teamleiter ohne die Ausübung von Zwang Handlungsanreize auf die Mitglieder eines Entwicklungsteams übertragen.

Die Analyse des Fallbeispiels in diesem Kapitels zeigt auch die Verknüpfungspunkte zwischen dem im vorigen Kapitel entwickelten methodischen Konzept der *diskursiven Lösungssuche* und der *Lösungsfindung als politischem Prozess* auf. Die Entwicklung und Entscheidungsvorbereitung konkurrierender Lösungsansätze in der Phase *pluralistischer Lösungssuche* findet nach den Grundsätzen der *diskursiven Lösungssuche mit abstrakten Zielformulierungen* statt. Dabei können spontane, intuitive Einschätzungen ihre dynamische Kraft im Prozess der Ausgestaltung und Weiterentwicklung von Lösungsideen entfalten. Sie tragen auf diese Weise zur Schaffung echter Lösungsvielfalt bei. Damit wird die Voraussetzung dafür geschaffen, die methodische Forderung nach der Entwicklung alternativer Lösungsansätze wirklich zu erfüllen.

Das methodische Konzept der *Lösungsfindung als politischem Prozess* und die Technik des *Initialhandelns* stellen ebenso wie das Konzept der *diskursiven Lösungssuche* Arbeits-hypothesen dar, die beanspruchen, erfolgversprechende Verhaltensweisen bei der Produktentwicklung zu beschreiben. Die *Lösungsfindung als politischer Prozess* soll aufzeigen, wie eine zentrale Forderung der Entwicklungsmethodik mit als unveränderlich betrachteten

Grundkonstanten des menschlichen Problemlöseverhaltens in Einklang gebracht werden kann. Eine erste, gemeinsame Validierung der methodischen Konzepte dieses und der vorangegangenen Kapitels folgt anhand einer weiteren Fallstudie im folgenden Kapitel.

6 Überprüfung der elementarmethodischen Konzepte am Fallbeispiel

In diesem Kapitel sollen die beiden zentralen methodischen Konzepte dieser Arbeit, das Gestalten als Diskurs und die Lösungssuche als politischer Prozess, in einem abschließenden Fallbeispiel auf ihre Plausibilität hin untersucht werden. Als konkrete Techniken des vorgeschlagenen methodischen Vorgehens stehen dabei die Arbeit mit abstrakten Zielformulierungen und die Beeinflussung der Lösungssuche durch Initialhandlungen auf dem Prüfstand. Das Ergebnis des Fallbeispiels ist ein starkes Indiz dafür, dass es dem Autor mit den beschriebenen Konzepten und Techniken gelungen ist, einen Beitrag dazu zu leisten, die methodische Lücke zwischen den bekannten Konstruktionsmethoden und dem konkreten Handeln des Entwicklers zu schließen. Die Arbeit mit abstrakten Zielformulierungen und die Steuerung der Lösungssuche im Team durch Initialhandlungen stellen somit zwei methodische Grundmechanismen dar, die dazu genutzt werden können, den darüber stehenden klassischen Konstruktionsmethoden wie z. B. der Funktionsanalyse, der Lösungssuche mit Hilfe physikalischer Effekte oder der Variation der Gestalt im Verlauf von Entwicklungsprozessen zu mehr Effektivität zu verhelfen.

6.1 Fallbeispiel „Entwicklung eines Spreizmechanismus für den Einsatz bei der minimalinvasiven Herzchirurgie“

Das folgende Fallbeispiel beschreibt die Entwicklung eines Spreizmechanismus für den Einsatz bei der minimalinvasiven Herzchirurgie, eine Aufgabe, die von unseren Projektpartnern am Deutschen Herzzentrum in München gestellt wurde. Die Entwicklung erfolgte in einem kleinen, interdisziplinär zusammengesetzten Team aus Medizinerinnen und Ingenieuren¹⁰. Der Entwicklungsprozess wurde vom Autor selbst und einem seiner Studenten in Form einer Semesterarbeit dokumentiert (SIEDL 01).

6.1.1 Beschreibung des Entwicklungsprozesses

Seit einiger Zeit wird versucht, bestimmte Operationen am stillgelegten Herzen mit Hilfe von Telemanipulatoren minimalinvasiv durchzuführen. Dabei bedient der Chirurg über eine feinfühligere Fernsteuerung einen Kameraarm und zwei Werkzeugarme, die durch drei kleine Öffnungen von der Seite durch den Brustkorb an das Operationsgebiet herangeführt werden. Die minimalinvasiv durchgeführte Herzoperation erspart dem Patienten das vollständige Öffnen des Brustkorbs durch das Durchtrennen und Aufspreizen des Brustbeins. Während der Operation wird das Herz des Patienten zeitweise stillgelegt, die Versorgung

¹⁰ Dr. med. R. Bauernschmitt und Dr. med. B. Voss vom Deutschen Herzzentrum München und D. Siedl und J. Wulf vom Lehrstuhl für Produktentwicklung der TU München

des Organismus erfolgt während dieser Zeit über eine extern angeschlossene Herz-Lungen-Maschine. Aus medizinischen Gründen sollte der Zeitraum der extrakorporalen Perfusion so kurz wie möglich sein. Speziell bei Operationen an der Mitralklappe erforderte das minimalinvasive Arbeiten bisher allerdings das zeitintensive Freipräparieren des Operationsfeldes bei stillgelegtem Herzen. Aus diesem Grund ergab sich die Aufgabenstellung, einen Mechanismus zu entwickeln, der sich über eine kleine Körperöffnung bis in den Vorhof des Herzens einführen und dort aufspannen lässt, so dass ein ungehindertes Arbeiten an der dahinter liegenden Mitralklappe möglich ist (vgl. Bild 32).

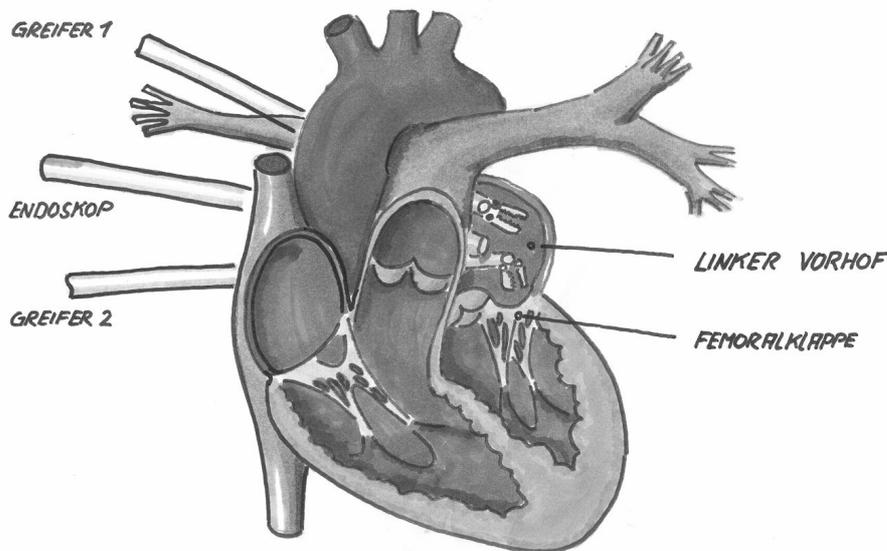


Bild 32: Instrumentenzugang bei minimalinvasiven Herzklappenoperationen

Der Entwicklungsprozess wurde nach methodischen Grundsätzen geplant und durchgeführt. Dabei kann eine Konzeptphase von einer Detaillierungsphase unterschieden werden. Die Konzeptphase orientierte sich sowohl in der Planung als auch in der Durchführung an den drei Grundschritten des Vorgehenszyklus nach Ehrlenspiel. Ihr Ergebnis war die Festlegung eines Konzepts für den Spreizmechanismus. Die Planung für den Ablauf der Detaillierungsphase ergab sich nach der erfolgten Konzeptentscheidung. Ihr Ziel war die Bereitstellung einer kleinen Zahl funktionsfähiger Prototypen, mit denen erste Tests bezüglich einer Verbesserung des Operationsverlaufs durchgeführt werden sollten.

Zur Klärung der Problemstellung wurde einer der beteiligten Mediziner in einem strukturierten Interview befragt, das auf der Grundlage der bekannten Checklisten zur Aufgabendklärung vorbereitet worden war. Das Ergebnis dieser Befragung wurde in einer Anforderungsliste zusammengestellt. Genauso wichtig wie das Erarbeiten einer Anforderungsliste war für die beiden beteiligten Entwickler jedoch, eine möglichst genaue Vorstellung von den räumlichen Bedingungen und dem zeitlichen Ablauf bei der Operation zu gewinnen. Anhand eines zerlegbaren anatomischen Modells des Herzens wurde die Operationsdurch-

führung solange nachvollzogen, bis die Entwickler den Eindruck hatten, alle Vorgänge wirklich verstanden zu haben.

Nachdem eine erste Recherche die Auffassung der Mediziner bestätigt hatte, dass bis dahin keine wirklich überzeugenden Lösungen für das gegebene technische Problem bekannt waren, begann D. Siedl mit der eigenständigen Lösungssuche. Dabei entstanden drei unterschiedliche Lösungsansätze, die jeweils in mehrere Varianten zerfielen. Die erste Gruppe von Lösungen basierte auf aufblasbaren pneumatischen Strukturen, die zweite auf ausschließbaren, elastisch vorgespannten Drahtschlaufen und die dritte aus ausschließbaren, elastisch vorgespannten Drähten.

Um den Lösungsraum möglichst weit auszuspannen, organisierte D. Siedl außerdem ein Brainstorming mit Mitarbeitern des Lehrstuhls. In einer kurzen Präsentation wurde den Beteiligten das Problem kurz erläutert und ihnen die Möglichkeit gegeben, Fragen zu stellen. Im Anschluss daran wurde den Teilnehmern des Brainstormings nacheinander drei zunehmend konkretere Zielformulierungen vorgelegt. Zwischen der Vorgabe der Zielformulierungen wurde der Gruppe ausgiebig Zeit gegeben, Lösungsideen zu entwickeln, zu skizzieren und auszutauschen. Ziel des gewählten Vorgehens war es, die Aufmerksamkeit der Gruppe nach und nach auf die Beschäftigung mit konkreteren Lösungsansätzen zu lenken, ohne dabei von vornherein die Möglichkeit unkonventioneller Lösungsansätze auszuschließen. Das Ergebnis des Brainstormings erbrachte neben einigen unkonventionellen und den bestehenden Lösungsansätzen auch die neue Idee faltbarer Gelenkmechanismen ins Spiel.

Die Diskussion der Ergebnisse durch den D. Siedl und den Autor ergab folgende Einschätzung der verschiedenen Lösungsansätze:

- Die unkonventionellen Lösungsansätze („Ausschäumen mit PU“, „Patient auf den Bauch legen“) erschienen nicht geeignet, das Problem des Offenhalten des Vorhofs während der Operation wirklich zu lösen und wären den Mediziner darüber hinaus nicht vermittelbar. Sie wurden nicht weiterverfolgt.
- Das Brainstorming hat die bisherigen Lösungsansätze von D. Siedl („pneumatische Struktur“, „ausschiebbare Schlingen“ und „ausschiebbare Drähte“) bestätigt. Sie sollten daher auf jeden Fall weiter verfeinert werden.
- Über die Bewertung der Idee faltbarer Gelenkmechanismen bestand dagegen keine Einigkeit im Team. Während der Autor das für einen äußerst vielversprechenden Lösungsansatz hielt, zeigte D. Siedl zunächst wenig Interesse an einer Weiterverfolgung dieses Themas.

Die Diskussion der Lösungsansätze wurde in diesem Stadium abgebrochen, ohne dass definitive Entscheidungen getroffen wurden. Dem Autor war in seiner Funktion als Projektleiter klar, dass die aktuelle Einschätzung der verschiedenen Lösungsansätze dazu führen würde, dass D. Siedl seine bisherigen Lösungsansätze mit Vehemenz weiterverfol-

gen, den neuen Lösungsansatz aus dem Brainstorming jedoch links liegen lassen würde. Er entschied sich deshalb dafür, in dieser Phase des Prozesses selbst aktiv zu werden und den Lösungsansatz der faltbaren Gelenkmechanismen zu überprüfen (vgl. Bild 33, Bild 34).

Der Autor begann damit, aus Pappe und Verschlussklammern ein einfaches Modell des von ihm während des Brainstormings skizzierten Mechanismus zu bauen. Daran zeigten sich sofort zwei fundamentale Schwachstellen: Der Mechanismus ließ sich schlecht zusammenfalten, da immer einzelne Gelenke überdehnt wurden, und er war nicht zwangsläufig, d. h. beim zusammen- oder auseinanderfalten mussten alle Gelenkmechanismen einzeln betätigt werden. Aus dieser Analyse leitete sich die Zielformulierung für den nächsten Entwicklungsschritt ab: „Wie muss ein zwangsläufiger Mechanismus aussehen?“

Diese Zielformulierung führte zu zwei Ideen, dem Viergelenk und der Scherengelenkkette, wie sie in ausziehbaren Schreibtischlampen oder Telefonhaltern zur Anwendung kommt. In einem weiteren Gedankensprung wurde die Kette von Scherengelenken zirkulär geschlossen, so dass gedanklich ein Mechanismus entstand, der sich zylinderförmig entfalten und zusammenlegen ließ. Auch diese Idee wurde sofort in Form eines Modells aus Pappkarton aufgebaut. Das Modell zeigte, dass der aus fünf Scherengelenken zusammengesetzte Mechanismus funktionierte. Allerdings war der Autor der Auffassung, dass die Gelenke nach wie vor stark quer zu ihrer vorgesehenen Bewegungsrichtung belastet waren und der Mechanismus bei einer Verkleinerung auf die geforderte Größe sehr filigran und zerbrechlich ausfallen würde. Daraus ergab sich die Forderung: „Baue einen einfacheren Mechanismus!“

Da dem Autor zum damaligen Zeitpunkt neben Schere, Pappkarton und Klammern unmittelbar nur noch Draht und eine Rundzange zum Bau von Modellen zur Verfügung stand, entstand die Idee, einen vereinfachten Scherenmechanismus nur aus Draht aufzubauen. Die Gelenke eines solchen Mechanismus konnten aus Ösen an den Enden und in der Mitte der einzelnen Stäbe bestehen. Die gedankliche Analyse dieses Mechanismus ergab jedoch, dass ein derart aufgebautes System mit fünf Gelenkkreuzen aufgrund der Freiheitsgrade der Ösengelenke statisch unbestimmt wäre und deshalb in sich zusammenfallen müsste. Dieses Problem führte zu einer weiteren Zielformulierung: „Mache das aus Draht und Ösengelenken aufgebaute System kinematisch bestimmt!“

Die Lösung dieses Problems wurde über die Analogie zu Drei-, Vier- und Fünfgelenken gefunden. Während die beiden letzteren in sich bewegliche kinematische Ketten darstellen, ist das Dreigelenk in sich unbeweglich. Folglich müsste auch der Spreizmechanismus mit Ösengelenken durch Reduzieren der Zahl der Gelenkkreuze von fünf auf drei kinematisch bestimmt gemacht werden können. Von diesem Mechanismus wurde ein Drahtmodell gebaut, mit dem die kinematische Funktionsfähigkeit des Spreizmechanismus nachgewiesen werden konnte. Gleich im Anschluss daran wurde ein genaueres Modell in Originalgröße angefertigt, das letzte Zweifel des Autors am Funktionieren des entwickelten Mechanismus ausräumte.

