

Aaron Jonas Wiedner

**Feldstudie zur Identifikation der von
Konstrukteuren praktizierten Handlungsmuster
bei der Funktion-Gestalt-Synthese**

Field study for identification of designers'
methodologies during the function-shape-synthesis

Band 65

Systeme ■ Methoden ■ Prozesse

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

Aaron Jonas Wiedner

**Feldstudie zur Identifikation der von Konstrukteuren
praktizierten Handlungsmuster bei der Funktion-
Gestalt-Synthese**

**Field study for identification of designers'
methodologies during the function-shape-
synthesis**

Copyright: IPEK ■ Institut für Produktentwicklung, 2013
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Universität des Landes Baden-Württemberg und
nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

Alle Rechte vorbehalten

Druck: Stolzenberger Druck und Werbung GmbH & Co. KG, Leimen
06224-7697915

ISSN 1615-8113

Feldstudie zur Identifikation der von Konstrukteuren praktizierten Handlungsmuster bei der Funktion-Gestalt-Synthese

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften
der Fakultät für Maschinenbau
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

genehmigte
Dissertation

von

Dipl.-Ing. Aaron Jonas Wiedner
aus Filderstadt

Tag der mündlichen Prüfung: 25. Juni 2013
Hauptreferent: o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. A. Albers
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. M. Meboldt

Vorwort des Herausgebers

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

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

Albert Albers

Vorwort zu Band 65

Die Konstruktion ist die Kernaktivität von maschinenbaulichen Unternehmen zur Erzeugung neuer Produktlösungen. Der Syntheseprozess technischer Systeme ist dabei äußerst komplex, da eine Vielzahl wechselwirkender und interagierender Einflussgrößen und Parameter zu berücksichtigen sind. Trotz der in den letzten Jahrzehnten hinzugekommenen Möglichkeiten durch die Rechnerunterstützung, wie z. B. grafische CAD-Systeme, Simulationsprogramme und Wissensdatenbanken, bleibt im Kern die Synthese-Tätigkeit, eine durch den Menschen auszuführende kreative Tätigkeit, um die neuen Lösungen und ihre Ausgestaltung letztendlich zu generieren. Dem konstruierenden Menschen kommt also in dieser zentralen Aktivität maschinenbaulicher Unternehmen eine hohe Bedeutung zu. Aus diesem Grunde hat die Konstruktionsforschung bereits seit vielen Jahrzehnten immer wieder versucht, durch Beobachtung und Analyse die Vorgehensstrategien von Konstrukteuren zu erfassen, zu dokumentieren und zu beschreiben. Insbesondere im angelsächsischen Raum entstanden und entstehen hier eine Vielzahl von wissenschaftlichen Untersuchungen, wobei leider in den meisten Fällen eine begleitende Beobachtung von in der Ausbildung befindlichen Ingenieuren, also Studenten, im Rahmen von synthetischen Aufgabenstellungen erfolgt. Wirkliche reale Feldstudien sind in diesem Zusammenhang bisher noch selten. Die Studien zeigen aber, dass es höchst unterschiedliche Vorgehensstrategien bei der Synthese technischer Systeme in der Konstruktion gibt. Es scheint also nicht die eine richtige Vorgehensweise zu geben. Ich forsche seit vielen Jahren mit meiner Forschungsgruppe auf dem Gebiet der Synthese und Analyse technischer Systeme. Hierbei ist die zentrale Hypothese, dass der Mensch in den Mittelpunkt gestellt werden muss, da er letztendlich maßgeblich für den Erfolg eines Produktentwicklungsprozesses verantwortlich ist. In diesem Zusammenhang entstand ein neuer Ansatz zur Beschreibung der Funktions- und Gestaltsynthese mit dem Contact und Channel-Ansatz (C&C²-A). Hierbei ist das Fundament des Ansatzes die Feststellung, dass eine Trennung von Funktionssynthese und Gestaltsynthese unter realen Bedingungen in der Konstruktion praktisch nicht stattfindet, da der Mensch immer Funktion und Gestalt simultan denkt. Im Rahmen dieser Forschungsarbeiten kommt der Beobachtung realer Konstruktionsprozesse eine entscheidende Bedeutung zu, da sie letztendlich die Begründung für die theoretische Modellbildung liefern müssen.

An dieser Stelle setzt die Arbeit von Herrn Dr.-Ing. Aaron Wiedner an. Er ist selbst in einem Unternehmen als aktiver Systemkonstrukteur tätig und hat dabei gleichzeitig die Gelegenheit gehabt, beobachtend den Konstruktionsprozess im Unternehmen von diversen Konstrukteuren zu beobachten. Auf Grund dieser Möglichkeiten ist es Herrn Dr.-Ing. Aaron Wiedner möglich gewesen, tatsächliche Konstruktionsprozesse

zu untersuchen und daraus mit wissenschaftlichen Methoden Handlungsmuster für die Funktions-Gestalt-Synthese abzuleiten. Die Forschungshypothese der wissenschaftlichen Arbeit von Herrn Dr.-Ing. Aaron Wiedner lautet: Methodische Ansätze, welche stärker auf die individuellen Handlungsmuster und auf die verschiedenen Entwicklungssituationen abgestimmt sind, können durch die Konstrukteure leichter angewendet werden und führen zu einer breiteren Akzeptanz in der Praxis. Herr Dr.-Ing. Wiedner klärt in seiner Arbeit, wie man eine stärkere Akzeptanz der konstruktionsmethodischen Vorgehensweisen in der praktischen Konstruktion erreichen kann. Das primäre Ziel seiner Arbeit ist es daher, die individuellen Handlungsmuster unterschiedlicher Konstrukteure während der Funktions-Gestalt-Synthese in der Praxis zu untersuchen und auf diese Weise einen Beitrag zu einer gezielten Ausrichtung methodischer Ansätze für diese Aktivitäten zu leisten. Ihm gelingt mit seiner Arbeit ein substanzieller Beitrag zur stärker auf die Praxis ausgerichteten Forschung an konstruktionsmethodischen Fragestellungen.

Albert Albers

Kurzfassung

Methodische Unterstützung des Konstruktionsprozesses soll Konstrukteure in der Praxis dabei unterstützen, effektiver und effizienter Lösungen für technische Problemstellungen zu entwickeln. Voraussetzung für die Konzeption entsprechender Methoden ist die genaue Kenntnis der Anwendungssituation und der Bedürfnisse des Anwenders. In der Konstruktionsforschung besteht an dieser Stelle immer noch ein Defizit, da die verschiedenen Einflüsse auf den Konstruktionsprozess und den darin agierenden Konstrukteur nicht ausreichend bekannt sind. Aus diesem Grund verfolgt die vorliegende Arbeit das Ziel, anhand von sechs Fallbeispielen die Handlungsmuster von Konstrukteuren in der industriellen Praxis bei der Funktion-Gestalt-Synthese detailliert zu untersuchen.

Die Ergebnisse der retrospektiv-deskriptiv durchgeführten Feldstudie weisen darauf hin, dass die in der Praxis zu beobachtenden Vorgehensweisen zwei übergeordneten Handlungsmustern zugeordnet werden können. Dabei sind Konstrukteure mit umsetzungs-orientiertem Handlungsmuster stark auf die Validierung einer zufriedenstellenden Lösung fokussiert und betrachten bei der überwiegend konkreten Lösungssuche nur wenige Alternativen. Dem gegenüber stehen Konstrukteure mit einem systematik-orientierten Handlungsmuster, welche bei der Lösungssuche auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen versuchen eine möglichst vollständige Betrachtung der Lösungsvielfalt zu erreichen, um eine möglichst optimale Lösung zu entwickeln. Die Effektivität und Effizienz der beiden Handlungsmuster variiert je nach Problemsituation und Problemstellung. Aus diesem Grund sollten Konstrukteure im Idealfall ihr Handlungsmuster situativ anpassen. Die Untersuchung der Fallbeispiele zeigt jedoch, dass dies aufgrund starker Spezialisierungen oft nicht möglich ist.

Diese Arbeit schafft ein Bewusstsein dafür, welche Problemsituation welches Handlungsmuster erfordert. Den Konstrukteuren werden Anregungen gegeben, wie sie durch Selbstreflexion und Analyse fremder Handlungsmuster ihre eigenen Schwächen erkennen und neue Vorgehensweisen erlernen können. Darüber hinaus werden unerfahrenen Konstrukteuren Hinweise gegeben, wie durch situative Wahl von Vorbildern und gezielte Erweiterung des Problemlösungsteams der Aufbau von Problemlösungskompetenzen gefördert und unnötige Entwicklungsschleifen vermieden werden können.

Zur Unterstützung der Kommunikation zwischen Konstrukteuren wird die Tauglichkeit des C&C²-Ansatzes für die Funktion-Gestalt-Synthese überprüft. Die Identifikation von Missverständnissen bezüglich der Anwendung dieses Ansatzes ist dabei Basis für die abschließende Präzisierung der Leitstützstruktur-Definition.

abstract

In practice, methodological support for designing processes should enable designers to develop solutions for technical problems more effectively and more efficiently. A crucial prerequisite for the conception of a successful method is the detailed knowledge about the situation in which this method is used, and its influences. At present, there is a deficit in design research as the various influences on the designing process and their consequences have not been fully explored yet. Hence, this work tries to analyse the methodologies of designers in industrial practice during the function-shape-synthesis on the basis of six case studies.

The result of this retrospective-descriptive field study points to the fact that the methodology used by designers in practice can be assigned to two superordinated methodologies. Designers using the implementation-oriented methodology are focused intensely on validating a satisfactory solution. During their search for this kind of solution their scope remains largely very concrete. In contrast to that there are designers using a systematic-oriented methodology. The latter try to get a complete overview of all possible solutions by looking at different levels of abstraction in order to develop the best solution. The efficiency and effectiveness of both methodologies vary according to the problems. Therefore, designers should ideally be able to adapt their methodology to the problem situation. However, the analysis of the six case studies shows that many designers are not able to do so, due to their strong specialisation.

This work creates awareness among designers, regarding which problem situation requires which methodology. Designers are given suggestions on how to gain in competence in problem solving, by means of self-reflection and analysis of various methodologies. Furthermore, this thesis gives advice to novice designers on how to advance the development of their problem solving competence and how to avoid unnecessary development loops by choosing proper role models, demanded by the problem, and extending their problem solving team deliberately.

In order to support communication between designers, the suitability of the Contact and Channel-Approach for the function-shape-synthesis is examined. Identifying misunderstandings concerning the application of this approach is the basis for the final clarification of the definition of the Channel and Support Structures.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde durch eine Kooperation des Instituts für Produktentwicklung Karlsruhe (IPEK) und der Hilti Entwicklungsgesellschaft mbH in Kaufering ermöglicht. Auf diese Weise konnte ich als akademischer Mitarbeiter und Konstrukteur zwei völlig verschiedene Welten gleichzeitig kennenlernen, was ich als große Bereicherung, Herausforderung und Chance zur persönlichen Entwicklung empfunden habe. Darüber hinaus war diese Konstellation auch ideal für die Durchführung empirischer Untersuchungen. Daher gilt mein besonderer Dank allen Beteiligten, die durch ihr Mitwirken diese Kooperation ermöglicht haben.

In erster Linie ist dabei mein Doktorvater, Herr Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers hervorzuheben, der mich in der Durchführung von Feldstudien stets positiv bestärkt und motiviert hat. Auf Basis der gemeinsam geführten offenen und fruchtbaren Diskussionen entstanden immer wieder neue Perspektiven und Ideen, welche den Inhalt der vorliegenden Arbeit maßgeblich geprägt haben.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Mirko Meboldt von der pd|z der ETH Zürich danke ich für die Übernahme des Korreferats und Herrn Prof. Dr.-Ing. Martin Heilmaier vom IAM des Karlsruher Instituts für Technologie KIT für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Eine wichtige Bereicherung waren auch die Gespräche mit Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen, der besonders Impulse hinsichtlich der Forschungsmethode und der Anwendung des C&C²-Ansatzes geben konnte. Darüber hinaus gilt mein Dank natürlich dem ganzen IPEK-Team, welches mich in jeder Hinsicht bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt hat.

Besonders danken möchte ich auch meinen Arbeitskollegen bei der Hilti Entwicklungsgesellschaft mbH, welche mir vertrauensvoll für die Auswertung der Fallbeispiele die erforderlichen Informationen zur Verfügung stellten, und mich bei der Durchführung der Interviews und der Rekonstruktion der Fallbeispiele tatkräftig unterstützten. Hervorzuheben sind dabei Dipl.-Ing. Markus Hartmann und Dr.-Ing. Josef Ponn, welche mir in zahlreichen Diskussionen halfen, den Fokus auf die wesentlichen Themen zu setzen.

Abschließend gilt mein Dank natürlich auch meiner Familie und dem engen Freundeskreis, welche mich besonders in den schwierigen Phasen seelisch und moralisch aufgebaut, und somit auch wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Karlsruhe, August 2013

Aaron Wiedner

*„Es mag sein, dass wir durch das Wissen anderer gelehrter werden –
weiser werden wir nur durch uns selbst.“*

Michel de Montaigne.

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Fokus und Ziel der Arbeit.....	3
1.2	Aufbau der Arbeit.....	3
2	Grundlagen und Stand der Forschung	5
2.1	Einflüsse auf die Problemsituation.....	5
2.1.1	Einfluss des Problems.....	5
2.1.2	Einfluss der Person.....	10
2.1.3	Einfluss der Rahmenbedingungen.....	17
2.2	Prozess und Strategien zur Problemlösung.....	18
2.2.1	Problemlösung durch Abstraktion.....	20
2.2.2	Strukturierte Lösungssuche.....	26
2.2.3	Steuerung von Produktentwicklungsprozessen.....	31
2.3	Erforschung der Konstruktionstätigkeit.....	35
2.3.1	Empirische Forschungsmethoden in der Konstruktionsforschung.....	36
2.3.2	Historie der empirischen Konstruktionsforschung.....	40
2.4	Fazit zum Stand der Forschung.....	65
3	Motivation und Zielsetzung	67
4	Forschungsmethode	71
4.1	Datenquelle.....	72
4.1.1	Fallbeispiele.....	73
4.1.2	Versuchspersonen.....	74
4.1.3	Datenübersicht.....	75
4.2	Datenerhebung.....	75
4.2.1	Indirekte Beobachtung durch Dokumente.....	76
4.2.2	Narrativ-episodisches Interview mit Versuchspersonen.....	77
4.2.3	Fragebogen zur Bewertung der Fallbeispiele.....	78
4.2.4	Teilnehmende Beobachtung des Autors.....	78
4.3	Beschränkungen.....	79
5	Problemlösung im industriellen Umfeld	81
5.1	Beschreibung der Fallbeispiele.....	81
5.1.1	Fallbeispiel 1: Geräteschnittstelle.....	81
5.1.2	Fallbeispiel 2: Werkzeugaufnahme.....	87
5.1.3	Fallbeispiel 3: Schlagwerk.....	93
5.1.4	Fallbeispiel 4: Sicherheitskupplung.....	99
5.1.5	Fallbeispiel 5: Staubabsaugung.....	105
5.1.6	Fallbeispiel 6: Vibrationsreduktion.....	111
5.2	Handlungsmuster der Funktion-Gestalt-Synthese.....	117
5.2.1	Prozessbetrachtung.....	117

5.2.2	Abstraktionsgrade	121
5.2.3	Lösungsraumbetrachtung	123
5.2.4	Lösungsauswahl	131
5.2.5	Validierung	133
5.2.6	Einflussfaktoren	136
5.3	Identifikation typischer Handlungsmuster	137
5.3.1	Umsetzungs-orientiertes Handlungsmuster	139
5.3.2	Systematik-orientiertes Handlungsmuster	140
5.3.3	Situationsbedingte Schwächen.....	142
5.4	Aneignung von Problemlösungskompetenzen	144
5.4.1	Kompetenzausbildung – Rolle von Hochschulen und Industrie	147
5.4.2	Ursachen einseitiger Kompetenzausbildung	149
5.4.3	Einfluss der Problemlösungskompetenzen auf die Kommunikation.....	150
5.5	Anwenderspezifische Ausrichtung methodischer Unterstützung	151
5.5.1	Wünsche der Konstrukteure	151
5.5.2	Gezielte individuelle Weiterentwicklung	153
5.5.3	Berücksichtigung unterschiedlicher Handlungsmuster.....	154
6	Veränderung des Handlungsmusters	157
6.1	Gezielte Entwicklung des Hochschulabsolventen.....	157
6.1.1	Aktivitäten-spezifische Wahl des Ansprechpartners.....	158
6.1.2	Notwendige und hilfreiche Erweiterung des Problemlösungsteams	160
6.2	Situative Anpassung des Handlungsmusters	161
6.3	Individuelle Entwicklung von Problemlösungskompetenzen.....	164
7	Unterstützung der Funktion-Gestalt-Synthese.....	167
7.1	Ist-Stand-Analyse C&C ² -Ansatz.....	168
7.2	Präzisierung von Definitionen.....	174
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	177
8.1	Zusammenfassung	177
8.2	Ausblick	179
9	Literaturverzeichnis.....	183
	Studien-, Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten	198
Anhang	199
Anhang 1	Interview-Leitfaden.....	199
Anhang 2	Fragebogen.....	200
Anhang 3	Interviews	201
Anhang 4	Dokumentation Beispiel „Lösungssuche“.....	250

Abkürzungen

AVR	Active Vibration Reduction
C	Connector
CAD	Computer-Aided Design
C&C ² -A	Contact and Channel Ansatz
C&C ² -M	Contact and Channel Modell
DMU	Digital Mock-Up (digitales Versuchsmodell)
FEM	Finite-Elemente-Methode
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
IC	Informationscheck
IPEK	Institut für Produktentwicklung
iPeM	Integriertes Produktentstehungsmodell
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KM	Konstruktionsmethodik
KMA	konstruktionsmethodische Ausbildung
LSS	Leitstützstruktur
PDM	Produktdatenmanagement
PLT	Problemlösungsteam
PMU	Physical Mock-Up (reales Versuchsmodell, Prototyp)
RS	Reststruktur
TS	Tragstruktur
TTM	Time To Market / Time To Money
VP	Versuchsperson
WF	Wirkfläche
WFP	Wirkflächenpaar
WK	Wirkkontakt
WZ	Werkzeug

1 Einleitung

Die erste Entwicklung eines Bohrhammers mit elektropneumatischem Schlagwerk liegt schon mehr als 40 Jahre zurück. Seit diesem Zeitpunkt hat sich das System über mehrere Produktlebenszyklen hinweg stetig weiterentwickelt. Dies ist besonders gut an dem wachsenden Verhältnis von Leistung und Masse erkennbar, welches sich alleine in den letzten 35 Jahren verdoppelt hat (Bild 1). Dabei sind jedoch die Grundprinzipien, mit denen der Schlagimpuls erzeugt wird, nach wie vor mit denen von vor 40 Jahren identisch. Die Unterschiede liegen im Detail. Baugruppen wie z. B. das Schlagwerk sind kompakter und leistungsstärker geworden während an anderen Stellen durch die Wahl leichterer Werkstoffe Masse reduziert werden konnte.

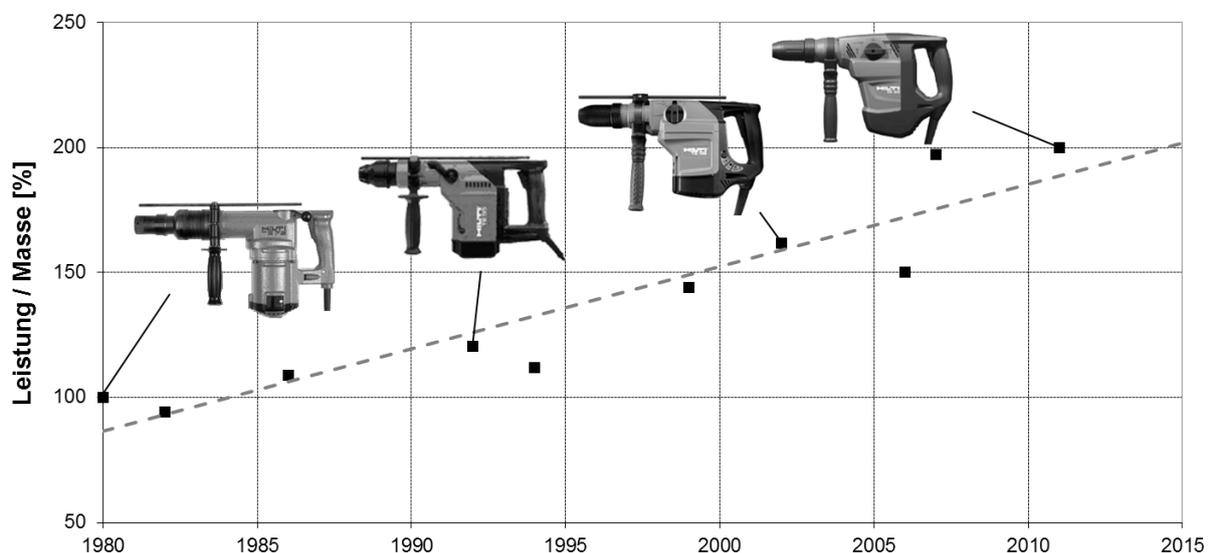


Bild 1 Zeitliche Entwicklung des Leistung/Masse-Verhältnisses bei Kombihämmern

Bei der Entwicklung eines neuen Bohr-, Kombi¹- oder Meißelhammers übernimmt der Konstrukteur üblicherweise ganze Baugruppen und Komponenten von dem Vorgänger. Ein großer Teil des Systems bleibt unverändert und wird als validiert betrachtet,² während der neu zu gestaltende Teil dazu genutzt werden muss, die Projektziele zu erreichen. Der Konstrukteur hat dabei die Aufgabe, neue innovative Lösungen zu finden, welche an die fest vorgegebenen Schnittstellen der übernommenen Systemteile angepasst sind. Auf der Suche nach Alternativen trennt

¹ Kombihämmer verfügen sowohl über eine Hammerbohr- als auch über eine Meißelfunktion

² vgl. Deigendesch 2010

sich der Konstrukteur gedanklich von bekannten Lösungen. Das Weglassen von unwichtiger Information vergrößert dabei seinen Designraum und lässt Interpretation zu. Der Abstraktionsprozess bildet auf diese Weise eine Ausgangsbasis für die anschließende Funktion-Gestalt-Synthese.

Während der Lösungssuche erstellen Konstrukteure eine Vielzahl von Darstellungen des Konstruktionsobjekts, die in ihrem Abstraktionsgrad variieren. Diese Darstellungen dienen der Problemlösung von Konstruktionsproblemen und fokussieren oft auf bestimmte Aspekte eines Problems. Sie können auch als Zwischenstände der Problemlösung verstanden werden. Dabei legt der Abstraktionsgrad der Darstellungen unter anderem fest, wie groß der Lösungsraum für die weitere Lösungssuche ist. Werden hier falsche Annahmen getroffen oder wichtige Informationen nicht beachtet, kann dies dazu führen, dass die Ziele der Entwicklungstätigkeit nicht erfüllt werden.

Das Erstellen von Darstellungen, die der Problemlösung dienlich sind, und die damit verbundene Wahl des richtigen Abstraktionsgrades, erfordert viel Übung und Erfahrung. Oft brauchen Konstrukteure mehrere Anläufe, um entsprechende Darstellungen zu erstellen. Darüber hinaus sind viele Konstrukteure nicht in der Lage, bei der Überführung von abstrakten Zielen in konkrete CAD-Modelle, Zwischenschritte zu bilden und Lösungen systematisch zu entwickeln. Als Folge wird oft die erste Lösung umgesetzt, ohne nach einer besseren, oder sogar der besten Lösung zu suchen.³ Als Ursache für dieses Verhalten wird vor allem das fehlende Erstellen von Darstellungen der Gestalt auf mittlerem Abstraktionsgrad gesehen.⁴

Trotz einer großen Anzahl methodischer Ansätze, welche das Lösen von Konstruktionsproblemen unterstützt, werden die meisten Projekte im industriellen Umfeld weitestgehend ohne methodische Unterstützung gelöst. Die Gründe sind in vielen Arbeiten in Form von Kritik an der Konstruktionsmethodik geäußert.⁵ Ein wesentlicher Faktor ist dabei der starre, unflexible Charakter bestehender Ansätze, der in vielen Fällen ein sequentielles Vorgehen erfordert. Dem gegenüber stehen individuell unterschiedlich ablaufende, hochflexible Entwicklungsprozesse, welche nur unzureichend durch bestehende Ansätze unterstützt werden. Um detaillierte Kenntnisse über die Arbeitsweise von Konstrukteuren zu erlangen und dadurch eine bessere Anpassung von methodischen Ansätzen an die Bedürfnisse der Anwender zu ermöglichen, soll die vorliegende Arbeit die Handlungsmuster von Konstrukteuren bei der Funktion-Gestalt-Synthese untersuchen.

³ vgl. Simon 1962

⁴ vgl. Stacey et al. 2003

⁵ vgl. Hutterer 2005; vgl. Jänsch 2007

1.1 Fokus und Ziel der Arbeit

Der Fokus der Arbeit liegt auf den kreativen Entwicklungsphasen, in welchen neue Lösungen für die Erfüllung ausgewählter Funktionen entstehen. Betrachtet wird dabei der Konstrukteur und die von ihm durchgeführten Aktivitäten und erstellten Objekte wie z. B. Darstellungen des Konstruktionsobjekts, welche als wesentliche Teilschritte zur Lösungsfindung betrachtet werden können. Durch die Untersuchung unterschiedlicher Handlungsmuster gilt es dabei die für eine erfolgreiche Problemlösung notwendigen Problemlösungskompetenzen zu identifizieren, um auf dieser Basis Empfehlungen für deren Entwicklung bzw. Aufbau zu geben. Hier liegt der Fokus besonders auf der Berufstätigkeit als Konstrukteur, welche nach der Hochschulausbildung beginnt. Um diese Ziele zu erreichen, werden im Kapitel „Grundlagen und Stand der Forschung“ die bestehenden Erkenntnisse bezüglich der Lösung von Konstruktionsproblemen beleuchtet, um darauf aufbauend einen Forschungsbedarf und eine präzisierte Zielsetzung abzuleiten.

Neben der Sammlung bestehender Erkenntnisse sollen im Rahmen der Arbeit auch neue Erkenntnisse durch Untersuchungen im industriellen Umfeld generiert und dadurch die bestehenden Erkenntnisse erweitert werden. Die Untersuchung von in der industriellen Praxis abgelaufenen Entwicklungsprozessen bietet dabei die Möglichkeit, real auftretende Probleme zu identifizieren, welche z. B. bei empirischen Studien unter Laborbedingungen nicht identifizierbar sind. Darüber hinaus gilt es auf Basis der generierten Erkenntnisse Empfehlungen für bestehende Methoden abzuleiten und damit zu einer besseren Akzeptanz der methodischen Ansätze beizutragen. Der Fokus dieser Arbeit liegt dabei auf dem von ALBERS und seiner Gruppe entwickelten C&C²-Ansatz.

1.2 Aufbau der Arbeit

Inhaltlich ist die Arbeit in acht Kapitel untergliedert (Bild 2) die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Kapitel 1 führt in die Thematik ein und legt den groben Rahmen der Arbeit fest.

Kapitel 2 führt in die Grundlagen zur Lösung von Konstruktionsproblemen ein und stellt die bestehenden Erkenntnisse bezüglich der in der industriellen Praxis praktizierten Handlungsmuster vor. Aus den dabei identifizierten offenen Fragen und Forschungslücken wird anschließend der Forschungsbedarf abgeleitet.

Kapitel 3 überführt den identifizierten Forschungsbedarf in konkrete Forschungsziele.

Kapitel 4 erklärt die Forschungsmethode, mit der die in Kapitel 3 vorgestellten Ziele erreicht werden sollen. Darüber hinaus wird die für die Datenerhebung relevante Datenquelle vorgestellt.

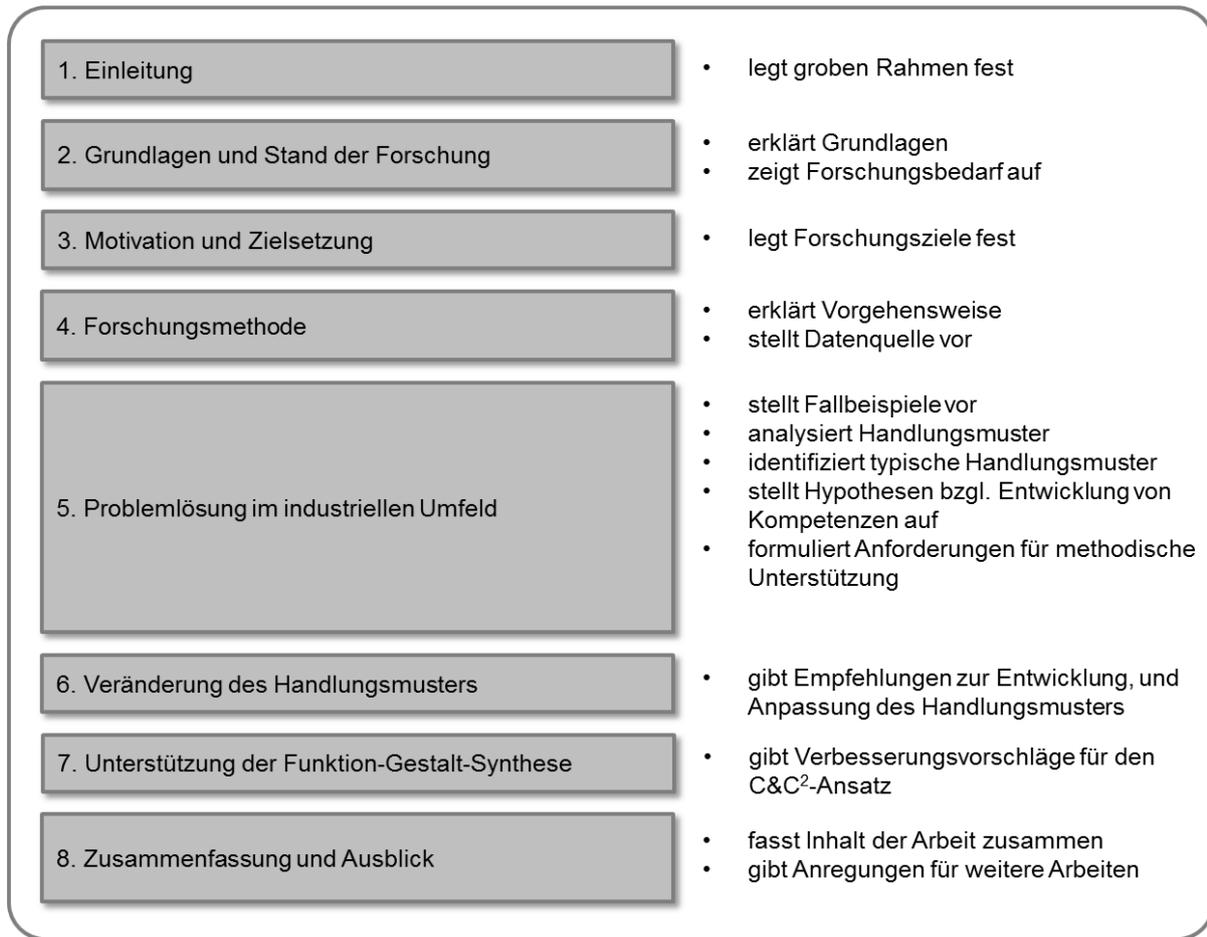


Bild 2 Inhaltlicher Aufbau der Arbeit

Kapitel 5, der wesentliche Kern der Arbeit, stellt die untersuchten Fallbeispiele vor und analysiert die von den Konstrukteuren praktizierten Handlungsmuster. Die anschließende Typisierung legt Konstrukteur-Typen fest, auf deren Basis Hypothesen für den Aufbau von Problemlösungskompetenzen aufgestellt werden. Aus den gewonnenen Erkenntnissen werden am Ende des Kapitels Anforderungen an die methodische Unterstützung abgeleitet.

Kapitel 6 gibt Empfehlungen, wie bei der Lösung von Konstruktionsproblemen individuelle Handlungsmuster und spezielle Entwicklungssituationen noch besser berücksichtigt werden können. Darüber hinaus werden Empfehlungen für unerfahrene Konstrukteure gegeben, wie diese möglichst effizient und effektiv bei der Lösung von Konstruktionsproblemen vorgehen können und sich dabei die für sie wichtigen Kompetenzen aneignen.

Kapitel 7 klärt, welche Auswirkungen die in Kapitel 5 formulierten Anforderungen für den C&C²-Ansatz haben und gibt Verbesserungsvorschläge.

Kapitel 8 fasst den Inhalt der Arbeit zusammen und gibt Anregungen für vertiefte Forschung zukünftiger Arbeiten.

2 Grundlagen und Stand der Forschung

Dieses Kapitel geht zunächst auf die unterschiedlichen Einflüsse einer Problemsituation ein und greift anschließend angewendete Strategien zur Problemlösung auf. Der wesentliche Teil des Kapitels beschäftigt sich mit der Aufarbeitung der Konstruktionsforschung und der dabei angewendeten Forschungsmethoden.

2.1 Einflüsse auf die Problemsituation

Das Lösen von Konstruktionsproblemen ist ein komplexer Prozess, der auf die Entwicklung von Lösungen in Form von Konstruktionsobjekten ausgerichtet ist. Der Ablauf des Prozesses wird in der Praxis von verschiedenen Einflüssen bestimmt. Neben dem Problem selbst sind es äußere Rahmenbedingungen und individuelle Einflüsse, welche sich maßgeblich auf den Ablauf des Konstruktionsprozesses auswirken (Bild 3).

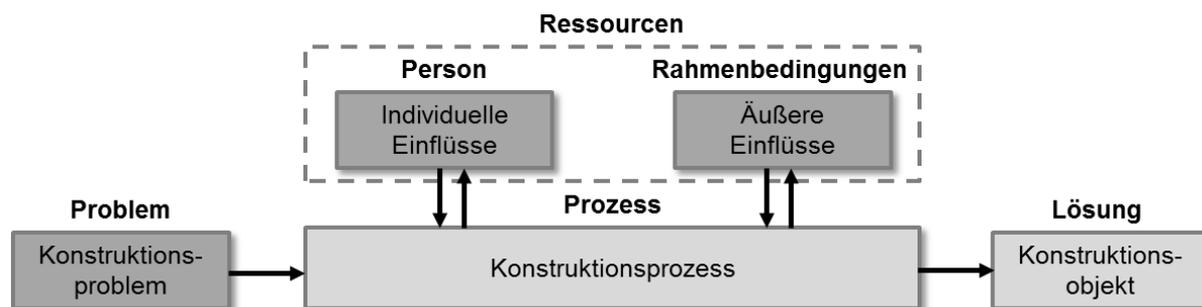


Bild 3 Einflüsse auf die Problemlösung in Anlehnung an GÜNTHER⁶

Für Unternehmen stellt sich daher die Frage, welche Ressourcen es zur Lösung einer gegebenen konstruktiven Problemstellung einsetzt, um das gewünschte Konstruktionsergebnis zu erreichen. Eine Erläuterung der einzelnen Einflussgrößen gibt das folgende Kapitel.

2.1.1 Einfluss des Problems

Problemlösung ist ein hoch kreativer Prozess, bei dem für ständig neue Probleme entsprechend neue Lösungen gefunden werden müssen. In der Literatur werden als wesentliche Merkmale eines Problems

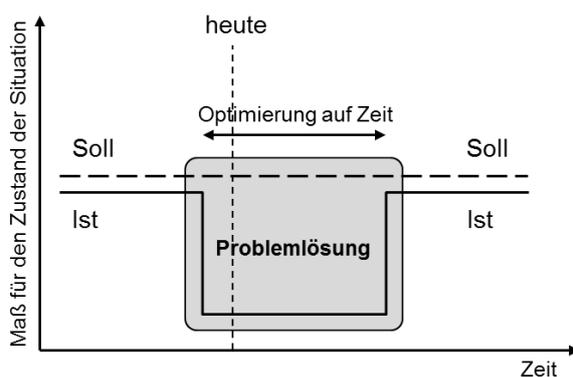
⁶ vgl. Günther 1998, S. 4

- ein unerwünschter Anfangszustand (Ist-Zustand),
- ein angestrebter Endzustand (Soll-Zustand) und
- eine Barriere, welche die direkte Transformation vom Anfangszustand in den Endzustand verhindert,

gesehen.⁷ Diese klassische Definition geht auf den Psychologen KÖHLER zurück, der davon ausgeht, dass ein Problem dann entsteht, wenn ein Lebewesen ein Ziel hat und nicht weiß, wie es dieses erreichen soll.⁸ Die Existenz der Barriere wird individuell unterschiedlich empfunden und entscheidet, ob es sich um ein Problem (Barriere existent) oder eine Aufgabe (Barriere nicht existent) handelt. Was für einen Novizen ein Problem darstellt, kann von einem Experten als Aufgabe empfunden werden.⁹ Die klassische Definition betont in erster Linie den Weg der Problemlösung, wohingegen ALBERS das Bewusstsein bezüglich der Abweichung von Ist-Zustand und Soll-Zustand viel stärker in den Vordergrund stellt. Er definiert daher ein Problem als „eine Abweichung zwischen dem beliebig unbekanntem Anfangszustand (Ist-Zustand) und einem gewünschten, beliebig vagen Endzustand (Soll-Zustand), verbunden mit dem – zumindest teilweise – unbekanntem Weg vom Ist zum Soll.“¹⁰ Abhängig davon, wie die Abweichung zwischen Ist-Zustand und Soll-Zustand entsteht, werden nach ALBERS zwei Situationsarten unterschieden, die eine Problemlösung erfordern (Bild 4):

Notsituation

Wiederherstellung des ursprünglichen Ist-Zustands



Planungssituation

Definition eines neuen Soll-Zustands und Angleich des Ist-Zustands

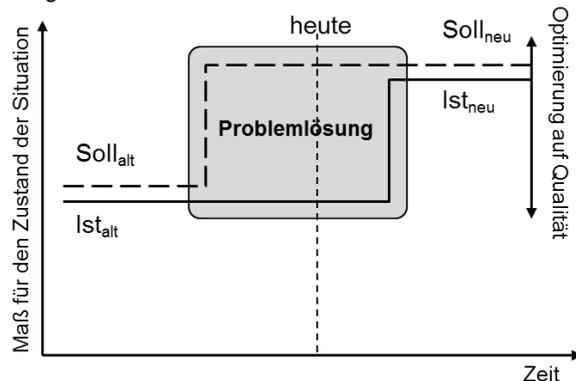


Bild 4 Not- und Planungssituation nach ALBERS¹¹

⁷ vgl. Dörner 1987, S. 10; vgl. Pahl et al. 2005, S. 58

⁸ vgl. Köhler 1921, S. 90 ff.

⁹ vgl. Meboldt 2008, S. 114

¹⁰ Albers et al. 2005; Saak 2006, S. 6

¹¹ vgl. Albers et al. 2002b; vgl. Albers & Meboldt 2006

- Eine Notsituation entsteht durch eine ungewollte Absenkung des Ist-Zustands vom geforderten Soll-Zustand. Ziel der Problemlösung ist es, möglichst schnell den Ist-Zustand dem geforderten Soll-Zustand wieder anzugleichen. Entscheidend jedoch ist, dass mit der Problemlösung erst begonnen werden kann, wenn die Abweichung nach dem „Übertreten der Erkenntnisschwelle“ bewusst wahrgenommen wird. Hier kann ein spätes Erkennen zu einer zusätzlichen Verschärfung der Notsituation führen.
- Eine Planungssituation entsteht durch die Festlegung eines neuen Soll-Zustands. Die aktiv herbeigeführte Abweichung wirkt sich erst in der Zukunft aus. Ziel der Problemlösung ist es, eine möglichst optimale Erreichung des Soll-Zustands zu realisieren.¹²

Abhängig von der Problemsituation muss daher eine Optimierung hinsichtlich der Zeit (Notsituation) oder bezüglich der Qualität der Lösung (Planungssituation) durchgeführt werden.

Die Lösung von Konstruktionsproblemen bewegt sich in einem Raum aufgespannt zwischen abstrakten Funktionen und konkreter Gestalt.¹³ Der Ausgangspunkt ist oft sehr unterschiedlich und hat maßgeblichen Einfluss auf die spätere Lösung, da hierdurch die Freiheiten des Problemlösers bei der Entwicklung von alternativen Lösungen teilweise stark eingeschränkt werden. In der klassischen Konstruktionsmethodik werden drei verschiedene Arten von Konstruktionsproblemen unterschieden, welche sich nach dem Neuheitsgrad des zu entwickelnden Produkts richten¹⁴ :

- Neukonstruktionen sind charakterisiert durch die Suche nach neuen Lösungsprinzipien oder neuer Kombination bekannter Prinzipien. Der Problemlöser genießt große Freiheiten bezüglich der Gestalt und Umsetzung der geforderten Ziele.
- Anpassungskonstruktionen beinhalten die Verwendung bekannter, umgesetzter Lösungsprinzipien unter veränderten Randbedingungen. Ziel ist die Erreichung neuer Zielsetzungen durch bekannte Mittel. Dabei kann die Anpassungskonstruktion bei komplexen Konstruktionsproblemen auch die Neukonstruktion von einzelnen Teilsystemen beinhalten.
- Variantenkonstruktion bezieht sich im Wesentlichen auf die Veränderung bzw. Variation der Abmessungen oder Anordnungen von Bauteilen und

¹² vgl. Albers et al. 2002b; vgl. Saak 2006, S. 13 ff.

¹³ vgl. Alink 2010, S. 1

¹⁴ vgl. Pahl et al. 2005, S. 91; vgl. Ehrlenspiel 2007, S. 257 ff.

Baugruppen. Ziel ist dabei die Erfüllung quantitativ geänderter Anforderungen (z. B. Erhöhung der Leistung) bei minimalem Konstruktionsaufwand. Ein wirkungsvoller Ansatz dafür ist die parametrische Konstruktion.

Nach ALBERS¹⁵ sollte die Neuheit einer Entwicklung nicht nach der Bekanntheit der Lösungsprinzipien beurteilt werden, da in der heutigen Zeit ohnehin mehr als 90% aller Innovationsprojekte in der Produktentstehung auf bekannte Lösungsprinzipien zurückgreifen. Die Herausforderung für den Konstrukteur besteht darin, den oft sehr begrenzten Lösungsraum systematisch zu erkunden und kreativ zu nutzen. Diese hoch komplexe und anspruchsvolle Tätigkeit kann trotz der Anwendung bekannter Lösungsprinzipien zu Innovationen führen, wenn z. B. bekannte Lösungsprinzipien anders kombiniert oder in einen neuen Kontext gebracht werden. Dabei können winzige, scheinbar unwichtige Details zu Alleinstellungsmerkmalen und damit Wettbewerbsvorteilen gegenüber anderen Unternehmen führen. Für ALBERS geht diese Art der Entwicklungstätigkeit weit über das bloße Anpassen an veränderte Randbedingungen einer Anpassungskonstruktion¹⁶ hinaus, weshalb er sie als „evolutionäre Produktgenerationsentwicklung“ bezeichnet.¹⁷

Folge der evolutionären Produktgenerationsentwicklung ist eine tendenziell steigende Produktkomplexität, da die Weiterentwicklung von einzelnen Baugruppen oder Komponenten nur selten zu Vereinfachungen in der Produktstruktur führt. Dies wirkt sich auch auf die zu lösenden Konstruktionsprobleme aus. Daher besitzen viele der von DÖRNER aufgestellten Merkmale komplexer Probleme¹⁸ auch hier Gültigkeit. Nach GÜNTHER¹⁹ weisen Konstruktionsprobleme daher folgende Merkmale auf:

- Komplexität: Konstruktionsprobleme sind aus mehreren Teilproblemen zusammengesetzt, welche sich untereinander stark beeinflussen, aber nicht parallel bearbeitet werden können. Die Menge der Systemelemente ist unübersichtlich und unter Umständen nicht vollständig.
- Intransparenz: Ziele und Anforderungen sind unvollständig geklärt und können anhand der erstellten Darstellungen des Konstruktionsobjekts nicht verlässlich überprüft werden. Basis für Entscheidungen sind Annahmen, Berechnungen oder Simulationen.

¹⁵ vgl. Albers 2011

¹⁶ vgl. Pahl et al. 2005, S. 91; vgl. Ehrlenspiel 2007, S. 257 ff.

¹⁷ vgl. Albers 2011

¹⁸ vgl. Dörner et al. 1983

¹⁹ vgl. Günther 1998, S. 16

- **Interdependenzen:** Es existieren Wirkungsnetze auf mehreren Betrachtungsebenen. Auf der Ebene der Produktmerkmale gibt es z. B. Zusammenhänge zwischen Funktion, Gestalt, Kosten etc., welche bei der Gestaltung einzelner Komponenten betrachtet werden müssen.
- **Polytelie:** Es werden mehrere Ziele und Anforderungen angestrebt, die besonders zu Beginn der Problemlösung oft unscharf formuliert sind. Darüber hinaus ist eine Erreichung aller Ziele durch bekannte Technologien oft nicht möglich. Bei dem Umgang mit widersprüchlichen Zielen gilt es bei der Lösung von Konstruktionsproblemen oft einen bestmöglichen Kompromiss zu finden.

Tabelle 1: Klassifikation von Konstruktionsproblemen²⁰

		Konstruktionsproblem: Vollständigkeit und Klarheit der Anforderungen und Bedingungen	
		hoch: Lösungsfreiraum klar und begrenzt	gering: Lösungsfreiraum unklar, Grenzen schwer erkennbar
Konstrukteur & Rahmenbedingungen: Verfügbarkeit von erforderlichem Wissen, Können, Sachmittel	hoch: ausreichend bekannt und verfügbar	Interpolationsproblem einfache Variantenkonstruktion (Aufgabe) Bsp.: Konstruktion nach vorgegebenem Muster (Baureihen- oder Baukastenkonstruktion)	Dialektisches Problem einfache Entwicklungsstudie (Zielproblem) Bsp.: Anforderungen an das Produkt zunächst nicht zu ermitteln (bisheriges Getriebe umkonstruieren für den noch unbekanntem Markt der Roboterantriebe)
	gering: nicht ausreichend bekannt oder verfügbar	Syntheseproblem komplexe Anpassungskonstruktion (Mittelproblem) Bsp.: Konstruktion bei widersprüchlichen Zielen und zu engen Lösungsfreiräumen, komplexe Optimierungen (Getriebe mit niedrigeren Herstellungskosten und niedrigerem Geräusch als bisher)	Synthetisches und dialektisches Problem Neukonstruktion (Ziel und Mittelproblem) Bsp.: Anforderungen und Lösungswege unklar (Getriebe für „Öko- PKW“ mit bisher unklarem Konzept)

Um Problemlösung planbar zu machen und erfolgreiche Lösungsstrategien anzuwenden, besteht ein Bestreben, Probleme zu klassieren. DÖRNER identifiziert je nach Bekanntheitsgrad der Mittel, welche zur Problemlösung benötigt werden (individuell unterschiedlich), und nach der Klarheit der Zielkriterien vier Problemtypen

²⁰ vgl. Ehrlenspiel 2007, S. 58; vgl. Sachse & Hacker 1995

mit unterschiedlicher Barriere.²¹ Bezogen auf die Konstruktion lassen sich somit vier verschiedene Arten von Konstruktionsproblemen identifizieren (Tabelle 1). Ein Konstruktionsproblem kann auf diese Weise mit Hilfe der Matrix noch vor Beginn des Problemlösungsprozesses eingeordnet werden. Jedoch ist die Klassierung aus der Sicht des in der Praxis tätigen Konstrukteurs mitunter schwer anwendbar, da eine klare Zuordnung nicht möglich ist.

2.1.2 Einfluss der Person

Der Einfluss des Konstrukteurs auf das Konstruktionsergebnis wird bei Konstruktionsproblemen im Wesentlichen durch dessen Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten bestimmt (Bild 5).

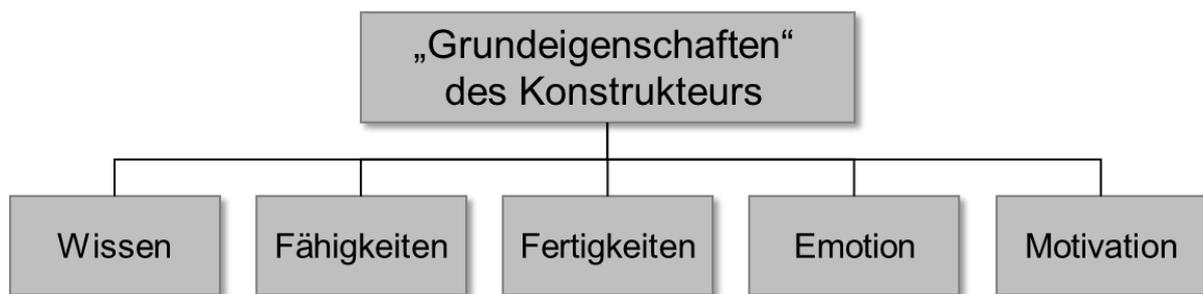


Bild 5 Grundeigenschaften des Problemlösers in Anlehnung an GÜNTHER²²

Neben den genannten „Grundeigenschaften“ des Problemlösers, welche erlernt, geschult und vor allem durch Erfahrung weiterentwickelt werden, dürfen individuelle, unter Umständen stark wechselnde Faktoren wie Emotion und Motivation des Problemlösers als Einflüsse auf das Konstruktionsergebnis nicht vernachlässigt werden.²³

Wissen

Das Wissen bzw. Fachwissen, welches in der Psychologie als epistemische Kompetenz bezeichnet wird (Bild 6), ist ein wesentlicher Faktor für das Lösen von Konstruktionsproblemen und wächst durch praktische Erfahrungen. Es ist immer personengebunden²⁴ und liegt in Form von gespeicherten Informationseinheiten im Gedächtnis des Problemlösers vor. Innerhalb des gespeicherten Wissens wird zwischen explizitem und implizitem Wissen unterschieden.²⁵ Explizites Wissen wird

²¹ vgl. Dörner 1987, S. 14

²² vgl. Günther 1998, S. 26

²³ vgl. Günther 1998, S. 26

²⁴ vgl. North 2011, S.37

²⁵ vgl. Dörner 2006, S. 65

dabei als Wissen bezeichnet, welches zu jedem Zeitpunkt abfragbar ist, wohingegen implizites Wissen zwar vorhanden, aber nicht vermittelbar ist. Jeder Prozess des Explizierens erfolgt über Informationen, z. B. in Form von Sprache, Text oder Bildern, welche nur begrenzt die individuellen Vorstellungen übermitteln können. Expliziertes Wissen liegt daher immer in verkürzter Form vor.²⁶ Innerhalb des Fachwissens kann zwischen Sachwissen und Methodenwissen unterschieden werden.

Sach- oder Domänenwissen beinhaltet im Wesentlichen Faktenwissen und Regelwissen. Es handelt sich hierbei um elementares Wissen in einem Fachbereich oder einer Domäne, wie z. B. das Faktenwissen über verschiedene Welle-Nabe-Verbindungen und das Regelwissen bezüglich der Berechnung des zulässig übertragbaren Drehmoments einer Passfeder-Verbindung. Laut einer Studie von ANDERSON verfügen Experten über 50.000 bis 100.000 gedankliche Informationseinheiten. Der Aufbau eines breiten Sachwissens benötigt etwa zehn Jahre Berufspraxis.²⁷

Methodenwissen ist Wissen bezüglich der Vorgehensweise im Konstruktionsprozess und hilft dem Konstrukteur, definierte Zwischenziele zu erreichen. Es ist fachgebunden und unterstützt die heuristische Kompetenz²⁸, welche für das Lösen von komplexen Konstruktionsproblemen benötigt wird. Explizites Methodenwissen wird durch konstruktionsmethodische Ausbildung erlernt. Jedoch kann auch bei erfahrenen Konstrukteuren ohne konstruktionsmethodische Ausbildung eine Art Methodenwissen beobachtet werden, welche in der Regel implizit vorliegt und bewährte Vorgehensweisen in verschiedenen Problemsituationen umfasst.

Darüber hinaus existiert zusätzlich zu dem Domänen- und Methodenwissen fallspezifisches Wissen, welchem ALBERS und SAUTER²⁹ zentrale Bedeutung für die Produktentstehung beimessen. Es wird aufgebaut aus fallspezifischen Informationen, welche oft unsicherheitsbehaftet sind. Als charakteristisch für fallspezifisches Wissen gilt daher, dass es kontinuierlich revidiert, permanent als verbesserungsfähig angesehen, prinzipiell nicht als Wahrheit, sondern als Ressource betrachtet wird, und untrennbar mit Nichtwissen gekoppelt ist.³⁰

Bei dem Aufbau von Wissen, z. B. durch Lesen, eignet sich der Mensch faktenbezogenes, meist in Aussagesätzen formuliertes Wissen an. Dieses

²⁶ vgl. Lohmeyer 2013, S. 90

²⁷ vgl. Anderson 1983

²⁸ heuristische Kompetenz beschreibt "die Fähigkeit, ohne spezifische Vorkenntnisse in einer neuartigen und komplexen Situation neue Handlungspläne zu entwickeln, die das Vorgehen in angemessener Weise steuern" (vgl. Weth 1994, S. 104).

²⁹ vgl. Sauter 2011, S. 42f.

³⁰ vgl. Willke 1998

deklarative Wissen wird durch Anwendung bei der Bearbeitung von Aufgaben oder Problemen kompiliert und dadurch in prozedurales Wissen überführt. Dabei wird das Wissen anders organisiert, strukturiert und im Langzeitgedächtnis gespeichert, was einen leichteren Zugang ermöglicht. Dieser Prozess, bei dem bedeutungstragende Elemente als funktionale Einheiten gespeichert werden, wird als "Chunking" bezeichnet.³¹

Fähigkeiten / Kompetenzen

Eine Fähigkeit bzw. Kompetenz beschreibt die kognitive Möglichkeit eine Aufgabe zu bearbeiten³² und/oder die Verwendung von Intelligenz, um Probleme zu lösen und Entscheidungen zu treffen.³³ KLÄGER, der die Struktur des menschlichen Verstandes aus Ingenieurssicht beschreibt, unterscheidet an dieser Stelle die epistemische und die heuristische Kompetenz (Bild 6).

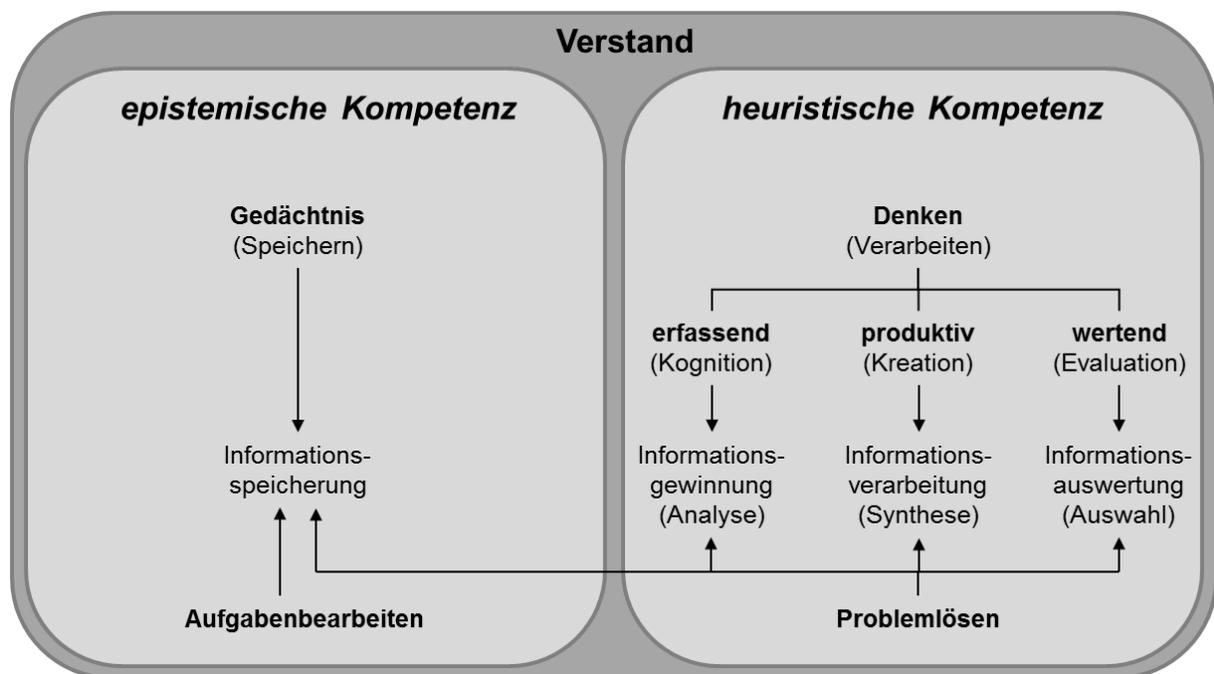


Bild 6 Struktur des menschlichen Verstandes in Anlehnung an KLÄGER³⁴

Letztere kann nach PATZAK in drei Denkformen unterteilt werden:

- erfassendes Denken (Kognition): Wiedererkennen und Wiederentdecken von Informationen,

³¹ vgl. Anderson 1983, S.135

³² vgl. Shah 2005

³³ vgl. Robinson et al. 2005

³⁴ vgl. Kläger 1993, S. 24

- produktives Denken (Kreation): Verwendung bekannter Informationen zur Schaffung neuer Informationen,
- wertendes Denken (Evaluation): Entscheidungsvorbereitung und Entscheidung, ob das Erfasste oder Produktive den geforderten Vorstellungen entspricht.³⁵

Nach FRANKENBERGER beschreibt die epistemische Kompetenz die Handlungsmöglichkeiten in einem bestimmten Realitätsbereich, während die heuristische Kompetenz die Fähigkeit im Umgang mit neuen Realitätsbereichen vorgibt. Er sieht große Ähnlichkeiten zwischen dem Konzept der epistemischen Kompetenz und dem Erfahrungswissen, weshalb er Kompetenz mit der heuristischen Kompetenz gleich setzt.³⁶ Dies ist eine in der Produktentwicklung verbreitete Auffassung, die dazu führt, dass Analyse- und Synthesefähigkeit³⁷ aber auch Entscheidungsfähigkeit und räumliches Vorstellungsvermögen³⁸ als wichtige Fähigkeiten zur Lösung von Konstruktionsproblemen genannt werden³⁹.

Ein wesentliches Element bei der erfolgreichen Problembearbeitung ist das Entwickeln von neuen Lösungen, welches durch das produktive Denken, die Kreativität, gesteuert wird. In der Literatur wird innerhalb des produktiven Denkens zwischen intuitivem (divergent produktivem) und diskursivem (konvergent produktivem) Denken unterschieden.⁴⁰ Intuitives Denken wird als sprunghaft, unbewusst, aber ganzheitlich beschrieben. Das Entwickeln von neuen Lösungen entzieht sich dabei weitestgehend der Kontrolle des Bewusstseins und erfolgt eher zufällig in Form einer plötzlichen Eingebung.⁴¹ Diskursives Denken ist im Gegensatz dazu zergliedernd und in logischer Folge fortschreitend. Das Entwickeln von neuen Lösungen erfolgt durch Aufteilung in Teilprobleme und Teilziele, für die anhand von logisch-analytischen Denkweisen Lösungen entwickelt werden.⁴²

Diese sehr wissenschaftliche Auffassung des Kompetenz-Begriffs sollte nach LATTUCA aus heutiger Sicht durch persönliche Fähigkeiten wie z. B. Kommunikation, Teamwork, ethische Verantwortung und Bereitschaft zum

³⁵ vgl. Patzak 1982

³⁶ vgl. Frankenberger 1997, S. 218 f.

³⁷ vgl. Pahl 1992

³⁸ räumliches Vorstellungsvermögen beschreibt die "Fähigkeit, sich gedanklich im zwei- oder dreidimensionalen Raum zu bewegen und in der Vorstellung mit mehrdimensionalen Objekten zu operieren" (Köller et al. 1994, S.66).

³⁹ vgl. Blade & Watson 1955; vgl. Stephenson 1987

⁴⁰ vgl. Brander et al. 1985; vgl. Pahl & Beitz 1986; vgl. Patzak 1982

⁴¹ vgl. Ehrlenspiel 2007, S. 64

⁴² vgl. Ehrlenspiel 2007, S. 64

lebenslangen Lernen erweitert werden.⁴³ Diese Meinung wird auch von weiteren Arbeiten⁴⁴ vertreten, wobei die Fähigkeit technische Lösungen zu kommunizieren als wichtige Voraussetzung für einen effektiv arbeitenden Konstrukteur erachtet wird.⁴⁵

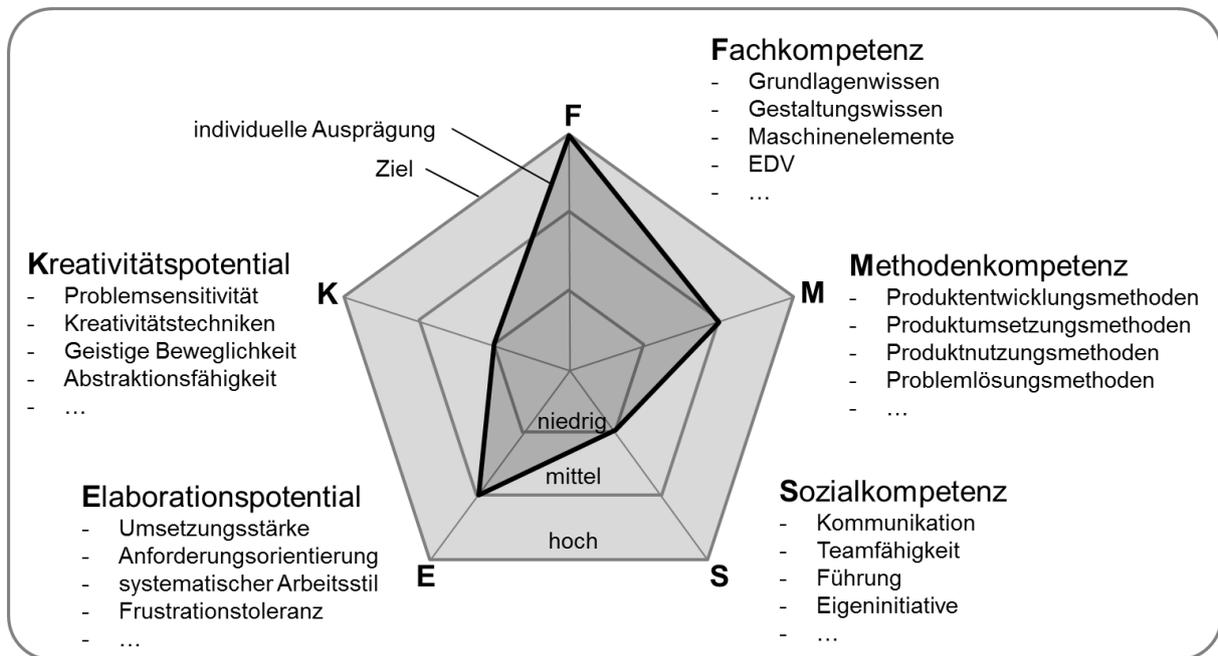


Bild 7 Kompetenzbewertung in der Produktentwicklung nach ALBERS⁴⁶

Auch ALBERS propagiert für die Produktentwicklung eine breite Betrachtung unterschiedlicher Kompetenzfelder. Er unterscheidet fünf zentrale Dimensionen (Fachkompetenz, Methodenkompetenz, Kreativitätspotential, Elaborationspotential, Sozialkompetenz), anhand derer die Fähigkeiten eines Konstrukteurs bewertet werden können (Bild 7).⁴⁷

Zur Vermittlung von Fähigkeiten bzw. Kompetenzen in der Lehre gelten Konstruktionsprojekte als geeignet, in welchen die Teilnehmer sowohl fundamentales technisches Wissen erlernen und gleichzeitig ihre persönlichen Fähigkeiten wie Kommunikation, Problemlösung und Teamwork erweitern.⁴⁸

⁴³ vgl. Lattuca et al. 2006

⁴⁴ vgl. Crain et al. 1997; vgl. Robinson et al. 2005; vgl. Eder & Hubka 2005

⁴⁵ vgl. Abdullah et al. 2011

⁴⁶ vgl. Albers et al. 2008b

⁴⁷ vgl. Albers et al. 2008b

⁴⁸ vgl. Volkwein et al. 2004; vgl. acatech 2012, S. 35, 95

Fertigkeiten

Eine Fertigkeit ist eine durch Übung und Wiederholung automatisierte Tätigkeitskomponente, welche nicht einer permanenten Steuerung oder Kontrolle des Bewusstseins bedarf.⁴⁹

Als wichtige Fertigkeiten in der Konstruktion gelten nach Meinung der 46 im Rahmen einer Studie befragten Professoren, Dimensionieren, Modellieren, Kostenfestlegung, Festlegung von Toleranzen, Optimieren, Projektplanung, Zeichnen von Hand und Simulieren.⁵⁰ LIEM betont an dieser Stelle die Wichtigkeit von Fertigkeiten zur Repräsentation (z. B. das Erstellen von Skizzen, Zeichnungen, CAD-Modellen oder physischen Modellen), da hierdurch die Kommunikation und Entscheidungsprozesse in der Konstruktion unterstützt werden.⁵¹ Dabei hat die virtuelle Darstellung der Gestalt in CAD-Systemen in den letzten zwanzig Jahren an zentraler Bedeutung gewonnen. Ausgehend von einem computerbasierten Zeichnen am Ende der Funktion-Gestalt-Synthese werden CAD-Systeme mittlerweile auch erfolgreich in früheren Entwicklungsphasen eingesetzt.⁵² Mit Hilfe von CAD-Systemen werden in der Konstruktion Bauteile virtuell erstellt und anschließend zu vollständigen Produkten zusammengefügt. Die virtuellen Repräsentationen sind Basis für die Fertigung realer Bauteile und können durch spezielle Softwareprogramme zur Simulation des realen Systemverhaltens herangezogen werden. Eine wesentliche Herausforderung bei der CAD-Konstruktion aus heutiger Sicht ist der Aufbau transparenter Modelle, welche schnell geändert werden können. Besonders hinsichtlich der Wiederverwendung in unterschiedlichen Varianten und Produktgenerationen ist an dieser Stelle der Aufbau parametrischer Modelle gefragt.⁵³ Darüber hinaus haben Untersuchungen gezeigt, dass bis zu 75% der Projektdauer durch CAD-Anwendungen bestimmt wird.⁵⁴ Daher ist die Beherrschung dieser Fertigkeit auch hinsichtlich der Projektkosten von großer Wichtigkeit.

Jedoch sind einer vollständigen Anwendung des CAD-Systems über alle Entwicklungsphasen hinweg gewisse Grenzen gesetzt. Konstrukteure erwähnen bezüglich der Diskussion erster Konzepte mithilfe des CAD-Systems das Problem, dass die erstellten CAD-Modelle auf Dritte oft sehr viel fertiger und entwickelter wirken als sie das in Wirklichkeit sind.⁵⁵ Daher neigen manche von ihnen dazu, ihre

⁴⁹ vgl. Seel 2003, S. 208

⁵⁰ vgl. acatech 2012, S. 24

⁵¹ vgl. Liem 2011

⁵² vgl. Marion & Fixson 2011

⁵³ vgl. Schubert et al. 2011

⁵⁴ vgl. Marion & Fixson 2011

⁵⁵ vgl. Marion & Fixson 2011

im CAD-System entwickelten Lösungen erst in einem fortgeschrittenen Stadium zu präsentieren.⁵⁶ Darüber hinaus besteht bei der Generierung von neuen Ideen und Konzepten das Problem, dass es die CAD-Modelle dem Konstrukteur wegen ihrer Präzision nicht ermöglichen, die Gestalt zu interpretieren und damit zu abstrahieren. Aus diesem Grund benutzten die meisten Konstrukteure Skizzen, um die Arbeit im CAD-System vorzubereiten oder zu unterstützen.⁵⁷ MARION und FIXSON schätzen eine intensive CAD-Anwendung in den frühen Konstruktionsphasen sogar als kontraproduktiv ein, da sie dazu verleitet die Konzeption abzukürzen und wegen der präzisen Darstellung der Gestalt eine breite Erforschung verschiedener Konzepte verhindern.⁵⁸ Der Konstrukteur benötigt hierzu Repräsentationsformen, welche Unschärfen bezüglich der Gestalt und Anordnung bzw. Kombination der einzelnen Elemente zulassen. Durch diese Unschärfen entsteht Raum für Interpretation, welcher durch die Gestaltung von alternativen Lösungen ausgefüllt wird. Zur Abbildung dieser äußerst kreativen und analytischen Denkprozesse sind Skizzen besser geeignet, da sie es dem Konstrukteur ermöglichen, seine Ideen schnell und einfach darzustellen.⁵⁹ Das Skizzieren von Hand ist dabei eine sehr natürliche Art Gedanken in Gestalt umzusetzen⁶⁰ und muss als eine elementare Fertigkeit in der Ausbildung des Konstrukteurs unbedingt gefördert werden.⁶¹

Erfahrung

Erfahrung in der Lösung von Konstruktionsproblemen führt dazu, dass sich der Konstrukteur fachspezifisches Wissen aneignet, seine Fähigkeiten erweitert und seine Fertigkeiten weiterentwickelt. Dabei baut er durch die Anwendung von deklarativem Wissen vor allem Wissen in prozeduraler Form auf. Erfahrene Konstrukteure besitzen daher hochgradig kompiliertes, ganzheitlich strukturiertes, prozedurales Wissen, welches sie handlungsbezogen einsetzen.⁶² Untersuchungen zeigen, dass Experten gegenüber Novizen deutlich mehr Ideen generieren, während sie jedoch gleichzeitig Gefahr laufen, in Denkschienen zu geraten und sich auf bestimmte Lösungen zu fixieren.⁶³ Daher kann durch eine breite Konstruktionserfahrung die Wahrscheinlichkeit für ein gutes Konstruktionsergebnis erhöht, nicht aber garantiert werden.⁶⁴ DORST und REYMEN unterscheiden in der

⁵⁶ vgl. Liem 2011

⁵⁷ vgl. Liem 2011

⁵⁸ vgl. Marion & Fixson 2011

⁵⁹ vgl. Tang et al. 2011

⁶⁰ vgl. Beier & Maier 2010

⁶¹ vgl. Farrugia et al. 2011

⁶² vgl. Hacker 1992, S. 23

⁶³ vgl. Viswanathan & Linsey 2011

⁶⁴ vgl. Günther 1998, S. 124

Konstruktion sieben unterschiedliche Erfahrungsstufen (Laie, Fortgeschrittener, Kompetenter, Geübter, Meister, Experte, Visionär), wobei der Konstrukteur abhängig von seinem Erfahrungswissen und der Situation innerhalb eines Projekts zwischen mehreren Stufen wechseln kann.⁶⁵

2.1.3 Einfluss der Rahmenbedingungen

Rahmenbedingungen sind die Summe aller Einflüsse des Umfelds auf den Konstruktionsprozess. Berücksichtigt werden daher die Arbeitsplatzgestaltung, Arbeitsplatzausstattung, Arbeitsmittel, Projekt- und Unternehmensorganisation, Unternehmenskultur, die wirtschaftliche Situation des Unternehmens bis hin zu Einflüssen der Branche oder dem juristischen und gesellschaftlichen Kontext.⁶⁶ DYLLA beobachtet in seinen Untersuchungen eine Reihe von äußeren Einflüssen auf den Konstruktionsprozess (Bild 8).

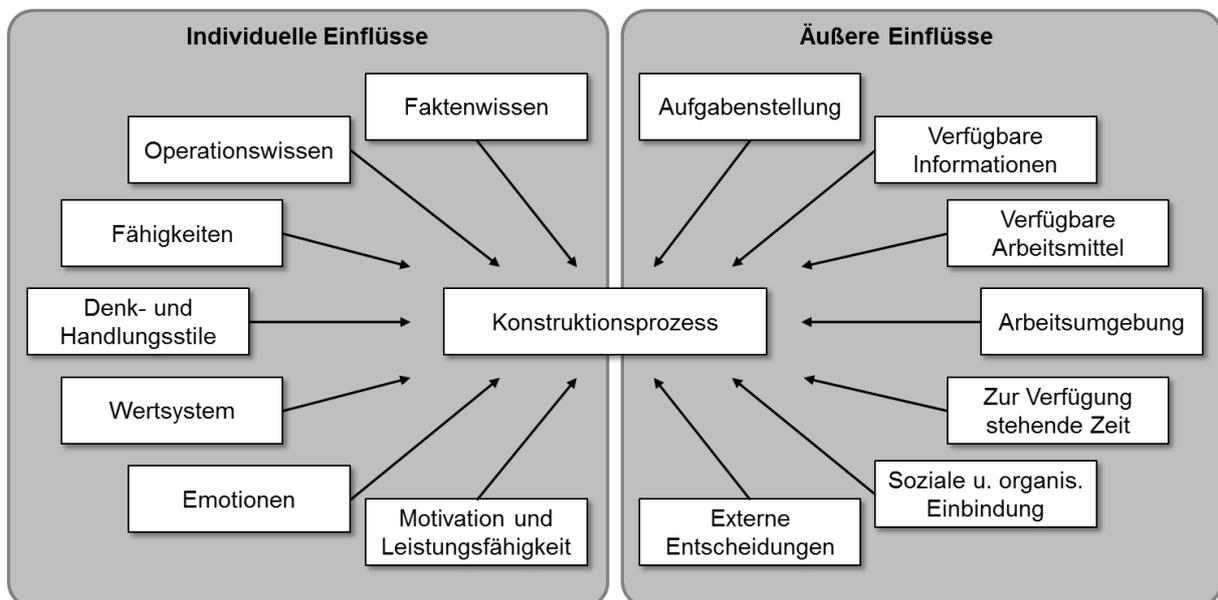


Bild 8 Einflüsse auf den Konstruktionsprozess nach DYLLA⁶⁷

Diese werden von FRANKENBERGER im Hinblick auf die Zusammenarbeit in Teams um Faktoren wie die Arbeitsteilung, die Koordination der Aufgaben, räumliche Nähe, Restriktionen und objektiven Zeitdruck erweitert.⁶⁸ Für die erfolgreiche Konstruktion sehen BADKE-SCHAUB und FRANKENBERGER die Erfüllung folgender Rahmenbedingungen daher als wesentlich an:

⁶⁵ vgl. Dorst & Reymen 2004

⁶⁶ vgl. Badke-Schaub & Frankenberger 2004, S. 271

⁶⁷ vgl. Dylla 1991, S. 28

⁶⁸ vgl. Frankenberger 1997, S. 223

- Ausstattung mit den richtigen Arbeitsmitteln und Ressourcen (individuelle Voraussetzungen und Anzahl der Mitarbeiter, Budget, Arbeitsplatz (Raum, Beleuchtung, Temperatur, Lärm etc.), Arbeitsmittel (z. B. CAD, Simulationstools))
- Klarheit darüber, wer was wann und wie zu tun hat (Arbeitsteilung, Zuordnung von Verantwortungsbereichen, Projekt- und Unternehmensorganisation)
- Verfügbarkeit der erforderlichen Informationen (Ziele, Kundenbedürfnisse, Anforderungen, Gesetzgebung, Sachbüchern, Konstruktionsrichtlinien, mögliche Lösungen, mögliche Vorgehensweisen)⁶⁹

Dabei ergibt sich jedoch besonders bezüglich der frühen Entwicklungsphasen die Problematik, dass die Einflüsse des äußeren Umfelds von Mehrdeutigkeit, Unsicherheit und Komplexität geprägt sind.⁷⁰ Daher sollten die Rahmenbedingungen, wie von ALBERS im SPALTEN-Prozess⁷¹ realisiert, im Verlauf des Entwicklungsprozesses immer wieder überprüft und nach Bedarf angepasst werden.

2.2 Prozess und Strategien zur Problemlösung

Der Problemlösungsprozess bzw. Konstruktionsprozess beinhaltet die Summe aller zur Problemlösung notwendigen Aktivitäten, welche von den Personen des Problemlösungsteams durchgeführt werden. Die Betrachtung und Planung des Prozesses konzentriert sich dabei auf die zeitliche Abfolge der Aktivitäten (Bild 9).