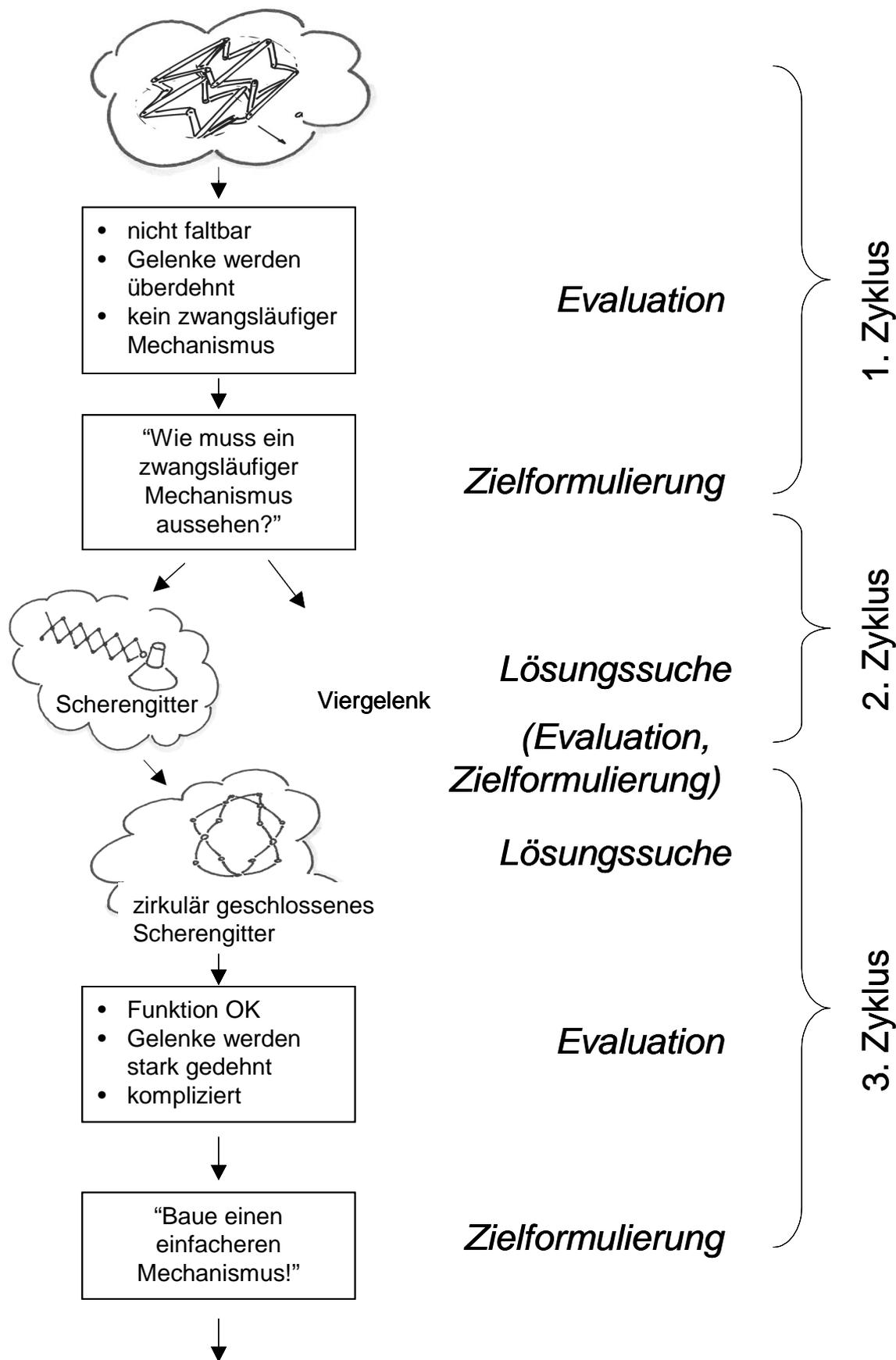


Bild 33: Diskursive Lösungssuche für den faltbaren Gelenkmechanismus (1)

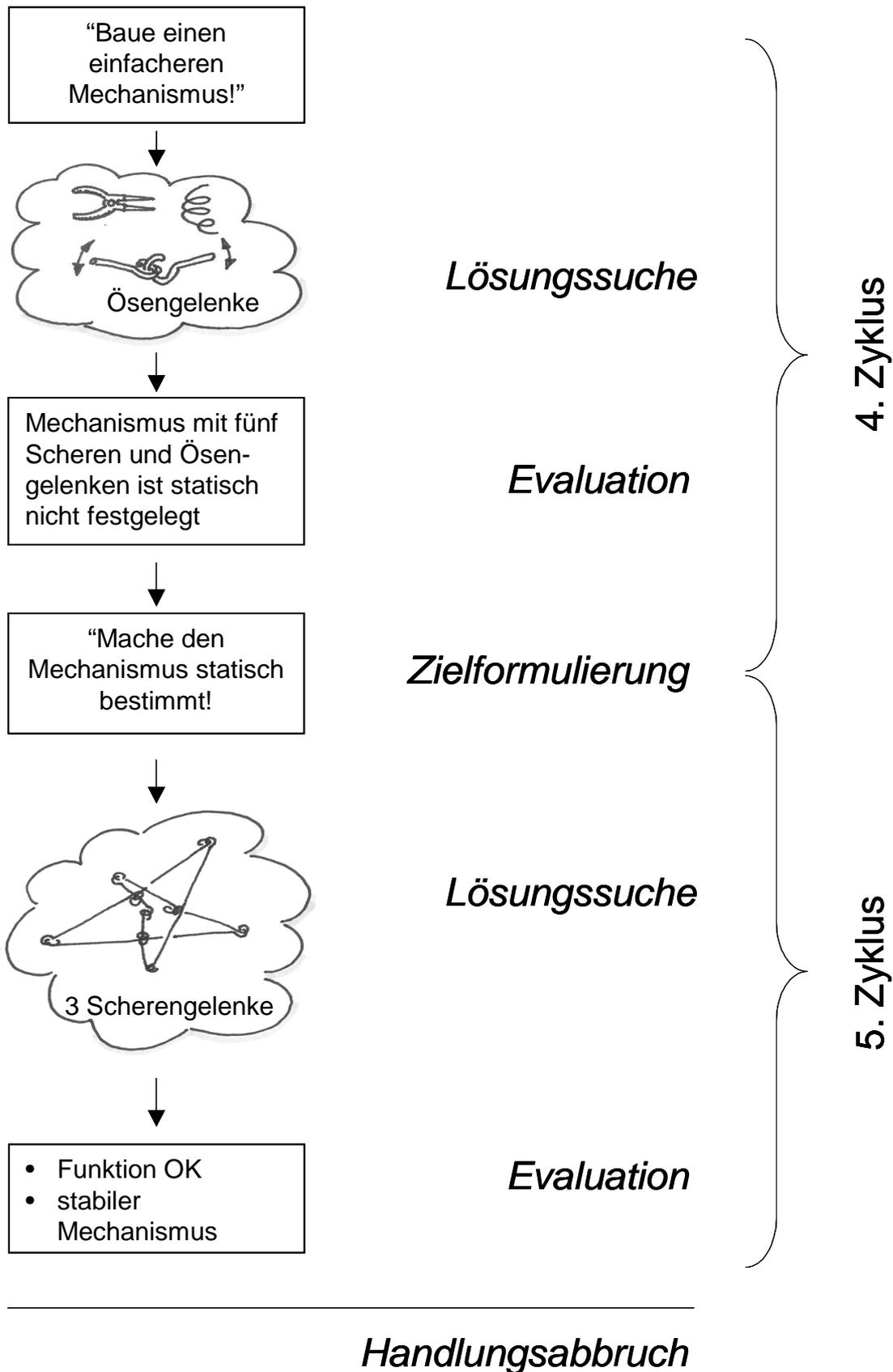


Bild 34: Diskursive Lösungssuche für den faltbaren Gelenkmechanismus (2)

Parallel zu den Arbeiten des Autors entwickelte auch der Student „seine“ Lösungsansätze weiter. Dabei entstanden ebenfalls eine Reihe von Prototypen, mit denen die prinzipielle Funktionsfähigkeit der zugrunde liegenden Lösungsansätze belegt werden konnte. Bei der erneuten Diskussion der Lösungsalternativen zeigte sich der Erfolg der Initialhandlung des Autors. Die verschiedenen Funktionsmodelle überzeugten den Studenten spontan von der Berechtigung der Lösungsansätze auf der Grundlage faltbarer Gelenkmechanismen. Beiden Entwicklern wurde zu diesem Zeitpunkt allerdings auch klar, dass jede weitere Diskussion der Lösungsalternativen in Abwesenheit der Mediziner zu keinem wirklichen Ergebnis führen würde. Es wurde deshalb vereinbart, die Prototypen soweit wie möglich zu verbessern und ein Treffen den Projektpartnern zu organisieren, bei dem die verschiedenen Lösungsansätze gemeinsam auf ihre Eignung hin untersucht und bewertet werden sollten.

Für das Treffen mit den Medizinern wurden folgende Lösungsalternativen in Form von Funktionsmodellen unterschiedlichen Reifegrades vorgestellt:

- Zwei pneumatische Spreizer als maßstäblich vergrößerte Funktionsmodelle
- Ein Spreizer mit einer ausschiebbaeren, vorgespannten Schlinge als maßstäbliches Funktionsmodell aus Metall
- Ein Spreizer mit ausschiebbaeren, vorgespannten Drähten als maßstäbliches Funktionsmodell aus Metall
- Drei Spreizer, die nach dem Prinzip des Scherengitters arbeiteten; eines davon war das Pappmodell des aus fünf flachen Scherenelementen bestehenden Mechanismus, die beiden anderen Varianten des aus drei Scherenelementen bestehenden Mechanismus

Obwohl für dieses Treffen eine gewichtete Punktebewertung vorbereitet worden war, sah sich unser Projektpartner nicht zu eindeutigen Bewertung der vorgestellten Varianten bezüglich einzelner Bewertungskriterien imstande. Er bewertete die Lösungen eher intuitiv in ihrer Gesamtheit. Dabei wurde deutlich, dass ihm die pneumatischen Lösungen aus Gründen der Zuverlässigkeit wenig sinnvoll erschienen (Gefahr der Zerstörung durch Operationswerkzeuge). Bei den übrigen vorgeschlagenen Alternativen war es auch für ihn schwierig, Aussagen über ihre Eignung zu treffen. Allerdings sprach ihn die nur als Pappmodell vorhandene Lösung mit fünf Scherenelementen, die der Autor eigentlich schon verworfen hatte, spontan am meisten an. Es wurde deshalb vereinbart, noch zwei weitere Prototypen zu bauen und daraufhin mit allen maßstäblichen Prototypen Versuche an einem freipräparierten Schweineherz durchzuführen.

Der beteiligte Student entwickelte auf Grundlage des Prinzips der ausschiebbaeren Schlinge einen weiteren Prototypen, der in diesem Fall jedoch mit zwei Schlingen statt einer ausgestattet wurde. Schwieriger gestaltete sich dagegen die Realisierung eines funktionsfähigen, maßstäblichen Modells der Lösung mit fünf Scherenelementen. Die beiden Entwickler stiegen hier erneut in den Diskurs der Gestaltsuche ein (vgl. Bild 35, Bild 36).

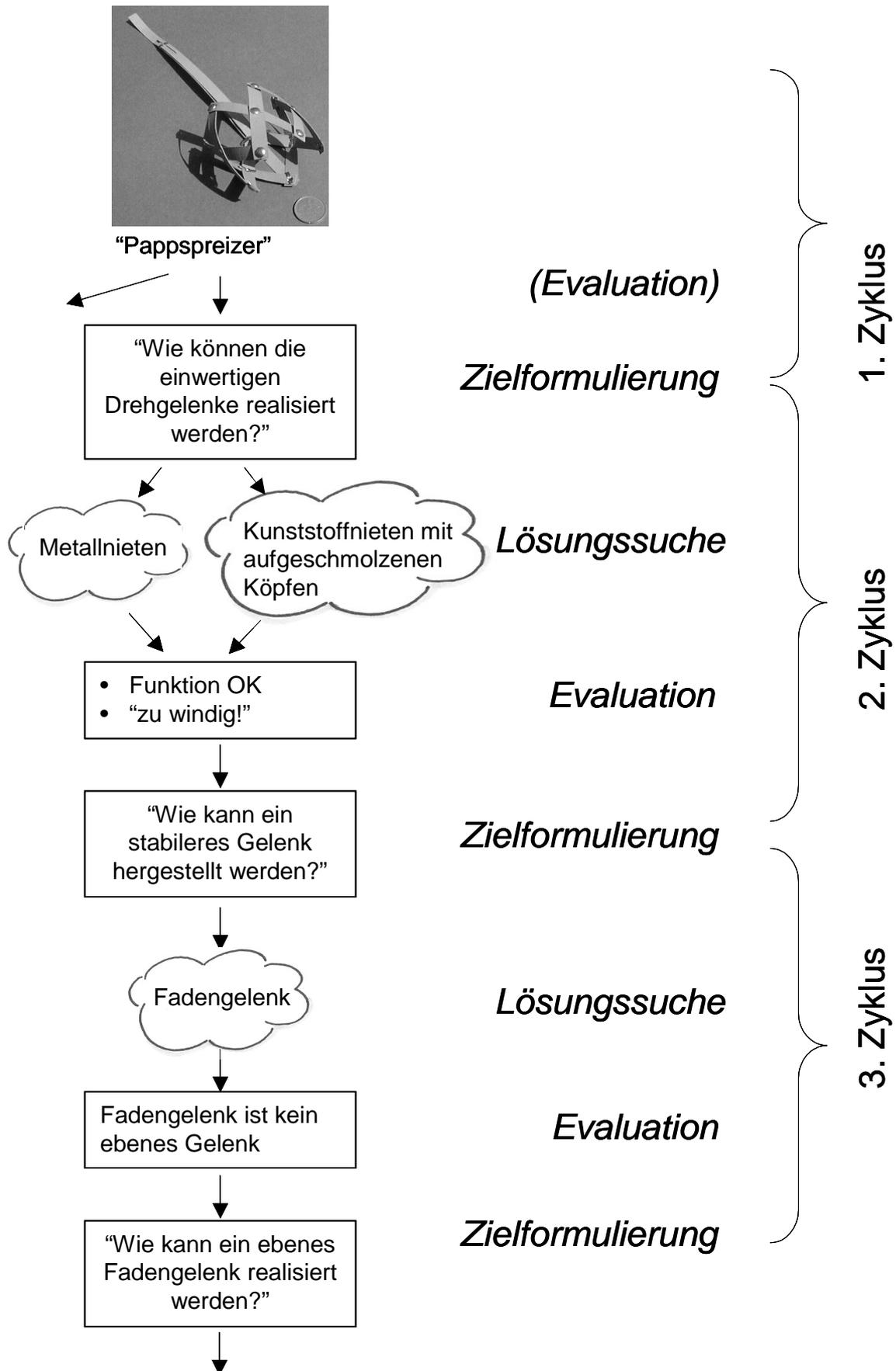


Bild 35: Diskursive Lösungssuche für die Gelenke des Scherenmechanismus (1)

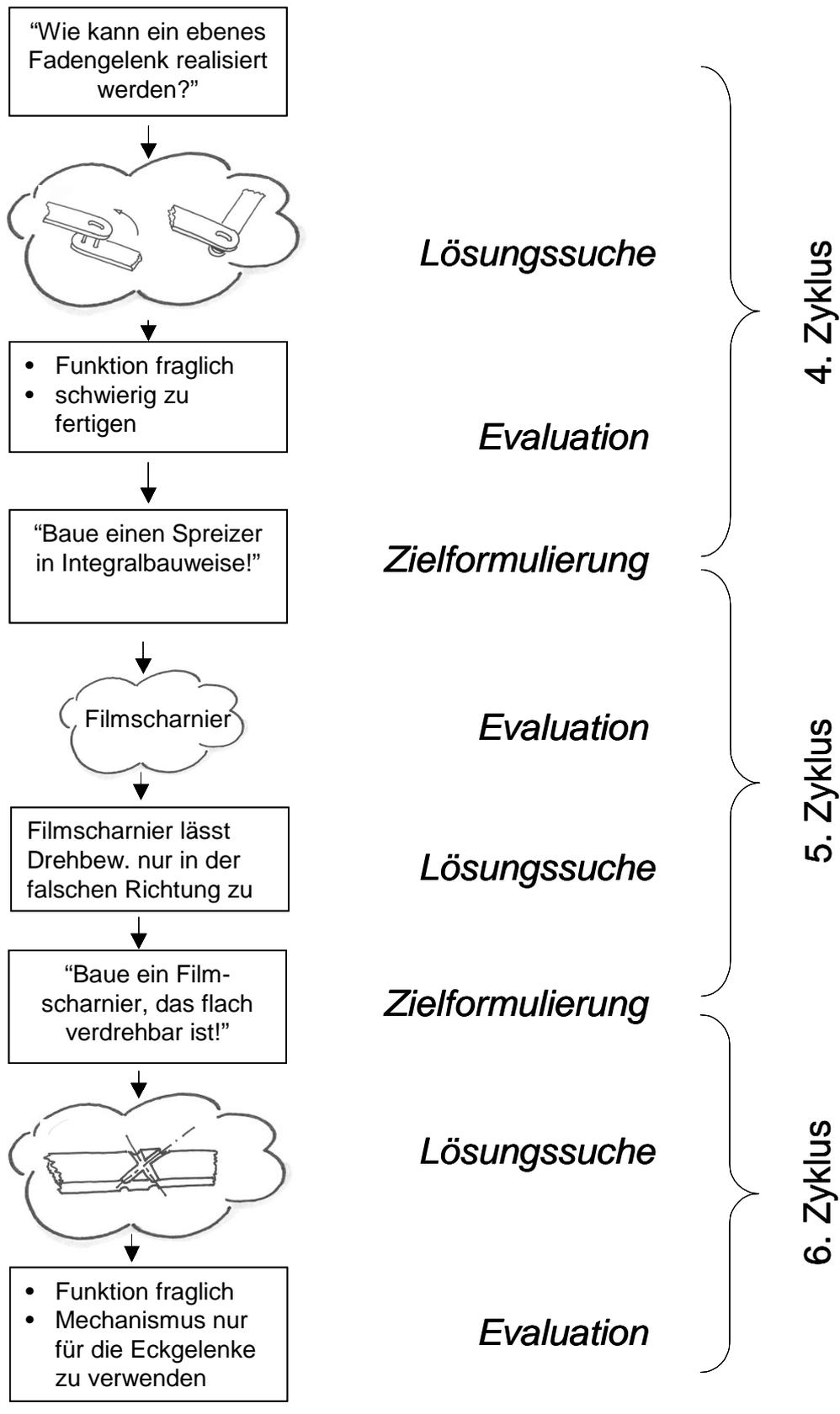
Ausgangspunkt der Überlegungen bildete das existierende Modell aus Pappkarton. Die Forderung nach einem funktionierenden, maßstäblichen Spreizer führte bei der gemeinsamen Analyse zu zwei Zielformulierungen: „Finde ein Material für die Gelenkstäbe, das hinreichend steif ist, um dem geöffneten Spreizer die notwendige Stabilität zu verleihen, andererseits aber auch so flexibel ist, um die Verdrehung der Stäbe beim Falten zuzulassen.“ und „Wie können die einwertigen Miniaturdrehgelenke im Scherengitter realisiert werden?“

Die Diskussion der ersten Zielformulierung ergab zwei Möglichkeiten der Materialwahl, entweder Federstahlstreifen oder flexible Kunststoffstreifen. Da Federstahl in so kleinen Dimensionen sehr schwierig zu bearbeiten ist, entschieden sich die Entwickler übereinstimmend für die Verwendung von Kunststoff.

Bei der Suche nach Möglichkeiten zur Realisierung der zweiten Zielformulierung orientierten sich die Entwickler zunächst am Funktionsprinzip der im Pappmodell verwendeten Verschlussklammern für Briefumschläge. Ihre Ähnlichkeit mit Nieten führte zu gemeinsamen Überlegungen, wie die Miniaturgelenke durch bewegliche Nietverbindungen realisiert werden könnten. Während der Autor über die Verwendung von Metallnieten nachdachte, entwickelte der Student am Whiteboard die Idee, eine Nietverbindung durch das beidseitige Aufschmelzen und Flachdrücken eines Kunststofffadens zu erzeugen.

Dem Autor erschien diese Lösung spontan als „zu windig“, weshalb er nach weiteren Lösungsansätzen suchte. Dabei brachte ihn der Faden des Kunststoffnietes auf die Idee, den Mechanismus mit Fadengelenken auszustatten, wie sie bereits in einem der Prototypen mit drei Scherengelenken erfolgreich angewendet worden sind. Im Fall des fünfgliedrigen Mechanismus bestand allerdings die Notwendigkeit, ausschließlich Bewegungen in einer Ebene zuzulassen: „Wie können zwei flache Stäbe an ihren Enden so durch Fäden verbunden werden, dass sie nur in einer Ebene gegeneinander verdreht werden können?“

Das Durchspielen unterschiedlicher Varianten zur Erfüllung dieser Zielformulierung führte schließlich zu einer Lösung, bei der beide Stabenden über eine Schlinge miteinander verbunden sind. Anfangs hängen die beiden Stäbe nur lose aneinander. Beginnt man allerdings, sie gegeneinander zu verdrehen, so verringert sich ihr Abstand, bis die Stabenden begrenzt durch die Größe der Schlaufe sich schließlich unmittelbar aneinander schmiegen. Der Student zweifelte die Funktionsfähigkeit dieser Idee an und gab zu bedenken, dass das exakte Knüpfen der vielen Schlingen sehr aufwendig sein würde. Aus diesem Einwand entsprang eine weitere Zielformulierung: „Wäre es möglich, den Spreizer aus einem Stück, d. h. mit Hilfe von Festkörpergelenken zu realisieren?“



Handlungsabbruch

Bild 36: Diskursive Lösungssuche für die Gelenke des Scherenmechanismus (2)

Sehr schnell kam der Gedanke auf, dass Festkörpergelenke in den verwendeten Kunststoffstreifen einfach in Form von Filmscharnieren zu realisieren wären. Nach einigem Variieren entstand die Idee, die Endgelenke der Scherengitter durch zwei sich überkreuzende Filmscharniere zu ersetzen, die von ihrer Lage einmal der zusammengelegten und einmal der entfalteten Endstellung des Mechanismus entsprachen. Die Funktion eines solchen doppelten Filmgelenks wurde mit Hilfe eines zweifach gefalteten Papierstreifens sofort überprüft; auf diese Weise ließen sich die Endgelenke, nicht jedoch die Scherengelenke ersetzen. Bei einer ungeraden Anzahl von Scherengelenken wäre es allerdings möglich, den gesamten Mechanismus aus einem einzigen Band herzustellen, das lediglich an fünf Punkten drehbar mit sich selbst verbunden werden müsste.

Auch an dieser Stelle erwies sich die weitere theoretische Diskussion der verschiedenen Lösungsvorschläge sehr schnell als fruchtlos. Der Student übernahm daraufhin die praktische Überprüfung der Alternativen. Dabei konzentrierte er sich gleich auf die von ihm gefühlsmäßig favorisierte Lösung mit Kunststoffnieten. Die auf diese Weise geschaffenen Drehgelenke arbeiteten wider Erwarten so präzise und zuverlässig, dass von der weiteren Untersuchung der übrigen Lösungsansätze abgesehen werden konnte. Es entstand ein zweiter Prototyp des Spreizers mit fünf zirkulär verbundenen Scherengelenken in einer aus Kunststoff gefertigten, maßstäblichen Ausführung. Dieser Spreizer funktionierte zum Erstaunen der Entwickler trotz seiner filigranen Bauweise sehr gut.

Die Versuche zur Bewertung der Prototypen bestanden darin, ein Schweineherz so zu präparieren, dass ein Zugang zur Herzklappe bestand, wie er ähnlich auch bei einer minimalinvasiven Klappenoperation geschaffen wird. Anschließend wurden die unterschiedlichen Spreizer eingesetzt und mit Hilfe einer vorab festgelegten Frageliste bewertet. Die Bewertung nahm dabei natürlich in erster Linie der Chirurg vor, der die Präparation durchführte. Die Ergebnisse der Bewertung sprachen sowohl was die Funktion, als auch die Sicherheit und Störanfälligkeit der Spreizer betrifft, relativ klar für die Lösungsansätze auf der Grundlage von Scherenmechanismen. Mit Abstand am besten bewertet wurde dabei der sich kreisförmig öffnende Spreizer mit fünf Scherenelementen, von dem in der Folge noch weitere Prototypen für Versuchszwecke aufgebaut wurden.

Das gewählte Funktionsprinzip für einen Spreizer wurde inzwischen zum Gebrauchsmuster angemeldet und soll kommerziell verwertet werden.

6.1.2 Validierung der angewendeten methodischen Konzepte

Im beschriebenen Entwicklungsvorhaben hat der Autor in seiner Funktion als Projektleiter und Entwickler die beiden von ihm beschriebenen elementarmethodischen Konzepte bewusst angewendet. In den folgenden beiden Teilkapiteln soll darum zum Abschluss dieser Arbeit die Wirkung sowohl der diskursiven Lösungssuche mit Hilfe von Zielformulierungen, als auch die Lösungsfindung als politischer Prozess einer kritischen Analyse unterzogen werden.

6.1.2.1 Diskursive Lösungssuche

Im Verlauf des beschriebenen Entwicklungsprozesses wurde zweimal eine *diskursive Lösungssuche* durchgeführt und gleichzeitig detailliert beobachtet und dokumentiert. Im ersten Fall handelte es sich um die Initialhandlung, die der Autor allein durchführte um dem Lösungsansatz eines faltbaren Gelenkmechanismus zur Anerkennung zu verhelfen. Die zweite diskursive Gestaltfindung wurde im Dialog zwischen dem Studenten und dem Autor durchgeführt und diente der funktionsfähigen Realisierung des fünfgliedrigen Scherenspreizers.

Beide Prozessabschnitte lassen sich ähnlich dem Vorgehen in Kapitel 4.1.2 in Mikrozyklen der Handlungsregulation einteilen. Bild 33 und Bild 34 zeigen schematisch die fünf Mikrozyklen, die den Autor von der aus dem Brainstorming stammenden ersten Skizze zu dem Spreizmechanismus mit drei Scherengelenken aus Draht geführt hat. Tschan hat für Kleingruppen experimentell nachgewiesen, dass der Prozentsatz handlungsbegleitender idealer Kommunikationszyklen in besonderem Maß mit der Leistung der Gruppe korreliert. Der Autor hat im Anschluss an diese Beobachtung auf der Grundlage verschiedener Fallstudien die Vermutung geäußert, dass die Qualität aufeinanderfolgender Handlungszyklen vorwiegend durch sprachliche Mittel aufrechterhalten wird. Nach dieser Vermutung nehmen *abstrakte Zielformulierungen* eine zentrale Mittlerrolle zwischen den unabhängigen Handlungszyklen ein: Sie sind gleichzeitig Endbewertung des abgeschlossenen Handlungszyklus und (!) Ziel des sich anschließenden Handlungszyklus im Sinn des Cranachschen Zyklus handlungsregulierender Informationsverarbeitung. Auf diese Weise sorgen sie dafür, dass sich an einen idealen Handlungszyklus mit einiger Wahrscheinlichkeit ein weiterer idealer Handlungszyklus anschließen kann. Auf dieser Erkenntnis baut das methodische Konzept der *diskursiven Lösungssuche* bei der Lösung konstruktiver technischer Problemstellungen auf.

In dem in Bild 33 und Bild 34 wiedergegebenen Prozessabschnitt hat sich der Autor bewusst dazu gezwungen, den Evaluationsschritt im Anschluss an jede Handlungsausführung in Form einer abstrakten Zielformulierung zusammenzufassen. Die Zielformulierung übernimmt dabei sowohl die Aufgabe der Endbewertung der aktuellen technischen Lösung, als auch der Zielvorgabe für die folgende Handlungseinheit. Sehr schön wird dies im ersten und zweiten Handlungszyklus deutlich: Die Analyse der aus dem Brainstorming stammenden Idee benennt die nicht vorhandene Zwangsläufigkeit des Mechanismus als seinen wesentlichen Schwachpunkt. Als positive Zielformulierung führt die daraus abgeleitete Frage „Wie muss ein zwangsläufiger Mechanismus aussehen?“ unmittelbar zur Assoziation des Scherenmechanismus. Zwischen dem zweiten und dritten Handlungszyklus kam es dagegen zu keiner expliziten Formulierung von Zielen: Die Anforderungen an die Lösung waren dem Autor wohl so bewusst, dass er ohne weiter abstrakte Konstruktionen von der „Schreibtischlampe“ zum zirkulär geschlossenen Scherenspreizer gelangte. Erst daraufhin folgt wieder eine expliziter Evaluationsschritt, der zur Forderung nach einem „einfacheren Mechanismus“ führte, die als Bindeglied zwischen dem dritten und vierten Zyklus fungier-

te. Die Modellierung und Evaluation der neuen Lösung im Rahmen des vierten Zyklus erfolgte rein gedanklich und lieferte die Zielformulierung, „das System statisch bestimmt zu machen“. Der fünfte Handlungszyklus konnte diese Forderung schließlich erfüllen und den Entwicklungsprozess damit zu einem vorläufigen Abschluss bringen.

Bild 35 und Bild 36 zeigen den zweiten Prozessabschnitt, in dem das Konzept der diskursiven Lösungssuche zur Anwendung kam, diesmal im wirklichen Dialog zwischen dem Studenten und dem Autor. Auch hier kann der Prozess in Mikrozyklen unterteilt werden, die in vielen Fällen über Zielformulierungen miteinander verknüpft sind. Im ersten Zyklus, der in der Analyse des Pappmodells des Spreizers bestand, wurde das Problem in zwei Teilprobleme unterteilt und zwei Zielformulierungen abgeleitet. Der Prozess spaltet sich hier in zwei Äste auf. Der eine Ast kommt mit der Definition zweier Materialalternativen und der Entscheidung für die Kunststoffvariante im Verlauf eines weiteren Handlungszyklus zu einem vorläufigen Ende. Beim Bearbeiten der Zielformulierung am Beginn des zweiten Asts ergab sich eine stärkere Dynamik, die die Entwicklung verschiedener alternativer Gelenkformen im Verlauf mehrerer Handlungszyklen zur Folge hatte. Es zeigte sich wieder, dass die abstrakten Zielformulierungen in den meisten Fällen eine wichtige Schnittstellenfunktion zwischen den einzelnen Handlungszyklen übernommen haben. Sie fassen das Ergebnis des vorhergehenden Handlungszyklus zusammen und schaffen damit eine Zielvorgabe für den sich anschließenden Zyklus.

Bei der Lösungssuche in einem Zweierteam tritt der diskursive Charakter dieser Form der elementaren Lösungssuche stärker hervor als beim „Selbstgespräch“ eines einzelnen Entwicklers. Es wird deutlich, dass die beiden beteiligten Personen im Verlauf der Lösungssuche unterschiedliche Rollen in diesem Dialog wahrgenommen haben. Während der Student im Verlauf der ersten beiden Zyklen die aktive Lösungssuche übernommen hat, hat sich der Autor auf die Rolle des „Kritikers“ zurückgezogen. Dieses Verhältnis kehrte sich in dem Moment um, in dem der Student die für ihn zufriedenstellende Nietenzuglösung entwickelt hat. Damit entfiel bei ihm die Motivation, aktiv nach Lösungen zu suchen. Um seine aktuell bestehende Unzufriedenheit mit den bestehenden Lösungsalternativen auszuräumen, war der Autor gezwungen, selbst aktiv zu werden. In den folgenden Handlungszyklen war der Student daher vorwiegend der „Kritiker“, der den Autor zu weiteren Lösungsansätzen trieb. Dabei fällt die temporäre Aufgabenverteilung zwischen „Kritiker“ und „Lösungssucher“ im Rahmen der betroffenen Handlungszyklen auf. Während der „Kritiker“ die aktuelle Lösung analysiert und sofort mit Worten bewertet, greift der „Lösungssucher“ dieses oft harte Urteil auf und formuliert es positiv in eine weitere abstrakte Zielformulierung um, mit der er dann selbst weiterarbeitet.

Eine weitere interessante Beobachtung betrifft den Zeitpunkt im Verlauf einer diskursiven Lösungssuche, zu dem die im Entwicklungsprozess letztlich weiterverwendeten Lösungsansätze entstanden sind. In beiden betrachteten Prozessabschnitten wurde die später jeweils ausgewählte Lösung mitten im Verlauf der diskursiven Lösungssuche und nicht an deren Endpunkt generiert. Es kann als mehr oder weniger zufällig betrachtet werden, wann genau

die bei einer nachträglichen Analyse und Bewertung am besten eingestuften Lösungen im Prozessverlauf entstehen. Diese Zufälligkeit der Lösungsentstehung charakterisiert die diskursive Lösungssuche jedoch als ein methodisches Konzept, das sich ausschließlich für die Lösungssuche eignet. Die im Prozessverlauf ins Spiel gebrachten Analysen und Urteile dienen lediglich der Unterstützung der Lösungssuche und dürfen auf keinen Fall mit einer methodischen Entscheidung im Anschluss an eine abgeschlossene Lösungssuche verwechselt werden. Vielmehr müssen alle im Verlauf der diskursiven Lösungssuche entwickelten Lösungsideen im Anschluss einer übergreifenden Analyse und Bewertung im Sinn der Konstruktionsmethodik unterzogen werden. Wie wichtig dies ist, zeigt sich am Beispiel des fünfgliedrigen Scherenspreizers. Im Verlauf der diskursiven Lösungssuche war der Autor über diese Variante hinweggegangen, um zu einer seiner Meinung nach „noch besseren“ Lösung zu gelangen. Hätten die beiden Entwickler diese lediglich als Pappmodell existierende Lösung nicht – nebenbei und eigentlich ohne innere Überzeugung – dem Projektpartner gezeigt, wäre diese später am besten bewertete Lösung sang- und klanglos untergegangen.

6.1.2.2 Lösungsfindung als politischer Prozess

Wie es bei der Analyse der im vorherigen Abschnitt herausgegriffenen elementaren Gestaltungsprozesse bereits anklang, wurde der Ablauf des Entwicklungsprozesses nach den in Kapitel 5 dargelegten Grundsätzen der *Lösungssuche als politischem Prozess* gesteuert. Der Prozess der Konzeptfindung zerfällt danach in die beiden groben Phasen der *pluralistischen Lösungssuche* und der *formal unterstützten Konsensfindung*, die fließend ineinander übergehen.

In unserem Beispiel begann die Phase der *pluralistischen Lösungssuche* (vgl. Kapitel 5.2.1) im Anschluss an die Aufgabenklärung und ging mit der Vorstellung der ersten Lösungsvorschläge beim Projektpartner zu Ende. In dieser Phase wurde immer wieder gemeinsam nach neuen Lösungsideen gesucht und bestehende Lösungsideen im Team diskutiert, so z. B. im Rahmen der Brainstormingsitzung oder zahlreicher Besprechungen zwischen dem Autor und dem beteiligten Studenten. Das konkrete Vorgehen der beiden Entwickler bei der Lösungssuche wurde jedoch vor allem durch ihre individuelle Einschätzung der unterschiedlichen Lösungsansätze bestimmt. Wie in Kapitel 5.1.2.2 beschrieben wurde, bilden sich diese individuellen Einschätzungen meist spontan mit der Entwicklung erster Lösungsideen vor dem Hintergrund der persönlichen Werthierarchien der Beteiligten. Diese individuellen Einschätzungen führen dazu, dass vielversprechend erscheinende Lösungsansätze vehement und mit großem persönlichen Engagement weiterverfolgt werden, während negativ bewertete Ideen mehr oder weniger ignoriert werden. Dieses Verhaltensmuster lässt sich im Fallbeispiel sehr gut am Vorgehen des beteiligten Studenten beobachten. Er entwickelte zunächst vollkommen selbständig drei verschiedene, ihm vielversprechend erscheinende Lösungsansätze („pneumatische Struktur“, „ausschiebbare Schlingen“ und „ausschiebbare Drähte“). Danach organisierte er die Brainstormingsitzung, die neben

„seinen“ auch noch weitere Lösungsansätze erbrachte („Ausschäumen mit PU“, „Patient auf Bauch legen“, „Faltbare Gelenkmechanismen“). Die Diskussion der im Brainstorming entstandenen Lösungsideen (vgl. S. 117) führte aus seiner Sicht zu einem klaren Fazit: Die von ihm entwickelten drei alternativen Lösungsansätze wurden in ähnlicher Form auch im Rahmen des Brainstormings vorgebracht und waren damit „bestätigt“ worden; sie sollten deshalb unbedingt weiter konkretisiert werden. Die übrigen Lösungsideen schienen ihm dagegen weniger erfolgversprechend zu sein und verdienten deshalb zunächst keiner weiteren Betrachtung.