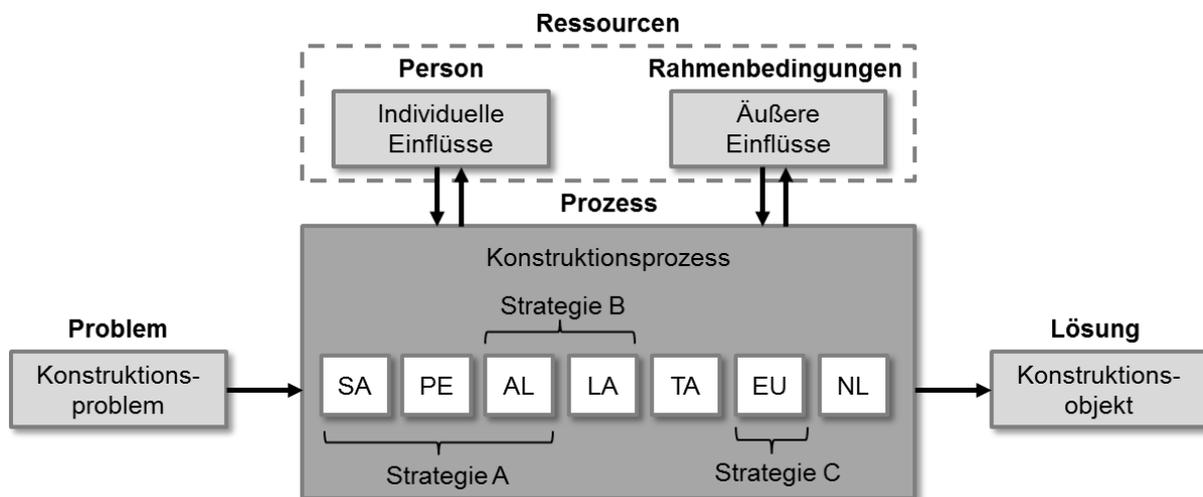


Bild 9 Einflüsse auf die Problemlösung nach GÜNTHER⁷² verknüpft mit dem SPALTEN-Prozess nach ALBERS⁷³

⁶⁹ vgl. Badke-Schaub & Frankenberger 2004, S. 271 f.

⁷⁰ vgl. Harrison & Aurisicchio 2011

⁷¹ vgl. Abschnitt 2.2.3

⁷² vgl. Günther 1998, S. 4

Bei der detaillierten Betrachtung des Prozesses können einzelne Prozesssegmente bestehend aus einzelnen Aktivitäten oder einem Zusammenspiel von mehreren Aktivitäten in Verbindung mit der Erreichung eines bestimmten Zwecks betrachtet werden. EHRENSPIEL identifiziert an dieser Stelle Denk- und Handlungsstrategien, welche bewusst und unbewusst durchgeführt werden.⁷⁴ Einige der bekannten Strategien sind dabei auf die Arbeitsweise des Kurzzeitgedächtnisses zurückzuführen, welches alle Denkvorgänge steuert. Forschungen bezüglich der Leistungsfähigkeit des Kurzzeitgedächtnisses, haben gezeigt, dass zeitgleich etwa sieben „Chunks“ vorgehalten werden können. Kommt ein neuer Chunk hinzu, wird ein anderer vergessen.⁷⁵ Als Folge dieser mentalen Begrenztheit wendet der Mensch sogenannte „Naturstrategien“ an, welche die Komplexität reduzieren und ihn somit bei der Problemlösung unterstützen. Für die Konstruktion werden die folgenden Strategien als wesentlich erachtet⁷⁶:

- Abstraktion
- Aufgliederung in Teilprobleme (Teilzielbildung)
- Vorgehen vom Wesentlichen zum weniger Wesentlichen
- Pendeln zwischen Ganzem und Detail
- Komplexbildung (Superzeichenbildung)
- Auslagern von Informationen in ein externes Gedächtnis (Notizen, Skizze)
- Iterativer Wechsel zwischen Analyse und Synthese
- Variantenbildung (strukturierte Lösungssuche)
- Zusammenarbeit von Spezialisten in einer Gruppe
- Abspeichern von Informationen im Langzeitgedächtnis

Neben den hier erwähnten Strategien existiert noch eine Vielzahl weiterer Strategien, welche bei bestimmten Konstellationen der Einflüsse auf die Problemsituation zu beobachten sind. Im Folgenden werden die für diese Arbeit relevanten Strategien der Abstraktion und der strukturierten Lösungssuche detaillierter betrachtet. Darüber hinaus wird die für diese Arbeit relevante Methodik zur Planung von Konstruktionsprozessen vorgestellt.

⁷³ vgl. Abschnitt 2.2.3

⁷⁴ vgl. Ehrlenspiel 2007, S. 74

⁷⁵ vgl. Miller 1956, S. 81

⁷⁶ vgl. Ehrlenspiel 2007, S. 73; vgl. Dylla 1991, S. 14 ff.

2.2.1 Problemlösung durch Abstraktion

Die Unterscheidung zwischen abstrakt und konkret wird in vielen Domänen unterschiedlich geführt. Eine sehr simple, jedoch auch sehr umstrittene Definition beruht darauf, abstrakt mit nicht-physisch gleichzusetzen.⁷⁷ Andere ebenso umstrittene Versuche abstrakte Objekte zu charakterisieren, basieren auf deren Nichtexistenz in Raum und Zeit.⁷⁸ Auch in unserer Sprache verwenden wir die Unterscheidung zwischen abstrakt und konkret, in dem wir Begriffe, die tiefer in der Sprachpyramide angeordnet sind, als konkret bezeichnen, während höher gestellte als abstrakt bezeichnet werden.⁷⁹ Neben diesen umstrittenen und für die Produktgestaltung unbrauchbaren Definitionen basieren die meisten Definitionen auf der aristotelischen Abstraktion. Dieser, in der empirischen Wissenschaft bekannte Ansatz, beschreibt Abstraktion als einen Prozess, bei welchem in der Vorstellung alle für das aktuelle Problem nicht relevanten Merkmale von einem konkreten Objekt entfernt werden. Das Resultat ist ein „abstraktes“ Abbild der Realität mit einer limitierten Auswahl an Merkmalen.⁸⁰ Abstrakte Objekte existieren somit nur, wenn mindestens ein konkreteres Objekt existiert.⁸¹ Dabei ist Abstraktion letztendlich nichts anderes als Modellbildung. Auch hier gelten die drei von STACHOWIAK definierten charakteristischen Merkmale von Modellen⁸²:

- **Abbildungsmerkmal:** *Modelle sind stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentationen natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können.*
- **Verkürzungsmerkmal:** *Modelle erfassen im Allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und/oder Modellbenutzern relevant scheinen.*
- **Pragmatisches Merkmal:** *Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion a) für bestimmte Subjekte, b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen.*

Von zentraler Bedeutung für die Modellbildung bzw. Abstraktion ist dabei das Verkürzungsmerkmal, welches sich in der Konstruktion primär auf die Gestalt des Konstruktionsobjekts bezieht. Abstraktion wird hier als Ergebnis bewusster

⁷⁷ vgl. Frigg 2003, S. 49

⁷⁸ vgl. Rosen 2012

⁷⁹ vgl. Turchin 1997

⁸⁰ vgl. Cartwright 1989, S.197; vgl. Chakravartty 2001, S. 327 f.

⁸¹ vgl. Frigg 2003, S. 50 f.

⁸² vgl. Stachowiak 1973, S. 131 ff.

Entscheidung gesehen, Teile (Gestalt) des Konstruktionsobjekts zu ignorieren.⁸³ Realisiert wird dieser Prozess selektiver Unterdrückung in Darstellungen⁸⁴ des Konstruktionsobjekts. Die Reduktion von Information ist dabei eine subjektive Auswahl bedeutender Merkmale, welche zu einem bestimmten Zeitpunkt von einem bestimmten Standpunkt aus als relevant erachtet werden.⁸⁵ Dabei verfolgt jede Modellbildung einen bestimmten Zweck.⁸⁶ Die Forschungen bezüglich eines von Experten bevorzugten Abstraktionsgrades sind widersprüchlich.⁸⁷ Einigkeit herrscht darüber, dass systematische Anwendung von Abstraktion bei der Produktgestaltung die Konstruktionsqualität verbessert. Dabei ist es aber in den meisten Fällen nicht möglich, durch systematische Anwendung von Abstraktion Expertise vollständig zu kompensieren.⁸⁸

Abstraktion reduziert Information und damit die Komplexität eines Konstruktionsproblems. Dies macht Abstraktion zu einem kritischen Prozess in der Konstruktion, da Modelle mit zu großer Komplexität schwer zu handhaben sind, während Modelle mit zu geringer Komplexität wesentliche Wechselwirkungen ignorieren. In beiden Fällen besteht die Gefahr, dass wesentliche Konstruktionsprobleme nicht rechtzeitig erkannt werden und sich die Entwicklungszeit durch zusätzliche Entwicklungsschleifen verlängert. Daher ist es wichtig beim Abstraktionsprozess das Ziel der Abstraktion festzulegen, und das entstandene Modell vor der Untersuchung neuer Fragestellungen entsprechend anzupassen.

Abstraktion hilft, sich von etwas bekanntem gedanklich zu lösen und ist in der Produktentwicklung daher eine wichtige Vorstufe für die Lösungssuche. Abstraktion wird in diesem Zusammenhang auch als eine mentale Operation verstanden, welche der Entdeckung von Struktur und Regelmäßigkeit, Mustern oder Ordnung innerhalb einer Vielzahl von Wahrnehmungen dient. Abstraktion ist damit die Grundlage zur konzeptionellen Neukonstruktion.⁸⁹ Zur Überführung einer abstrakten Darstellung in physisch vorhandene Konstruktionsobjekte und damit Neukonstruktionen, muss das Gegenteil einer Abstraktion, nämlich eine Konkretisierung, durchgeführt werden. Bei

⁸³ vgl. Hoover 1991

⁸⁴ vgl. Nersessian 2008, S. 193

⁸⁵ vgl. Eckert et al. 2010

⁸⁶ vgl. Lohmeyer 2013, S. 19

⁸⁷ Nach ZEITZ (vgl. Zeitz 1997) wählen Experten einen niedrigen Abstraktionsgrad um das Problem möglichst ganzheitlich zu erfassen. Im Gegensatz dazu stehen Erkenntnisse von KAO und ARCHER (vgl. Kao & Archer 1997) welche herausfanden, dass Experten auf einer höheren Abstraktionsebene entwerfen als Nichtexperten um die Konstruktionsqualität zu erhöhen.

⁸⁸ vgl. Bonnema & Van Houten 2006

⁸⁹ vgl. Welling 2007

solchen Konkretisierungsschritten werden dem Konstruktionsobjekt Struktur und Details hinzugefügt.⁹⁰

Bei dem Umgang mit abstrakten Darstellungen ist stets zu beachten, dass sie von Natur aus mehrdeutig sind. Dies macht sie einerseits wertvoll, da sie Raum für Interpretation und damit Kreativität zulassen, der zur Suche von neuen Lösungsansätzen genutzt werden kann. Andererseits birgt die Mehrdeutigkeit auch die Gefahr von Missverständnissen zwischen den beteiligten Personen.⁹¹

Die Forschungen bezüglich der mentalen Vorstellung⁹² zeigen, dass Menschen ihre mentale Vorstellung viel vollständiger und detaillierter empfinden, als dies tatsächlich der Fall ist. Das Erstellen von physisch vorhandenen Darstellungen der mentalen Vorstellung konfrontiert den Problemlöser (Konstrukteur) mit der Unvollständigkeit seiner Vorstellung. Gleichzeitig wird er durch das Abbilden seiner Gedanken dazu gezwungen, Lücken in seiner Vorstellung zu vervollständigen. Darüber hinaus dienen abstrakte Darstellungen als Diskussionsgrundlage, zur Dokumentation und zur Sichtbarmachung des Entwicklungsfortschritts. Das Erstellen von Darstellungen des Konstruktionsobjekts zu unterschiedlichen Zeitpunkten in der Produktentwicklung, mit unterschiedlichen Absichten, auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus, ist daher ein fundamentaler Teil der Problemlösung von Konstruktionsproblemen. ALBERS fordert, dass die im Produktentstehungsprozess generierten Objekte zudem eine Beschreibung der beabsichtigten Funktionen enthalten, um mehr Transparenz bei der Überführung von abstrakten Zielen zu konkreten Objekten zu erreichen.⁹³ Zur methodischen Unterstützung der Abstraktions- und Konkretisierungsprozesse in den kreativen Entwicklungsphasen schlägt er den von ihm entwickelten C&C²-Ansatz vor.

Unterstütztes Abstrahieren durch den C&C²-Ansatz

Der C&C²-Ansatz ist ein generischer Ansatz⁹⁴, welcher sich vorwiegend zur Beschreibung der Funktion und Gestalt mechanischer Systeme auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen eignet.⁹⁵ Gleichzeitig stellt der C&C²-Ansatz eine gemeinsame Sprache für Konstrukteure dar, welche zur Vermeidung von Missverständnissen beiträgt und das gemeinsame Systemverständnis erhöht. Die wichtigsten Elemente, welche dieser Ansatz zur Beschreibung von Systemen bereitstellt, sind „Wirkflächenpaare, Leitstützstrukturen und Connectoren“. Bei der Anwendung des C&C²-Ansatzes zur Beschreibung eines konkreten Systems entsteht eine

⁹⁰ vgl. Hoover 1991

⁹¹ vgl. Stacey et al. 2003

⁹² vgl. Logie 1995

⁹³ vgl. Albers 2010

⁹⁴ vgl. Tomiyama et al. 2009

⁹⁵ vgl. Alink 2010, S. 46

systemspezifische Beschreibung, welche als C&C²-Modell bezeichnet wird.⁹⁶ Es enthält die Beschreibung der Funktion, eine Darstellung der Gestalt und die Zuordnung von Funktion zur Gestalt mit Hilfe von Leitstützstrukturen und Wirkflächenpaaren. Beide Elemente finden sich sowohl in der Beschreibung der Funktion als auch in der Darstellung der Gestalt wieder.⁹⁷ Zur korrekten Anwendung des C&C²-Ansatzes müssen drei Grundhypothesen beachtet werden:

1. Grundhypothese

Jedes Element eines technischen Systems erfüllt seine Funktion durch Wechselwirkungen mit mindestens einem anderen Grundelement.⁹⁸

Wechselwirkungen finden nur statt bei Kontakt von Wirkflächen (WF), die gemeinsam Wirkflächenpaare (WFP) bilden. Die wirkungsrelevanten Eigenschaften der beteiligten Systeme werden durch Connectoren (C) dargestellt.

2. Grundhypothese

Die Beschreibung einer technischen Funktion benötigt immer mindestens zwei Wirkflächenpaare (WFP) und die sie verbindenden Leit-Stütz-Strukturen (LSS) sowie zwei Connectoren (C).⁹⁹

Ein System kann seine Funktion(en) nur in Wechselwirkung mit seiner Umgebung erfüllen – ein Bauteil allein hat keine Funktion!

3. Grundhypothese

Jedes Teilsystem kann mit den Grundelementen Wirkflächenpaar (WFP), Leitstützstruktur (LSS), und Connector (C) auf verschiedenen Abstraktions- und Detaillierungsstufen beschrieben werden! Dazu ist eine Variation der Anzahl, Anordnung und/oder der Eigenschaften der dargestellten Grundelemente erforderlich.¹⁰⁰

⁹⁶ vgl. Alink 2010, S. 48

⁹⁷ vgl. Alink 2010, S. 188

⁹⁸ vgl. Albers & Sadowski 2013; vgl. IPEK 2013a

⁹⁹ vgl. Albers 2010; vgl. Albers et al. 2011; vgl. Alink 2010, S. 188; vgl. IPEK 2013a

¹⁰⁰ vgl. Albers & Sadowski 2013; vgl. IPEK 2013a

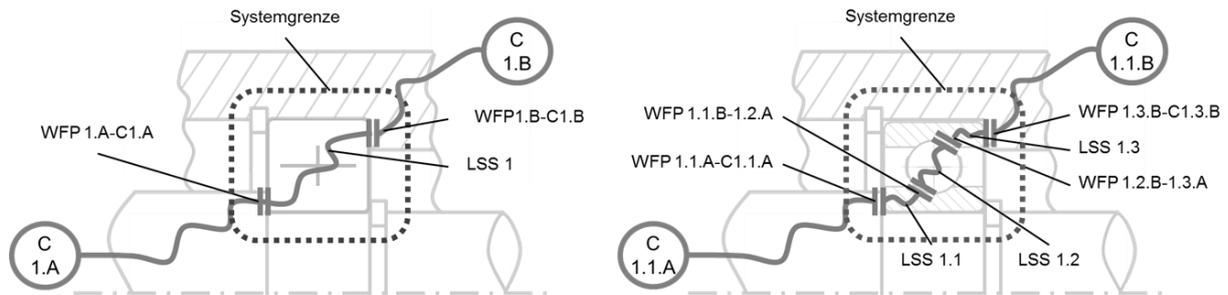


Bild 10 Grobe und detaillierte Darstellung der Funktion „Axiale Kräfte von Welle in Gehäuse übertragen“ nach SERF¹⁰¹

Bei dem Wechsel des Abstraktions- oder des Detaillierungsgrades um z. B. bestimmte Details hervorzuheben, kann eine LSS in mehrere LSS und WFP aufgeteilt (Bild 10). Umgekehrt können mehrere LSS und WFP zu einer LSS zusammengefasst werden, wenn es z. B. darum geht, die Funktion einer Baugruppe im Produkt zu beschreiben. Auf diese Weise können übergeordnete und untergeordnete Funktionen dargestellt werden (Bild 11).¹⁰²

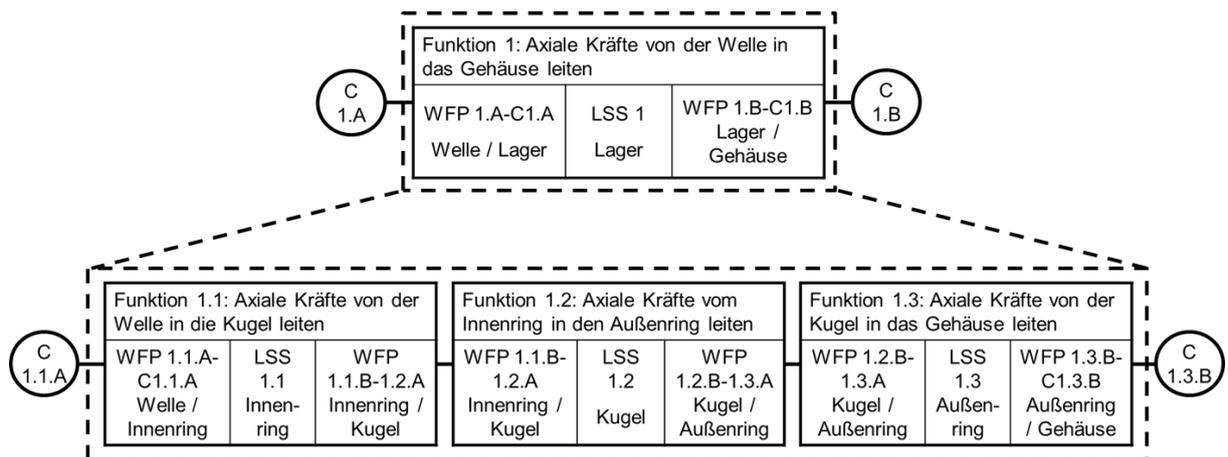


Bild 11 Grobe und detaillierte Beschreibung von Funktionen (Bild 10) nach SERF¹⁰³

Unbedingt vermieden werden sollte das Entstehen „künstlicher WFP“, welche in der Realität nicht existieren und z. B. durch das Schneiden von Körpern entstehen. Hierdurch lassen sich keine real stattfindenden Effekte beobachten, was im völligen Gegensatz zu den Ansprüchen des C&C²-Ansatzes steht. Darüber hinaus ist zu beachten, dass eine LSS genau zwei WFP miteinander verbindet und nicht mit einem Bauteil oder einer Baugruppe gleichzusetzen ist. Wird dies falsch aufgefasst,

¹⁰¹ vgl. Serf 2013

¹⁰² vgl. Alink 2010, S. 189

¹⁰³ vgl. Serf 2013

kommt es in der Praxis oft zur Entstehung unnötig großer, detaillierter und damit unübersichtlicher C&C²-Modelle.¹⁰⁴

Bei der Anwendung des C&C²-Ansatzes muss der Bereich festgelegt werden, welcher durch die Elemente modelliert werden soll. Dazu wird eine Systemgrenze gezogen, welche den innen liegenden Gestaltungsraum von der außen liegenden unveränderbaren Umgebung trennt.¹⁰⁵ Da in der Realität abgeschlossene Systeme nicht existieren, findet bei jedem System immer eine Interaktion mit umliegenden Systemen statt. Aus diesem Grund ist es notwendig, dass die an das System angrenzenden LSS in einem C&C²-Modell explizit dargestellt werden. Dies erfolgt mit Hilfe sogenannter Connectoren, welche alle Einflüsse, Parameter, Randbedingungen und deren Vernetzungen für Wirkflächen beschreiben, die sich an der Systemgrenze befinden. Connectoren sind eigenständige Elemente, welche außerhalb des Gestaltungsbereichs liegen und daher eine andere Qualität aufweisen als die LSS innerhalb der Systemgrenzen. Sie können im Verlauf eines Projekts zu LSS werden, wenn eine Verschiebung der Systemgrenze durchgeführt wird. Die Kennzeichnung von Connectoren erfolgt durch ein kreisförmiges Symbol und einen Verbindungsstrich zur Wirkfläche (Bild 12).¹⁰⁶ Dabei gilt es zu beachten, dass die Wirkfläche noch zu dem Connector gehört.

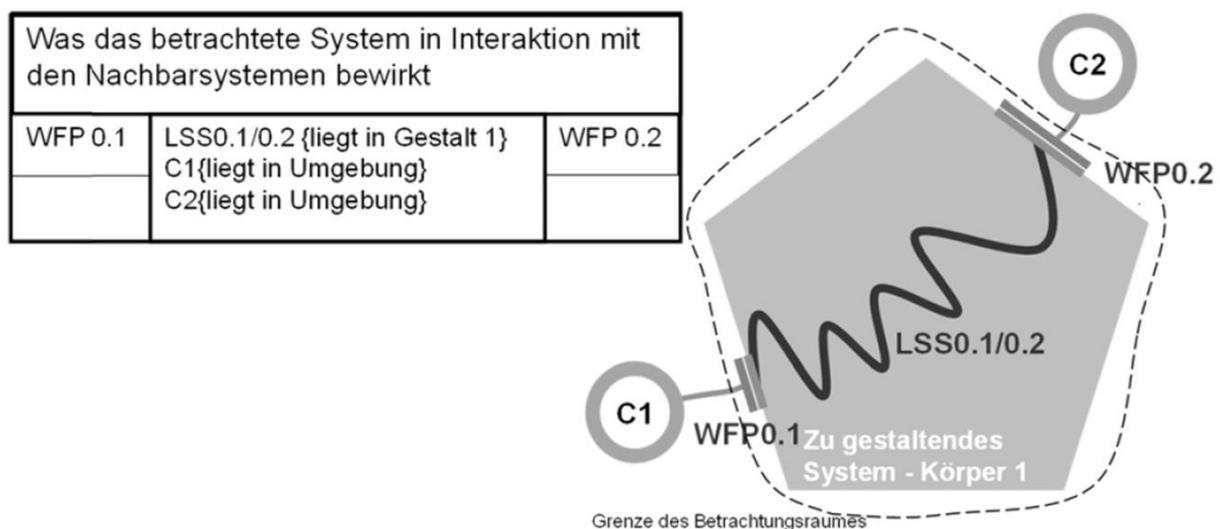


Bild 12 C&C²-Modell des Gestaltungsraums nach ALINK¹⁰⁷

¹⁰⁴ vgl. Alink 2010, S. 185 f.

¹⁰⁵ vgl. Alink 2010, S. 186 f.

¹⁰⁶ vgl. Alink 2010, S. 181 ff.

¹⁰⁷ vgl. Alink 2010, S. 182

Mit Hilfe von Connectoren wird die Funktion eines Systems als Interaktion mit angrenzenden Systemen beschrieben. Darüber hinaus ist eine Einordnung des Systems in ein übergeordnetes System möglich, wenn die Funktion mit den Funktionen der umgebenden Systemen zu einer übergeordneten Funktion zusammengefasst wird. Auf diese Weise wird durch Connectoren die Fraktalität¹⁰⁸ des C&C²-Ansatzes gewährleistet. Nach ALINK ist daher die Funktion eines technischen Systems nur erfüllt, wenn

- mindestens zwei WFP des betrachteten Systems,
- mindestens eine LSS im betrachteten System die o. g. WFP verbindet und
- mindestens zwei Connectoren an die Umgebung in den o. g. WFP

beschrieben werden können.¹⁰⁹ Als Funktion werden entweder der Zweck, das tatsächliche Verhalten oder die Aktionen des Nachbarsystems verstanden.

Die Definition der Connectoren ist eine zentrale Aktivität für das Lösen von Konstruktionsproblemen. Es geht im Speziellen darum, die relevanten Informationen zu sammeln und zu verifizieren. Auf diese Weise werden die Randbedingungen und Einflüsse auf das zu untersuchende System festgelegt, welche bei der Findung einer neuen Gestalt berücksichtigt werden müssen. Werden hier falsche Annahmen getroffen, kann dies dazu führen, dass die neue Gestalt mit der Umgebung nicht kompatibel ist und daher die geforderte Funktion nicht erfüllt.

Nach seiner ersten Nennung durch ALBERS¹¹⁰ hat sich der C&C²-Ansatz stetig weiterentwickelt. Die Anwendung in vielen Arbeiten hat gezeigt,¹¹¹ dass hiermit zielgerichtetes und effizientes Vorgehen gefördert wird. Die Ergebnisse einer Studie zur Anwendung des C&C²-Ansatzes in der Lehre¹¹² zeigen darüber hinaus große Fortschritte der Studierenden bezüglich des Erkennens der Funktionen eines unbekanntes technischen Systems. Eine ausführliche Beschreibung der Entwicklungsgeschichte des C&C²-Ansatzes gibt ALINK.¹¹³

2.2.2 Strukturierte Lösungssuche

Die methodische Produktentwicklung verfolgt das Ziel bei der Generierung von alternativen Lösungen mit angemessenem Aufwand eine möglichst „ideale“ Lösung

¹⁰⁸ vgl. Albers et al. 2008a

¹⁰⁹ vgl. Alink 2010, S. 188

¹¹⁰ vgl. Albers et al. 1999; vgl. Albers et al. 2002a

¹¹¹ vgl. Albers, et al. 2007; vgl. Matthiesen 2002; vgl. Stuffer 2007; vgl. Hauser 2007; vgl. Behrendt 2009; vgl. Karrar 2008; vgl. Mitariu-Faller 2009; vgl. Schyr 2006; vgl. Ohmer 2008

¹¹² vgl. Albers et al. 2003a; vgl. Albers et al. 2003b

¹¹³ vgl. Alink 2010, S. 48 ff.

für das vorliegende Konstruktionsproblem zu finden. Voraussetzung dafür ist eine intensive Beschäftigung mit der Problemsituation. LOHMEYER spricht an dieser Stelle von dem Problemraum, welcher als eine mentale und somit subjektive, multidimensionale Repräsentation gesetzter Ziele und erkannter Randbedingungen aufgefasst werden kann.¹¹⁴ Bei der anschließenden Lösungssuche beschreibt der Konstrukteur mehrere mögliche Lösungszustände in seinem Suchraum.¹¹⁵ Der Such- oder Lösungsraum ist dabei die Schnittmenge aller durch den Problemraum definierter Freiheitsgrade und beschreibt auf diese Weise die Menge der möglichen Lösungen, welche bei der Lösungssuche mental, virtuell oder physisch modelliert werden können.¹¹⁶ Bei der Erstellung von alternativen Lösungen wird der Konstrukteur immer wieder mit dem Problem konfrontiert, aufgrund des hohen Möglichkeitsüberschusses nicht in der Lage zu sein, jede Lösungsmöglichkeit zu durchdenken.¹¹⁷ Daher ist er dazu gezwungen, bei einer offensichtlichen Unterlegenheit von bestimmten Lösungsansätzen, diese für die weitere Lösungssuche auszuschließen.¹¹⁸ Er muss darüber hinaus versuchen, eine Vielzahl von möglichen Lösungen explizit darzustellen, um auf diese Weise Informationen auszulagern und für eine mentale Entlastung zu sorgen. Je übersichtlicher und logischer die Darstellung der gefundenen Lösungen erfolgt, desto leichter kann die Information von den Beteiligten verarbeitet und zueinander in Beziehung gesetzt werden.¹¹⁹ FRANKENBERGER beobachtet in seinen Untersuchungen, dass die Lösungssuche bei Einzelpersonen in der Regel nur dann erfolgreich und effizient abläuft, wenn systematische Suchmethoden in Form von Ordnungs- oder morphologische Schemata eingesetzt werden. Konstrukteure, welche diese Methoden anwenden, erzielen eine höhere Güte und Vielfalt der Lösungsvarianten.¹²⁰

Bei dieser Art der diskursiven Lösungssuche wird die Hauptfunktion des betrachteten Systems in seine Teilfunktionen zerlegt. Nach dem Entstehen der Funktionsstruktur werden Lösungsprinzipien für die einzelnen Teilfunktionen gesucht und schlussendlich zu Gesamtlösungen kombiniert. Die Suche nach Lösungsprinzipien für die einzelnen Teilfunktionen kann z. B. durch Brainstorming, TRIZ, Analogiebildung, Expertenbefragung, Patentrecherche, etc. unterstützt werden. Die

¹¹⁴ vgl. Lohmeyer 2013, S. 99

¹¹⁵ vgl. Wulf 2002, S. 48

¹¹⁶ vgl. Lohmeyer 2013, S. 99

¹¹⁷ vgl. Meboldt 2008

¹¹⁸ vgl. Wulf 2002, S. 48

¹¹⁹ vgl. Wulf 2002, S. 58

¹²⁰ vgl. Frankenberger 1997, S. 202

Auflistung der Teilfunktionen erfolgt in dem morphologischen Kasten oder der morphologischen Matrix.¹²¹

Morphologische Ordnungsschemata werden allgemein bezüglich ihrer Dimensionen unterschieden. Eindimensionale Ordnungsschemata¹²² oder morphologische Kästen¹²³ sind matrizenartige Visualisierungen der Lösungsvielfalt, welche sich besonders zur systematischen Kombination eignen (Bild 13).¹²⁴ Die Zeilen der Matrix sind nach Teilfunktionen bzw. ordnende Gesichtspunkte strukturiert, deren Einteilung nach Bedarf erfolgt. Mögliche Teillösungen werden in den Zeilen aufgelistet und anschließend durch Selektion einer Teillösung pro Zeile zu Gesamtlösungen kombiniert.¹²⁵ Dabei gilt es unrealistische Gesamtlösungen von realistischen abzugrenzen, was z. B. durch die Visualisierung der Teillösungen in Skizzen und durch Fokussieren auf die wesentlichen Probleme unterstützt werden kann.¹²⁶ Für die gemeinsame Entwicklung in der Gruppe empfiehlt ZEILER die Kombination der Morphologischen Kästen jedes Teammitglieds zu einer „morphologischen Übersicht“. Vorteile dieser Vorgehensweise sieht er darin, dass zunächst jeder Entwickler sein eigenes Ordnungsschemata entwirft und die Diskussion erst anschließend bei der Kombination beginnt.¹²⁷

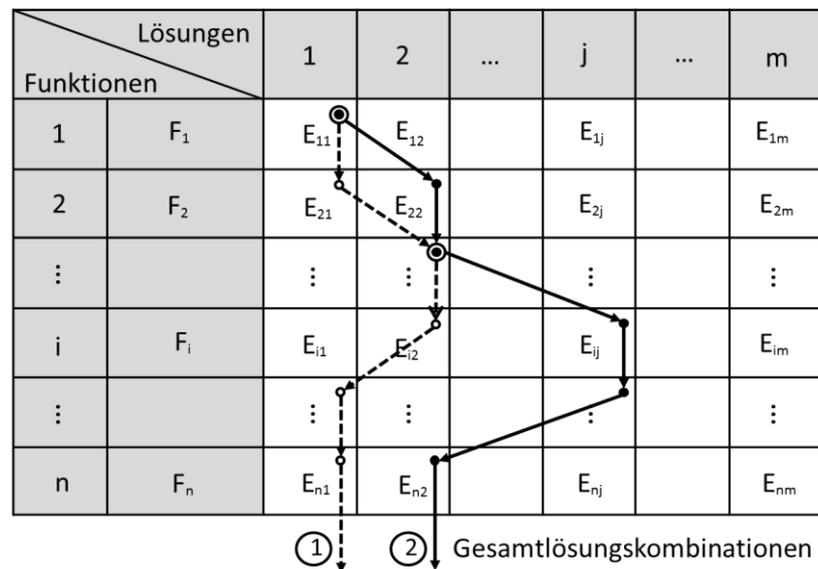


Bild 13 Eindimensionales Ordnungsschema¹²⁸

¹²¹ vgl. Kroll 2011

¹²² vgl. Dreibholz 1975

¹²³ vgl. Zwicky 1966

¹²⁴ vgl. Pahl et al. 2005, S. 136

¹²⁵ vgl. Ölvander et al. 2008

¹²⁶ vgl. Lindemann 2007, S. 150

¹²⁷ vgl. Zeiler 2011

¹²⁸ vgl. Pahl et al. 2005, S. 137

In der Anwendung morphologischer Kästen sehen WYNN und CLARKSON einen hervorragender Weg, Teillösungen zu dokumentieren und den kognitiven Prozess der Entwicklung einer Lösung auf Systemebene zu unterstützen.¹²⁹ Dabei betont LINDEMANN, dass es wichtig ist, morphologische Kästen kritisch und dynamisch zu verwenden, da gerade durch den spielerischen Umgang neue Erkenntnisse entstehen können.¹³⁰ ULLMAN dagegen warnt vor der Gefahr des morphologischen Ansatzes, unsinnige Konstruktionen zu produzieren, bei welchen jede Funktion unabhängig von anderen Funktionen in einem separaten Teil der Gestalt umgesetzt ist.¹³¹

Zwei- und mehrdimensionale Ordnungsschemata eignen sich besonders zur Visualisierung von Merkmalskombinationen.¹³² Die Anzahl der Dimensionen dieser Ordnungsschemata ist von der Anzahl der Gestaltmerkmale abhängig, nach welchen die Lösungen strukturiert werden.¹³³ Jedes Feld der Matrix steht für eine bestimmte Merkmals- bzw. Gesamtlösungskombination (Bild 14).

Ordnungsmerkmal Z				Z1									
				Z11				Z12					
				Z111		Z112		Z121		Z122			
				Z1111	Z1112	Z1121	Z1122	Z1211		
Ordnungsmerkmal S													
S1	S11	S111	S1111										
			S1112										
		S112	S1121										
			S1122										
	S12	S121	S1211										
			...										
		S122	...										
			...										
			...										
			...										

Jedes Feld der Matrix steht für eine Gesamtlösungskombination

Bild 14 Mehrdimensionales Ordnungsschema¹³⁴

¹²⁹ vgl. Wynn and Clarkson 2005

¹³⁰ vgl. Lindemann 2007, S. 150

¹³¹ vgl. Ullman 2009

¹³² vgl. Lindemann 2007, S. 148

¹³³ vgl. Ponn & Lindemann 2008, S. 137

¹³⁴ vgl. Pahl et al. 2005, S. 124

Ausgangspunkt der Lösungssuche sind oft bekannte Lösungen, welche nach ordnenden Gesichtspunkten und Unterscheidungsmerkmalen strukturiert werden und somit das Erkennen wesentlicher Lösungsmerkmale erleichtern.¹³⁵ Dabei kann die Suche nach weiteren Lösungen unter anderem durch die Identifikation von „weißen Feldern“ angeregt werden. Es ist jedoch zu beachten, dass diese nicht zwingend realisierbare Ansätze identifizieren.¹³⁶ Zur Darstellung von mehr als zwei Dimensionen können weitere zweidimensionale Tabellen hinzugefügt, oder vorgegebene Merkmalskombinationen innerhalb einer Tabelle realisiert werden.¹³⁷

Die Anwendung von ein- und mehrdimensionalen Ordnungsschemata kann besonders bei Novizen zu Komplikationen führen, da die Identifikation der ordnenden Gesichtspunkte zu Beginn oft Schwierigkeiten bereitet.¹³⁸ FRANKENBERGER sieht daher ein gut ausgeprägtes Abstraktionsvermögen als wichtige Voraussetzung für deren erfolgreiche Anwendung.¹³⁹ Probleme bei der Anwendung erkennt auch FIELD, der in einer Studie 244 Studenten bei der Generierung von Ideen vergleicht. Er beobachtet, dass die Versuchspersonen bei einer hierarchischen Anordnung von Unterscheidungsmerkmalen, die er als Klassifikationstechnik bezeichnet, signifikant flüssiger und flexibler Ideen entwickeln als bei der Anwendung morphologischer Ordnungsschemata.¹⁴⁰ Darüber hinaus sieht KROLL Schwierigkeiten bei dem kognitiven Prozess der Funktionszerlegung, da einige Funktionen erst anhand von konkreten Lösungen formuliert werden können. Daher schlägt er vor, die Funktionszerlegung durch eine Identifikation von Kerntechnologien zu ersetzen, welche der natürlichen Denkweise des Konstrukteurs viel eher entspricht. Für die Entwicklung und Ausarbeitung von Lösungen empfiehlt er ein iteratives Wechseln zwischen den drei Aktivitäten „Parameter Identifikation“, „kreative Synthese“ und „Bewertung“, wobei sich der Konstrukteur auf die aktuell relevanten Themen konzentrieren und Unwichtiges weglassen soll.¹⁴¹

Gesamthaft betrachtet zeigt sich, dass die Erstellung von Ordnungsschemata immer noch mit Schwierigkeiten verbunden ist. Können diese jedoch überwunden werden, verhelfen Ordnungsschemata zu einem guten Überblick über den vorhandenen Lösungsraum und die darin bereits existierenden Konkurrenzlösungen, welcher die

¹³⁵ vgl. Czichos & Hennecke 2007, S. K17

¹³⁶ vgl. Ponn & Lindemann 2008, S. 137

¹³⁷ vgl. Lindemann 2007, S. 149

¹³⁸ vgl. Pahl et al. 2005, S. 746

¹³⁹ vgl. Frankenberger 1997, S. 202

¹⁴⁰ vgl. Field 2011

¹⁴¹ vgl. Kroll 2011

Erstellung von Lösungen höherer Güte und gezielteren Patentiermöglichkeiten unterstützt.¹⁴²

2.2.3 Steuerung von Produktentwicklungsprozessen

Zur gezielten Planung und Steuerung von Produktentwicklungs- und Produktentstehungsprozessen existiert eine Vielzahl verschiedener Ansätze.¹⁴³ Als Beispiele seien an dieser Stelle die Front-End-Ansätze¹⁴⁴ für die frühen Aktivitäten der Produktentwicklung, gesamthafte Ansätze aus Entwicklungssicht, wie die VDI-Richtlinie 2220 und 2221,¹⁴⁵ die integrierte Produktentwicklung nach EHRENSPIEL¹⁴⁶ oder Managementansätze, wie Stage-Gate nach COOPER,¹⁴⁷ genannt. Kritisch für die Anwendung dieser Ansätze in der industriellen Praxis sind teilweise vorhandene normativ vorschreibende Vorgehensweisen zu sehen.¹⁴⁸ Gleichzeitig kann der vorschreibende „Zwangsjacken-Charakter“¹⁴⁹ auch durch die Festlegung der zu durchlaufenden Abstraktionsebenen entstehen. Die logisch-schrittweise aufgebauten Ablaufschemata sehen keine Iterationen vor.¹⁵⁰ Ihre mangelnde Flexibilität¹⁵¹ steht ganz im Gegensatz zu dem menschlich individuellen Vorgehen.¹⁵² Angeregt durch Ketten von Bildern und Begriffen arbeitet das menschliche Gehirn sprunghaft assoziativ,¹⁵³ was letztendlich zu einem sprunghaften Fortschritt innerhalb der Problemlösung führt.¹⁵⁴ Um dem Rechnung zu tragen, wird eine stärkere Einbeziehung von sozialen, psychischen und kognitiven Faktoren in den Entwicklungsprozess gefordert.¹⁵⁵ Die Sprunghaftigkeit des Entwicklungsfortschritts tritt besonders hinsichtlich der Abstraktion und Konkretisierung sowie hinsichtlich der Synthese und Analyse auf. Darüber hinaus sind stets andere Randbedingungen, Handlungssysteme und Ziele zu berücksichtigen. ALBERS bezeichnet daher jeden Produktentstehungsprozess als „*einzigartig und individuell*“.¹⁵⁶ Er beschreibt Produktentstehung „*ausgehend von der Systemtheorie als Transformation eines (ursprünglich vagen) Zielsystems in ein*

¹⁴² vgl. Pahl et al. 2005, S. 746

¹⁴³ vgl. Howard et al. 2008

¹⁴⁴ vgl. Meboldt 2008, S. 31 ff.

¹⁴⁵ vgl. VDI 2220; vgl. VDI 2221

¹⁴⁶ vgl. Ehrlenspiel 2007

¹⁴⁷ vgl. Cooper et al. 2002

¹⁴⁸ vgl. Rittel 1984

¹⁴⁹ vgl. Müller 1990

¹⁵⁰ vgl. Lossack 2004

¹⁵¹ vgl. Geis et al. 2008

¹⁵² vgl. Schregenberger 1980

¹⁵³ vgl. Dörner 1998, S. 5 ff.

¹⁵⁴ vgl. Ehrlenspiel 2007; vgl. Albers et al. 2004a; vgl. Dörner 1987

¹⁵⁵ vgl. Franke 1995

¹⁵⁶ Albers 2010

konkretes Objektsystem durch ein Handlungssystem.¹⁵⁷ Als die „zentrale Aktivität der Produktentstehung“ sieht er die Validierung, bei welcher die generierten Objekte mit den geplanten Zielen verglichen und dadurch Wissen erzeugt wird. Zur Beschreibung und Optimierung dieses Prozesses empfiehlt ALBERS einen systemischen Ansatz, welcher die Wechselwirkungen zwischen den drei Systemen beschreibt. Die Transformation von abstrakten Zielen in konkrete Objekte beschreibt er als Problemlösungsprozesse, welche unterschiedlichen Aktivitäten der Produktentstehung zugeordnet werden können.¹⁵⁸

Für die effektive und effiziente Problemlösung in der Produktentwicklung existiert eine Vielzahl verschiedener Ansätze.¹⁵⁹ ALBERS empfiehlt die Anwendung des SPALTEN-Ansatzes, welcher im Folgenden beschrieben wird.

SPALTEN-Ansatz

Der SPALTEN-Ansatz (Bild 15) wurde von ALBERS zur zielgerichteten Lösungsfindung entwickelt.¹⁶⁰ SPALTEN ist dabei ein Akronym und steht für die Teilschritte:

- Situationsanalyse (SA): Durch die Situationsanalyse wird die Situation erfasst. Dazu werden alle Informationen gesammelt, strukturiert und dokumentiert ohne sie jedoch zu interpretieren. Auf diese Weise dient sie als Grundlage für die weitere Problemlösung.
- Problemeingrenzung (PE): In der Problemeingrenzung wird die Ursache für das Problem identifiziert. Durch Interpretation der Information werden Hypothesen entwickelt, welche durch Abgleich mit dem Ist-Zustand oder durch Folgeuntersuchungen widerlegt oder bestätigt werden müssen.
- Alternative Lösungssuche (AL): Ziel dieses Prozessschrittes ist die Entwicklung von alternativen Lösungen sowie deren Konkretisierung und Analyse. Auch eine erste Abschätzung der prinzipiellen Machbarkeit ist zulässig. Auf eine vergleichende Lösungsbewertung wird jedoch bewusst verzichtet.
- Lösungsauswahl (LA): Während der Lösungsauswahl werden die entwickelten Lösungen nach ihrer Zielerfüllung bewertet. Anschließend wird unter Berücksichtigung der subjektiven Einschätzung die Lösung mit dem größten Potential ausgewählt.

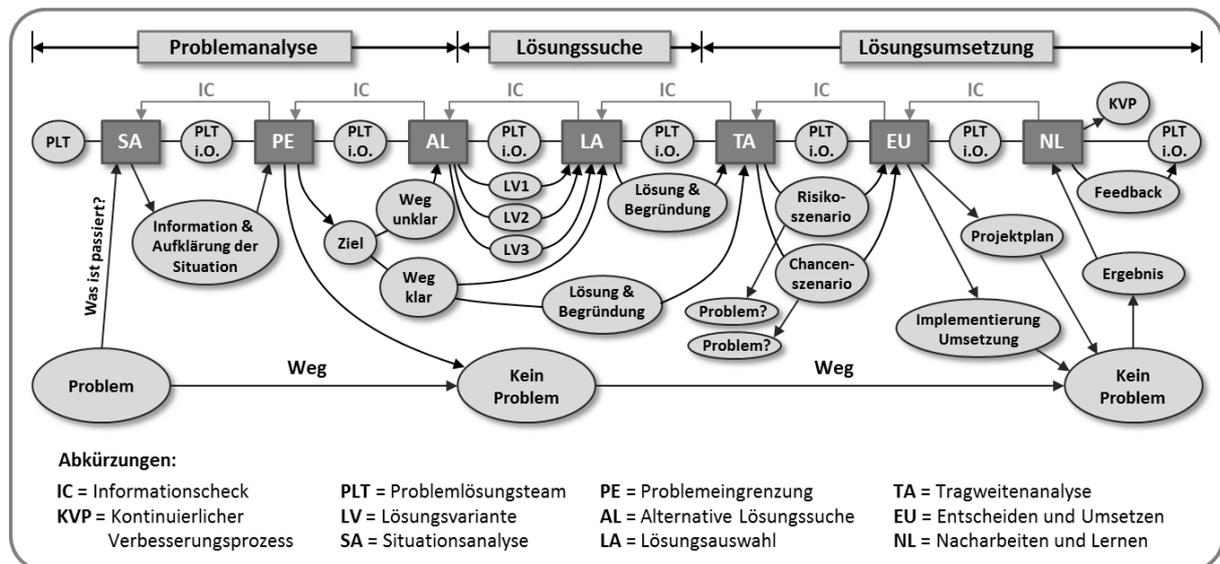
¹⁵⁷ Albers 2010

¹⁵⁸ vgl. Albers 2010

¹⁵⁹ vgl. Saak 2006, S. 34 ff.

¹⁶⁰ vgl. Albers et al. 2005

- Tragweitenanalyse (TA): Die Tragweitenanalyse dient der Abschätzung potentieller Chancen und Risiken. Ziel ist neben der Bewusstmachung der Chancen und Risiken eine Implementierung von unterstützenden bzw. präventiven Maßnahmen zu realisieren.
- Entscheiden & Umsetzen (EU): In diesem Prozessschritt wird die Entscheidung getroffen, die bis dahin entwickelte Lösung umzusetzen. Im Zuge der Umsetzung wird die Implementierung der entwickelten Strategien zur Risikominimierung und Chancennutzung angestrebt.
- Nachbereiten und Lernen (NL): Der Prozessschritt soll im Sinne des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) den Problemlöser dabei unterstützen, den abgelaufenen Problemlösungsprozess zu reflektieren, um von dem generierten Wissen in zukünftigen Problemlösungsprozessen zu profitieren.

Bild 15 SPALTEN-Ansatz nach ALBERS¹⁶¹

Zur Lösung eines Problems kann die Abfolge der sieben Prozessschritte sequentiell oder problemangepasst entsprechend dem dargestellten Schema erfolgen (Bild 15). Der Ansatz besitzt einen fraktalen Charakter, d. h. es kann für jeden Prozessschritt ein eigener SPALTEN-Prozess durchlaufen werden. Zwischen den einzelnen Prozessschritten sieht der SPALTEN-Ansatz zwei Überprüfungsaktivitäten vor. Zum einen den Informationscheck (IC), welcher sicherstellt, dass die für den nachfolgenden Problemlösungsschritt notwendigen Informationen vorhanden sind,

¹⁶¹ vgl. Albers 2010

zum anderen wird geprüft, ob das Problemlösungsteam (PLT) über die im nächsten Prozessschritt benötigten Kompetenzen verfügt. Falls nicht, wird es entsprechend angepasst. Darüber hinaus ist der SPALTEN-Ansatz Teil des integrierten Produktentstehungsmodells (iPeM), welches die Produktentstehung auf makroskopischer Ebene beschreibt und im Folgenden erläutert wird.

Integriertes Produktentstehungsmodell iPeM

Mit dem integrierten Produktentstehungsmodell (iPeM) versucht ALBERS durch eine einfache Modellbildung und eine geringe Eigenkomplexität die Defizite anderer Modelle zu kompensieren.¹⁶² Das Modell (Bild 16) soll unter anderem eine transparente Kommunikation zwischen den am Produktentstehungsprozess beteiligten Personen durch Mentalmodelle sicherstellen. Für die situationsspezifische Modellierung von Produktentstehungsprozessen wird daher ein Metamodell bereitgestellt, welches individuell an ein Projekt angepasst und damit zum spezifischen Modell wird.¹⁶³

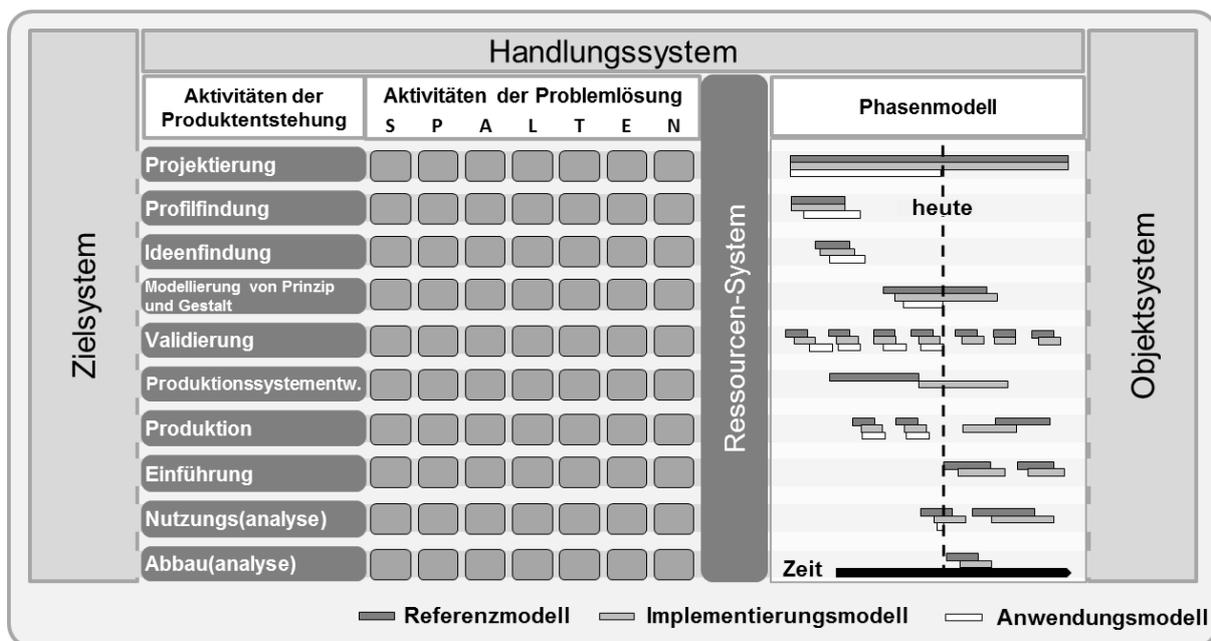


Bild 16 Integriertes Produktentstehungsmodell (iPeM) nach ALBERS¹⁶⁴

Kern des iPeM ist das Handlungssystem, welches während eines Produktentstehungsprozesses mithilfe von Aktivitäten ein Zielsystem in ein Objektsystem überführt. Alle Aktivitäten lassen sich dabei in einer Aktivitätenmatrix

¹⁶² vgl. Albers & Meboldt 2007; vgl. Meboldt 2008, S. 150 ff.

¹⁶³ vgl. Meboldt 2008, S. 201 ff.

¹⁶⁴ vgl. Albers 2010

lokalisieren, welche die Aktivitäten der Produktentstehung (Makroaktivitäten) mit den Aktivitäten der Problemlösung (Mikroaktivitäten) des SPALTEN-Prozesses verbindet. Die Reihenfolge und Häufigkeit bezüglich der Durchführung der Aktivitäten ist durch das Modell nicht vorgegeben und kann projektspezifisch angepasst werden. Neben der Aktivitätenmatrix beinhaltet das Handlungssystem das Ressourcensystem, welches die verfügbaren Ressourcen enthält und das Phasenmodell, welches die Aktivitäten der Produktentstehung in einen zeitlichen Bezug setzt. Das Phasenmodell besteht dabei aus insgesamt drei Stufen. Das Referenzmodell (1. Stufe) basiert auf vergangenen Entwicklungsprozessen und bildet die Grundlage für die Planung der aktuellen Produktentstehung im Implementierungsmodell (2. Stufe). Die konkrete Durchführung des Projekts wird schließlich im Anwendungsmodell (3. Stufe) abgebildet, welches den Ist-Soll-Vergleich der Planungsaktivitäten und dadurch die Kontrolle über den Produktentstehungsprozess ermöglicht.¹⁶⁵

2.3 Erforschung der Konstruktionstätigkeit

Zur Erforschung der Konstruktionstätigkeit wurde bzw. wird eine Vielzahl unterschiedlicher Forschungsmethoden verwendet. Unterschieden werden dabei in erster Linie empirische¹⁶⁶ und nicht empirische Vorgehensweisen¹⁶⁷ (Bild 17).

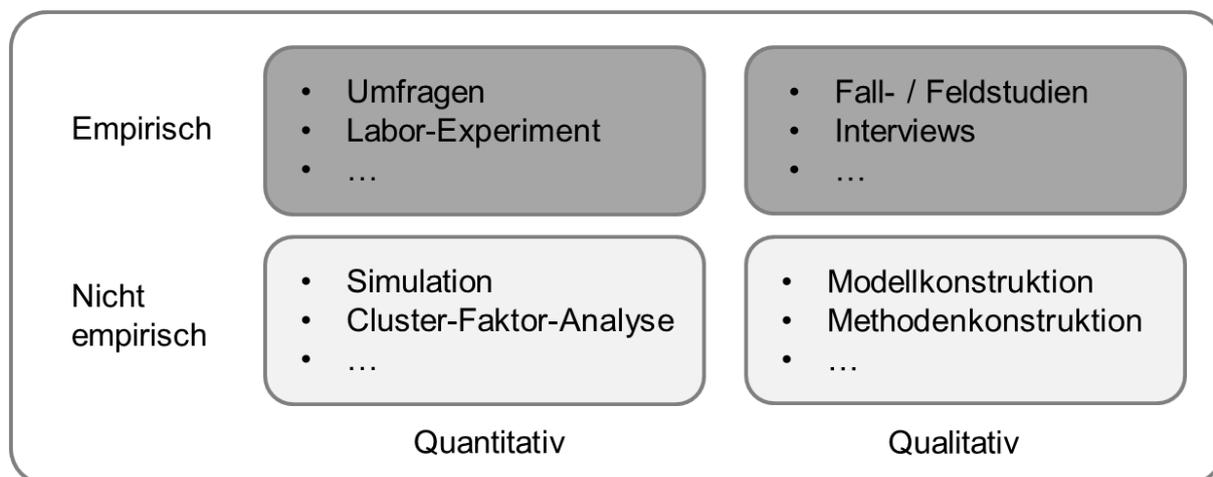


Bild 17 Einteilung Forschungsmethoden¹⁶⁸

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die empirische Konstruktionsforschung. Im folgenden Abschnitt werden zunächst die gängigen empirischen quantitativen und

¹⁶⁵ vgl. Albers 2010

¹⁶⁶ Empirische Methoden untersuchen Objekte und Sachverhalte der Welt durch Experimente, Beobachtung oder Befragung (z. B. Umfrage, Laborstudie, Feldstudie).

¹⁶⁷ Nicht empirische Methoden generieren Erkenntnisse, die nicht aus Beobachtung oder sinnlichen Erfahrungen gewonnen werden (z. B. Erkenntnistheorie, Logik).

¹⁶⁸ Benz et al. 2009

qualitativen Forschungsmethoden in der Konstruktionsforschung vorgestellt und ihre Vor- und Nachteile diskutiert. Der zweite Teil des Kapitels arbeitet die Historie der empirischen Konstruktionsforschung der letzten 50 Jahre auf und stellt die dabei gewonnenen Erkenntnisse vor.

2.3.1 Empirische Forschungsmethoden in der Konstruktionsforschung

Im Rahmen empirischer Forschungen bezüglich der Konstruktionstätigkeit wurde in der Vergangenheit eine Vielzahl verschiedener Forschungsdesigns angewendet. Die für empirische Forschungsmethoden obligatorischen Gütekriterien wurden dabei in einigen Fällen vernachlässigt.¹⁶⁹ Als grundlegende Gütekriterien der empirischen Forschung¹⁷⁰ gelten im Einzelnen:

- Objektivität (Unabhängigkeit von Forscher und Ergebnissen)
- Reliabilität (Genauigkeit und Reproduzierbarkeit)
- Validität (Aussagekraft der Untersuchungsergebnisse)
- Empirische Relevanz (Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Realität)
- Kosten/Nutzen (Effizienz der eingesetzten Methoden)

Die Sicherstellung dieser Gütekriterien führt zu Schwierigkeiten, welche je nach Forschungsmethode unterschiedlich ausgeprägt sein können. Wesentliche Unterschiede zeigen sich bereits bei der Unterscheidung auf abstrakter Ebene zwischen quantitativer und qualitativer Forschung (Bild 17).

Ziel der quantitativen Forschung ist es, Verhalten, Zusammenhänge oder Ausprägungen möglichst exakt in Form von „durchschnittlichen“ Werten und Varianzwerten für wenige, spezifische Variablen zu berechnen und daraus allgemeingültige Aussagen abzuleiten.¹⁷¹ Um Zufallseinflüsse auszuschalten, und eine breite Generalisierung der Aussagen zu erreichen, wird dabei eine große Anzahl repräsentativer Zufallsstichproben unter möglichst konstanten Randbedingungen betrachtet. Die quantitative Forschung verfolgt dabei meist ein lineares Vorgehen, bei welchem eine anfangs formulierte Hypothese anhand von Daten verifiziert oder falsifiziert wird (Bild 18). Immer wieder kritisch hinterfragt wird bei quantitativen Forschungsmethoden die empirische Relevanz. Die Stärken liegen primär in der Objektivität und der Reliabilität (bei großen Stichprobenzahlen).

¹⁶⁹ vgl. Bender 2004, S. 117

¹⁷⁰ vgl. Bortz & Döring 2002, S. 56 f. und S. 193 ff.; vgl. Lienert & Raatz 1998, S. 29 ff.

¹⁷¹ vgl. Kriz et al. 1987

Zur Erforschung der Produktentwicklung werden aus dem Bereich der quantitativen Forschungsmethoden häufig Laborstudien durchgeführt. Um nach der Datenerfassung die Ergebnisse vergleichen und statistisch auswerten zu können, wird hier oft von einer möglichst großen Anzahl an zufällig gewählten Versuchspersonen die gleiche Aufgabenstellung unter möglichst gleichen Randbedingungen bearbeitet. Die Aufgabenstellungen sind dabei eher klein und akademisch gehalten und werden oft in einer Bearbeitungszeit von wenigen Stunden durchgeführt. Die Untersuchungen können daher nur einen Teil der Realität abbilden, da Randbedingungen realer Entwicklungsprozesse (z. B. Zeit- und Kostendruck, soziales Verhalten im Team) nicht vollständig simuliert werden können.¹⁷² Untersuchungsobjekte sind das Individuum oder die Gruppe, deren Verhalten meist durch Video- und Tonaufnahmen für die spätere Analyse aufgezeichnet wird. Zur Beobachtung der Denkprozesse wird meist auf die Methode des „lauten Denkens“ zurückgegriffen, welche zusätzliche Informationen über den Verlauf des Problemlösungsprozesses generiert, jedoch nur selten die Rekonstruktion der genauen Abfolge der elementaren kognitiven Handlungszyklen zulässt.¹⁷³ Besonders für die Beobachtung von Gruppen stellt sich die Herausforderung, dass die Vielzahl an Variablen kaum konstant gehalten werden kann. FRANKENBERGER kommt daher zu dem Schluss, dass gruppenstatistische Untersuchungen unmöglich sind.¹⁷⁴

Ziel der qualitativen Forschung ist es, das Zusammenwirken vieler Faktoren möglichst ganzheitlich und realistisch darzustellen, um die Identifikation typischer Vorgänge zu ermöglichen.¹⁷⁵ Dabei liegen die Stärken besonders in der Betrachtung komplexer Phänomene¹⁷⁶ und der Generierung neuer Konzepte, Hypothesen oder Theorien, da durch die Gegenüberstellung verschiedener Einzelfälle das Identifizieren bislang unbekannter Zusammenhänge gefördert wird („unfreeze thinking“).¹⁷⁷ Auf diese Weise gelingt es, durch qualitative Forschung etablierte Theorien durch neue Perspektiven zu erweitern, zu präzisieren und somit neu zu beleben.¹⁷⁸ In sogenannten Einzelfallstudien werden dabei besonders typische Fälle oder prägnante aussagekräftige Beispiele¹⁷⁹ über einen längeren Zeitraum hinsichtlich möglichst vieler Dimensionen betrachtet.¹⁸⁰ Einzelfallstudien sind charakterisiert durch eine große Anzahl von Variablen und eine kleine Anzahl von

¹⁷² vgl. Blessing 1994; vgl. Hales 1987

¹⁷³ vgl. Wulf 2002, S. 35

¹⁷⁴ vgl. Frankenberger 1997, S. 30

¹⁷⁵ vgl. Lamnek 1995, S. 7

¹⁷⁶ vgl. Locke 2001, S. 95

¹⁷⁷ vgl. Eisenhardt 1989, S. 546

¹⁷⁸ vgl. Locke 2001, S. 97

¹⁷⁹ vgl. Lamnek 1995, S. 5

¹⁸⁰ vgl. Lamnek 1995, S. 5

Untersuchungseinheiten.¹⁸¹ Dabei ist die Einzelfallstudie prinzipiell offen für alle Methoden und Techniken der empirischen Sozialforschung.¹⁸² Die Qualitative Forschung beginnt meist nicht auf Basis elaborierter Hypothesen und verfolgt ein eher zirkuläres Vorgehen (Bild 18). Kritisch diskutiert werden meist die Objektivität und die Reliabilität. Die Stärken qualitativer Forschungsmethoden liegen dagegen in der empirischen Relevanz.¹⁸³

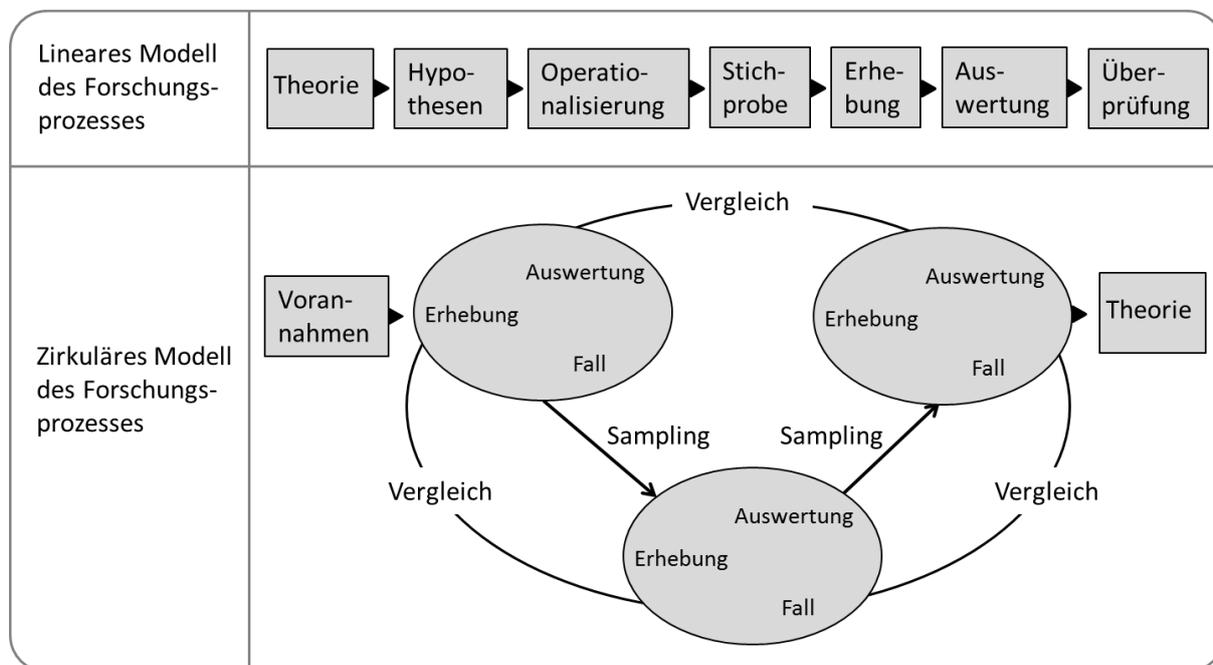


Bild 18 Lineares und zirkuläres Modell des Forschungsprozesses nach FLICK¹⁸⁴

Zur Erforschung der Produktentwicklung werden im Bereich der qualitativen Forschung oft Feldstudien im industriellen Umfeld durchgeführt, in welchen Einzelfälle über lange Zeiträume hinweg unter realen Bedingungen betrachtet werden. Dabei kann nur durch die Analyse von Einzelfällen, welche die Berücksichtigung vieler Variablen und deren Relationen erlauben, das Variablennetz komplexer sozialer Gefüge und individueller Merkmale erforscht werden.¹⁸⁵ Untersuchungsobjekte sind auch hier Individuum und Gruppe, wobei die Erfassung der Daten auf sehr unterschiedliche Weise und oft über unterschiedliche Kanäle erfolgt. Bei der Beschaffung der Daten besteht in vielen Fällen das Problem, dass der Forscher in das Unternehmen eingebunden werden muss und aufgrund seiner

¹⁸¹ vgl. Vaus 2001, S. 231 f.

¹⁸² vgl. Lamnek 1995, S. 7

¹⁸³ Qualitative Forschung ist fokussiert auf die Betrachtung realer Fälle unter realen Bedingungen. Die Forschungsergebnisse sind folglich gut auf die Realität übertragbar und somit empirisch relevant.

¹⁸⁴ vgl. Flick 2002, S. 73

¹⁸⁵ vgl. Dörner & Lantermann 1990

Beobachterrolle die Distanz zum ausführenden Personal nie vollständig überbrücken kann.¹⁸⁶ Gleichzeitig wird jedoch durch eine zu starke Einbindung des Forschers die angestrebte beobachterunabhängige Erfassung des Konstruktionsprozesses unmöglich.¹⁸⁷ Darüber hinaus ist der Forscher oft nicht in der Lage, die parallel stattfindenden Aktivitäten vollständig zu erfassen. HALES sieht die Produktentwicklung daher als ein multidimensionales Problem, dessen Beobachtung und Interpretation einen Multi-Methodenansatz erfordert.¹⁸⁸

Obwohl die quantitativen und qualitativen Forschungsmethoden auf eine lange Tradition zurückblicken und auch in gewisser Weise voneinander abhängig sind, werden beide Richtungen nach wie vor kritisch hinterfragt und heiß diskutiert. So wird beispielsweise quantitativen Forschungsmethoden vorgeworfen, dass diese, um gesicherte generalisierbare Erkenntnisse zu erreichen, die Fragestellungen bis zur Belanglosigkeit einschränken.¹⁸⁹ Während qualitativen Forschungsmethoden „naiver Empirismus“ vorgeworfen wird, wobei sich der Vorwurf auf die zu Beginn fehlenden oder unvollständig entwickelten Hypothesen zirkulärer Forschungsprozesse bezieht. Ein weiterer, sehr verbreiteter Kritikpunkt qualitativer Forschungsmethoden bezieht sich auf die Generalisierbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse, welche aufgrund der niedrigen Stichprobengröße niemals Repräsentativität für sich beanspruchen können, oder, wie es LINCOLN und GUBA formulieren: *„The only generalization is: There is no generalization.“*¹⁹⁰ Jedoch ist es zulässig, durch die anspruchsvolle Analyse weniger Fälle auf weitere ähnliche Fälle zu schließen, was den Gütekriterien einer Verallgemeinerung sehr nahe kommt.¹⁹¹ DÖRNER sieht daher in der Durchführung von Einzelfallstudien die beste Methode, um eine Theorie der Produktentwicklung abzuleiten.¹⁹² Er ist der Ansicht, dass oft mehrere Wege zum Ziel führen und ein idealer Prozessablauf nicht besteht: *„Konstruktionsprozesse haben wohl keine kanonisierbare Optimalform, welcher der Konstrukteur nach einem festen Ablaufplan folgen könnte.“*¹⁹³ Darüber hinaus vertritt er den Standpunkt, dass die Erfolgsfaktoren einer bestimmten Situation in einer anderen Situation zum Misserfolg führen können. Die Anwendung von gruppenstatistischen Methoden auf komplexe Probleme sieht er daher äußerst kritisch, da diese nur zu trivialen Aussagen führen können.¹⁹⁴ Nach GOMM, HAMMERSLEY und FOSTER, welche einen Überblick über

¹⁸⁶ vgl. Blessing 1994

¹⁸⁷ vgl. Frankenberger 1997, S. 32

¹⁸⁸ vgl. Hales 1987

¹⁸⁹ vgl. Kromrey 2002, S. 529

¹⁹⁰ Lincoln & Guba 2000, S. 27 ff.

¹⁹¹ vgl. Wrona 2004

¹⁹² vgl. Dörner 1998, S. 8 ff.

¹⁹³ Dörner 1994, S. 159

¹⁹⁴ vgl. Dörner 1998, S. 8 ff.

die Anwendung von Einzelfallstudien in der Sozialforschung geben,¹⁹⁵ werden hier ähnliche Standpunkte vertreten. Demnach ist DONMOYER der Auffassung, dass der praktische Anwender die Ergebnisse qualitativer Einzelfallstudien oft viel hilfreicher empfindet als die statistische Auswertung von Laboruntersuchungen. Aus Sicht der Überführung von Ergebnissen in die Praxis, sieht er die aus der erkenntnistheoretischen Forschung geforderte Verallgemeinerung von Ergebnissen als nicht so wichtig an.¹⁹⁶ FRANKENBERGER sieht dagegen enorme Vorteile in einer engen Verzahnung beider Forschungsansätze und empfiehlt deshalb „spiralförmiges Vorgehen“, bei welchem zwischen beiden Ansätzen immer wieder gewechselt wird.¹⁹⁷

2.3.2 Historie der empirischen Konstruktionsforschung

Die empirische Konstruktionsforschung, beginnend in den 1960er Jahren, hat die heutige Konstruktionsmethodik in ihrer Entwicklung maßgeblich beeinflusst. In zahlreichen Feldstudien und Laborstudien konnten Erkenntnisse gewonnen werden, welche die heutigen Denkweisen und Vorgehensmodelle des Entwicklungsprozesses stark geprägt haben. Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die durchgeführten Forschungsaktivitäten, ohne dabei Vollständigkeit für sich zu beanspruchen.

MARPLES untersucht 1961 anhand von zwei Fallstudien Entwicklungsprojekte aus dem Bereich der Verfahrenstechnik mit dem Ziel, Empfehlungen für die Weiterentwicklung erfahrener Konstrukteure zu geben. Beobachtet wird das Vorgehen der Gruppe (im ersten Fallbeispiel ca. 70 Konstrukteure), wobei der Fokus auf den während der Entwicklung durchgeführten Aktivitäten und Entscheidungsprozessen und dem zur Durchführung benötigten Wissen und die erforderlichen Fertigkeiten liegt. MARPLES identifiziert Entscheidungen als zentrale Steuerelemente des Entwicklungsprozesses und stellt den Verlauf vom abstrakten Problem bis zur konkreten Lösung in sogenannten Entscheidungsbäumen dar. Die Hauptaufgaben von Konstrukteuren sieht er in der Entwicklung von alternativen Lösungen und der Suche nach Informationen, um diese möglichst früh beurteilen zu können.¹⁹⁸ Für die Beurteilung muss der Konstrukteur die einzelnen Lösungsalternativen konkretisieren und anhand der dabei auftauchenden (Sub-) Probleme bewerten, wie gut eine Lösung umsetzbar ist.¹⁹⁹ In dem von ihm entwickelten Vorgehensmodell schlägt er eine parallele Bewertung mehrerer

¹⁹⁵ vgl. Gomm et al. 2000

¹⁹⁶ vgl. Donmoyer 2000, S. 45 ff.

¹⁹⁷ vgl. Frankenberger 1997, S. 31

¹⁹⁸ vgl. Marples 1961, S. 64

¹⁹⁹ vgl. Marples 1961, S. 63

Lösungsalternativen vor und gibt gleichzeitig dem Konstrukteur die Möglichkeit, die Lösungssuche und -beurteilung vorzeitig abubrechen, wenn eine sehr erfolgversprechende Lösung auftaucht.

RAMSTRÖM und **RHENMAN** untersuchen 1965 in einer Fallstudie ein zweimonatiges Entwicklungsprojekt aus dem Bereich der Nuklearindustrie, welches von zwei Konstrukteuren bearbeitet wurde. Auf der Basis von analysierten Interviews und Tätigkeitsprotokollen sowie eigenen Theorien entwickeln beide ein deskriptives Vorgehensmodell, welches das Lösen von Konstruktionsproblemen durch die Anwendung von vier verschiedenen Heuristiken (Bildung von Teilproblemen, Bildung von Teilzielen, Anwendung von Planungstechniken, Ersetzen von optimalen Zielen durch Ziele mit geringerem Anspruch) beschreibt.²⁰⁰ Darüber hinaus identifizieren sie vier Dimensionen (Need (Kundenanforderungen), Product (technische Produktmerkmale), Control (administrative Projektmerkmale), Engineering (technische Kriterien)) anhand welcher Konstruktionsprojekte charakterisiert werden können.²⁰¹ Bei der Analyse der Fallstudie erkennen **RAMSTRÖM** und **RHENMAN** wie bereits **MARPLES** die Bedeutung von Entscheidungsvorgängen für den Fortschritt des Entwicklungsprozesses. Dabei identifizieren sie vier unterschiedliche Entscheidungstypen (Limitation (Reduktion der Alternativen), Generalization (Erweiterung der Alternativen), Change (gleichzeitige Generation und Reduktion von Alternativen), Reformulation (Veränderung der Dimensionen)).²⁰² Als charakteristisch für Entwicklungsprozesse sehen beide die dynamische Veränderung der Randbedingungen sowie die notwendige Reduktion der Information zur Entscheidungsfindung.

EASTMAN untersuchte Ende der 1960er Jahre in Laborstudien die Handlungsmuster von sechs berufserfahrenen Architekten bei der Lösung einfacher Konstruktionsprobleme (z. B. Anordnung von Möbeln auf vorgegebenem Grundriss).²⁰³ Bei der Analyse erkannte Eastman starke Unterschiede zwischen den Versuchspersonen bezüglich der Problemdekomposition (Problemzerlegung), welche sich auf die Anzahl der formulierten Anforderungen und Randbedingungen wie auch auf die Art der Repräsentation und das Abstraktionsniveau auswirkten. Daher sah er es als elementare Anforderung einer unterstützenden Methode, ständiges Wechseln zwischen unterschiedlichen Darstellungsformen von relevanten Informationen zu ermöglichen.²⁰⁴ Darüber hinaus erkannte er in der Überlegenheit einiger

²⁰⁰ vgl. Ramström & Rhenman 1965, S. 79

²⁰¹ vgl. Ramström & Rhenman 1965, S. 80 f.

²⁰² vgl. Ramström & Rhenman 1965, S. 82

²⁰³ vgl. Eastman 1968; vgl. Eastman 1970

²⁰⁴ vgl. Eastman 1970, S. 30

Versuchspersonen die Fähigkeit auf vorhandenes, strukturiertes Wissen zuzugreifen.²⁰⁵ Bezüglich des Vorgehens beobachtete EASTMAN objektorientierte generierende Handlungsmuster, welche in einem Trial-and-Error-Prozess einzelne Konstruktionsobjekte nacheinander auf breiter Basis variierten, bis ein zufriedenstellender Zustand erreicht wurde. Gleichzeitig identifizierte EASTMAN auch korrigierende Handlungsmuster, bei welchen in einem ständigen Wechsel zwischen Problemdefinition, Lösungssuche und -beurteilung eine eher geringe Anzahl von Lösungen untersucht wurde. Auf Basis von groben Bewertungen wurde dabei nicht ein Optimum, sondern viel eher ein zufriedenstellender Kompromiss angestrebt. Als Ergebnis seiner Untersuchungen formulierte EASTMAN ein iteratives Vorgehensmodell für die Lösung von Konstruktionsproblemen, in welchem sogenannte Design Units so lange iterativ verändert werden, bis eine zufriedenstellende Lösung entsteht.