Das beobachtete Verhalten weist einige verblüffende Parallelen zum in Teilkapitel 2.3.1 beschriebenen „Rubikonmodell der Handlung“ nach Heckhausen und Gollwitzer auf, die etwas näher betrachtet werden sollen. Heckhausen und Gollwitzer unterscheiden in ihrem Handlungsmodell vier verschiedene Handlungsphasen, die durch zwei grundsätzlich verschiedene Bewusstseinslagen der handelnden Person bestimmt werden. Eine Handlung entsteht danach aus einer prädeziationalen Phase heraus, die durch eine *motivationale Bewusstseinslage* geprägt ist. Motivationale Bewusstseinslagen sind realitätsorientiert und lassen Fragen nach der Nützlichkeit einer Handlung oder die Abwägung von Handlungsalternativen zu. Eine motivationale Bewusstseinslage bei beiden beteiligten Entwicklern kann im Fallbeispiel mit Sicherheit für die Phase der Aufgabenklärung und der ersten unbefangenen Suche nach Lösungsideen festgestellt werden. So diente die Aufgabenklärung dem Verständnis des real ablaufenden Operationsprozesses, die erste Suche nach Lösungsideen dem Generieren von Handlungsalternativen in Form unterschiedlicher Lösungsansätze.

Wie beschrieben, setzt jedoch bereits mit dem Generieren erster Lösungsideen auch deren spontane Bewertung durch die Beteiligten ein. Diese individuellen Einschätzungen der unterschiedlichen Lösungsansätze (Handlungsalternativen) führen dann unter Umständen sehr schnell dazu, dass der Rubikon im Sinne Heckhausens und Gollwitzers durchschritten, d. h. eine konkrete Handlungsentscheidung gefällt wird. Im Fallbeispiel ist zu vermuten, dass der Student diesen ersten Transitionspunkt im Handlungsablauf für sich bereits während seiner eigenständigen Lösungssuche durchlaufen hat und sich daraufhin in einer *volitionalen Bewusstseinslage* befand. Dies lässt sich aus seiner Reaktion auf die Ergebnisse des Brainstormings schließen: Sie ist geprägt durch das Gefühl der Bestätigung der eigenen Lösungsansätze und die Ablehnung neu hinzukommender Lösungsideen. Genau dieses Verhalten ist nach Heckhausen und Gollwitzer für die eine volitionale Bewusstseinslage zu erwarten. Sie ist realisierungsorientiert und konzentriert sich deshalb auf die Überwindung von Hindernissen. Alternative Lösungsideen werden dagegen als konkurrierende Handlungstendenzen abgewehrt.

Beim Autor erfolgte der Umschlag der motivationalen Bewusstseinslage in eine volitionale Bewusstseinslage erst im Anschluss an das Brainstorming. Das lag daran, dass er sich bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht näher mit der Problemlösung befasst hatte und sich deshalb auch noch keine individuellen Einschätzungen herausbilden konnten. Im Verlauf des

Brainstormings und der sich anschließenden Diskussion mit dem Studenten gelangte der Autor jedoch immer mehr zur Auffassung, dass die Problemstellung am elegantesten durch einen faltbaren Gelenkmechanismus zu lösen sein musste. Zusätzlich angespornt durch das ablehnende Verhalten des Studenten geriet der Autor nun seinerseits in eine volitionale Bewusstseinslage, die in erster Linie darauf gerichtet war, zu beweisen, dass ein solcher faltbarer Gelenkmechanismus realisierbar war. Daran schloss sich der in Bild 33 und Bild 34 dokumentierte und in den beiden vorangehenden Teilkapiteln bereits ausführlich beschriebene Prozessabschnitt zur Entwicklung der Scherenspreizer an.

Der weitere Handlungsablauf nach dem ersten Transitionspunkt lässt sich dagegen nicht mehr eindeutig mit dem Rubikonmodell der Handlung zur Deckung bringen. Dies liegt daran, dass die von Heckhausen und Gollwitzer beschriebene volitionale Bewusstseinslage nach dem Überschreiten des „Rubikon“ im Fallbeispiel offensichtlich über einen längeren Zeitraum und damit über mehrere elementare Handlungszyklen hinweg anhielt. Das gilt für das Verhalten des Studenten ebenso wie für das des Autors, die in dieser Phase um jeden Preis versuchten, ihre jeweiligen Lösungsansätze zu optimieren. Sehr deutlich wird diese Verhaltensweise bei der Analyse des Prozessabschnitts zur Entwicklung eines faltbaren Gelenkmechanismus durch den Autor. Mit Ausnahme des letzten endet in diesem Prozessabschnitt jeder der beschriebenen fünf elementaren Handlungszyklen mit einer negativen Evaluation des aktuellen Entwicklungsstands. Diese negative Bewertung des Handlungsergebnisses führt jedoch keinesfalls zum Abbruch des Handlungsstrangs. Vielmehr wird sie im Sinne der diskursiven Lösungssuche positiv in eine abstrakte Zielformulierung umgesetzt, die eine unmittelbaren Handlungsfortsetzung anregt. Diese Abfolge von elementaren Handlungszyklen oder von präaktionalen Phasen und Ausführungsphasen, um in der Terminologie von Heckhausen und Gollwitzer zu sprechen, dauerte im Fallbeispiel solange an, bis der Autor mit dem dreigliedrigen Scherenspreizer zu einem für ihn befriedigenden, vorläufigen Endergebnis gelangte. Tatsächlich kann auf der Grundlage der Analyse des Fallbeispiels die Vermutung geäußert werden, dass eine volitionale Bewusstseinslage nach Heckhausen und Gollwitzer bei zumindest einer beteiligten Person die psychische Grundlage für die vom Autor beschriebene *diskursive Lösungssuche* darstellt. Denn nur das strikt realisierungsorientierte Ausblenden konkurrierender Lösungsansätze ermöglicht es, einem bestimmten Lösungsansatz wirklich auf den Grund zu gehen – zunächst unabhängig von der Frage, ob diesem letztlich Erfolg beschieden ist oder nicht.

Wird das Verhalten der Beteiligten im Fallbeispiel im Licht des Handlungsmodells von Heckhausen und Gollwitzer betrachtet, so wird die Notwendigkeit eines pluralistischen Lösungsansatzes bei der Konzeptentwicklung unmittelbar einsichtig. Einzelpersonen tendieren dazu, sich vor dem Hintergrund ihrer persönlichen Werthierarchie mehr oder weniger spontan für bestimmte Lösungsansätze zu entscheiden. Diese frühzeitige Festlegung auf eine oder wenige Handlungsalternativen widerspricht im Grunde der Forderung der Entwicklungsmethodik, bei der Konzeptfindung zunächst eine gewisse Lösungsvielfalt zu schaffen, aus der dann in einem oder mehreren Evaluations- und Entscheidungsschritten

die beste Lösung ausgewählt wird. Auf der anderen Seite scheint der auf die Umsetzung eines Ziels gerichtete „Tunnelblick“, die realisierungsorientierte volitionale Bewusstseinslage, zumindest hilfreich dabei zu sein, um aus einer zunächst vagen Lösungsidee ein durchdachtes technisches Konzept zu entwickeln – und damit überhaupt erst die Voraussetzung für eine objektive Bewertung einer technischen Lösung zu schaffen. Die pluralistische Lösungssuche bietet einen einfachen Ausweg aus diesem scheinbaren Dilemma. Das Fallbeispiel zeigt, dass sich im Team ohne besonderes Zutun unterschiedliche Einschätzungen alternativer Lösungsideen ergeben können. Diese Differenzen im Team wurden nicht sofort „bereinigt“, sondern die Beteiligten dazu ermutigt „ihre“ jeweiligen Lösungsansätze auf den nächsten Entscheidungspunkt vorzubereiten. Auf diese Weise gelang es im Rahmen des beschriebenen Projekts zwanglos, die in Teilkapitel 5.2.1 aufgezählten Vorteile der pluralistischen Lösungssuche zu realisieren:

- *Erarbeitung echter Lösungsalternativen*
Die beiden beteiligten Produktentwickler haben, gestützt auf ihre persönliche Überzeugung und ihr Engagement, echte Lösungsalternativen im Sinn der Entwicklungsmethodik bis zum ersten offiziellen Bewertungs- und Entscheidungspunkt ausgearbeitet. Dabei wurden die einzelnen Lösungsalternativen durch den Bau einfacher Modelle direkt miteinander vergleichbar gemacht.
- *Vermeidung von Scheinalternativen*
Es wurden keine Lösungsalternativen verfolgt, nur um den Anschein einer methodisch breiten Lösungssuche zu erwecken. Beide Entwickler erarbeiteten parallel mehrere Alternativen nur deshalb, weil es trotz der umfassenden Aufgabenklärung schwer abschätzbar war, welcher Mechanismus sich im Operationsprozess am besten bewähren würde.
- *Vermeidung systematischer Fehler bei der Lösungssuche*
Das Endergebnis des Entwicklungsprozesses zeigt, dass mit Hilfe des pluralistischen Ansatzes in diesem Fall ein systematischer Fehler bei der Lösungssuche (Nichtbeachtung des Lösungsansatzes des faltbaren Gelenkmechanismus) vermieden werden konnte. Natürlich lässt sich kaum abschätzen, wie sich dieser Fehler im weiteren Verlauf des Entwicklungsprozesses ausgewirkt hätte. Denkbar ist sowohl, dass eine der vom jetzigen Standpunkt aus weniger gut bewerteten Lösungen ausgewählt worden wäre, als auch, dass die Idee der faltbaren Gelenkmechanismen zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal aufgegriffen worden wäre. Das Ergebnis wäre im ersten Fall eine weniger gut funktionierende Lösung, im zweiten Fall eine beträchtliche Zeitverzögerung im Prozessablauf gewesen.

Die ebenfalls in Teilkapitel 5.2.1 angesprochen Probleme bei der pluralistischen Lösungssuche, traten im vorliegenden Fallbeispiel nicht auf oder konnten umgangen werden:

- *Rechtfertigung von Doppelarbeit bei der Konzeptsuche*
Durch die konsequente Anwendung von Methoden der Eigenschaftsfrüherkennung

konnte der Zeitaufwand während der Phase der Konzeptsuche insgesamt sehr klein gehalten werden. Dazu trug sicherlich die Überschaubarkeit der Aufgabenstellung bei, die es erlaubte, mit einfachsten Mitteln funktionsfähige Prototypen aufzubauen und damit den Anteil tatsächlicher Doppelarbeit so gering wie möglich zu halten. Das Ausarbeiten konkurrierender Lösungsansätze in der Frühphase des Projekts hat dagegen nachweislich eine Fehlentscheidung verhindert, die unter Umständen zu deutlicher Mehrarbeit in einer späteren Phase des Projekts geführt hätte.

- *Entscheidungsvorbereitung der Lösungsalternativen in heterogenen Teams*
Bezüglich dieses Punkts ist die Aussagekraft des Fallbeispiels beschränkt. Zwar war das gesamte Entwicklungsteam aus Medizinern und Ingenieuren fachlich heterogen zusammengesetzt. Die beiden mit der eigentlichen technischen Problemlösung befassten Personen (Student und Autor) haben dagegen einen fachlich sehr ähnlichen Hintergrund und wären aufgrund der Aufgabenstellung prinzipiell dazu in der Lage gewesen, ihre Lösungsansätze auch ohne gegenseitige Hilfestellung zu entwickeln. Das Problem der fachlichen Abhängigkeit bei gleichzeitiger Konkurrenz innerhalb des Entwicklungsteams stellte sich deshalb im betrachteten Projekt nicht.
- *Gefährdung der Zusammenarbeit durch Konkurrenzdenken im Team*
Die Entwicklung alternativer Lösungsansätze war bis zur Vorstellung der ersten Lösungsvorschläge bei den Medizinern von spürbarem Konkurrenzdenken zwischen dem beteiligten Studenten und dem Autor geprägt. Dass es bei einer produktiven Form von Konkurrenz blieb, ist neben dem grundsätzlich guten Einvernehmen zwischen den beiden Beteiligten auch auf die strikte Anwendung der durch formale Methoden unterstützten Konsensfindung zurückzuführen.

Die durch *formale Bewertungs- und Entscheidungsmethoden unterstützte Konsensfindung* stellt den methodischen Abschluss der *pluralistischen Lösungssuche* dar. Sie soll im Konzept der Lösungssuche als politischem Prozess eben gerade dafür sorgen, dass das Konkurrenzdenken bei der Lösungsfindung nicht überhand nimmt und die konstruktive Zusammenarbeit im Team dadurch nicht dauerhaft geschädigt wird. Die formal unterstützte Konsensfindung bedient sich dabei der aus der Entwicklungsmethodik bekannten Techniken zur Bewertung und Entscheidungsfindung. Ihr Kerngedanke besteht jedoch nicht ausschließlich darin, zu einer rational begründeten Entscheidung zu gelangen, sondern darüber hinaus einen für alle Beteiligten akzeptablen Konsens zu finden, der eine solide Grundlage für die weitere Zusammenarbeit im Team darstellt.

Im Fallbeispiel schwang die volitionale Bewusstseinslage bei den beiden Entwicklern bereits im Vorfeld der Präsentation der Lösungsansätze bei den Projektpartnern wieder in eine realitätsorientiertere Bewusstseinslage um. Dies lag einerseits daran, dass die einzelnen Lösungsideen nach dem aktuellen Kenntnisstand nicht weiter verbessert werden konnten, andererseits aber auch an der Tatsache, dass in erster Linie das Urteil der Mediziner für die Bewertung der Alternativen ausschlaggebend war. Nachdem diese unabhängige

„Schiedsrichterinstanz“ eine erste Vorauswahl getroffen hatte und gemeinsam ein Vorgehen zum experimentellen Vergleich der verschiedenen Lösungen definiert worden war, fand die Vorbereitung der Versuche am Schweineherz in einer sehr kooperativen Atmosphäre statt. Der beteiligte Student und der Autor arbeiteten gemeinsam an der Entwicklung maßstabsgetreuer Funktionsmodelle, an denen sich die Eignung der jeweiligen Lösung testen lassen sollte. Zu den Kapitel 5.2.2 aufgezählten positiven Merkmalen der *formal unterstützten Konsensfindung im Team* kann in diesem Zusammenhang folgendes festgestellt werden:

- *Aufklärung der Werthierarchien im Team*
Im Verlauf der ersten Diskussion der konkurrierenden Lösungsansätze mit den Medizinern wurde allen Beteiligten sehr schnell klar, dass die Argumentation vor allem auf weitgehend ungesicherten, persönlichen Einschätzungen beruhte. Um die fruchtlose Diskussion abzubrechen, verständigte man sich sehr schnell auf das beschriebene Experiment. Diese schnelle Einigung auf ein Bewertungsverfahren ist ein Indiz dafür, dass die Beteiligten im Fallbeispiel im Grunde alle von derselben Wertvorstellung bestimmt waren – nämlich ein möglichst optimal einsetzbares Instrument zu entwickeln. Den Vorlieben, die sie in der vorangegangenen Diskussion geäußert hatten, standen sie wahrscheinlich selbst mit einem gewissen Misstrauen gegenüber, so dass sie froh waren, auf ein einigermaßen objektives Bewertungsverfahren ausweichen zu können.
- *Explizite Formulierung individueller Bewertungsmaßstäbe*
Die problemlose Einigung auf ein Bewertungsverfahren hat gezeigt, dass keine gravierenden Unterschiede zwischen den individuellen Bewertungsmaßstäben der Beteiligten bestanden. Aus dem Fallbeispiel lässt sich zu diesem Merkmal folglich keine Aussage ableiten.
- *Optimale Entscheidungsvorbereitung / Teilhabe an konkurrierenden Lösungsalternativen*
Im Fallbeispiel wurden die vorausgewählten Lösungsalternativen auf die Bewertung vorbereitet, indem funktionsfähige, maßstabsgetreue Modelle gebaut wurden. Bei der konstruktiven Gestaltung der Funktionsmodelle kam es im Fall des fünfgliedrigen Scherenspreizers eindeutig zu einer Teilhabe des beteiligten Studenten an der ursprünglich in Konkurrenz entstandenen Lösungsalternative.
- *Tolerante Atmosphäre bei der Bewertung der Lösungsalternativen*
Die Bewertung der verbliebenen Lösungsalternativen fand im Fallbeispiel in einer entspannten Atmosphäre statt, in der alle Beteiligten bereit waren, sich dem „Urteil“ des Experimentes zu fügen. Die Entscheidung für den am besten bewerteten Scherenspreizer ergab sich ohne weitere Diskussion aus dem Bewertungsergebnis.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die in Kapitel 5.2.2 benannten Ziele der formal unterstützten Konsensfindung innerhalb des beschriebenen Projekts umgesetzt werden konnten. Dies kann zum Teil auf die bewusste Ermutigung zur gegenseitigen Teilhabe an

den konkurrierenden Lösungsansätzen zurückgeführt werden. Die Aussagekraft der Beobachtungen muss allerdings insofern eingeschränkt werden, als die Analyse des Prozesses der Konsensfindung keine wirklichen Unterschiede zwischen den im Team bestehenden individuellen Wertmaßstäben aufgezeigt hat. Es muss an dieser Stelle unklar bleiben inwieweit eine günstige Ausgangssituation die Konsensfindung von vornherein positiv beeinflusst hat.