HYKIN²⁰⁶ untersucht 1972 anhand von teilnehmenden Beobachtungen Konstruktionsprozesse in der Industrie. Die Erfahrungsberichte mit relativ grober Auflösung fokussieren sich auf schwerwiegende Fehler in der Konstruktionstätigkeit, welche aufgrund von unzureichenden oder fehlerhaften Informationen entstanden. Als Ursache nennt er unter anderem personelle Wechsel mit unzureichendem Informationsaustausch.

BESSANT und **MCMAHON** untersuchten 1979 in teilnehmender Beobachtung ein umfangreiches vierjähriges Konstruktionsprojekt²⁰⁷. Die Untersuchung stützt sich unter anderem auf Fragebögen, Interviews und Tagebücher der Konstrukteure. Aufgrund einer großen Vielfalt sehr unterschiedlicher und spezifischer Daten erkannten sie das Problem, die Erkenntnisse in verallgemeinerbare Modelle zu überführen. Daher sahen beide das Potential der Forschungsmethode primär darin, mit Hilfe von Vorhersagen die Planung und Organisation von Konstruktionsprozessen zu verbessern.

Die Arbeitsgruppe **MALHOTRA, THOMAS** und **CARROLL**²⁰⁸ erforschte Ende der 1970er Jahre anhand von Problemen aus der Softwareentwicklung in mehreren Laborstudien die kognitiven Grundlagen des kreativen Entwerfens. Motivation für die Untersuchungen war eine Unzufriedenheit mit bestehenden Beschreibungsmodellen, die ihrer Meinung nach Gestaltungsaktivitäten unzureichend von anderen Problemlösungsaktivitäten unterschieden, keine Basis für empirische Validierung

²⁰⁵ vgl. Eastman 1970, S. 30

²⁰⁶ vgl. Hykin 1972

²⁰⁷ vgl. Bessant 1979; vgl. Bessant & McMahon 1979

²⁰⁸ vgl. Thomas & Carroll 1979; vgl. Malhotra et al. 1980; vgl. Carroll et al. 1980

boten und keinen einheitlichen Rahmen für die Betrachtung aller Aspekte des Entwurfprozesses bereitstellten.²⁰⁹ Die Analyse von zwei Fallstudien, in welchen die Dialoge zwischen Softwareentwicklern und Auftraggebern untersucht wurden, ergab, dass diese in sechs Phasen abliefen. Über den Entwicklungsprozess wurden die einzelnen Stufen nicht linear durchlaufen, sondern es konnten mehrere Schleifen identifiziert werden, wobei immer wieder Rücksprünge auf die erste Stufe beobachtet werden konnten (Bild 19). Gleichzeitig zeigte sich, dass die Inhalte der Schleifen stark variierten.

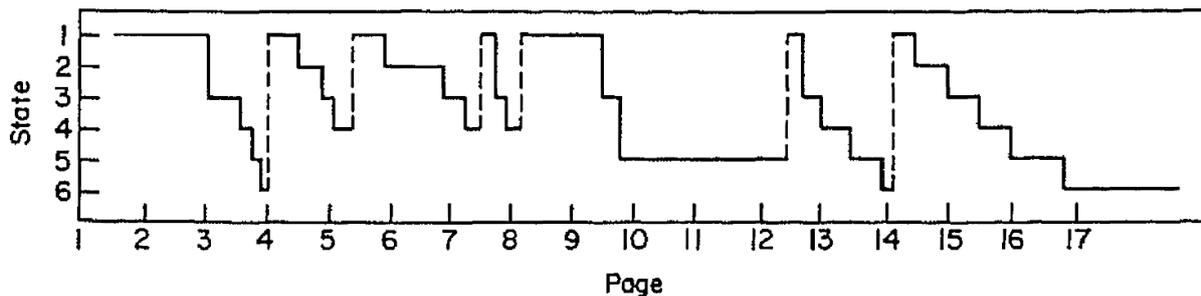


Bild 19 Dialogstruktur nach Malhotra²¹⁰ (State: 1. Goal statement, 2. Goal elaboration, 3. (Sub) solution outline, 4. (Sub) solution elaboration, 5. (Sub) solution explication, 6. Agreement on (sub) solution)

Der Vergleich von Experimenten mit Softwarekonstrukteuren und Experimenten aus softwarefernen Bereichen des Entwurfs (Entwurf eines Restaurants, Entwurf eines Sessels, Schreiben eines Briefes) zeigte jedoch, dass sehr unterschiedliche Repräsentationsformen bei der Entwicklung gewählt wurden. Gleichzeitig waren die sehr unterschiedlichen Handlungsmuster primär von den Erfahrungen aus vergangenen Projekten geprägt.²¹¹ In einer weiteren Laborstudie zeigte sich, dass eine hohe Erfüllung der Produkthanforderungen bei einer großen Übereinstimmung von Problemstruktur und Lösungsstruktur erreicht wird. Als vorteilhaft erwiesen sich dabei Vorgehensweisen, bei denen die Lösung über den Prozess hinweg relativ stabil blieb. Instabile Vorgehensweisen führten dagegen eher zu unterschiedlichen Strukturen und aufgrund größerer Rücksprünge im Prozess zu längeren Bearbeitungszeiten. Aus den in den verschiedenen Studien gewonnenen Erkenntnissen wird abschließend ein deskriptives Modell des Entwicklungsprozesses abgeleitet.²¹²

²⁰⁹ vgl. Malhotra et al. 1980, S. 120

²¹⁰ vgl. Malhotra et al. 1980, S. 123

²¹¹ vgl. Malhotra et al. 1980, S. 128

²¹² vgl. Malhotra et al. 1980, S. 120

RUTZ untersucht 1985 in einer Laborstudie mit etwa 7 Stunden Bearbeitungszeit das Vorgehen von zwei Maschinenbaustudenten bei der Konstruktion einer mechanischen Vorrichtung. Sein Ziel ist dabei, die existierenden präskriptiven Vorgehensmodelle mit empirischen Beobachtungen abzugleichen. Bei der Analyse der Handlungsmuster (unter anderem anhand von Tonbandaufzeichnungen) erkennt er, dass sich die in den Vorgehensmodellen beschriebenen Konstruktionsphasen in den gewählten Abstraktionsebenen der Versuchspersonen widerspiegeln, nicht aber der beobachteten Abfolge der Tätigkeiten entsprechen. Nach seiner Beobachtung treten in der Realität häufige Vor- und Rücksprünge auf (Bild 20).

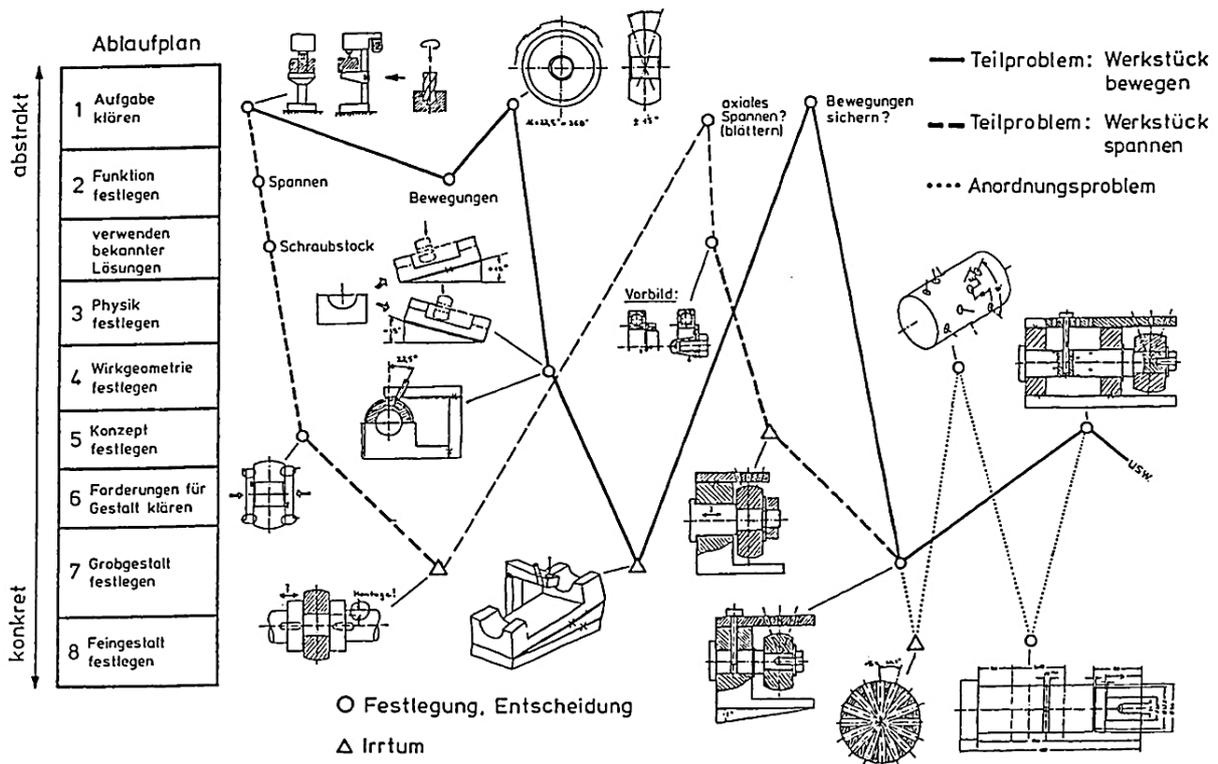


Bild 20 Ablauf des Problemlösungsprozesses bis zum konkreten Entwurf nach RUTZ²¹³

Darüber hinaus identifiziert er Iterationen, in welchen auf Basis neuer Erkenntnisse andere Sichtweisen auf eine Problemstellung erzeugt werden.²¹⁴ In diesem Handlungsmuster erkennt RUTZ eine verschachtelte Folge von Test-Operate-Test-Exit Operationen, die er nach den Themen in „Lösungen suchen“, „Lösungen anpassen“, „Lösungen in Gesamtzusammenhang einpassen“ und „Rücksprung zum Ausgangsproblem“ zusammenfasst.²¹⁵ Iteratives Vorgehen interpretiert RUTZ dabei

²¹³ vgl. Rutz 1985, S. 143

²¹⁴ vgl. Rutz 1985, S. 143

²¹⁵ vgl. Rutz 1985, S. 140 ff.

nicht als unzulässige Abweichung von einem „idealen“ Vorgehensmodell, sondern als Grundprinzip des menschlichen Verhaltens beim Problemlösen. Er kommt daher zu dem Schluss, dass lineare Ablaufpläne „irreführend und unvollständig“ sind.²¹⁶ Darüber hinaus erkennt er, dass sich Konstruieren, abhängig vom Vorwissen des Konstrukteurs, als innerer Routine- oder Problemlösungsvorgang auffassen lässt.²¹⁷

HALES veröffentlichte 1987 die Ergebnisse einer Einzelfallstudie²¹⁸, in welcher er durch teilnehmende Beobachtung 37 Konstrukteure über einen Zeitraum von 34 Monaten beobachtete. Bei dem untersuchten Industrieprojekt handelte es sich um einen internen Auftrag zur Entwicklung einer Kohlevergasungsanlage, an welchem nur ein Tag in der Woche gearbeitet wurde. HALES verfolgte mit der Untersuchung das Ziel, Daten über Konstruktionsprozesse aus der industriellen Praxis zu sammeln und neue Analysetechniken und Darstellungsarten der Prozesse zu entwickeln. Seine Datenbasis bestand unter anderem aus Tages-, Wochen- und Konstruktionsberichten sowie aus Tonbandaufzeichnungen von Besprechungen. Die daraus abgeleiteten Aktivitäten des Entwicklungsteams ordnete HALES den von PAHL und BEITZ definierten Hauptphasen des Entwicklungsprozesses zu, wobei er das Modell um eine Produktplanungsphase (design proposal) ergänzte. Auf diese Weise erzeugte HALES eine Darstellung vom zeitlichen Verlauf des Projekts mit den jeweiligen Anteilen der einzelnen Entwicklungsphasen (Bild 21).

Er erkannte, dass sich die Hauptphasen im Entwicklungsprozess eindeutig abgrenzen lassen, jedoch in ihrer zeitlichen Abfolge nicht mit dem präskriptiven Modell übereinstimmen und von Rücksprüngen und Überlappungen geprägt sind. So konnten beispielsweise schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt (13. Monat) Entwurfsaufgaben beobachtet werden. Gleichzeitig gab es zu einem späten Zeitpunkt (28. Monat) noch Aktivitäten der Aufgabenklärung zu verzeichnen. Nach den Erkenntnissen von HALES wirken sich die Überlappungen der Entwicklungsphasen nicht negativ auf Projektergebnis und Aufwand aus. Anders verhält es sich mit den Vor- und Rücksprüngen, welche nach seiner Ansicht zu einem größeren Entwicklungsaufwand führen. Darüber hinaus beobachtete HALES, dass in der Aufgabenklärungs- und Konzeptphase mehr als die Hälfte der Zeit von Planungs- und Kommunikationsaktivitäten bestimmt wird, welche dem Projektfortschritt indirekt dienen. Auf Basis seiner Erkenntnisse kommt HALES zu dem Schluss, dass die sogenannten Projektmanagement-Aktivitäten, welche durch

²¹⁶ vgl. Rutz 1985, S. 155

²¹⁷ vgl. Ehrlenspiel & Rutz 1987, S. 29 ff.

²¹⁸ vgl. Hales 1987

viele präskriptive Modelle des Entwicklungsprozesses nur vage angedeutet werden, einen wesentlichen Einfluss auf den Erfolg der Projekte haben.

PHASES OF ENGINEERING DESIGN PROCESS

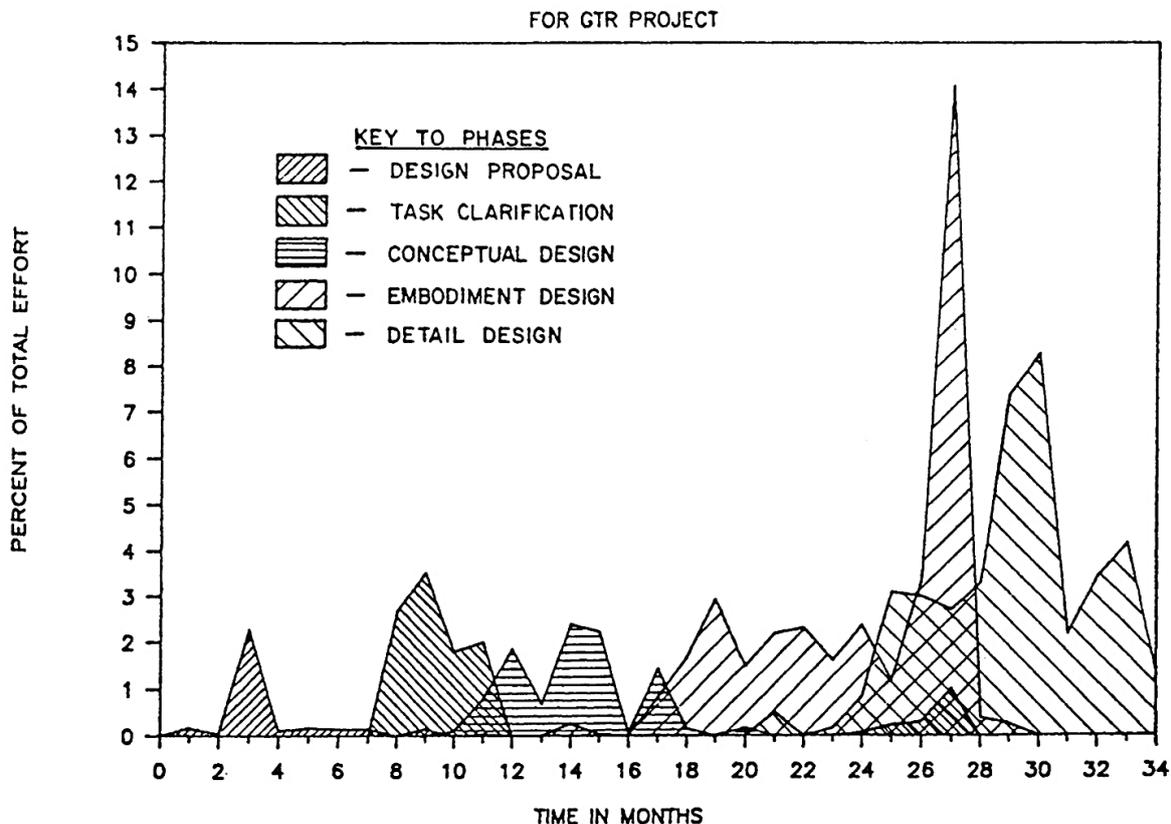


Bild 21 Abbildung des Entwicklungsprozesses nach WALLACE und HALES²¹⁹

STAUFFER und **ULLMAN** untersuchten Ende der 1980er Jahre in einer Reihe von Laborstudien Arbeitsprozesse und Tätigkeiten beim Konstruieren.²²⁰ Um dabei die Gedankengänge detailliert nachvollziehen zu können, wurden die Versuchspersonen bei der Durchführung zur Verbalisierung ihrer Gedanken („lautes Denken“) aufgefordert. Ziel der ersten Untersuchungen war es, herauszufinden, in wie weit präskriptive Modelle des Entwicklungsprozesses mit den praktizierten Handlungsmustern übereinstimmen. Die Untersuchung mit sechs Versuchspersonen, welche komplexe mechanische Problemstellungen bearbeiten, zeigt, dass oft nur eine einzige Lösung verfolgt wird, welche zum Teil sehr früh konkretisiert wird. Gleichzeitig geht das anfänglich systematische Vorgehen im Verlauf der Problemlösung häufig in ein „opportunistisches“ Vorgehen über. Dabei betrachteten

²¹⁹ vgl. Wallace & Hales 1987, S. 99

²²⁰ vgl. Stauffer et al. 1987; vgl. Ullman & Dietterich 1987; vgl. Stauffer & Ullman 1988; vgl. Ullman et al. 1988; vgl. Stauffer 1989; vgl. Stauffer & Ullman 1991

die Versuchspersonen funktionale Aspekte abschnittsweise während des gesamten Problemlösungsprozesses, statt zu Beginn eine vollständige Funktionsanalyse durchzuführen. Während des Prozesses wechselten die Versuchspersonen zwischen mehreren Problemrepräsentationen. Entscheidungen wurden überwiegend auf Basis von qualitativen, subjektiven Einschätzungen getroffen. Auch zeigte sich, dass mentale, visuelle und physikalische Simulationen, vor allem zur Problemanalyse und zur Lösungsbewertung, eingesetzt wurden. Dabei wurde primär das Entwickeln einer zufriedenstellenden und nicht einer optimalen Lösung angestrebt.²²¹ Aufgrund dieser Untersuchungsergebnisse kamen die Autoren zu der Erkenntnis, dass die beobachteten Handlungsmuster nicht das in den präskriptiven Modellen beschriebene Vorgehen widerspiegeln, was sie in einer vergleichenden Analyse mit sechs weiteren Studien bestätigen konnten.²²² Daher entwickelten sie ein eigenes deskriptives Vorgehensmodell²²³ für den Konstruktionsprozess im Maschinenbau, welches in einer weiteren Studie mit fünf Konstrukteuren und einer Bearbeitungsdauer von etwa fünf Stunden überprüft wurde. Darauf aufbauend erarbeiteten sie Anforderungen an eine praxistaugliche Computerunterstützung des Konstruktionsprozesses.

MÜLLER untersuchte 1989 drei Einzelfallstudien²²⁴ über eine Dauer von mehreren Jahren. Die von ihm durchgeführte strukturierte Beobachtung untersucht besonders die individuellen Einflüsse auf den Konstruktionsprozess. Zu deren Darstellung verwendete er sogenannte ereignis- und ergebnisorientierte Graphen und konnte auf diese Weise die Einflüsse aus Anforderungen, Produkt und Bearbeiter auf den Konstruktionsprozess darstellen. Dabei identifizierte er überwiegend iterative Handlungsmuster mit korrigierenden und rückspringenden Schritten. Außerdem kam MÜLLER zu dem Schluss, dass die methodische Durchführung und Planung der Entwicklungstätigkeit eine große Bedeutung hat. In seinen Untersuchungen erkannte er, dass die Erfahrung auf diese Tätigkeiten einen großen Einfluss hat. So konnte er beobachten, dass eine geringe Erfahrung des Konstrukteurs zu einer verstärkten Informationssammlung, einer verstärkten Prinzipsuche und häufigen Planungsaktivitäten führte, während eine hohe Erfahrung des Konstrukteurs eher zu einer routinierten Bearbeitung mit wenigen Planungsschritten führte.

TANG und **MINNEMAN** untersuchten Ende der 1980er Jahre in mehreren Laborstudien²²⁵ die Interaktionen in Kleingruppen, bestehend aus 3 bis 4

²²¹ vgl. Stauffer et al. 1987, S. 77 und 83 f.

²²² vgl. Stauffer & Ullman 1988

²²³ vgl. Ullman et al. 1988

²²⁴ vgl. Müller 1989

²²⁵ vgl. Tang 1989, vgl. Tang & Leifer 1991

Konstrukteuren, bei der Bearbeitung kleiner Konstruktionsprobleme (z. B. Entwicklung eines Telefongeräts (ca. 1 Stunde Bearbeitungszeit). Ihr Ziel war die Zusammenarbeit zwischen den Versuchspersonen, bestehend aus Gesten, Kommunikation und gemeinsam genutzte Dokumente zu erfassen, um Computerhilfsmittel für die Unterstützung der Gruppenarbeit beim Konstruieren zu erarbeiten. In seinen Untersuchungen erkannte TANG die Bedeutung kinästhetischer Gesten, welche in Ergänzung zur Sprache zu einem besseren und schnelleren Verständnis beitragen können. Besonders gut war dies bei der Erklärung von Zeichnungen sichtbar, da hier die unbewusst durchgeführten Gesten dazu verwendet wurden, um beispielsweise Bewegungen zu verdeutlichen. Auf Basis dieser Erkenntnisse formulierte TANG Anforderungen für computerbasierte Hilfsmittel und entwickelte gemeinsam mit MINNEMAN einen videobasierten Prototyp mit dem Namen „VideoDraw“.²²⁶ Auf dieser Basis untersucht MINNEMAN 1991 Kleingruppen von Konstrukteuren in Feldstudien und Laborexperimenten.²²⁷ Mit Hilfe von Videoaufnahmen dokumentiert er die Interaktionen innerhalb der Gruppe und greift auch bei dem von ihm praktizierten „Observe-Analyze-Intervene“-Vorgehen aktiv in den Prozess ein, um die Auswirkungen beobachten zu können.

GUINDON untersucht 1990 in einer Laborstudie drei Softwareentwickler bei der Lösung eines komplexen Programmierproblems. Bei der Analyse der individuellen Handlungsmuster erkannte GUINDON, dass nur 47% der identifizierten Arbeitsschritte einem hierarchischen Top-Down-Vorgehen entsprechen. Abweichungen erkannte er in einer vorgreifenden Konkretisierung von Teillösungen, welche sich intuitiv oder zufällig ergaben oder auch strategisch geplant wurden. Gleichzeitig kam es vor, dass unvermittelt Lösungsideen für andere Teilprobleme außerhalb des aktuellen Suchraums gefunden wurden. Auch beobachtete GUINDON, dass bei dem Auftauchen neuer Anforderungen die aktuelle Tätigkeit unterbrochen und direkt mit der Suche nach Teillösungen für neue Anforderungen begonnen wurde. Darüber hinaus identifiziert er regelmäßig wiederkehrende Analyse und Konkretisierung von Anforderungen und Problemen über den gesamten Entwicklungsprozess.²²⁸ Auf Basis seiner Untersuchungen gelangt GUINDON zu der Erkenntnis, dass das Handlungsmuster wesentlich von dem verfügbaren (Erfahrungs-) Wissen bezüglich der Problemstruktur, der möglichen Lösungen und von Assoziationen beeinflusst wird. Das Handlungsmuster ist daher primär opportunistisch und richtet sich nach den Möglichkeiten der Wissenserweiterung.²²⁹

²²⁶ vgl. Tang & Minneman 1990

²²⁷ vgl. Minneman 1991

²²⁸ vgl. Guindon 1990, S. 323 f.

²²⁹ vgl. Guindon 1990, S. 329

Gleichzeitig verlaufen Problemlösung und Konkretisierung der Lösung gepaart mit iterativen Vor- und Rücksprüngen eher parallel. Guindon schlussfolgert daher, dass eine hierarchische, über den Prozessverlauf stabile Ziel- und Problemzerlegung unmöglich sei.²³⁰ Er entwickelt daher ein Modell des opportunistischen Entwurfsprozesses, in welchem Erfahrungswissen das zentrale Mittel zur heuristischen Problemlösung und zur Reduktion des kognitiven Aufwands darstellt. Erst durch Erfahrungswissen ist es seiner Meinung nach möglich, Problemsituationen zu erkennen und mit Hilfe von Assoziationen neue Lösungen zu entwickeln.²³¹

VISSER untersucht Anfang bis Mitte der 1990er Jahre den Verlauf von Entwicklungsprozessen in eigenen Feld- und Laborstudien und einer Metastudie mit dem Ziel, zu überprüfen, ob diese hierarchisch strukturiert sind.²³² In seinen Untersuchungen erkennt VISSER eine deutliche Diskrepanz zwischen dem subjektiven Empfinden der Konstrukteure, welche ihre geplante und durchgeführte Vorgehensweise oft als hierarchisch strukturiert beschreiben, und seinen Beobachtungen, welche auf ein opportunistisches Vorgehen mit hierarchischen Episoden hindeutet. Seinen Beobachtungen zufolge kommt es zu Abweichungen von hierarchisch strukturierten Vorgehensplänen, wenn im Bewusstsein des Konstrukteurs alternative Vorgehensweisen existieren, welche als zielführender beurteilt werden. Als mögliche Ursachen für die Bildung von Handlungsoptionen auf Bewusstseinssebene erkennt VISSER Informationen aus externen Quellen (Kunden, Kollegen, etc.),²³³ plötzlich entstehende Assoziationen beim Umherschweifen („drifting“), Problembetrachtung aus anderem Blickwinkel, Übertragung von unwichtigen Informationen auf andere Problemstellungen, das Erkennen von Beziehungen zwischen Teilproblemen²³⁴ oder die assoziative Übertragung einer gerade ausgeführten Vorgehensweise auf ein gleiches, ähnliches oder anderes Problem. Darüber hinaus beobachtet VISSER, dass Konstrukteure ihre Entscheidung, von hierarchisch strukturierten Vorgehensplänen abzuweichen, primär an dem zu erwartenden kognitiven Aufwand und der Wichtigkeit der Handlungsoption festmachen.²³⁵ Damit identifiziert auch VISSER bei Konstrukteuren ein opportunistisches Handlungsmuster, betont jedoch gleichzeitig, dass sehr wohl ein übergeordneter Plan existiert.²³⁶

²³⁰ vgl. Guindon 1990, S. 329

²³¹ vgl. Guindon 1990, S. 337

²³² vgl. Visser 1990; vgl. Visser 1994; vgl. Visser 1995; vgl. Visser 1996

²³³ vgl. Visser 1994, S. 264 ff.

²³⁴ vgl. Visser 1990, S. 271 f.

²³⁵ vgl. Visser 1990, S. 269 f.; vgl. Visser 1994, S. 260 ff.

²³⁶ vgl. Visser 1990, S. 276

DYLLA untersuchte 1991 in einer Laborstudie sechs Versuchspersonen bestehend aus zwei Konstrukteuren, zwei wissenschaftlichen Mitarbeitern und zwei Studenten bei der Entwicklung einer Wandhalterung mit Schwenkmechanismus.²³⁷ Neben der unterschiedlichen Konstruktionserfahrung unterschieden sich die Versuchspersonen auch hinsichtlich der konstruktionsmethodischen Ausbildung, welche bei den Konstrukteuren niedrig, bei den Studenten mittelmäßig und bei den wissenschaftlichen Mitarbeitern stark ausgeprägt war. Die Dauer des Experiments war nicht beschränkt und betrug zwischen 6 und 12 Stunden. Bei der Bearbeitung der Problemstellung waren die Versuchspersonen zum „lauten Denken“ aufgefordert, was mithilfe einer Videokamera für die Analyse festgehalten wurde. Das Ziel der Untersuchung war, neben der Entwicklung von Protokollierungs- und Auswertungsverfahren, in einer deskriptiven Theorie die Zusammenhänge zwischen den Merkmalen des Konstrukteurs, des Konstruktionsprozesses und -ergebnisses zu beschreiben.²³⁸ Die Auswertung der Studie zeigte bei den Versuchspersonen unterschiedliche Gewichtungen der Konstruktionsphasen, welche nicht linear sequentiell ablaufen, sondern von Vor- und Rücksprüngen geprägt sind (Bild 22).

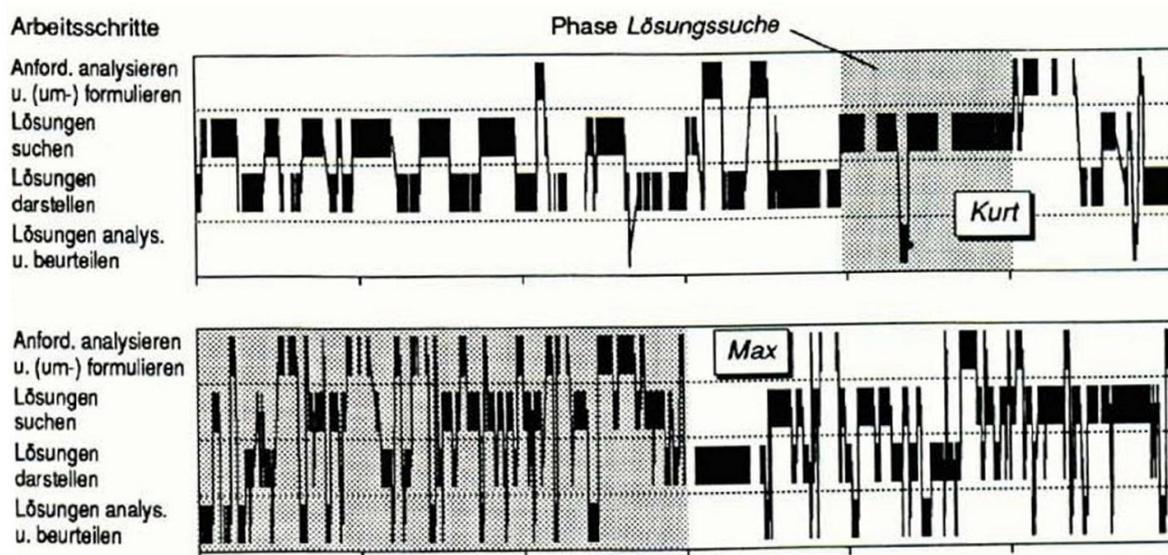


Bild 22 Konstruktionsphasen der Versuchspersonen nach DYLLA²³⁹

Bei der Entwicklung von neuen Lösungen wurden hauptsächlich im Gedächtnis gespeicherte Ansätze verwendet und nur wenig auf die zur Verfügung gestellten Unterlagen zurückgegriffen. Die abstrakte Repräsentation mit Hilfe von Funktionen und Wirkprinzipien wurde dabei nur in geringem Umfang oder auch teilweise

²³⁷ vgl. Dylla 1991; vgl. Ehrlenspiel & Dylla 1991; vgl. Ehrlenspiel & Dylla 1993

²³⁸ vgl. Dylla, 1991, S. 2

²³⁹ vgl. Dylla 1991, S. 105

überhaupt nicht durchgeführt. DYLLA konnte bei der Lösungssuche zwei elementare Strategien beobachten, welche er als generierende und korrigierende Variation bezeichnete.

Unter generierender Variation versteht DYLLA das Entwickeln mehrerer zunächst gleichberechtigter Lösungen, aus welchen schließlich eine Lösung ausgewählt wird. Im Gegensatz dazu steht die korrigierende Variation, bei welcher eine einzige Lösung so lange konkretisiert wird, bis Änderungsbedarf oder mangelnde Eignung festgestellt wird. Je nach Situation erfolgt dann eine Korrektur oder Substitution der bestehenden Lösung.²⁴⁰ Bei den von DYLLA beobachteten Versuchspersonen überwiegt der Anteil der korrigierenden gegenüber der generierenden Variation deutlich, obwohl diese Vorgehensweise im völligen Gegensatz zu der gelehrten Konstruktionsmethodik steht (Bild 23).

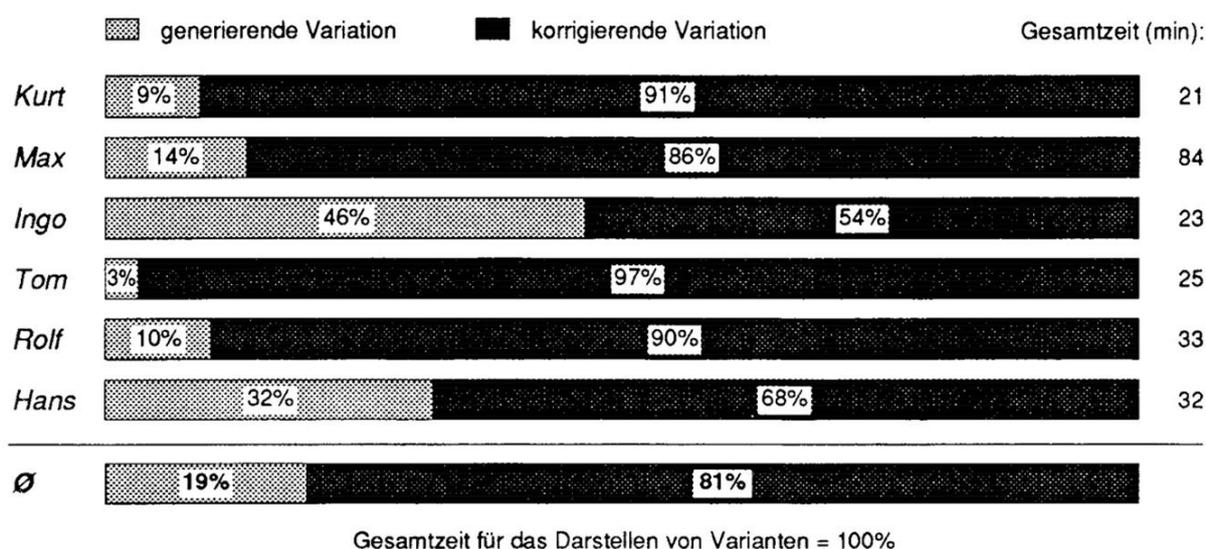


Bild 23 Verteilung der Variationsart bei der Lösungssuche nach DYLLA²⁴¹

Bezüglich der Lösungsauswahl beobachtet DYLLA eine überwiegend qualitative Beurteilung, in welcher anhand weniger Kriterien binäre Urteile vom Charakter „geht / geht nicht“ getroffen werden. Eine wichtige Beobachtung von DYLLA ist, dass eine nicht ausgebildete und methodisch ungeschulte Versuchsperson eine der besten Lösungen entwickelte und dafür, verglichen mit einer methodisch geschulten Person mit vergleichbarem Konstruktionsergebnis, nur die Hälfte der Zeit benötigte. Diese Beobachtung weist auf die Wichtigkeit der Erfahrung beim Konstruktionsprozess hin und deutet gleichzeitig die Potentiale einer methodischen Ausbildung an.

²⁴⁰ vgl. Dylla 1991, S. 95 f.

²⁴¹ vgl. Dylla 1991, S. 96

Anfang der 1990er Jahre führten **DORST, CHRISTIAANS** und **CROSS** anhand von Konstruktionsaufgaben mehrere Laborstudien mit Studenten unterschiedlicher Semester durch.²⁴² In enger Zusammenarbeit mit Psychologen war ihr Ziel, den Einfluss von Fachwissen auf das Handlungsmuster zu untersuchen. Der Wissensunterschied aufgrund der unterschiedlichen Fachsemesteranzahl zeigte in den durchgeführten Studien unterschiedliche Auswirkungen auf die Vorgehensweise. Die Autoren erkannten, dass Versuchspersonen mit geringem Fachwissen zu einer oberflächlichen Problembearbeitung neigten, während Versuchspersonen mit größerem Fachwissen zwei verschiedene Verhaltensweisen zeigten. Dabei wurde von dem einen Teil der Versuchspersonen eine so intensive Informationssammlung betrieben, dass durch dieses einseitige Verhalten die Güte des Konstruktionsergebnisses stark beeinträchtigt wurde. Der andere Teil der Versuchspersonen mit fortgeschrittenen Kenntnissen sammelte schrittweise die relevanten Informationen, setzte frühzeitig Prioritäten im Entwicklungsprozess und konnte auf diese Weise eine hohe Güte des Konstruktionsergebnisses erreichen.²⁴³

FRICKE führt 1993 eine Laborstudie mit 26 Konstrukteuren durch, von denen er 13 einer intensiveren Untersuchung unterzieht. Die Versuchspersonen bearbeiten die gleiche Aufgabenstellung wie bei DYLLA, wobei FRICKE die Klarheit und Vollständigkeit der Angaben variiert. Dabei erkannte er, dass bei unvollständigeren Anforderungen eine intensivere Auseinandersetzung mit den Zielen stattfindet. Das Ziel von FRICKE war es, erfolgsfördernde Personenmerkmale beim Konstruieren zu identifizieren. Im Rahmen seiner Untersuchungen stellte er fest, dass ein gutes räumliches Vorstellungsvermögen, gutes Sachwissen und mehrjährige Konstruktionserfahrung sowie eine hohe heuristische Kompetenz einen signifikanten Einfluss auf die Güte des Konstruktionsergebnisses haben. Darüber hinaus zeigten auch zeichnerische Fähigkeiten, Intelligenzquotient, methodische Vorbildung und individuelle Motivation einen tendenziellen, positiven Einfluss.²⁴⁴ Dabei benötigen Versuchspersonen mit methodischer Ausbildung im Schnitt 38% mehr Bearbeitungszeit als ihre Kollegen ohne eine solche Ausbildung.²⁴⁵ Gleichzeitig konnte bei Methodikern ein phasenorientierter, weniger sprunghafter Ablauf des Konstruktionsprozesses beobachtet werden als bei den Nichtmethodikern. Ein Vorgehen gänzlich ohne Sprünge war jedoch auch hier nicht zu verzeichnen.²⁴⁶ Im Gegensatz zu den Ergebnissen von DYLLA erreichten die Versuchspersonen eine

²⁴² vgl. Dorst 1991; vgl. Christiaans et al. 1993; vgl. Cross 1995

²⁴³ vgl. Christiaans et al. 1993

²⁴⁴ vgl. Fricke 1993, S. 68 ff.

²⁴⁵ vgl. Fricke 1993, S. 75

²⁴⁶ vgl. Fricke 1993, S. 98

nur mäßige Güte des Konstruktionsergebnisses.²⁴⁷ Bei der näheren Untersuchung der Konstruktionsstrategien konnte FRICKE eine bereichsorientierte und eine stufenweise ablauforientierte Strategie identifizieren (Bild 24). Eine bereichsorientierte Vorgehensweise ist daran zu erkennen, dass für einzelne Problembereiche Lösungen über mehrere Abstraktionsebenen hinweg konkretisiert werden. Anschließend erfolgt die Eingliederung in die Gesamtlösung und der Sprung in einen anderen Problembereich. Bei dieser Vorgehensweise entsteht die Gesamtlösung erst zu einem späten Zeitpunkt auf konkretem Niveau, weshalb es häufig zu Rücksprüngen kommt. Im Gegensatz dazu ist das von der Konstruktionsmethodik propagierte stufenweise ablauforientierte Vorgehen daran zu erkennen, dass zunächst für die Problembereiche parallel Teillösungen entwickelt und dann zu einer Gesamtlösung zusammengeführt werden, bevor der Konkretisierungsschritt durchgeführt wird. Vorteil dieser Vorgehensweise ist das frühe Entstehen von Gesamtlösungen auf abstrakter Ebene.

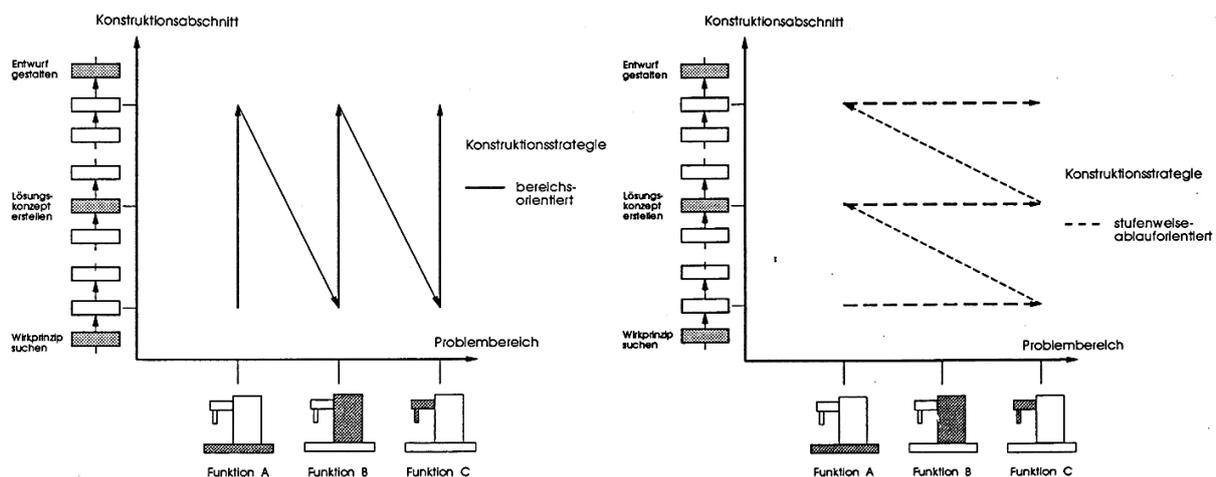


Bild 24 bereichsorientierte (links) und stufenweise ablauforientierte (rechts) Konstruktionsstrategie nach FRICKE²⁴⁸

Die Auswertung der beobachteten Versuchspersonen bezüglich der von ihnen durchgeführten Konstruktionsstrategie ließen jedoch keine eindeutigen Tendenzen erkennen.²⁴⁹ Außerdem definierte Fricke ein unangemessen-methodisches und ein flexibel-methodisches Vorgehen, welches sich im Wesentlichen dadurch unterscheidet, dass das unangemessen-methodische Vorgehen zusätzlich zu den erlaubten Vor- und Rücksprüngen weitere unzweckmäßige Sprünge beinhaltet. Das bei insgesamt sechs Versuchspersonen identifizierte flexibel-methodische Vorgehen

²⁴⁷ vgl. Fricke 1993, S. 105

²⁴⁸ vgl. Fricke 1993, S. 89

²⁴⁹ vgl. Fricke 1993, S. 90

förderte dabei ein am Konstruktionsproblem orientiertes, strukturiertes Klären von Anforderungen sowie eine ausgewogene Variantengenerierung und -beurteilung, was sich auch positiv auf die Konstruktionsergebnisse auswirkte.²⁵⁰

LENK untersuchte 1993 in einer Laborunterstudie das Verhalten von Konstrukteuren bei der Bewertung von Lösungen.²⁵¹ Sein Ziel war die individuellen Vorgehensweisen beim Bewerten zu identifizieren und Erkenntnisse bezüglich der individuellen Einflüsse auf den Bewertungsprozess zu gewinnen. Dazu ließ er die Konstrukteure bei einer Beobachtungszeit von ein bis zwei Stunden mehrere Alternativen in Entwurfsreife bewerten. Auf Basis seiner gewonnenen Erkenntnisse formulierte er Ansätze zur Erweiterung der methodischen Unterstützung bei der Bewertung von Lösungen.

CRABTREE, BAID und **FOX** untersuchen 1993 in einer Feldstudie²⁵² die Ursachen für Projektverzögerungen. Basis der Untersuchung war ein Projektbericht eines Ingenieurs aus der Raumfahrtindustrie, in welchem sie unterschiedliche Problemfälle mit Auswirkung auf die Projektlaufzeit identifizieren. Als Ursachen für Projektverzögerungen erkannten sie die Unzulänglichkeit von Information (8 Fälle), Informationsbeschaffungsprobleme (6 Fälle), Unzugänglichkeit von Vertretern (4 Fälle), mangelnde Koordination von Aufgaben (3 Fälle), mangelnde Koordination von Entscheidungen (2 Fälle) und Unzugänglichkeit von Wissen (1 Fall). Die dadurch entstandene Projektverzögerung wird in dem aktuellen Fall mit 20-30% abgeschätzt.

BRERETON, CANNON, MABOGUNJE und **LEIFER** beobachteten in den 1990er Jahren in mehreren Laborstudien das Verhalten von Studentengruppen bei der Lösung von Konstruktionsproblemen. Ihr Ansatz war dabei die beobachteten Aktivitäten nicht wie in anderen Untersuchungen wenigen übergeordneten Aktivitäten zuzuordnen, sondern möglichst keine Reduktion der Information bei der Mustererkennung anzustreben. Bei der Anwendung der „Observe-Analyze-Intervene-Methode“ wurde zusammen mit den Studenten eine gemeinsame Reflektion des Vorgehens und Verhaltens anhand von erstellten Videoaufnahmen durchgeführt.²⁵³ Dadurch konnte den Studenten mangelnde Planung, Vorfizierung bei der Lösungssuche oder der Einfluss von Zeitdruck auf die Entscheidungssituation verdeutlicht werden.²⁵⁴ Auf Basis ihrer Untersuchungen können die Autoren zeigen, dass durch verschiedene Arten des Feedbacks die Struktur, die Zugehörigkeit und

²⁵⁰ vgl. Fricke 1993, S. 161 ff.

²⁵¹ vgl. Lenk 1993

²⁵² vgl. Crabtree et al. 1993

²⁵³ vgl. Brereton et al. 1993, S. 341

²⁵⁴ vgl. Brereton et al. 1996

das Selbstmanagement von Entwicklungsteams genutzt werden kann, um den Produktentwicklungsprozess effizienter und effektiver zu gestalten.

ATMAN und **BURSIC** untersuchten Mitte der 1990er Jahre in mehreren Laborstudien den Einfluss des konstruktionsmethodischen Wissens auf die Problembearbeitung.²⁵⁵ Dazu beobachteten sie 50 Studenten in Einzelversuchen bei der Entwicklung und Planung eines Spielplatzes mit einer Bearbeitungszeit von etwa zwei bis drei Stunden. Während der Untersuchung wurden die Versuchspersonen zum „lauten Denken“ angehalten. Auf Basis von Video- und Tonbandaufnahmen wurden die einzelnen Aktivitäten bestimmten Codes zugeordnet (Bild 25). Bei der Auswertung identifizierten ATMAN und BURSIC eine große Bandbreite an verschiedenen Vorgehensweisen. Dabei erkannten sie, dass insgesamt nur wenig zusätzliche Informationen von den Versuchspersonen eingeholt wurden. Diese bezogen sich meist auf die Kosten bestimmter Materialien und umfassen bei weitem nicht den Umfang der verfügbaren Informationen.²⁵⁶

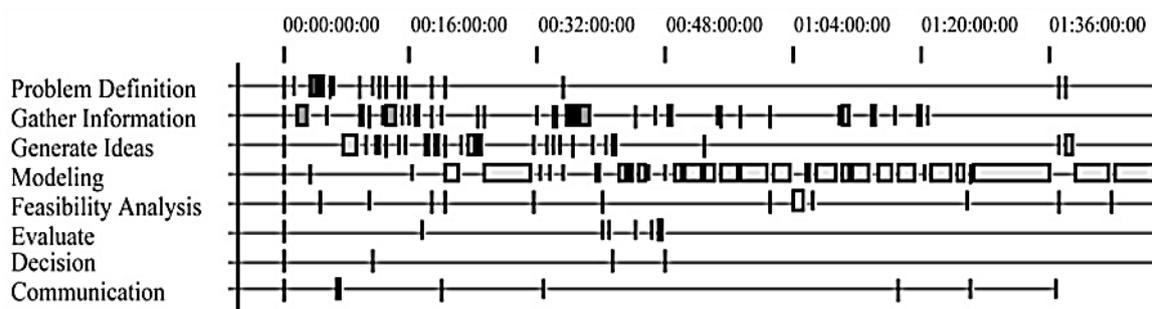


Bild 25 Darstellung des Projektverlaufs nach ATMAN und BURSIC²⁵⁷

LLOYD und **DEASLEY** führten 1996 eine Feldstudie durch, in welcher sie drei Wochen ein Team in der Elektronikentwicklung beobachteten.²⁵⁸ Aufgrund von Geheimhaltungsvereinbarungen konnten sie dabei keine Bild- und Tonaufzeichnungen durchführen. Bei der Auswertung des gesammelten Datenmaterials versuchten sie daher repräsentative Episoden zu isolieren. So interpretierten sie beispielsweise den Konstruktionsprozess als die „Handlung“ eines „Dramas“ bestehend aus mehreren „Akten“, in welchem Konstrukteure unterschiedliche Rollen einnehmen. Auch konnten sie aufdecken, dass die untersuchten Konstrukteure weniger als 30% ihrer Arbeitszeit mit der eigentlichen Problemlösung beschäftigt waren.

²⁵⁵ vgl. Atman et al. 1996; vgl. Atman & Bursic 1998; vgl. Chimka & Atman 1998

²⁵⁶ vgl. Atman & Bursic 1998

²⁵⁷ vgl. Chimka & Atman 1998

²⁵⁸ vgl. Lloyd & Deasley 1996

RÜCKERT führte Ende der 1990er Jahre Labor- und Feldstudien bezüglich der Vorgehensweise von Konstrukteuren durch. Eine Laborstudie untersucht die Handlungsmuster von 13 berufserfahrenen und konstruktionsmethodisch ausgebildeten Konstrukteuren bei der Lösung eines Konstruktionsproblems. Um die Belastung der Versuchspersonen in Abhängigkeit von den Arbeitsmitteln zu erfassen, lässt Rückert dabei sechs Versuchspersonen die Konstruktionsaufgaben konventionell am Zeichenbrett und sieben Versuchspersonen mit Unterstützung eines CAD- und Konstruktionsleitsystems (KALEIT) am Computer bearbeiten. Bei der Bearbeitung der Aufgaben sind die Versuchspersonen dazu aufgefordert, konstruktionsmethodisch vorzugehen. Abweichend von dem geforderten Vorgehen beobachtet RÜCKERT, dass die Arbeitsschritte Auswählen und Bewerten ausgelassen bzw. implizit durchgeführt werden, dass in der Konzeptphase ausschließlich auf abstrakter Ebene gearbeitet wird, dass Lösungen vorgreifend konkretisiert werden und dass die Konzeptphase teilweise vollständig ausgelassen wird. RÜCKERT erkennt bei vorgreifend konkretisierenden Handlungsmustern eine höhere Ergebnisqualität als bei schrittweise konkreter werdenden Vorgehensweisen. In einer frühzeitigen Konkretisierung sieht Rückert besonders den Vorteil, dass die Lösung genauer beurteilt werden kann als auf abstraktem Niveau. Gleichzeitig ist RÜCKERT der Ansicht, dass Konstrukteure ihre Lösung erst dann konkretisieren, wenn sie sich sicher sind, dass die Lösung auch Potential hat. Daher ist die vorgreifende Konkretisierung eher eine Folge guter Konstruktionsarbeit und nicht umgekehrt.²⁵⁹ Auch RÜCKERT beobachtet ein deutliches Übergewicht der korrigierenden gegenüber der generierenden Variation, bei der die Anfertigung konkretisierender Skizzen von entscheidender Bedeutung ist.²⁶⁰ Interessanterweise fertigten in der Laborstudie dabei die rechnergestützt arbeitenden Versuchspersonen mehr Skizzen an als die konventionell am Zeichenbrett arbeitenden.

In einer Feldstudie untersuchte RÜCKERT zusätzlich den Einfluss konstruktionsmethodischer Anleitung während des Entwicklungsprozesses auf das Konstruktionsergebnis.²⁶¹ Dazu wurden aus dem Hauptstudium 45 Studenten der Fachrichtungen Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen, welche die Vorlesung „Methodisches Konstruieren“ gehört hatten, bei der Bearbeitung einer Konstruktionsaufgabe untersucht. Für die Untersuchung wurden die Studenten auf neun Gruppen verteilt, von denen vier Gruppen über die gesamte Projektdauer fortlaufend bei der Anwendung der Konstruktionsmethodik angeleitet wurden („KMA angeleitet“). Drei Gruppen lernten in einem zweitägigen Workshop Techniken zur

²⁵⁹ vgl. Rückert 1997, S. 70

²⁶⁰ vgl. Rückert 1997, S. 78 f.

²⁶¹ vgl. Rückert 1997; vgl. Rückert et al. 1997a; vgl. Rückert et al. 1997b; vgl. Rückert et al. 1997c

Teamarbeit und Projektmanagement und konnten im Projektverlauf den Einsatz konstruktionsmethodischer Unterstützung selbst bestimmen („KM-selbstbestimmt“). Die verbleibenden zwei Gruppen wurden konstruktionsmethodisch nicht angeleitet („ohne KMA“). Bei der Auswertung der Ergebnisse konnte RÜCKERT feststellen, dass die Gruppen mit konstruktionsmethodischer Unterstützung signifikant schlechter abschnitten als die „KM-selbstbestimmten“ und die Gruppen „ohne KMA“ (Bild 26). Auf Basis dieser beiden Studien kommt RÜCKERT zu dem Schluss, dass für den Entwicklungsprozess ein iterativ-lösungsorientiertes Handlungsmuster mit früher Lösungskonkretisierung vorteilhaft ist, bei welchem jedoch auch in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung ablaforientiert eine parallele Verfolgung mehrerer Lösungen erfolgen kann. Neben der Strukturierung des Problemlösungsprozesses sollte auch der Einsatz von Konstruktionsmethoden flexibel und problembezogen gestaltet werden. Die Konstruktionsmethodik wird dabei zu einer Art „Werkzeugkasten“, aus welchem sich der Anwender situativ-problembezogen bedient.²⁶²

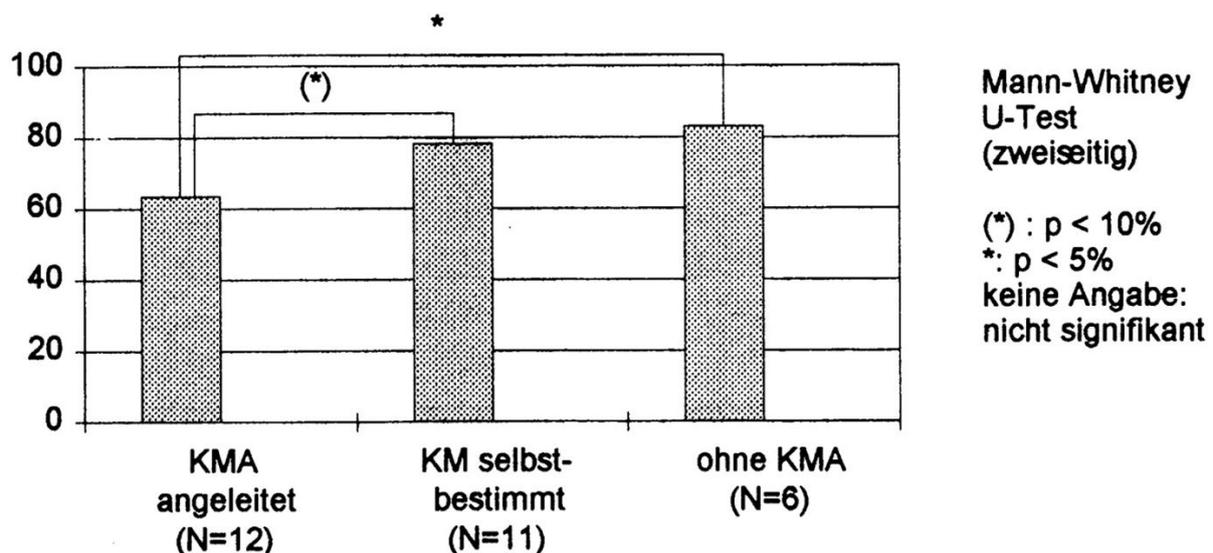


Bild 26 Güte des Konstruktionsergebnisses in Abhängigkeit von der Konstruktionsmethodischen Anleitung nach RÜCKERT²⁶³ (Signifikanz der Unterschiede überprüft durch den Mann-Witney U-Test²⁶⁴)

BADKE-SCHAUB und **FRANKENBERGER** erforschen Ende der 1990er die Zusammenarbeit von Konstrukteuren in mehreren Industrieprojekten, die in

²⁶² vgl. Rückert 1997, S. 140

²⁶³ vgl. Rückert 1997, S. 132

²⁶⁴ Der Mann-Whitney U-Test ist ein nichtparametrischer, statistischer Test, welcher prüft, ob die zentrale Tendenz von zwei verschiedenen Stichproben unterschiedlich ist. Das berechnete Ergebnis ermöglicht eine Aussage über die Signifikanz des Unterschiedes.

verschiedenen Unternehmen durchgeführt wurden.²⁶⁵ Die Projekte hatten dabei eine Dauer zwischen ein bis neun Monaten und wurden primär durch nicht-teilnehmende und indirekte Beobachtung anhand von Online-Protokollen und Tagebuchblättern erfasst. Ziel dieser Untersuchungen war es, die Einflussfaktoren aus Individuum, Gruppe und Umfeld auf die Zusammenarbeit in Gruppen zu erfassen, um eine geeignete Unterstützung für die Produktentwicklung in Gruppen zu erarbeiten. Dazu kombinierten sie qualitative und quantitative Forschungsmethoden, indem sie die individuellen Einzelfälle auf prozessbestimmende kritische Situationen reduzierten. Auf diese Weise sind sie in der Lage, detaillierte Aussagen über interne und externe Einflüsse auf das Prozessergebnis zu machen und die zentralen Mechanismen kritischer Situationen zu identifizieren. Dabei kommt FRANKENBERGER zu der Erkenntnis, dass psychologische Komponenten wie z. B. Motivation, Zufriedenheit, Akzeptanz im Team, Gruppenklima, subjektiver Zeitdruck, Macht oder die Qualität der Führung bei der Bearbeitung von Konstruktionsproblemen eine ebenso große Bedeutung haben wie eine technisch-wirtschaftliche.²⁶⁶ Auch wird Erfahrung als „Schlüsselressource eines Unternehmens“ und häufig wirksamste Variable in kritischen Situationen identifiziert.²⁶⁷ Gleichzeitig ist Erfahrung²⁶⁸ neben Kompetenz, Aufgeschlossenheit und Qualitätsanspruch der wichtigste Faktor für eine erfolgreiche Lösungssuche (Bild 27). Erfolgswördernd zeigt sich auch die Kommunikation mit Kollegen,²⁶⁹ ein positives Gruppenklima und eine gute Gruppenorganisation.

Darüber hinaus erkannte BADKE-SCHAUB, dass die Identifikation kritischer Situationen im Entwicklungsprozess von zentraler Bedeutung ist.²⁷⁰ Der Konstrukteur muss in der Lage sein, zu erkennen, welche Anforderungen die jeweilige Situation an ihn stellt, um eine angemessene Methodenanwendung zu erreichen. An dieser Stelle sieht FRANKENBERGER Potential für die Konstruktionsmethodik, welche noch stärker auf die praxisrelevanten Rahmenbedingungen eingehen sollte. Auf diese Weise könnten Studenten mit einer Methodenkompetenz ausgestattet werden, welche leicht an unterschiedliche Rahmenbedingungen anpassbar ist. Darüber hinaus sieht er Potentiale in der Entwicklung einer individuellen Reflexionskompetenz, welche das Erkennen und Einschätzen kritischer Situationen fördert.²⁷¹

²⁶⁵ vgl. Frankenberger 1997; vgl. Badke-Schaub & Frankenberger 2004

²⁶⁶ vgl. Frankenberger 1997, S. 169

²⁶⁷ vgl. Frankenberger 1997, S. 172 und 213

²⁶⁸ vgl. Abschnitt 2.1.2

²⁶⁹ vgl. Badke-Schaub & Frankenberger 2004, S. 141

²⁷⁰ vgl. Badke-Schaub 2001

²⁷¹ vgl. Frankenberger 1997

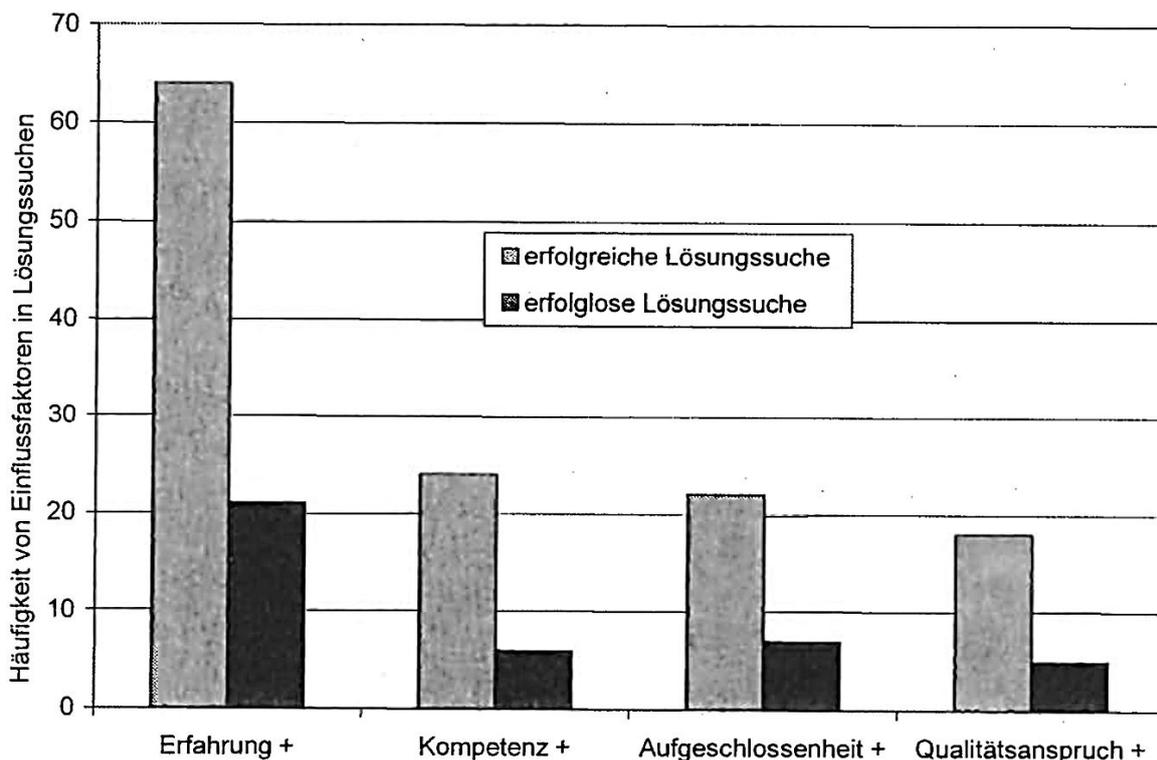


Bild 27 Einfluss individueller Faktoren auf die Lösungssuche nach BADKE-SCHAUB und FRANKENBERGER²⁷²

GÜNTHER untersucht 1998 in einer Laborstudie 20 Versuchspersonen aus Hochschule und Praxis bei der Lösung eines Konstruktionsproblems. Dazu verwendet er dieselbe Aufgabenstellung wie DYLLA und FRICKE. Ziel seiner Untersuchungen ist es, die Zusammenhänge zwischen Problemstellung, individuellen Einflüssen sowie Konstruktionsprozess und -ergebnis darzustellen. Wie FRICKE konnte GÜNTHER einen starken Einfluss der Erfahrung auf das Konstruktionsergebnis feststellen. Den Einfluss des räumlichen Vorstellungsvermögens und der individuellen Motivation konnte er nicht bestätigen. Auch zeigte die heuristische Kompetenz einen nur geringen positiven Einfluss. Deutlich negative Einflüsse wurden bei hoher emotionaler Belastung der Versuchspersonen sowie individueller Neigung zur Regression (Fluchttendenz bei Problemen) und Resignation beobachtet. Bei seinen Untersuchungen erkannte GÜNTHER unterschiedliches Verhalten bei Versuchspersonen mit konstruktionsmethodischer Ausbildung, welche er als „M-Konstrukteure“ (Methodiker) bezeichnete, und Versuchspersonen ohne konstruktionsmethodische Ausbildung, welche er als „P-Konstrukteure“ (Praktiker) bezeichnete. P-Konstrukteure gingen bei der Funktion-Gestalt-Synthese überwiegend teilproblemorientiert vor und passten

²⁷² vgl. Badke-Schaub & Frankenberger 2004, S. 124

später entwickelte Teillösungen an die erste Teillösung an, während M-Konstrukteure ein deutlich ablauforientiertes Vorgehen zeigten, bei welchem sie eine schrittweise Entwicklung der Gesamtlösung auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen anstrebten (Bild 28).

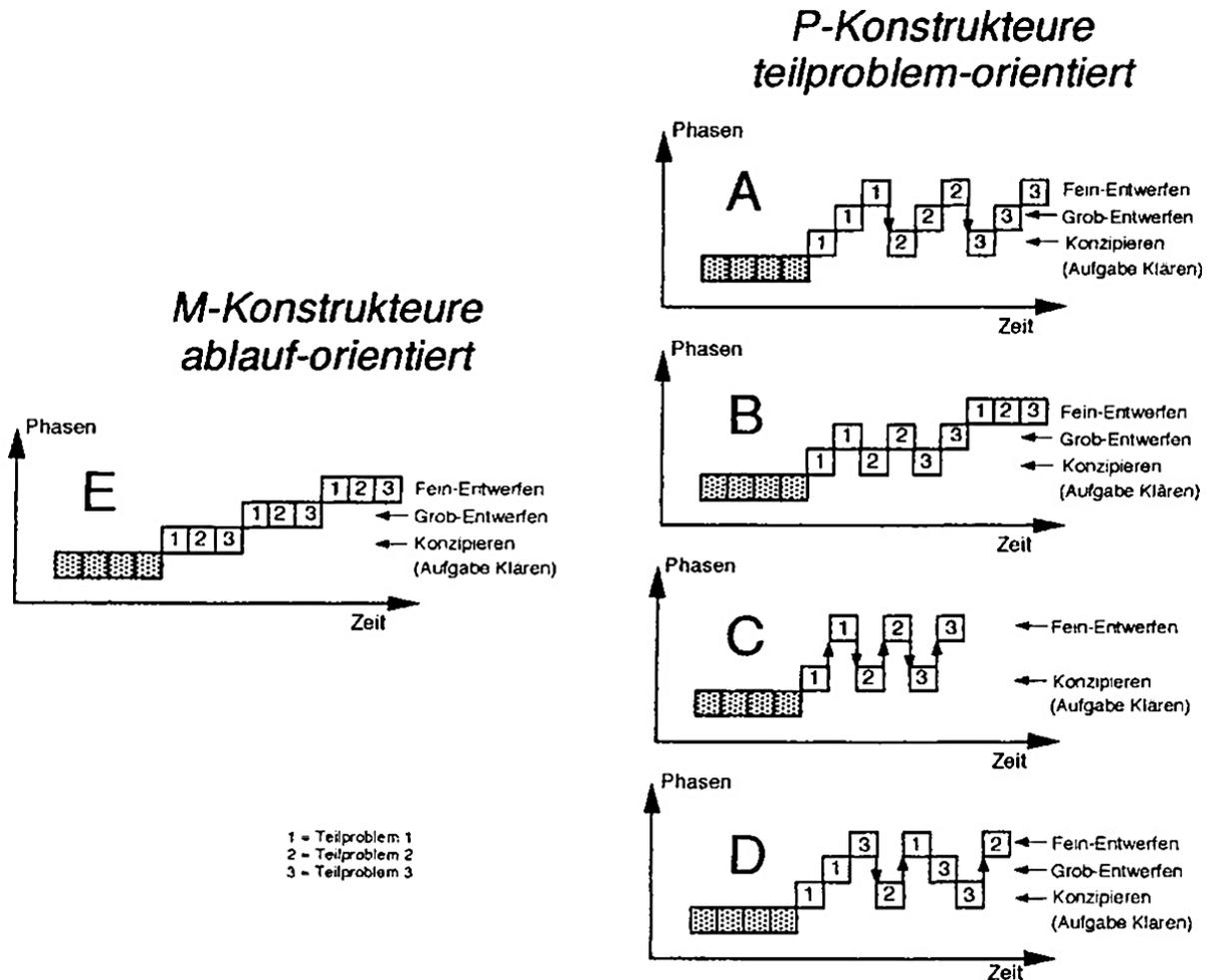


Bild 28 Handlungsmuster von Konstrukteuren nach GÜNTHER²⁷³

Auch beobachtete GÜNTHER, dass P-Konstrukteure eine vorläufige Problemklärung durchführten, welche sie anhand konkreter Lösungen schrittweise verfeinerten. Dabei konnten über den gesamten Entwicklungsprozess immer wieder Rücksprünge in die Konzeptphase beobachtet werden. Darüber hinaus erkannte GÜNTHER, dass P-Konstrukteure nur eine geringe Anzahl von Varianten generierten, zu deren Beurteilung sie keine expliziten Bewertungsverfahren einsetzten. Ausgehend von einer kurzen Aufgabenklärung wurde oft ein schneller Übergang zur konkreten Darstellung der Lösungen gewählt, weshalb neben den Zeichnungen und Stücklisten

²⁷³ vgl. Günther 1998, S. 90

des Entwurfs kaum weitere Dokumente angefertigt wurden. Im Gegensatz dazu sind die Handlungsmuster der M-Konstrukteure zu betrachten, welche eine ausführlichere Aufgabenklärung und Konzeptphase durchführten und dabei deutlich mehr Skizzen entwickelten.

Bezüglich der Variationsart beobachtete GÜNTHER bei „P-Konstrukteuren“ eine deutliche Dominanz hinsichtlich der korrigierenden Variation. Während die „M-Konstrukteure“ eher zu einer generierenden Variation neigten.²⁷⁴ Auf Basis seiner Erkenntnisse entwickelt GÜNTHER eine Leitlinie zur Unterstützung von P-Konstrukteuren mit der Intention, die Risiken einer zu schnellen Konkretisierung und Bildung zu weniger Varianten zu reduzieren.²⁷⁵

PACHE, RÖMER, LINDEMANN und **HACKER** untersuchten 2001 in einer Laborstudie die individuellen elementaren Abläufe bei der Lösungsgestaltung.²⁷⁶ Dazu wurden zwei verschiedene Aufgaben (Konstruktion eines Grills und eines Laserschweißgeräts) von 30 Studenten und 15 erfahrenen Konstrukteuren bearbeitet. Den Versuchspersonen standen bei der Bearbeitung keine CAD-Systeme zur Verfügung. Bei der Erfassung der Daten wurde auf ein „lautes Denken“ verzichtet, sondern eine Beobachtung der Vorgänge anhand von Video- und Tonbandaufnahmen sowie anhand der produzierten Objekte durchgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen große Unterschiede in Art und Anteil des Skizzierens (17-44% bei den erfahrenen Konstrukteuren), zwischen den Versuchspersonen, aber auch zwischen den beiden Aufgaben. Bei dem Vergleich der beiden Extremfälle zeigt sich, dass der weniger skizzierende Konstrukteur einen entsprechend größeren Anteil seiner Bearbeitungszeit mit dem Betrachten der Skizze verbringt. Die Autoren erkennen, dass Skizzen nicht nur Informationen bezüglich der technischen Komponenten, sondern auch hinsichtlich der funktionalen Elemente, wie Bewegungen, enthalten. Das Entstehen neuer Lösungen wird ihrer Meinung nach dadurch begünstigt, dass in Skizzen unabhängige Elemente durch den Konstrukteur miteinander verknüpft werden und dadurch in einem neuen Kontext eine völlig neue Bedeutung erhalten. Als elementare Anforderungen an Rechnerunterstützung sehen sie, dass diese die individuellen Vorgehensweisen der Konstrukteur beim Skizzieren nicht einschränken darf. Daher müssen geometrische, symbolische und textuelle Elemente auf unterschiedlichem Abstraktionsgrad darstellbar sein.

²⁷⁴ vgl. Günther 1998, S. 85 ff.

²⁷⁵ vgl. Günther 1998, S. 136 ff.

²⁷⁶ vgl. Pache et al. 2001

WALLMEIER untersuchte 2001 in Feldstudien 15 Konstrukteure bei der Bearbeitung von 10 Konstruktionsprojekten, welche in vier verschiedenen Unternehmen durchgeführt wurden. Dabei verwendete er die von **BADKE-SCHAUB** und **FRANKENBERGER** entwickelte Methode zur Auswertung von Feldstudien und konzentriert sich auf kritische Situationen und deren Bewältigung. Ziel seiner Untersuchungen ist es, ungenutzte Potentiale im Entwicklungsprozess zu identifizieren und für die Nutzung geeignete Maßnahmen bereitzustellen. Auf Basis seiner Erkenntnisse entwickelt er ein Verfahren zur Selbstdiagnostik, welches den Konstrukteur bei der Reflexion seiner eigenen Arbeitsweise unterstützt. Auf diese Weise sollen die Voraussetzungen für ein Reflektieren und damit selbstorganisiertes Lernen während des Produktentwicklungsprozesses geschaffen werden.²⁷⁷

BENDER untersuchte 2004 in einer Laborstudie 71 Studenten mit unterschiedlichem Ausbildungsgrad. Ziel seiner Untersuchungen war es, die Zusammenhänge von Ausbildung, Vorgehensmuster und Konstruktionserfolg zu erforschen. Bei der Auswertung der Ergebnisse konnte **BENDER** keinen signifikanten Einfluss der Ausbildung auf die Lösungsgüte feststellen. Auch ein Einfluss auf das Vorgehensmuster konnte bei einer rein theoretischen Ausbildung nicht festgestellt werden. Hier zeigten erst die Studenten mit einer vertieften methodischen Ausbildung eine deutlich höhere Anzahl von Basisoperationen beim Skizzieren. Bezüglich des Zusammenhangs von Vorgehensweise und Konstruktionserfolg erkannte **BENDER**, dass eine methodische Vorgehensweise zu einer besseren Lösungsbeurteilung und -auswahl führt. Bezüglich einer strikten methodischen Vorgehensweise in der frühen Entwurfsphase identifizierte **Bender** eine signifikante Verschlechterung der Konstruktionsergebnisse. Auf Basis seiner Erkenntnisse empfiehlt **BENDER** einen stärkeren Aufbau von Anwendungswissen in der konstruktionsmethodischen Ausbildung. Er propagiert den „zyklischen Prozess des erfahrungsgeliteten Lernens“, welcher mehrfach durchlaufen werden kann. Als elementares Element sieht er dabei die Reflexion, welche aus seiner Sicht erfolgen muss.²⁷⁸

ECKERT, ALINK und **ALBERS** untersuchten 2010 in einer Laborstudie 20 Ingenieure (fast ausschließlich wissenschaftliche Mitarbeiter) bei der Analyse der Funktionsweise einer ihnen unbekanntem Pumpe mit Hilfe des C&C²-Ansatzes.²⁷⁹ Dabei erhält ein Teil der Versuchspersonen eine technische Zeichnung, während der andere Teil direkt die Hardware analysiert. Die Auswertung des Experiments zeigt,

²⁷⁷ vgl. Wallmeier. 2001, S. 2

²⁷⁸ vgl. Bender 2004, S. 235

²⁷⁹ vgl. Eckert et al. 2010

dass die Versuchspersonen immer wieder die Betrachtungsebene wechseln, um die Funktionsweise einzelner Bauteile zu verstehen (Ebene 1) und dann in das Gesamtsystem (Ebene 4) einzuordnen. Gleichzeitig erkennt ALINK, dass unter den Versuchspersonen verschiedene Auffassungen bezüglich des Funktionsbegriffs existieren, was sich in einer unterschiedlichen Darstellung, Formulierung, Anzahl der Funktionen und einem unterschiedlichen Aufbau von Funktionsbäumen äußert.