Das methodische Konzept der *Lösungssuche als politischem Prozess* setzt in erster Linie auf das persönliche Engagement der Beteiligten. Die Analyse des Entwicklungsprozesses hatte im vorigen Kapitel gezeigt, dass die Erweiterung des Lösungsraumes um ernsthafte Alternativen vor allem auf Eigeninitiative von Teilen des Teams zurückgegangen war. Die Ermutigung zur Eigeninitiative im Entwicklungsprozess bedeutet jedoch gleichzeitig den weitgehenden Verzicht auf Zwang bei der Steuerung des Entwicklungsprozesses. Das Fallbeispiel dieses Kapitels zeigt jedoch deutlich, dass es trotzdem zu Fehlentwicklungen im Prozessablauf kommen kann, die ein Eingreifen des Teamleiters notwendig machen. Um in einem solchen Fall den Prozessablauf dennoch ohne Zwangsmaßnahmen beeinflussen zu können, wurde die *Methode des Initialhandelns* aus der empirischen Untersuchung abgeleitet. Diese Technik geht davon aus, dass es kein stärkeres Mittel gibt, andere von einer Idee zu überzeugen, als ihre Funktionsfähigkeit anschaulich nachzuweisen. In der Folge sollte es meist ohne Probleme möglich sein, ein Teammitglied für die Weiterführung der erfolgversprechenden Idee zu begeistern.

Im betrachteten Prozess bestand die Fehlentwicklung nach Ansicht des Projektleiters in der Missachtung der Idee des faltbaren Gelenkmechanismus durch den beteiligten Studenten. Er entschloss sich zu einer Initialhandlung und konnte tatsächlich mit primitiven Mitteln und sehr geringem Zeitaufwand die Funktionsfähigkeit des zugrunde liegenden Lösungsansatzes nachweisen. Nach der ersten positiven Resonanz auf das Ergebnis der Initialhandlung durch die Mediziner war der Zeitpunkt gekommen, die Weiterentwicklung des Lösungsansatzes auf den Studenten zurückzuübertragen. Dies war ohne Schwierigkeiten möglich – wie in Kapitel 6.1.1 ausführlich dargestellt wurde, hat der Student die Weiterentwicklung des Pappmodells des fünfgliedrigen Scherenspreizers zum funktionsfähigen Prototypen fast völlig selbständig durchgeführt.

Die im Prozessverlauf durchgeführte Initialhandlung verfügte fast in idealer Weise über die drei in Kapitel 5.3.2 geforderten Eigenschaften:

- *Hohe Überzeugungskraft*

Die hohe Überzeugungskraft der Initialhandlung kann in diesem Fall eindeutig auf die Verwendung einfacher Modelle zurückgeführt werden. Mit ihrer Hilfe war es möglich, die Qualität des gewählten Lösungsansatzes für alle Beteiligten unmittelbar erfahrbar zu machen. Dies führte ab diesem Zeitpunkt zu einer positiven Bewertung des Lösungsansatzes und einer spontanen Übernahme durch den beteiligten Studenten.

- *Schnelle Resultate*
Die Arbeit mit einfachen Modelle führte im Fallbeispiel innerhalb weniger Stunden zu zwei durchdachten Funktionsprinzipien.
- *Geringer Aufwand*
Der zeitliche Aufwand zur Entwicklung des Prinzips und erster funktionsfähiger Modelle betrug nur wenige Stunden, der finanzielle Aufwand war vernachlässigbar.

Im Rahmen des Fallbeispiels kann also von einem Erfolg der Technik des *Initialhandelns* gesprochen werden. Dazu trug wahrscheinlich auch die Überschaubarkeit der Aufgabenstellung bei, die z. B. die effektive Arbeit mit einfachen Modellen ermöglichte. In komplexeren Entwicklungsprojekten wird es dagegen meist schwieriger sein, ähnlich überzeugende Initialhandlungen aufwandsarm durchzuführen. Allerdings werden in solchen Situationen natürlich auch umfangreichere Maßnahmen möglich sein, die immer noch als aufwandsarm gelten können. Die Forschungsarbeiten zur Eigenschaftsfrüherkennung, dem wichtigsten Hilfsmittel beim Initialhandeln, haben gezeigt, dass die in diesem Bereich zur Verfügung stehenden Techniken in der industriellen Praxis noch längst nicht in vollem Umfang ausgeschöpft werden (BERNARD 99).

6.1.2.3 Stellung der elementarmethodischen Konzepte im Entwicklungsprozess

Zum Abschluss der Analyse des Fallbeispiels dieses Kapitels soll noch auf Stellung der beiden überprüften elementarmethodischen Konzepte im gesamten Entwicklungsprozess eingegangen werden. Dabei muss sowohl der Frage nachgegangen werden, wie die beiden Konzepte zueinander stehen, als auch, wie sie sich in eine übergeordnete methodische Strukturen einordnen lassen.

Die Untersuchung der Bewertungs- und Entscheidungsstruktur im Verlauf des beschriebenen Entwicklungsprojekts hat gezeigt, wie bedeutend die ablaufenden elementaren Gestaltungsprozesse (Kapitel 4) von spontanen Einschätzungen der Beteiligten (Kapitel 5) beeinflusst wurden. Dies galt für die Entwicklung der Lösungsalternativen durch den beteiligten Studenten im gleichen Maß wie für die im Verlauf der Initialhandlung des Autors entstandenen Lösungen. Beide waren aufgrund ihrer intuitiven Einschätzungen zumindest zeitweise stark auf bestimmte Lösungsansätze fixiert. Diese Fixierung ging mit der Vernachlässigung scheinbar weniger erfolgversprechender Lösungsideen einher. Nach herrschender wissenschaftlicher Auffassung handelt es sich dabei um ein Phänomen, das der Entwicklung hochwertiger technischer Lösungen im Wege steht und das durch konsequente Methodenanwendung überwunden werden muss. Im scharfen Gegensatz dazu steht die Interpretation des Verhaltens der beiden beteiligten Entwickler auf der Grundlage des *Rubikonmodells der Handlung* nach Heckhausen und Gollwitzer. Danach stellt eine gewisse Lösungsfixiertheit beim Entwickler nachgerade die Voraussetzung dafür dar, dass eine gegebene Lösungsidee bis zur Entscheidungsreife gebracht – oder eben im Verlauf des Prozesses als wirklich ungeeignet erkannt werden kann. Erst diese „Besessenheit“ bietet

die Gewissheit, dass möglichst viele Varianten im betrachteten Bereich des Lösungsbaums tatsächlich abgeklopft werden. Erkauft wird die Nachhaltigkeit der Lösungssuche eines Individuums oder einer kleinen Teilgruppe in einem abgegrenzten Bereich des Lösungsraums mit der Abwehr konkurrierender Handlungstendenzen, wie sie z. B. alternative Lösungsideen darstellen.

Diese Beobachtung führt scheinbar zu einem Dilemma: Auf der einen Seite fordert die Entwicklungsmethodik die Parallelentwicklung verschiedener Lösungsansätze, um sie anschließend einem rational begründeten Entscheidungsverfahren zu unterziehen. Auf der anderen Seite hat die Verhaltensbeobachtung und -interpretation des Autors ergeben, dass eine gewisse Lösungsfixiertheit bei den beteiligten Personen notwendig ist, um eine einzelne Idee im Verlauf einer *diskursiven Lösungssuche* entscheidungsreif zu machen. Da das geschilderte natürliche Verhalten von Individuen und Kleingruppen bei der Lösungssuche als kaum beeinflussbar angesehen wird, muss die Auflösung dieses Dilemmas auf Seiten der Entwicklungsmethodik erfolgen. Mit dem Konzept der *Lösungssuche als politischem Prozess* glaubt der Autor eine adäquate Antwort für dieses Problem gefunden zu haben: Indem die Mitglieder eines Teams dazu animiert werden, unterschiedliche, konkurrierende Lösungsansätze auf der Grundlage ihrer spontanen Einschätzungen zu entwickeln, kommt es zur Erarbeitung mehrerer qualitativ hochwertiger Lösungsalternativen. Die Einführung eines Lösungspluralismus in der Phase der Konzeptentwicklung führt dazu, dass sowohl den psychischen Notwendigkeiten der elementaren Lösungssuche, als auch den Forderungen der Entwicklungsmethodik Rechnung getragen werden kann.

Im Fallbeispiel wurde deutlich, dass diese Strategie tatsächlich aufgehen kann. Aufgrund unterschiedlicher individueller Einschätzungen haben der Student und der Autor im Projekt phasenweise in unmittelbarer Konkurrenz zueinander verschiedene Lösungsideen weiterentwickelt. Die Analyse hat gezeigt, dass der untersuchte Bereich des Lösungsraums dadurch um entscheidende Bereiche erweitert worden ist und zumindest Umwege im Prozessverlauf vermieden werden konnten. Es gelang, die psychische Dynamik spontaner Einschätzungen dazu zu nützen, parallel mehrere konkurrenzfähige Lösungsvorschläge zu erarbeiten. Dies konnte exemplarisch in zwei Prozessabschnitten dokumentiert werden, in denen eine diskursive Lösungssuche stattfand.

Gerade die Diskussion der Protokolle dieser Prozessabschnitte hat jedoch umgekehrt auch die Notwendigkeit deutlich gemacht, die Phasen der diskursiven Lösungssuche in ein übergeordnetes methodisches Konzept der Entscheidungsfindung einzubetten. Ein besonders anschauliches Beispiel dafür, ist die Art und Weise, wie sich das Konzept des fünfgliedrigen Scherenspreizers im Team durchgesetzt hat: Diese Lösung war vom Autor schon im Moment ihrer Entstehung als „zu kompliziert“ verworfen worden. Erst durch die Intervention eines der beteiligten Mediziner, der in ihr bei einem der gemeinsamen Treffen die Ideallösung erkannt zu haben glaubte, hat sie eine „zweite Chance“ erhalten. Und diese zweite Chance hat letztlich nur deshalb zu dem so erfolgreichen Funktionsprototypen geführt, weil der beteiligte Student im Verlauf einer weiteren diskursiven Lösungssuche

eine ebenso einfach zu fertigende wie zuverlässige Realisierung des zugrunde liegenden Mechanismus entwickelt hat. All das zeigt, dass die diskursive Lösungssuche ausschließlich ein Instrument zum Generieren von Lösungen darstellt. Die in ihrem Verlauf auftretenden schnellen Evaluations- und Entscheidungsschritte erhalten die notwendige psychische Dynamik im Syntheseprozess aufrecht und sind deshalb integraler Bestandteil der diskursiven Lösungssuche. Sie dürfen jedoch auf keinen Fall mit der übergeordneten, rational begründeten Entscheidungsfindung im gesamten Entwicklungsprozess verwechselt werden.

Diskursive Lösungssuche und *Lösungsfindung als politischer Prozess* bilden nach Auffassung des Autors daher zwei eng aufeinander abgestimmte methodische Grundkonzepte, mit denen Entwicklungsprozesse im Einklang mit dem natürlichen Problemlösungsverhalten des Menschen durchgeführt werden können. Im letzten Fallbeispiel konnte das effiziente Zusammenwirken beider Konzepte dokumentiert werden: Es führte für ein in zahlreichen Patentanmeldungen angesprochenes Problem der medizinischen Technik zu einer neuen und dennoch einfachen Lösung.

Im Hinblick auf ihre globale Stellung im Entwicklungsprozess sind die *diskursive Lösungssuche* und die *Lösungsfindung als politischer Prozess* unterschiedlich einzuordnen. Die *Lösungsfindung als politischer Prozess* ist ein methodisches Konzept, das im Fallbeispiel zum Einsatz kam, weil hier zu recht die methodische Forderung nach der Schaffung von Lösungsvielfalt erhoben wurde. Dabei kann es sich, wie bei der Entwicklung des chirurgischen Spreizers, um die Konzeptfindung auf der Ebene des Gesamtsystems ebenso handeln wie um die Lösung technischer Problemstellungen auf nachgeordneten Hierarchieebenen eines Lösungsbaums. Ein Beispiel dafür ist die Konzeptentwicklung für den Vorschubantrieb einer Werkzeugmaschine, anhand der das Konzept der Lösungssuche als politischem Prozess in Kapitel 5 entwickelt wurde. Um in der Terminologie des flexibel anpassbaren Prozessmodells von „thekey“ zu sprechen, kann das elementarmethodische Konzept der *Lösungsfindung als politischem Prozess* Subprozessen unterlegt werden, in denen bei der Lösungssynthese über eine routinemäßige Anpassung vorhandener Lösungsansätze hinausgegangen werden muss.

Etwas anders stellt sich die Situation im Fall der *diskursiven Lösungssuche* dar. Auch gestützt auf ähnliche Beobachtungen anderer hat der Autor zu zeigen versucht, dass die Mechanismen, aus denen sich die diskursive Lösungssuche aufbaut, so weit wie möglich dem natürlichen menschlichen Verhalten bei der Problemlösung entsprechen. Als elementares methodisches Konzept beabsichtigt die *diskursive Lösungssuche* deshalb letztlich nur, den vorhandenen Fähigkeiten der Produktentwickler zur besseren Entfaltung zu verhelfen. Die diskursive Lösungssuche fand im letzten Fallbeispiel deshalb überall dort Anwendung, wo technische Lösungen durch Individuen oder Kleingruppen erzeugt werden mussten. Natürlich beeinflusst das jeweilige Ziel der Lösungssuche die konkrete Form des Diskurses. Auch dieses Fallbeispiel hat wieder gezeigt, dass z. B. die Art der auftretenden abstrakten Zielformulierungen anders aussah, je nachdem, ob es um die grundlegende kinema-

tische Struktur des Spreizers ging oder um die konstruktive Gestaltung seiner Gelenke. Aus der Sicht eines umfassenden Prozessmodells stellt die diskursive Lösungssuche nach Auffassung des Autors die elementarste Schicht in den Subprozessen dar, die der Erzeugung und Ausgestaltung technischer Lösungen dienen.

In allen drei diskutierten Fallbeispielen wurde deutlich, dass weder *diskursive Lösungssuche*, noch *Lösungsfindung als politischer Prozess* als Ersatz für Methoden aus der Konstruktions- bzw. Entwicklungsmethodik angesehen werden dürfen. Ihr Ziel ist es, einen Rahmen für die Anwendung bekannter Methoden im Entwicklungsprozess zu schaffen, der zu weniger Kollisionen mit den nach Ansicht des Autors im wesentlichen unveränderlichen psychologischen Randbedingungen des menschlichen Problemlöseverhaltens führt. Die *diskursive Lösungssuche* kann als eine Art Katalysator aufgefasst werden, mit dessen Hilfe das relevante Wissen der Entwickler möglichst vollständig in den Prozess der Lösungsentstehung einfließen soll. Die Qualität des Ergebnisses einer Lösungssuche wird natürlich durch seinen Abruf ebenso beeinflusst wie durch die Qualität und Breite des zur Verfügung stehenden Wissens. Ein Ergebnis der Fallbeispiele bestand darin, dass zu letzterem eben nicht nur rein technisches Wissen zählt, sondern auch die Verfügbarkeit klassischer Konstruktionsmethoden wie z. B. die Lösungssuche mit physikalischen Effekten, die Variation der Gestalt oder die Gestaltungsprinzipien. Als konkretes Beispiel dafür sei die Einbeziehung der Methode der Variation der Gestalt in die diskursive Lösungssuche durch die Zielformulierung erwähnt, in der gefordert wird, den Scherenmechanismus mit Ösengelenken statisch bestimmt zu machen (Bild 34). Die Anwendung des Konzepts der *diskursiven Lösungssuche* ersetzt also keinesfalls die methodische Ausbildung eines Produktentwicklers, sie kann jedoch unter Umständen dazu beitragen, dass er sein methodisches Wissen effizienter einsetzen kann.

Die gleiche Beobachtung lässt sich für die *Lösungsfindung als politischem Prozess* machen. Dieses elementarmethodische Konzept wurde erarbeitet, um der entwicklungsmethodischen Grundforderung nach der Erzeugung einer Lösungsvielfalt vor der Bewertung und Entscheidungsfindung mehr praktische Relevanz zu verleihen. Sie ersetzt nicht die bekannten Bewertungsmethoden, sondern versucht mit der Forderung nach Lösungspluralität die Qualität der zu bewertenden Alternativen zu verbessern. Sowohl bei der Entwicklung der Konzepte für den Vorschubantrieb in Kapitel 5, als auch für den Spreizmechanismus in Kapitel 6 wurden formale Bewertungsmethoden selbstverständlich in den Prozess der Lösungsfindung integriert. Auch im Fall der Lösungsfindung als politischem Prozess gilt also, dass sie die bisherige entwicklungsmethodische Ausbildung keinesfalls überflüssig macht, ihr jedoch möglicherweise zu mehr praktischer Wirksamkeit verhelfen kann.