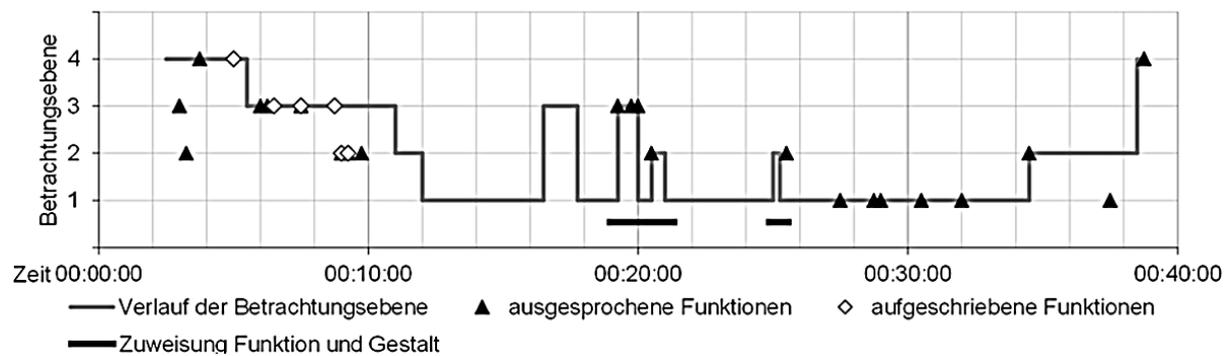


Bild 29 Verlauf und Zeitpunkt der Funktionsformulierung nach ALINK²⁸⁰

Darüber hinaus führen Studenten am IPEK bereits seit 1997 im Rahmen der Vorlesung „Integrierte Produktentwicklung“²⁸¹ kleine Entwicklungsprojekte durch, in welchen sie reale Probleme aus der Industrie konstruktionsmethodisch angeleitet lösen. Auf Basis der hier gewonnenen Eindrücke und der Analyse erster Einzelfallstudien,²⁸² welche im Vorfeld dieser Arbeit durchgeführt wurden, verfügen ALBERS und seine Gruppe bereits über gute Kenntnisse bezüglich unterschiedlicher Vorgehensweisen von Konstrukteuren bei der Problemlösung und bezüglich der Effektivität und Wirkungsweise der dort angewendeten Methoden.

Die Historie der empirischen Konstruktionsforschung zeigt, dass anhand von zahlreichen Studien eine Vielzahl wichtiger Erkenntnisse gewonnen werden konnte, welche die heutigen Denkweisen und Vorgehensmodelle des Entwicklungsprozesses stark geprägt haben. Die einzelnen Studien konzentrieren sich dabei auf völlig unterschiedliche Aspekte der Problemlösung. Eine zentrale Tätigkeit vieler Studien ist die Abbildung und Analyse des Konstruktionsprozesses, welche oft in Verbindung, aber auch stellenweise unabhängig von der Identifikation von Problemlöse-Strategien durchgeführt werden. Selten wird der Einfluss des Problems sowie der Einfluss der äußeren Rahmenbedingungen betrachtet (Tabelle 2).

²⁸⁰ vgl. Alink 2010, S. 130

²⁸¹ vgl. Albers et al. 2008b

²⁸² vgl. Albers & Wiedner 2011

Tabelle 2: Forschungsschwerpunkte (•) der empirischen Untersuchungen

Autor (en)	Jahr	Forschungsmethode	Forschungsobjekt	Versuchspersonen	Problem	Prozess	Problemlöse Strategie	Person	Rahmenbedingungen	Lösung
Marples	1961	F	G	K		•		•		
Ramström & Rhenman	1965	F	G	K	•		•			
Eastman	1968	L	I	A			•	•		
Hykin	1972	F	G	K					•	
Bessant & McMahon	1979	F	G	K	•		•			
Malhotra, Thomas, Carroll	1979	L	I	SE		•		•		
Rutz	1985	L	I	S		•	•			
Hales	1987	F	G	K		•				
Stauffer & Ullman	1987	L	I	K		•	•			
Müller	1989	F	I	K	•	•	•	•		
Tang & Minneman	1989	L	G	K/A				•	•	
Guindon	1990	L	I	SE		•	•			
Visser	1990	L/F	I	K		•	•			
Dylla	1991	L	I	S/WM/K		•	•	•		•
Dorst, Christiaans, Cross	1991	L	I	S			•	•		•
Fricke	1993	L	I	S/K		•	•	•		•
Lenk	1993	L	I	K			•	•		
Crabtree, Baid, Fox	1993	F	G	K					•	
Brereton et al.	1993	L	G	S		•	•		•	
Atman & Bursic	1996	L	I	S/K		•				•
Lloyd und Deasley	1996	F	G	K		•				
Rückert	1997	L/F	I	S/K			•		•	•
Badke-Schaub & Frankenberger	1997	F	G	K				•	•	•
Günther	1998	L	I	WM/K		•	•	•		•
Pache et al.	2001	L	I	S/K	•		•		•	
Wallmeier	2001	F	G	K				•	•	•
Bender	2004	L	I	S			•	•		•
Eckert, Alink, Albers	2010	L	I	WM			•	•		

Forschungsmethode: Feldstudien (F), Laborstudien (L)

Forschungsobjekt: Individuum (I), Gruppe (G)

Versuchspersonen: Studenten (S), wissenschaftliche Mitarbeiter (WM), Konstrukteure (K), Architekten (A), SoftwareKonstrukteur (SE)

2.4 Fazit zum Stand der Forschung

Der Stand der Forschung zeigt, dass in der Vergangenheit bereits große Anstrengungen unternommen wurden, durch verschiedene Forschungsmethoden den Ablauf des Konstruktionsprozesses und die dabei wirkenden Einflüsse auf das Konstruktionsergebnis zu erforschen. Durch Feld- und Laborstudien konnte dabei belegt werden, dass reale Entwicklungsprozesse von linear hierarchischen Vorgehensweisen präskriptiver Vorgehensmodelle abweichen. Beobachtet wird stattdessen ein sprunghafter iterativer Ablauf, welcher stark von einer opportunistischen Vorgehensweise des Problemlösers geprägt ist. Gleichzeitig weisen die einzelnen Studien auf eine große Bandbreite verschiedener Problemlösungsstrategien hin, welche in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Einflussfaktoren zur Problemlösung eingesetzt werden. So erstellen Konstrukteure bei der Funktion-Gestalt-Synthese Darstellungen des Konstruktionsobjekts auf unterschiedlichen Abstraktionsgraden und in unterschiedlicher Anzahl. Dabei sind sowohl Formen der korrigierenden als auch generierenden Variation zu beobachten, wobei sich die Anteile der Variationsart zwischen den Versuchspersonen teilweise stark unterscheiden. Gleichzeitig werden teilproblem- oder ablauforientierte Strategien angewendet. Um die Größe der verschiedenen individuellen Einflüsse einschätzen zu können, wird in einigen Studien versucht, einzelne Variablen zu isolieren und ihren Einfluss zu quantifizieren, was jedoch aufgrund der geringen Stichprobenanzahl zu teilweise widersprüchlichen Ergebnissen führt. Dennoch weisen die verschiedenen Forschungsergebnisse darauf hin, dass die individuellen Einflüsse der Person die Auswahl der Problemlösungsstrategien stark beeinflussen. Unter den individuellen Einflüssen wird Erfahrungswissen in vielen Arbeiten als Schlüsselfaktor für die Entwicklung von Lösungen mit hoher Güte gesehen, für dessen Aufbau der Konstrukteur reale Konstruktionsprobleme lösen muss. Als wichtige positive Einflüsse auf diesen Prozess werden in den verschiedenen Forschungsarbeiten gutes Reflexionsvermögen und selbstorganisiertes Lernen genannt. Aus diesem Grund wird am IPEK bereits seit 1997 die Vorlesung „Integrierte Produktentwicklung“²⁸³ angeboten, in welcher Studenten das erlernte konstruktionsmethodische Wissen auf reale Probleme aus der industriellen Praxis anwenden können. Dennoch weisen die Ergebnisse der verschiedenen Studien darauf hin, dass dem Aufbau von Erfahrungswissen (prozedurales Wissen) an Hochschulen, welche auch die Aufgabe haben, ein breites durchgängiges Sach- und Methodenwissen (deklaratives Wissen) zu vermitteln, durch Studienordnungen und Regelstudienzeiten natürliche Grenzen gesetzt sind. Folglich findet ein sehr wichtiger

²⁸³ vgl. Albers et al. 2008b

und wesentlicher Teil der Entwicklung von Konstrukteuren, bei welchem überwiegend prozedurales Wissen aufgebaut wird, erst im anschließenden Berufsleben statt.

Bisherige Aktivitäten in der empirischen Konstruktionsforschung sind überwiegend davon motiviert, neue Erklärungsmodelle der Entwicklungsprozesse zu generieren oder die Lehre an den Hochschulen zu verbessern. Dabei bleibt die Weiterentwicklung von Konstrukteuren im industriellen Umfeld ein eher unbesetztes Gebiet, welchem sich die vorliegende Arbeit unter anderem widmen soll.

Insgesamt gesehen bleibt festzuhalten, dass die Konstruktionsforschung von einer gesamthaften, vollständigen Beschreibung der verschiedenen Einflüsse auf den Konstruktionsprozess und die dabei entwickelte Lösung bislang noch weit entfernt ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass einige Bereiche, wie beispielsweise die Auswirkungen unterschiedlicher Problemstellungen, bislang kaum erforscht sind und andererseits die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Einflüssen noch teilweise unbekannt sind. Dabei stellt sich grundsätzlich die Frage, ob die isolierte Betrachtung einzelner Einflüsse für die Methodenentwicklung wichtig ist. ALBERS sieht besonders den Konstrukteur im Mittelpunkt der Produktentwicklung, welcher in seiner Arbeit als „Wissenschaftler und Künstler“ unterstützt werden muss.²⁸⁴ Um dies zu gewährleisten, ist es wichtig bei der Untersuchung verschiedenster Einflüsse auf den Produktentstehungsprozess und die darin entwickelten Lösungen den Menschen als zentrales Element noch mehr ins Zentrum der Forschung zu stellen. Die hierzu bereits relativ intensiv erforschten Zusammenhänge zwischen den angewendeten Problemlösungsstrategien und den individuellen Einflüssen des Konstrukteurs sind bislang nur sehr begrenzt gültig, da sie in Laborstudien bei der Bearbeitung weniger Problemstellungen unter überwiegend konstanten Rahmenbedingungen erzielt wurden. Es ist daher durchaus denkbar, dass bei der Bearbeitung anderer Problemstellungen unter anderen Rahmenbedingungen andere Zusammenhänge ermittelt werden können. Hier fehlen bislang Belege, z. B. durch Feldstudien, welche die empirische Relevanz der dort beobachteten Phänomene untermauern. Daher soll die vorliegende Arbeit bisherige empirische Erkenntnisse an eigenen Untersuchungen im industriellen Umfeld spiegeln, um zu dem Aufbau eines vollständigeren und ganzheitlicheren Verständnisses der Konstruktionspraxis beizutragen. Im Zentrum der Untersuchungen steht dabei der Konstrukteur, dessen angewendete Handlungsmuster im Folgenden detailliert analysiert werden.

²⁸⁴ vgl. Albers 2011

3 Motivation und Zielsetzung

Produktentwicklung ist ein einzigartiger²⁸⁵ und individueller²⁸⁶ Prozess, bei dem schrittweise auf Basis von mentalen Vorgängen die Gestalt²⁸⁷ des späteren Produkts entsteht. Die Einzigartigkeit und Individualität ist, neben den unterschiedlichen Problemstellungen, besonders auf die unterschiedlichen Handlungsmuster der Konstrukteure in verschiedenen Problemsituationen zurückzuführen. Die heutige Entwicklungsmethodik stellt für die systematische Planung und Durchführung dieser Prozesse primär allgemeingültige Vorgehensweisen bereit, welche abstrakt formuliert sind und nur begrenzt auf verschiedene Situationen und individuelle Handlungsmuster der Anwender eingehen. Dies kann dazu führen, dass Anwender große Schwierigkeiten haben, die methodische Unterstützung auf ihre speziellen Anwendungen zu adaptieren. Erfahrungen dieser oder ähnlicher Art haben in der Vergangenheit bei vielen Konstrukteuren zu einer gewissen Skepsis und Ablehnung gegenüber neuen methodischen Ansätzen geführt. Die Überwindung dieser Vorurteile ist nach der Basishypothese nur möglich, wenn zukünftige methodische Ansätze stärker auf die individuellen Bedürfnisse der Konstrukteure eingehen.

Basishypothese: methodische Ansätze, welche stärker auf die individuellen Handlungsmuster und auf die verschiedenen Entwicklungssituationen abgestimmt sind, können durch die Konstrukteure leichter angewendet werden und führen zu einer breiteren Akzeptanz in der Praxis.

Eine an die Anwendung optimierte Anpassung und Ausrichtung methodischer Ansätze setzt voraus, dass Entwickler von methodischen Ansätzen über detaillierte Kenntnisse hinsichtlich der verschiedenen Entwicklungssituationen und individuellen Handlungsmuster von Konstrukteuren in der Praxis verfügen. An dieser Stelle ergibt sich das Problem, dass viele Entwickler von methodischen Ansätzen oft nicht in direktem Kontakt zu den potentiellen Anwendern ihrer entwickelten Methoden stehen. Daher müssen sie auf Erkenntnisse bezüglich der in der Praxis vorherrschenden Handlungsmuster zurückgreifen. Der Stand der Forschung zeigt, dass die Erkenntnisse über die Zusammenhänge zwischen dem individuellen Handlungsmuster (beobachtbar an Prozess und gewählter Problemlösungsstrategie) und den individuellen Einflüssen der Person primär in Laborstudien bei der

²⁸⁵ Albers versteht Produktentwicklung als ein sich ständig wiederholenden Prozess, welcher immer auf unterschiedliche Weise abläuft und daher „einzigartig“ und „individuell“ ist.

²⁸⁶ vgl. Albers 2010

²⁸⁷ Bezogen auf die Entwicklung mechanischer Produkte

Bearbeitung vorwiegend gleicher Aufgabenstellungen entstanden sind²⁸⁸. Daher können die Erkenntnisse nicht ohne weiteres auf andere Probleme übertragen werden. Hier fehlen teilweise unterstützende Beobachtungen aus der Praxis, welche die empirische Relevanz der Studien belegen. Darüber hinaus ergibt sich die Problematik, dass viele Untersuchungen schon mehrere Jahre zurück liegen und nicht zweifelsfrei geklärt ist, in wie weit die sich veränderten Rahmendbedingungen auf die Gültigkeit der Aussagen auswirken.²⁸⁹ Aus diesem Grund ist das primäre Ziel dieser Arbeit, die individuellen Handlungsmuster unterschiedlicher Konstrukteure während der Funktion-Gestalt-Synthese in der Praxis zu untersuchen, um auf diese Weise einen Beitrag zu einer gezielteren Ausrichtung methodischer Ansätze für diese Aktivitäten zu leisten. Dabei gilt es, die Beobachtungen auch an bestehenden Erkenntnissen zu spiegeln, um diese zu validieren und gegebenenfalls zu erweitern. Gleichzeitig gibt die Arbeit auch Hinweise darüber, was an methodischem Vorgehen bereits im industriellen Umfeld angekommen ist. Unterstützt wird die Erreichung dieses Ziels durch die folgenden Forschungsfragen, welche im weiteren Verlauf der Arbeit beantwortet werden sollen:

- Welche Handlungsmuster wählen Konstrukteure in der industriellen Praxis bei der Entwicklung von neuen Lösungen?
- Gibt es typische, übergeordnete Handlungsmuster, die sich bei mehreren Konstrukteuren beobachten lassen?
- Was sind die Stärken und Schwächen der unterschiedlichen, in der Praxis zu beobachtenden Handlungsmuster?

Bei der Herausarbeitung von Unterschieden im Vorgehen der Versuchspersonen zur Identifikation des individuellen Handlungsmusters werden im Rahmen der Arbeit einige Aspekte der Problemlösung einer detaillierteren Untersuchung unterzogen. Geleitet sind diese Untersuchungen von den folgenden Forschungsfragen, welche ein vertieftes Verständnis für die individuellen Handlungsmuster erzeugen sollen:

- Welche Unterschiede zeigen sich im Ablauf der Konstruktionsprozesse?
- Welche Abstraktionsgrade werden bei der Lösungssuche gewählt?
- Wie erkundet der Konstrukteur den vorhandenen Lösungsraum?

²⁸⁸ Zusammenhänge zwischen Prozess, Problemlösungsstrategie und Person werden von Müller 1989 (Feld), Dylla 1991 (Labor), Fricke 1993 (Labor), Günther 1998 (Labor) untersucht. Wird diese Betrachtung auf den Zusammenhang zwischen Problemlösungsstrategie und Person beschränkt sind zusätzlich die Arbeiten von Eastman 1968 (Labor), Dorst, Christaans, Cross 1991 (Labor), Lenk 1993 (Labor) und Bender 2004 (Labor) relevant (*Tabelle 2*).

²⁸⁹ Gilt besonders für die in der Konstruktionsforschung oft zitierten Arbeiten von Dylla 1991, Fricke 1993 und Günther 1998 (vgl. Kapitel 2.3.2).

- Wie wird die umgesetzte Lösung ausgewählt?
- Auf welche Art wird zu welchem Zeitpunkt im Projekt validiert?

Der Stand der Forschung zeigt, dass sich viele Studien mit der Fragestellung beschäftigen, wie die Ausbildung von Konstrukteuren an den Hochschulen verbessert werden muss, damit diese bei ihrem Einstieg in das Berufsleben im Stande sind noch bessere Konstruktionsergebnisse zu liefern. Dabei wird deutlich, dass prozedurales Wissen, welches bei der Bearbeitung von realen Problemen entsteht, ein Schlüsselfaktor ist, welcher dem Konstrukteur hilft, ähnliche Probleme oder Problemsituationen zu lösen. Aufgrund der begrenzten Ausbildungszeit, in der auch viel deklaratives Wissen vermittelt werden muss, sind dem Aufbau von prozeduralem Wissen an Hochschulen natürliche Grenzen gesetzt. Grundlegendes Erfahrungswissen bauen unerfahrene Konstrukteure folglich besonders in den ersten Jahren nach dem Berufseinstieg auf. Daher liegt der Fokus dieser Arbeit, im Unterschied zu vielen vorangegangenen Arbeiten, besonders auf der Entwicklung bzw. Weiterentwicklung von Konstrukteuren im industriellen Umfeld. Dabei soll die Arbeit sowohl unerfahrene als auch erfahrene Konstrukteure dabei unterstützen, wichtige Problemlösungskompetenzen gezielt zu entwickeln, um auf diese Weise zu einer effektiveren und effizienteren Problemlösung beizutragen. Die wichtigen Forschungsfragen, welche in diesem Zusammenhang bearbeitet werden, lauten:

- Welche Faktoren beeinflussen die Entwicklung des individuellen Handlungsmusters eines Konstrukteurs?
- Welche Kompetenzen werden für die Lösung von Konstruktionsproblemen in der industriellen Praxis benötigt?
- Wie kann die Entwicklung der relevanten Kompetenzen unterstützt werden?

Abschließend soll im Rahmen der Arbeit untersucht werden, wie durch die gewonnenen Erkenntnisse eine gezieltere Ausrichtung methodischer Ansätze erreicht werden kann. Im Fokus steht dabei der von ALBERS und seiner Gruppe entwickelte C&C²-Ansatz, welcher den Anwender bei Analyse- und Syntheseschritten während der Modellierung von Prinzip und Gestalt unterstützen soll. Die wichtigen Forschungsfragen lauten an dieser Stelle:

- Welche Probleme treten bei der Anwendung des C&C²-Ansatzes während der Funktion-Gestalt-Synthese auf?
- Durch welche Maßnahmen können die beobachteten Fehler bei der Anwendung des C&C²-Ansatzes reduziert werden?

4 Forschungsmethode

Zur Identifikation der in der Praxis existierenden Handlungsmuster bei der Lösung von Konstruktionsproblemen soll das Vorgehen der Konstrukteure in realen, in der Industrie durchgeführten Projekten untersucht werden. Im Sinne einer vollständigen Betrachtung der Entwicklungstätigkeiten soll dabei das Vorgehen über die gesamte Projektlaufzeit betrachtet werden. Hierbei ergibt sich die Problematik, dass es in der industriellen Praxis nicht wirtschaftlich ist, über Monate hinweg mehrere Entwicklungsteams unabhängig voneinander die gleiche Problemstellung bearbeiten zu lassen. Aus diesem Grund erfolgt eine Untersuchung von Konstrukteuren bei der Lösung unterschiedlicher Problemstellungen im gleichen Umfeld. Dazu wird eine retrospektiv-deskriptive Studie durchgeführt, in welcher bereits abgeschlossene Projekte rückblickend betrachtet werden.

Für die Untersuchung offener Fragestellungen unter solchen Rahmenbedingungen eignen sich besonders empirisch qualitative Forschungsmethoden (Bild 30). Daher wird im Rahmen der Arbeit eine Feldstudie in Form einer multiplen Fallstudie durchgeführt, welche durch eine induktive und interpretative Vorgehensweise voreilige Vorfixierungen vermeidet und die Aufdeckung von neuen Erkenntnissen bezüglich der während der Funktion-Gestalt-Synthese angewandten Handlungsmuster ermöglicht. Durch ein einheitliches Fallstudienraster wird dabei versucht, eine Vergleichbarkeit zwischen den Fallbeispielen zu ermöglichen.

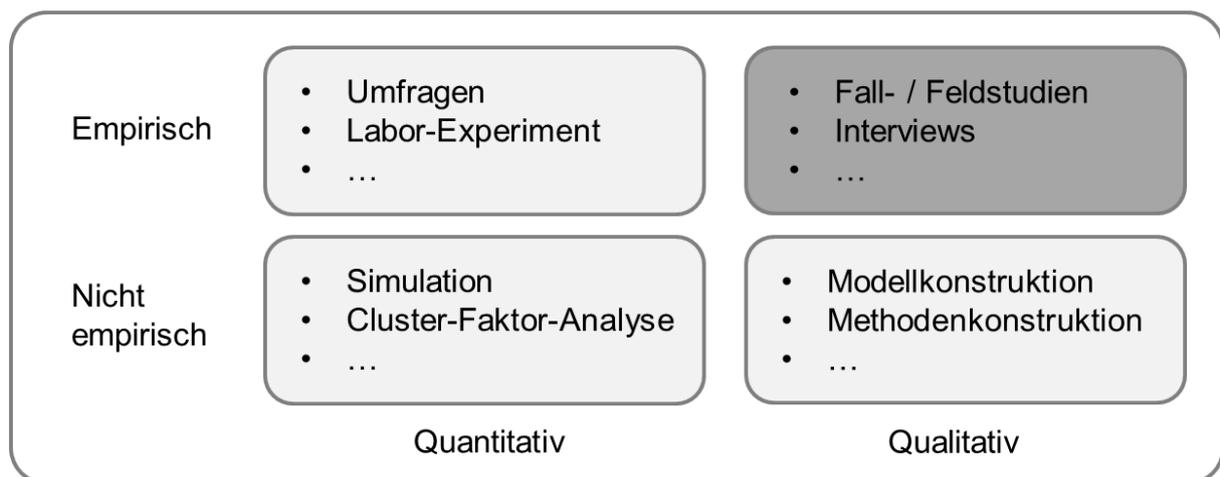


Bild 30 Einordnung der Forschungsmethode²⁹⁰

²⁹⁰ vgl. Benz et al. 2009

Ein großer Vorteil dieser vornehmlich aus der Sozialforschung bekannten Vorgehensweise ist, dass, im Gegensatz zu den empirisch quantitativen Forschungsmethoden, keine Trennung von Phänomen und Kontext erzwungen wird. Auf diese Weise ist eine Betrachtung der Konstrukteure und ihrer Relevanz-Systeme möglich.

Die multiple Fallstudie umfasst sechs Fallbeispiele, welche sich mit der Lösung von unterschiedlichen, lokal stark eingegrenzten Konstruktionsproblemen innerhalb einer Produktfamilie befassen. Alle Fallbeispiele haben gemeinsam, dass sie vorwiegend von einem einzelnen Konstrukteur hauptverantwortlich durchgeführt werden. Dieser wird je nach Situation, von verschiedenen Experten (z. B. für Simulation, Prototypenbau, Test, Messtechnik) unterstützt. Bei der Untersuchung steht das Individuum primär im Fokus. Gleichzeitig werden aber auch die Interaktionen mit anderen Individuen und die Auswirkungen der Interaktionen auf das Resultat der Entwicklungstätigkeit betrachtet.

4.1 Datenquelle

Die hier dargestellten Daten wurden in einem Unternehmen erhoben, welches besonders im Bereich der Befestigungstechnik bekannt ist und für diese Sparte hochwertige elektrische Geräte entwickelt. Alle hier dargestellten Fallbeispiele stammen aus einer Abteilung, welche Bohr- und Meißelhämmer und deren mechanische Komponenten entwickelt. Auf diese Weise sind die Fallbeispiele einer gemeinsamen Produktfamilie zuzuordnen, wodurch eine „gewisse“ Vergleichbarkeit der Problemkomplexität zwischen den einzelnen Fallbeispielen (zumindest auf Produktebene) gegeben ist. Dennoch handelt es sich um völlig verschiedene Probleme. Des Weiteren unterscheiden sich die Fallbeispiele hinsichtlich der durchführenden Person, ihrer Problemlösungsstrategie sowie der vorherrschenden Rahmenbedingungen. Der Prozess der Problemlösung wird durch den firmeneigenen Stage-Gate-Prozess geplant und kontrolliert, welcher auf sehr allgemeine Weise vorgibt, welche Ergebnisse zu welchem Zeitpunkt erreicht werden müssen. Auf diese Weise wird das Ziel, nicht aber der Weg der Problemlösung vorgeschrieben. Die Versuchspersonen sind somit weitgehend frei in ihrer Vorgehensweise.

Die Auswahl der Fallbeispiele fokussiert sich besonders auf den Bereich der Gerätekonstruktion. Eine hohe Übertragbarkeit der Erkenntnisse dieser Arbeit ist daher besonders bei Unternehmen, Abteilungen oder Entwicklungsteams zu erwarten, die sich ebenfalls schwerpunktmäßig in diesem Bereich tätig sind.

4.1.1 Fallbeispiele

Die untersuchten Fallbeispiele sind überwiegend der Technologiephase²⁹¹ (Bild 31) zuzuordnen, welche sich zwischen der Forschungsphase²⁹² und der TTM-Phase²⁹³ befindet. Von den insgesamt sechs untersuchten Projekten spielen sich lediglich die „Staubabsaugung“ und „Vibrationsreduktion“ ganz bzw. teilweise in der TTM-Phase ab. Dennoch werden auch hier neue Lösungen entwickelt.

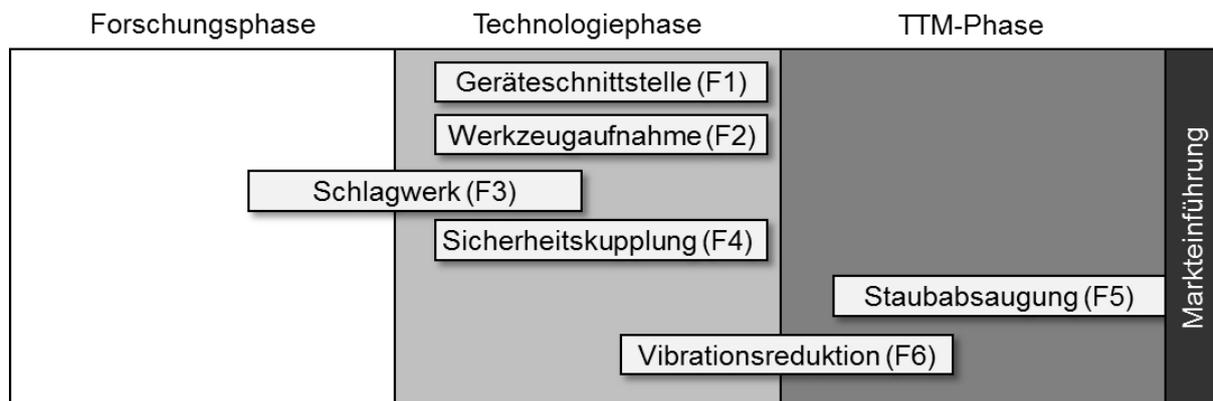


Bild 31 Einstufung der Fallbeispiele relativ zur Markteinführung

In dem Projekt „Schlagwerk“ dagegen werden neue technologische Grundlagen erarbeitet. Es kann daher zu einem gewissen Teil der Forschungsphase zugeordnet werden.

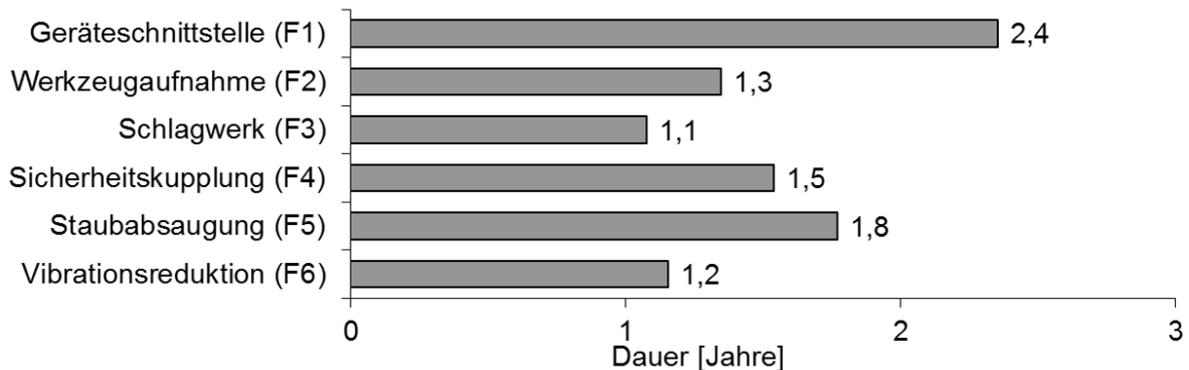


Bild 32 Projektlaufzeiten der Fallbeispiele

²⁹¹ Unter Technologiephase oder Vorentwicklung wird im Unternehmen der Zeitraum verstanden in dem Lösungen entwickelt werden, die stark risikobehaftet sind und wahrscheinlich in der TTM-Phase zu einer Verlängerung der Projektlaufzeit führen würden.

²⁹² Unter Forschungsphase wird im Unternehmen die freie Entwicklung von Lösungen unter geringer Berücksichtigung der späteren Umsetzung in der Serie verstanden.

²⁹³ TTM-Phase („Time To Market“ oder „Time To Money“) steht für den Zeitraum, in dem Produkte durch die Entwicklungsabteilung marktreif gemacht werden und endet mit deren Einführung.

Neben der Positionierung der Fallbeispiele relativ zur Markteinführung sind auch deutliche Unterschiede in den Projektlaufzeiten zu verzeichnen (Bild 32). Die Bandbreite reicht von 1,1 Jahren (F3) bis hin zu 2,4 Jahren (F1).

4.1.2 Versuchspersonen

Die sechs Versuchspersonen (VP) sind die verantwortlichen Konstrukteure der sechs untersuchten Projekte und können entsprechend ihrer Nummerierung den jeweiligen Fallbeispielen zugeordnet werden. VP 01 ist somit der verantwortliche Konstrukteur im Projekt „Geräteschnittstelle“ (F1) usw. Alle VP sind männlich und üben zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit den Beruf des Konstrukteurs aus. Bis auf VP 05, welche eine Ausbildung zum technischen Zeichner und anschließend zum Techniker gemacht hat, sind alle anderen Versuchspersonen Ingenieure mit abgeschlossenem Maschinenbaustudium. VP 01, VP 02 und VP 06 studierten an einer technischen Universität (Vertiefungsrichtung Konstruktion), während VP 03 und VP 04 eine Fachhochschule besuchten. Alle fünf VP mit Hochschulabschluss haben im Rahmen ihres Studiums eine konstruktionsmethodische Ausbildung erhalten. Aufgrund ihrer Bildung können sie nach GÜNTHER daher als M-Konstrukteure bezeichnet werden, während VP 05 als P-Konstrukteur eingestuft wird.²⁹⁴

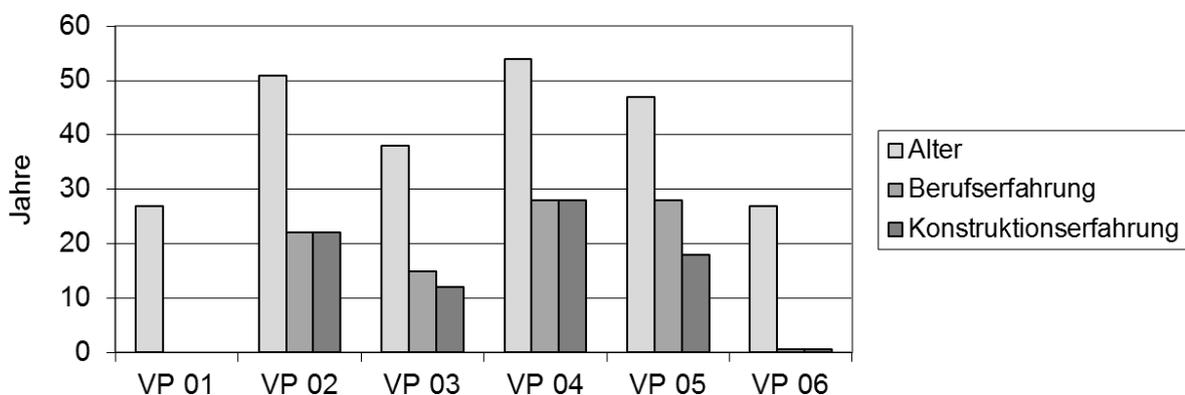


Bild 33 Alter und Erfahrung der Versuchspersonen (bezogen auf den Projektbeginn)

Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchspersonen zeigen sich besonders hinsichtlich ihrer Berufs- und Konstruktionserfahrung (Bild 33). Die Bandbreite reicht von unerfahren (VP 01 und VP 06) bis hin zu 28 Jahren (VP 04). Auf diese Weise werden im Rahmen der Arbeit sehr unterschiedliche individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess betrachtet.

²⁹⁴ vgl. Günther 1998, S. 45

4.1.3 Datenübersicht

Tabelle 3: Übersicht der Fallbeispiele und Versuchspersonen (Angaben in Jahren)

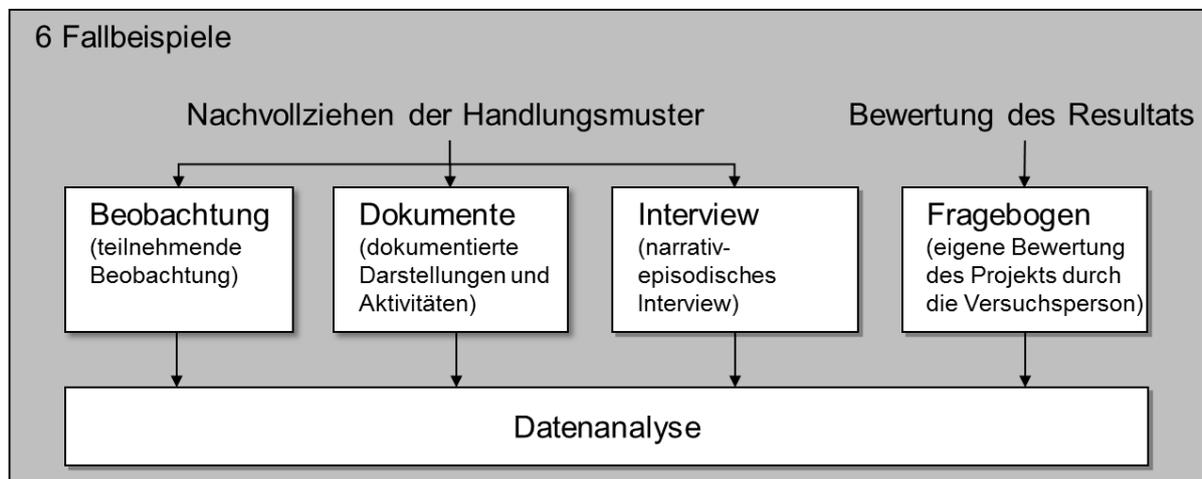
Fallbeispiel				Versuchsperson			
Bez.	Thema	Phase	Dauer	Bez.	Alter	Berufs- erfahrung	Konstruktions- erfahrung
F1	Geräteschnittstelle	TP	2,4	VP 01	27	0	0
F2	Werkzeugaufnahme	TP	1,3	VP 02	51	22	22
F3	Schlagwerk	FP/TP	1,1	VP 03	38	15	12
F4	Sicherheitskupplung	TP	1,5	VP 04	54	28	28
F5	Staubabsaugung	TTM	1,8	VP 05	47	28	18
F6	Vibrationsreduktion	TP / TTM	1,2	VP 06	27	0,5	0,5

Phase: Forschungsphase (FP); Technologiephase (TP); TTM-Phase (TTM)

4.2 Datenerhebung

Im Sinne einer möglichst exakten Rekonstruktion der Fallbeispiele stützt sich die Analyse auf Informationen aus insgesamt vier verschiedenen Quellen (Bild 34).

Welche individuellen Handlungsmuster von Konstrukteuren können in der industriellen Praxis bei der Funktion-Gestalt-Synthese beobachtet werden?



- Empfehlungen für die Entwicklung von Problemlösungskompetenzen
- Ausrichtung des C&C²-Ansatzes bezüglich der Funktion-Gestalt-Synthese

Bild 34 Forschungsdesign

Neben der indirekten Beobachtung auf Basis der Dokumente und der Reflektion des Handlungsmusters im Interview fließen auch Ergebnisse der teilnehmenden Beobachtung in die Analyse der Fallbeispiele ein. Ergänzt werden diese

Informationsquellen durch eine Bewertung der Entwicklungstätigkeit, welche jeder Konstrukteur im Anschluss an das Interview in Form eines Fragebogens abgibt. Auf diese Weise soll eine möglichst breite Informationsbasis für die Analyse geschaffen werden, welche unterschiedliche Sichtweisen auf die Fallbeispiele ermöglicht. Gleichzeitig kann auf diese Weise auch eine Plausibilität der unterschiedlichen Informationsquellen überprüft werden.

4.2.1 Indirekte Beobachtung durch Dokumente

Die indirekte Beobachtung der Fallbeispiele basiert auf der Auswertung der während des Projekts erstellten Objekte und dokumentierten Tätigkeiten. Hierzu werden die Projektordner und -laufwerke durchsucht und die im Projekt erstellten Objekte und Aktivitäten gesammelt. Ergänzend wird zur Auswertung der im CAD-System stattgefundenen Modellierung von Prinzip und Gestalt eine Auswertung des firmeneigenen PDM-Systems durchgeführt. Dadurch ist eine exakte zeitliche Zuordnung der freigegebenen Entwicklungsstände und der angelegten CAD-Dateien für jede Versuchsperson möglich. Anhand der erstellten Objekte, dokumentierten Aktivitäten, Erkenntnisse des Interviews und auf Basis der teilnehmenden Beobachtung wird in der Beschreibung der Fallbeispiele der Projektverlauf rekonstruiert. Darüber hinaus werden die einzelnen Tätigkeiten den „Aktivitäten der Produktentstehung“ des iPeM²⁹⁵ zugeordnet, wodurch das spezifische Anwendungsmodell²⁹⁶ für jedes Fallbeispiel sichtbar wird.

Zur Verdeutlichung des Abstraktionsgrads der Lösungssuche werden die Objekte der Ideenfindung und Modellierung von Prinzip und Gestalt, welche das Konstruktionsobjekt abbilden, ausgewertet. Dabei ist die Anwendung eines harten Codierungsschemas nicht möglich, da die Abbildungen des Konstruktionsobjekts in unterschiedlichsten Repräsentationsformen auftreten. Daher erfolgt die Zuordnung anhand von Standardbeispielen (Bild 35).

Unterschieden werden an dieser Stelle:

- Abbildungen auf Basis von Text oder Symbolen, welche überwiegend losgelöst von einer definierten Gestalt funktionale Zusammenhänge klären oder den Lösungsraum auf abstrakter Ebene strukturieren,
- funktionale Skizzen, welche ohne Fokus auf eine exakte Darstellung der Gestalt einzelne Prinzipien oder Effekte verdeutlichen,

²⁹⁵ vgl. integriertes Produktentstehungsmodell, Bild 16, Abschnitt 2.2.3

²⁹⁶ vgl. integriertes Produktentstehungsmodell, Bild 16, Abschnitt 2.2.3

- Handzeichnungen, welche als Vorstufe zum CAD-System schon sehr genaue, detaillierte Beschreibungen der späteren Gestalt aufweisen und
- CAD-Modelle, welche die spätere Gestalt maßstäblich und exakt abbilden.

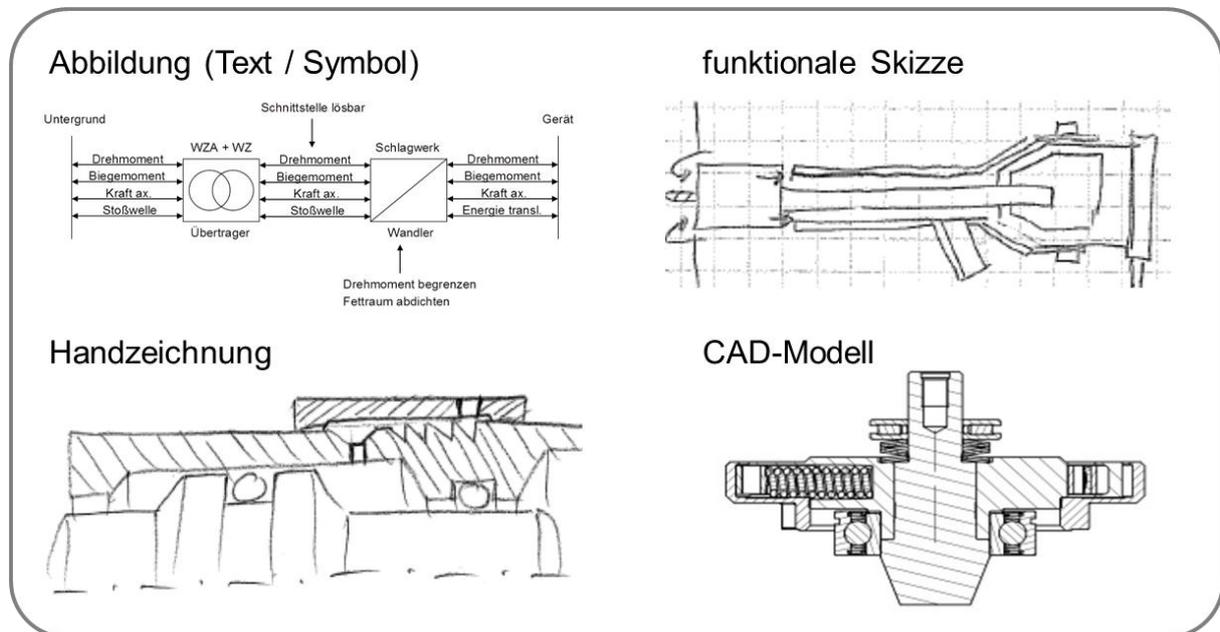


Bild 35 Standardbeispiele zur Klassierung der Darstellungen des Konstruktionsobjekts

4.2.2 Narrativ-episodisches Interview mit Versuchspersonen

Die im Rahmen der Arbeit durchgeführten Interviews sind Mischformen des narrativen und des episodischen Interviews,²⁹⁷ in welchen die Versuchspersonen retrospektiv über ihre Problemlösung sprechen. Im Zentrum steht dabei ihr Vorgehen bei der Problemlösung und die während des Projekts auftretenden Herausforderungen und deren Bewältigung. Die Interviews mit den Versuchspersonen nehmen bei der Auswertung der Fallbeispiele eine zentrale Rolle ein, da sich hierdurch viele Details klären lassen, welche aus der indirekten Beobachtung anhand erstellter Dokumente nicht hervorgehen. Daher werden im Vorfeld des Interviews, auf Basis der analysierten Dokumente, bereits wichtige Fragestellungen identifiziert, welche im anschließenden Interview geklärt werden.

Das Interview selbst lässt sich grob in drei Phasen untergliedern.²⁹⁸ Zu Beginn erfolgt eine etwa zehnminütige Einführung, in welcher die Ziele der Forschungstätigkeit vorgestellt und anhand erstellter Folien die Erinnerung an das Projekt aufgefrischt wird. Das eigentliche, dreißigminütige Interview konzentriert sich zunächst auf die

²⁹⁷ vgl. Helfferich 2005

²⁹⁸ Interviewleitfaden siehe Anhang 1

generelle Vorgehensweise des Konstrukteurs bei der Problemlösung und soll das Projekt und die hier angewendeten Handlungsmuster reflektieren. Dabei werden die aus der indirekten Beobachtung gewonnenen Erkenntnisse verwendet, um spezifische Fragen zu klären und Details bezüglich des Handlungsmusters zu verstehen. Am Ende dieses Teils wird der Konstrukteur nach der Einschätzung seiner Stärken und dem Bedarf für methodische Unterstützung befragt.²⁹⁹ In dem abschließenden zehnminütigen Teil wird der Fragebogen zu der Bewertung des Ergebnisses der Entwicklungstätigkeit durch den Konstrukteur ausgefüllt. Dabei werden die einzelnen Dimensionen besprochen und die Einordnung des Fallbeispiels diskutiert.

4.2.3 Fragebogen zur Bewertung der Fallbeispiele

Mit der Integration eines Fragebogens kann bei der Auswertung der multiplen Fallstudie auch auf die Ergebnisse einer quantitativen Forschungsmethode zurückgegriffen werden. Die Intention für die Durchführung der Umfrage mittels des Fragebogens ist, eine vergleichbare Bewertung der Fallbeispiele aus Sicht der Konstrukteure zu erhalten. Diese bewerten bezüglich des von ihnen durchgeführten Projekts die Kategorien erkundeter Lösungsraum und Zielerreichung. Darüber hinaus ordnen sie den Reifegrad und Neuheitsgrad der von ihnen entwickelten Lösung ein. Für jede der vier Dimensionen stehen ihnen dabei sechs mögliche Einstufungen zur Verfügung.³⁰⁰

4.2.4 Teilnehmende Beobachtung des Autors

Entsprechend der von LAMNEK³⁰¹ unterschiedenen Beobachtungsarten findet im Rahmen der Arbeit eine teilnehmende Beobachtung durch den Autor statt. Dieser ist dabei während seiner vierjährigen Forschungszeit im Unternehmen als Konstrukteur tätig und steht in engem Kontakt mit den VP. Besonders stark ausgeprägt ist die teilnehmende Beobachtung in dem Fallbeispiel „Geräteschnittstelle“ (F1), da VP 01 und der Autor identisch sind. Hier reflektiert der Autor sein erstes selbstständig durchgeführtes Projekt im industriellen Umfeld. Durch die enge Zusammenarbeit mit den Konstrukteuren kann die Rekonstruktion der Fallbeispiele durch viele Beobachtungen des Autors ergänzt werden und wird darüber hinaus von den VP auf Richtigkeit und Plausibilität überprüft. Zudem gewinnt der Autor durch die starke Einbindung ein vertieftes Verständnis bezüglich der untersuchten Fragestellungen, was sich als vorteilhaft bei der Auswertung der Daten erweist.

²⁹⁹ vollständig transkribierte Interviews siehe Anhang 3

³⁰⁰ siehe Anhang 2, Tabelle 10

³⁰¹ vgl. Lamnek 1995, S. 247 ff.

4.3 Beschränkungen

Die vorliegende Arbeit ist ein Forschungsprojekt, in dem sich der Autor in ein bestehendes Umfeld eingliedert, um in der Realität Konstrukteure bei der Bearbeitung von Konstruktionsproblemen zu beobachten und die dabei auftretenden Probleme zu identifizieren. Durch die Rahmenbedingungen des Experiments ist der Autor gezwungen sich situativ anzupassen um möglichst wenig Einfluss auf dessen Durchführung zu nehmen. Daher kann der Untersuchungsraum nicht wie in Laborstudien frei gestaltet werden. Bei der Suche nach geeigneten Vorgehensweisen zeigt sich das Problem, dass für ein empirisch qualitatives Vorgehen in der empirischen Konstruktionsforschung bislang wenig Regeln existieren. Folglich kann nicht auf bewährte Auswertungsverfahren zurückgegriffen werden, was dazu führt, dass durch Subjektivität entstehende Verzerrungen der Ergebnisse dieser Arbeit nicht auszuschließen sind. Vorteilhaft an der Durchführung dieser retrospektiv-deskriptiven Studie ist die Tatsache, dass die dargestellten Fallbeispiele zum Zeitpunkt ihrer Auswahl bereits abgeschlossen sind. Auf diese Weise kann die besonders von Laborstudien bekannte Beeinflussung der Versuchsperson während der Durchführung des Experiments vollständig ausgeschlossen werden. Gleichzeitig ergibt sich daraus aber auch der Nachteil, dass die Dokumentation des Projekts durch die Versuchspersonen nicht mit der entsprechenden Sorgfalt durchgeführt wird und möglicher Weise lückenhaft ist. Dies kann nur teilweise durch die Interviews und Erkenntnisse der teilnehmenden Beobachtung kompensiert werden.

Darüber hinaus ergibt sich auch bei der hier angewandten Forschungsmethode das bereits aus vielen Studien bekannte Problem, dass nicht alle Gedanken des Konstrukteurs erfasst werden können. Aus diesem Grund verbleibt eine gewisse Unsicherheit, was besonders die nicht geäußerten und nicht dokumentierten mentalen Aktivitäten betrifft. Auch der Vergleichbarkeit und Verallgemeinerung der Ergebnisse dieser Arbeit sind Grenzen gesetzt. Zwar stammen alle aufgeführten Fallbeispiele aus einer Abteilung eines Unternehmens, wodurch eine gewisse Vergleichbarkeit der Rahmenbedingungen gegeben ist, dennoch ist klar, dass der direkte Vergleich der Fallbeispiele aufgrund ihrer Einzigartigkeit und Individualität, welche auch aus unterschiedlichen Problemstellungen resultiert, nur bedingt möglich ist. Gleichzeitig führt die Einzigartigkeit und Individualität auch zu Schwierigkeiten bei der Verallgemeinerung der Erkenntnisse auf andere Konstrukteure in anderen Unternehmen oder Abteilungen, weshalb die Ergebnisse dieser Arbeit lediglich als Hypothesen aufgefasst werden können.

5 Problemlösung im industriellen Umfeld

Dieses Kapitel zeigt anhand von Fallbeispielen, welche Handlungsmuster im industriellen Umfeld in der Konstruktion angewendet werden.

5.1 Beschreibung der Fallbeispiele

Der folgende Abschnitt gibt einen detaillierten Einblick in die einzelnen Fallbeispiele. Im Zentrum stehen dabei die personellen Einflüsse auf den Problemlösungsprozess.

5.1.1 Fallbeispiel 1: Geräteschnittstelle

An einem elektrischen Bohrhammer befindet sich eine Geräteschnittstelle, welche die Verbindung unterschiedlicher Werkzeugaufnahmen für unterschiedliche Anwendungen ermöglicht. Ziel des Projekts ist eine optimierte Gestaltung der Schnittstelle hinsichtlich Kosten und Gewicht zu finden. Gestaltet werden dabei auch die angrenzenden Teilsysteme Schlagwerk und Werkzeugaufnahme.

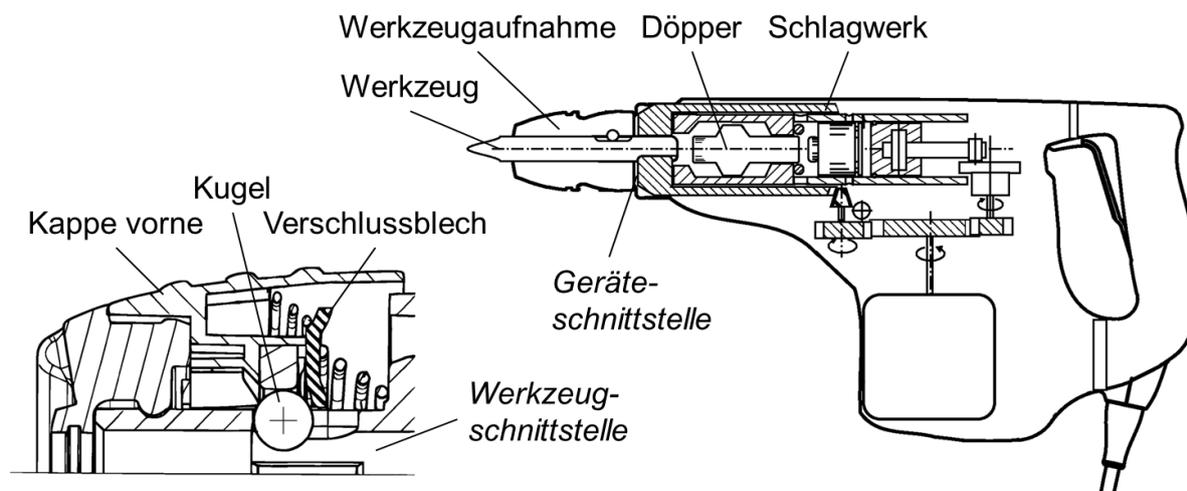


Bild 36 Entwickelte Lösungskonzepte zur Gewichts- und Kostenreduktion³⁰²

Zur Gewichtsreduktion sieht die entwickelte Lösung ein neues Lagerungskonzept des Döppers vor, welches eine viel kompaktere und damit leichtere Bauweise im Bereich der Geräteschnittstelle ermöglicht. Im Bereich der Werkzeugaufnahme wird eine neuartige Federanordnung zur Vorspannung des Verschlussblechs vorgeschlagen, welche die Integration einer zweiten Kugel und damit eine Steigerung der Lebensdauer ermöglicht (Bild 36).

³⁰² vgl. Wiedner et al. 2011

Konstrukteur

Versuchsperson: VP 01

Alter: 27 Jahre

Konstruktionserfahrung: 0 Jahre

Werdegang: VP 01 studiert nach dem Abitur Maschinenbau an der Universität. Sie wählt die Vertiefungsrichtung Produktentwicklung und Konstruktion. Erste Erfahrungen im Bereich Konstruktion sammelt VP 01 während dem Industriepraktikum, der Studienarbeit, der Diplomarbeit und weiteren Projekten an der Universität. Nach dem Studium arbeitet VP 01 als Konstrukteur im Unternehmen.

Konstruktionsprozess

Die Herausforderung der Anfangsphase des Projekts besteht für VP 01 darin, sich zu orientieren und die wesentlichen Probleme des Projekts zu verstehen.³⁰³ Daher eignet sich VP 01 zunächst durch Sammeln der Anforderungen im Team und anhand von Kraftflussanalysen interner und externer Seriengeräte Systemverständnis an (Bild 37).³⁰⁴

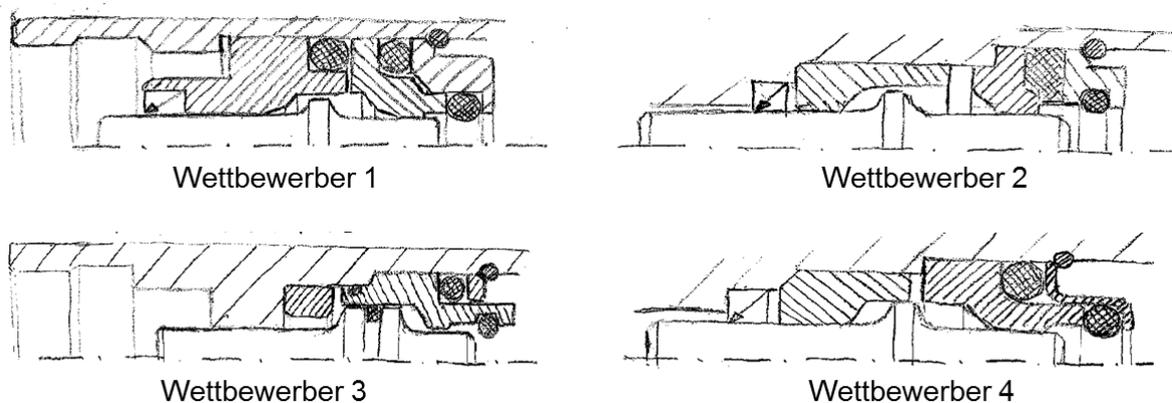


Bild 37 Nachskizzierte Döpper-Lagerungskonzepte unterschiedlicher Wettbewerber

Auf Basis der dort identifizierten Funktionen wird im Folgenden eine Funktionskostenanalyse durchgeführt (Bild 38), um Potentiale für die Erreichung der Kostenziele zu identifizieren. Die Analyse von internen und externen Geräten

³⁰³ „In der Anfangsphase des Projekts ging es erstmal d’rum zu verstehen, was eigentlich das Problem ist und was man eigentlich lösen muss. Am Anfang musste ich mich erstmal orientieren, und das ist mir nicht unbedingt so leicht gefallen.“ (vgl. Anhang 3)

³⁰⁴ „Ich habe natürlich erstmal versucht, das System im Einzelnen zu verstehen, die Funktionen herauszuarbeiten. Dazu habe ich mir Schnittdarstellungen der Systeme hergenommen und hab’ Kraftflüsse eingezeichnet [...]“ (vgl. Anhang 3)

gestaltet sich sehr aufwändig und es können bis zuletzt keine eindeutigen Potentiale identifiziert werden, da das Entstehen der Herstellkosten unklar bleibt.³⁰⁵

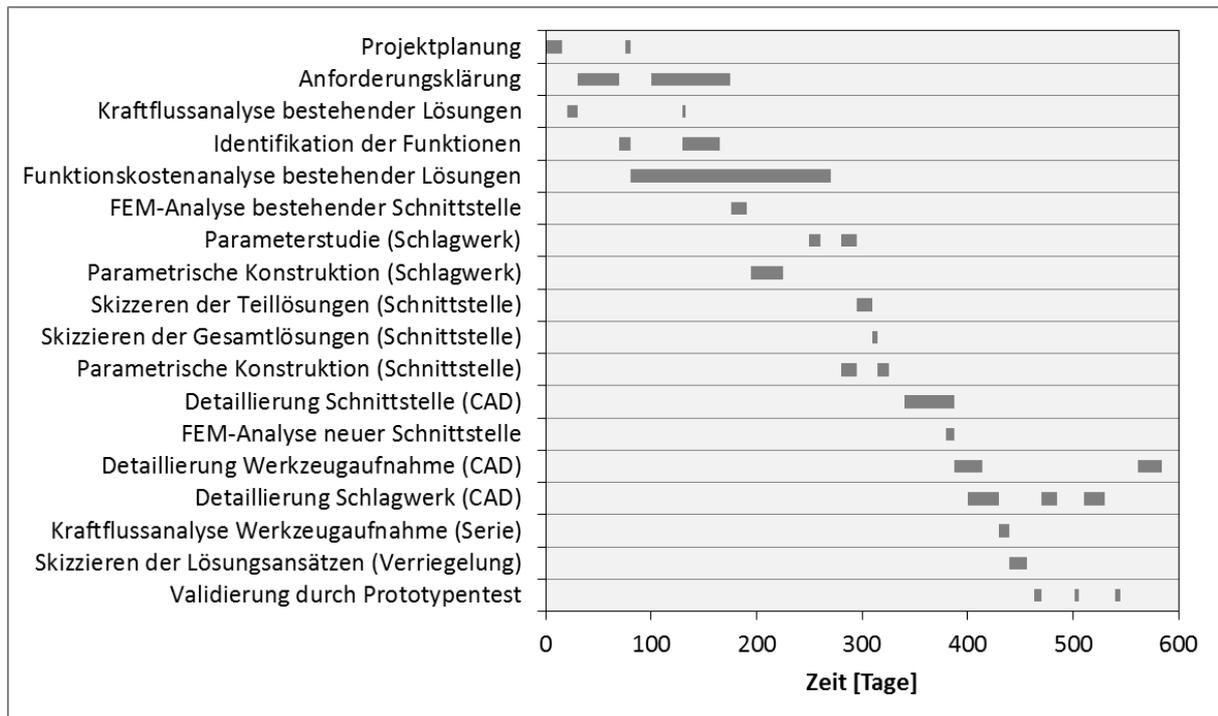


Bild 38 Projektverlauf Fallbeispiel 1

Parallel wird eine FEM-Berechnung der aktuellen Serienlösung für die Schnittstelle durchgeführt, um mögliche Probleme zu identifizieren und diese mit späteren Lösungen vergleichen zu können. Auch werden Parameterstudien für das kinematische Systemverhalten des Schlagwerks erstellt und mehrere Parameterkonfigurationen für die Umsetzung ausgewählt. Zur Analyse möglicher Umsetzungen erstellt VP 01 im Folgenden mehrere parametrisch aufgebaute CAD-Modelle des Schlagwerks und der Schnittstelle, welche den Zusammenhang von spezifischen Parametern und Gewicht bzw. Abmessungen abbilden. In der Folgezeit beginnt die kreative Phase, in welcher auf Basis der identifizierten Funktionen nun systematisch Teillösungen für die Teilfunktionen der Schnittstelle entwickelt werden. Anschließend werden diese zu sinnvollen Gesamtlösungen zusammengeführt und

³⁰⁵ „Wir haben da eine Funktionskostenanalyse durchgeführt. Da wurde sehr viel Energie rein gesteckt mit mäßigem Erfolg, muss man letztendlich sagen. [...] Viele Preise und Kosten sind nicht plausibel erklärbar.“ (vgl. Anhang 3)

strukturiert. Dabei zeigt sich, dass viele Teillösungen nicht miteinander kompatibel sind.³⁰⁶

Zur Bewertung der Lösungskonzepte für die Schnittstelle überführt VP 01 diese ins CAD-System und erstellt dort parametrische Konstruktionen. Unter den gleichen Randbedingungen lassen sich auf diese Weise die verschiedenen Lösungsansätze miteinander vergleichen. Anschließend erfolgt ein Konzeptentscheid durch mehrere Kollegen unterschiedlicher Entwicklungsbereiche.³⁰⁷ Nach der Auswahl eines Lösungskonzepts wird dieses in der Folgezeit im CAD-System detailliert. Anschließend findet auch eine Detaillierung von Werkzeugaufnahme³⁰⁸ und Schlagwerk³⁰⁹ im CAD-System statt. Während dieser Phase ist VP 01 stark auf die Unterstützung von erfahrenen Kollegen angewiesen, welche immer wieder von VP 01 nach ihrer Meinung befragt werden. Vor der Erstellung realer Prototypen wird eine FEM-Berechnung durchgeführt und mit der bestehenden Lösung für die Serie verglichen. Während der vier- bis sechswöchigen Fertigung der Prototypen widmet sich VP 01 der Lösung eines weiteren Problems bezüglich der Werkzeugaufnahme, welches von mehreren Kunden zu diesem Zeitpunkt reklamiert wird. Die Problemlösung erfolgt erneut auf Basis von Zeichnungen und Skizzen. Den Ablauf der Problemlösung schildert VP 01 wie folgt:

„Auch bei der Lösung der Federanordnung für die vordere Schnittstelle [Werkzeugschnittstelle] gab es zunächst sehr abstrakte Überlegungen, wie sich der Verriegelungsring abstützen kann, wenn die Kugel radial mehr Spiel hat. Ich kam insgesamt auf vier theoretisch mögliche Prinzipien und machte zu jedem einen konkreten Vorschlag. Auch hier wäre mein Favorit ein ganz anderer gewesen. In Absprache mit zwei anderen Konstrukteuren entschieden wir uns für eine Lösung mit zwei Kugeln. Im nächsten Schritt ging es darum, eine neue Federanordnung zu suchen, da klar war, dass die alte bei der Integration einer zweiten Kugel nicht funktionieren würde. Wieder kam ich auf vier theoretische Lösungsrichtungen, welche sich aus Wettbewerberpatenten, eigenen Serienlösungen und neuen Lösungen zusammensetzten. Dabei entstand dann auch die Idee einer neuen Anordnung, welche ich in zwei Ausführungsformen konkretisierte. Die Lösung wurde

³⁰⁶ „Auf Basis dieser Funktionen hab‘ ich dann versucht, für jede einzelne Funktion Lösungen, Teillösungen, Alternativen zu entwickeln. [...] Auch hat sich an dieser Stelle gezeigt, dass manche Lösungen überhaupt nicht miteinander kompatibel waren.“ (vgl. Anhang 3)

³⁰⁷ „Zur Auswahl des Konzepts hab‘ ich dann Vertreter aus Test und Konstruktion eingeladen, und wir haben uns dann gemeinsam für die sinnvollste Lösungsrichtung entschieden.“ (vgl. Anhang 3)

³⁰⁸ „Anschließend ging es dann weiter mit der Werkzeugaufnahme selbst, wo ich eben zunächst mal versucht hab‘, das bestehende System an die neue Schnittstelle anzupassen.“ (vgl. Anhang 3)

³⁰⁹ „Dabei hab‘ ich versucht, das Schlagwerk nach dem neu‘sten Stand der Erkenntnisse aufzubauen und an diese Schnittstelle anzupassen.“ (vgl. Anhang 3)

anschließend separat getestet und ist jetzt in ein am Markt befindliches Gerät integriert.“³¹⁰

Nach der Fertigung der Teile für den Prototypen wird nach ca. 450 Tagen die Funktion des Systems erstmalig validiert (Bild 38). Dabei empfindet VP 01 es als große Herausforderung, aus den nicht immer trennscharfen Testergebnissen die richtigen Schlüsse abzuleiten.³¹¹ In der Folgezeit werden einige der zu Projektbeginn definierten Ziele verändert, was z. B. die Leistung oder die Kinematik des Schlagwerks betrifft.³¹² Aus diesem Grund passt VP 01 das Schlagwerk in zwei weiteren Entwicklungsschleifen an die geänderten Randbedingungen an.

Handlungsmuster

Bei der Lösung von Problemen ist die Intention von VP 01, die auftretenden Konstruktionsprobleme gedanklich zu durchdringen.³¹³ Die dabei entstehenden Ideen werden zur Strukturierung und Weiterentwicklung meist sehr schnell in Form von Skizzen visuell dargestellt.³¹⁴ Während dieser kreativen Konstruktionsphase kommen VP 01 ihre gut ausgebildeten zeichnerischen Fähigkeiten zugute.³¹⁵ Ist eine stärkere Orientierung hinsichtlich des vorhandenen Bauraums notwendig, erstellt sich VP 01 auch Vorlagen, auf denen die begrenzende Geometrie abgebildet ist und skizziert in die leeren Bereiche ihre neuen Ideen.³¹⁶ Bei der Entwicklung von neuen Lösungen versucht VP 01, ausgehend von einer konkreten Lösung, auf eine abstrakte Beschreibung zu kommen und umgekehrt. Wichtig ist dabei auch das Entwickeln einer Ordnung. Das Entwickeln von Lösungsansätzen kann dabei als ein Wechselspiel aus Ordnen und Suchen von Lösungen auf unterschiedlichen

³¹⁰ vgl. Anhang 3

³¹¹ „Also für mich stellt das oft eine große Schwierigkeit auch dar. Ich denke auch, dass das viel Erfahrung braucht an der Stelle.“ (vgl. Anhang 3)

³¹² „Was auch 'ne große Herausforderung während des Projekts war, war die Veränderung der Ziele. [...] Als dann klar war, in welches Gerät das Schlagwerk integriert werden soll, wurde diese Einzelschlagenergie nach und nach nach oben korrigiert.“ (vgl. Anhang 3)

³¹³ „Was mir auch Spaß macht, ist das abstrakte, gedankliche Durchdringen von Problemen. Das geht dann auch so weit, [...] dass mir plötzlich zuhause auf dem Sofa, beim Joggen oder unter der Dusche eine Lösung dazu einfällt.“ (vgl. Anhang 3)

³¹⁴ „Meine Erfahrung ist, dass es wahnsinnig wichtig ist, diese Überlegungen schnell festzuhalten und auch explizit zu machen.“ (vgl. Anhang 3)

³¹⁵ „[...] aber es gelingt mir durchaus, auch die wesentlichen Dinge auf einem Blatt Papier skizzieren zu können, so dass es dann auch andere Kollegen verstehen.“ (vgl. Anhang 3)

³¹⁶ „Bei einem Problem mit klaren Randbedingungen gehe ich auch manchmal so vor, dass ich mir den Teil der Zeichnungen, der immer gleich ist, einscane und kopiere und dann nur noch in den offenen, weißen Bereich meine Überlegungen hineinskizziere.“ (vgl. Anhang 3)

Abstraktionsebenen beschrieben werden.³¹⁷ Die Eingrenzung der Lösungsvielfalt erfolgt hauptsächlich durch Ausschluss von einzelnen Teillösungen.³¹⁸ Als sehr wichtig empfindet VP 01 bei dieser Tätigkeit das Hinzuziehen von erfahrenen Konstrukteuren, da sie erkannt hat, dass diese aufgrund ihrer Erfahrungen Lösungen teilweise anders bewerten.³¹⁹

Bewertung des Projekts

Die Erkundung des Lösungsraums wird hoch bewertet, da hier viel Energie in eine möglichst breite Erfassung des Lösungsspektrums gesteckt wird.

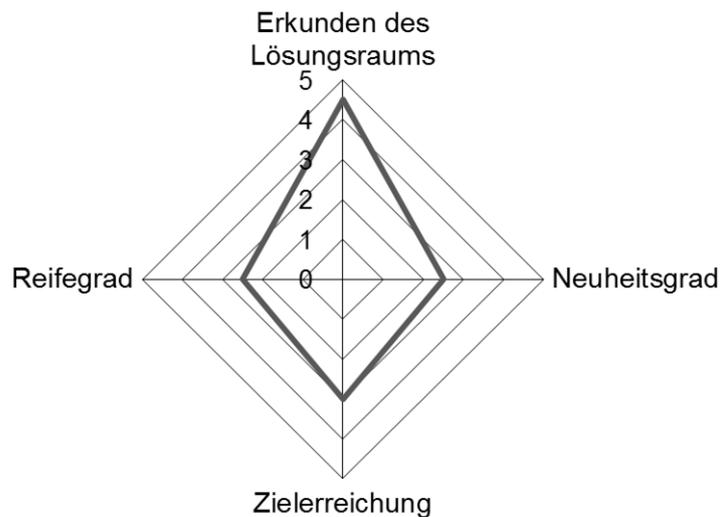


Bild 39 Projektbewertung durch VP 01

Neuheitsgrad, Zielerreichung und Reifegrad werden eher auf einem mittleren Niveau eingestuft. Die entwickelten Lösungen für Geräteschnittstelle, Schlagwerk und Werkzeugaufnahme sind überwiegend bereits aus eigenen und Wettbewerbsgeräten bekannt. Bei der Zielerreichung müssen deutliche Kompromisse hinsichtlich der Kosten gemacht werden. Der Reifegrad ist auf einem mittleren Niveau, da lediglich die Funktion des Systems durch Prototypen validiert wird.

³¹⁷ „Manchmal muss man sich das auch relativ abstrakt überlegen, ohne dass man schon eine Gestaltlösung im Kopf hat, und erst im zweiten Schritt überlegen, wie man das umsetzen kann. Auf solche Ideen kann man aber auch kommen, wenn man diese bestehenden Lösungen versucht erstmal zu ordnen. Meistens ist das ein Wechselspiel von Ordnen und Suche nach neuen Lösungen.“ (vgl. Anhang 3)

³¹⁸ „Die Eingrenzung, also die Lösungsauswahl, verläuft meistens in mehreren Schritten, und das ist in den meisten Fällen ein Ausschluss von einzelnen Lösungen.“ (vgl. Anhang 3)

³¹⁹ „Wichtig ist aus meiner Sicht für die Lösungsauswahl, dass man andere Meinungen hinzuzieht, denn gerade als junger Konstrukteur habe ich das erlebt, dass man manche Lösungen anders einschätzt als die erfahrenen Kollegen.“ (vgl. Anhang 3)

5.1.2 Fallbeispiel 2: Werkzeugaufnahme

In elektrischen Bohrhämmern zur Erzeugung von Bohrungen in Beton und Gestein treten im Schlagwerk immer wieder kinematische Zustände auf, die das gewollte Abstellen des Schlagwerks beim Verlassen des Untergrundes verhindern und dadurch die Lebensdauer des Geräts reduzieren. Aufgabe ist es, innerhalb der Werkzeugaufnahme die Kinematik durch zu entwickelnde Lösungen positiv zu beeinflussen.

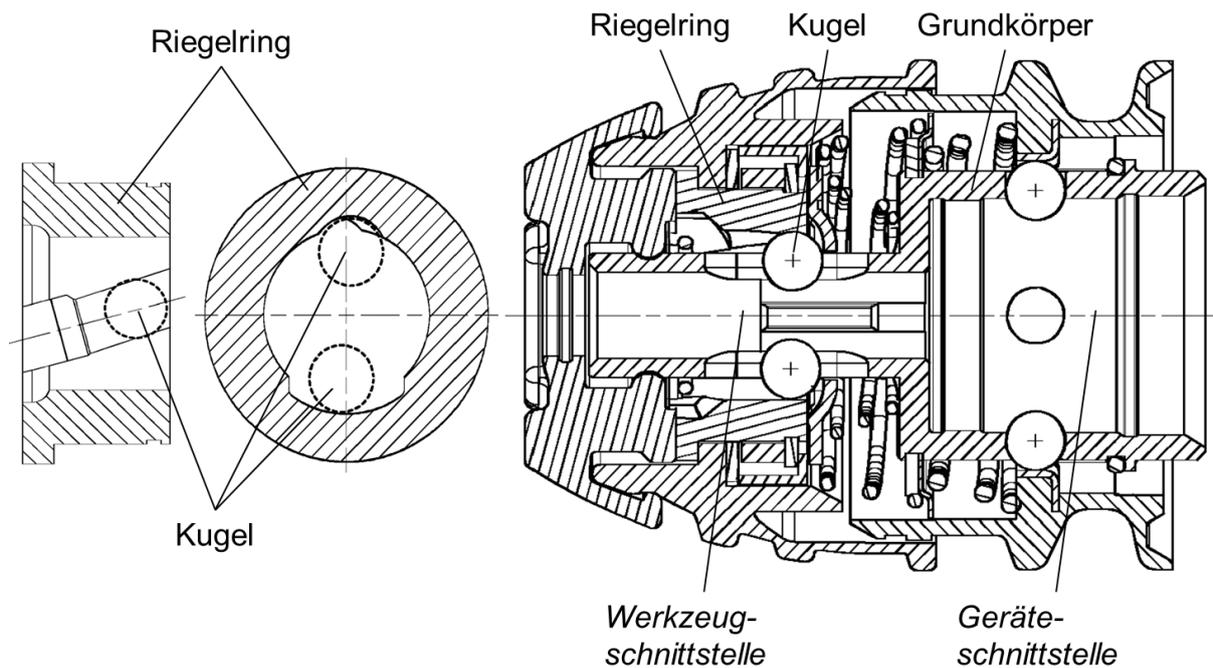


Bild 40 Entwickelte Werkzeugaufnahme zum verbesserten Abstellen des Schlagwerks³²⁰

Die im Rahmen des Fallbeispiels entwickelte Lösung zielt darauf ab, dem bei fehlendem Untergrund nach vorne fliegenden Werkzeug möglichst viel Energie zu entziehen, damit dieses in der vorderen Position liegen bleibt. Die technische Lösung (Bild 40) sieht vor, dass die Kugeln, welche das Werkzeug in der Werkzeugschnittstelle mit Hilfe des Riegelrings am Herausfallen hindern, beim sogenannten Leerschlag einen axialen Weg machen. Dieser ist nach vorne durch das Ende des Langlochs im Grundkörper begrenzt. Aufgrund einer einseitig schrägen Führung der Kugel im Riegelring rotiert dieser bei einer axialen Bewegung des Werkzeugs, wodurch dem Werkzeug zusätzlich Energie entzogen wird.

³²⁰ vgl. Hauptmann 2012

*Konstrukteur***Versuchsperson:** VP 02**Alter:** 51 Jahre**Konstruktionserfahrung:** 22 Jahre

Werdegang: VP 02 macht eine Berufsausbildung zum Instandhaltungsmechaniker mit Abitur und studiert anschließend an der Universität Maschinenbau, mit den Vertiefungsrichtungen Konstruktionstechnik und Tribotechnik. Nach dem Studium arbeitet VP 02 zunächst zwei Jahre als Konstrukteur im Betriebsmittelbau eines Bergbauunternehmens und wechselt anschließend zu einem Hersteller von Feilen, bei dem sie ebenfalls zwei Jahre in der Konstruktion tätig ist. In der Folgezeit entwickelt VP 02 zehn Jahre für den heutigen Arbeitgeber Bohr- und Meißelwerkzeuge und wechselt dann für zwei Jahre in eine Abteilung zur Entwicklung von Bergbauwerkzeugen. In der Vorentwicklung ist VP 02 seit sechs Jahren mit der Entwicklung von Werkzeugaufnahmen betraut. Insgesamt verfügt VP 02 somit zu Beginn des Projekts über 22 Jahre Erfahrung in der Konstruktion.