6.2 Zusammenfassung des Kapitels

In Kapitel 6 wurden die beiden in Kapitel 4 (*Diskursive Lösungssuche*) und Kapitel 5 (*Lösungsfindung als politischer Prozess*) entwickelten elementarmethodischen Konzepte einer empirischen Überprüfung in Form einer weiteren Fallstudie unterzogen. Der Erfolg des zugrunde liegenden Entwicklungsprojekts und die Ergebnisse der Analyse des Projektverlaufs erlauben es, von einer ersten Bestätigung der aufgestellten Arbeitshypothesen zu sprechen. Sie bieten deshalb die Grundlage für weitere Forschungsaktivitäten ebenso wie für ihre versuchsweise Anwendung in der industriellen Praxis.

Bezüglich der *diskursiven Lösungssuche* konnte gezeigt werden, dass eine explizite Anwendung des Konzepts sowohl durch eine Einzelperson, als auch durch eine Kleingruppe von zwei Personen problemlos möglich war. In beiden Fällen gelang es, eine vage Lösungsidee in kurzer Zeit zu einer durchdachten Lösung vom geforderten Konkretisierungsgrad weiterzuentwickeln. Wie vorgesehen, fand die Steuerung des Prozessablaufs durch explizit ausgesprochene *abstrakte Zielformulierungen* statt. Zu ihren vielfältigen Funktionen zählte auch in diesem Beispiel die Einbindung bekannter Entwicklungsmethoden in den Prozess der Lösungssuche.

Auch die von der Anwendung des Konzepts der *Lösungssuche als politischem Prozess* erwarteten positiven Einflüsse auf den Verlauf des Entwicklungsprozesses konnten im Fallbeispiel beobachtet werden. Wie sich bei der nachträglichen Analyse herausstellte, konnte durch die konsequente Anwendung des Prinzips der *Meinungspluralität in den Phasen der Lösungssuche* der Lösungsraum um wichtige Varianten erweitert werden. Der Ersatz der Anwendung von Zwang durch die Technik des *Initialhandelns* hat dabei die Entwicklung gleichwertiger Alternativen ermöglicht, die in einem gemeinsam definierten Bewertungsverfahren miteinander verglichen wurden. Dieses „faire“ Entscheidungsverfahren und die „Querbeteiligung“ der Teammitglieder an konkurrierenden Lösungsansätzen hat in der Phase der *formal unterstützten Konsensfindung* dazu geführt, dass die Entscheidung für das am besten bewertete Konzept einvernehmlich erfolgen konnte. Damit waren gleichzeitig die Voraussetzungen für eine konstruktive Zusammenarbeit im weiteren Projektverlauf geschaffen worden.

Die Analyse der Lösungsbewertung im Team und ihre Interpretation vor dem Hintergrund des *Rubikonmodells der Handlung* von Heckhausen und Gollwitzer hat darüber hinaus weitere Erkenntnisse über das Zusammenspiel von *diskursiver Lösungssuche* und *Lösungsfindung als politischem Prozess* erbracht. Diese Interpretation der elementaren Handlungsprozesse legt nahe, dass für die erfolgreiche Durchführung der diskursiven Lösungssuche eine *volitionale Bewusstseinslage* bei zumindest einem der Bearbeiter günstig ist. Diese volitionale Bewusstseinslage ist im Gegensatz zur *motivationalen Bewusstseinslage* streng realisierungsorientiert und tendiert dazu, konkurrierende Handlungstendenzen abzuwehren. Im Verlauf einer Lösungssuche stellen aber gerade andere Lösungsansätze solche konkurrierenden Handlungstendenzen dar, die zumindest zeitweise abgewehrt werden müssen, um

die aktuell betrachtete Alternative optimal auf eine Entscheidung vorbereiten zu können. Die Erkenntnis, dass zur effizienten Lösungssynthese auf einer elementaren Handlungsebene eine gewisse Lösungsfixiertheit beim Bearbeiter notwendig ist, begründet die Notwendigkeit der Ergänzung des Konzepts der *diskursiven Lösungssuche* durch die *Lösungsfindung als politischem Prozess*. Durch die *pluralistische Lösungssuche* kann die Beschränktheit individueller Einschätzungen überwunden werden, ohne dass diese ihre motivierende Wirkung in den elementaren Gestaltungsprozessen verlieren.

In Bezug auf ihre globale Stellung im Entwicklungsprozess ergab die Analyse des Fallbeispiels erwartungsgemäß Unterschiede für die beiden methodischen Konzepte. Während die *diskursive Lösungssuche* mit einiger Wahrscheinlichkeit Bestandteil jeder Lösungssynthese im Verlauf des betrachteten Entwicklungsprozesses war, beschränkte sich die Anwendung der *Lösungssuche als politischem Prozess* auf kritische Teilprozesse, in denen neue Lösungsansätze generiert werden mussten. Beide methodischen Konzepte ersetzen dabei keine bestehenden Entwicklungsmethoden, sondern sorgen vielmehr für deren Anwendung in Kohärenz mit psychischen Verhaltenskonstanten beim Lösen technischer Problemstellungen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Wie Landschaftsarchitekten (manchmal) Wege planen: Sie legen keine Wege an und warten, wo sich Trampelpfade bilden. Auf diesen Trampelpfaden legen sie Wege an.

7.1 Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde versucht, die eingangs zitierte Strategie aus der Landschaftsarchitektur auf die Entwicklungsmethodik zu übertragen. Gerade weil die Untersuchung des Stands der Technik in Entwicklungsmethodik, empirischer Konstruktionsforschung und Psychologie beim Autor den Eindruck hinterlassen hatte, dass die Trampelpfade der praktischen Produktentwicklung zum Teil weit entfernt von so manchem methodisch gepflasterten Weg verliefen, sollte mit der möglichst unvoreingenommenen Analyse von Entwicklungsprojekten begonnen werden. Für den Autor standen dabei zwei Fragen im Mittelpunkt: „Wie entsteht gutes Design?“ und „Wie setzen sich Lösungsideen im Team durch?“.

Die erste Frage gründete sich auf die Beobachtung des Autors, wonach in Teamsituationen wie z. B. dem Brainstorming nur selten wirklich gute technische Lösungen geboren werden. Diese entstanden einem vagen Gefühl zufolge eher bei der hartnäckigen Lösungssuche von Einzelnen oder sehr kleinen Gruppen. Im Fallbeispiel von Kapitel 4 wurde darum versucht herauszuarbeiten, wo genau in einem individuellen Entwicklungsprozess sich die entscheidenden Schritte zu einer erfolgreichen Lösung des zugrunde liegenden technischen Problems ergeben hatten. Wie in Entwicklungsmethodik und empirischer Konstruktionsforschung seit längerem bekannt, ließ sich der konkrete Verlauf der Lösungssuche in elementare handlungslogische Mikrozyklen unterteilen. Diese Sequenz von Mikrozyklen folgt sowohl einer hierarchischen Struktur, die sich vor allem aus der Produktlogik ableitet, als auch einer sequentiellen Struktur, die maßgeblich von heuristischen Erwägungen der handelnden Person bestimmt wird. Die Organisation dieser hierarchisch-sequentiellen Struktur hat unbestritten großen Einfluss auf die effiziente Durchführung einer Lösungssuche, weshalb sich die Konstruktions- und Entwicklungsmethodik schon immer mit der Frage ihrer optimalen Strukturierung befasst hat. Die Analyse des Fallbeispiels lässt jedoch den Schluss zu, dass die Makrostruktur nur einen Teil einer erfolgreichen Lösungssuche ausmacht.

Im Anschluss an eine jüngst erschienene Studie von Tschan wurde die Vermutung geäußert, dass die Qualität der Durchführung der einzelnen Mikrozyklen in ähnlichem Maß für den Prozesserverfolg verantwortlich ist. Bei der genauen Analyse der einzelnen Schritte des Prozessverlaufs wurde dann deutlich, dass sich die einzelnen Mikrozyklen auseinander heraus entwickeln. Der gerade abgeschlossene Handlungszyklus in dieser Abfolge gab den Impuls für den sich anschließenden Handlungszyklus. Die Übertragung dieses Handlungsimpulses von einem Zyklus auf den nächsten schien dabei in erster Linie auf sprachlichem

Weg zu erfolgen. Die dafür verantwortlichen sprachlichen Konstrukte nannte der Autor *abstrakte Zielformulierungen*. Diese abstrakten Zielformulierungen fassten im allgemeinen das Evaluationsergebnis eines abgeschlossenen Handlungszyklus zusammen und machten daraus eine Zielvorgabe für den kommenden Handlungszyklus. Ein einzelner Handlungsstrang konnte so über einen längeren Zeitraum aufrecht erhalten werden und erlaubte so das nachhaltige Absuchen bzw. Erweitern bestimmter Bereiche des Lösungsraums. Die abstrakten Zielformulierungen nahmen dabei situationsabhängig ganz unterschiedliche heuristische Funktionen wahr. Diese konnten konkret im Einfordern von vernachlässigten Anforderungen, von Gestaltungsprinzipien oder aber auch der verbalen Konstruktion zunächst fiktiver technischer Systeme oder Funktionsweisen bestehen. Dabei lenkten einzelne abstrakte Zielformulierungen die Lösungssuche auch auf Methoden wie die physikalischen Effekte oder die Variation der Gestalt. Bestätigung finden die Beobachtungen des Autors in ähnlichen Analysen von Dörner, der vom *Bild-Wort-Zyklus* als einem der zentralen kognitiven Mechanismen bei der Lösung technischer Problemstellungen spricht.

Die verbale Formulierung abstrakter Entwicklungsziele schien dem Prozess der Lösungssuche jedoch zusätzlich die hohe mentale Dynamik eines Frage-Antwort-Spiels zu verleihen. Dies veranlasste den Autor, aus seinen Beobachtungen heraus die *diskursive Lösungssuche* als elementarmethodisches Konzept zu formulieren. Die diskursive Lösungssuche dient der Weiterentwicklung vager Lösungsideen zu durchdachten technischen Lösungen vom geforderten Konkretisierungsgrad. Sie ist geprägt vom schnellen Erzeugen, Analysieren, Bewerten und Verbessern von Ideen, einer Dialogstruktur des Vorgehens und dem harmonischen Zusammenwirken von systematischen und assoziativen Elementen der Lösungssuche. Sie kann von Individuen im Selbstgespräch oder Kleingruppen von bis zu drei Personen im Dialog durchgeführt werden. Ihre zentralen Hilfsmittel sind explizit ausgesprochene *abstrakte Zielformulierungen*, mit denen Verlauf der Lösungssuche gesteuert wird. Über diese Zielformulierungen werden bei Bedarf zusätzliche methodische Hilfsmittel in den Prozess einbezogen. Die *diskursive Lösungssuche* und die Arbeit mit *abstrakten Zielformulierungen* bildet den ersten neuen methodischen Ansatz, der im letzten Abschnitt dieser Dissertation einer ersten Überprüfung unterzogen werden sollten.

Auch die Frage „Wie setzen sich Lösungsideen im Team durch?“ ergab sich zunächst aus dem unbestimmten Gefühl des Autors, wonach sich wesentliche Weichenstellungen in Entwicklungsprozessen oft schon lange vor „offiziellen“ Entscheidungspunkten ergeben. Im Fallbeispiel in Kapitel 5 wurde darum der Prozess der Lösungssuche und Entscheidungsfindung bei der Entwicklung eines Antriebskonzeptes für die Hauptachse einer Werkzeugmaschine untersucht. Diese Analyse zeigte, dass die Lösungssuche im Team sehr schnell durch die spontane Einschätzung der ersten Lösungsalternativen bestimmt wurde. Dabei entwickeln sich Vorlieben für bestimmte Lösungsansätze, die auf dem Weg der unmittelbaren Verhaltensrückkopplung den weiteren Ressourceneinsatz im Entwicklungsprozess beeinflussen. Intuitive Einschätzungen bestimmten daher in erheblichem Maß den Aufwand, der in die Vorbereitung einzelner Lösungsansätze auf methodische Entscheidungen investiert wurde. Genau dieser Aufwand der Vorbereitung

dungen investiert wurde. Genau dieser Aufwand der Vorbereitung entscheidet oft mehr über den Erfolg oder Misserfolg eines Lösungsansatzes als seine tatsächliche „objektive“ Qualität. Damit konterkarierte der Einfluss intuitiver Einschätzungen die Absicht der Entwicklungsmethodik, durch den Einsatz formaler Bewertungsmethoden eine rationale Entscheidungsfindung zwischen gleichberechtigten Lösungsansätzen herbeizuführen.

„Gerettet“ wurde der Prozess der Lösungssuche und Entscheidungsfindung im Fallbeispiel durch die Tatsache, dass innerhalb des Teams mehrere konkurrierende Lösungsalternativen für den Vorschubantrieb vertreten wurden. Die Konkurrenzsituation im Team führte dazu, dass die „eigenen“ Lösungsansätze gegen die Einwände der anderen Fraktionen verteidigt werden mussten. Dies führte dazu, dass alle unterstützten Lösungsansätze im Verlauf des Prozesses immer wieder in Frage gestellt, dabei jedoch auch immer besser an die gegebenen Randbedingungen der Aufgabe angepasst wurden. Dabei zeigten sich große Vorteile der Anwendung formaler Bewertungstechniken. So ermöglichten die formalen Bewertungsschritte eine gezielte Vorbereitung von Lösungsansätzen auf die Bewertung und Entscheidung. Von den vorab bekannten Terminen ging dabei eine beträchtliche motivierende Wirkung auf die verschiedenen Interessengruppen aus, „ihre“ Lösungen genau zu analysieren und kritische Punkte bereits vorab zu entkräften. Des Weiteren stellten die definierten formalen Bewertungsschritte ein sehr wirksames Argument gegen jeden Versuch der unlauteren Beeinflussung des Entscheidungsprozesses dar.

Dem Autor schien es vor dem Hintergrund dieser Beobachtungen weder möglich noch sinnvoll zu sein, die elementare Wirkung spontaner Einschätzungen im Entwicklungsprozess auszuschalten. Aus dieser Einsicht heraus entwickelte er das elementarmethodische Konzept der *Lösungssuche als politischem Prozess*, das in eine erste Phase der *pluralistischen Lösungssuche* und eine zweite Phase der *formal unterstützten Konsensfindung* zerfällt. In der Phase der pluralistischen Lösungssuche versucht das Konzept sich die psychische Dynamik spontaner Einschätzungen zunutze zu machen, um im Team die Entwicklung konkurrierender Lösungsansätze für die gegebene Problemstellung zu fördern. Diese im Wettbewerb zueinander erarbeiteten Lösungsansätze erfüllen in nahezu idealer Weise die methodische Grundforderung nach einem Vergleich echter Lösungsalternativen im Rahmen der Entscheidungsfindung. Vor allem um die weitere Zusammenarbeit im Team nicht zu gefährden, muss sich eine Phase der Konsensfindung anschließen. Formale Bewertungstechniken helfen in diesem Zusammenhang dabei, zu einer für alle Beteiligten nachvollziehbaren Entscheidung zu gelangen, die sie im weiteren Prozessverlauf mittragen können.

Das Konzept der Lösungssuche als politischer Prozess lebt von der Eigeninitiative der beteiligten Teammitglieder. Dies schließt die Anwendung von Zwang bei der Steuerung des Entwicklungsprozesses weitgehend aus. Um dem Projektleiter dennoch ein Werkzeug in die Hand zu geben, mit dem er Fehlentwicklungen im Prozessverlauf beeinflussen kann, wurde die Methode des *Initialhandelns* aus dem beobachteten Verhalten der Beteiligten im Fallbeispiel abgeleitet. Diese Technik geht davon aus, dass es kein stärkeres Mittel gibt,

andere von einer Idee zu überzeugen, als ihre Funktionsfähigkeit anschaulich nachzuweisen. In der Folge sollte es meist ohne Probleme möglich sein, ein Teammitglied für die Weiterführung der erfolgversprechenden Idee zu begeistern. Die *Lösungssuche als politischer Prozess* und die damit verbundene Methode des *Initialhandelns* bildeten den zweiten neuen methodischen Ansatz, der im letzten Abschnitt dieser Arbeit erstmals validiert werden sollte.

Im Rahmen der dritten Fallstudie dieser Arbeit wurden die beschriebenen elementarmethodischen Konzepte erstmals explizit bei der Entwicklung eines chirurgischen Gerätes angewendet und in ihrer Wirkung überprüft. Der Erfolg des Entwicklungsvorhabens und die Analyse des Prozessverlaufs bestätigte im wesentlichen ihre Wirksamkeit. Es konnten im Einzelfall die Entstehung zentraler Lösungsideen im Verlauf der *diskursiven Lösungssuche* und der Arbeit mit *abstrakten Zielformulierungen* beobachtet und dokumentiert werden. Die Anwendung des Konzepts der *Lösungssuche als politischer Prozess* und der Methode des *Initialhandelns* erweiterte den Lösungsraum im Fallbeispiel um genau die Variante, die zuletzt als die geeignetste ausgewählt wurde. Die *formal unterstützte Konsensfindung* trug im Anschluss an die *pluralistische Lösungssuche* dazu bei, zu einer Entscheidung zu gelangen, die von allen Beteiligten getragen wurde und nicht zuletzt deshalb zu einem hervorragend funktionierenden Prototypen weiterentwickelt werden konnte.