Konstruktionsprozess

Der Konstruktionsprozess ist zu Beginn des Projekts sehr auf das Aufbauen eines Problemverständnisses ausgerichtet.³²¹ Hierbei ist VP 02 sehr darauf bedacht, ein Fixieren auf das falsche Problem zu vermeiden.³²² Um eine Ausgangsbasis zu schaffen, mit der zukünftige Lösungen verglichen werden können, wird zunächst in einem Prinzip-Test das kinematische Verhalten bestehender interner und externer Lösungen aufgenommen.³²³ Aufgrund einer sehr großen Streubreite der Ergebnisse stellt die Suche nach den wirkungsvollen Stellhebeln für die Lösung des Problems in der Folgezeit eine große Herausforderung dar.³²⁴ Zusammen mit einem anderen Konstrukteur erstellt VP 02 daher eine Mind-Map, in der auf Basis textueller Beschreibungen die theoretisch denkbaren Lösungsrichtungen auf einem abstrakten Niveau erörtert werden. Im Anschluss detailliert VP 02 erste Lösungen im CAD-

³²¹ „Bei mir ist eigentlich, denke ich, der erste Ansatz zu verstehen, was das Problem eigentlich ist. Ist das, was wir machen, ein Symptom bekämpfen oder haben wir das Problem verstanden?“ (vgl. Anhang 3)

³²² „Weil oftmals ist der Fehler, was ich in der Vergangenheit öfter hatte, dass das Problem, das dargestellt wurde, nicht das eigentliche Problem war, das existierte. Dass zu schnell in die Lösung gegangen wurde, ohne das Problem als solches zu erkennen, worin es bestand.“ (vgl. Anhang 3)

³²³ „Und dann wollte ich erstmal aufnehmen, wie weit unterscheiden wir uns mit der jetzigen Hardware. Wo liegen wir generell mit den unterschiedlichen Hardwaren.“ (vgl. Anhang 3)

³²⁴ „Wo gibt es Hebel, die signifikant sind, die auch einstellbar sind, die auch nachvollziehbar sind. Genau!“ (vgl. Anhang 3)

System (Bild 41), um deren Funktionsweise zu einem frühen Zeitpunkt zu validieren.³²⁵

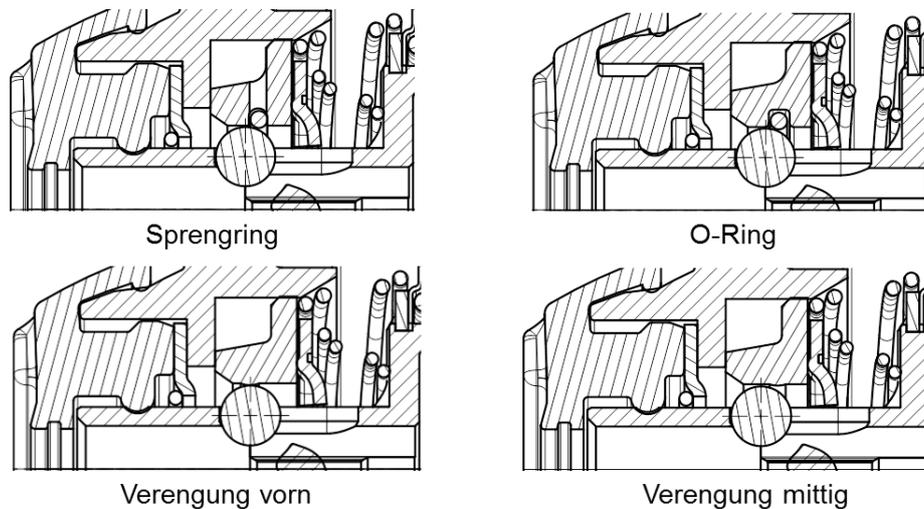


Bild 41 Erste, direkt im CAD-System entwickelte Lösungsansätze

Bei der Suche nach wirkungsvollen Stellhebeln werden innerhalb der ersten 150 Tage zwei Prinzip-Tests mit Prototypen unter stark vereinfachten Randbedingungen durchgeführt.³²⁶ Auf Basis der dabei gewonnenen Erkenntnisse kann nach etwa 200 Tagen die Funktionsweise der später umgesetzten Lösung erfolgreich nachgewiesen werden. Das zum Ziel führende Vorgehen wird von VP 02 wie folgt beschrieben:

„Es [die Lösung] ist schon aus abstrakten Gedankengängen entstanden. Ich ging davon aus, dass das Werkzeug gebremst werden muss. Und da gibt es verschiedene Möglichkeiten und eine Möglichkeit ist, ganz einfach über einen längeren Weg Reibung zu nutzen. Und dann kam wieder der Evaluierungsversuch. Dann habe ich gesehen, der längere Weg hat Effekte, aber hat geringere Effekte. Weg ist gut, aber die Reibung war zu gering. Und dann: Wie kann man die Reibung vergrößern? Und zwar so, dass sie keinen Verschleiß generiert und sich dann irgendwann negiert. Und dann habe ich nach Möglichkeiten gesucht, wie man Masseffekte anderer Partner mit einbeziehen könnte. Aber der erste Schritt war, wie gesagt, Energie vom Werkzeug wegzunehmen, aus dem System rauszunehmen. Und dann bin ich über Stufen dahin gekommen.“³²⁷

³²⁵ „In der ersten Näherung baue ich mir dann Lösungskonzepte gedanklich auf, die ich aber auch relativ schnell prinzipiell abgeklärt haben möchte.“ (vgl. Anhang 3)

³²⁶ „Und da hab’ ich mir unterschiedliche Hardware vorbereitet und aufgebaut, um zu versuchen, ob mit unterschiedlicher Hardware unterschiedliche Stoßzahlen nachgewiesen werden könnten und später vielleicht auch eingestellt werden könnten.“ (vgl. Anhang 3)

³²⁷ vgl. Anhang 3

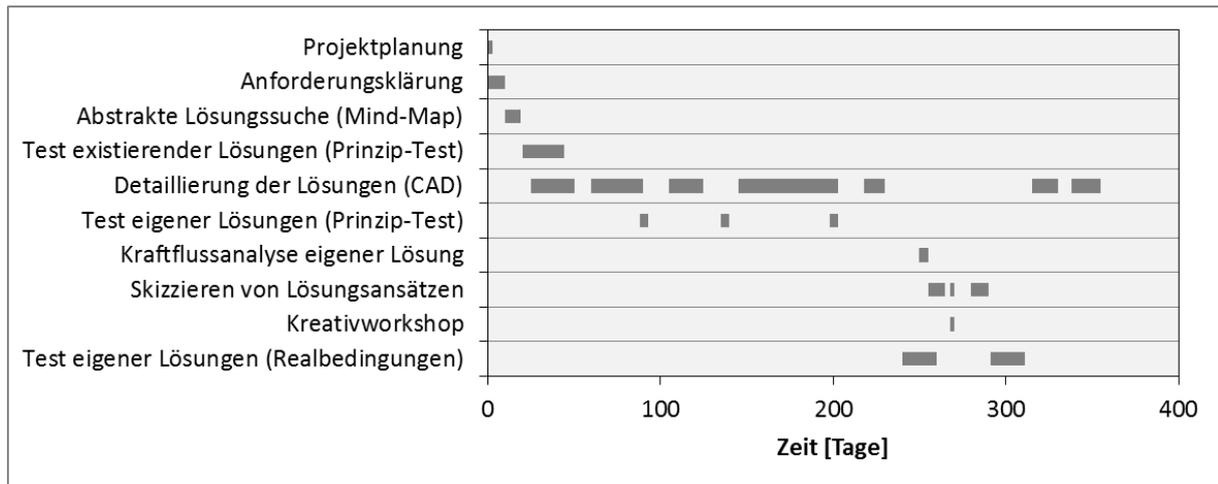


Bild 42 Projektverlauf Fallbeispiel 2

An dieser Stelle wird deutlich, dass VP 02 die letztendlich erfolgreiche Idee in zwei Entwicklungsschleifen entwickelt. Entscheidend ist dabei der Erkenntnisgewinn, den VP 02 auf Basis des Prinzip-Tests der ersten Entwicklungsschleife macht. Die Testphase im Bereich von 250 Tagen, in der die gefundene Lösung unter realen Bedingungen getestet wird, offenbart Verschlechterungen der entwickelten Lösung bezüglich des Handlings. Hierbei zeigen sich die Auswirkungen der „abstrakten Validierung“, welche zum Nachweis der Funktion einige, offensichtlich wichtige Randbedingungen ignoriert.³²⁸ Bei der Identifikation und Analyse des Problems profitiert VP 02 von seiner langjährigen Erfahrung. Die nicht immer eindeutigen Testergebnisse werden durch Fotos und Videoaufzeichnungen dokumentiert und aus verschiedenen Perspektiven betrachtet. Um andere, neue Sichtweisen auf die identifizierten Probleme zu bekommen, beschließt VP 02 zusammen mit anderen Konstrukteuren in einem Kreativworkshop Lösungen für das vielschichtige Problem zu erarbeiten. Bei der Vorbereitung des Workshops wird VP 02 durch einen Moderator unterstützt, welcher abstrakte Darstellungen zur Erklärung der Problemstellung erstellt. In dem Kreativworkshop selbst werden ca. 35 Ideen zu unterschiedlichen Aspekten auf Basis von Skizzen und Zeichnungen erstellt. Viele der dabei entwickelten Ideen werden jedoch direkt im Workshop selbst oder unmittelbar danach ausgeschlossen. In der Folgezeit werden die im Workshop erarbeiteten Lösungen in der Konstruktion umgesetzt und das System durch weitere Testschleifen verbessert. Dabei liegt der Fokus auf der Identifikation und Steigerung der Lebensdauer.

³²⁸ „Man hat Randbedingungen, die man in der Ideensuche weglassen kann. Das ist auch ein Teil der Abstrahierung. Man lässt das in der Ideensuche weg, die Randbedingungen kommen später, die muss man dann umgehen oder einbeziehen.“ (vgl. Anhang 3)

Handlungsmuster

Das Handlungsmuster von VP 02 ist stark an dem in der Realität zu beobachtenden Verhalten von Prototypen orientiert.³²⁹ Gegenüber einer sehr abstrakten Lösungssuche empfindet VP 02 einen „inneren Widerstand“, welcher sich auf negative Erfahrungen einer abstrakten Vorgehensweise zurückführen lässt.³³⁰ Die größte Sorge ist dabei, eine abstrakte Lösung über einen längeren Zeitraum weiter zu entwickeln, um am Ende festzustellen, dass sie die geforderten Ziele nicht erfüllt. Aus diesem Grund setzt VP 02 auf die Durchführung von Prinzip-Tests, in welchen die Funktionsweise unter vereinfachten Bedingungen getestet wird.³³¹ In dem Weglassen von Randbedingungen für den Test von Lösungsprinzipien sieht VP 02 auch eine Art Abstrahierung, welche die Gefahr birgt, dass bei den späteren Systemtests unter Realbedingungen zusätzliche Probleme auftreten, welche dann gelöst werden müssen.³³² An dieser Stelle wird deutlich, dass VP 02 die Risiken einer „abstrakten Validierung“ den Risiken einer „abstrakten Problemlösung“ vorzieht. Die Validierung durch digitale Versuchsmodelle schließt VP 02 für dieses Projekt aus.³³³

Die Entwicklung von neuen Ideen erfolgt bei VP 02 primär bei der Detaillierung im CAD-System. Oft entwickelt VP 02 dabei neue Lösungen, in dem sie CAD-Schnitte des Systems ausdruckt und dann von Hand in den Ausdruck hinein skizziert.³³⁴ Dieses Verfahren wendet VP 02 an, da ihr das freie Skizzieren nicht liegt und ihr diese Vorgehensweise wesentlich leichter fällt.³³⁵ Sehr erfolgreich bindet VP 02 dabei auch andere Konstrukteure in die Entwicklung von neuen Ideen ein. Vorteile dieser Vorgehensweise sieht sie in der geringen „Denkleistung“, welche zur

³²⁹ „Also ich bin nicht so abstrakt in der Richtung. Für mich ist Hardware ganz wichtig und für mich ist auch Analyse gelaufener Hardware, mittels der Hardware ganz wichtig.“ (vgl. Anhang 3)

³³⁰ „Ja, es gibt gewisse Erfahrungen, die ich gemacht hatte mit der abstrakten Ebene. Ich lehne das nicht grundsätzlich ab, nur wo sich bei mir ein innerer Widerstand bildet ist, dass man abstrakte Ebenen sehr weit detailliert ohne dass man irgendwo einen Nachweis hat, dass das Ganze funktionieren kann.“ (vgl. Anhang 3)

³³¹ „Also ich baue keine theoretischen Lösungskonzepte auf, die ich immer weiter spinne. Das heißt, manchmal schon, wenn das Stand der Technik ist, der geklärt ist. Aber bei unsicheren Sachen versuche ich Prinzipversuche.“ (vgl. Anhang 3)

³³² „Man hat Randbedingungen, die man in der Ideensuche weglassen kann. Das ist auch ein Teil der Abstrahierung. Man lässt das in der Ideensuche weg, die Randbedingungen kommen später, die muss man dann umgehen oder einbeziehen.“ (vgl. Anhang 3)

³³³ „Die Simulationsanwendung hat sich in diesem Fall nicht angeboten.“ (vgl. Anhang 3)

³³⁴ Antwort auf die Frage, ob die Lösungen gedanklich entwickelt wurden: „Ja, wenig über Skizzen, das heißt keine Freiskizzen. Ich habe mir CAD-Zeichnungen genommen, Eins-zu-eins-Zeichnungen genommen und anhand dieser habe ich Skizzen reinkonstruiert.“ (vgl. Anhang 3)

³³⁵ Antwort auf die Frage, ob ihr Skizzieren leicht falle: „Eher nicht. Das freie Skizzieren zumindest nicht. Wenn ich vorhandene Ausdrücke habe, fällt es mir wesentlich einfacher. Das hat auch was mit Abstraktionsvermögen zu tun.“ (vgl. Anhang 3)

Vorstellung der Systemumgebung verwendet werden muss, wodurch viel „Denkleistung“ für die Lösungssuche zur Verfügung steht.³³⁶ Bei der Lösung von Konstruktionsproblemen findet VP 02 auch viele Lösungen direkt während der Arbeit im CAD-System, wenn es z. B. darum geht, eine Lösung in einem minimalen Bauraum zu realisieren.³³⁷ Besonders hinsichtlich des Bauraums sieht sie hier Vorteile des CAD gegenüber Skizzen, da der Bauraum oft maßgeblich für die Lösungsauswahl ist und nur durch das CAD-System genau angezeigt wird.³³⁸

Bewertung des Projekts

Eine hohe Bewertung erhält das Projekt in Bezug auf den Neuheitsgrad der entwickelten Lösung und deren Reifegrad. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die entwickelte Lösung sowohl intern als auch extern eine absolute Neuheit darstellt, deren Standzeit bereits in zahlreichen Tests nachgewiesen wird.

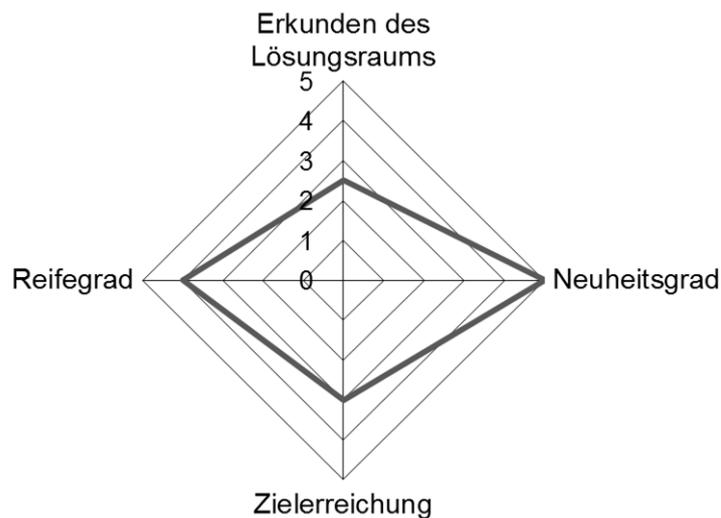


Bild 43 Projektbewertung durch VP 02

Die mittlere Zielerreichung ist mit den Problemen bezüglich des Handlings verbunden, welche mit Umsetzung der Lösung entstehen und bis zuletzt nicht ohne Kompromisse gelöst werden können. Auch die Erkundung des Lösungsraums ist auf einem eher niedrigen Niveau, da hier eine Systematik nur in Ansätzen im abstrakten Bereich (z. B. Mind-Map) durchgeführt wird.

³³⁶ „Der Vorteil ist, [...] dass ich das vor mir sehe und mir das dann nicht überlegen muss, und dass ich keine Gehirnenergie damit verbrate, mir das vorzustellen.“ (vgl. Anhang 3)

³³⁷ „Man findet auch häufig Lösungen im CAD.“ (vgl. Anhang 3)

³³⁸ „Das ist auch der Vorteil des CAD gegenüber Skizzen. Weil man im CAD auch die Dimensionen, Toleranzen, Spalten und so schneller und besser abschätzen kann. Vieles scheitert ja am mangelnden Bauraum. Und Bauraum ist ja eigentlich das Entscheidende.“ (vgl. Anhang 3)

5.1.3 Fallbeispiel 3: Schlagwerk

In elektrischen Bohrhämmern zur Erzeugung von Bohrungen in Beton und Gestein treten in dem Schlagwerk immer wieder kinematische Zustände auf, die das gewünschte Abstellen des Schlagwerks beim Verlassen des Untergrundes verhindern. Das Problem ist schon über mehrere Produktgenerationen hinweg bekannt. Ein wirksamer Stellhebel, der mit einem immer weiter steigenden Leistungsgewicht der Geräte vereinbar ist, konnte bislang nicht gefunden werden. Ziel des Projekts ist es, neue Lösungen zu entwickeln und deren Funktion praktisch zu validieren.

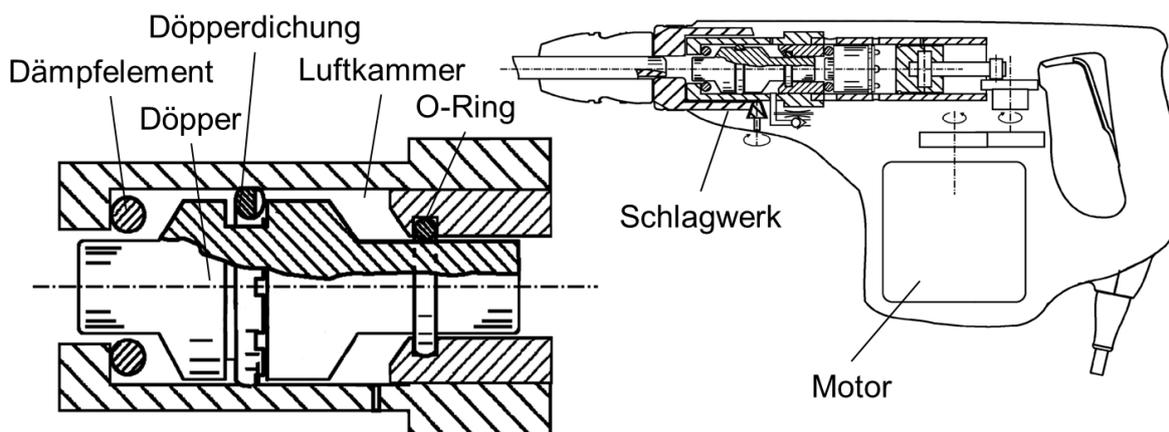


Bild 44 Entwickeltes Lösungskonzept zum Abstellen des Schlagwerks³³⁹

Die im Fallbeispiel entwickelte Lösung (Bild 44) zielt darauf ab, den Döpper möglichst schnell in seine vordere Position zu bringen und dort zu fixieren. Dazu wird die Luftkammer genutzt, welche von der Döpperdichtung und dem O-Ring abgedichtet wird. Die Lösung basiert auf einer speziellen Geometrie der Döpperdichtung, welche beim nach vorne fliegen des Döppers die Luft durchlässt und auf diese Weise die Kammer mit Luft füllt. Wenn der Döpper nach dem Auftreffen auf das Dämpfelement mit seiner Restenergie zurückfliegt, verschließt die Döpperdichtung die Kammer, wodurch die eingeströmte Luft komprimiert und der Döpper zusätzlich abgebremst wird. Auf diese Weise können kinematische Zustände, bei denen ein hin und her schlagender Döpper das Abstellen des Schlagwerks verhindert, vermieden werden.

³³⁹ vgl. Hartmann et al. 2011

*Konstrukteur***Versuchsperson:** VP 03**Alter:** 38 Jahre**Konstruktionserfahrung:** 12 Jahre

Werdegang: VP 03 besucht zunächst zwei Jahre das Gymnasium und wechselt dann auf die Realschule, mit der Absicht eine Schreinerlehre zu machen. Anschließend besucht VP 03 die Fachoberschule und wechselt dann auf eine Fachhochschule, um Maschinenbau zu studieren. Nach dem Studium beginnt VP 03 bei dem heutigen Arbeitgeber zunächst in der Simulationsabteilung der Konzernforschung, welche in engem Kontakt mit einer Konstruktionsabteilung steht. Nach drei Jahren wechselt VP 03 in eine Konstruktionsabteilung, in der mehrere für den Konzern neue Produkte entwickelt werden. Insgesamt begleitet VP 03 in dieser Zeit drei Produkte bis zur Markteinführung. Nach etwa zehn Jahren im Bereich der Konstruktion wechselt VP 03 in die Vorentwicklung. Dort arbeitet VP 03 zum Zeitpunkt des Projektstarts seit zwei Jahren.

Konstruktionsprozess

Zu Beginn des Projekts steht VP 03 vor der Herausforderung, die für die Problemlösung notwendigen Aktivitäten zu planen und zu strukturieren, um mit der gewählten Vorgehensweise eine Vollständigkeit der Lösungssuche sicherzustellen.³⁴⁰ Die konkrete Planung des Projekts entwickelt VP 03 innerhalb mehrerer Iterationen.³⁴¹ Bezüglich der Validierung und Gewinnung von Erkenntnissen setzt VP 03 von Anfang an auf die Simulation, da bisherige Versuche durch Validierung mit Prototypen das Problem nicht vollständig lösen konnten. Eine der ersten Aktivitäten im Projekt ist daher eine umfangreiche Parameterstudie (Bild 46), in welcher zunächst ein Systemverständnis aufgebaut wird.³⁴² Ziel dieser Studie ist, die kinematischen Zusammenhänge zu verstehen, um anhand identifizierter Kriterien später Maßnahmen in ihrer Wirksamkeit beurteilen zu können. Gleichzeitig schätzt VP 03 die Möglichkeiten der verschiedenen Technologiefelder grob ab und grenzt das Feld der weiteren Lösungssuche zu einem frühen Zeitpunkt

³⁴⁰ „[...] das Vorgehen sich zu überlegen, 'ne Struktur zu finden, die irgendwie Vollständigkeit sichert und des aber trotzdem so kaskadenhaft abzufahren, [...] das ist die Kunst [...].“ (vgl. Anhang 3)

³⁴¹ „Also das sieht im Bericht und in den Präsentationen so aus, als wäre das alles klar durchdacht und hätte irgendwie 'nen roten Faden von Anfang bis Ende, aber die Wahrheit ist, dass das ein iteratives Vorgehen ist.“ (vgl. Anhang 3)

³⁴² „Und da haben wir erstmal relativ viel Zeit damit verbracht zu verstehen, was beim Abstellen passieren müsste, damit ein so komplexes System abstellt. [...] Und da haben wir viele Parameterstudien gefahren über Simulationen, um überhaupt rauszukriegen, was da helfen würde.“ (vgl. Anhang 3)

auf pneumatische Effekte ein. Nach dieser ersten Entscheidung auf sehr abstrakter Ebene gilt es, die möglichen Lösungen im Rahmen der bestehenden Konstruktion des Schlagwerks zu identifizieren. Dazu erstellt VP 03 eine relativ abstrakte Darstellung der Konstruktion und erörtert systematisch die Möglichkeiten, um verschiedene Luftkammern miteinander zu verbinden. Die Darstellung des Lösungsraums erfolgt über eine Matrix (Bild 45), in der die verschiedenen Verbindungsmöglichkeiten dargestellt sind.³⁴³ Im nächsten Schritt schließt VP 03 bestimmte Felder der Matrix auf Basis der in den Parameterstudien gewonnenen Erkenntnissen aus.³⁴⁴

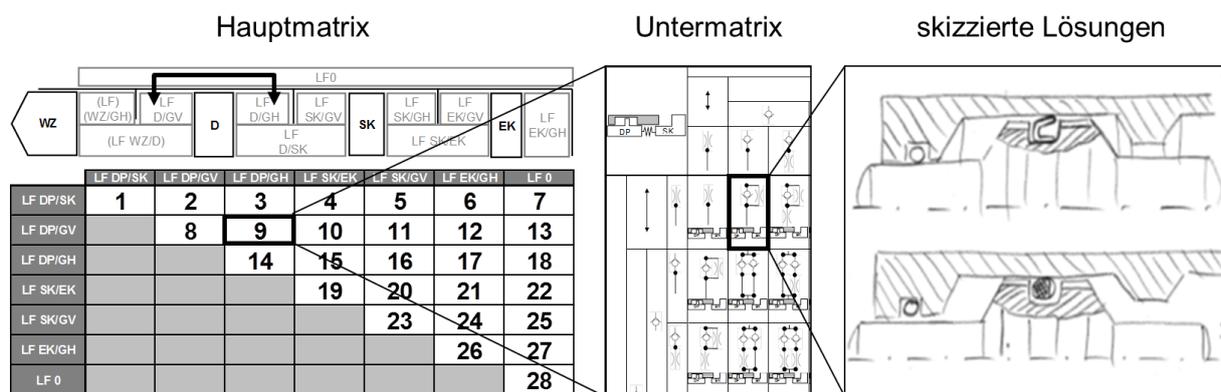


Bild 45 Schematische Abbildung der Lösungssuche von VP 03

Vielversprechende Felder der Matrix werden weiter konkretisiert, indem VP 03 eine „Untermatrix“ erstellt, in welcher die möglichen pneumatischen Kopplungen der Kammern symbolisch über Schaltzeichen dargestellt sind. Parallel dazu beginnt VP 03 mögliche Umsetzungen für die einzelnen Felder der Matrix in Skizzen zu konkretisieren. Die dabei entstehenden alternativen Lösungskonzepte ordnet VP 03 in eine Baumstruktur ein und erhält auf diese Weise eine gute Übersicht über den Lösungsraum. Den Prozess der Lösungssuche beschreibt VP 03 wie folgt:

„Treiben lassen auf dem Schmierblatt. Viele Skizzen. Diese Skizzen einsortieren in eine Ordnung, 'ne Ordnung schaffen und dann wieder Sachen treiben [Lösungen skizzieren bzw. detaillieren], und da gibt's natürlich schon Ideen, die du ganz früh

³⁴³ „[...] da ergibt sich so 'ne logische Matrix, die den Lösungsraum absteckt, haben dann praktisch aussortiert und haben bestimmte Teile der Matrix dann detailliert, und haben gesagt, hier würde es Sinn machen, und wir gucken dann in dieses Feld der Matrix rein und schauen, welche Verbindungsmöglichkeiten gibt's von der Kammer zu der Kammer?“ (vgl. Anhang 3)

³⁴⁴ „Und haben dann 'ne Vorauswahl getroffen. Und haben dann gesagt: Macht's überhaupt Sinn, diese beiden Luftkammern miteinander zu verbinden? Egal wie ich das mach'. Da gibt's welche, die machen Sinn. Da gibt's welche, die machen keinen Sinn. Da haben wir nicht gerechnet, sondern das war praktisch gesunder Menschenverstand.“ (vgl. Anhang 3)

hast, die sich dann durchziehen. Das ist schon so. Und es gibt auch viele Felder, die sich durch die Struktur auftun und die keinen Sinn machen und du konstruierst auch konkret. Also, es ist nicht so, dass du in irgendwelchen Schaltsymbolen denkst, sondern du zeichnest schon konkrete Sachen da hin.“³⁴⁵

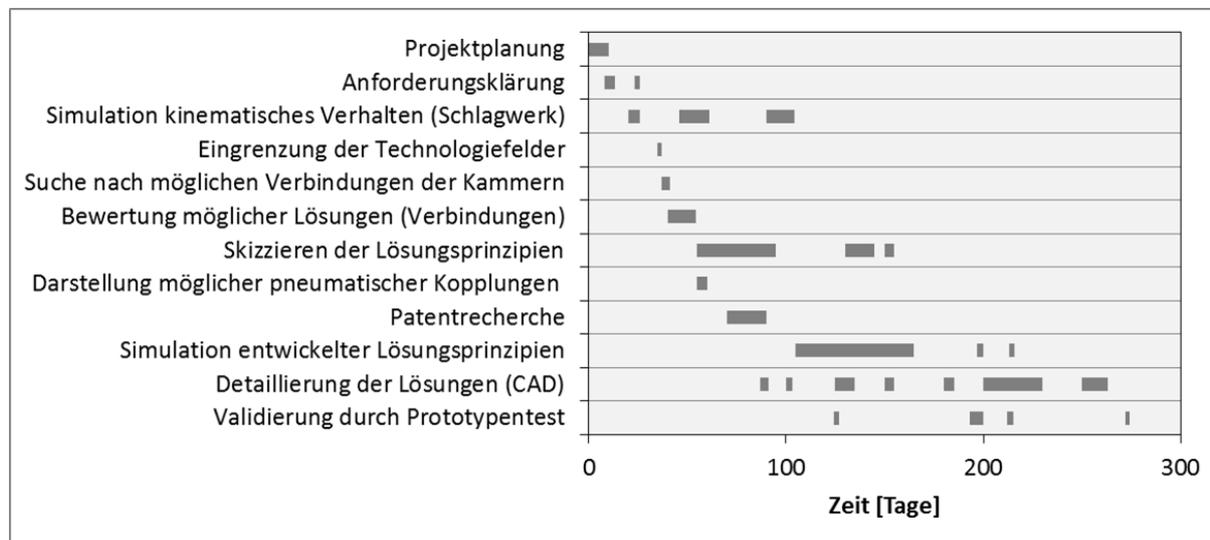


Bild 46 Projektverlauf Fallbeispiel 3

Im Anschluss recherchiert VP 03 relevante Patente und kann auf diese Weise überprüfen, welche Felder der Matrix³⁴⁶ noch frei und welche bereits durch Patentanmeldungen blockiert sind. Um für die weitere Lösungssuche die Wirksamkeit der Patente und der eigenen Lösungen abschätzen zu können, validiert VP 03 die erfolgversprechendsten Ansätze durch Simulationen.³⁴⁷ Zeitgleich detailliert VP 03 erste Ansätze im CAD-System, um diese durch Prototypen validieren zu können. Nach Abschluss der Simulation der entwickelten Lösungsprinzipien wird die Lösung mit dem größten Potential hinsichtlich Wirksamkeit und Umsetzung von VP 03 in das CAD-System überführt. Nach einigen Tests und Konstruktionsschleifen endet das Projekt schließlich mit der erfolgreichen Validierung der Funktion unter Realbedingungen in einem Prototyp.

Handlungsmuster

VP 03 richtet die Intensität der Lösungssuche grundsätzlich nach dem Umfang der Aufgabe und der zur Verfügung stehenden Zeit aus. Steht insgesamt wenig Zeit zur

³⁴⁵ vgl. Anhang 3

³⁴⁶ Gemeint sind mehrdimensionale Ordnungsschemata prinzipiell dargestellt in Bild 14 oder beispielhaft in Bild 65

³⁴⁷ „Dann sind wir in die Simulation reingegangen und haben gesagt, egal wie wir das später konstruktiv lösen, guck mal nach, wie sich das System verhält [...]“ (vgl. Anhang 3)

Lösungssuche zur Verfügung, versucht VP 03 aufgrund ihrer Erfahrung viele bekannte Funktionsprinzipien zu einer Lösung zu kombinieren, ohne sich dabei lange mit möglichen Alternativen aufzuhalten.³⁴⁸ Ist das Verhältnis von Umfang der Aufgabe und Zeit günstig, geht VP 03 methodischer vor und versucht den Lösungsraum auf abstrakter Ebene vollständig zu betrachten.³⁴⁹ Die dabei wichtige Strukturierung bezeichnet VP 03 als einen iterativen Prozess, bei welchem durch das Entstehen einer Ordnung weiße Felder ohne bisherige Lösung identifiziert werden können.³⁵⁰ Der Prozess verläuft dabei stets unterschiedlich und die Struktur kann auf verschiedene Weise dargestellt werden.³⁵¹ VP 03 sieht in dieser Art der Lösungssuche eine gewisse Analogie zu numerischen Methoden aus der Mathematik, bei welchen irgendwann eine Lösung konvergiert.³⁵² Das Ordnen und Strukturieren der Lösungen ist ihr wichtig, da gleichzeitig auch ihre Gedanken strukturiert werden. Auch sieht VP 03 in der Darstellung von Lösungsräumen den Vorteil, dass Wissen abgelegt wird und in dieser Form auch leicht von anderen Konstrukteuren in einem anderen Zusammenhang wieder verwendet werden kann. Gefahren sieht VP 03 lediglich in der stupiden Übernahme einer Struktur, ohne die Entwicklung eigener Gedanken.³⁵³ Bei der Ideenfindung und Modellierung von Prinzip und Gestalt skizziert VP 03 hauptsächlich freihand, detailliert erst relativ spät im CAD-System.³⁵⁴ Die Überführung von Lösungen ins CAD-System erlebt VP 03 dabei als ein Kennenlernen der geometrischen Dimensionen, bei dem viele Lösungen „sterben“, aber auch neue entstehen.³⁵⁵ Vorteile des CAD-Systems sieht VP 03 in der realistischen Darstellung des Bauraums, aus welcher auch wichtige

³⁴⁸ „Und dann kannst du halt bei kurzfristigen Problemen, die du schnell lösen musst [...]. Da kannst du den Lösungsraum vielleicht nicht voll durchstrukturieren, sondern musst halt sagen: Das glaube ich aus meiner Erfahrung heraus, dass es gut funktioniert [...].“ (vgl. Anhang 3)

³⁴⁹ „Und wenn du mehr Zeit hast, dann kannst du anfangen, die Sachen wirklich methodisch aufzuziehen. Und was immer hilft, ist diese „Abstrahiererei.“ (vgl. Anhang 3)

³⁵⁰ „Dann strukturierst du wieder und dann siehst du weiße Flecken und dann lässt du dich wieder ein bisschen treiben, auf einer anderen Ebene, also das ist ein iteratives Vorgehen [...].“ (vgl. Anhang 3)

³⁵¹ „Da gibt's Ordnungen, da bieten sich irgendwie so Baumstrukturen an, oder Mind-Maps. Und da gibt's andere Sachen, da bieten sich Matrizen an und morphologische Kästen. Und da gibt's auch keinen klar logischen Weg, sondern da bin ich auch iterativ.“ (vgl. Anhang 3)

³⁵² „[...] und sobald es kompliziert wird, musst du vielleicht auf numerische Methoden übergehen und ich glaub', dieses treiben lassen und schau'n, wie weit ist das jetzt weg? Also konvergiert die Lösung? Passt das zu meinem Zielsystem? [...] Ich glaub', das ist ein iteratives Vorgehen.“ (vgl. Anhang 3)

³⁵³ „Mit der Gefahr, dass sie [die Struktur] natürlich als gottgegeben stehen bleibt und dass Leute nichts Neues machen.“ (vgl. Anhang 3)

³⁵⁴ „Die [Skizzen] spielen eine riesen Rolle. [...] Und da gibt's dann innerhalb der Skizzenebene auch wieder: Man kann das abstrakter machen und das kann man irgendwie konkreter machen, da gibt's viele Sprünge, aber ins CAD geh' ich eigentlich erst relativ spät.“ (vgl. Anhang 3)

³⁵⁵ „[...] dann kriegst du halt ein Gefühl für die Dimensionen und Größen. Da sterben dann einige [Lösungen], bei anderen brauchst du dann halt wieder 'ne Idee.“ (vgl. Anhang 3)

Hinweise für das Skizzieren abgeleitet werden können.³⁵⁶ VP 03 zeigt bei ihrem Vorgehen ein großes Vertrauen in die angewendete Systematik, welche durch eine tiefe Überzeugung von der Richtigkeit der eigenen Vorgehensweise geprägt ist. Als persönliche Stärke sieht sie die Fähigkeit sich bei Lösungssuche nicht durch Erfahrungen blockieren zu lassen und diese in der Lösungsauswahl gezielt zu nutzen.³⁵⁷

Projektbewertung

Höchste Einstufung erhält das Resultat der Problemlösung hinsichtlich der Erkundung des Lösungsraums, des Neuheitsgrades und der Zielerreichung, da durch die systematische Vorgehensweise eine völlig neue Lösung entwickelt wird.

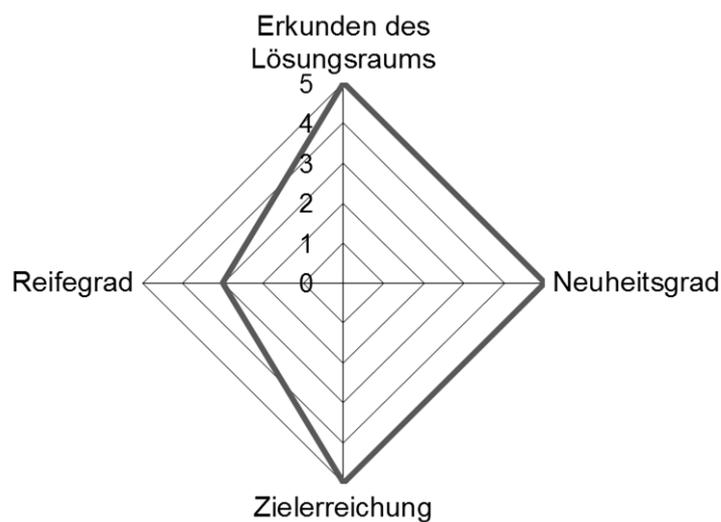


Bild 47 Projektbewertung durch VP 03

Der Reifegrad ist auf einem mittleren Niveau, welches für eine praktisch validierte Funktionsweise steht. Da im Projekt jedoch kein höherer Reifegrad gefordert ist, erhält das Projekt eine maximale Bewertung bezüglich der Zielerreichung.

³⁵⁶ „Und das macht schon Sinn, sich da bestimmte Randbedingungen raus zu messen, eigentlich als Kriterium für die Skizzen später. Um ein Gefühl zu kriegen, dass man da nicht völlig neben der Kappe ist, aber die Ideen entstehen eigentlich erst auf dem Blatt.“ (vgl. Anhang 3)

³⁵⁷ „Und ich glaub’, der Königsweg ist das zu schalten, dass du sagst: Ich wüsste schon, wie das einfach geht, aber ich gehe den neuen Weg. [...] Und dieses Schalten von Freimachen und nur die Erfahrung wieder eingrenzen, dieses Aufmachen und Zumachen. Das ist, glaube ich, eine Stärke.“ (vgl. Anhang 3)

5.1.4 Fallbeispiel 4: Sicherheitskupplung

In Bohr- und Kombihämmern, welche zur Erzeugung von Löchern in Beton und Gestein eingesetzt werden, existiert eine Sicherheitskupplung, die bei zu großen Drehmomenten, welche z. B. bei einem Armierungstreffer im Beton entstehen Anwender und Gerät vor Überlast schützen. Ziel des hier betrachteten Projekts ist es, für ein neues Gerät eine leichtere und kostengünstigere Kupplung zu entwickeln.

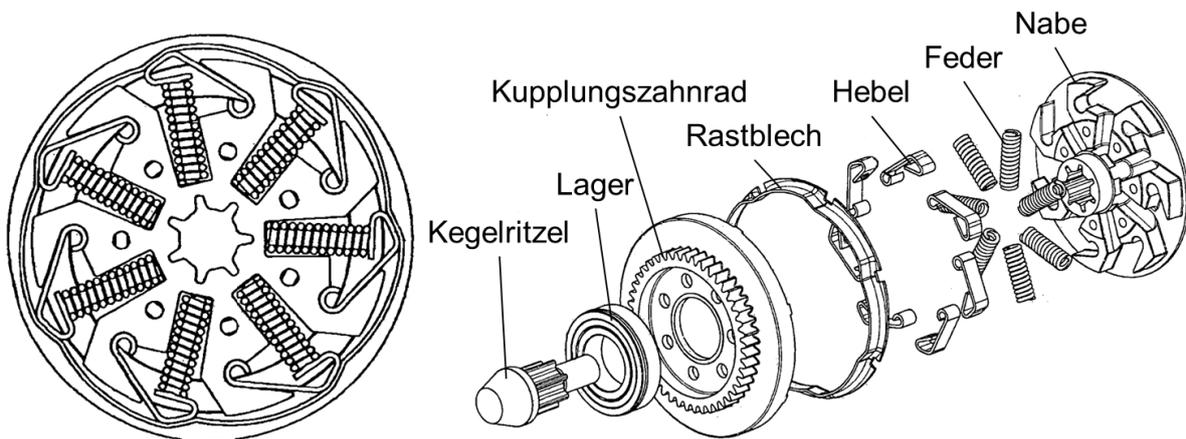


Bild 48 Entwickelte Sicherheitskupplung für Bohr- und Kombihämmer³⁵⁸

Das im Projekt entwickelte Konzept (Bild 48) sieht ein Kupplungszahnrad aus Kunststoff vor, in welches ein Rastblech eingelegt ist. Die aus Metallstreifen gebogenen Hebel sind drehbar in der Nabe gelagert und werden durch Federn radial gegen das Rastblech gedrückt. Ist das Drehmoment im vorgesehenen Bereich, wird es auf diese Weise vom Kupplungszahnrad über Rastblech und Hebel auf das formschlüssig in der Nabe sitzende Kegelritzel übertragen, welches über ein Lager die Koaxialität von Nabe und Kupplungszahnrad sicherstellt. Wird das Auslösemoment der Kupplung, welches maßgeblich durch die Federkräfte bestimmt wird, überschritten, gleiten die Hebel durch das Rastblech und die Nabe mit dem Kegelritzel hört auf zu rotieren. Auf diese Weise wird die Momentübertragung von Antrieb von dem verklemmten Bohrer getrennt und Anwender und Gerät vor Überlasten geschützt.

³⁵⁸ vgl. Kristen et al. 2009

*Konstrukteur***Versuchsperson:** VP 04**Alter:** 54 Jahre**Konstruktionserfahrung:** 28 Jahre

Werdegang: VP 04 schließt das Gymnasium mit dem Abitur ab. Anschließend studiert VP 04 an der Fachhochschule Maschinenbau. Nach Abschluss des Studiums beginnt VP 04 in der Elektrogerätebranche als Konstrukteur. Fünfzehn Jahre ist VP 04 dabei an Neukonstruktionen beteiligt. Bei dem jetzigen Arbeitgeber arbeitet VP 04 seit 13 Jahren im Bereich der Konstruktion.

Konstruktionsprozess

Nach der anfänglichen Projektplanung testet VP 04 unmittelbar bestehende Wettbewerber, um eine Referenz für die weitere Problemlösung zu schaffen. Für die Entwicklung neuer Lösungen setzt VP 04 auf ein heterogen zusammengestelltes Team. Daher werden zu Beginn des Projekts sechs Kreativworkshops in einem Abstand von jeweils etwa einem Monat durchgeführt (Bild 49). Geleitet werden diese Sitzungen von einem Moderator, welcher anfangs den Fokus auf das bestehende System lenkt.³⁵⁹ Dabei werden zunächst die einzelnen Funktionen besprochen und der Beitrag der einzelnen Bauteile zur Umsetzung dieser Funktionen geklärt. Auf diese Weise wird ein gemeinsames Systemverständnis der Teilnehmer aus unterschiedlichen Entwicklungsbereichen geschaffen.³⁶⁰ Darüber hinaus werden im Rahmen einer Wertanalyse auch Lösungen von Wettbewerbern betrachtet und auf diese Weise die grobe Stoßrichtung für das Projekt festgelegt.³⁶¹ In den Sitzungen entwickelt das Team primär durch Analogiebildung viele alternative Lösungen, welche überwiegend durch Skizzen dargestellt werden. VP 04 hat während dieser Phase das Gefühl, dass der Abstraktionsgrad der Lösungssuche in Bezug auf die geplante Projektdauer viel zu hoch gewählt ist.³⁶² Daher beginnt VP 04 schon früh im Projekt damit, die abstrakten Lösungsansätze im CAD-System zu detaillieren und

³⁵⁹ „Wir haben mit unserem Moderator einmal im Monat diese Sitzung gehabt, wo man auch kreativ tätig sein konnte. Also am Anfang ist einfach die Analyse der bisherigen Rutschkupplung gemacht worden, ganz neutral.“ (vgl. Anhang 3)

³⁶⁰ „[...] weil da waren ja Leute aus unterschiedlichen Abteilungen. Also, einmal Techniker und zum zweiten dann auch Beschaffer, und die mussten ja alle mal ins Boot geholt werden, das heißt, man hat ganz unten angefangen. Welches Bauteil hat welche Funktion?“ (vgl. Anhang 3)

³⁶¹ „[...] also zuerst mal eine Wertanalyse über die bisherigen Bauteile zu machen, also auch von der Konkurrenz, und die auch mal mit unserer Kupplung gegenüber zu stellen [...]“ (vgl. Anhang 3)

³⁶² „Man hat an Ideen rumgesponnen, die für dieses Projekt, für die Projektdauer, einfach gar nicht akzeptabel waren. Das waren g'spinnerte Ideen, auf gut Deutsch gesagt, und in dem Projektverlauf über die zwei Jahre hätten wir das gar nicht auf die Reihe gekriegt. Das wäre ein komplett neues Projekt geworden.“ (vgl. Anhang 3)

dadurch auf Plausibilität und Machbarkeit zu überprüfen.³⁶³ Das dabei erfolgreiche Handlungsmuster beschreibt VP 04 wie folgt:

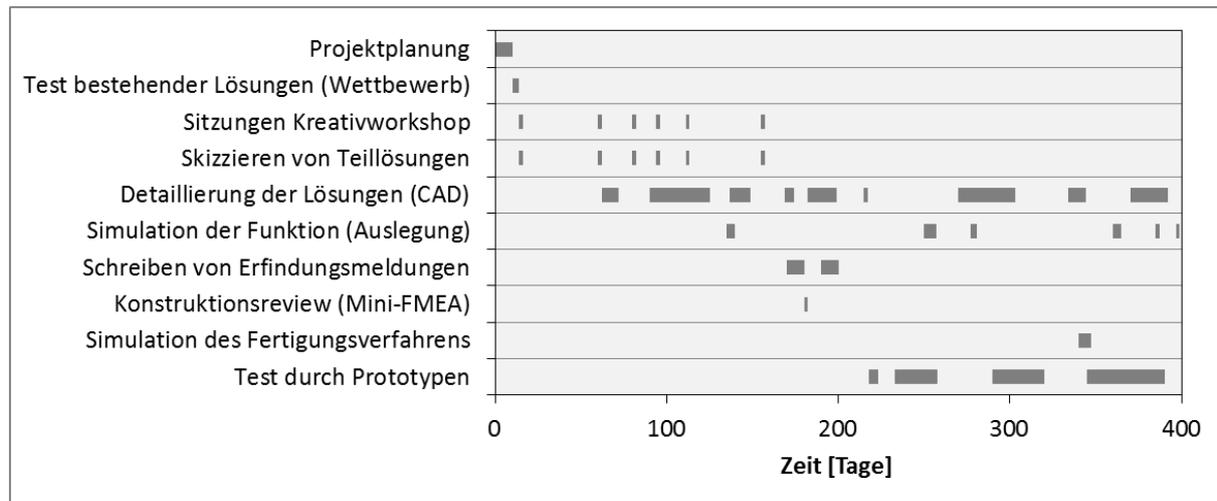


Bild 49 Projektverlauf Fallbeispiel 4

„Diese finale Lösung ist eigentlich direkt im CAD entstanden. Gut, ich hab’ mir die Ideen im Kopf so zusammengereimt, wie die Kräfteverteilung sein soll, wie der Kräfteverlauf sein soll, und dann konnte man das direkt im CAD nachvollziehen, und dann hat sich die Baugruppe, die haben sich dann irgendwann ergeben. Die sahen am Anfang komplett anders aus. Und dann kommt auch beim Konstruieren kommen dann bestimmte Ideen, das könnte man so machen, dadurch wird die Sache auch vereinfacht. Da sagt man halt okay, wenn man das anders gestaltet, kann man ein Teil wieder entfallen lassen.“³⁶⁴

Mit zunehmender Projektdauer wächst bei VP 04 die Sorge, dass das Projekt aus dem Ruder läuft, da einzelne Konstrukteure auf der Umsetzung von (aus Sicht von VP 04) unsinnigen Lösungen bestehen.³⁶⁵ Um die Projektziele nicht aus den Augen zu verlieren, drängt VP 04 daher auf eine Eingrenzung der Lösungssuche auf realistische Alternativen.³⁶⁶ Dazu werden alle Ideen in einer großen Matrix in Form

³⁶³ „Also des ging am Anfang dann relativ, man kann sagen unstrukturiert, los. Man hat da einfach ein bisschen rumgesponnen. Man könnte das Ganze ja ganz anders gestalten und so weiter und da sind manchmal bisschen ulkige Ideen rausgekommen und ich hab’ die dann zwischen den Sitzungen immer wieder ein bisschen, ja, auf Plausibilität überprüft gehabt.“ (vgl. Anhang 3)

³⁶⁴ vgl. Anhang 3

³⁶⁵ „Jeder hat seine eigene Idee, will die unbedingt durchsetzen und die sind dann teilweise nicht zielführend gewesen und da hab’ ich Angst gehabt, dass mir das irgendwie aus dem Ruder läuft.“ (vgl. Anhang 3)

³⁶⁶ „Und dann hat man sich einfach gesagt, wir müssen unseren Spielraum eingrenzen. Wir müssen sagen, okay, den Bauraum haben wir und die Funktionen sind ja sowieso gegeben und wir müssen auch irgendwo in Richtung Projektdauer auch denken.“ (vgl. Anhang 3)

eines morphologischen Kastens dargestellt und die innerhalb der Projektdauer nicht realisierbaren Lösungen ausgeschlossen.³⁶⁷

	Ruku Iststand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Ruku kpl	 315	 211	 237	 197	 180
Kegelritzel	 Fließpressen 61	 Fließpressen 50	 Fließpressen 61	 Fließpressen 60	 Fließpressen 50
Kupplungsnahe	 Feinschneiden 100	 Kunststoffspritzguss 51	 Feinschneiden 100	 Stanzbiegen 66	 Kunststoffspritzguss 44
Hebel	2x  Feinschneiden	1x  Feinschneiden	2x  Feinschneiden	 Stanzbiegen	 Stanzbiegen
Kupplungszahnrad	 Fließpressen 104	 Fließpressen 65	 Kunststoffspritzguss 25	 Kunststoffspritzguss 25	 Kunststoffspritzguss 25
Einsparung	9% Kosten	9% Kosten 33% Gewicht	21% Kosten 25% Gewicht	xx% Kosten 37% Gewicht	26% Kosten 43% Gewicht

Bild 50 Darstellung entwickelter Varianten für Entscheidungssituation

Die Abbildung der möglichen Lösungen in Form einer Matrix erzeugt im Entwicklungsteam dabei eine Transparenz bezüglich verbleibender und bereits ausgeschlossener Teillösungen.³⁶⁸ Während dieser Phase der Eingrenzung beruhen die meisten Entscheidungen auf der Erfahrung der Beteiligten aus abgeschlossenen Projekten.³⁶⁹ Gleichzeitig werden auch viele Teillösungen im Hinblick auf die Kostenreduktion weitergedacht und detailliert. Dabei zeigt sich, dass viele zunächst

³⁶⁷ „Und dann hat man einfach die Ideen, die man gesammelt hatte, die man in einer relativ großen Matrix erzeugt hatte, die hat man einfach mal zusammen bewertet und hat gesagt, das macht keinen Sinn und das macht keinen Sinn und das macht keinen Sinn. Und dann hat man die Ideensammlung ein bisschen gefiltert gehabt.“ (vgl. Anhang 3)

³⁶⁸ „Der war eigentlich wichtig, um zu sehen, welche Lösungen kann ich ausfiltern und welche Lösungen stehen bleiben, das heißt ich hab' ein relativ großes Bild von Lösungen, die kreierte worden sind. Und das kann ich eigentlich nur in so einem morphologischen Kasten sehen, und damit ich auch weiß, die Funktion, die ich brauch', kann nur durch bestimmte Bauteile beziehungsweise Lösungen erreicht werden.“ (vgl. Anhang 3)

³⁶⁹ „[...] da waren sehr viele Praktiker dabei, wie der XY, und der hat da gesagt, das macht ja gar keinen Sinn. Da können wir noch so viel rumspinnen, die Erfahrung sagt, dass das nicht funktioniert.“ (vgl. Anhang 3)

vielversprechende Ansätze bei genauerer Betrachtung nicht zielführend sind.³⁷⁰ In den letzten Sitzungen werden die verschiedenen entwickelten Teillösungen zu insgesamt vier sinnvoll erscheinenden Gesamtlösungen kombiniert (Bild 50).³⁷¹ Vor der Validierung durch Prototypen werden alle Lösungen zunächst durch ein Berechnungsprogramm auf ihre Funktionsweise überprüft, da VP 04 die Erfahrung gemacht hat, dass sich aufgrund der hohen Aussagequalität der Berechnungsergebnisse überflüssige Entwicklungsschleifen vermeiden lassen.³⁷² Parallel führt VP 04 ein kurzes Konstruktionsreview mit anderen Konstrukteuren durch, in welchem mögliche Schwachstellen der Konstruktion diskutiert werden. Bei der anschließenden Validierung durch Prototypen hat VP 04 das Glück, dass gleich die erste Lösung die geforderte Lebensdauer erreicht.³⁷³ Trotzdem werden im weiteren Projektverlauf alle vier Varianten in Prototypen umgesetzt und praktisch validiert.³⁷⁴ Der Vergleich der vier Lösungen verdeutlicht den Zielkonflikt zwischen Funktionssicherheit und Kostenpotential. Die Entscheidung für die weitere Umsetzung fällt zugunsten der Funktionssicherheit.³⁷⁵ Gegen Ende des Projekts werden weitere theoretische Validierungen zur Übernahme der entwickelten Kupplung in Nachfolgeprojekte durchgeführt (Bild 49).

Handlungsmuster

Zu Beginn des Projekts entscheidet sich VP 04 ganz bewusst für die Lösungssuche im Team, da sie die Erfahrung gemacht hat, dass hierbei ein starker Ideenaustausch zwischen den Konstrukteuren stattfindet, wodurch oft neue Ideen entstehen.³⁷⁶

³⁷⁰ „Und dann sind auch wieder aus den Lösungen wieder Alternativlösungen heraus gekommen, wo man nur gedacht hat, man wird ein' Tick billiger. Das war manchmal total kontraproduktiv. Da hat man gemerkt, man hat mehr Bauteile, muss mehr Bauteile zusammenfügen und so weiter. Im Endeffekt wird's teurer.“ (vgl. Anhang 3)

³⁷¹ „Vier Varianten haben sich dann eigentlich 'raus kristallisiert, wo man sich gesagt hat, okay, in diese Richtung können wir konstruktiv weiter arbeiten [...]“ (vgl. Anhang 3)

³⁷² „Also ich würd' der theoretischen Validierung immer den Vortritt geben an der Stelle, weil die Kupplung ist so komplex, da kann man so viele Tests machen.“ (vgl. Anhang 3)

³⁷³ „Dass die erste Rutschkupplung lief. Obwohl wir dann einen Hebelbruch hatten, aber das war ein Problem, das hatten wir schnell lokalisiert gehabt und hatt's auch relativ schnell behoben und dann war eigentlich die Kupplung lebensdauerfest gewesen. Und da hab' ich eigentlich gedacht, ich hätte da viel, viel mehr Probleme.“ (vgl. Anhang 3)

³⁷⁴ „[...] und dann Varianten auch, da hat man dann gesagt, die können wir streichen, das ist einfach zu weit vom Ziel entfernt. Also man ist in jede Hardware reingegangen, also von allen vier Varianten ist Hardware erzeugt worden, und man hat alle zum Laufen gebracht.“ (vgl. Anhang 3)

³⁷⁵ „[...] als wir die letzten vier Varianten dann nochmal gegeneinander gestellt haben, dass eigentlich die teuerste Variante in Richtung Zielerfüllung die Sicherste war, und in der Richtung ist man dann weiter gegangen.“ (vgl. Anhang 3)

³⁷⁶ „Und ich glaub', eine kleinere Gruppe, so zwei, drei Leute, die hätten die Ideen gar nicht zusammen gebracht. Und so hat sich eine Idee zu der anderen gesellt und plötzlich ist man drauf gekommen, ja die Idee, kombiniert mit der anderen Idee, ist eigentlich optimal.“ (vgl. Anhang 3)

Darüber hinaus hat VP 04 Schwierigkeiten bei der Erstellung von Skizzen.³⁷⁷ Daher versucht VP 04 die gedanklich entwickelten Lösungen direkt ins CAD-System zu überführen, da sie ihre Stärken primär in der Detaillierung der gefundenen Lösungen sieht.³⁷⁸ Im CAD-System stellt VP 04 die Gestalt der Bauteile zunächst sehr grob dar³⁷⁹ und fügt diese zu Baugruppen zusammen. Hierbei orientiert sich VP 04 an den Kraftverläufen.³⁸⁰ Die Gestalt der einzelnen Bauteile wird anschließend in mehreren Schritten und Iterationen verfeinert.

Projektbewertung

Die höchste Einstufung erhält das Resultat des Projekts hinsichtlich des Reifegrades und der Zielerreichung. Eine Mittlere Bewertung wird hinsichtlich des Neuheitsgrades vergeben, da die Lösung in erster Linie eine Optimierung des Systems darstellt.

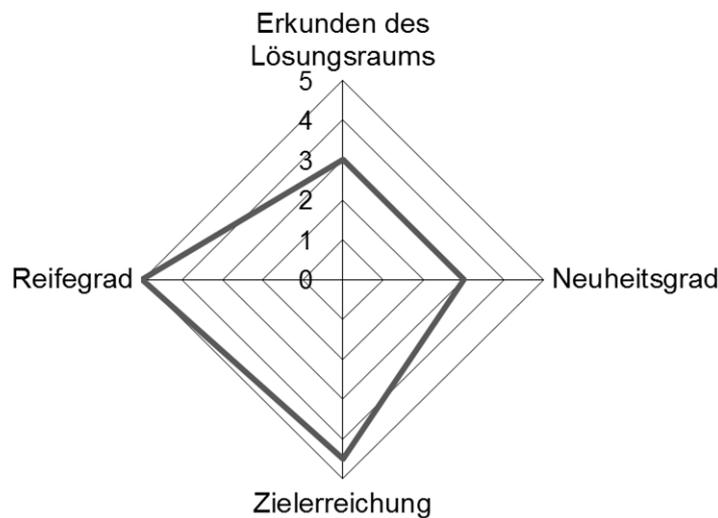


Bild 51 Projektbewertung durch VP 04

Ebenfalls eine mittlere Einstufung erhält die Dimension Erkundung des Lösungsraums, da hier der Fokus primär auf der Erstellung vieler Ideen, nicht aber auf der Vollständigkeit der Suche liegt.

³⁷⁷ „Also ich kann relativ schlecht skizzieren, würde ich sagen. Also ich kann's erkennen, aber Andere können's wahrscheinlich nicht lesen, wenn ich irgendwas skizziere. Und da geh' ich eher in Richtung CAD. Vom Kopf ins CAD rein.“ (vgl. Anhang 3)

³⁷⁸ „Also nicht das Analytische, sondern eher in Richtung Praxis, weil ich einfach die Erfahrung des Konstrukteurs habe, die ist da einfach ein bisschen ausgeprägter. Andere machen das eher so in Methodik, die kucken sich das Problem methodisch an und kreieren dann irgendeine abstrakte Lösung, und ich bin da eher für diese direkte praktische Lösung [...]“ (vgl. Anhang 3)

³⁷⁹ „Es wächst halt. Also das Bauteil sieht am Anfang vogelwild aus, aber irgendwann nimmt's dann Gestalt an.“ (vgl. Anhang 3)

³⁸⁰ „Genau, wie ist der Kräfteverlauf, entweder die Teile müssen wo gelagert werden und so weiter, und dann ergibt sich der Rest. Alles andere ist dann eigentlich noch Detailarbeit.“ (vgl. Anhang 3)

5.1.5 Fallbeispiel 5: Staubabsaugung

Auf Bohrhämmer können zur Erzeugung von Bohrungen mit größerem Durchmesser (z. B. für das Setzen von Steckdosen) sogenannte Hammerbohrkronen aufgesetzt werden. Das System erzeugt im Anwendungsfall eine nicht unerhebliche Staubmenge, welche zumindest teilweise in die Atemwege des Anwenders gelangt und die Umgebung verschmutzt. Um dem vorzubeugen, soll ein System entwickelt werden, an welches ein Staubsauger angeschlossen werden kann, um den freien Staubaustritt signifikant zu verringern. Im Rahmen des hier vorgestellten Projekts wird das in einem Technologieprojekt entwickelte System marktreif gemacht.

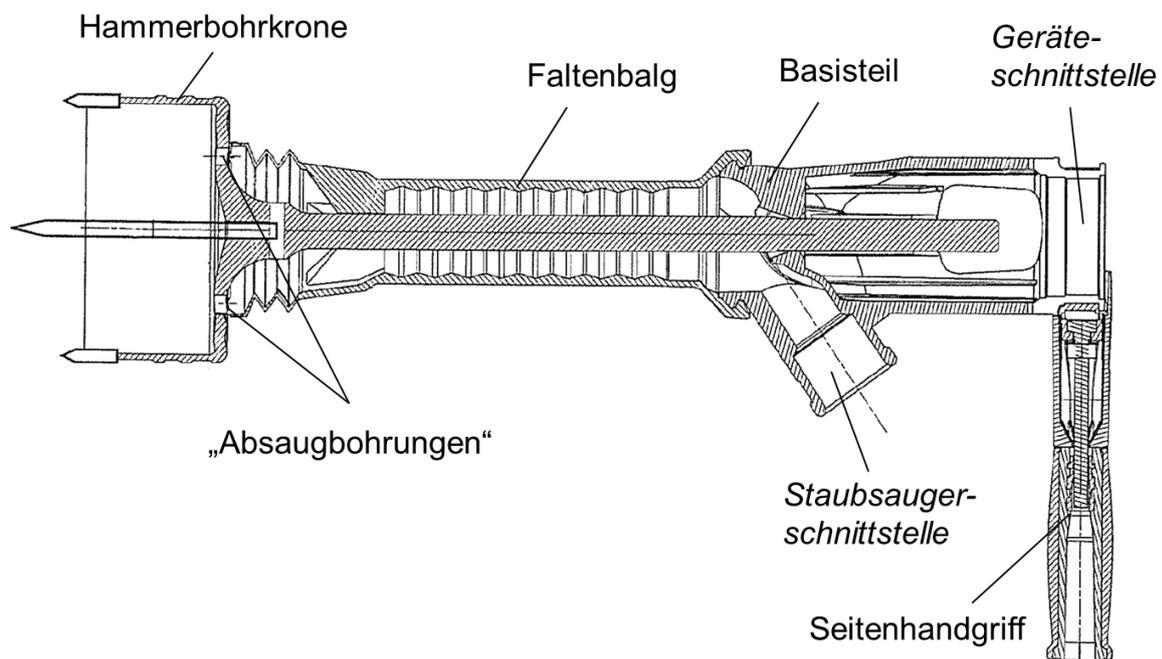


Bild 52 Entwickeltes Absaugsystem für das Arbeiten mit Hammerbohrkronen³⁸¹

Der im Fallbeispiel entwickelte Lösungsansatz (Bild 52) sieht vor, dass der Staub durch „Absaugbohrungen“ welche axial in die Hammerbohrkrone eingebracht sind von seinem Entstehungsort abtransportiert wird. Der relativ zur Hammerbohrkrone stehende Faltenbalg leitet das Bohrklein zum Basisteil, welches über eine Staubsaugerschnittstelle verfügt. Umfang der Konstruktion ist auch der Seitenhandgriff, welcher an die veränderten Dimensionen angepasst werden muss. Das gesamte Absaugsystem kann über die Geräteschnittstelle optional auf bestimmte Bohr- und Kombihämmer aufgesetzt werden und sorgt auf diese Weise für einen deutlich verringerten Staubaustritt.

³⁸¹ vgl. Hofbrucker & Ohlendorf 2011

*Konstrukteur***Versuchsperson:** VP 05**Alter:** 47 Jahre**Konstruktionserfahrung:** 18 Jahre

Werdegang: VP 05 besucht zunächst die Wirtschaftsschule und macht dann eine Lehre als technischer Zeichner. Dabei arbeitet VP 05 insgesamt neun Jahre in der Betriebsmittelkonstruktion. Während der letzten vier Jahre macht sie an der Abendschule eine Fortbildung zum Techniker. Anschließend wechselt VP 05 zu dem heutigen Arbeitgeber, wo sie zunächst für ein halbes Jahr im Testfeld arbeitet. Dann wechselt VP 05 für eineinhalb Jahre in die Produktbetreuung. Mit der Konstruktionstätigkeit kommt VP 05 erst wieder nach dem Wechsel in die Geräteentwicklung in Berührung, wo sie in mehreren Projekten als Konstrukteur Produkte (primär Nachfolgeprodukte) entwickelt.

Konstruktionsprozess

Um das in dem Technologieprojekt entwickelte Wissen aufzunehmen, liest VP 05 zu Beginn des Projekts den dazu angefertigten Bericht.³⁸² Anschließend geht es VP 05 darum, sich von der im Rahmen des Technologieprojekts entstandenen Hardware einen Eindruck zu machen.³⁸³ Diesen für das Projekt ausschlaggebenden Test beschreibt VP 05 wie folgt:

„Hab‘ dann die Teile g‘nommen und bin in den Handbohrraum ‘gangen, hab‘ des erste Loch in meinem Leben mit Hammerbohrkrone ‘bohrt. [...] Dann hab‘ i tiefer bohrt und raus‘zogen und mhh ..., der Kern is‘ immer noch stecken ‘blieben. Und da hab‘ i mir ‘dacht, ja wie kriegt ma‘ den jetzt raus? Dann bin i ins Büro ‘gangen zum Gruppenleiter vom Handtest und hab‘ i g‘ sagt, du, schau‘ mir mal her, wie geht das jetzt? Und dann sagt er: Ja, du bohrst auf volle Tiefe, dann machst du ‘ne seitliche Bewegung und der Kern bricht und ist in der Hammerbohrkrone drin. Des hab‘ i dann g‘macht und hat super funktioniert. Der ganze Staub ist abgesaugt worden. Und dann sag‘ i: Und jetzt? Wie geht’s weiter? Und dann sagt er, ja normalerweise schlägt man halt die Hammerbohrkrone mit Gerät seitlich gegang Untergrund, dass der Kern rausfällt. Und sag‘ i: Ja aber des geht ja hier net in dem Fall, weil der

³⁸² „Dann ist’s eigentlich schon ziemlich schnell gestartet, weil’s scho‘ Hardware vom Technologieprojekt gab. Die hab‘ i auf den Tisch bekommen und hab‘ den Bericht durchg‘lesen.“ (vgl. Anhang 3)

³⁸³ „Also zuerst schau‘ i mir halt des Problem selber an, an der Hardware, i bohr‘ erstmal selber, dass i sieg, oh, da gibt es dieses Problem, des muss i selber sehen, sonst kann i mir da kein‘ Eindruck machen.“ (vgl. Anhang 3)

Faltenbalg über die Hammerbohrkrone drüber geht. Der ist mir ja dann gleich kaputt. Ich kann ja nicht mit dem Faltenbalg wo dagegen schlagen."³⁸⁴

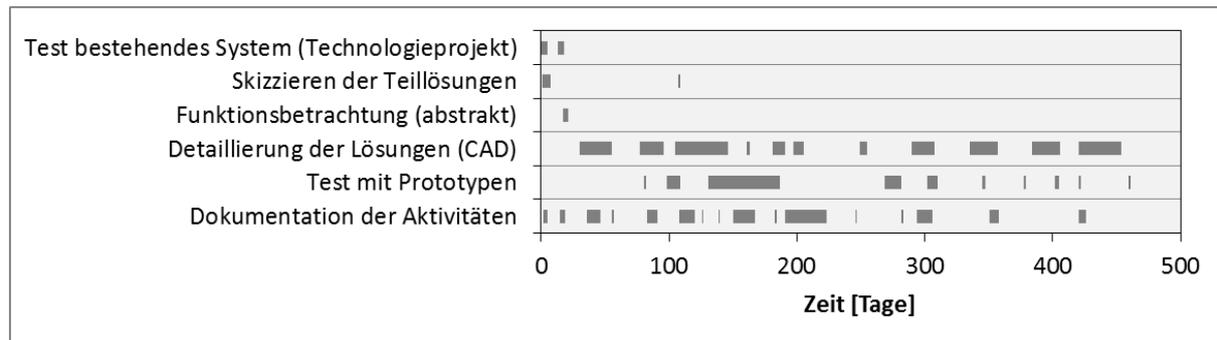


Bild 53 Projektverlauf Fallbeispiel 5

Der anschließende Versuch zeigt, dass der Faltenbalg schon nach etwa fünf Schlägen Risse aufweist.³⁸⁵ Darüber hinaus ist das System auf kurze Hammerbohrkronen abgestimmt und ist in Kombination mit den häufig eingesetzten langen Werkzeugen nicht funktionsfähig.³⁸⁶ So wird schon relativ früh im Projekt klar, dass das entwickelte System den Anforderungen des Anwenders und des Markts nicht gerecht wird. Aus diesem Grund entscheidet sich VP 05 dazu, eine neue Lösung zu entwickeln. Die ersten Ideen entstehen bei VP 05 zunächst in Form von Skizzen. Die auf diese Weise entwickelte Idee einer axialen Absaugung durch die Bohrkronen hindurch wird von VP 05 schnell über stark vereinfachte Tests validiert.³⁸⁷ Auf diese Weise entsteht bereits zu einem frühen Zeitpunkt ein neues Konzept, welches die geforderten Ziele erfüllt. Die Probleme treten beim anschließenden Bohren in Beton unter Realbedingungen auf, da die Hammerbohrkronen in Folge der nachträglich eingebrachten Löcher für die Staubabsaugung brechen. Dies wird durch eine veränderte Reihenfolge der Fertigungsschritte gelöst.³⁸⁸ Parallel zieht VP 05

³⁸⁴ vgl. Anhang 3

³⁸⁵ „Dann bin ich zum Versuchsingenieur gegangen und hab' ihm das erklärt, dass das so zwar gut absaugt, aber vom Handling her ist das ja net, was die Praxis zeigt. Mir ham dann an vorhandenen Faltenbalg g'nommen, der in etwa so die Größe hatte, und ham dann die Hammerbohrkrone so gegen flachen Untergrund g'schlagen, und dann hat der Faltenbalg schon sofort Risse 'kriegt. Also hat ma g'sehen, fünfmal wenn ma' draufschlägt, is' der eigentlich hin.“ (vgl. Anhang 3)

³⁸⁶ „Vom Marketing war auch der Wunsch, dass wir die langen Hammerbohrkronen absaugen können.“ (vgl. Anhang 3)

³⁸⁷ „Dann kam ganz schnell die Idee... Bin dann in die Werkstatt runter 'gangen, hab' i g'sagt: Macht's mir bitt'schön hinten stirnflächig Löcher rein. [...] Und hab' dann 'bohrt und hab' g'sehen: Woahr, des saugt super gut ab!“ (vgl. Anhang 3)

³⁸⁸ „Die is' uns dann aber nach fünf Löcher' im Beton schon 'brochen, weil ma einfach in die harte Hammerbohrkrone die Löcher reing'setzt ham. Und des hat so stark die Festigkeit verletzt, dass die uns wirklich so schnell 'brochen sind. Dann ham ma halt g'wartet bis der Zulieferer des schon vorher, vor der Wärmebehandlung, reingebracht hat.“ (vgl. Anhang 3)

einen Methodiker³⁸⁹ für den Aufbau von Systemverständnis hinzu. Zusammen erarbeiten beide auf abstrakter Ebene Darstellungen der Funktionen des Systems (Bild 54).

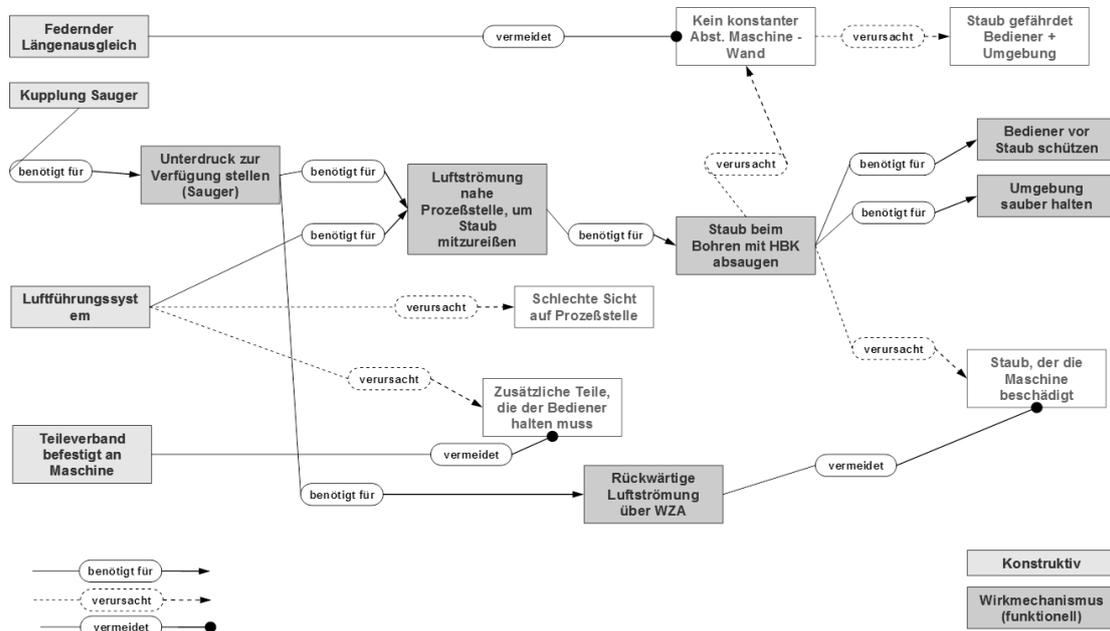


Bild 54 Abstrakte Darstellung funktionaler Zusammenhänge durch Methodiker

Der im Rahmen dieser Zusammenarbeit entstandene morphologische Kasten beschreibt mehrere Richtungen für die Lösungssuche in textueller Form. VP 05 ist diese Art der Problemlösung fremd und sie fühlt sich durch die ihr unbekannte Denkweise verunsichert. In der Folgezeit ist sie nicht in der Lage, die abstrakten Gedanken zu konkretisieren und daraus Lösungen abzuleiten,³⁹⁰ sondern fährt mit der ihr vertrauten Analyse realer Prototypen fort (Bild 53).³⁹¹ Eine große Herausforderung stellt für VP 05 auch die Konstruktion des Faltenbalgs dar, da sie bislang noch keine Erfahrungen mit der Konstruktion solcher Teile gesammelt hat. Dies führt dazu, dass sie die Wandstärken zunächst viel zu dünn wählt.³⁹² Da sie

³⁸⁹ Das Unternehmen beschäftigt Ingenieure, welche die Konstrukteure methodisch unterstützen.

³⁹⁰ „Mhhh... Also ich konnt' davon nichts verwenden. Es war schon so strukturiert und alles, und ich fand des total toll, wie der des kann. Also ich könnt' sowas gar net. Aber da tu' i mir dann total schwer damit. Also i bin da so der: Die Teile sind scho' da vom Prototyp, und dann bin i da eigentlich schon mehr so im Detail drin.“ (vgl. Anhang 3)

³⁹¹ „Ja! (lacht) Komisch gell, da macht man sich schon vorher die Arbeit und dann: Ja was mach' i jetzt mit dem Ganzen? Und dann fall' i sofort in mei' sicheres Wasser und denk mir: Hah, des pack' i jetzt so an.“ (vgl. Anhang 3)

³⁹² „[...] zum Beispiel die Gummiteile, die waren am Anfang viel zu dünn konstruiert von meiner Seite her. Da ist der Staubsauger angegangen, „pffff“ ,und dann sind die eigentlich schon fast platt worden. Also da hat von meiner Seite her komplett das G'fühl g'fehlt, was eigentlich mit so Elastomerteilen passiert, wenn a Staubsauger an is.“ (vgl. Anhang 3)

wegen hoher Auslastung zeitnah keine Unterstützung aus der Simulationsabteilung bekommt,³⁹³ und auch der Zulieferer bezüglich der herrschenden Randbedingungen über wenig Erfahrungswissen verfügt,³⁹⁴ ist VP 05 bei der Suche nach der richtigen Gestalt überwiegend auf sich selbst gestellt. Durch eine große Kreativität bezüglich der Durchführung weiterer Tests (z. B. durch Einkleben von O-Ringen zur Erzielung einer besseren Formstabilität), gelingt es VP 05 schnell, Erfahrungswissen aufzubauen und dadurch die richtigen Schlüsse für die Konstruktion abzuleiten.³⁹⁵ Im Projektverlauf werden bei der Validierung durch Prototypen mehrere Probleme identifiziert, welche letztendlich zu einer Verlängerung der geplanten Projektdauer führen. Erkennbar ist dies unter anderem an den vielen Wechseln zwischen der CAD-Konstruktion und dem Test mit Prototypen (Bild 53).

Handlungsmuster

VP 05 hat im Rahmen ihrer Ausbildung keine methodischen Vorgehensweisen zum Lösen von Problemen gelernt und fühlt sich durch die abstrakten Denkweisen der Konstruktionsmethodik eher verunsichert.³⁹⁶ Die Stärke von VP 05 liegt viel eher im Verstehen der Kundenbedürfnisse bei dem Test mit Prototypen.³⁹⁷ Hier verfügt VP 05 über ein breites Erfahrungswissen,³⁹⁸ welches sie durch weitere Tests permanent erweitert. In der Ideenfindung und der Modellierung von Prinzip und Gestalt skizziert VP 05 neue Ideen meist nicht maßstäblich und sehr grob.³⁹⁹ Ideen entstehen dabei sehr sprunghaft und zufällig und sind eher selten das Resultat gezielter Fragestellungen.⁴⁰⁰ Während des Skizzierens versucht VP 05 die grobe

³⁹³ „Also i bin da der, der net in die Simulation läuft. Da bin i am Anfang g'laufen zum XY und da hat keiner eigentlich Zeit dafür g'habt.“ (vgl. Anhang 3)

³⁹⁴ „Also die hatten dieses Wissen gar net, wie zieht sich jetzt so a Faltenbalg zusammen. Da war so die Argumentation, ja so was gibt's eigentlich gar nicht, wie mir machen, weil a Faltenbalg wird immer am Ende befestigt und am Anfang befestigt.“ (vgl. Anhang 3)

³⁹⁵ „Dass i dann schau', anhand dieser Hardware, wie kann i des versteifen, indem i dann unten bei die Falten dann an O-Ring reinleg'. Mit Sekundenkleber hält des super gut. Dann wird des Ganze schon steifer, dass i des G'fühl dafür krieg'.“ (vgl. Anhang 3)

³⁹⁶ „Also ich hab' das auch nie gelernt, diese Vorgehensart an ein Thema ranzugehen. [...] Also des kenn' i net so und da werd' i auch total unsicher. Ich find so Leute wie der YZ aus der Methodenabteilung, die so was so können... Das fasziniert mich schon.“ (vgl. Anhang 3)

³⁹⁷ „Also die Stärke is', ich schau' mir erstmal den Fall an und dann denk' i dadurch, dass i daheim auch viel mach', wie würd' ich's jetzt als Anwender gern haben?“ (vgl. Anhang 3)

³⁹⁸ „Des liegt mir einfach. Des mach' ich jetzt schon 32 Jahre.“ (vgl. Anhang 3)

³⁹⁹ „Ja genau. Aber ich kann halt jetzt net irgendwie des maßstäblich, und da bin i auch ziemlich schlampig. Aber wenn ich's dann schon so im Kopf so grob hab', dann fang' i einfach mal an, dass i mir einfach mal im CAD den Zylinder in der Länge und so, dass ich einfach mal so diese Grundmaße irgendwie hab'.“ (vgl. Anhang 3)

⁴⁰⁰ „Aber des ist oft so... Zuerst amal einfach, und dann wächst es, wächst es, wächst es irgendwie so. Da bin i net so strukturiert, dass i sag': Ah, Moment, brauch' i irgendwo dazwischen nochmal 'ne Schnittstelle? Des wächst bei mir dann erst viel zu spät vielleicht auch.“ (vgl. Anhang 3)

Richtung für die weitere Konstruktion zu erarbeiten.⁴⁰¹ Die „Vollständigkeit“ der Lösungssuche ist VP 05 dabei nicht von so wichtig,⁴⁰² wie der frühe Übergang ins CAD-System, um die Lösungen in den richtigen Dimensionen darzustellen. Hervorzuheben ist die permanent durchgeführte Dokumentation des Konstruktionsfortschritts. Die während des Projekts entstehenden Alternativen werden von VP 05 schnell aus dem CAD-System in Form von anschaulichen Abbildungen in Präsentationen übertragen, um die Entscheidungsfindung im Team zu unterstützen.⁴⁰³ Die einzelnen Teillösungen stellt VP 05 im CAD meist in den richtigen Abmessungen grob dar, ohne jedoch die Details auszuarbeiten.⁴⁰⁴

Projektbewertung

Hoch bewertet VP 05 den Reifegrad der Lösung und etwas niedriger die Zielerreichung, da die geplante Projektdauer und das Budget überschritten werden.

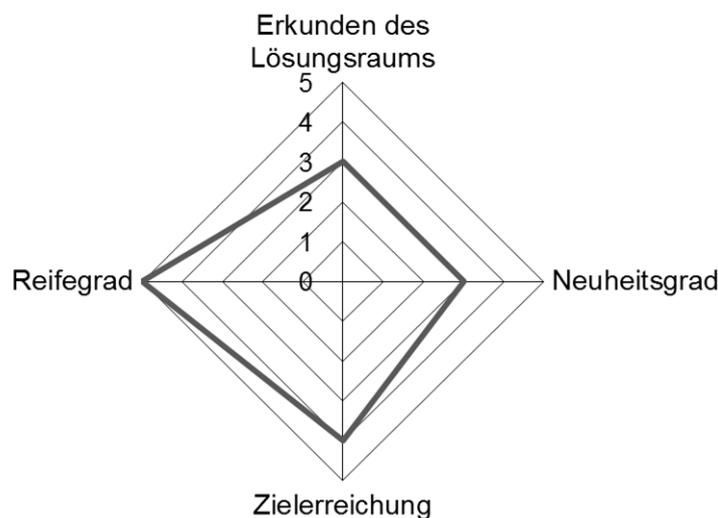


Bild 55 Projektbewertung durch VP 05

Der Neuheitsgrad und die Erkundung des Lösungsraums werden auf ein mittleres Niveau gesetzt, da die Erkundung nicht systematisch abläuft, und zumindest einige Bereiche der finalen Lösung schon aus dem Technologieprojekt bekannt sind.

⁴⁰¹ „[...] und dann skizzier' i irgendwie so mit dem Bleistift mal auf, wie i mir sowas jetzt vorstellen könnt'. [...] Und wenn i dann irgend so a Richtung schon hab', dass i sag', Mensch, so könnt's jetzt am besten funktionieren. Dann fang' i im CAD eigentlich scho' an, das i mir des so a bissl maßstäblich hinkrieg', ob des überhaupt so funktionieren könnte.“ (vgl. Anhang 3)

⁴⁰² „Stell' i net sicher.“ (vgl. Anhang 3)

⁴⁰³ „Und dann bin i gleich im CAD, dass i des gleich auf des Powerpoint drauf bring'. Dass dann bei der nächsten Teamsitzung schon a Entscheidung 'troffen werden kann.“ (vgl. Anhang 3)

⁴⁰⁴ „Ne, des sind so erstmal die Ideen, aber des passt dann so vom Maßstab her. So im Detail ist es dann noch nicht fertig. Aber da weiß i scho', wenn i des so abbilde, dann müsst's eigentlich so funktionieren.“ (vgl. Anhang 3)

5.1.6 Fallbeispiel 6: Vibrationsreduktion

Zum Schutz des Anwenders vor starken Vibrationen werden besonders in größeren Meißelhämmern konstruktive Maßnahmen getroffen, welche die Vibrationen der Maschine dämpfen. Im Rahmen der Entwicklung eines neuen Meißelhammers sollen bekannte Lösungen auf ein neues Gerät adaptiert werden, ohne dadurch das Gewicht und Herstellkosten signifikant zu erhöhen.

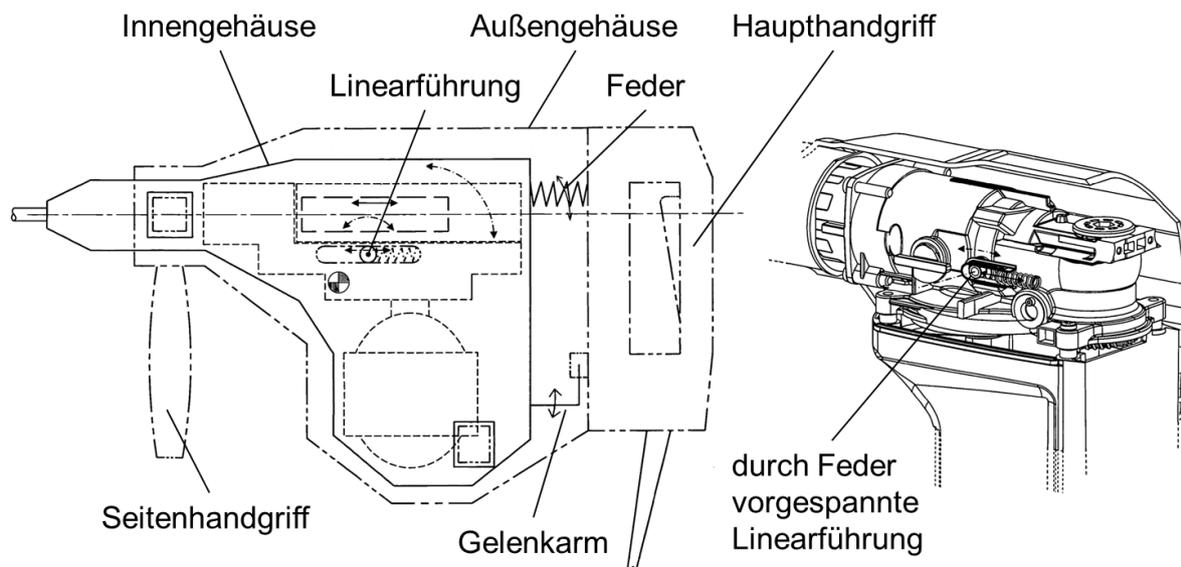


Bild 56 Entwickeltes Active-vibration-reduction-system (AVR) für Meißelhammer⁴⁰⁵

Die im Rahmen des Fallbeispiels entwickelte Lösung sieht ein sogenanntes Subchassis vor, bei welchem der eigentliche Meißelhammer in ein Innengehäuse integriert ist (Bild 56). Dieses ist über einen Gelenkarm, eine Linearführung und Federn beweglich mit dem Außengehäuse verbunden. Durch die weitestgehende Entkopplung von Außen- und Innengehäuse sind die Vibrationen an Haupt- und Seitenhandgriff, welche mit dem Außengehäuse verbunden sind, für den Anwender deutlich reduziert und werden als angenehmer empfunden. Gleichzeitig ist die Verbindung zwischen Außen- und Innengehäuse aber auch so steif ausgeprägt, dass eine gute Führung des Werkzeugs gewährleistet wird. Dies wird unter anderem durch Federn realisiert, welche auch in die Linearführung integriert sind.

⁴⁰⁵ vgl. Fischer et al. 2007

*Konstrukteur***Versuchsperson:** VP 06**Alter:** 27 Jahre**Konstruktionserfahrung:** 8 Monate

Werdegang: VP 06 besucht zunächst die Realschule und wechselt anschließend auf ein technisches Gymnasium, wo sie schon früh in Kontakt mit der Metallbearbeitung kommt. Nach dem Abitur studiert VP 06 an der Universität Maschinenbau, mit der Vertiefungsrichtung Produktentwicklung und Konstruktion. Die Diplomarbeit schreibt sie bereits bei dem heutigen Arbeitgeber. Nach dem Studium arbeitet VP 06 acht Monate als Konstrukteur im Unternehmen, bevor sie mit dem hier beschriebenen Fallbeispiel betraut wird.

Konstruktionsprozess

Zu Beginn des Projekts erfasst VP 06 die Informationen des vorangegangenen Technologieprojekts und integriert die dort entwickelte Lösung in einen Prototypen. Die Lösung ist dabei primär aus bestehenden Komponenten anderer Seriengeräte aufgebaut.⁴⁰⁶ Parallel macht sich VP 06 erste Gedanken auf abstrakter Ebene, welche Lösungen prinzipiell für die Umsetzung in Betracht kommen.

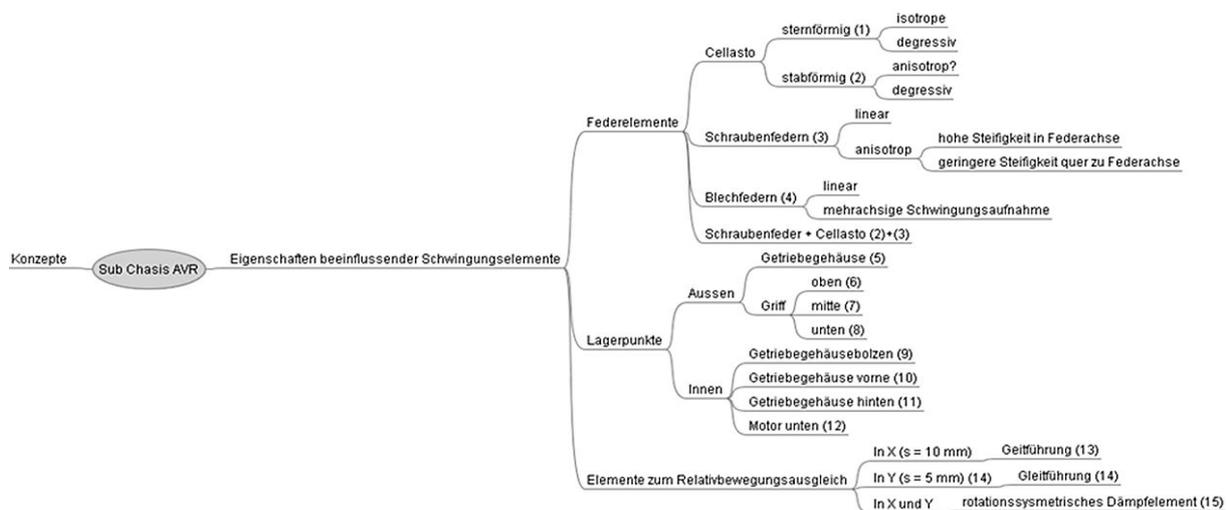


Bild 57 Mind-Map zur Einordnung grundsätzlicher Stoßrichtungen

Die Vibrationsmessung des Prototyps offenbart, dass die entwickelte Lösung zu schnell verschleißt und darüber hinaus zu starke Vibrationen auf den Anwender

⁴⁰⁶ „Man hat da 'n bisschen auf die Erfahrung gebaut, hat Teile von 'nem bestehenden AVR-System übernommen, die dann für 'ne neue Maschinenklasse nicht robust genug waren.“ (vgl. Anhang 3)

überträgt.⁴⁰⁷ Daher trifft das Projektteam umgehend die Entscheidung, nach einer neuen Lösung zu suchen und das entwickelte Konzept zu verlassen.⁴⁰⁸ Um sich die prinzipiellen Möglichkeiten für die Reduktion der Vibration bewusst zu machen, erstellt sich VP 06 in der Folgezeit eine Mind-Map (Bild 57), welche die wesentlichen Maßnahmen abbildet.⁴⁰⁹

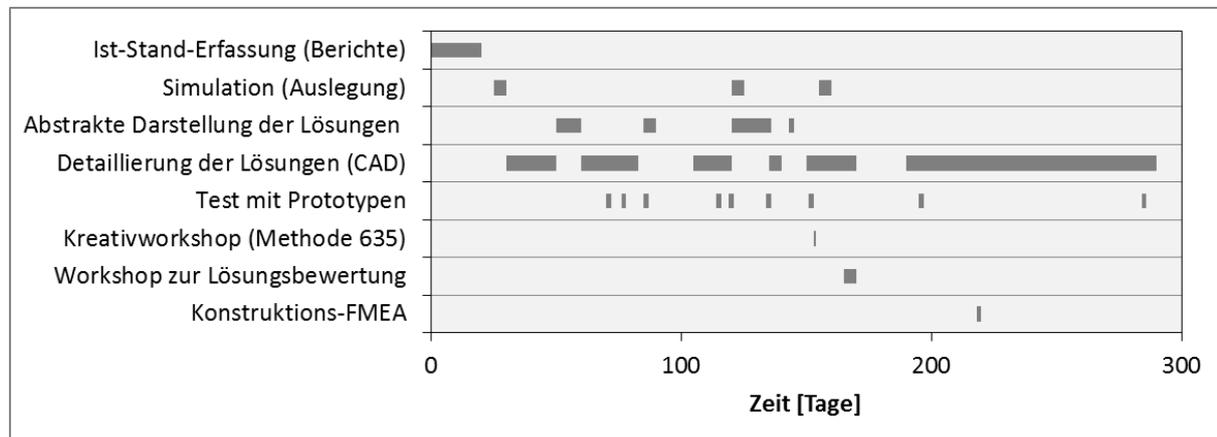


Bild 58 Projektverlauf Fallbeispiel 6

Anschließend erstellt sie eine Sammlung der intern und extern existierenden Lösungen. Dabei wird schnell klar, dass kein System existiert, welches einfach für das Gerät übernommen werden kann.⁴¹⁰ Da eine robustere Ausführung der anfänglichen Lösung im vorhandenen Bauraum nicht möglich ist, fällt die Entscheidung, die Verbindung von Gehäuse und Gerät vorne und hinten durch Gelenkarme zu realisieren.⁴¹¹ Die Hoffnung, mit dieser Änderung das Ziel zu erreichen, ist sehr groß, da das Prinzip schon von anderen Geräten her bekannt ist.⁴¹² In der Folgezeit ist VP 06 damit beschäftigt, das Prinzip auf den bestehenden

⁴⁰⁷ „Wir haben mit dem AVR ein Verschleißthema, und der Vibrationswert ist auch nicht so überragend, dass wir sagen können, wir können das Gerät dem Kunden so viel besser verkaufen, im Vergleich zu einem Nicht-AVR-Gerät.“ (vgl. Anhang 3)

⁴⁰⁸ „Und daraus hat sich des dann entwickelt, und dann wurd' gesagt, ok, wir dreh'n den Spieß um und wir versuchen des durch 'n ganz neues Konzept.“ (vgl. Anhang 3)

⁴⁰⁹ „Ich hab' einfach versucht, des System mal zu verstehen, damit ich überhaupt weiß, um was es geht. Des war so der Projekteinstieg für mich eigentlich.“ (vgl. Anhang 3)

⁴¹⁰ „Da hab' ich dann auch mal die verschiedenen Systeme gegenüber gestellt. Konkurrenten sind da drin und halt die firmeneigenen Lösungen bisher. Und dann war klar, da gibt es jetzt nichts, woraus wir uns jetzt bedienen können.“ (vgl. Anhang 3)

⁴¹¹ „Da gab's dann zwei Möglichkeiten. Entweder den Cellasto-Stern so ausprägen, dass er hält, des wär' so viel in Baugröße gegangen, [...] dass des von vorneherein rausgefallen ist. Und dann haben wir gesagt, ok, wir versuchen des auf Basis Gelenkarm.“ (vgl. Anhang 3)

⁴¹² „Also dieses Grundprinzip, wir benutzen einen Gelenkarm, ist ja bekannt, und deswegen ham wir gesagt, des ist ein gutes Prinzip und wir können da die Relativbewegung gut verwirklichen und probieren des einfach mal adaptiv umzusetzen.“ (vgl. Anhang 3)

Prototyp zu adaptieren.⁴¹³ Die anschließenden Tests mit Prototypen führen jedoch zu keiner signifikanten Reduktion der Schwingungswerte.⁴¹⁴ Zu diesem Zeitpunkt im Projekt wird klar, dass eine schnelle Lösung ohne weitere Tests nicht zu erreichen ist. Da die Simulationsmodelle noch nicht zuverlässig die Realität abbilden, fällt die Entscheidung, einen modularen Versuchsträger aufzubauen, der leicht modifiziert werden kann, um innerhalb kurzer Zeit viele verschiedene Hardwarestände validieren zu können.⁴¹⁵ Die Entwicklung neuer Lösungen auf Basis des modularen Versuchsträgers beschreibt VP 06 wie folgt:

„Also konkret abgelaufen is’ es, XY kommt mit dem Ergebnis der Vibrationsmessung und sagt, wir sind so und so gut, oder so und so schlecht, Punkt eins. Punkt zwei is’, dass er dann immer gesagt hat, komm mal mit runter, wir filmen des mal. Schau’ dir mal an, was des System macht. [...] Wir ham’s aufgenommen mit Video und ham’s langsam ablaufen lassen. Ham geschaut, was macht die Maschine, wie bewegt sich das System, wo sieht man, dass vielleicht ’ne Kante drin is’, dass die Bewegung zum Beispiel nich’ harmonisch is’. [...] Und darauf basiert hab’ ich des mit dem XY zusammen analysiert und gesagt, wo sind die Knackpunkte, wo müss’ ma besser werden? [...] Die Richtung, was is’ denn in der Richtung jetzt entscheidend? Was passiert da? Des war so Systemverständnis aufbauen. Und was in dem Gespräch dann entstanden is’, hab’ ich dann versucht auf’s Papier zu bringen, und da gab es dann immer mal kleine Papierskizzen von mir, nur die hab’ ich nicht dokumentiert.“⁴¹⁶

Aus einem Prototypentest bekommt VP 06 die Information, dass der Meißel bei der Bearbeitung stark wippt.⁴¹⁷ Daher entscheidet sich VP 06, die vordere Lagerstelle zu verschieben und als Linearführung zu realisieren, um eine lineare Bewegung des Meißels sicherzustellen. Unbewusst verstößt sie damit gegen die zu diesem Zeitpunkt gültigen Erkenntnisse, welche durch das Messergebnis der anschließenden Vibrationsmessung widerlegt werden.⁴¹⁸ Gleichzeitig macht die

⁴¹³ *„Und daraufhin hab’ ich mich für mich allein hingesetzt und hab’ probiert, einfach mal des Gelenkarmprinzip umzumodeln auf eine Winkelbauweise. [...] Da hab’ ich gesagt, ok, bei den bisherigen Subchassis sieht’s so aus, wie könnte man das darauf adaptieren?“ (vgl. Anhang 3)*

⁴¹⁴ *„Des wurde gemacht und in der Messung dann festgestellt, so geht’s nich’. Weil wir eben diese Drehbewegung brauchen, und die wird durch diese doppelten Gelenkarme [verhindert]. [...] Da werden die Schwingungswerte gerade in der Motorachse extrem hoch.“ (vgl. Anhang 3)*

⁴¹⁵ *„Dass wir gesagt haben, wir probieren da ’n Versuchsträger aufzubauen, wo wir viel spielen können. Da eben auch die Simulation noch nicht wirklich so weit war zu sagen, ja wir wissen, dass unsere Simulation mit der Realität übereinstimmt.“ (vgl. Anhang 3)*

⁴¹⁶ vgl. Anhang 3

⁴¹⁷ *„Des war, dass der Meißel zu stark wippt. Also dass ma’ optisch gesehen hat, der Meißel neigt sich hoch und runter.“ (vgl. Anhang 3)*

⁴¹⁸ *„Und ham dann in der ersten Messung festgestellt, hoppla, stimmt so gar nich’. Also der Vibrationswert wird gar nich’ schlechter. Sondern tendenziell wird er eher besser.“ (vgl. Anhang 3)*

Validierung der entwickelten Lösungen deutlich, dass die Funktion extrem reibungsabhängig ist.⁴¹⁹ Um zu neuen Lösungen zu gelangen, welche die vordere Lagerstelle verbessern und gleichzeitig den Reibungseinfluss reduzieren, führt VP 06 einen Kreativworkshop durch, in welchem die Methode 635 angewendet wird. Auf Basis der dort entwickelten Lösungen detailliert sie insgesamt fünf Lösungsansätze im CAD-System, aus welchen in einem zweiten Workshop eine Lösung für die weitere Umsetzung ausgewählt wird.⁴²⁰ Gleichzeitig entsteht während des Workshops eine neue Idee für die Umsetzung der hinteren Lagerstelle, deren Funktionsfähigkeit im Test jedoch nicht bestätigt werden kann. Die Entscheidung fällt zugunsten der vorne umgesetzten und dadurch gut bekannten Linearführung, welche nun auf die hintere Lagerstelle adaptiert wird. Anschließend lässt VP 06 die durch Tests mit Prototypen validierte Lösung simulieren, mit der Intention das Simulationsmodell weiterzuentwickeln, um damit weitere Prototypen validieren zu können. Die Korrelation von Messung und Simulation bezüglich des modularen Versuchsträgers erweist sich als so gut, dass das Simulationsmodell in der Folgezeit zur Auslegung des Prototypen 2 genutzt wird.⁴²¹

Handlungsmuster

Bei der Ideenfindung und Modellierung von Prinzip und Gestalt ist VP 06 in dem inneren Konflikt, aufgrund des vorhandenen Zeitdrucks, die Konstruktionsprobleme nicht grundlegender betrachten zu können.⁴²² Bei der Entwicklung von Lösungen zieht sich VP 06 zunächst zurück, um die eigenen Gedanken zu sortieren und das Problem formulieren zu können. Erst im Anschluss erfolgt der Austausch mit anderen Konstrukteuren.⁴²³ Viele Ideen für neue Lösungen entstehen bei VP 06 außerhalb der regulären Arbeitszeit.⁴²⁴ Nach der ausführlichen gedanklichen Beschäftigung mit den Problemen bringt VP 06 die Gedanken in Form von groben Skizzen zu Papier.⁴²⁵ Das grafische Darstellen der Lösung ist für VP 06 dabei ein wichtiger Prozess, um

⁴¹⁹ „Was wir allerdings gesehen ham, is' großer Reibungseinfluss.“ (vgl. Anhang 3)

⁴²⁰ „Worauf dann dort eine Detailkonstruktion passiert is' mit fünf verschiedenen Varianten. Variantenauswahl dann im Zuge eines Workshops mit sieben Leuten. Also die Prototypenwerkstatt war beteiligt, die Montage war beteiligt, Versuch war beteiligt.“ (vgl. Anhang 3)

⁴²¹ „Der [modulare Versuchsträger] wurde simuliert und des hat korreliert. Und daraufhin konnte der XY aus der Simulationsabteilung in der Simulation den Prototypen 2 simulieren.“ (vgl. Anhang 3)

⁴²² „Die größte Herausforderung für mich war, dass ich immer bestrebt war, mehr Zeit zu investieren, um sich grundlegende Gedanken zu machen, aber die Zeit nicht da war.“ (vgl. Anhang 3)

⁴²³ „Weil ich muss dieses Problem im Endeffekt ein stückweit alleine lösen im ersten Schritt, weil ich muss das erst sortieren, damit ich es jemand' wieder beschreiben kann [...].“ (vgl. Anhang 3)

⁴²⁴ „Und meistens passiert des [das Lösen des Problems] beim „Laufen gehen“ abends, wenn man so 'ne Runde dreht.“ (vgl. Anhang 3)

⁴²⁵ „Ich bin da jemand, der sehr viel im Kopf denkt. [...] Aber zur Verifikation zeichne ich's dann auf. Aber nicht so, dass man's weitergeben könnt.“ (vgl. Anhang 3)

die Schwierigkeiten der Umsetzung zu identifizieren.⁴²⁶ Für die Erleichterung der Kommunikation bringt VP 06 die Skizzen in der Regel in eine digitale Form.⁴²⁷ Für die Diskussion der Konstruktion zieht VP 06 immer wieder erfahrene Konstrukteure hinzu, mit welchen sie die Lösungen oft direkt im CAD-System bespricht.⁴²⁸ Als problematisch empfindet VP 06 dabei, dass diese stark auf die Umsetzung der Lösung fixiert sind und abstrakteren Betrachtungen nur schwer folgen können.⁴²⁹

Projektbewertung

Eine hohe Bewertung erzielt das Ergebnis des Projekts hinsichtlich des Neuheitsgrades, was sich dadurch begründen lässt, dass die entwickelte Lösung durch ein Patent geschützt wird.

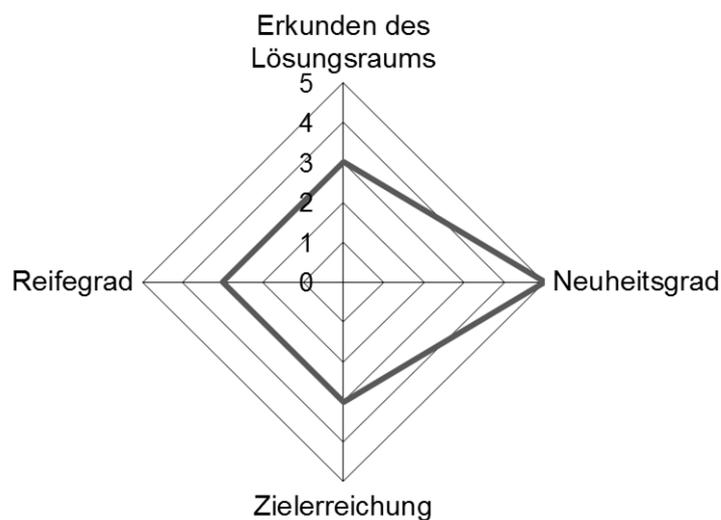


Bild 59 Projektbewertung durch VP 06

Die Erkundung des Lösungsraums, der Reifegrad und die Zielerreichung erzielen eine mittlere Bewertung, da eine systematische Betrachtung der Lösungsvielfalt nur ansatzweise durchgeführt wird und der Nachweis der Funktion über die Lebensdauer noch aussteht. Darüber hinaus steigen die Kosten wegen der zusätzlichen Bauteile.

⁴²⁶ „Des is' dann so 'ne graphische Gedankenstütze, wo ich sag', so sieht des System jetzt momentan bei mir aus [...]. Weil sich 'n System zu überlegen, is' des eine, aber die Problematiken des Systems zu erkennen im Kopf, funktioniert glaub' ich nich' wirklich.“ (vgl. Anhang 3)

⁴²⁷ „Ja. Also ich bin da relativ schnell, und konkrete Skizzen, die ich noch kommunizieren möchte, die mach' ich auch relativ schnell freihandmäßig am Rechner. [...] Powerpoint oder sonstige graphische Programme, weil ich sag', da kann ich's besser kommunizieren.“ (vgl. Anhang 3)

⁴²⁸ „Also ich hab' was gemacht, hab' mir was überlegt, hab's umgesetzt und hab' gesagt, komm mal kurz, wie sieht's aus? Was meinst du da drüber?“ (vgl. Anhang 3)

⁴²⁹ „Und da is' immer sehr viel Serie reingeflossen, also sehr viel Detail. Was ich dann oft auch gar nicht für den modularen Versuchsträger umsetzen konnte. Da natürlich die Kollegen, die gerade in 'nem TTM-Projekt stecken, natürlich sehr seriennah denken.“ (vgl. Anhang 3)

5.2 Handlungsmuster der Funktion-Gestalt-Synthese

Der folgende Abschnitt soll dazu beitragen, die individuellen Handlungsmuster der Versuchspersonen durch verschiedene Betrachtungsweisen noch stärker herauszuarbeiten. Der Fokus liegt dabei auf den gewählten Abstraktionsgraden, der Art der Lösungsauswahl und der Strukturierung gefundener Lösungen während der Funktion-Gestalt-Synthese. Darüber hinaus soll untersucht werden, wie sich das individuelle Handlungsmuster auf die Art und den Zeitpunkt der Validierung auswirkt.

5.2.1 Prozessbetrachtung

Um Unterschiede und Gemeinsamkeiten bezüglich der Aktivitäten zwischen den sechs Fallbeispielen darzustellen, ist ein gemeinsames Raster erforderlich. Hierzu wird das von ALBERS entwickelte integrierte Produktentstehungs-Modell (iPeM)⁴³⁰ herangezogen und die in den Fallbeispielen beschriebenen Tätigkeiten den Aktivitäten der Produktentstehung zugeordnet. Auf diese Weise können die Anwendungsmodelle⁴³¹ der verschiedenen Fallbeispiele dargestellt und untereinander verglichen werden (Bild 60).

Die Betrachtung der Anwendungsmodelle der sechs Fallbeispiele zeigt, dass die Modellierung von Prinzip und Gestalt die dominierende Aktivität im Projektverlauf darstellt, mit welcher die untersuchten Konstrukteure die meiste Zeit verbringen. Eine ebenfalls elementare Rolle spielt die Validierung, welche immer wieder im Wechsel mit der Modellierung von Prinzip und Gestalt durchgeführt wird.⁴³² Starke Unterschiede lassen sich bei der Ausprägung der Ideenfindung⁴³³ beobachten, welche gewöhnlich im Vorfeld der Modellierung von Prinzip und Gestalt stattfindet und den Suchraum für die Lösungssuche eingrenzt. Eine stark ausgeprägte Ideenfindung kann bei den Fallbeispielen 1 und 4 beobachtet werden. Dies bedeutet, dass hier eine vornehmlich gestaltlose Entwicklung von Lösungsansätzen auf abstrakter Ebene durchgeführt wird. Auswirkungen dieser zeitlich ausgedehnten Ideenfindung sind besonders in Fallbeispiel 1 und 4 ein „später“ Übergang in die Modellierung von Prinzip und Gestalt und eine lange erste Entwicklungsschleife. Im Gegensatz dazu ist die Ideenfindung, und damit die Lösungssuche auf abstrakter Ebene, in Fallbeispiel 2 und 5 praktisch nicht vorhanden. Hier werden neue Lösungen primär auf konkreter Ebene entwickelt, was dazu führt, dass die Problemlösung fast direkt mit der Modellierung von Prinzip und Gestalt beginnt.

⁴³⁰ vgl. Abschnitt 2.2.3

⁴³¹ vgl. Abschnitt 2.2.3

⁴³² vgl. Albers 2010

⁴³³ Hinter der „Ideenfindung“ des iPeM verbirgt sich die Lösungssuche auf relativ abstrakter Ebene.

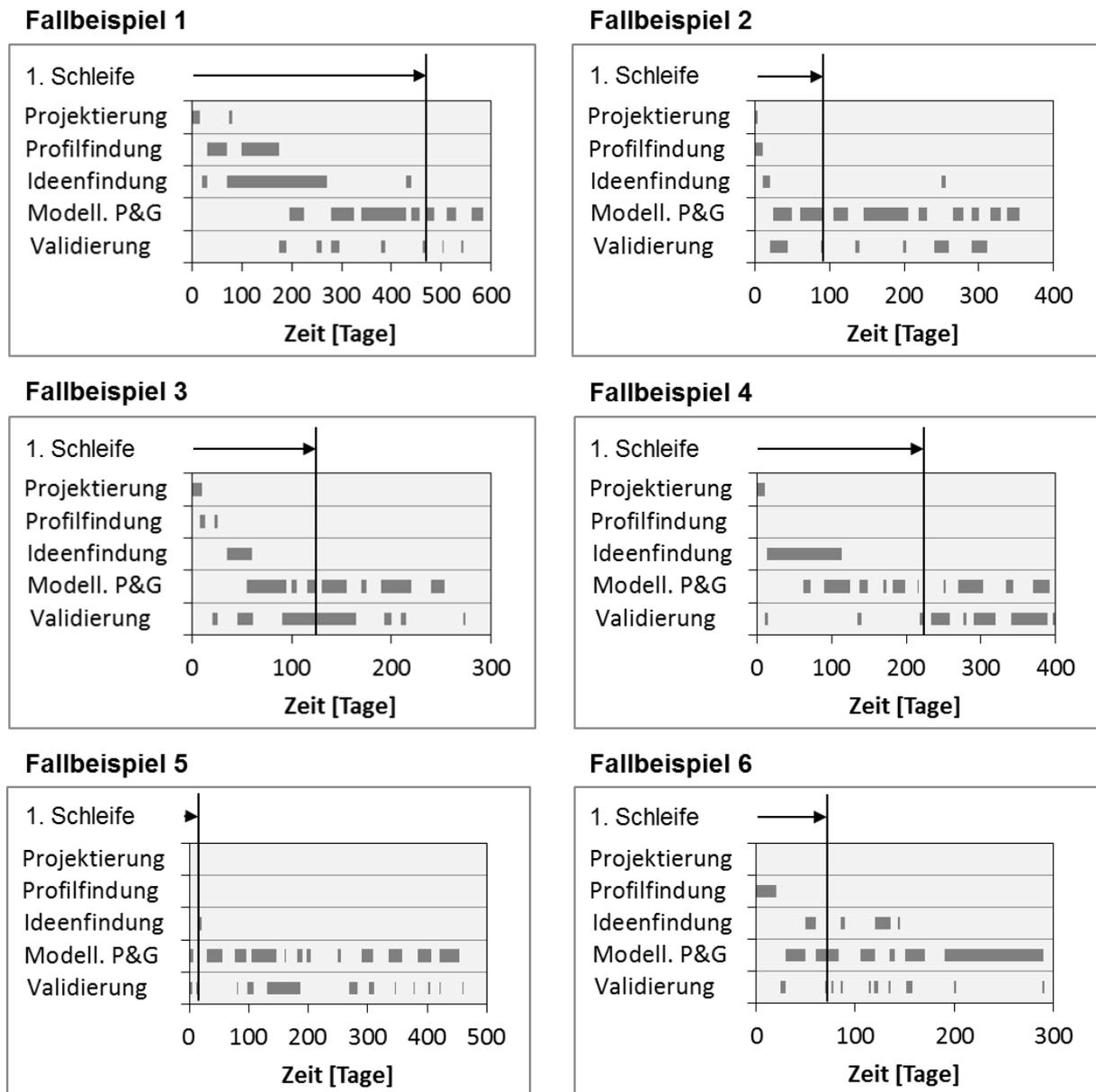


Bild 60 Phasenmodelle (Anwendungsmodelle) der Fallbeispiele

Zur differenzierten Untersuchung der individuellen Handlungsmuster bei der Funktion-Gestalt-Synthese in der 1. Entwicklungsschleife werden im Folgenden die „Aktivitäten der Produktentstehung“ nach den „Aktivitäten der Problemlösung“⁴³⁴ aufgeschlüsselt. Für die einzelnen Tätigkeiten wird anschließend unterschieden, ob diese primär mit Kollegen „im Team“ oder „allein“ durchgeführt werden. Gleichzeitig findet eine Unterscheidung statt, ob die Durchführung mental oder objektbasiert abläuft. Im Fokus der Betrachtung stehen die Ideenfindung und die Modellierung von

⁴³⁴ vgl. Abschnitt 2.2.3

Prinzip und Gestalt. Mitbetrachtet wird auch die Validierung, da diese stellenweise die Funktion-Gestalt-Synthese beeinflusst (Bild 61). Die Darstellung erfasst die im Interview und bei der indirekten und direkten Beobachtung identifizierten Aktivitäten auf übergeordneter Ebene, ohne dabei die Problemlösungsschritte auf untergeordneter Hierarchieebene⁴³⁵ zu berücksichtigen. Dabei wird durch schwarze Pfeile die Vorgänger-Nachfolger-Beziehung visualisiert, während graue Pfeile die Berücksichtigung der aus einer Tätigkeit gewonnen Erkenntnisse anzeigen.

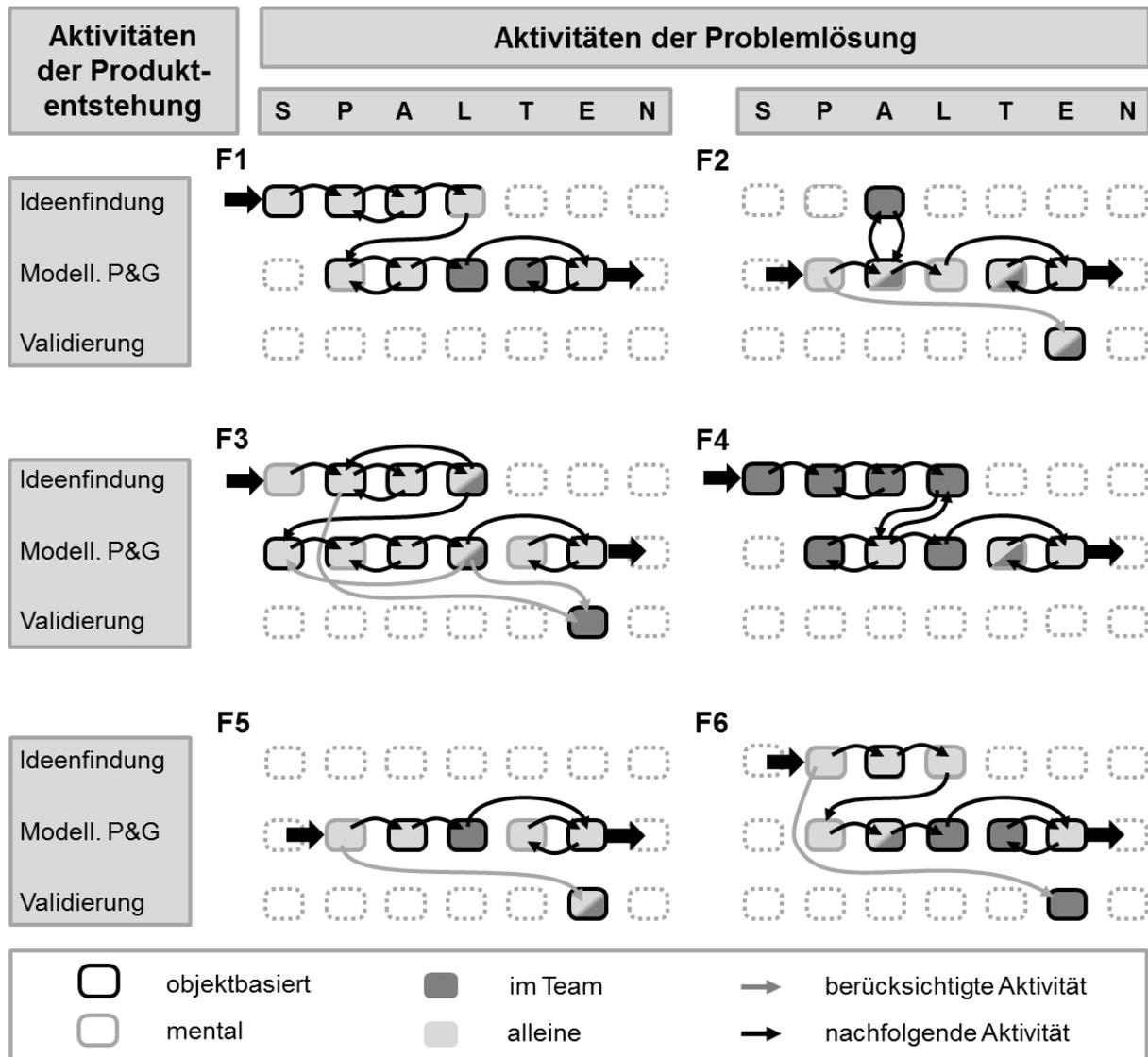


Bild 61 Handlungsmuster der Funktion-Gestalt-Synthese (1. Entwicklungsschleife)

Die Betrachtung der verschiedenen Handlungsmuster in der Funktion-Gestalt-Synthese zeigt, dass einigen Aktivitäten der Problemlösung keine Tätigkeiten

⁴³⁵ vgl. Albers et al. 2010

zugeordnet werden können. Besonders die „Tragweitenanalyse“, „Einführen und Umsetzen“ sowie „Nachbereiten und Lernen“ werden auf Ebene der Ideenfindung kaum explizit durchgeführt. Bei der „Tragweitenanalyse“ steht der Anwender vor dem Problem, dass er auf der abstrakten Ebene der Ideenfindung meist nicht in der Lage ist, Risiken für eine Lösung ohne Berücksichtigung der Gestalt abzuschätzen. Gleichzeitig findet das „Einführen und Umsetzen“ der Ideen vorwiegend zusammen mit dem Übergang in die „Modellierung von Prinzip und Gestalt“ statt. Tätigkeiten, die dem „Nachbereiten und Lernen“ zugeordnet werden können, werden im Rahmen der Untersuchungen nicht beobachtet.

Die Analyse der durchgeführten Aktivitäten zeigt, dass die „Situationsanalyse“ und „Problemeingrenzung“ in der Ideenfindung und Modellierung von Prinzip und Gestalt fast ausschließlich alleine und überwiegend mental durchgeführt wird. Dabei werden zur Ermittlung der kausalen Zusammenhänge in den meisten Fallbeispielen Ergebnisse der Validierung berücksichtigt. Neben eigenhändig durchgeführten Tests an physikalischen Versuchsmustern (Fallbeispiele 2 und 5) spielt hier das Filmen der Testaktivitäten eine wichtige Rolle, um dynamische Abläufe zu analysieren (Fallbeispiel 6). Alternativ wird Systemverständnis auch durch Validierung digitaler Versuchsmuster in Form von Parameterstudien aufgebaut (Fallbeispiel 3).

Große Unterschiede zwischen den verschiedenen Projekten zeigen sich auch in der Abfolge der Aktivitäten. Bei den Fallbeispielen 1 und 3 und in Ansätzen auch in Fallbeispiel 4 ist ein mehrfaches Wechseln zwischen der „Problemeingrenzung“ und der „Suche nach alternativen Lösungen“ zu beobachten. Nach Angabe der VP (VP 01, VP 03)⁴³⁶ wird dadurch eine „Vollständigkeit“ der Betrachtung des Lösungsraums erzielt, was auch mit den Ergebnissen des Fragebogens korrespondiert. Als Wesentliche Tätigkeiten sind dabei innerhalb der Problemeingrenzung die Abstraktion und die Strukturierung zu sehen. Die Abstraktion hat die Funktion, eine Lösungsbeschreibung interpretierbar zu machen. Auf diese Weise wird eine Vielzahl von möglichen Umsetzungen abgedeckt. Durch die Strukturierung der Lösungsbeschreibungen entsteht eine Ordnung in Form eines Lösungsfelds oder Lösungsraums, für welchen im Folgenden gezielt konkrete Umsetzungen gesucht werden können. In den genannten Fallbeispielen werden diesem Zeitraum eine Vielzahl unterschiedlicher Darstellungen des Konstruktionsobjekts angefertigt.

Bei der Erstellung von neuen Lösungen agieren die Konstrukteure überwiegend autark. Eine Ausnahme kann in Fallbeispiel 4 beobachtet werden. VP 04 hat erkannt,

⁴³⁶ vgl. Interview VP 01 Anhang 3; vgl. Interview VP 03 Anhang 3

dass ihr das Skizzieren und Entwickeln von Lösungen auf abstraktem Niveau nicht liegt.⁴³⁷ Ihre Strategie ist daher, diese „individuellen Schwächen“ durch das Team auszugleichen. Auf diese Weise entsteht in der Anfangsphase des Projekts eine Vielzahl von Ideen, aus welchen teilweise Lösungskonzepte in Form von Skizzen abgeleitet werden.

Neben der „Lösungsauswahl“ ist es vor allem die „Tragweitenanalyse“ bei der Modellierung von Prinzip und Gestalt, welche von den weniger erfahrenen Konstrukteuren (VP 01 und VP 06) überwiegend im Team durchgeführt wird. Die erfahrenen Konstrukteure der hier betrachteten Fallbeispiele passen ihr Verhalten eher der Situation an. In Notsituationen geht die Tendenz dahin, auf eine „Tragweitenanalyse“ im Team zu verzichten und sich auf das Erfahrungswissen zu verlassen.

Durch Verzicht auf eine abstrakte Ideenfindung und durch die mentale und selbständige Durchführung von Problemlösungsaktivitäten, realisieren die Versuchspersonen VP 02 und VP 05 extrem schnelle Übergänge zum Einführen und Umsetzen einer modellierten Gestalt. Auf diese Weise erreichen Konstrukteure mit Fokus auf eine schnelle, konkrete Lösungssuche (VP 02, VP 05, VP 06) gegenüber Konstrukteuren mit Fokus auf eine „vollständige“ Lösungssuche (VP 01, VP 03, VP 04) einen Zeitvorteil, der ihnen ermöglicht, früher in die Validierung von Lösungen anhand von Prototypen einzusteigen und somit kürzere Entwicklungsschleifen zu realisieren. Im Gegenzug sind diese Konstrukteure oft nicht in der Lage, die Güte der gefundenen Lösung einzuschätzen und können beim Scheitern der Lösung nicht auf andere, bereits entwickelte Lösungen zurückgreifen.

5.2.2 Abstraktionsgrade

Bei der Rekonstruktion der in der Lösungssuche beschrittenen Abstraktionsgrade stellt sich die grundsätzliche Problematik, dass die gedanklichen Abläufe bei der Entwicklung neuer Lösungen nicht zweifelsfrei geklärt werden können. Die vorliegende Arbeit versucht daher, die Abstraktionsgrade der Lösungssuche vorwiegend anhand der in der Ideenfindung und der Modellierung von Prinzip und Gestalt erstellten Objekte nachzuvollziehen (Bild 62). Berücksichtigt werden darüber hinaus die durchgeführten Interviews und Erkenntnisse der direkten Beobachtungen.

⁴³⁷ vgl. Interview VP 04 Anhang 3

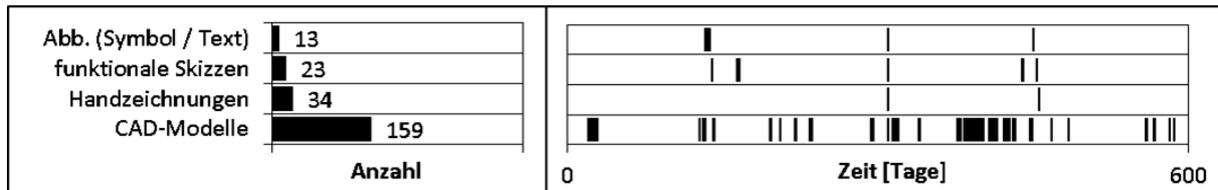
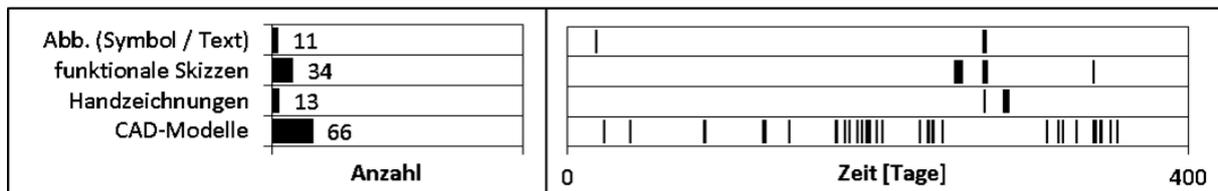
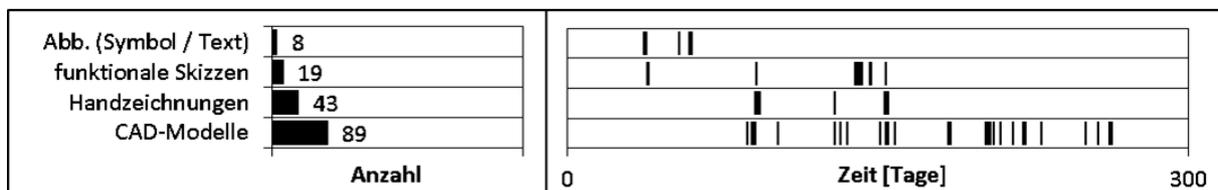
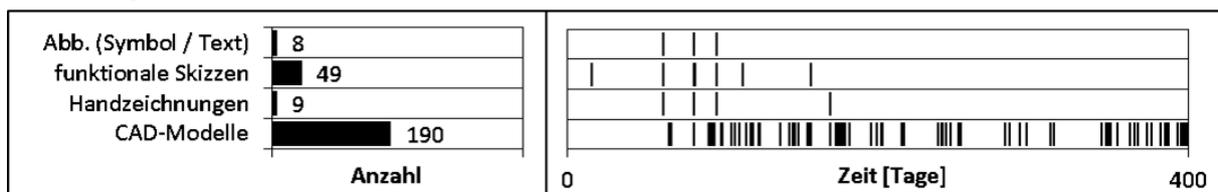
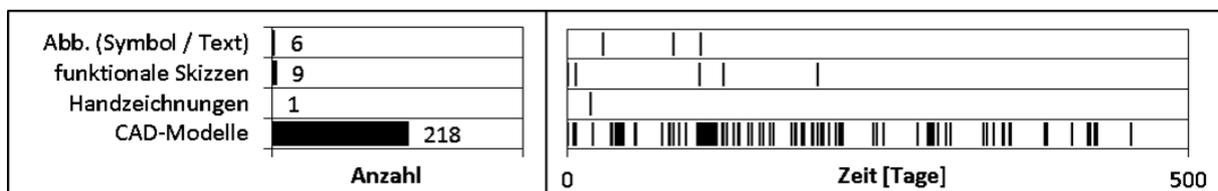
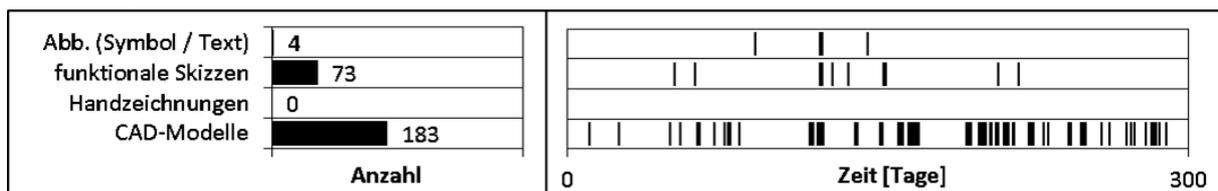
Fallbeispiel 1**Fallbeispiel 2****Fallbeispiel 3****Fallbeispiel 4****Fallbeispiel 5****Fallbeispiel 6**

Bild 62 Objekte der Ideenfindung und Modellierung von Prinzip und Gestalt

Die Analyse der während der Ideenfindung und Modellierung von Prinzip und Gestalt erstellten Objekte zeigt, dass die meisten Darstellungen des Konstruktionsobjekts im Laufe des Projekts auf Basis von CAD-Modellen entstehen. Dem gegenüber steht eine weitaus geringere Anzahl „abstrakter“ Darstellungen (symbolische oder textuelle Abbildungen, funktionale Skizzen, Handzeichnungen), deren Verteilung und Entstehungszeitpunkt unter den Fallbeispielen stark divergiert.

In den Fallbeispielen 1 und 3 beginnt die Problemlösung mit zunächst wenigen Abbildungen auf Basis von Text und Symbolen, welche auf abstrakter Ebene mögliche Alternativen für die Umsetzung beschreiben. Schrittweise werden in der Folgezeit einzelne Alternativen detailliert und funktionale Zusammenhänge skizziert. Dabei wird die Gestalt direkt in den Darstellungen sichtbar. In beiden Fallbeispielen nimmt mit abnehmendem Abstraktionsgrad die Anzahl der erstellten Darstellungen zu, was damit zu erklären ist, dass eine abstrakte Lösung eine Vielzahl von möglichen, konkreten Umsetzungen beinhaltet.

Ob die Lösungssuche auf konkreter oder abstrakter Ebene beginnt, hängt dabei auch stark von der Vorkenntnis des Konstrukteurs bezüglich des von ihm zu bearbeitenden Systems ab. Die untersuchten Projekte zeigen, dass Konstrukteure mit langjähriger Berufserfahrung und genauer Kenntnis von dem zu bearbeitenden System nicht mit der Analyse einer problemunspezifischen, konkreten Darstellung beginnen, sondern direkt mit einer fokussierten, abstrakten Beschreibung in die Problemlösung einsteigen (Fallbeispiele 2, 3, 4).

In den Fallbeispielen 2, 4 und 6 ist die Bildung von abstrakten Darstellungen stark durch die in den Fallbeispielen durchgeführten Kreativworkshops beeinflusst. Die zeitliche Begrenzung und der zeitliche Druck, in solchen Sitzungen Lösungen zu entwickeln, führt überwiegend zur Erstellung von funktionalen Skizzen, was sich besonders in Fallbeispiel 6 zeigt. Darüber hinaus erstellt VP 06 jedoch auch viele funktionale Skizzen im Projektverlauf selbst. Eher gegensätzlich ist hier das Verhalten von VP 02 und VP 04, welche während der eigenständig durchgeführten Aktivitäten praktisch keine abstrakten Darstellungen erzeugen. In extremer Form ist dieses Verhalten auch bei VP 05 zu beobachten, welche Lösungen fast ausschließlich sehr konkret im CAD-System entwickelt. Auch hier entstehen die dokumentierten, abstrakten Darstellungen primär in Zusammenarbeit mit anderen Konstrukteuren.

Insgesamt betrachtet zeigt sich, dass ein Teil der Konstrukteure bei der Lösung von Konstruktionsproblemen zu Beginn einen hohen Abstraktionsgrad wählt, und die entwickelten Alternativen schrittweise auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen detailliert (VP 01 und VP 03). Gleichzeitig sind auch Handlungsmuster zu beobachten, bei denen die Entwicklung von Lösungen primär konkret und detailliert abläuft (VP 05).

5.2.3 Lösungsraumbetrachtung

Die Suche nach alternativen Lösungen, und damit das Erkunden des vorhandenen Lösungsraums, wird in den sechs Fallbeispielen auf sehr unterschiedliche Art und Weise und mit unterschiedlicher Intensität durchgeführt. Um dies visuell darzustellen,

wird der vorhandene Lösungsraum und die darin entwickelten Lösungen in jedem Projekt vereinfacht qualitativ über den Projektverlauf dargestellt (Bild 63, Bild 64).

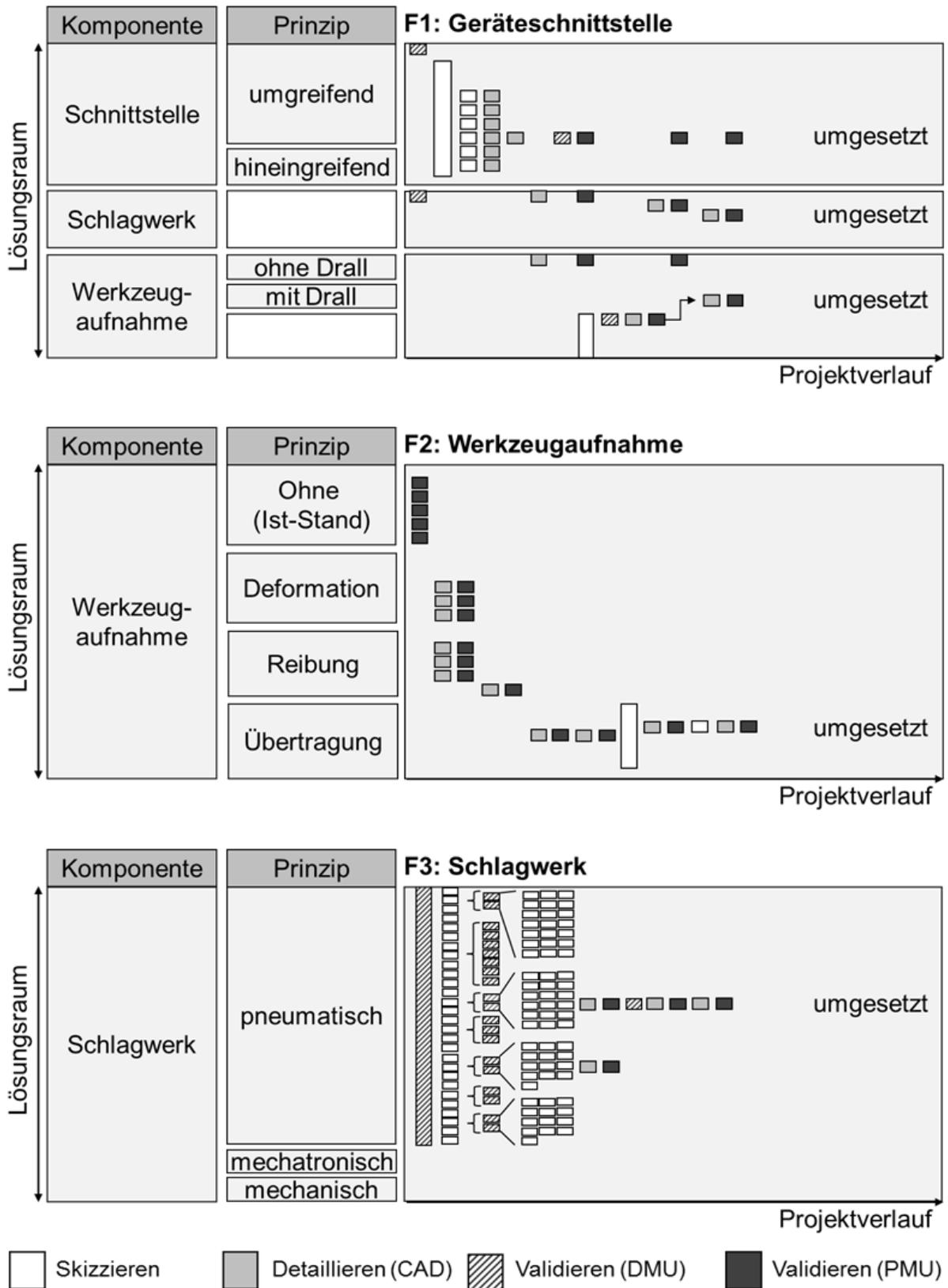


Bild 63 Betrachteter Lösungsraum über den Projektverlauf (F1, F2, F3)

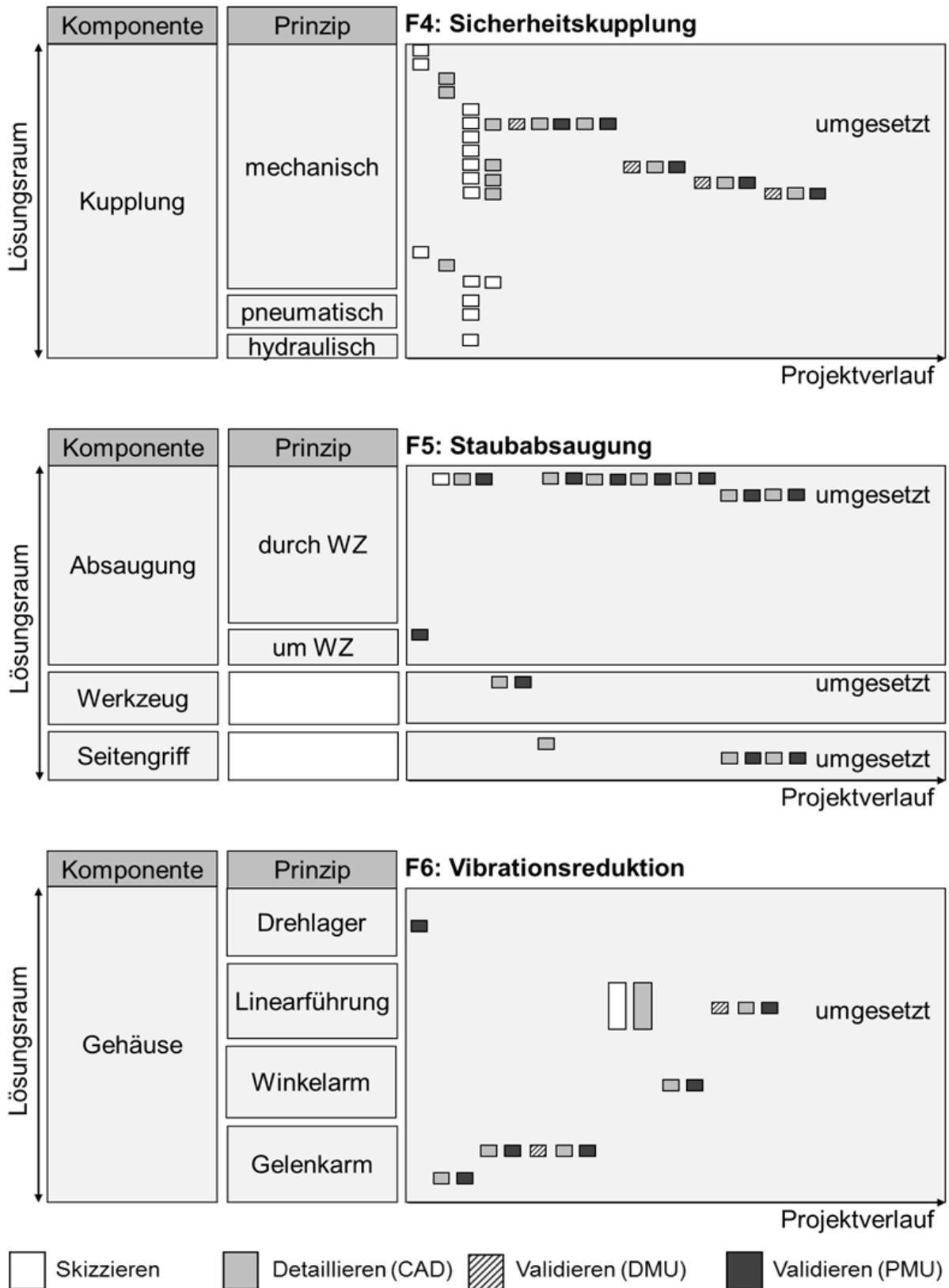


Bild 64 Betrachteter Lösungsraum über den Projektverlauf (F4, F5, F6)

In den dazu bereitgestellten Abbildungen sind die für die Problemlösung wichtigen Tätigkeiten verschieden gekennzeichnet, um die Unterschiede der einzelnen

Handlungsmuster besser zu visualisieren. Unterschieden werden die Tätigkeiten Skizzieren, Detaillieren (CAD-Modelle) und Validieren. Innerhalb der Validierung wird zusätzlich unterschieden, ob diese auf digitalen Versuchsmustern (Digital Mock-Up (DMU)), oder realen Versuchsmodellen bzw. Prototypen (Physical Mock-Up (PMU)) basiert. Die vertikale Ausdehnung der Darstellungen bezeichnet die Größe des vorhandenen Lösungsraums. Somit gibt die vertikale Position einer Tätigkeit an, zu welcher Komponente und welchem Prinzip diese zugeordnet werden kann.

Die Betrachtung der Fallbeispiele auf diese stark vereinfachte qualitative Art zeigt bereits deutliche Unterschiede. Während in den Fallbeispielen 1, 3 und 4 mehrere Ideen parallel durch Skizzieren entwickelt werden, wird in den Fallbeispielen 5 und 6 zu jedem Projektzeitpunkt primär eine Lösung verfolgt, welche meist direkt im CAD-System detailliert wird. Zwischen den Fallbeispielen 5 und 6 besteht der Unterschied im Wesentlichen darin, dass in Fallbeispiel 5 die umgesetzte Lösung bereits früh identifiziert wird, während in Fallbeispiel 6 mehrere Konfigurationen getestet werden, bis die später umgesetzte Lösung gefunden wird. Fallbeispiel 2 liegt zwischen beiden Extremen. Hier wird zu Beginn eine parallele Entwicklung von mehreren Lösungen im CAD-System durchgeführt und anschließend eine Lösung weiter verfolgt. Die an dieser Stelle angewendete Unterscheidung in eine parallele und eine sequentielle Entwicklung von Lösungen ist weitestgehend vergleichbar mit der von DYLLA⁴³⁸ identifizierten generierenden und korrigierenden Variation und untermauert deren empirische Relevanz. Zu beobachten ist in allen Fallbeispielen, dass die Konstrukteure besonders bei der Detaillierung im CAD-System in der späteren Projektphase eher zu einem korrigierenden Handlungsmuster neigen.

Das parallele Entwickeln von Ideen (generierende Variation) verfolgt die Intention, eine gewisse „Vollständigkeit“ bei der Lösungssuche zu erzielen. Wichtig ist dabei eine gute Abstimmung des Abstraktionsgrads der Lösungssuche auf die zu bearbeitende Problemstellung. In den Fallbeispielen 1, 3 und 4 werden zu Beginn abstrakte Darstellungen des Konstruktionsobjekts erstellt, welche interpretierbar sind und somit viele mögliche Umsetzungen gleichzeitig repräsentieren. Auf diese Weise müssen für eine „vollständige“ Betrachtung nicht unendlich viele Darstellungen erstellt werden. Parallel zur gedanklichen Entwicklung neuer Lösungen wird zur Überprüfung der „Vollständigkeit“ von den entsprechenden Versuchspersonen eine Struktur des Lösungsraums (z. B. in Form von Mind-Maps, Ordnungsschemata) erzeugt, in welche sie die gefundenen Lösungen einsortieren. Der Ablauf einer solchen Strukturierung lässt sich gut an einem Beispiel aus der Entwicklungstätigkeit

⁴³⁸ vgl. Abschnitt 2.3.2

von VP 01 nachvollziehen, in welcher die Methode des „lauten Denkens“ angewendet wird.⁴³⁹ In diesem Beispiel geht es darum, eine leicht demontierbare axiale Sicherung auf einer Welle zu realisieren. Bei der Suche nach alternativen Lösungen entwickelt VP 01 in ca. 100 Minuten Entwicklungszeit sieben Lösungen, welche sie in einer Struktur abbildet (Bild 65).

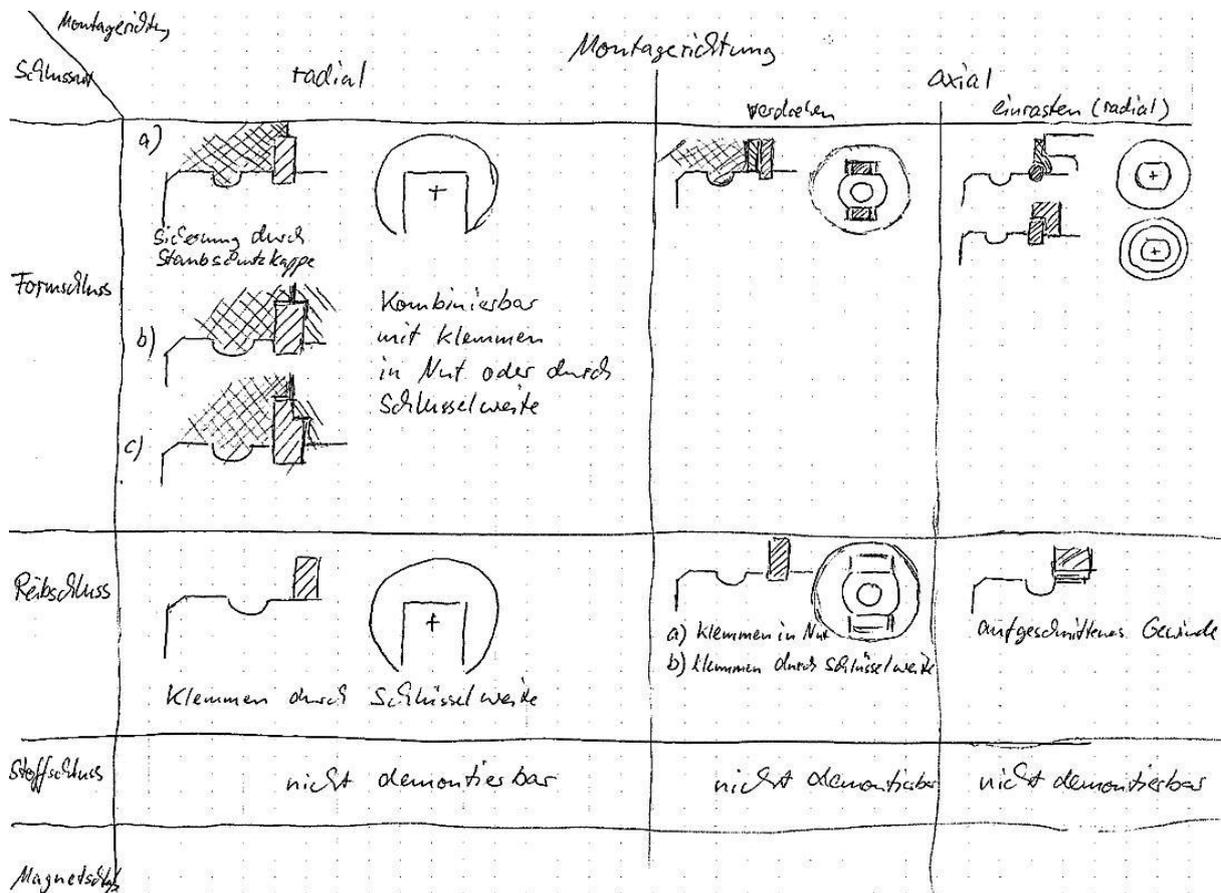


Bild 65 Struktur des Lösungsraums nach 100 Minuten bei VP 01

Die Lösungssuche dieses Beispiels beginnt mit einer kurzen Problemanalyse und Zieldefinition. Nach ca. 10 Minuten geht VP 01 dazu über, erste Ideen gedanklich zu entwickeln (Bild 66). Nach dem visuellen Darstellen der Ideen in Skizzen werden diese im Folgenden mit der bestehenden Lösung verglichen, um Unterscheidungskriterien zwischen den Lösungen zu identifizieren. Auf diese Weise entsteht eine erste Struktur, welche durch das Hinzukommen weiterer Lösungen in der Folgezeit schrittweise erweitert und konkretisiert wird.

⁴³⁹ Protokollierter Ablauf des Experiments siehe Anhang 3

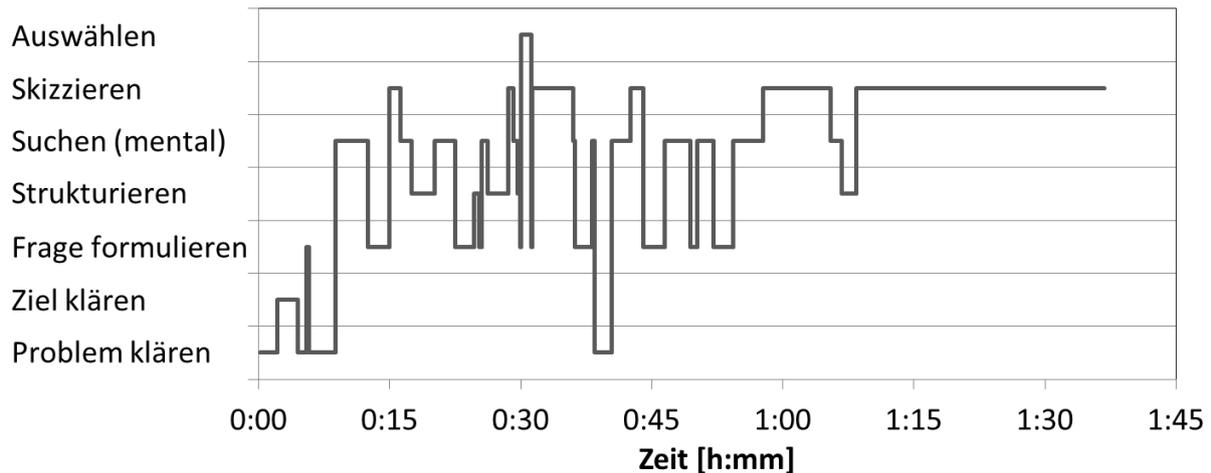


Bild 66 Suche nach alternativen Lösungen bei VP 01

Bei der Suche nach neuen Lösungen werden die meisten Lösungen zunächst gedanklich durchdacht, bevor sie in Skizzen festgehalten werden. Gleichzeitig entstehen auch beim Skizzieren selbst noch weitere Lösungen. Ein Kernelement in der Vorgehensweise von VP 01 sind Fragestellungen, welche VP 01 stark an der Struktur orientiert, um gezielt für einzelne Felder der Matrix Lösungen zu suchen. Durch dieses aktive Eingreifen in die eigenen Denkprozesse gelingt es VP 01 mehrfach, die scheinbar in eine Sackgasse gelangte mentale Suche neu zu beleben und Denkblockaden zu überwinden. Auch VP 03 beschreibt diesen Prozess auf sehr ähnliche Weise.⁴⁴⁰

In den Fallbeispielen sind es besonders VP 01 und VP 03, welche durch ein ständiges Wechseln zwischen verschiedenen Tätigkeiten (auch der Problemeingrenzung) innerhalb der Suche nach alternativen Lösungen versuchen, die Gesamtheit der möglichen Umsetzungen darzustellen. Da dies auf konkreter Ebene aufgrund der vielfältigen Beschreibungsmöglichkeiten und Ausprägungen zu einer nicht handhabbaren Menge an Darstellungen führen würde, müssen die Konstrukteure eine konkrete Problemstellung zunächst abstrahieren, um diese auf abstrakter Ebene unter stark vereinfachter Beschreibung vollständig betrachten zu können. Anschaulich darstellbar ist dieser Zusammenhang in dem Abstraktions-Kegel-Modell, in welchem die handhabbare Informationsmenge bzw. Lösungsanzahl den Betrachtungswinkel des Lösungsraums festlegt (Bild 67).