Die Aussagen zur Wirksamkeit der überprüften methodischen Konzepte müssen nur insofern eingeschränkt werden, als einzelne Aspekte dieser Konzepte aufgrund günstiger Ausgangsbedingungen in der Fallstudie nicht überprüft werden konnten. Dazu zählt z. B. der Umgang mit Wissensmonopolen im Entwicklungsteam, die zur Diskriminierung bestimmter Lösungsalternativen genutzt werden könnten. Die Analyse des letzten Fallbeispiels hat jedoch über eine erste Bestätigung der Wirksamkeit der Konzepte hinaus auch weitere Erkenntnisse bezüglich des Zusammenwirkens von *diskursiver Lösungssuche* und *Lösungsfindung als politischem Prozess* erbracht.

Als besonders interessant erwies sich in diesem Zusammenhang die Interpretation des Verhaltens der beiden Entwickler vor dem Hintergrund des *Rubikonmodells der Handlung* nach Heckhausen und Gollwitzer. In diesem Handlungsmodell werden die elementaren Schritte eines Handlungszyklus mit bestimmten Bewusstseinslagen der handelnden Personen in Zusammenhang gebracht. Danach stellt sich nach der Entscheidung für eine bestimmte Handlung, dem Überschreiten des Rubikons, bei der handelnden Person eine *volitionale Bewusstslage* ein. Diese Bewusstseinslage bei der Informationsverarbeitung ist im Unterschied zur motivationalen Bewusstseinslage eher realisierungsorientiert und auf die Überwindung von Hindernissen ausgerichtet. Sie zeichnet sich nach Kuhl durch selektive Aufmerksamkeit und die Tendenz zur Abwehr konkurrierender Handlungstendenzen aus. Die Analyse des Verhaltens des Studenten und des Autors bei der diskursiven Lösungssuche bietet verschiedene Anhaltspunkte dafür, dass während der beiden beobachteten Phasen eine volitionale Bewusstseinslage bei den Beteiligten vorherrschte. Dies erscheint insofern nachvollziehbar, als die diskursive Lösungssuche ja darauf ausgerichtet

einen bestimmten Lösungsansatz gegen alle Schwierigkeiten entscheidungsreif zu machen. Alternative Lösungsansätze müssen deshalb als konkurrierende Handlungstendenzen abgewehrt werden.

Die Vermutung, dass die elementaren Prozesse der diskursiven Lösungssuche von einer volitionalen Bewusstseinslage der handelnden Personen beherrscht werden, unterstreicht noch einmal die Notwendigkeit, die individuelle Lösungssuche in ein übergeordnetes methodisches Konzept der Lösungssuche und Entscheidungsfindung einzubetten. Das Konzept der *Lösungsfindung als politischem Prozess* bietet dabei die Möglichkeit, die aus psychologischen Gründen notwendige Beschränktheit der individuellen Lösungssuche durch die *pluralistische Lösungssuche* auf Teamebene zu überwinden. *Diskursive Lösungssuche* und *Lösungsfindung als politischer Prozess* sind aufeinander angewiesen, um die kaum beeinflussbaren psychologischen Randbedingungen der Lösungssuche im Team mit den Forderungen der Entwicklungsmethodik in Einklang zu bringen.

7.2 Ausblick

Diskursive Lösungssuche und *Lösungsfindung als politischer Prozess* stellen am Ende dieser Arbeit methodische Konzepte dar, die einer ersten Überprüfung ihrer Wirksamkeit im Entwicklungsprozess standhielten, jedoch nach wie vor den Status von Arbeitshypothesen haben. Dies liegt an der gewählten Forschungsmethode der Einzelfallstudie, die prinzipiell keine Verallgemeinerungen zulässt. Der Autor ist jedoch der Überzeugung, zwei aufeinander abgestimmte methodische Konzepte entwickelt zu haben, die eine erste versuchsweise Anwendung in der industriellen Praxis und eine weitergehende wissenschaftliche Untersuchung rechtfertigen.

In bezug auf das Konzept der *diskursiven Lösungssuche* steht für den Autor die praktische Frage im Vordergrund, wie klassische Konstruktionsmethoden (physikalische Effekte, Variation der Gestalt, Gestaltungsprinzipien, ...) besser in den kognitiven Prozess der Lösungssuche einbezogen werden können. Dass es dafür attraktivere Möglichkeiten gibt als die Vorgehenspläne der Konstruktionsmethodik, zeigen populäre Methoden wie TRIZ. Eine Schlüsselrolle spielt in diesem Zusammenhang wahrscheinlich die genauere Untersuchung der Wirkungsweise *abstrakter Zielformulierungen*, über die ja auch in den beobachteten Prozessabschnitten immer wieder Methodenwissen Eingang in die Lösungssuche gefunden hat.

Das Konzept der *Lösungssuche als politischer Prozess* wurde vom Autor in einer Fallstudie validiert, die in mancher Hinsicht günstige Ausgangsbedingungen für einen erfolgreichen Projektverlauf bot. Hier wäre in weiteren Studien zu klären, inwieweit der Prozessverlauf im Team in der Phase der *pluralistischen Lösungssuche* und der *formal unterstützten Konsensfindung* auch unter widrigeren Umständen noch beherrschbar wäre.

Dabei müsste vor allem der Einfluss von nicht fachlich begründeten Interessengegensätzen und hierarchischen Strukturen innerhalb eines Teams näher untersucht werden.

Bei der Prozessanalyse im Rahmen dieser Arbeit wurde wahrscheinlich erstmals ein psychologisches Handlungsmodell verwendet, das sich nicht ausschließlich auf handlungslogische Strukturen bezieht. Das *Rubikonmodell der Handlung* hat sich dabei als sehr hilfreich erwiesen, auch emotionale Aspekte der Lösungssuche bei der Produktentwicklung in die Betrachtung einzubeziehen. Daraus erschließt sich nach Ansicht des Autors ein noch weitgehend unbearbeitetes Feld für die empirische Konstruktionsforschung. Wie diese Arbeit gezeigt hat, ist die Einbeziehung emotionaler Verhaltensaspekte sehr wichtig für das Konzipieren methodischer Hilfsmittel. Nur wenn der Entwickler in seinem instinktiven Verhalten nicht „gegen den Strich gebürstet wird“, kann mit der Akzeptanz für eine Methode gerechnet werden. Die bessere Anpassung vorhandener Methoden an grundlegende menschliche Verhaltensweisen stellt deshalb die wichtigste mittelfristige Aufgabe der Entwicklungsmethodik und der empirischen Konstruktionsforschung dar. Der Autor hofft, auf diesem Weg einen Schritt in die richtige Richtung getan zu haben.

8 Literatur

AEBLI, H.:

Denken: Das Ordnen des Tuns. Band I: Kognitive Aspekte der Handlungstheorie.
Stuttgart: Klett-Cotta 1980

ADUNKA, R.; MEERKAMM, H.:

Function structures in TRIZ and VDI 2222 – contradiction or completion?
In: Lindemann, U. et al. (Ed.): Proceedings of ICED 99, Munich.
München: Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau 1999, Vol. 3, S. 1707-1710
(Schriftenreihe WDK 26)

ATMAN, J.; BURSIC, K.:

Teaching engineering design: Can reading a textbook make a difference.
Research in Engineering Design 4 (1996) 8, S.240-250

ALTSCHULLER, G.:

Erfinden – Wege zur Lösung technischer Probleme.
Berlin: Verlag Technik 1984

AMBROSY, S.:

Methoden und Werkzeuge für die integrierte Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1997 (Konstruktionstechnik München, Band 26)
Zugl. München: TU, Diss. 1996

AMFT, M.; DEMERS, M.; WULF, J.:

TRIZ in group design.
In: Lindemann, U. et al. (Ed.): Proceedings of ICED 99, Munich.
München: Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau 1999, Vol. 3, S. 1695-1698
(Schriftenreihe WDK 26)

ANDREASEN, M. M.; HEIN, L.:

Integrated product development.
Berlin: Springer 1987

ARROW, H.; MCGRATH, J.; BERDAHL, J. L.:

Small Groups as Complex Systems. Formation, Coordination, Development and Adaptation.
Thousand Oaks: Sage 2000

BERNARD, R.:

Early Evaluation of Product Properties within the Integrated Product Development.
Aachen: Shaker 1999 (Konstruktionstechnik München, Band 35)
Zugl.: München: TU, Diss. 1999

BIRKHOFFER, H.; LINDEMANN, U.:

Empirical Design Research – what we know and what we want to know.

In: Critical Enthusiasm – Contributions to Design Science. A 'Festschrift' for Mogens Myrup Andreassen the Occasion of his 60th Birthday, 17. December 1999.

Trondheim/Lyngby: Norwegian University of Science and Technology 1999, S. 1-14

BIRKHOFFER, H.; LINDEMANN, U.; ALBERS, A.; MEIER, M.:

Product Development as a structured and interactive Network of Knowledge – a revolutionary Approach.

In: Cully, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K.(Hrsg.): Design Applications in Industry and Education. 13th International Conference on Engineering Design, Glasgow.

London: Professional Engineering 2001, S. 457-464 (Schriftenreihe WDK 28)

BLESSING, L.:

A process-based approach to computer-supported engineering design.

Cambridge: Black Bear Press 1994

BLESSING, L.; CHAKRABATI, 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. (Hrsg.): Designers. The Key to Successful Product Development. Berlin: Springer 1998, S. 42-56

BONACCORSI, A.; MANFREDI, E.:

Design methods in practice: a survey on their adoption by the mechanical industry.

In: Lindemann, U. et al. (Ed.): Proceedings of ICED 99, Munich.

München: Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau 1999, Vol. 1, S. 413-416 (Schriftenreihe WDK 26)

BREEING, A.; FLEMMING, M.:

Theorie und Methoden des Konstruierens.

Berlin, Heidelberg, New York u. a.: Springer 1993

BUHL, H.:

Creative engineering design.

Ames, Iowa: The Iowa State University Press 1960

CARVER, C. S.; SCHEIER, M. F.:

Attention and self-regulation: A control-theory approach to human behavior.

New York: Springer 1981

CHESTNUT, H.:

Systems Engineering Methods.

New York, London, Sydney: Wiley 1967

CLELAND, D.; KERZNER, H.:

Engineering Team Management.

New York: Van Nostrand Reinhold 1986

COLLIN, H.:

Management von Produkt-Informationen in kleinen und mittelständischen Unternehmen.
München: TU, Diss. 2000

CRANACH, M. VON; KALBERMATTEN, U.; INDERMÜHLE, K.; GUGLER, B.:

Zielgerichtetes Handeln.
Bern: Huber 1980

CRANACH, M. VON; OCHSENBEIN, G.; VALACH, L.:

The group as a self-active system: Outline of a theory of group action.
European Journal of Social Psychology 16 (1986), S. 193-229

CROSS, N.:

Engineering Design Methods.. Strategies for Product Design.
Chichester, New York, Brisbane u. a.: John Wiley & Sons 1994

DAENZER, W.; HUBER, F.:

Systems Engineering – Methodik und Praxis.
Zürich: Industrielle Organisation 1999

DEMERS, M.:

Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen.
München: Dr. Hut 2000 (Produktentwicklung München, Band 40)
Zugl.: München: TU, Diss. 2000

DEWEY, J.:

How we think.
Boston: Health and Company 1933

DIEHL, M.; STROEBE, W.:

Productivity loss in brainstorming groups: Towards solution of a riddle.
Journal of Personality and Social Psychology 53 (1987), S.497-507

DÖRNER, D.:

Die Logik des Misslingens. Strategisches Denken in komplexen Situationen.
Hamburg: Rowohlt 1992

DÖRNER, D.:

Gedächtnis und Konstruieren.
In: Pahl, G. (Hrsg.): Psychologische und pädagogische Fragen beim methodischen Konstruieren. Ergebnisse des Ladenburger Diskurses von Mai 1992 bis Oktober 1993.
Köln: TÜV Rheinland 1994, S. 150-160

DÖRNER, D.:

Thought and Design – Research Strategies, Single-case Approach and Methods of Validation.
In: Frankenberger, E.; Badke-Schaub, P.; Birkhofer, H. (Hrsg.): Designers. The Key to Successful Product Development.
Berlin: Springer 1998, S. 3-11

DONMOYER, R.:

Generalizability and the single-case study. In: Gomm, R.; Hammersley, M.; Foster, P.: Case study method.
Thousand Oaks: Sage 2000, S. 45-68

DYLLA, N.:

Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren.
München: Hanser 1991 (Konstruktionstechnik München, Band 5)
Zugl. München: TU, Diss. 1991

EHRENSPIEL, K.:

Integrierte Produktentwicklung. Methoden für die Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion.
München: Hanser 1995

EHRENSPIEL, K.; KIEWERT, A.; LINDEMANN, U.:

Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. 2. Aufl.
Berlin: Springer 1998

ERTAS, A.; JONES, J.:

The Engineering Design Process.
Chichester, New York, Brisbane u. a.: John Wiley & Sons 1993

FRANKENBERGER, E.:

Arbeitsteilige Produktentwicklung. Empirische Untersuchung und Empfehlungen zur Gruppenarbeit in der Konstruktion.
Darmstadt: TU, Diss. 1997

FRANKENBERGER, E.; BADKE-SCHAUB, P.; BIRKHOFFER, H. (HRSG.):

Designers. The Key to Successful Product Development.
Berlin: Springer 1998

FRANKENBERGER, E.:

Arbeitsteilige Produktentwicklung. Empirische Untersuchung und Empfehlungen zur Gruppenarbeit in der Konstruktion. (Fortschrittberichte Nr. 291, Reihe 1)
Düsseldorf: VDI 1997
Zugl. Darmstadt: TU, Diss. 1997

FRENCH, M. J.:

Invention and evolution.. Design in nature and engineering.
Cambridge, New York, New Rochelle u. a.: Cambridge University Press 1988

FRICKE, G.:

Konstruieren als flexibler Problemlöseprozess – Empirische Untersuchung über erfolgreiche Strategien und methodische Vorgehensweisen beim Konstruieren.
(Fortschrittberichte Nr. 227, Reihe 1)
Düsseldorf: VDI 1993

GLOCK, F.:

Zur Soziologie des Konstruierens. (FS II 97-114)
Berlin: Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung 1997

GOLLWITZER, P. M.; HECKHAUSEN, H.; STELLER, B.:

Deliberative and implemental mindsets: Cognitive tuning toward congruous thoughts and information.
Journal of Personality and Social Psychology 59 (1990), S.1119-1127

GOMM, R.; HAMMERSLEY, M.; FOSTER, P.:

Case Study Method.
Thousand Oaks: Sage 2000

GRABOWSKY, H.; RUDE, S.; GREIN, G.:

Universal Design Theory. Proceedings of the Workshop Universal Design Theory, Karlsruhe, Germany, May 1998.
Aachen: Shaker 1998

GÜNTHER, J.:

Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess. Eine empirische Untersuchung unter besonderer Berücksichtigung von Konstrukteuren aus der Praxis.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 30)
Zugl. München: TU, Diss. 1998

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.:

Arbeitspsychologie, Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten.
Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften 1976

HACKMAN, J. R.:

The design of work teams. In: Losch, W. (Ed.): Handbook of organizational behavior.
Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall 1987

HALES, C.:

Analysis of the engineering design process in an industrial context.
Cambridge: Cambridge University, Diss. 1987

HALL, A. D.:

A Methodology for Systems Engineering.
Princeton, N.J.: 1962

HARARI, O.; GRAHAM, W. K.:

Task and task consequences as factors in individual and group brainstorming.
Journal of Social Psychology 95 (1975), S.61-65

HECKHAUSEN, H.:

Motivation und Handeln.
Berlin: Springer 1989

HUBKA, V.; EDER, W. E.:

Einführung in die Konstruktionswissenschaft.
Berlin: Springer 1992

HUGUET, P.; CHARBONNIER, E.; MONTEIL, J.-M.:

Productivity loss in performance groups: People who see themselves as average do not engage in social loafing.
Group dynamics: Theory, research and practice 3 (1999), S. 118-131

KALLMEYER, F.:

Eine Methode zur Modellierung prinzipieller Lösungen mechatronischer Systeme.
Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe 1998 (Band 42)
Zugl. Paderborn: Univ.-GH, Diss. 1998

KESSELRING, F.:

Technische Kompositionslehre. Anleitung zum technisch-wirtschaftlichen und verantwortungsbewußtem Schaffen.
Berlin: Springer 1954

KOLLER, R.:

Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte. 3. Aufl.
Berlin: Springer 1994

KRICK, E. V.:

An Introduction to Engineering and Engineering Design.
New York, London, Sydney u. a.: John Wiley & Sons 1965

KUHL, J.:

Handlungs- und Lageorientierung. In: Sarges, W. (Hrsg.): Managementdiagnostik.
Göttingen: Hogrefe 1995

LENK, E.:

Zur Problematik der technischen Bewertung.
München: Hanser 1994. (Konstruktionstechnik München, Band 13)
Zugl. München: TU, Diss. 1993

LENK, H.:

Handlungstheorien – interdisziplinär. Band I: Handlungslogik, formale und sprachwissenschaftliche Handlungstheorien.
München: Wilhelm Fink 1980 (Kritische Information 62)

LINCOLN, Y.; GUBA, E.:

The only generalization is: There is no generalization. In: Gomm, R.; Hammersley, M.; Foster, P.: Case study method. Thousand Oaks: Sage 2000, S. 27-44

LINDE, H.; HILL, B.:

Erfolgreich Erfinden – Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie. Darmstadt: Hoppenstedt 1993

LINDEMANN, U.:

A model of design processes of individual designers. In: Lindemann, U. et al. (Ed.): Proceedings of ICED 99, Munich. München: Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau 1999, Vol. 3, S. 757-762 (Schriftenreihe WDK 26)

LINDEMANN, U.; BIRKHOFER, H.:

Empirical Design Research – its contribution to a Universal Design Theory. In: Grabowsky, H.; Rude, S.; Grein, G.: Universal Design Theory. Proceedings of the Workshop Universal Design Theory, Karlsruhe, Germany, May 1998. Aachen: Shaker 1998, S. 291-304

LINDEMANN, U.; DEMERS, M.; GERST, M.; WULF, J.:

Lösungssuche mit Hilfe von Zielformulierungen. Konstruktion 53 (2001) 4, S. 92-97

LINDEMANN, U.; KLEEDÖRFER, R.:

Erfolgreiche Produkte durch Integrierte Produktentwicklung. In: Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Mit Schwung zum Aufschwung, Münchner Kolloquium '97. Landsberg: Moderne Industrie 1997, S. 115-136

LINDEMANN, U.; REICHWALD, R.:

Integriertes Änderungsmanagement. Berlin: Springer 1998

LINDEMANN, U.; STETTER, R.:

Industrial Application of the Method „Early Determination of product properties“. In: Proceedings of DTM 98, ASME Design Engineering Technical Conferences, Atlanta, Georgia. Atlanta: ASME 1998

LINDEMANN, U.; WULF, J.:

Technological lock-in in mechatronic engineering and ways of overcoming it. In: Tanik, M. M.; Ertas, A.(Ed.): Proceedings of the 4th & 5th World Conference on integrated Design and Process Technology, IDPT 1999/2000. Society for Design and Process Science 2000

LINDEMANN, U.; WULF, J.:

Action orientation in design methodology.