⁴⁴⁰ vgl. Interview VP 03 Anhang 3

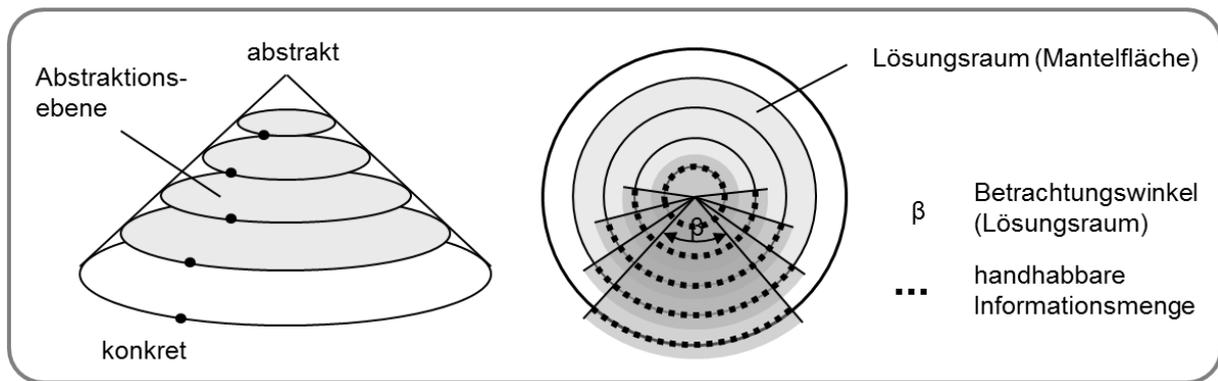


Bild 67 Abstraktions-Kegel-Modell

Bei der Konkretisierung muss die Lösungsauswahl auf mehreren Abstraktionsebenen durchgeführt werden, da ein zu großer Konkretisierungsschritt wieder zu einer unüberschaubaren Lösungsmenge und damit zwangsläufig zu einer Unvollständigkeit in der Lösungssuche führen würde. Die nächste Abstraktionsebene bzw. Konkretisierungsebene richtet sich somit nach der gerade noch handhabbaren Informationsmenge der Lösungsvielfalt. Dabei kann die handhabbare Informationsmenge stellenweise durch eine Betrachtung mit Berechnungsmodellen erhöht werden, was z. B. VP 03 zu einer umfangreicheren Lösungssuche auf niedrigem Abstraktionsgrad nutzt.

Gleichzeitig entsteht beim Entwickeln von Lösungen auf hoher Abstraktionsebene das Problem, dass viele Lösungen abstrakt nicht vorstellbar sind und daher mithilfe konkreter Umsetzungen in der Gestalt durchdacht werden müssen.⁴⁴¹ Umgekehrt sind es auch immer wieder Ideen für konkrete Lösungen, die anschließend durch einen Abstraktionsschritt auf höherem Abstraktionsgrad veranschaulicht und eingeordnet werden. Auf diese Weise lassen sich Stoßrichtungen und Fragestellungen für weitere Entwicklungstätigkeiten ableiten, welche oft erneut auf konkreter Ebene durchdacht werden. Dabei ist das freie Springen zwischen den Abstraktionsebenen auch für das schnelle Bewerten von abstrakten Lösungsansätzen absolut notwendig und entspricht der sprunghaften Denkweise des Konstrukteurs. Diese überwiegend unstrukturiert und mental ablaufenden Vorgänge sind Teil eines übergeordneten strukturierten Ablaufs, in welchem der Konstrukteur zur „vollständigen“ Betrachtung des Lösungsraums auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen zwischen Lösungsauswahl, der Suche nach alternativen Lösungen und der Konkretisierung wechselt (Bild 68).

⁴⁴¹ vgl. Interview VP 03 Anhang 3

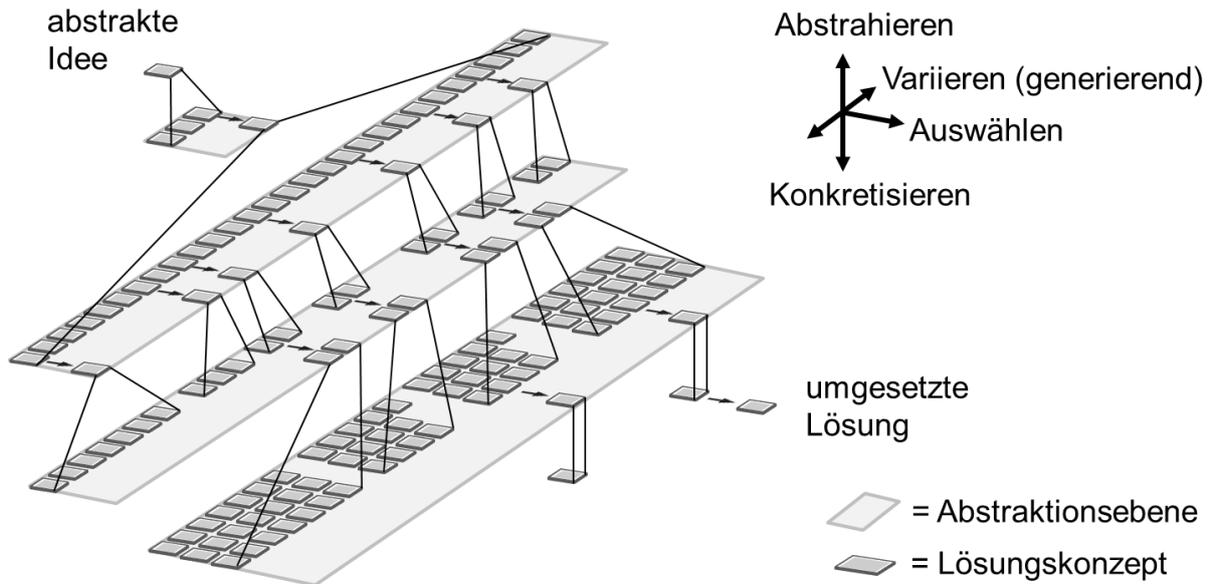


Bild 68 Handlungsmuster von VP 03 bei der Erkundung des Lösungsraums

Die Lösungssuche ist dabei auf abstrakter Ebene sehr breit angelegt (großer Betrachtungswinkel) und wird mit zunehmender Konkretisierung fokussiert (kleiner Betrachtungswinkel, Bild 67). Im Sinne einer effektiven und effizienten Vorgehensweise ist die Reihenfolge der Konstruktions-Entscheidungen und die Wahl der Abstraktionsgrade von großer Bedeutung.

Dem gegenüber stehen die Fallbeispiele 2, 5 und 6 mit einer vorwiegend sequentiellen Entwicklung von Lösungen (korrigierende Variation). Die Problemeingrenzung erfolgt hier im Wesentlichen auf Basis von Testergebnissen der Validierung mit Prototypen. Das anschließende Entwickeln neuer Lösungen erfolgt auf konkreter Ebene vornehmlich direkt im CAD-System. Dabei unterscheiden die Konstrukteure auch innerhalb des CAD-Systems vereinfachte, abstrakte Modelle von detaillierten, fertigungstechnisch ausgereiften Modellen. Aufgrund des hohen zeitlichen Aufwands der Erstellung von Alternativen im CAD-System wird meist nur eine geringe Anzahl an Alternativen entwickelt, was eine Lösungsauswahl oft stark vereinfacht oder überflüssig macht. Auf diese Weise ist ein sehr schnelles Validieren der Lösungen auf Basis von Prototypen möglich. Werden dabei nicht die gewünschten Ergebnisse erreicht, wird eine neue Lösung entwickelt und getestet. Für die Konstrukteure mit diesem Handlungsmuster ergibt sich die Problematik, dass es auf konkreter Ebene eine schier unermessliche Anzahl an möglichen Umsetzungen gibt, welche sie in ihrer Gesamtheit unmöglich erfassen können. Daher sind die Konstrukteure bei der Umsetzung einer Lösung meist nicht in der Lage abzuschätzen, ob vielleicht besser funktionierende Lösungen oder andere

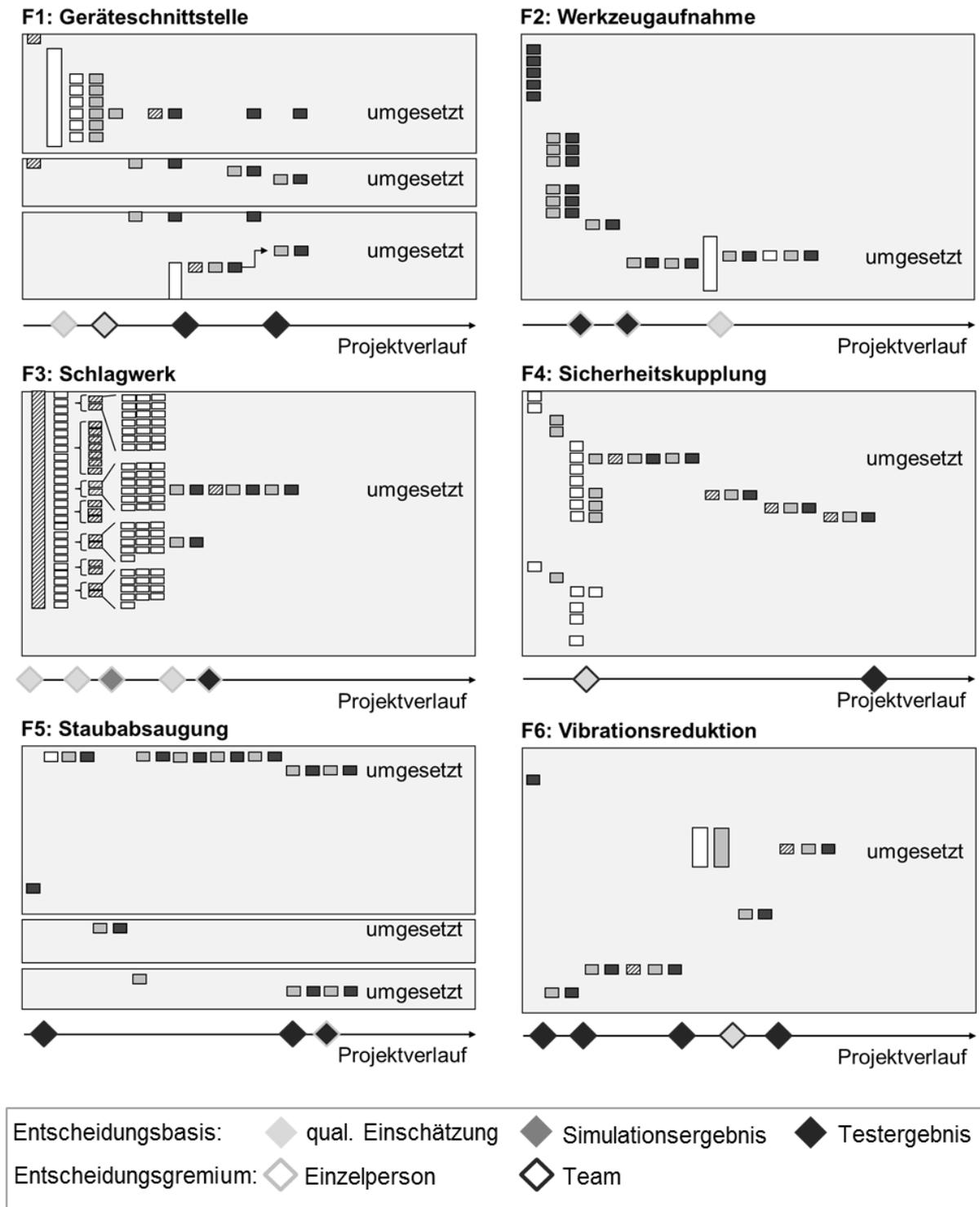
Lösungen mit großem Erfolgspotential existieren. Erkennbar ist dies auch an der niedrigen Bewertung für das Erkunden des Lösungsraums (VP 02, VP 05, VP 06).

5.2.4 Lösungsauswahl

Wie bereits von STAUFFER und ULLMAN⁴⁴² beobachtet, zeigt sich auch in den hier beobachteten Fallbeispielen, dass viele Entscheidungen auf Basis von qualitativen und subjektiven Einschätzungen getroffen werden. Besonders während der Funktion-Gestalt-Synthese werden häufig mögliche Lösungen ignoriert, da diese als nicht praktikabel erachtet werden. Diese Entscheidungen sind meist nicht dokumentiert und können folglich an dieser Stelle nicht näher untersucht werden. Der Fokus liegt daher auf den übergeordneten Entscheidungsprozessen, welche den Projektverlauf maßgeblich bestimmen. Auch hier kann beobachtet werden, dass die Lösungen überwiegend bewusst ausgeschlossen werden, anstatt diese gezielt auszuwählen. Offensichtlich fällt es Konstrukteuren leichter sich von unsinnigen Lösungen zu verabschieden, als zwischen mehreren scheinbar gleichwertigen Lösungen zu entscheiden. Demzufolge werden Lösungen meist so lange weiter detailliert, bis ihre Nachteile direkt sichtbar werden. Der Ausschluss basiert dabei größtenteils auf einer Abschätzung von Machbarkeit und Zielerreichung. Diese Art der Entscheidung wird meist vom Konstrukteur selbst, oder in Absprache mit einem Kollegen getroffen und hängt stark von dessen Erfahrungen und subjektiven Einschätzungen ab.

Unterschiede zeigen sich zwischen den Fallbeispielen bezüglich der Art und Häufigkeit der Lösungsauswahl innerhalb einer Entwicklungsschleife. Sie sind dabei stark vom Handlungsmuster der Versuchsperson und vom Abstraktionsgrad der Lösung abhängig. Die größten Unterschiede werden zwischen Fallbeispiel 3 und 5 sichtbar (Bild 69). Während VP 03 die Lösungsvielfalt auf mehreren Abstraktionsebenen auf unterschiedlicher Basis (qualitative Einschätzung, Simulationsergebnis, Testergebnis) reduziert, beschränkt sich VP 05 in erster Linie auf die in den Tests von Prototypen gewonnenen Erkenntnisse, in denen eine alte Lösung zugunsten einer neuen verlassen wird.

⁴⁴² vgl. Abschnitt 2.3.2

Bild 69 Auswahl der umgesetzten Lösung⁴⁴³

Die intensive Betrachtung der Fallbeispiele macht außerdem deutlich, dass die Art der Lösungsauswahl auch stark von der Repräsentation des Konstruktionsobjekts

⁴⁴³ Abbildung bezieht sich auf die Darstellung des Betrachteten Lösungsraums in Bild 63 und Bild 64

abhängt. Bei einer abstrakten Darstellung des Konstruktionsobjekts kann daher eine Lösungsauswahl nur auf Basis einer qualitativen Einschätzung durch Erfahrung und Logik erfolgen. Existieren bereits Berechnungsmodelle für die Repräsentationsform des aktuellen Abstraktionsgrads, ist auch eine Validierung durch digitale Versuchsmuster (DMU), und damit eine Auswahl auf Basis von Simulationsergebnissen möglich. Erst durch eine vollständige Konkretisierung der Gestalt kann auch die Lösungsauswahl auf Basis von Testergebnissen mit Prototypen (PMU) durchgeführt werden. Auf diese Weise bestimmen der Abstraktionsgrad und die vorhandenen Berechnungsmodelle welche Art der Validierung durchgeführt werden kann (Bild 70).

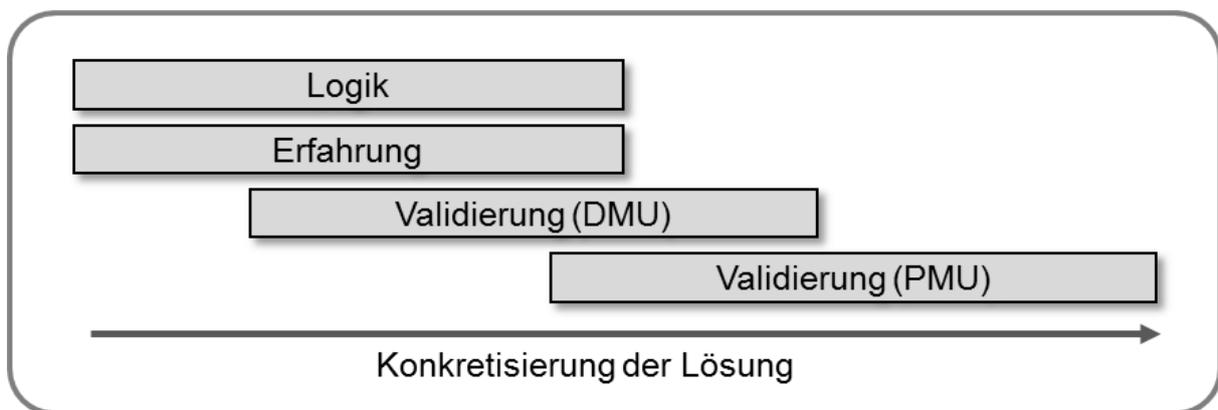


Bild 70 Eingesetzte Praktiken zur Eingrenzung der Lösungsvielfalt

Bezüglich der in den vorangegangenen Abschnitten beobachteten Handlungsmuster lässt sich schlussfolgern, dass die Fallbeispiele mit sequentieller Lösungssuche auf primär konkreter Ebene nicht funktionierende Lösungen überwiegend durch Validierung von Prototypen ausschließen. Die Lösungsauswahl erfolgt meist einmalig auf Basis der im Test gewonnen Erkenntnisse. Im Gegensatz dazu wird in den Fallbeispielen mit paralleler, abstrakter Lösungssuche die Lösungsauswahl mehrstufig und verschiedenartig durchgeführt. Da die Validierung durch Prototypen auf abstrakter Ebene ohne konkrete Gestalt nicht durchführbar ist, werden hier oft qualitative Einschätzungen (Erfahrung, Logik) und die Validierung digitaler Versuchsmuster (DMU) eingesetzt.

5.2.5 Validierung

Zur Analyse der Validierungsaktivitäten wird im Folgenden der Fokus auf die während dieser Aktivität entstandenen Objekte (Berechnungsergebnisse, Testberichte, etc.) gelegt. Unterschieden wird dabei, ob die Objekte aus der Validierung digitaler (DMU) oder realer (PMU) Versuchsmodelle stammen (Bild 71). Nicht betrachtet werden an dieser Stelle mentale, vom Konstrukteur durchgeführte Ist-Soll-Vergleiche.

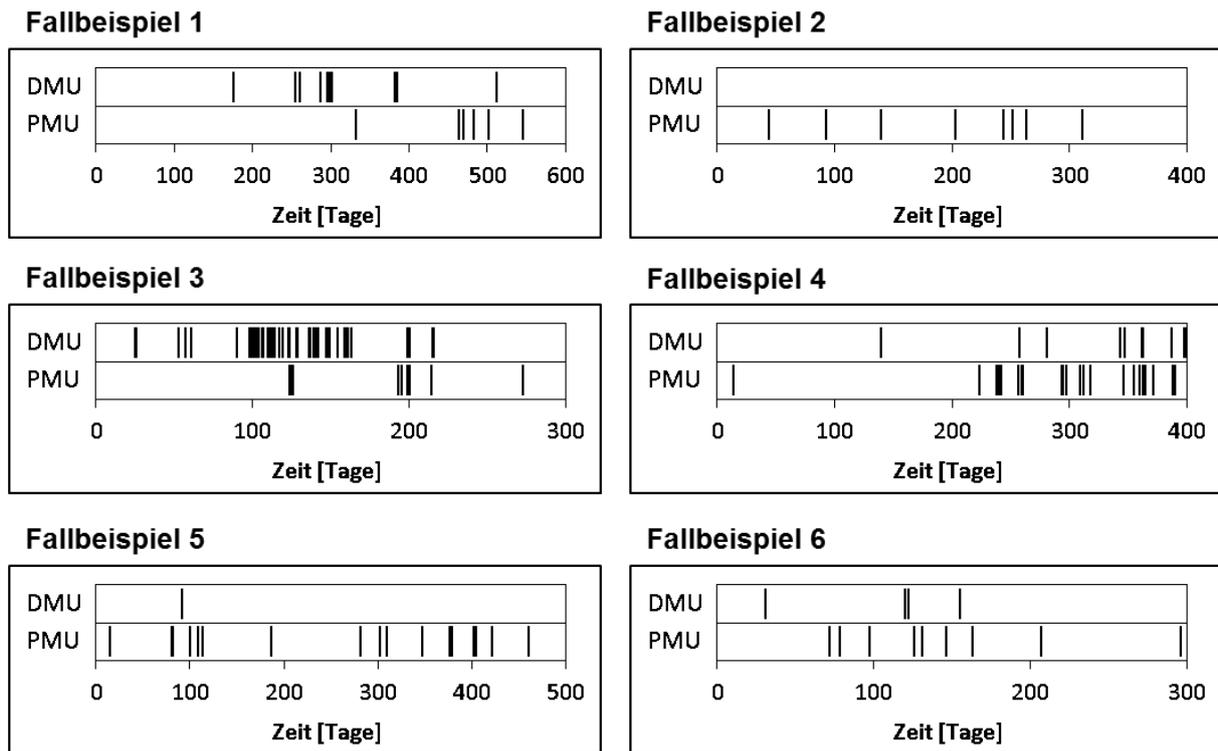


Bild 71 Objekte der Validierung digitaler (DMU) und realer (PMU) Versuchsmodelle

Die untersuchten Fallbeispiele zeigen, dass der Validierungszeitpunkt und die Art der Validierung zwischen den einzelnen Fallbeispielen stark unterschiedlich sind. Ein sehr später Einstieg in die Validierung mit Prototypen (PMU) ist besonders bei Fallbeispiel 1, 3 und 4 zu verzeichnen. Dies gilt sowohl absolut gesehen, als auch in Bezug auf den Projektverlauf, und führt besonders in Fallbeispiel 1 dazu, dass am Projektende ein vergleichsweise geringer Reifegrad der Lösung erreicht wird.⁴⁴⁴ Die späte Validierung mit realen Versuchsmodellen birgt an dieser Stelle die Gefahr sogenannter „Cross-Gate Iterations“⁴⁴⁵, in welchen die in Gate Meetings getroffenen Entscheidungen revidiert werden müssen. Um diese kosten- und zeitintensiven Iterationen zu vermeiden, gehen der Validierung durch reale Versuchsmodelle in allen drei Fallbeispielen Validierungsaktivitäten mit digitalen Versuchsmodellen voraus.

Ein deutlich anderes Verhalten ist in den Fallbeispielen 2, 5 und 6 zu beobachten. Hier wird schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt im Projekt mit Prototypen validiert. In allen drei Fallbeispielen betonen die Konstrukteure, wie wichtig für sie die Erkenntnisse dieser ersten Tests sind, und dass diese das weitere Vorgehen im

⁴⁴⁴ vgl. Projektbewertung Fallbeispiel 1 (Bild 39)

⁴⁴⁵ vgl. Meboldt et al. 2012

Projekt maßgeblich bestimmen. Durch mehrere kurze Entwicklungsschleifen, welche MEBOLDT und MATTHIESEN als „In-Stage Iterations“ bezeichnen⁴⁴⁶, wird besonders in den Fallbeispielen 2 und 5 ein hoher „Reifegrad“ des entwickelten Produkts erzielt.⁴⁴⁷ Dabei spielt in beiden Fallbeispielen die Validierung mit digitalen Versuchsmodellen (DMU) keine Rolle. Dies ist unter anderem auch auf die hohe Komplexität digitaler Modellbildung zurück zu führen, welche dafür verantwortlich ist, dass zum Zeitpunkt der Durchführung der Fallbeispiele noch keine verlässlichen Berechnungsmodelle zur Verfügung standen. Auf diese Weise hat die Existenz verfügbarer Validierungsmöglichkeiten auch maßgeblichen Einfluss auf das Handlungsmuster des Konstrukteurs.

Bezüglich der Validierung mit Prototypen ist in den Fallbeispielen 2, 3, 5 und 6 besonders zu Projektbeginn zu beobachten, dass in sogenannten Prinzip- oder Komponententests unter stark vereinfachten Randbedingungen nur einzelne Funktionen des zu bearbeitenden Systems isoliert betrachtet werden. Diese meist sehr kurzfristig realisierbare Form der Validierung mit Prototypen birgt die Gefahr, dass die bewusst oder unbewusst ignorierten Randbedingungen und Einflüsse bei Tests unter Realbedingungen zu neuen Problemen führen, was auch durch die Projektverläufe der Fallbeispiele belegt werden kann (siehe Fallbeispiel 2). Auf der anderen Seite zeigt sich durch solche Tests relativ schnell, ob eine Lösung prinzipiell funktioniert. Wichtig bei der Durchführung solcher Tests ist, dass das Subsystem unter für die Funktion idealen Bedingungen getestet wird, damit eine zweifelsfreie Aussage über deren Funktionsweise getroffen werden kann. Anderenfalls besteht die Gefahr, dass Tests mehrfach wiederholt werden müssen.

Die ganzheitliche Betrachtung der Fallbeispiele zeigt, dass besonders die Fallbeispiele, in welchen eine abstrakte Lösungssuche durchgeführt wird, eine längere Zeit brauchen, bis die Lösung soweit konkretisiert ist, dass eine Validierung durch Prototypen möglich wird. Je höher dabei der gewählte Abstraktionsgrad der Lösungssuche und je umfangreicher und komplexer das zu entwickelnde System ist, desto länger ist der Zeitraum bis zur ersten Validierung durch Prototypen ausgeprägt. Dabei steigt die Gefahr für zeit- und kostenintensive „Cross-Gate Iterations“, in welchen Entscheidungen abgeschlossener Gate Meetings revidiert werden müssen. Ein überwiegend konkretes Vorgehen auf Detail-Ebene ermöglicht eine wesentlich frühere Validierung auf Basis von Prototypen, da die Lösungen vornehmlich konkret entwickelt werden. Der Erkenntnisgewinn durch „In-Stage Iterations“, welche innerhalb einer Entwicklungsphase durchlaufen werden, führt in den hier

⁴⁴⁶ vgl. Meboldt et al. 2012

⁴⁴⁷ vgl. Projektbewertung Fallbeispiel 2 (Bild 43); vgl. Projektbewertung Fallbeispiel 5 (Bild 55)

dargestellten Fallbeispielen zu einem höheren Reifegrad der Lösung. Welche Vorgehensweise jedoch letztendlich zu einer höheren Güte der Lösung führt, lässt sich anhand der hier gezeigten Fallbeispiele nicht eindeutig klären, da beide Vorgehensweisen auf ihre Weise erfolgreich angewendet wurden und zu guten bis sehr guten Ergebnissen führten.

5.2.6 Einflussfaktoren

Das Handlungsmuster der Konstrukteure der untersuchten Fallbeispiele wird durch unterschiedlichste Faktoren beeinflusst. Ein sehr wesentlicher äußerer Faktor mit sehr starker Auswirkung ist „Zeitdruck“, welcher besonders in Notsituationen auftritt. Das plötzliche Auftauchen von Problemen im Projektverlauf und das dadurch entstehende Zeitdefizit ist ein sehr häufig auftretendes Phänomen, welches in vielen Projekten zu beobachten ist. Gerade deshalb wird Zeitdruck aber auch nicht selten zur Rechtfertigung des eigenen Verhaltens vorgeschoben. In vielen Fällen ist mangelnde Zeit der Grund für eine überwiegend konkrete Lösungssuche auf der Detail-Ebene. Im Interview äußert beispielsweise VP 06, dass sie an mehreren Stellen gern abstrakter nach Lösungen gesucht hätte, dies aber aufgrund des „Zeitdrucks“ nicht möglich war. Ein gewisser Druck bezüglich der Einhaltung der Projektlaufzeit ist auch in Fallbeispiel 5 vorhanden, in welchem das Produkt direkt vor der Markteinführung steht. Dabei ist in den Fallbeispielen und weiteren Projekten innerhalb des Unternehmens als Auswirkung zu beobachten, dass Konstrukteure dazu neigen, die Problemanalyse und die Lösungssuche extrem abzukürzen. Dies führt in den beobachteten Fällen oft dazu, dass in sogenannten „Schnellschüssen“ die erstbeste Lösung umgesetzt und getestet wird (siehe Fallbeispiel 5 bei dem Bruch des Seitenhandgriffs gegen Ende des Projekts). Die Gründe für dieses eher unsystematische Vorgehen sind vermutlich überwiegend psychologischer Natur. Diskussionen mit den Versuchspersonen und anderen Konstrukteuren des Unternehmens weisen darauf hin, dass sich die negativen Ergebnisse einer praktischen Validierung von den Befragten gefühlt besser verkaufen lassen, als eine methodische Vorgehensweise, welche zu einem späteren, vielleicht positiven Ergebnis führt. Ein potentieller Grund für diese vorherrschende Meinung ist, dass negative Ergebnisse einer praktischen Validierung in vielen Produktentwicklungen auftreten und in gewissem Maße als von den befragten Konstrukteuren als „höhere Gewalt“ angesehen werden, während eine methodische Vorgehensweise in der Regel mehr Zeit benötigt und nicht gerade den „unbedingten Willen“ vermittelt, unter allen Umständen das vorgegebene Zeitfenster einzuhalten.

Wie in Fallbeispiel 5 zu sehen, ist auch die Ausbildung eine wichtige Einflussgröße auf das individuelle Handlungsmuster. Im Interview erklärt VP 05, dass sie eine Vorgehensweise zur Lösung von Problemen nie gelernt hat. Dies führt dazu, dass ihr

abstrakte Denkweisen, welche z. B. bei der Identifikation von Funktionen oder bei der Aufstellung eines Lösungsraums durch einen morphologischen Kasten nötig wären, fremd sind. Das Resultat ist eine starke Unsicherheit bei dem Umgang mit abstrakten Denkweisen, welche auch von VP 02 und VP 04 im Interview geäußert wird. Im Fall von VP 02 liegt jedoch im Unterschied zu VP 05 eine Hochschulausbildung vor. VP 02 bestätigt auf Nachfrage, dass sie viele der gelernten Methoden zur Problemlösung wegen fehlender Anwendung vergessen hat. Darüber hinaus ist es auch möglich, dass sich die konstruktionsmethodische Lehre seit ihrer Studienzeit stark verändert hat, und der Fokus damals nicht so stark auf der Ausprägung von abstrakten Denkweisen lag.

Ein anderes Phänomen der Ausbildung zeigt sich bei VP 01, welche als Hochschulabsolvent über ein breites theoretisches Wissen bezüglich methodischer Vorgehensweisen verfügt, jedoch bisher kaum Anwendungswissen hinsichtlich der Validierung von Prototypen aufgebaut hat. Dies führt im Fall von VP 01 zu einer gewissen Unsicherheit bezüglich der Durchführung und Interpretation von Tests, was zur Folge hat, dass VP 01 sehr lange versucht, das gelernte Wissen bezüglich der methodischen Vorgehensweise anzuwenden und erst spät mit einer Validierung durch Prototypen beginnt. Diese stark ausgeprägte Fokussierung auf die Methodik ist dabei kritisch zu sehen und hat im Fall von VP 01 zu einer Verlängerung der Projektlaufzeit geführt.

5.3 Identifikation typischer Handlungsmuster

Die Identifikation typischer Handlungsmuster anhand des vorhandenen Datenmaterials erscheint zunächst aufgrund der Individualität und Einzigartigkeit der einzelnen Fallbeispiele schwierig. Dennoch lassen sich übergeordnete Merkmale finden, welche in mehreren Fallbeispielen auftauchen und diese von anderen Fallbeispielen abgrenzen (Tabelle 4). Eine hohe Übereinstimmung ist zwischen den Fallbeispielen 1 und 3 zu verzeichnen. In beiden Fallbeispielen sind die Versuchspersonen darum bemüht, bei der Suche nach alternativen Lösungen systematisch vorzugehen und neue Lösungen zunächst auf einem abstrakten Niveau zu entwickeln. Wenige Gemeinsamkeiten haben beide mit den Fallbeispielen 2, 5 und 6, welche untereinander ebenfalls eine hohe Übereinstimmung aufweisen. In allen drei Fallbeispielen spielen die Tests mit Prototypen eine wichtige Rolle bei der Problemlösung. Alle drei Konstrukteure neigen dazu sich bei der Entwicklung von neuen Lösungen vornehmlich auf konkreter Ebene im CAD-System zu bewegen. Einen Sonderfall stellt Fallbeispiel 4 dar, welches über eine mittlere Übereinstimmung mit allen anderen Fallbeispielen verfügt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass VP 04 von der Person her eher zu den Fallbeispielen 2, 5 und

6 tendiert,⁴⁴⁸ der in diesem Fallbeispiel involvierte Moderator des Entwicklungsteams jedoch eher eine Vorgehensweise wie bei Fallbeispiel 1 und 3 anstrebt.

Tabelle 4: Fallspezifische Ausprägung der Untersuchungsthemen

Thema	Merkmal	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Aktivitäten der Problemlösung	starke Ausprägung der Ideenfindung	x			x		
	mittlere Ausprägung der Ideenfindung			x			x
	wenig Aktivitäten, kurze Entwicklungsschleifen		x			x	
	gutes zeichnerisches Können	x		x		x	
	abstrakte Lösungssuche im Team		x		x		
	Tragweitenanalyse im Team	x					x
Abstraktionsgrad der Suche	hoch, stufenweise zunehmend konkreter werdend	x		x			
	lokal hoch, ohne Zwischenstufen konkret werdend		x		x		x
	niedrig, permanent konkret					x	
Erkunden des Lösungsraums	vorwiegend generierende Variation	x		x	x		
	vorwiegend korrigierende Variation		x			x	x
	ständiges Strukturieren der Lösungen bei der Suche	x		x			
	Lösungssuche, Auswahl, Konkretisierung im Wechsel	x		x			
	ausgeprägtes Skizzieren von Lösungen	x		x	x		
	schneller Übergang ins CAD-System		x		x	x	x
Lösungsauswahl	mehrstufig, mehrartig	x		x	x		
	einstufig, auf Basis von Testergebnissen		x			x	x
Validierung	frühe Validierung durch Prototypen		x			x	x
	Validierung durch digitale Versuchsmodelle	x		x	x		x
	Durchführung von Prinzip-Tests		x	x		x	x
Einflüsse auf das Handlungsmuster	(vermeintlicher) Zeitdruck					x	x
	Unsicherheit gegenüber abstrakten Denkweisen		x		x	x	
	Unsicherheit gegenüber Prototypentests	x					
Übereinstimmung	F1 „Geräteschnittstelle“		g	h	m	g	g
	F2 „Werkzeugaufnahme“			g	m	h	h
	F3 „Schlagwerk“				m	g	g
	F4 „Sicherheitskupplung“					m	m
	F5 „Staubabsaugung“						h
	F6 „Vibrationsreduktion“						

Insgesamt betrachtet wird bei der Analyse der sechs Fallbeispiele deutlich, dass es zwei Extreme bei der Entwicklung von neuen Lösungen gibt, welche sich diametral gegenüber stehen und zu völlig verschiedenen Handlungsmustern führen. In den folgenden Kapiteln werden diese Extreme vorgestellt und mögliche Auswirkungen auf die methodische Unterstützung für die Problemlösung diskutiert.

⁴⁴⁸ vgl. Interview VP 04 Anhang 3

5.3.1 Umsetzungs-orientiertes Handlungsmuster

Ein Konstrukteur mit stark umsetzungs-orientiertem Handlungsmuster ist bestrebt, eine „zufriedenstellende“ Lösung bei geringem Zeitaufwand zu entwickeln. Seine Stärke beruht vorwiegend darauf, eine Lösung für die Serie „reif“ zu machen. Dazu ist er in der Lage, Prototypen auf unterschiedliche Weise zu validieren und aus den meist nicht eindeutigen und widersprüchlichen Ergebnissen die wesentlichen Erkenntnisse für die weitere Entwicklung der Lösung abzuleiten. Dabei entwickelt er oft eine große Improvisationsfähigkeit was die zu testende Hardware anbelangt, und eine große Kreativität bezüglich der Art der durchgeführten Tests. Bei der Entwicklung von Lösungen bevorzugt er eine meist sehr konkrete Lösungssuche auf Basis von CAD-Modellen (Bild 72). Die gedanklich entwickelten Lösungen werden stellenweise kurz skizziert, in vielen Fällen aber auch gleich direkt im CAD-System visualisiert. Dabei werden kaum Alternativen gebildet, sondern vorwiegend die erste Lösung direkt umgesetzt.

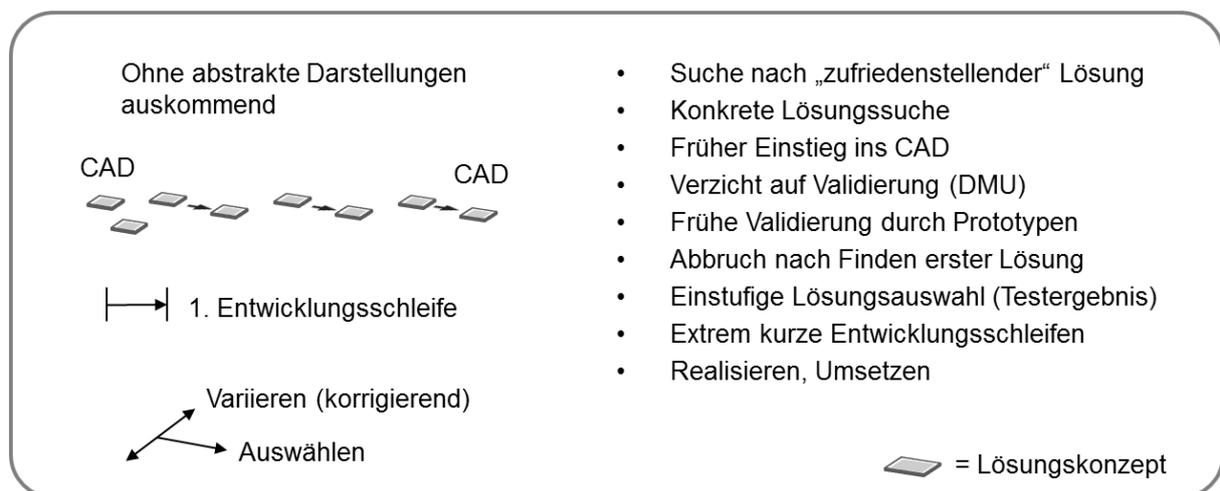


Bild 72 Umsetzungs-orientiertes Handlungsmuster

Aufgrund des nicht vorhandenen Abstrahierens und dem schnellen Abbruch der Lösungssuche ist der umsetzungs-orientierte Konstrukteur in der Lage, extrem kurze Entwicklungsschleifen zu realisieren. Auf diese Weise gelangt er sehr schnell zu neuen Lösungen, welche er ausgiebig testet. Zeigt eine Lösung dabei deutliche Schwächen, so wird diese zugunsten einer neuen Lösung verlassen. DYLLA bezeichnet dieses Vorgehen als korrigierende Variation.⁴⁴⁹ Die Lösungsauswahl erfolgt primär durch Validierung von Prototypen, da andere Arten der Lösungsauswahl aufgrund der konkreten Abstraktionsniveaus nicht notwendig sind.

⁴⁴⁹ vgl. Abschnitt 2.3.2

Insgesamt betrachtet werden im Projektverlauf vergleichsweise viele physikalische Versuchsmuster aufgebaut und meist ein hoher Reifegrad der umgesetzten Lösung erzielt.

Die Vorteile des umsetzungs-orientierten Handlungsmusters sind, dass innerhalb kurzer Zeit viele Lösungen auf Basis von Prototypen validiert werden können, und die Dauer einer Entwicklungsschleife aufgrund der „flüchtigen“ Lösungssuche extrem kurz⁴⁵⁰ ausfällt. Darüber hinaus ist dieses Handlungsmuster gut an die Ziele einer industriellen Entwicklungstätigkeit angepasst, welche überwiegend auf das Erzielen von bestimmten Testergebnissen fokussiert ist.

Als nachteilig kann die extrem kurze und unvollständige Lösungssuche gesehen werden, welche dazu führt, dass der Konstrukteur nicht in der Lage ist, abzuschätzen, ob es noch andere, vielleicht vielversprechendere Lösungen zu einer bestimmten Problemstellung gibt. Darüber hinaus ist die Fähigkeit, zu abstrahieren und auf abstraktem Niveau Lösungen zu suchen, meist eher schwach ausgeprägt, was dazu führt, dass Personen mit dieser Ausprägung bei der Konfrontation mit abstrakten Ansätzen der Problemlösung oft unsicher werden.

Aus Sicht des Unternehmens können Konstrukteure mit einem stark umsetzungs-orientierten Handlungsmuster effektiv in Projekten eingesetzt werden, wo es darum geht, neue Produktgenerationen für einen bereits erschlossenen Markt zu entwickeln. Dabei steht der hohe Reifegrad der Lösung im Fokus. Die Gefahr besteht hier in einer Veränderung der Projektziele, welche dazu führt, dass eine Lösung durch bekannte Technologien nicht mehr möglich ist.

5.3.2 Systematik-orientiertes Handlungsmuster

Ein Konstrukteur mit einem stark systematik-orientierten⁴⁵¹ Handlungsmuster ist bestrebt, eine „optimale“ Lösung für ein Problem zu finden. Er verfügt über eine ausgeprägte Fähigkeit zum abstrakten Denken und ist in der Lage, aus einer komplexen Problemstellung handhabbare Teilprobleme zu bilden, welche er im weiteren Projektverlauf löst. Zu Beginn der Lösungssuche abstrahiert er die Problemstellung, um sich von der bestehenden Gestalt zu lösen, und definiert in textuellen und symbolischen Darstellungen Funktionen, die eine neue Gestalt erfüllen muss (Bild 73). Während der Lösungssuche entwickelt er mehrere Ideen für neue Lösungen gedanklich und visualisiert diese durch Skizzieren. Die Skizzen

⁴⁵⁰ Bei den beobachteten Fallbeispielen abhängig vom Ausmaß der Änderungen wenige Tage bzw. teilweise sogar innerhalb weniger Stunden.

⁴⁵¹ Systematik: Planmäßige, einheitliche Darstellung, Gestaltung nach bestimmten Ordnungsprinzipien (<http://www.duden.de/rechtschreibung/Systematik> [20.02.2013])

haben dabei die Funktion, die Idee abzubilden und Schwächen der Idee aufzuzeigen. Gleichzeitig werden die Skizzen analysiert und sind in vielen Fällen Ausgangspunkt für neue Ideen. Um Denkblockaden zu vermeiden und eine „vollständige“ Lösungssuche zu erreichen, versucht der Konstrukteur mit einem systematik-orientierten Handlungsmuster immer wieder die vorwiegend durch Skizzen dargestellten möglichen Lösungen zu strukturieren. Durch die Suche nach Unterscheidungskriterien und der Bildung einer Ordnung gelingt es ihm „weiße“ Felder zu identifizieren und dafür gezielt neue Lösungen zu finden. Bei der Lösungssuche auf mehreren Abstraktionsebenen entsteht bei der Konkretisierung wieder ein neuer Lösungsraum auf niedrigerer Abstraktionsebene, welcher durch detailliertere Handzeichnungen erkundet und durch Bildung von Ordnungsschemata strukturiert wird. Gemäß DYLLA handelt es sich hierbei um die generierende Variation.⁴⁵²

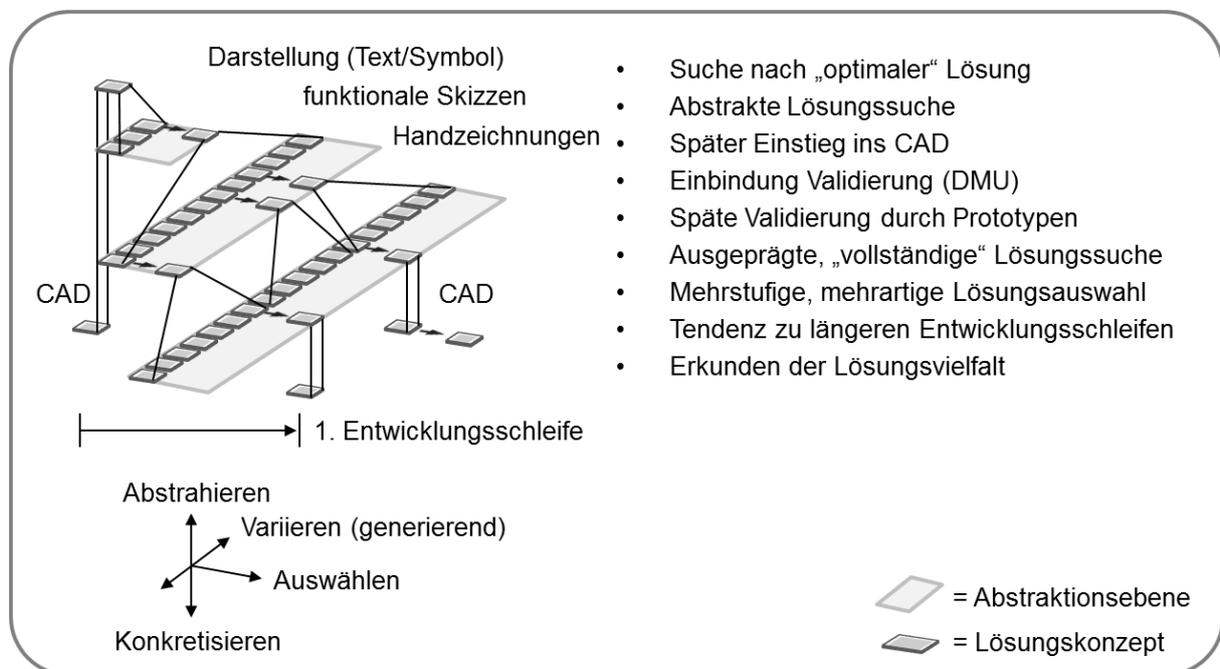


Bild 73 Systematik-orientiertes Handlungsmuster

Nach der „vollständigen“ Darstellung des Lösungsraums wählt der Konstrukteur mit systematik-orientiertem Handlungsmuster im Idealfall eine Lösung aus, welche im weiteren Projektverlauf weiter konkretisiert wird. Die Lösungsauswahl erfolgt in der Regel auf sehr unterschiedliche Arten und in mehreren Stufen. Besonders bei der Lösungsauswahl auf abstrakter Ebene wird die Lösungsvielfalt qualitativ durch Logik und Erfahrung eingegrenzt. Die Validierung digitaler Versuchsmodelle (DMU) ist

⁴⁵² vgl. Abschnitt 2.3.2

meist erst mit dem Einstieg ins CAD-System möglich. Die Lösungssuche verläuft zunächst sehr breit und abstrakt und wird in mehreren Detaillierungs- und Lösungsauswahlschritten anschließend fokussiert und konkret.

Die Vorteile dieser Vorgehensweise liegen primär in der umfangreichen und vollständigen Lösungssuche. Lösungen, welche auf diese Art und Weise entwickelt werden, können hinsichtlich ihrer Güte abgeschätzt werden. Falls die ausgewählte Lösung während der Validierung verworfen wird, können schnell Alternativen gefunden oder Stellhebel zur Veränderung der Lösung identifiziert werden. Darüber hinaus ist der Verlauf der Entwicklungstätigkeit für andere Konstrukteure gut nachvollziehbar und kann leicht auf verwandte Problemstellungen übertragen werden. Vorteile bietet das Strukturieren der Lösungen auch für die strategische Platzierung von „Patentschirmen“, da in eine entwickelte Struktur auch Wettbewerber-Lösungen, Patente und firmeninterne Lösungen integrierbar sind. Auf diese Weise können Patentumgehungen leicht sichtbar gemacht und bei der Anmeldung von Patenten berücksichtigt werden.

Die Nachteile, mit welchen ein Konstrukteur mit einem stark systematik-orientierten Handlungsmuster zu kämpfen hat, liegen in seinem Streben nach der Entdeckung einer optimalen Lösung begründet. Der Drang nach Perfektion führt in vielen Fällen zu einer langen Lösungssuche und einem späten Einstieg in die CAD-Konstruktion. Auf diese Weise ist er erst vergleichsweise spät in der Lage, Lösungen mit Prototypen zu validieren. Dies kann dazu führen, dass zu lange Zeit an einer nichtfunktionierenden Lösung entwickelt wird.

Aus Firmensicht können Konstrukteure mit einem stark systematik-orientierten Handlungsmuster effektiv in Projekten eingesetzt werden, wo neue Marktanteile in einem Bereich gewonnen werden sollen. Dies gilt ganz besonders für Märkte, die bereits aufgeteilt sind und somit der Zutritt besonders schwer ist. Dabei besteht die Gefahr in erster Linie darin, dass die Funktionalität der Produkte aufgrund eines niedrigen Reifegrads der Technologie am Projektende noch nicht ausreichend gewährleistet werden kann.

5.3.3 Situationsbedingte Schwächen

Auf Basis der hier betrachteten Fallbeispiele kann keine Aussage darüber gemacht werden, welches Handlungsmuster erfolgreicher oder weniger erfolgreich ist, da jedes Handlungsmuster je nach Problemsituation unterschiedliche Schwächen aufweist. Zur Betrachtung dieser situativen Schwächen wird im Folgenden zwischen

den beiden Extremen Notsituation und Planungssituation⁴⁵³ unterschieden (Tabelle 5). Dabei ist klar, dass in der Praxis eine Vielzahl von unterschiedlichen dazwischenliegenden Situationen existieren, die eine individuelle Anpassung der Handlungsstrategie verlangen.

Tabelle 5: Individuelle Schwächen der verschiedenen Handlungsmuster

	Notsituation	Planungssituation
Idealer Projektverlauf	Schnelle Entwicklung einer funktionsfähigen Lösung. Kompromisse bzgl. Zielerreichung zulässig.	Entwicklung einer Lösung mit hoher Zielerreichung. Wenige Kompromisse tolerierbar.
Ideale Herangehensweise	Kurze Lösungssuche mit schneller Eingrenzung der Lösungsvielfalt. Favoriten umsetzen, Rückfalllösung entwickeln, schnelle Umsetzung.	Vollständige Lösungssuche auf abstrakter Ebene mit mehrstufiger Eingrenzung der Lösungsvielfalt. Parallele Umsetzung mehrerer Lösungen.
Schwächen des umsetzungs-orientierten Handlungsmusters	Unvollständige, hektische Lösungssuche auf konkreter Ebene ohne Suche nach Alternativen. („Schnellschüsse“, „Trial and Error“)	Unvollständige Lösungssuche auf konkreter Ebene mit schneller Eingrenzung der Lösungsvielfalt. („Schnellschüsse“, „Trial and Error“)
Schwächen des systematik-orientierten Handlungsmusters	Unvollständige, hektische Lösungssuche auf konkreter Ebene ohne Suche nach Alternativen. („Schnellschüsse“, „Trial and Error“)	Zu lange Lösungssuche auf abstrakter Ebene mit aufwändiger Eingrenzung der Lösungsvielfalt. Späte Umsetzung im CAD-System („Cross-Gate Iterations“).

Notsituationen erfordern eine kurze Lösungssuche mit schneller Eingrenzung der gefundenen Lösungen. Wichtig ist eine schnelle Umsetzung der favorisierten Lösung und die Vorbereitung von Rückfalllösungen. Aus der Gruppe der beobachteten Konstrukteure neigen tendenziell sowohl Konstrukteure mit umsetzungs-orientiertem als auch mit systematik-orientiertem Handlungsmuster dazu, unter hohem Zeitdruck eine zu kurze Lösungssuche unter Bildung weniger Alternativen durchzuführen. Diese wird meist schon nach dem Finden der ersten Lösung abgebrochen. Daher ist eine Eingrenzung der Lösungsvielfalt in Notsituationen meist nicht nötig. Auch werden nur selten Rückfalllösungen gebildet. Das Vorgehen ist daher geprägt von sogenannten „Schnellschüssen“ und tendiert stark zu „Trial and Error“. Grund für dieses Verhalten ist vermutlich der psychologische Aspekt, dass nämlich ein

⁴⁵³ vgl. Abschnitt 2.1.3

schlechtes Testergebnis eher als „höhere Gewalt“, und eine nicht abgeschlossene Konstruktion eher als individuelles „Versäumnis“ wahrgenommen wird. Dabei spielt auch die Hoffnung des Konstrukteurs auf ein gutes Testergebnis eine wichtige Rolle.

Planungssituationen ermöglichen meist eine vollständige Lösungssuche auf abstraktem Niveau und eine mehrstufige Eingrenzung der Lösung. Ideal ist die Umsetzung mehrerer Lösungen, aus welchen dann durch Validierung mit Prototypen die Lösung mit der größten Zielerfüllung ausgewählt wird. Bei den Konstrukteuren mit stark umsetzungs-orientiertem Handlungsmuster kann in Planungssituationen tendenziell eine eher zu kurze Lösungssuche beobachtet werden. Grund ist oft eine große Unsicherheit bezüglich der Bildung von Lösungen auf abstrakter Ebene. Die Anzahl entwickelter Lösungen wird meist sehr schnell eingegrenzt, um schnell mit der vertrauten Validierung von Prototypen fortzufahren. Dabei geht auch hier der Trend zu Schnellschüssen und einer von „Trial and Error“ Vorgehensweise (VP 02, VP 05). Die beobachteten Konstrukteure mit einem stark systematik-orientiertem Handlungsmuster neigen dagegen in Planungssituationen eher zu einer zu ausgeprägten Lösungssuche auf abstraktem Niveau (VP 01), welche in Kombination mit einer aufwändigen Eingrenzung der Lösungsvielfalt schnell zu einer vergleichsweise späten Umsetzung von Lösungen im CAD-System führt. Dadurch wächst die Gefahr für „Cross-Gate Iterations“⁴⁵⁴, in denen Entscheidungen abgeschlossene Gates revidiert werden müssen. Das Resultat dieser Vorgehensweise ist dann oft eine zu geringe Produktreife innerhalb der vorgesehenen Projektlaufzeit.

5.4 Aneignung von Problemlösungskompetenzen

Die in dem vorangegangenen Kapitel identifizierten Handlungsmuster stellen absolute Extreme unter den von Konstrukteuren praktizierten Vorgehensweisen dar. Dabei stehen beide Handlungsmuster für wichtige Fähigkeiten und Fertigkeiten, über welche das jeweils andere Extrem nicht verfügt. Diese werden im Folgenden als Kompetenzen aufgefasst, deren Aneignung für das Lösen von Konstruktionsproblemen nötig ist.

Zur Darstellung und Einordnung des Entwicklungsstandes eines Konstrukteurs wird im Folgenden mit Hilfe des Entwicklungsgrads und der Orientierung beschrieben, wie stark die jeweiligen Kompetenzen bei einem Konstrukteur ausgebildet sind. Gleichzeitig lässt sich am Verhältnis der beiden Entwicklungsgrade, welche die

⁴⁵⁴ vgl. Meboldt et al. 2012

Orientierung vorgibt, ablesen und wie es um das Gleichgewicht zwischen beiden Kompetenzen bestellt ist (Bild 74).

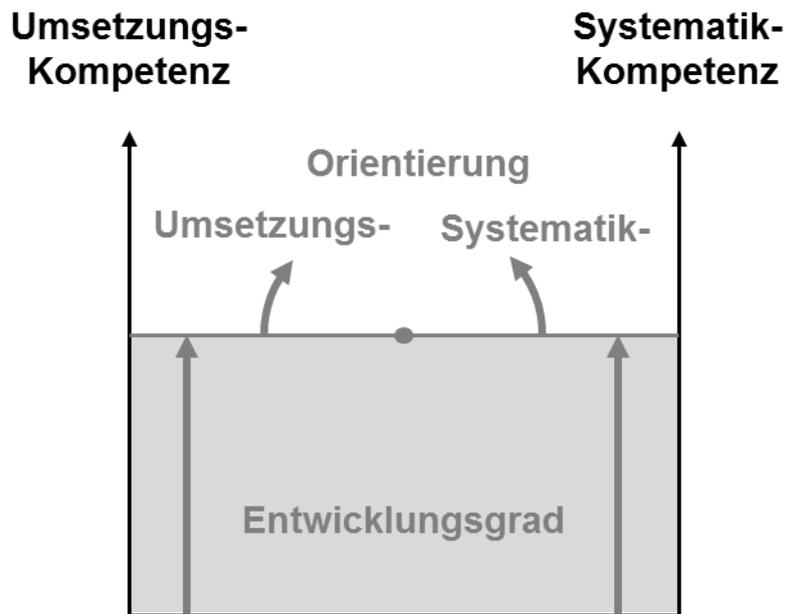
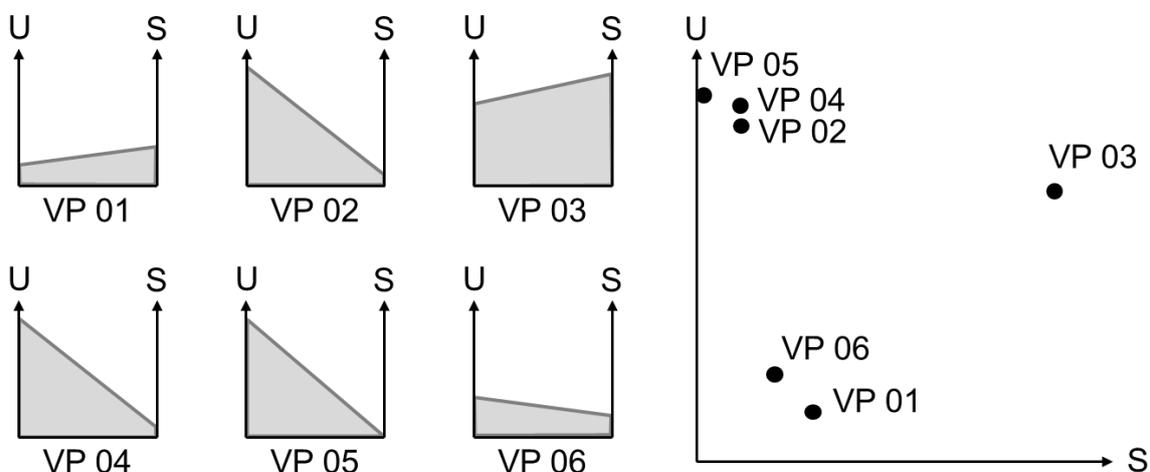


Bild 74 Orientierung und Entwicklungsgrad der Problemlösungskompetenzen

Die qualitative Einordnung der untersuchten Versuchspersonen zeigt, dass die Konstrukteure überwiegend über Kompetenzen von beiden Extremen mit unterschiedlicher Ausprägung und unterschiedlichem Entwicklungsgrad verfügen (Bild 75). Dies ist eine wichtige Voraussetzung, um bei der Bearbeitung eines Problems situativ entscheiden zu können, welche Kompetenzen für die Erarbeitung der Lösung gefragt sind, und entsprechend das eigene Handlungsmuster danach auszurichten.



U = Umsetzungs-Kompetenz; S = Systematik-Kompetenz

Bild 75 Qualitative Einordnung der Fallbeispiele

Zusammenfassend wird an dieser Stelle die folgende Hypothese formuliert:

Konstrukteure eignen sich in ihrer persönlichen Entwicklung Kompetenzen bezüglich der Umsetzung und der Systematik an. Um flexibel auf unterschiedliche Entwicklungssituationen reagieren zu können, sollten Konstrukteure im Idealfall über ein ausgeglichenes Verhältnis von beiden Kompetenzen verfügen und diese situativ anwenden.

Aufgrund der gegensätzlich ausgeprägten Stärken und Schwächen drängt sich an dieser Stelle die Frage auf, ob sich Konstrukteure mit unterschiedlichen Handlungsmustern zur Entwicklung innovativer Produkte mit hohem Reifegrad kombinieren lassen. Im Rahmen der Arbeit konnten hierfür einige positive Beispiele bei der Zusammenarbeit von VP 01 und VP 02⁴⁵⁵ sowie von VP 01 und VP 05⁴⁵⁶ beobachtet werden. Eine wichtige Voraussetzung scheint an dieser Stelle eine ausgeprägte Teamfähigkeit zu sein, gepaart mit der Bereitschaft „fremde“ Ideen weiter zu entwickeln.

Die Unterscheidung eines umsetzungs-orientierten und eines systematik-orientierten Handlungsmusters knüpft in gewisser Weise an die von GÜNTHER unterschiedenen M-Konstrukteure (Methodiker) und P-Konstrukteure (Praktiker) an. Wesentliche Unterschiede sind darin zu sehen, dass in der vorliegenden Arbeit bewusst auf eine digitale Unterscheidung verzichtet wird. Stattdessen wird eine graduelle Einstufung propagiert, welche die Handlungsmuster abhängig vom Entwicklungsgrad der Problemlösungskompetenzen zuordnet. Darüber hinaus trifft GÜNTHER im Rahmen seiner Untersuchung die Annahme, dass sich das Handlungsmuster nach der „konstruktionsmethodischen Ausbildung“ richtet. Diese Annahme kann anhand von VP 02 und VP 04 nicht bestätigt werden, da beide Versuchspersonen über eine konstruktionsmethodische Ausbildung verfügen und trotzdem ein sehr umsetzungs-orientiertes Handlungsmuster zeigen, welches dem von GÜNTHER definierten P-Konstrukteur weitestgehend entspricht.

Im Rahmen der Arbeit wurde bewusst auf eine Übernahme der von GÜNTHER geprägten Begriffe verzichtet, da auf die kleinen, aber wesentlichen Unterschiede zwischen beiden Theorien aufmerksam gemacht werden soll und die Begriffe „Methodiker“ und „Praktiker“ als nicht passend empfunden wurden, da auch viele Methodiker „praktisch“ veranlagt sind und in der Praxis arbeiten.

⁴⁵⁵ vgl. Interview VP 02 Anhang 3

⁴⁵⁶ VP 05 entwickelt im Rahmen eines anderen Projekts die Ideen, welche im Zuge des in Anhang 3 beschriebenen Beispiels entstanden sind, weiter. Dabei entsteht eine in einem Prototypen realisierte Lösung, welche darüber hinaus patentiert wird.

5.4.1 Kompetenzausbildung – Rolle von Hochschulen und Industrie

Für die Ausbildung der beiden Entwicklungskompetenzen spielen die Hochschulen in der Anfangsphase der Ausbildung eine wichtige Rolle. Die Betonung liegt hier auf der Ausbildung der Systematik-Kompetenzen. Neben dem theoretischen Wissen haben Studenten an deutschen Hochschulen auch immer mehr die Möglichkeit, über Bachelor- und Masterarbeiten oder spezielle praxisnahe Vorlesungen die gelernten Methoden anzuwenden, und dadurch erstes Anwendungswissen aufzubauen. Dabei sind sich die im Rahmen einer Studie befragten Professoren relativ einig, dass speziell betreuungsintensive Konstruktionsprojekte in der Ausbildung von Konstrukteuren einen extrem wichtigen Bestandteil darstellen.⁴⁵⁷ Gleichzeitig sehen sie sich bei der Vermittlung von Umsetzungs-Kompetenzen der Schwierigkeit konfrontiert, dass diese oft sehr branchenspezifisch sind und nur beschränkt allgemein aufgebaut werden können. Aus diesem Grund und häufig mangelnden Kapazitäten für die Durchführung von Konstruktionsprojekten wird der Aufbau weitestgehend der Industrie überlassen. Ein positives Beispiel bildet daher die Lehrveranstaltung „Integrierte Produktentwicklung“⁴⁵⁸ am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)⁴⁵⁹, in welcher Studenten ein Semester lang, angeleitet durch Dozenten des IPEK - Instituts für Produktentwicklung Karlsruhe, für einen Industriepartner neue Produkte konstruieren und entwickeln. Im Rahmen dieser Lehrveranstaltung wird neben prozeduralem Wissen im Bereich der systematischen Kompetenz auch durch die Erstellung erster Prototypen Anwendungswissen im Bereich der Umsetzungs-Kompetenzen aufgebaut. Trotz dieses positiven Beispiels sollte grundsätzlich darüber nachgedacht werden, die für die Industrie so wichtigen Umsetzungs-Kompetenzen in der Lehre noch stärker zu adressieren, ohne dabei bezüglich der Ausbildung der Systematik-Kompetenzen Abstriche zu machen.

Abgesehen von der Institution, in welcher der Konstrukteur die entsprechende Kompetenz erwirbt, stellt sich grundsätzlich die Frage, ob primär Generalisten⁴⁶⁰ mit einer ausgeglichenen Ausprägung beider Kompetenzen oder Spezialisten mit einer dominierenden Kompetenz ausgebildet und entwickelt werden sollten (Bild 76).

Die Gespräche mit den hier betrachteten Konstrukteuren mit Spezialisierung bezüglich der Umsetzungs-Kompetenz (VP 02, VP 04, VP 05) weisen darauf hin, dass die Entwicklung der Problemlösungskompetenzen sich verstärkt an deren

⁴⁵⁷ vgl. acatech 2012, S. 35, 95

⁴⁵⁸ vgl. Albers et al. 2008b

⁴⁵⁹ Zusammenschluss von Forschungszentrum Karlsruhe und der Universität Karlsruhe (TH)

⁴⁶⁰ Generalist wird hier als Person aufgefasst, die unabhängig von ihrer individuellen Neigung über einen hohen Entwicklungsgrad von Umsetzungs- und Systematik-Kompetenz verfügt, welcher jedoch nicht das Niveau eines entsprechenden Spezialisten erreicht.

Stärken und Neigungen orientiert hat und überwiegend unbewusst und zufällig ablief. Dabei ist zu vermuten, dass der Ausbau der individuellen Stärken sehr effektiv war und aufgrund schneller Erfolge und Bestätigungen zu einer positiveren Gefühlslage führte, was sich auch gewissen Stolz bezüglich der eigenen Fähigkeiten in den Gesprächen äußert.

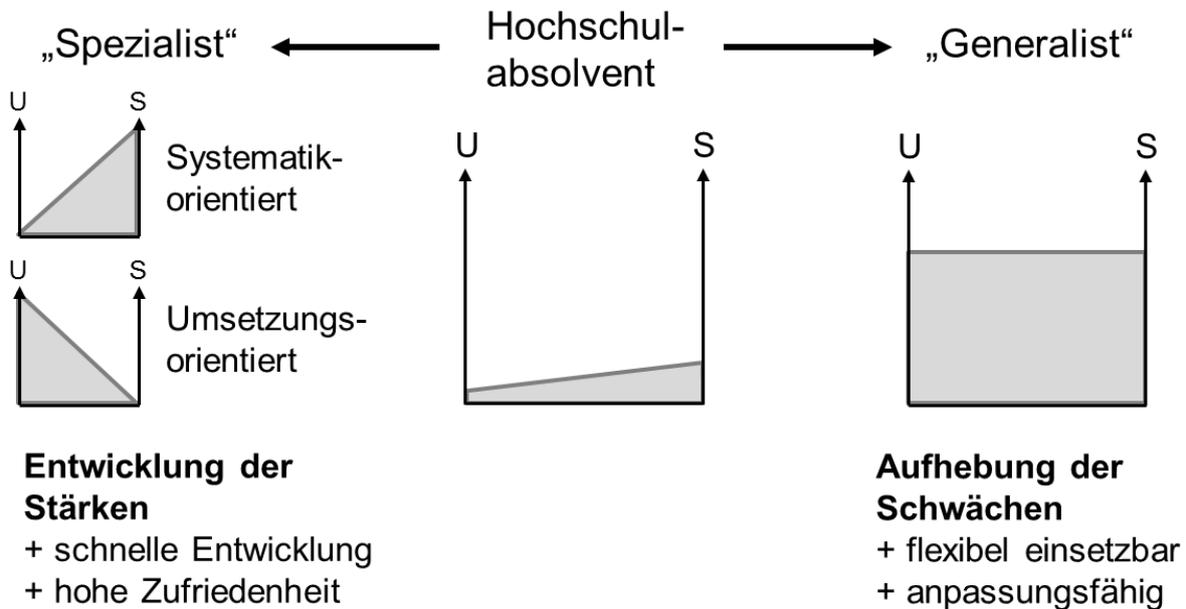


Bild 76 Entwicklungsrichtungen für die Ausbildung der Kompetenzen

Für die Ausbildung von Generalisten wie VP 03 mit einer nahezu ausgeglichenen Ausprägung beider Kompetenzen spricht, dass diese flexibel einsetzbar sind und auf unterschiedliche Entwicklungssituationen entsprechend reagieren können. In Entwicklungsteams sind sie in der Lage, fehlende Charaktere zu vertreten und so für ein heterogenes Teamgefüge zu sorgen. Gleichzeitig ist die Entwicklung hin zu einem Generalisten mit einem hohen Entwicklungsgrad der Umsetzungs- und der Systematik-Kompetenz auch mitunter an die teilweise „schmerzhafte“ Konfrontation mit den eigenen Schwächen geknüpft, an welchen gezielt gearbeitet werden muss. Es bedarf einer bestimmten Einstellung und entsprechender Charaktereigenschaften, um diesen Weg zu gehen.

Anhand der Versuchspersonen VP 01 und VP 06 zeigt sich, dass die unerfahrenen Konstrukteure in der Entwicklung ihrer individuellen Kompetenzen bei dem Berufseinstieg vorwiegend sich selbst überlassen sind. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen einer Studie, in welcher die befragten Experten zu dem Schluss

kommen, dass eine gezielte Weiterbildung von Konstrukteuren im Unternehmen nur in seltenen Fällen praktiziert wird.⁴⁶¹ Selbstreflektion des Autors und Gespräche mit anderen jungen, unerfahrenen Konstrukteuren im Unternehmen, wie VP 06 weisen darauf hin, dass den Berufseinsteigern die Existenz der notwendigen Problemlösungskompetenzen nicht explizit bewusst ist. Die Aneignung von Handlungsmustern und Erfahrungswissen erfolgt daher primär zufällig und intuitiv, und wird stark von ihrer Umgebung und den von ihnen durchgeführten Projekten beeinflusst. Hier besteht in dem beobachteten Unternehmen und offenbar auch darüber hinaus ein Mangel an Konzepten für den gezielten Aufbau von Problemlösungskompetenzen.⁴⁶²

Eine weitere Schwierigkeit, die sich bei der Entwicklung von Konstrukteuren im industriellen Umfeld ergibt, sind die oft fehlenden Karrieremöglichkeiten. Viele Unternehmen belohnen gute Konstrukteure mit der Beförderung in Positionen mit Personalverantwortung. Auf diese Weise wird wichtiges Know-how aus den Konstruktionsabteilungen abgezogen und der niedrige Stellenwert der Konstruktionstätigkeit zum Ausdruck gebracht. Daher sollten Unternehmen mit Fokus auf innovative und differenzierte Produkte bestrebt sein, die Expertenkarriere von Konstrukteuren attraktiver zu gestalten, um wichtiges Wissen in den Konstruktionsabteilungen zu halten.⁴⁶³

5.4.2 Ursachen einseitiger Kompetenzausbildung

In der Industrie wird das Entwickeln von neuen Lösungen in den meisten Fällen durch die gängigen Stage-Gate-Ansätze geplant und kontrolliert. Im Zentrum stehen Ergebnisse, welche bis zu bestimmten Zeitpunkten erreicht werden müssen. In dem beobachteten Unternehmen beziehen sich die Ergebnisse auf die Erstellung und den Test von Prototypen, und sind nur in wenigen Fällen auf die methodische Entwicklung von Lösungskonzepten bezogen. Dabei gewinnt die Einhaltung der zeitlichen Vorgaben zur Markteinführung hin immer mehr an Bedeutung.

Die zeitlich straff geplanten Projekte stellen für unerfahrene Konstrukteure eine große Herausforderung dar. Geringes prozedurales Wissen bezüglich des methodischen Entwickelns von Ideen und bezüglich der Validierung durch Prototypen führt möglicher Weise in vielen Fällen zu einer geringeren Effizienz und Effektivität der Konstrukteure. Der Zeitdruck, bestimmte Testergebnisse zu einem fixen Termin erreichen zu müssen, kann bei unerfahrenen Konstrukteuren daher

⁴⁶¹ vgl. acatech 2012, S. 98

⁴⁶² vgl. acatech 2012, S. 98

⁴⁶³ vgl. acatech 2012, S. 92

noch verstärkt bewirken, dass die systematische Entwicklung von Ideen stark abgekürzt wird und sehr schnell zur Umsetzung und der Validierung durch Prototypen übergegangen wird. Mit zunehmender Entwicklung der Umsetzungs-Kompetenzen treten vermutlich dann die theoretisch erlernten Systematik-Kompetenzen bei vielen Konstrukteuren immer weiter in den Hintergrund. Auf diese Weise führen Zeitdruck und die stark ergebnisorientierten Ziele in der Produktentwicklung möglicherweise zu einer vorwiegend einseitigen Umsetzungs-Orientierung.

Ein zentrales Problem, welches aus einer einseitigen, individuellen Entwicklung entsteht, ist, dass Konstrukteure nicht mehr in der Lage sind, ihr Handlungsmuster situativ anzupassen.⁴⁶⁴

5.4.3 Einfluss der Problemlösungskompetenzen auf die Kommunikation

Bei der Beobachtung der hier betrachteten Konstrukteure mit gleicher Orientierung in ihrer täglichen Arbeit in Entwicklungsteams kann festgehalten werden, dass diese untereinander sehr gut kommunizieren.⁴⁶⁵ Herausforderungen bezüglich der Kommunikation entstehen vermutlich primär dann, wenn sich Konstrukteure stark unterschiedlicher Orientierung miteinander austauschen wollen. Ein möglicher Grund dafür ist, dass beide keine gemeinsame „Sprache“ sprechen (Bild 77).

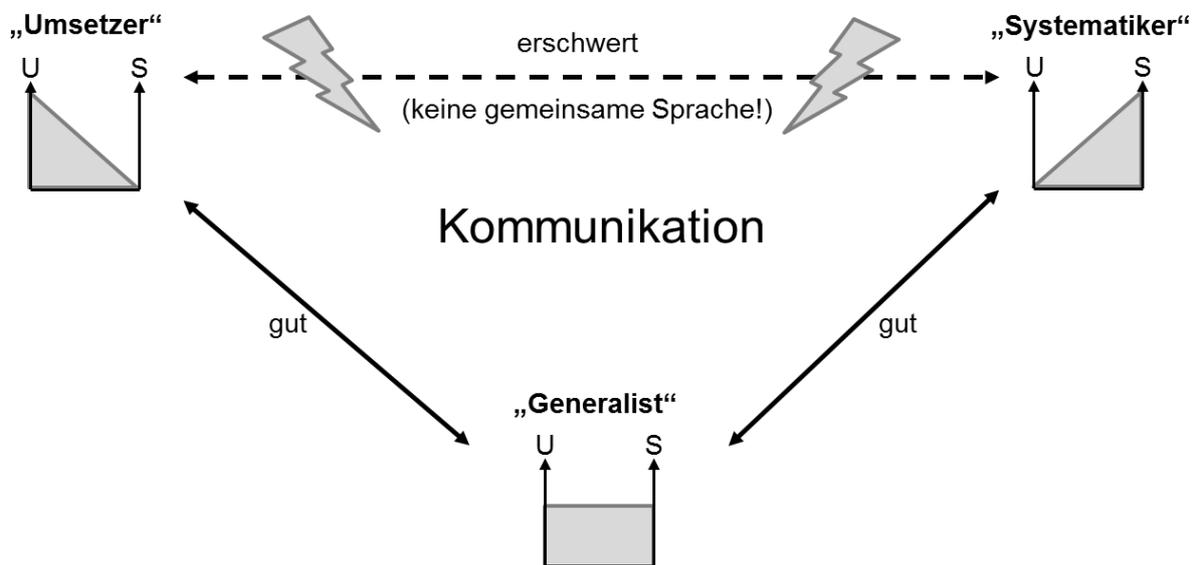


Bild 77 Kommunikation zwischen Konstrukteuren unterschiedlicher Ausprägung

⁴⁶⁴ Zu beobachten z. B. bei VP 02, welche trotz geringen Zeitdrucks in einer Planungssituation eine eher kurze, unvollständige Lösungssuche durchführt.