In: Cully, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K.(Hrsg.): Design Applications in Industry and Education. 13th International Conference on Engineering Design, Glasgow.

London: Professional Engineering 2001, S. 131-138 (Schriftenreihe WDK 28)

LOCKE, E. A.; LATHAM, G. P.:

A theory of goal setting and task performance.

Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall 1990

MICHAELSEN, L. K.; WATSON, W. E.; BLACK, R. H.:

A realistic test of individual versus group consensus decision making.

Journal of Applied Psychology 74 (1989), S.834-839

MILLER, G. A.; GALANTER, E.; PRIBRAM, K. H.:

Plans and the structure of behavior.

New York: Holt, Rinehart and Winston 1960

MINNEMAN, S. L.:

The social construction of a technical reality. Empirical studies of group engineering design practice.

Palo Alto: Xerox Palo Alto Research Center 1991

Zugl. Palo Alto: Stanford University, Diss. 1991

MÜLLER, J.:

Möglichkeiten und Ergebnisse der analytischen Darstellung konstruktiver Entwurfsprozesse im aktivitäts- und ereignisorientierten Graph.

Konstruktion 41 (1989), S. 25-34

MULLEN, B.:

Self-attention theory: The effects of group composition on the individual. In: Mullen, B.;

Goethals, R. (Eds.): Theories of group behavior.

New York: Springer 1987, S. 125-146

PACHE, M.; RÖMER, A.; LINDEMANN, U.; HACKER, W.:

Effort-saving modelling in early stages of the design process.

In: Lindemann, U. et al. (Ed.): Proceedings of ICED 99, Munich.

München: Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau 1999, Vol. 3, S. 679-684

(Schriftenreihe WDK 26)

PACHE, M.; WEIBHAHN, G.; RÖMER, A.; LINDEMANN, U.; HACKER, W.:

Sketching behavior and creativity in conceptual engineering design.

In: Cully, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K.(Hrsg.): Design Research – Theories, Methodologies and Product Modelling. 13th International Conference on Engineering Design, Glasgow.

London: Professional Engineering 2001, S. 461-468 (Schriftenreihe WDK 28)

PAHL, G.; BEITZ, W.:

Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung. 4. Aufl.
Berlin: Springer 1997

PAHL, G. (HRSG.):

Psychologische und pädagogische Fragen beim methodischen Konstruieren. Ergebnisse des
Ladenburger Diskurses von Mai 1992 bis Oktober 1993.
Köln: TÜV Rheinland 1994

PULM, U.; LINDEMANN, U.:

Enhanced systematics for functional product structuring.
In: Cully, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K. (Hrsg.): Design Research – Theories,
Methodologies and Product Modelling. 13th International Conference on Engineering Design,
Glasgow.
London: Professional Engineering 2001, S. 477-484 (Schriftenreihe WDK 28)

ROTH, K.:

Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. 2. Aufl.
Berlin: Springer 1994

ROOZENBURG, N.; EEKELS, J.:

Product design: Fundamentals and methods.
Chichester: Wiley 1991

RUTZ, A.:

Konstruieren als gedanklicher Prozess.
München: TU, Diss. 1985

RÜCKERT, C.; SPRINGER, J.:

Konstruktionsarbeit unter arbeitswissenschaftlichen Gesichtspunkten.
Konstruktion 46 (1994) 1, S.33-40

SCHNEIDER, M.; BIRKHOFFER, H.:

How to introduce methods of engineering design in industrial use – An approach based on an
evaluation of co-operation projects between industry and university. In: Horvath, I.; Medland,
A.; Vergeest, S. (Ed.): Proceedings of TMCE 2000, Third international symposium on tools
and methods of competitive engineering.
Delft: Delft University Press 2000

SCHÖN, D. A.:

The reflective practitioner. How professionals think in action.
New York: Basic Books, 1983

SIEDL, D.:

Methodische Entwicklung eines Spreizers für die minimalinvasive Herzchirurgie.
(Unveröffentlichte Semesterarbeit)
TU München, Lehrstuhl für Produktentwicklung 2001

SHAKERI, A.

A methodology for development of mechatronic systems.
Trondheim: NTNU, Diss. 1998

SOUCHKOV, V.:

TRIZ: Asystematic Approach to Conceptual Design.
In: Grabowsky, H.; Rude, S.; Grein, G.: Universal Design Theory. Proceedings of the Workshop Universal Design Theory, Karlsruhe, Germany, May 1998.
Aachen: Shaker 1998, S. 223-235

STAUFFER, L.; ULLMAN, D.:

A comparison of the results of empirical studies into the mechanical design process.
Design Studies 9 (1988) 2, S.107-114

STETTER, R.:

Method Implementation in Integrated Product Development.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 41)
Zugl.: München: TU, Diss. 2000

STETTER, R.; ASSMANN, G.; VIERTLBÖCK, M.:

Functional product modeling – new methods for the generation of product functions.
In: Cully, S.; Duffy, A.; McMahon, C.; Wallace, K.(Hrsg.): Design Research – Theories, Methodologies and Product Modelling. 13th International Conference on Engineering Design, Glasgow.
London: Professional Engineering 2001, S. 493-500 (Schriftenreihe WDK 28)

STEINER, I. D.:

Group processes and productivity.
New York: Academic Press 1972

SUH, N. P.:

Axiomatic Design as a Basis for Universal Design Theory.
In: Grabowsky, H.; Rude, S.; Grein, G.: Universal Design Theory. Proceedings of the Workshop Universal Design Theory, Karlsruhe, Germany, May 1998.
Aachen: Shaker 1998, S. 3-24

SULLIVAN, L. P.:

Quality Function Deployment.
Quality Progress (1986) June, S.39-50

TANG, J.:

Listening, drawing and gesturing in design: A study of the use of shared workspaces by design teams.
Palo Alto: Xerox Palo Alto Research Center 1989
Zugl. Palo Alto: Stanford University, Diss. 1989

TERNINKO, J.; ZUSMAN, A.; ZLOTIN, B.:

Step-by-step TRIZ: Creating innovative solution concepts.
Nottingham (New Hampshire): Responsible Management / Ideation International 1996

TSCHAN, F.:

Produktivität in Kleingruppen. Was machen produktive Gruppen anders und besser?
Bern: Huber 2000

VDI-RICHTLINIE 2221:

Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1993

VDI-RICHTLINIE 2222:

Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1997

VEIGA, J. F.:

The frequency of self-limiting behavior in groups: A measure and explanation.
Human Relations 44 (1991), S. 877-895

WALLMEIER, S.:

Potentiale in der Produktentwicklung. Möglichkeiten und Grenzen von Tätigkeitsanalyse und Reflexion.
Darmstadt: TU, Diss. 2001

WALLMEIER, S.; BADKE-SCHAUB, P.; STEMPFLE, J.; BIRKHOFFER, H.:

Empirical diagnosis and training in the design department. In: Horvath, I.; Medland, A.; Vergeest, S. (Ed.): Proceedings of TMCE 2000, Third international symposium on tools and methods of competitive engineering.
Delft: Delft University Press 2000

WATSON, W. E.; MICHAELSEN, L. K.; SCHARP, W.:

Member competence, group interaction and group decision making: A longitudinal study.
Journal of Applied Psychology 76 (1991), S. 803-809

WETH, R. VON DER:

Zielbildung bei der Organisation des Handelns.
Frankfurt a. M.: Peter Lang 1990 (Europäische Hochschulschriften: Reihe 6, Psychologie, Band 303)
Zugl. Bamberg: Universität, Diss. 1989

WILLIAMS, K. D.; KARAU, S. J.:

Social loafing and social compensation: The effects of expectations of co-worker performance.
Journal of Personality and Social Psychology 61 (1991) 4, S. 570-581

WULF, J.:

Methodische Entwicklung einer schaltbaren Kupplung für eine Kühlwasserpumpe.
(Unveröffentlichte Semesterarbeit)
TU München, Lehrstuhl für Konstruktion im Maschinenbau 1994

WULF, J.:

Mechatronic engineering in car body design.
In: Kivikoski, M. (Ed.): Advanced mechatronics: first – time – right. Proceedings of the 2nd International Conference on Machine Automation, Tampere, Finland, September 15 – 18, 1998.
Tampere: Tampere University of Technology, 1998

WULF, J.; SCHULLER, J.:

Entwicklungsmethodik für mechatronische Karosseriesysteme.
In: Mechatronik – Mechanisch/Elektrische Antriebstechnik: Tagung Wiesloch 29./30. März 2000
Düsseldorf: VDI 2000 (VDI Berichte 1533)

ZANKER, W.:

Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden.
Aachen: Shaker 1999 (Konstruktionstechnik München, Band 36)
Zugl. München: TU, Diss. 1999

ZIEGLER, R.; DIEHL, M.; ZIJLSTRA, G.:

Idea production in nominal and virtual groups: Does computer-mediated communication improve group brainstorming?
Group processes and intergroup relations 3 (2000), S.141-158

9 Dissertationsverzeichnis des Lehrstuhls für Produktentwicklung

Lehrstuhl für Produktentwicklung

Technische Universität München, Boltzmannstraße 15, 85748 Garching

Dissertationen betreut von

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

- D1 COLLIN, H.:
Entwicklung eines Einwalzenkalenders nach einer systematischen Konstruktionsmethode.
München: TU, Diss. 1969.
- D2 OTT, J.:
Untersuchungen und Vorrichtungen zum Offen-End-Spinnen.
München: TU, Diss. 1971.
- D3 STEINWACHS, H.:
Informationsgewinnung an bandförmigen Produkten für die Konstruktion der Produktmaschine.
München: TU, Diss. 1971.
- D4 SCHMETTOW, D.:
Entwicklung eines Rehabilitationsgerätes für Schwerstkörperbehinderte.
München: TU, Diss. 1972.
- D5 LUBITZSCH, W.:
Die Entwicklung eines Maschinensystems zur Verarbeitung von chemischen Endlosfasern.
München: TU, Diss. 1974.
- D6 SCHEITENBERGER, H.:
Entwurf und Optimierung eines Getriebesystems für einen Rotationsquerschneider mit allgemeingültigen Methoden.
München: TU, Diss. 1974.
- D7 BAUMGARTH, R.:
Die Vereinfachung von Geräten zur Konstanthaltung physikalischer Größen.
München: TU, Diss. 1976.
- D8 MAUDERER, E.:
Beitrag zum konstruktionsmethodischen Vorgehen durchgeführt am Beispiel eines Hochleistungsschalter-Antriebs.
München: TU, Diss. 1976.
- D9 SCHÄFER, J.:
Die Anwendung des methodischen Konstruierens auf verfahrenstechnische Aufgabenstellungen.
München: TU, Diss. 1977.
- D10 WEBER, J.:
Extruder mit Feststoffpumpe – Ein Beitrag zum Methodischen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1978.

- D11 HEISIG, R.:
Längencodierer mit Hilfsbewegung.
München: TU, Diss. 1979.
- D12 KIEWERT, A.:
Systematische Erarbeitung von Hilfsmitteln zum kostenarmen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1979.
- D13 LINDEMANN, U.:
Systemtechnische Betrachtung des Konstruktionsprozesses unter besonderer Berücksichtigung der Herstellkostenbeeinflussung beim Festlegen der Gestalt.
Düsseldorf: VDI-Verlag 1980. (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften Reihe 1, Nr. 60)
Zugl.: München: TU, Diss. 1980.
- D14 NJOYA, G.:
Untersuchungen zur Kinematik im Wälzlager bei synchron umlaufenden Innen- und Außenringen.
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D15 HENKEL, G.:
Theoretische und experimentelle Untersuchungen ebener konzentrisch gewellter Kreisringmembranen.
Hannover: Universität, Diss. 1980.
- D16 BALKEN, J.:
Systematische Entwicklung von Gleichlaufgelenken.
München: TU, Diss. 1981.
- D17 PETRA, H.:
Systematik, Erweiterung und Einschränkung von Lastausgleichslösungen für Standgetriebe mit zwei Leistungswegen – Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren.
München: TU, Diss. 1981.
- D18 BAUMANN, G.:
Ein Kosteninformationssystem für die Gestaltungsphase im Betriebsmittelbau.
München: TU, Diss. 1982.
- D19 FISCHER, D.:
Kostenanalyse von Stirnzahnrädern. Erarbeitung und Vergleich von Hilfsmitteln zur Kostenfrüherkennung.
München: TU, Diss. 1983.
- D20 AUGUSTIN, W.:
Sicherheitstechnik und Konstruktionsmethodiken – Sicherheitsgerechtes Konstruieren.
Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz 1985.
Zugl.: München: TU, Diss. 1984.
- D21 RUTZ, A.:
Konstruieren als gedanklicher Prozeß.
München: TU, Diss. 1985.
- D22 SAUERMAN, H. J.:
Eine Produktkostenplanung für Unternehmen des Maschinenbaues.
München: TU, Diss. 1986.
- D23 HAFNER, J.:
Entscheidungshilfen für das kostengünstige Konstruieren von Schweiß- und Gussgehäusen.
München: TU, Diss. 1987.

- D24 JOHN, T.:
Systematische Entwicklung von homokinetischen Wellenkupplungen.
München: TU, Diss. 1987.
- D25 FIGEL, K.:
Optimieren beim Konstruieren.
München: Hanser 1988.
Zugl.: München: TU, Diss. 1988 u. d. T.: Figel, K.: Integration automatisierter Optimierungsverfahren in den rechnerunterstützten Konstruktionsprozess.

Reihe Konstruktionstechnik München

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

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

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

- D56 BIRSACK, H.:
Methode für Krafeinleitungsstellenkonstruktion in Blechstrukturen.
Zugl.: München: TU, Diss. 1998.
- D57 IRLINGER, R.:
Methoden und Werkzeuge zur nachvollziehbaren Dokumentation in der Produktentwicklung.
Aachen: Shaker 1998. (Konstruktionstechnik München, Band 31)
Zugl.: München: TU, Diss. 1999.
- D58 EILETZ, R.:
Zielkonfliktmanagement bei der Entwicklung komplexer Produkte – am Bsp. PKW-Entwicklung.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 32)
Zugl.: München: TU, Diss. 1999.
- D59 STÖBER, R.:
Zielkostenmanagement in integrierten Produkterstellungsprozessen.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 33)
Zugl.: München: TU, Diss. 1999.
- D60 PHLEPS, U.:
Recyclinggerechte Produktdefinition – Methodische Unterstützung für Upgrading und Verwertung.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 34)
Zugl.: München: TU, Diss. 1999.
- D61 BERNARD, R.:
Early Evaluation of Product Properties within the Integrated Product Development.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 35)
Zugl.: München: TU, Diss. 1999.
- D62 ZANKER, W.:
Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden.
Aachen: Shaker 1999. (Konstruktionstechnik München, Band 36)
Zugl.: München: TU, Diss. 1999.

Reihe Produktentwicklung München

- D63 ALLMANSBERGER, G.:
Erweiterung der Konstruktionsmethodik zur Unterstützung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 37)
Zugl.: München: TU, Diss. 1999.
- D64 ABMANN, G.:
Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 38)
Zugl.: München: TU, Diss. 2000.
- D65 BICHLMAIER, C.:
Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen.
München: Utz 2000. (Produktentwicklung München, Band 39)
Zugl.: München: TU, Diss. 1999.

- D66 DEMERS, M.:
Methoden zur dynamischen Planung und Steuerung von Produktentwicklungsprozessen.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 40)
Zugl.: München: TU, Diss. 2000.
- D67 STETTER, R.:
Method Implementation in Integrated Product Development.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 41)
Zugl.: München: TU, Diss. 2000.
- D68 VIERTLBÖCK, M.:
Modell der Methoden- und Hilfsmiteleinführung im Bereich der Produktentwicklung.
München: Dr. Hut 2000. (Produktentwicklung München, Band 42)
Zugl.: München: TU, Diss. 2000.
- D69 COLLIN, H.:
Management von Produktinformationen 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 2001. (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.