⁴⁶⁵ Intensive Kommunikation konnte zwischen VP 01 und VP 03, sowie zwischen VP 01 und VP 02 beobachtet werden. VP 04 und VP 06 (vgl. Interview VP 06 Anhang 3) kommunizieren häufig und intensiv mit Konstrukteuren mit starker Umsetzungs-Orientierung.

Ein sehr anschauliches Beispiel dafür ist in Fallbeispiel 5 zu finden, wo der umsetzungs-orientierte Konstrukteur VP 05 mit einem Kollegen aus der Methodenabteilung mit ausgeprägter Systematik-Orientierung auf abstrakter Ebene das Lösungsfeld für das von VP 05 bearbeitete Konstruktionsproblem darstellt, und mögliche Stoßrichtungen für die Lösungssuche erarbeitet. In seiner anschließenden Problemlösung ist VP 05 nicht in der Lage, die gefundenen Ansätze für die Lösungssuche weiter zu verfolgen, da ihr diese Sichtweise auf das Problem fremd ist. Auf diese Weise kann ein solcher Austausch zu einem völligen Unverständnis für die Sichtweise der anderen Person führen.

Anhand dieses Beispiels wird deutlich, welchen hohen Wert Generalisten wie VP 03 mit einem hohen Entwicklungsgrad bezüglich der Umsetzungs- und der Systematik-Kompetenzen in einem heterogenen Problemlösungsteam (PLT) haben können. Aufgrund ihrer guten Kommunikationsfähigkeit mit beiden Spezialisierungen sind sie in der Lage, eine vermittelnde Position einzunehmen und zu einem Austausch zwischen „Umsetzern“ und „Systematikern“ beizutragen. Gleichzeitig zeigt sich auch das Potential von gemeinsamen Denkmodellen, wie z. B. dem C&C²-Ansatz, welche durch das Bereitstellen von einheitlichen Elementen den Grundstein für eine „gemeinsame Sprache“ und damit einer verbesserten Kommunikation legen.

Die Beantwortung der Frage, welche Kompetenzen Führungskräfte ausbilden sollten und welche Konsequenzen sich aus einer einseitigen Spezialisierung im Umgang mit Mitarbeitern ergeben, bleibt dem Leser selbst überlassen.

5.5 Anwenderspezifische Ausrichtung methodischer Unterstützung

Um zukünftig zu einer besseren Methodenakzeptanz in der Konstruktion zu gelangen, müssen bestehende und zukünftige methodische Ansätze die Bedürfnisse des Anwenders stärker in den Vordergrund stellen. Im Folgenden wird daher auf die Wünsche der Konstrukteure, die gezielte individuelle Weiterentwicklung und die Berücksichtigung unterschiedlicher Handlungsmuster der im Rahmen der Arbeit beobachteten Anwender eingegangen.

5.5.1 Wünsche der Konstrukteure

Die Befragung der Konstrukteure bezüglich der von ihnen favorisierten Stoßrichtungen für methodische Unterstützung zeigt ein eher heterogenes Bild, in dem einzelne Themen zu den Aktivitäten der Problemlösung zugeordnet werden können (Bild 78).

Bedarf für methodische Unterstützung wird von den Konstrukteuren der hier vorgestellten Fallbeispiele sehr unterschiedlich empfunden. Ein sehr wichtiger

Bereich für systematik-orientierte Konstrukteure scheint dabei die Problemeingrenzung und Suche nach alternativen Lösungen zu sein. Der Wunsch nach methodischer Unterstützung zielt dabei primär auf Darstellung und Strukturierung von Lösungsräumen sowie auf die Analogiebildung und das Abstrahieren von Lösungsansätzen ab. Gleichzeitig gibt es auch hier den Wunsch nach konkreteren Handlungsanweisungen für die einzelnen Aktivitäten und eine Unterstützung für das Strukturieren des Vorgehens in der Projektierung.

Im Gegensatz dazu wünschen sich Konstrukteure mit starker Umsetzungs-Orientierung Unterstützung für den Informationsaustausch in der Tragweitenanalyse und die Suche nach alternativen Lösungen mit anderen Konstrukteuren. Durch einen intensiveren und effektiveren Austausch wollen sie von dem Erfahrungswissen anderer Personen profitieren und noch schneller zu funktionsfähigen Lösungen gelangen. Im Fokus steht dabei die Auswahl der Gesprächspartner, welche maßgeblich die Effizienz und Effektivität des Austausches beeinflusst.

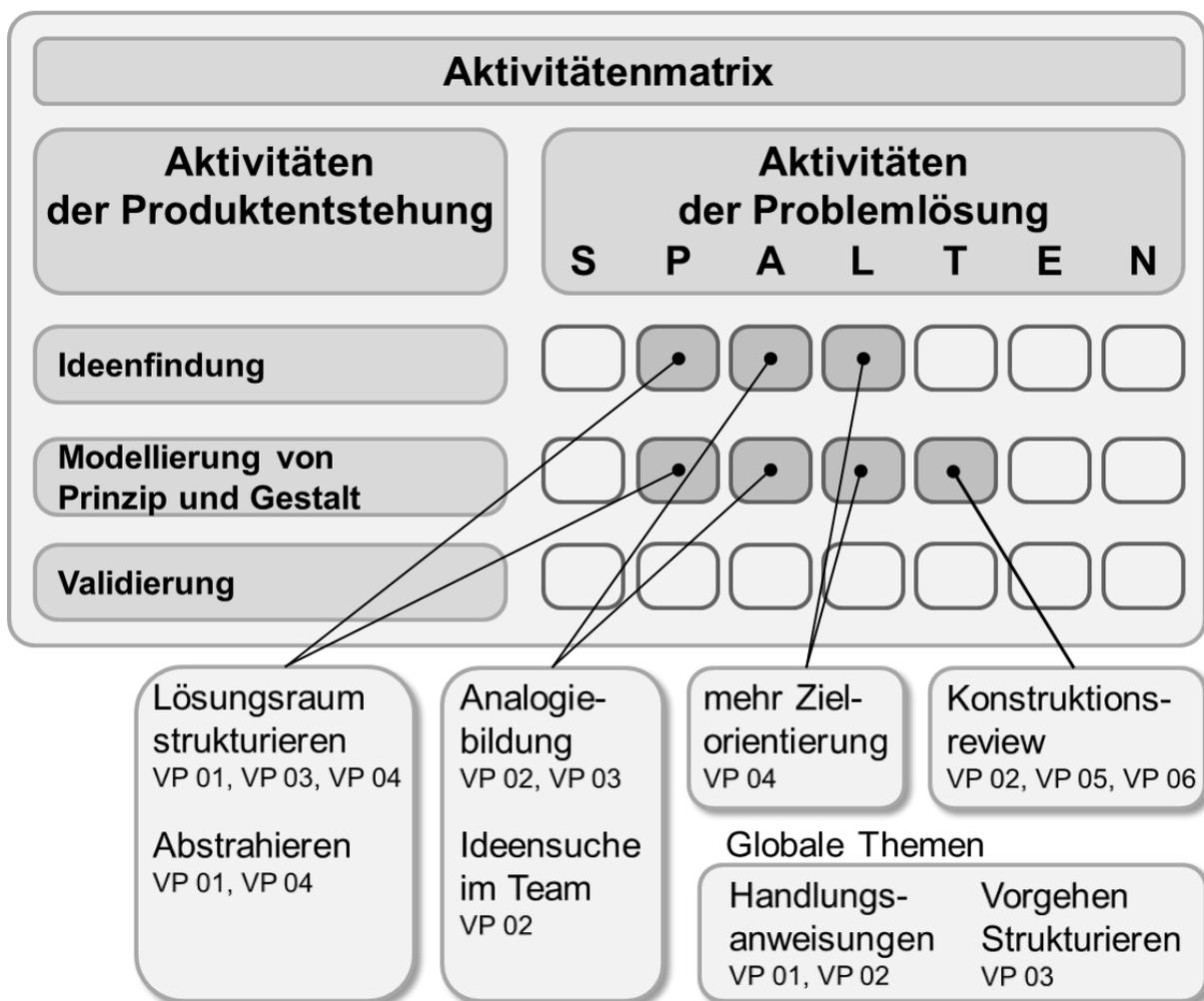


Bild 78 Gewünschte Stoßrichtungen für methodische Unterstützung

Auf Basis der geringen Anzahl von Versuchspersonen kann an dieser Stelle lediglich die Hypothese aufgestellt werden, dass sich Konstrukteure überwiegend methodische Unterstützung für die Teilbereiche der Problemlösung wünschen, in welchen sie schon Kompetenzen aufgebaut haben. Um auch den Aufbau von weiteren Problemlösungskompetenzen zu unterstützen, sollte sich die Entwicklung von neuen Methoden für die Funktion-Gestalt-Synthese nicht ausschließlich auf die Wünsche der späteren Anwender konzentrieren, sondern auch die aus der Beobachtung gewonnenen Erkenntnisse miteinbeziehen. Hierbei lassen sich Schwächen identifizieren⁴⁶⁶, welche durch eine Methode zur Unterstützung und Weiterentwicklung der Konstrukteure ebenso adressiert werden müssen.

5.5.2 Gezielte individuelle Weiterentwicklung

Die Analyse der verschiedenen Fallstudien zeigt, dass teilweise sehr unterschiedliche Handlungsmuster und Problemsituationen in der industriellen Praxis existieren. Um effektiv und gleichzeitig effizient zu sein, sollten Konstrukteure bei der Lösung von Konstruktionsproblemen in der Lage sein, ihr Handeln an die Problemsituation anzupassen, um einen möglichst guten Kompromiss hinsichtlich der Zielerreichung zu finden. Fallbeispiele zeigen jedoch, dass Konstrukteure gerne an bewährten Handlungsmustern festhalten, und ihre Vorgehensweise in verschiedenen Problemsituationen (Not- und Planungssituationen) nicht entsprechend anpassen. Mögliche Gründe dafür sind zum einen ein fehlendes Bewusstsein, um in Planungssituationen anders zu handeln als in Notsituationen, und zum anderen eine einseitige Entwicklung der Problemlösungs-Kompetenzen, welche ein Anpassen an die Problemsituation verhindert.

Aus diesem Grund sollten methodische Ansätze für das Lösen von Konstruktionsproblemen die unterschiedlichen Problemsituationen berücksichtigen und die erforderliche Vorgehensweise für den Konstrukteur transparent machen. Gleichzeitig muss auch auf die individuellen Schwächen der einzelnen Handlungsmuster in den jeweiligen Problemsituationen eingegangen werden, um den Konstrukteuren dabei zu helfen, den Fokus auf kritische Verhaltensweisen zu lenken, und eine ungewollte Betonung einzelner Problemlösungsaktivitäten aufgrund individueller Neigungen zu vermeiden.

Für unerfahrene Konstrukteure ergibt sich die Problematik, dass diese bei ihrem Einstieg in das Berufsleben mit der Entwicklung ihrer Kompetenzen meist auf sich selbst gestellt sind. Dabei ist ihnen die Situation, in der sie sich befinden, oft nicht bewusst. Die Entwicklung der Kompetenzen erfolgt daher überwiegend intuitiv und

⁴⁶⁶ vgl. Abschnitt 5.3.3

zufällig. Um unerfahrene Konstrukteure zukünftig besser bei der Entwicklung ihrer individuellen Kompetenzen und der Problemlösung zu unterstützen, sollte methodische Unterstützung ihnen dabei helfen, die richtigen Ansprechpartner zu finden und geeignete Maßnahmen zu definieren, um ihre Kompetenzen gezielt zu entwickeln. Gleichzeitig sollten die methodischen Ansätze sie dabei unterstützen, unnötige Entwicklungsschleifen zu vermeiden.⁴⁶⁷

Zur Steigerung der Effektivität und Effizienz bei der Lösung von Konstruktionsproblemen ist die gezielte Entwicklung der individuellen Kompetenzen sowohl für unerfahrene als auch für erfahrene Konstrukteure von elementarer Wichtigkeit. Daher sollten methodische Ansätze nicht nur auf die Verbesserung der Arbeitsabläufe ausgerichtet sein, sondern auch die persönliche Weiterentwicklung der Konstrukteure unterstützen.

Zusammenfassend können folgende Anforderungen an methodische Unterstützung hinsichtlich der individuellen Weiterentwicklung von Konstrukteuren definiert werden:

- Transparenz bzgl. individueller Schwächen der Handlungsmuster erzeugen
- Abstimmung von Problemsituation und Handlungsmuster
- Unterstützung unerfahrener Konstrukteure bei der Wahl von Ansprechpartnern
- Unterstützung unerfahrener Konstrukteure bei der Vermeidung von unnötigen Entwicklungsschleifen
- Gezielte Entwicklung von Problemlösungskompetenzen unterstützen

5.5.3 Berücksichtigung unterschiedlicher Handlungsmuster

Methodische Unterstützung für die Funktion-Gestalt-Synthese in der Ideenfindung und der Modellierung von Prinzip und Gestalt muss in der Praxis verschiedenen Anforderungen gerecht werden. Neben den aus unterschiedlichen Problemsituationen resultierenden Rahmenbedingungen sind es besonders die unterschiedlichen Handlungsmuster, welche im Hinblick auf eine bessere Methodenakzeptanz an dieser Stelle berücksichtigt werden müssen.

Die Analyse der Fallbeispiele zeigt, dass Lösungen, je nach Vorgehensweise des Konstrukteurs, auf sehr unterschiedliche Weise entstehen. Während sich Konstrukteure mit umsetzungs-orientiertem Handlungsmuster bei der Funktion-Gestalt-Synthese praktisch permanent auf konkreter Ebene im CAD-System bewegen, findet bei Konstrukteuren mit einem systematik-orientierten

⁴⁶⁷ Unterstützung hinsichtlich des Wissens- und Kommunikationsmanagement gibt z. B. das integrierte Produktentstehungsmodell (vgl. Abschnitt 2.2.3)

Handlungsmuster die Suche nach neuen Lösungen primär auf mehreren Abstraktionsebenen, durch Anwendung unterschiedlicher Darstellungsformen, statt. Der initiale Abstraktionsschritt, verbunden mit einem Loslösen von der exakten, ausgeprägten Gestalt, ist dabei Ausgangsbasis für die schrittweise voranschreitende Entstehung einer neuen Gestalt.

Um Unterschiede und die daraus resultierenden Kommunikationsbarrieren zwischen systematik-orientierten und umsetzungs-orientierten Handlungsmustern zu überbrücken, sollten methodische Ansätze der Funktion-Gestalt-Synthese sowohl die „konkrete“ als auch die „abstrakte“ Problemlösung unterstützen. Ziel ist dabei, eine gemeinsame Basis für alle Konstrukteure zu bilden und auch Hilfestellungen zum Abstrahieren zu geben. Darüber hinaus ist die Berücksichtigung eines schnellen Springens zwischen unterschiedlichen Abstraktionsebenen notwendig, da hierdurch die dynamischen Denkvorgänge des Konstrukteurs, z. B. Vordenken möglicher Umsetzungen oder Suche nach ordnenden Gesichtspunkten, unterstützt werden. Hinsichtlich einer „vollständigen“ Lösungssuche ist es wichtig, dem Konstrukteur Hilfestellungen für die Darstellung der Lösungsvielfalt und für die Suche nach Ordnungskriterien zur Strukturierung möglicher Lösungen zu geben. Auf diese Weise wird auch das Streben nach „Vollständigkeit“ bei der Suche nach alternativen Lösungen des systematik-orientierten Konstrukteurs berücksichtigt.

Zusammenfassend können daher die folgenden Anforderungen an methodische Unterstützung zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Handlungsmuster definiert werden:

- Konkrete und abstrakte Lösungssuche unterstützen
- Anweisung für Abstrahierung und Konkretisierung geben
- Dynamisches Springen zwischen Abstraktionsebenen ermöglichen
- Hilfe für Darstellung von Lösungsräumen/Lösungsvielfalt geben
- Suche nach ordnenden Gesichtspunkten unterstützen

6 Veränderung des Handlungsmusters

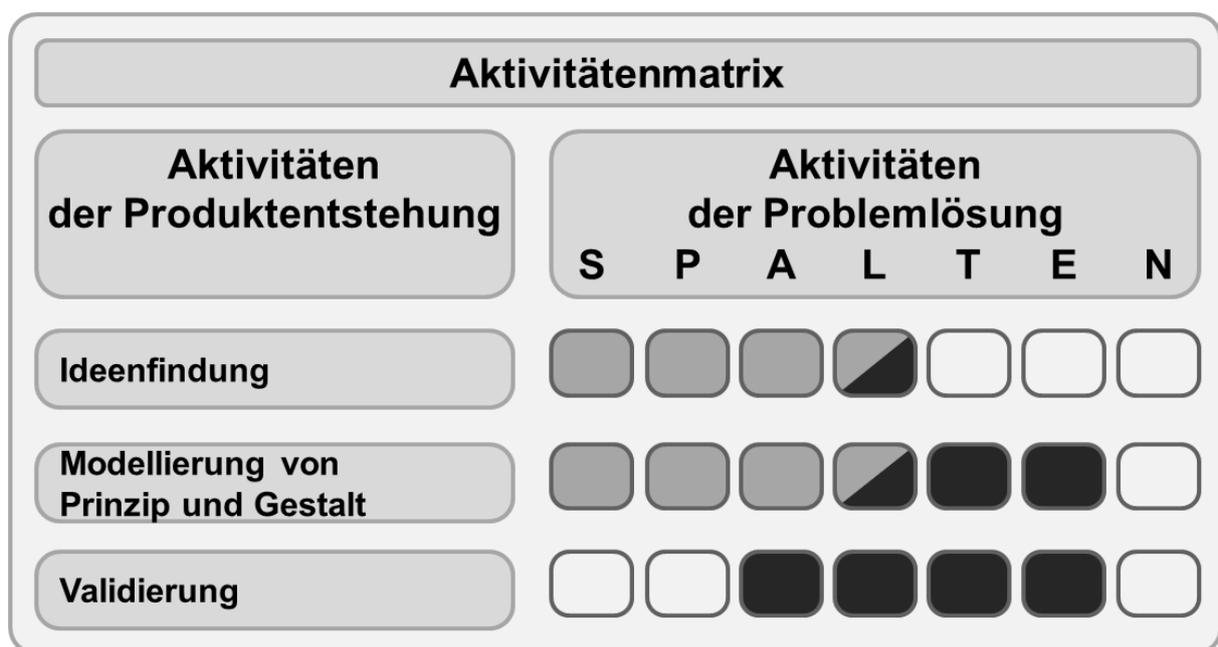
Dieses Kapitel gibt Empfehlungen zur gezielten Entwicklung und Weiterentwicklung von Konstrukteuren im Unternehmen. Im Fokus stehen dabei die gezielte Entwicklung des Hochschulabsolventen, die situative Anpassung des Handlungsmusters und die gezielte Weiterentwicklung von Problemlösungskompetenzen für Konstrukteure unterschiedlicher Entwicklungsgrade und unterschiedlicher Orientierung. Die Empfehlungen gelten hauptsächlich für Konstrukteure in der Gerätekonstruktion, da sich die vorliegende Arbeit auf diese Gruppe von Konstrukteuren fokussiert. Die Übertragbarkeit der Aussagen auf Konstrukteure anderer Sparten, wie z. B. den Sondermaschinenbau oder Schiffsbau, wird an dieser Stelle nicht vorausgesetzt und muss im Einzelfall geprüft werden.

6.1 Gezielte Entwicklung des Hochschulabsolventen

Bei dem Einstieg von Hochschulabsolventen in die berufliche Praxis verfügen diese vorwiegend über deklaratives Wissen bezüglich der Systematik-Kompetenzen, und vereinzelt über erstes prozedurales Wissen bezüglich der Umsetzungs-Kompetenzen. Um prozedurales Wissen in beiden Kompetenzen auszubilden, sollten unerfahrene Konstrukteure möglichst viele Phasen der Problemlösung aktiv miterleben. Der Aufbau von prozeduralem Wissen ist dabei ein Lernprozess, welcher auf einem Ausprobieren von eigenen Handlungsmustern und auf der Beobachtung und Aneignung von Handlungsmustern anderer Konstrukteure beruht. Um das eigene Handlungsmuster zu entwickeln und die dabei gesammelten Erfahrungen reflektieren zu können, benötigen unerfahrene Konstrukteure Zeit. Da diese in Notsituationen per Definition nicht vorhanden ist, sollten sie bei ihrem Einstieg in die berufliche Praxis primär in Planungssituationen mit Zeitreserven eingesetzt werden. Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass die für einen Experten als Planungssituation empfundene Situation für den Novizen schnell aufgrund des fehlenden prozeduralen Wissens und der geringeren Effizienz und Effektivität zur Notsituation wird. Aus diesem Grund sollte die eigenständige Bewältigung von Notsituationen von unerfahrenen Konstrukteuren möglichst vermieden werden. Bei der Überprüfung des Problemlösungsteams (PLT) sollten sie daher auf das Hinzuziehen von erfahrenen Konstrukteuren bestehen. Zur richtigen Bewertung der Entwicklungssituation sind sie dabei stark auf die Einschätzung von erfahrenen Konstrukteuren angewiesen.

6.1.1 Aktivitäten-spezifische Wahl des Ansprechpartners

Für die Aneignung von prozeduralem Wissen und der Entwicklung eines eigenen Handlungsmusters spielt neben der Gewinnung von eigenen Erfahrungen die Beobachtung von erfahrenen Konstrukteuren und das Coaching durch erfahrene Konstrukteure eine wichtige Rolle. Aufgrund der unterschiedlichen Stärken einer Umsetzungs-Orientierung oder einer Systematik-Orientierung sollten dem unerfahrenen Konstrukteur Vorbilder bzw. Ansprechpartner mit unterschiedlichen Ausprägungen für die Durchführung der einzelnen Aktivitäten der Problemlösung, in der Ideenfindung, der Modellierung von Prinzip und Gestalt und der Validierung zur Seite gestellt werden (Bild 79).



Kompetenzfelder: Systematik-Orientierung Umsetzungs-Orientierung

Bild 79 Kompetenzfelder Systematik- und umsetzungs-orientierter Konstrukteure

Die Stärke des Konstrukteurs⁴⁶⁸ mit starker Umsetzungs-Orientierung besteht bezüglich der „Lösungsauswahl“ darin, dass er auf Basis seiner breiten Erfahrung im Bereich der Validierung mit Prototypen ein sicheres Gespür dafür besitzt, ob etwas funktioniert oder nicht. Dieses Wissen hilft ihm auch in der „Tragweitenanalyse“ der Modellierung von Prinzip und Gestalt dabei, die kritischen Stellen einer Lösung zu identifizieren. Bei dem „Einführen und Umsetzen“ von Lösungen in reale Prototypen

⁴⁶⁸ gilt für Konstrukteure im Bereich der Gerätekonstruktion

oder Produkte liegt die Stärke von Konstrukteuren mit starker Umsetzungs-Orientierung in der Abstimmung der Lösungen auf die Serienfertigung und in der Durchführung der Validierung mit Prototypen, wo sie über das richtige Gespür für die Interpretation und das Ableiten von Schlussfolgerungen aus oft widersprüchlichen Testergebnissen verfügen. Darüber hinaus sind sie in der Lage, zielführende Testverfahren zu entwickeln und gleichzeitig auch Tests stark zu vereinfachen, um in sogenannten Prinzip-Tests einzelne Funktionen zu validieren.

Um bei der Validierung mit Prototypen zu aussagekräftigen Ergebnissen zu gelangen, müssen unerfahrene Konstrukteure erst lernen, Tests richtig zu planen, durchzuführen und auszuwerten. Da der Schwerpunkt der Hochschulausbildung derzeit auf der Ausbildung der Systematik-Kompetenzen des Konstrukteurs liegt, sollten unerfahrene Konstrukteure bei ihrem Berufseinstieg besonders darauf achten, ihre Umsetzungs-Kompetenzen auszubilden. Dabei können sie von erfahrenen Konstrukteuren mit starker Umsetzungs-Orientierung viel lernen. Dies gilt ganz besonders für unerfahrene Konstrukteure mit starker Systematik-Orientierung (z. B. VP 01).

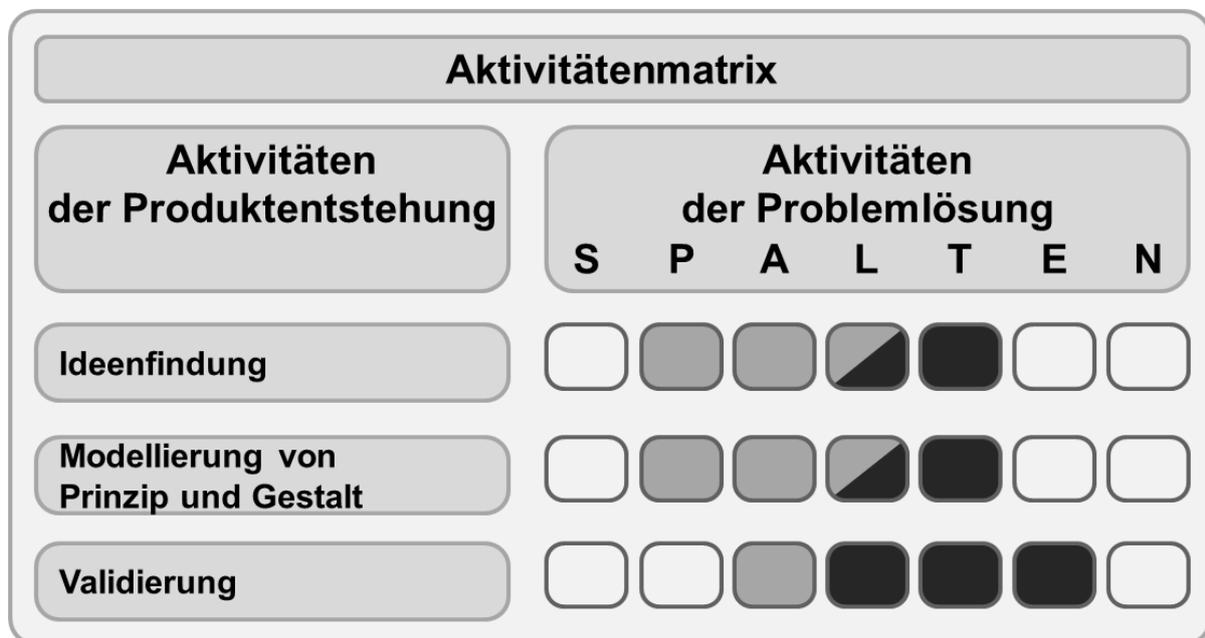
Ein wichtiges Kompetenzfeld der Konstrukteure mit Systematik-Orientierung ist das Sammeln, Strukturieren und Aufbereiten von Informationen und Wissen in der „Situationsanalyse“. Dies gilt auch für das theoretische Vorgehen zur „Problemeingrenzung“, in welcher Hypothesen aufgestellt werden und Systematiken benötigt werden, um diese auszuschließen. Erfahrene Konstrukteure mit stark ausgeprägtem systematik-orientiertem Handlungsmuster haben sich im Laufe der Jahre Fähigkeiten für die Darstellung von Lösungsräumen angeeignet und wiederkehrende Muster eingepägt, welche ihnen auf der Suche nach „alternativen Lösungen“ helfen, eine „vollständige“ Betrachtung des Lösungsraums auf abstrakter Ebene in relativ kurzer Zeit durchzuführen. Für die Aktivitäten der „Lösungsauswahl“ bringt der Konstrukteur mit Systematik-Orientierung in erster Line Methodenwissen mit, welches für die Durchführung dieser Aktivitäten notwendig ist.

Bei ihrem Berufseinstieg sollten unerfahrene Konstrukteure die Entwicklung der Systematik-Kompetenzen nicht zugunsten der Entwicklung der Umsetzungs-Kompetenzen vernachlässigen. Es besteht sonst die große Gefahr, dass das theoretische, deklarative Wissen bezüglich methodischer Vorgehensweisen ohne praktische Anwendung schnell verloren geht. Daher sollten unerfahrene Konstrukteure jede Gelegenheit nutzen, die überwiegend theoretisch erlernten Methoden anzuwenden. Für die Überwindung von Anwendungsbarrieren und das Aneignen von hilfreichen Handlungsmustern kann es dabei sehr effektiv sein, erfahrene Konstrukteure mit starker Systematik-Orientierung um Rat zu fragen und sie bei ihrer täglichen Arbeit zu beobachten.

Die gezielte Entwicklung von unerfahrenen Konstrukteuren sollte nicht alleine in deren Verantwortung liegen, sondern ist auch Verantwortung ihrer Vorgesetzten. Zur Sicherstellung und Kontrolle des Austauschs zwischen unerfahrenen und erfahrenen Konstrukteuren wird empfohlen, diesen in den jeweiligen Entwicklungszielen der Beteiligten festzulegen und sich in regelmäßigen Abständen über dessen Umsetzung zu erkundigen.

6.1.2 Notwendige und hilfreiche Erweiterung des Problemlösungsteams

Unerfahrenheit bei der Suche nach „alternativen Lösungen“ hat den Vorteil, dass Konstrukteure sehr unbefangen an die Lösung von Problemen herangehen. Sie verfügen nicht über die Denkschienen und Denkblockaden erfahrener Konstrukteure, welche primär auf den gemachten Erfahrungen und persönlichen Einschätzungen beruhen. Die Fallbeispiele 1 und 6 zeigen, dass daher die Suche nach „alternativen Lösungen“ von unerfahrenen Konstrukteuren meist ohne weitreichende Folgen selbstständig durchgeführt werden kann. Zur Gewinnung von neuen Denkanstößen ist es jedoch auch hilfreich, „fremde“ Impulse in die Suche zu integrieren (Bild 80). Nach der initialen Entwicklung von Lösungen sollte in einer Planungssituation eine Strukturierung der Lösungen nach ordnenden Gesichtspunkten angestrebt werden. Hierzu können unerfahrene Konstrukteure auch erfahrene Konstrukteure mit starker Systematik-Orientierung hinzuziehen.



Erweiterung des PLT: nicht erforderlich hilfreich erforderlich

Bild 80 Erweiterung des Problemlösungsteams (PLT) im Fall von Unerfahrenheit

Eine sehr wichtige Rolle spielt die Erfahrung dagegen bei der „Lösungsauswahl“. Unerfahrene Konstrukteure sollten bei der Überprüfung des Problemlösungsteams („PLT i.O.“ siehe Bild 15) im SPALTEN-Prozess⁴⁶⁹ an dieser Stelle unbedingt auch erfahrene Konstrukteure in das Team aufnehmen, da diese die Auswahlkriterien aufgrund ihrer Erfahrungswerte oft ganz anders bewerten. Dadurch kann in vielen Fällen die Selektion von unwirksamen Lösungen oder unwirksamen Testverfahren, und die damit verbundenen zusätzlichen Iterationsschleifen verhindert werden. Gleichzeitig hat der unerfahrene Konstrukteur die Möglichkeit, Wissen über erfolgreiche und nicht erfolgreiche Tests von Konstrukteuren mit starker Ausprägung der Umsetzungs-Kompetenz aufzunehmen. Allerdings besteht durch das Hinzuziehen von erfahrenen Konstrukteuren auch die Gefahr, dass innovative, revolutionäre Ideen aufgrund der Erfahrungswerte und der starken Umsetzungs-Orientierung nicht als solche erkannt werden. Daher sollten bei der Lösungsauswahl wichtige Erkenntnisse, Ratschläge und Bewertungskriterien erfahrener Entwickler Berücksichtigung finden, ihre Befolgung muss jedoch im Einzelfall kritisch geprüft werden.

Extrem wichtig zur Vermeidung unnötiger Iterationsschleifen ist die Einbindung von erfahrenen Kollegen bei der „Tragweitenanalyse“. Auf das aus zahlreichen Tests mit Prototypen gewonnene Wissen sollten unerfahrene Konstrukteure unter keinen Umständen verzichten. Schon durch ein einfaches Konstruktionsreview während der Modellierung von Prinzip und Gestalt lassen sich dadurch bereits bekannte Probleme und Schwachstellen in der Konstruktion vor der eigentlichen Testphase identifizieren. Unerfahrene Konstrukteure sollten an dieser Stelle keinen falschen Ehrgeiz entwickeln oder zur Vermeidung von Kritik auf diesen wichtigen Wissenstransfer verzichten.

6.2 Situative Anpassung des Handlungsmusters

Die Analyse der Fallstudien zeigt, dass die Entwicklung von Lösungen in der Praxis in unterschiedlichen Problemsituationen erfolgen muss. Zur situativen Anpassung des Handlungsmusters wird im Folgenden eine unterschiedliche Betonung der Problemlösungsaktivitäten in Ideenfindung und Modellierung von Prinzip und Gestalt für Not- und Planungssituationen vorgeschlagen.

In Notsituationen neigen sowohl umsetzungs-orientierte als auch systematik-orientierte Konstrukteure aufgrund des mitunter großen Zeitdrucks dazu, ihr sonst eher systematisches Vorgehen vollständig aufzugeben. Die Folge sind „Kurzschluss-handlungen“ und „Schnellschüsse“, welche selten erfolgreich sind und

⁴⁶⁹ vgl. Abschnitt 2.2.3

in vielen Fällen zu einer Verlängerung der Projektlaufzeit führen. Oberstes Ziel in einer Notsituation sollte daher immer sein, fokussiert und systematisch vorzugehen und das Ausbrechen von Hektik zu vermeiden. Unterstützt wird der Konstrukteur dabei durch Problemlösungsprozesse, wie z. B. den SPALTEN-Prozess,⁴⁷⁰ welcher die einzelnen Aktivitäten der Produktentstehung strukturiert. Wichtig ist in Not- wie auch in Planungssituationen, dass in der Ideenfindung und der Modellierung von Prinzip und Gestalt eine präzise Problemeingrenzung (PE) erfolgt, um zu vermeiden, dass im weiteren Projektverlauf die „falschen“ Probleme gelöst werden.

Der Fokus der Suche nach alternativen Lösungen (AL) in Ideenfindung und Modellierung von Prinzip und Gestalt sollte in Notsituationen auf die schnelle Entwicklung von wirksamen Lösungen ausgerichtet sein. Kompromisse bezüglich der technischen Zielerfüllung sind bis zu einem gewissen Grad zulässig. Daher ist hier eine vollständige Lösungssuche auf abstraktem Niveau nicht erforderlich. Empfohlen wird deshalb eine, wenn überhaupt, kurze Ideenfindung und das Entwickeln von Lösungen auf niedrigem bis mittlerem Abstraktionsgrad bei der Modellierung von Prinzip und Gestalt. Die Lösungsauswahl sollte nicht im ständigen Wechsel, sondern primär einmalig und effizient durchgeführt werden. Dabei gilt es, das schnelle „Setzen auf die erste Lösung“, ohne das Entwickeln von weiteren Alternativen, zu vermeiden. Aus diesem Grund sollte die Entwicklung von mindestens einer Alternativlösung unbedingt eingefordert werden. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass im Fall des Scheiterns der favorisierten Lösung in der Validierung nicht zurück in die Lösungssuche (AL) der Modellierung von Prinzip und Gestalt gesprungen werden muss, sondern direkt mit der Umsetzung einer Alternativlösung fortgefahren werden kann. Darüber hinaus sollte vor der Validierung einer Lösung innerhalb der Modellierung von Prinzip und Gestalt zumindest eine kurze, fokussierte Tragweitenanalyse (TA) in Form eines Konstruktionsreviews mit anderen Konstrukteuren durchgeführt werden, um ein Scheitern der Lösung aufgrund grober Fehler in der Konstruktion zu vermeiden. Bei der Validierung selbst sollte unbedingt auch der Einsatz von Simulation oder Versuche mit einfachen Modellen geprüft werden, da hierdurch Zeitvorteile gegenüber einer Validierung mit Prototypen (PMU) entstehen können, welche den Zeitdruck der Notsituation entschärfen.

⁴⁷⁰ vgl. Abschnitt 2.2.3

Tabelle 6: Situative Betonung der Aktivitäten bei der Modellierung von Prinzip und Gestalt

Notsituation	Planungssituation
Problemeingrenzung (PE): <ul style="list-style-type: none"> • ausführliche Untersuchung Alternative Lösungssuche (AL): <ul style="list-style-type: none"> • niedriger / mittlerer Abstraktionsgrad • schnelle Konkretisierung im CAD • Bildung von Alternativlösungen Lösungsauswahl (LA): <ul style="list-style-type: none"> • einstufig, fokussiert • primär durch Erfahrung Tragweitenanalyse (TA): <ul style="list-style-type: none"> • fokussiertes Konstruktionsreview 	Problemeingrenzung (PE): <ul style="list-style-type: none"> • ausführliche Untersuchung Alternative Lösungssuche (AL): <ul style="list-style-type: none"> • mittlerer / hoher Abstraktionsgrad • Strukturierung der Lösungsvielfalt • systematische Variation der Gestalt Lösungsauswahl (LA): <ul style="list-style-type: none"> • mehrstufig im Wechsel mit AL • verschiedenartig Tragweitenanalyse (TA): <ul style="list-style-type: none"> • ausführliches Konstruktionsreview

In Planungssituationen liegt die Herausforderung für die Konstrukteure darin, ihre Handlungsmuster so umzustellen, dass die Entwicklung einer Lösung mit möglichst optimaler Zielerfüllung erreicht wird. Dabei muss der Konstrukteur seine Aktivitäten so planen und strukturieren, dass eine ungewollte Schwerpunktbildung auf einzelne Aktivitäten der Problemlösung, welche oft den Neigungen des Konstrukteurs geschuldet ist, vermieden wird.

In Planungssituationen liegt der Fokus der Problemlösung auf einer möglichst vollständigen Lösungssuche, mit dem Ziel, die Lösung mit der größtmöglichen Zielerreichung auszuwählen. Um eine gewisse Vollständigkeit bei der Betrachtung der Lösungsvielfalt zu gewährleisten, ohne eine Unmenge an detaillierten Umsetzungsvarianten abzubilden, ist der Konstrukteur dazu gezwungen, Lösungsansätze abstrakt darzustellen. Empfohlen wird daher ein mittlerer bis hoher Abstraktionsgrad für die Ideenfindung und die Modellierung von Prinzip und Gestalt, welcher auf die zur Verfügung stehende Zeit und die Problemstellung⁴⁷¹ abgestimmt ist. Neben dem Abstrahieren der Lösungen sollte auch ein Ordnen bzw. Strukturieren der Lösungen durchgeführt werden, um „weiße Felder“ zu identifizieren und um auf diese Weise eine gewisse Vollständigkeit zu gewährleisten. Dabei können

⁴⁷¹ Zum Beispiel hoher Abstraktionsgrad für „Sprunginnovationen“ zur Gewinnung von Marktanteilen, oder mittlerer bis niedriger Abstraktionsgrad für „Schrittinnovationen“ zur Entwicklung einer neuen Gerätegeneration oder eines „Facelifts“.

Gestaltparameter systematisch variiert werden. Die Lösungsauswahl (LA) kann mehrmalig, auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen, durchgeführt werden. Außerdem kann mehrfach zwischen den Aktivitäten Lösungsauswahl (LA), der Suche nach alternativen Lösungen (AL) und der Konkretisierung gesprungen werden. Vor der Validierung mit Prototypen sollte in der Tragweitenanalyse der Modellierung von Prinzip und Gestalt ein ausführliches Konstruktionsreview zusammen mit anderen Konstrukteuren durchgeführt werden.

Übertragen auf die umsetzungs-orientierten und systematik-orientierten Handlungsmuster bedeutet das, dass einem Konstrukteur seine individuellen Schwächen bewusst sein sollten, um diese ausgleichen zu können. Der umsetzungs-orientierte Konstrukteur sollte daher in einer Planungssituation eine abstrakte und möglichst vollständige Lösungssuche anstreben, und seine Ängste und Bedenken gegenüber einer abstrakten Problemlösung in Ideenfindung und Modellierung von Prinzip und Gestalt überwinden. Dazu sollte er unbedingt einen zu schnellen Übergang ins CAD-System vermeiden, da hierdurch eine abstrakte Lösungssuche weitestgehend verhindert wird. Unterstützen kann ihn bei der vollständigen, abstrakten Lösungssuche neben der Anwendung von abstrakten Methoden zur Beschreibung des Funktionszusammenhangs (wie z. B. der C&C²-Ansatz) das Hinzuziehen eines systematik-orientierten Konstrukteurs sowie ein Zeitplan für die Lösungssuche auf unterschiedlichen Abstraktionsniveaus.

Im Gegensatz dazu sollte ein systematik-orientierter Konstrukteur in Planungssituationen eine zeitlich zu stark ausgedehnte Lösungssuche auf abstraktem Niveau, erkennbar an einer extrem ausgeprägten Ideenfindung, vermeiden, und sich auch den Herausforderungen einer Validierung mit Prototypen stellen. Wie der umsetzungs-orientierte Konstrukteur, sollte er in seiner Zeitplanung die Lösungssuche auf unterschiedlichen Abstraktionsstufen aufschlüsseln, um Abweichungen rechtzeitig zu realisieren und um entsprechend reagieren zu können. Einen wichtigen Zeitpunkt stellt auch hier die Detaillierung der gefundenen Lösungsansätze im CAD-System dar, welche nicht zu spät vollzogen werden sollte.

6.3 Individuelle Entwicklung von Problemlösungskompetenzen

Die Voraussetzung für die gezielte Entwicklung der Umsetzungs- und Systematik-Kompetenzen ist zunächst das Bewusstsein über die Existenz unterschiedlicher Handlungsmuster bei der Entwicklung von neuen Lösungen. Der Konstrukteur muss sich darüber im Klaren sein, dass für die verschiedenen Aktivitäten der Problemlösung sowohl Umsetzungs-Kompetenzen als auch Systematik-Kompetenzen benötigt werden. Die gezielte individuelle Entwicklung der beiden Kompetenzen basiert auf der Analyse und Einordnung des eigenen Handlungsmusters. Hierzu sollte der Konstrukteur sein eigenes Vorgehen

reflektieren und anhand der in Abschnitt 5.3 beschriebenen Handlungsmuster entscheiden, zu welchem Extrem seine eigene Arbeitsweise tendiert. Hilfreich kann dabei auch eine Auflistung der eigenen Stärken und Schwächen sein (Bild 81).

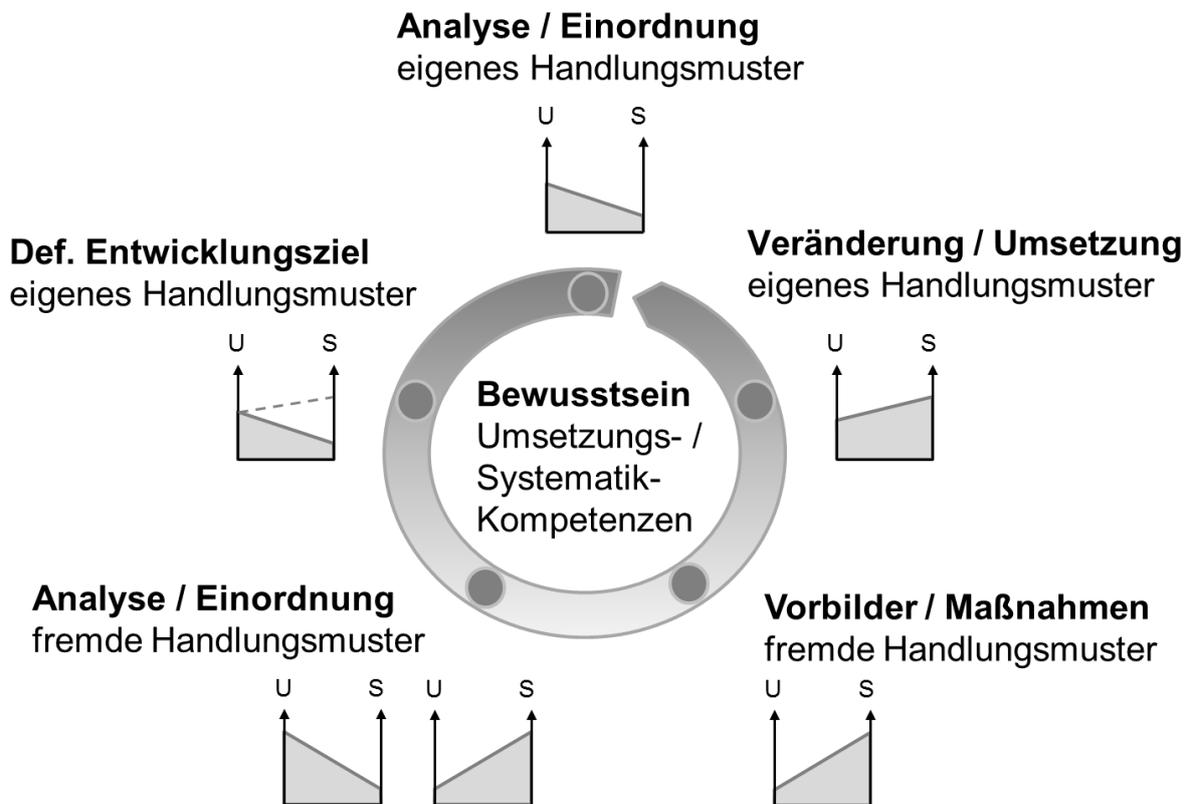


Bild 81 Schritte für die Entwicklung der Umsetzungs- und Systematik-Kompetenzen

Im Sinne einer gezielten Weiterentwicklung sollte sich der Konstrukteur darüber klar werden, welche Kompetenz er gezielt weiterentwickeln möchte, und sein Entwicklungsziel definieren. Grundsätzlichen Charakter hat hier die Entscheidung einer Entwicklung hin zum Generalisten (gezielte Arbeit an den Schwächen) oder zum Spezialisten (gezielte Arbeit an den Stärken)⁴⁷². Gleichzeitig gilt es, sich auch an dieser Stelle auf den Erwerb bestimmter Fähigkeiten und Fertigkeiten innerhalb der ausgewählten Kompetenz zu fokussieren.

Sehr förderlich für die Aneignung neuer Handlungsmuster kann die Zusammenarbeit mit anderen Konstrukteuren sein, welche bereits über diese Fähigkeiten verfügen. Aus dem Beobachten heraus kann die Hypothese formuliert werden, dass die persönliche Entwicklung eines unerfahrenen Konstrukteurs effektiver und effizienter von statten gehen kann, wenn er sich ein Vorbild oder einen Ansprechpartner mit

⁴⁷² vgl. Abschnitt 5.4.2

mehr Erfahrung im Unternehmen, in Form eines Mentors, sucht. Diese Hypothese grundlegend zu verifizieren oder zu falsifizieren muss aber Aufgabe von Psychologen oder Pädagogen sein, die sich mit den relevanten Fragestellungen aus deren Perspektive auseinandersetzen können.

Für die Planung einer gezielten Weiterentwicklung der eigenen Kompetenzen mit Hilfe von Mentoren müssen zunächst die Stärken der zur Verfügung stehenden Kollegen berücksichtigt werden. Hierfür ist die Beobachtung, Analyse und Einordnung der Fähigkeiten und Fertigkeiten der Kollegen eine wichtige Voraussetzung. Aus Sicht des Unternehmens ist es daher wichtig, über eine heterogene Mischung aus erfahrenen und unerfahrenen Konstrukteuren mit unterschiedlicher Ausprägung der Problemlösungskompetenzen zu verfügen, um ideale Voraussetzungen für die Entwicklung ihrer Mitarbeiter zu schaffen. Ein unausgewogenes Gefüge kann besonders bei dem Aufbau von neuen Entwicklungsstandorten Ursache für Schwierigkeiten bei der Entwicklung von Problemlösungskompetenzen, und somit verantwortlich für eine geringe Effizienz und Effektivität bei der Problemlösung sein.⁴⁷³

Um die gezielte Entwicklung individueller Kompetenzen umzusetzen, ist die Definition von Maßnahmen erforderlich. Dazu sollte der Konstrukteur die Durchführung konkreter Tätigkeiten planen, welche ihn bei der Lösung eines Konstruktionsproblems unterstützen. Anschließend erfolgt deren Umsetzung in einem konkreten Projekt. Dabei versucht der Konstrukteur die neuen Handlungsmuster anzuwenden, und auf diese Weise seine individuellen Kompetenzen weiterzuentwickeln.

Die persönliche Entwicklung der Problemlösungskompetenzen kann als ein Prozess aufgefasst werden, welcher niemals vollständig abgeschlossen ist. Voraussetzung für die stetige Verbesserung ist ein ständiges, bewusstes Reflektieren des eigenen, und ein Beobachten fremder Handlungsmuster.

⁴⁷³ Eine entsprechende Problematik konnte innerhalb der hier betrachteten Firma bei dem Aufbau eines weiteren Entwicklungsstandorts in China beobachtet werden.

7 Unterstützung der Funktion-Gestalt-Synthese

Die Untersuchungen der Fallbeispiele zeigen, dass bei der Kommunikation zwischen Konstrukteuren mit unterschiedlicher Ausprägung der Kompetenz in einzelnen Fällen Schwierigkeiten auftreten. So kann beispielsweise VP 05 die abstrakten Repräsentationen möglicher Lösungen, welche sie mit einem systematik-orientierten Kollegen aus der Methodenabteilung erarbeitet, nicht in die weitere Suche nach alternativen Lösungen integrieren. Dagegen ist VP 05 in einem anderen Projekt durchaus in der Lage, auf die abstrakten Lösungsansätze⁴⁷⁴ von VP 01 aufzubauen, und daraus konkrete Lösungen zu entwickeln. Als Grund, warum ihr dies in diesem Fall möglich ist, gibt VP 05 in einer Nachbesprechung an, dass hier konkretere Darstellungen verwendet werden, mit deren Darstellung sie vertraut ist. Anhand dieses Beispiels wird deutlich, dass Konstrukteure unterschiedlicher Orientierung in der Kommunikation den Abstraktionsgrad auch an das Vorstellungsvermögen des Gegenübers anpassen sollten, wenn die Zusammenarbeit erfolgreich sein soll. Darüber hinaus zeigt sich, wie wichtig es ist, eine gemeinsame Denkweise zu etablieren, und damit eine „gemeinsame Sprache“ zu schaffen. Die Herausforderung dabei ist der breite Spagat zwischen Konstrukteuren mit niedriger Ausprägung der Systematik-Kompetenzen, welche grundlegende Unterstützung für das Entwickeln von Lösungen auf abstrakter Ebene benötigen und den Konstrukteuren mit hoher Ausprägung der Systematik-Kompetenzen, welche auf unterschiedlichen Abstraktionsgraden ständig zwischen Analyse und Synthese wechseln. Gesucht ist daher eine Methode, welche sowohl Analyse- als auch Syntheseaktivitäten auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen unterstützt und auf diese Weise Konstrukteuren mit unterschiedlichem Entwicklungsgrad und Orientierung bei der Lösung von Konstruktionsproblemen und bei der Kommunikation untereinander hilft.

Der C&C²-Ansatz von ALBERS und seiner Gruppe verbindet abstrakte Funktionen mit konkreter Gestalt und wurde entwickelt um die Analyse- und Syntheseschritte bei der Lösung von Konstruktionsproblemen gleichermaßen zu unterstützen. Bisher wurde der Ansatz in den zahlreichen Arbeiten und Veröffentlichungen vorwiegend dazu genutzt Systeme zu analysieren, um Strukturen zu abstrahieren und stellenweise auch neu zu rekombinieren. Dabei lag der Schwerpunkt mehr auf den Analyseaktivitäten. Daher soll das vorliegende Kapitel im Folgenden prüfen, in wie weit der C&C²-Ansatz die Funktion-Gestalt-Synthese unterstützt, und dabei helfen,

⁴⁷⁴ Fortführung der in Anhang 3 dargestellten Lösungen

Anwendungsbarrieren zu identifizieren, um anschließend Verbesserungsvorschläge abzuleiten.

7.1 Ist-Stand-Analyse C&C²-Ansatz

Der von ALBERS entwickelte C&C²-Ansatz wurde in der Vergangenheit primär angewendet, um die Funktionen einer bestehenden Gestalt zu analysieren, und damit den Konstrukteur bei der Problemeingrenzung in der Ideenfindung und der Modellierung von Prinzip und Gestalt zu unterstützen. Seit seiner Entstehung hat sich der C&C²-Ansatz aufgrund zahlreicher Veröffentlichungen stetig weiterentwickelt.⁴⁷⁵ Dabei wurden neue Einsatzfelder identifiziert und Versuche unternommen, den besonders in der Gestaltanalyse erfolgreichen Ansatz auch für die Funktion-Gestalt-Synthese nutzbar zu machen. So wurden beispielsweise Systemänderungen als ein Hinzufügen, Entfernen oder Ändern der Eigenschaften von Wirkflächenpaaren oder Leitstützstrukturen beschrieben⁴⁷⁶ (Bild 82).

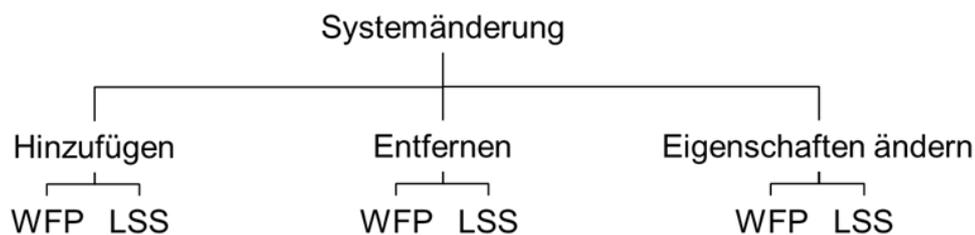


Bild 82 Systemänderung mit dem C&C²-Ansatz

Trotz dieser Hilfestellung für die Funktion-Gestalt-Synthese zeigt die Untersuchung der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Diplomarbeiten, dass der C&C²-Ansatz nach wie vor hauptsächlich bei der Gestalt-Analyse angewendet wird (Tabelle 7).

Tabelle 7: Einsatzgebiete des C&C²-Ansatzes in den betreuten Diplomarbeiten

Diplomarbeit	Gestalt-Analyse	Funktion-Gestalt-Synthese
Holubarsch 2009	Identifikation von Anforderungen	keine
Kern 2010	Identifikation von Systemgrößen	keine
Lücke 2012	Identifikation von Funktionen	ansatzweise
Martin 2009	Identifikation von Anforderungen	keine

⁴⁷⁵ vgl. Alink 2010, S. 49 ff.

⁴⁷⁶ vgl. Albers et al. 2004b

Lediglich in der Arbeit von LÜCKE werden intensive Versuche unternommen, den C&C²-Ansatz auch in der Funktion-Gestalt-Synthese anzuwenden. Trotzdem entstehen auch hier die meisten Lösungen ohne eine explizite Anwendung des C&C²-Ansatzes. Eine sehr naheliegende Erklärung für diese überaus einseitige Anwendung des C&C²-Ansatzes ist, dass den Anwendern das Auffinden von existierenden WFP und LSS deutlich leichter fällt als deren Neubildung.

Die Analyse der Diplomarbeiten zeigt, dass es den Diplomanden Schwierigkeiten bereitet sich von der bestehenden Gestalt zu lösen. Dies führt bei der Bildung der C&C²-Modelle überwiegend dazu, dass Bauteile und LSS gleichgesetzt werden. Welche Auswirkungen sich dabei für die Synthese ergeben können, kann in der Arbeit von LÜCKE⁴⁷⁷ gezeigt werden. Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll nach neuen Lösungen für eine Sicherheitskupplung für Bohr- und Meißelhämmer, unter Anwendung des C&C²-Ansatzes, gesucht werden. Als Ausgangspunkt für die Lösungssuche analysiert Lücke eine existierende Lösung und identifiziert deren Teilfunktionen (Bild 83).

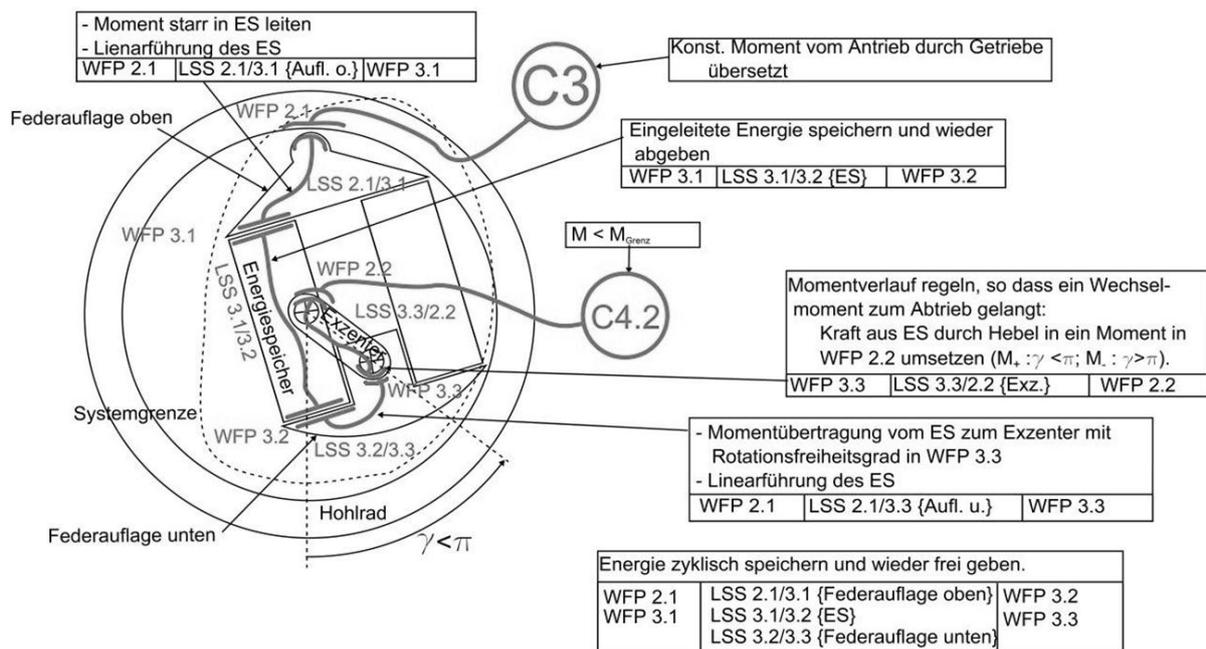


Bild 83 Analyse einer Sicherheitskupplung nach LÜCKE⁴⁷⁸

Dabei erkennt er die Teilfunktion „eingeleitete Energie speichern und wieder abgeben“ als sehr wichtig und konzentriert sich bei der anschließend durchgeführten Lösungssuche ausschließlich auf Lösungen, welche in der Lage sind, die Energie zu

⁴⁷⁷ vgl. Lücke 2012

⁴⁷⁸ vgl. Lücke 2012, S. 42

speichern. Erst als andere Konstrukteure in die Suche einbezogen und Lösungen ohne diese Teilfunktionen entwickelt werden, wird diese Vorfixierung bewusst. Anhand dieses Beispiels zeigt sich, dass die Analyseaktivitäten auch starke Auswirkungen auf die Syntheseaktivitäten haben können. Eine Vermeidung der Vorfixierungen wäre möglich, wenn sich der Anwender bei der Synthese bewusst die Frage stellt, ob er auch Teilfunktionen weglassen kann.

Ein ebenso häufig auftretender Fehler, welcher als Folgefehler des Gleichsetzens von LSS und Bauteil angesehen werden kann, ist, dass Anwender die gleiche LSS zur Beschreibung mehrerer unterschiedlicher Funktionen verwenden. Zu beobachten ist dies z. B. in der Arbeit von HOLUBARSCH⁴⁷⁹, welcher Anforderungen an die Bauteile des Schlagwerks eines Bohrhammers ableitet, um eine Substitution der Werkstoffe zu prüfen und dadurch Kosten und Gewicht des betrachteten Systems zu reduzieren. Dabei wird die Bezeichnung der Bauteile direkt auf die Bezeichnung der LSS übertragen (Bild 84).

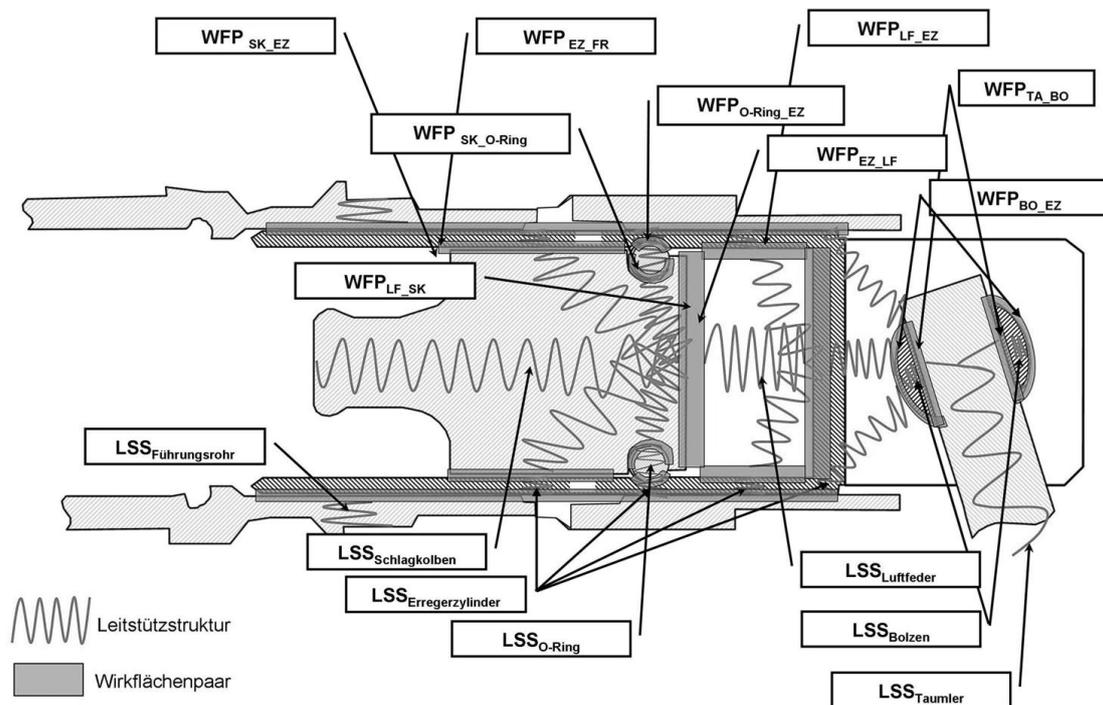


Bild 84 C&C²-Modell eines Schlagwerks nach HOLUBARSCH⁴⁸⁰

In der Arbeit von HOLUBARSCH führt dieses Vorgehen nicht zu wesentlichen Problemen, da er die Gestalt nur unwesentlich ändert und an ein anderes Fertigungsverfahren anpasst. Große Schwierigkeiten entstehen erst bei einer

⁴⁷⁹ vgl. Holubarsch 2009

⁴⁸⁰ vgl. Holubarsch 2009, S. 71

völligen Umgestaltung und Neuordnung des Systems. Hier kann die Mehrfachverwendung der gleichen LSS für unterschiedliche Funktionen dazu führen, dass die Flexibilität bei der Gestaltung völlig verloren geht. So wird auf diese Weise der Funktionsintegration und der Funktionstrennung auf Bauteilebene unbewusst vorgegriffen. Auswirkungen einer solchen Formulierung sind auch hier in einer unbewussten Beschränkung des Lösungsraums zu sehen.

Darüber hinaus werden in dem von HOLUBARSCH erstellten C&C²-Modell alle Sequenzen gleichzeitig dargestellt, was dazu führen kann, dass relevante Funktionen vergessen und daher in der Synthese nicht berücksichtigt werden. Das Weglassen der Connectoren⁴⁸¹ führt außerdem dazu, dass das System nicht mit seiner Umwelt interagiert und daher keine Funktion erfüllen kann. Aufgrund der vielen WFP und LSS besteht grundsätzlich der Verdacht, dass bei der Modellbildung kein klares Ziel verfolgt wird, da sonst sicher eine stärkere Verkürzung, eine „Konzentration auf das Wesentliche“, möglich wäre.

In der Arbeit von KERN⁴⁸² wird auf die explizite Darstellung der LSS vollständig verzichtet. KERN befasst sich mit der Neukonstruktion eines modularen Versuchsträgers für den Test von Schlagwerken. Mit der hier abgebildeten Darstellung (Bild 85) möchte er das an ihn gestellte Konstruktionsproblem besser verstehen.

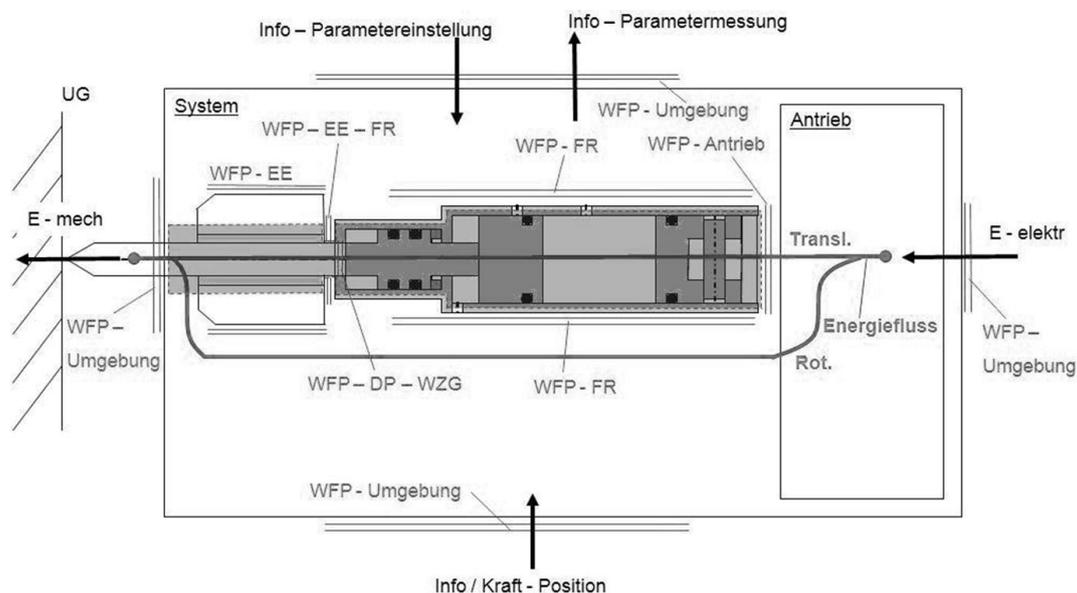


Bild 85 Modell eines Versuchsstands nach KERN⁴⁸³

⁴⁸¹ Die Existenz von Connectoren ist zum Zeitpunkt der Arbeit noch nicht Stand der Forschung

⁴⁸² vgl. Kern 2010

⁴⁸³ vgl. Kern 2010, S. 54

Seine Problematik ist, dass zu Beginn seiner Konstruktion lediglich das Schlagwerk und die Schnittstellen zum Werkzeug und Prüfstand festgelegt sind. Auf der Suche nach LSS kann KERN zu diesem Zeitpunkt noch keine die WFP verbindenden Volumen identifizieren, was dazu führt, dass er die LSS überhaupt nicht darstellt. Als Folge dieses Vorgehens ist er nicht in der Lage, Funktionen explizit zu benennen. Die Darstellung zeigt lediglich, welche Übertragungsgröße (Stoff, Energie, Information) an den WFP übertragen wird. Auf Basis dieser Visualisierung kann KERN nur wenige konkrete Handlungsanweisungen für die Synthese ableiten, welche im Anschluss völlig ohne Anwendung des C&C²-Ansatzes durchgeführt wird.

Das Problem einer nicht korrekten Anwendung des C&C²-Ansatzes ist darin zu sehen, dass die Anwender keinen Nutzen aus der Anwendung ziehen und dadurch schnell frustriert sind. Daher ist es notwendig, nach den Ursachen fehlerhafter Anwendung zu suchen und Gegenmaßnahmen zu definieren, welche die Anzahl der Fehlanwendungen reduzieren oder im Idealfall vollständig vermeiden.

Die hier gezeigten Beispiele aus unterschiedlichen Diplomarbeiten haben gemeinsam, dass sie Schwierigkeiten bei der Synthese mit dem C&C²-Ansatz beschreiben, welche in Verbindung mit der LSS auftreten. Als zentraler Fehler bei der Anwendung kann auch in weiteren Arbeiten das unbewusste Gleichsetzen von LSS und Bauteil beobachtet werden. Darüber hinaus zeigt sich bei der Analyse der Diplomarbeiten, wie auch bei ALINK, das LSS bei dem Erstellen von C&C²-Modellen weggelassen werden (Tabelle 8).⁴⁸⁴

Tabelle 8: Beobachtete Probleme bei der Anwendung des C&C²-Ansatzes

Ursache	Wirkung	Resultierende Probleme
Gleichsetzen von LSS und Bauteil	Zu detailliertes C&C ² -Modell	Fixierung auf Teilfunktionen führt zu unbewusster Eingrenzung der Suche
	Gleiche Benennung mehrerer LSS	Verhindern von Funktionstrennung bzw. Funktionsintegration
	Gleichzeitige Abb. mehrerer Sequenzen	Nichtberücksichtigung relevanter Funktionen in der Synthese
Schwierigkeiten bei der LSS-Identifikation	Weglassen von LSS auf abstrakter Betrachtungsebene	Fehlende Funktionsbeschreibung und unmögliche Synthese mit dem C&C ² -Ansatz

⁴⁸⁴ vgl. Alink 2010, S. 105

Als wahrscheinliche Ursache für das Gleichsetzen von LSS und Bauteil ist mangelndes Bewusstsein von Seiten des Anwenders zu sehen, welchem unklar ist, dass sich die LSS auch über mehrere Systeme oder Subsysteme erstrecken kann. Über den Ursprung dieser Unwissenheit kann derzeit nur spekuliert werden. Ob die Definition der LSS dafür verantwortlich gemacht werden kann, ist fragwürdig. Sicher ist jedoch, dass die Definition der LSS den Anwender nicht aktiv aufklärt.

Definition der Leitstützstruktur (LSS)⁴⁸⁵

Leitstützstrukturen sind Volumina von Körpern, Flüssigkeiten, Gasen oder felddurchsetzte Räume, die genau zwei Wirkflächenpaare verbinden und dauernd oder zeitweise eine Leitung von Energie, Stoff oder Information zwischen den Wirkflächen eines Körpers, einer Flüssigkeit, eines Gases oder eines Feldes ermöglichen.

Stark betont wird in der Definition der LSS das Volumen der LSS, wohingegen die Verbindung von zwei WFP eher als zweitrangig erscheint. Diese Tatsache hat für die Analyse enorme Vorteile, da dem Anwender unmittelbar deutlich gemacht wird, dass er bei der Analyse eines Systems auf der Suche nach LSS lediglich nach Volumina zu suchen hat. Gleichzeitig hat diese Definition für die Synthese entscheidende Nachteile, da dem Anwender des C&C²-Ansatzes suggeriert wird, dass Volumina und Bauteile gleichzusetzen sind. Verstärkt wird diese Vermutung noch dadurch, dass die Gemeinsamkeit von Bauteilen und LSS betont wird und dass beide dauernd oder zeitweise eine Leitung von Energie, Stoff oder Information ermöglichen, statt auf den Gegensatz hinzuweisen, dass die LSS nur im Zeitraum der Funktionserfüllung existiert. Darüber hinaus impliziert die Definition für die Synthese ein gleichzeitiges Festlegen von Verbindung und Gestalt, was kognitiv schwer umzusetzen ist. Hier kann in der Realität eher ein Vorgehen in mehreren Schritten beobachtet werden, bei dem der Konstrukteur zunächst zwei WFP durch eine „gestaltlose“ LSS miteinander verbindet, um eine Leitung von Stoff, Energie oder Information zwischen Wirkflächenpaaren zu ermöglichen. Die Modellierung der Gestalt, und damit die Festlegung des Volumens und Werkstoffs, erfolgt erst in nachgelagerten Schritten auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen bei der Konkretisierung.

Die zentrale Aufgabe einer LSS ist daher in der Leitung von Stoff, Energie und/oder Information zwischen zwei WFP zu sehen. Diese kann bereits in abstrakten

⁴⁸⁵ vgl. Matthiesen 2002, S. 50

Repräsentationen des Konstruktionsobjekts dargestellt werden, wodurch ein Weglassen der LSS vermieden werden kann.

7.2 Präzisierung von Definitionen

Die Analyse der Anwendung des C&C²-Ansatzes zur Unterstützung der Synthese zeigt, dass viele Schwierigkeiten und falsche Anwendungen in Zusammenhang mit der LSS auftreten. Um dem zukünftig vorzubeugen, muss bei dem Anwender gezielt ein Bewusstsein für die korrekte Anwendung des C&C²-Ansatzes erzeugt werden, welche ihm ermöglicht, elementare Fehler selbst zu erkennen und dadurch zu vermeiden. Empfohlen wird daher eine Präzisierung der Definition der LSS, welche

- das Leiten von Stoff, Energie und/oder Information zwischen zwei WFP als zentrale Aufgabe der LSS betont,
- dem Anwender die Unterschiede zwischen Bauteilen und LSS bewusst macht und
- die Materialisierung der LSS als nachgelagerten Schritt bei der Synthese bzw. Konkretisierung erlaubt.

Darüber hinaus muss bei der Präzisierung der Definition der LSS darauf geachtet werden, dass die gute Unterstützung der Analyseaktivitäten nicht zugunsten einer stärkeren Orientierung auf die Synthese verlassen wird. Daher müssen dem Anwender auch Hinweise gegeben werden, wo er bei der Analyse eines Systems LSS im System finden kann. Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen wird die Definition der LSS entsprechend angepasst und wie folgt definiert:

Präzisierte Definition der Leitstützstruktur (LSS)⁴⁸⁶

Leitstützstrukturen (LSS) leiten während der Funktionserfüllung zwischen genau zwei Wirkflächenpaaren Energie, Stoff und/oder Information. Eine Leitstützstruktur kann sich dabei abhängig vom Detaillierungsgrad der Modellbildung über Systeme oder Subsysteme hinweg erstrecken. Leitstützstrukturen existieren gemeinsam mit den zugehörigen Wirkflächenpaaren ausschließlich im Zeitraum der Funktionserfüllung. Leitstützstrukturen können nur in Volumina von Festkörpern, Flüssigkeiten, Gasen oder felddurchsetzten Räumen oder deren Kombination realisiert werden.

⁴⁸⁶ basiert auf eigenen Überlegungen und Diskussionen mit ALBERS und MATTHIESEN

Bei der Konstruktion wird Funktion in Gestalt festgesetzt. Bei diesem Prozess werden WFP und LSS vorausgedacht, ohne dass diese bereits in Hardware realisiert sind. Hierzu erstellt der Konstrukteur C&C²-Modelle mit dem Zweck, die Umsetzung einzelner Funktionen detailliert zu betrachten und in der Gestalt festzulegen. Da es sich hierbei um Modelle handelt, die den Zeitpunkt der Funktionserfüllung abbilden, existieren auch WFP und LSS, welche vom Konstrukteur in geeigneter Weise unter Beachtung der Grundhypothesen angeordnet werden können. Betont sei an dieser Stelle ausdrücklich, dass mit der Beschreibung der Existenz (=Vorhandensein, Bestehen) von WFP und LSS in der hier überarbeiteten Definition der LSS keinesfalls die Betrachtung auf rein in der Realität existierende Systeme beschränkt werden soll. Das Gegenteil ist der Fall. WFP und LSS müssen während der Konstruktion immer wieder vorausgedacht werden. Ersichtlich ist dies beispielsweise anhand der Definition der Tragstruktur. Hier muss der Konstrukteur alle relevanten LSS vorausdenken, um die Tragstruktur festzulegen. Dennoch ist die Beobachtung real stattfindender Funktionserfüllung nur in umgesetzten bzw. realisierten C&C²-Modellen möglich. Die Festlegung der Existenz von WFP und LSS verfolgt an dieser Stelle das Ziel, den Zweck der Modellbildung stärker im Bewusstsein des Anwenders zu verankern, um zu vermeiden, dass viele für die Modellbildung unwichtige Elemente in das C&C²-Modell aufgenommen werden.

Für den Umgang mit Informationseinheiten (z. B. Quellcode einer Software), welche beispielsweise bei der Konstruktion mechatronischer Systeme für die Funktionserfüllung relevant sein können, sei erwähnt, dass Information nach derzeitigem Erkenntnisstand immer einen Träger (z. B. Chip) benötigt, welcher ein Volumen aufweist. Auf diese Weise kann die Funktionserfüllung in Form von Informationsflüssen mit Hilfe von LSS, WFP und Connectoren auch hier beschrieben werden. Damit ist die Anwendung des C&C²-Ansatzes nicht auf rein mechanische Systeme beschränkt.

Im Zuge der Präzisierung der Definition der LSS wurde im Rahmen der Arbeit auch die Definition der WFP⁴⁸⁷ diskutiert. Dabei zeigte sich, dass mit dem Wirkkontakt⁴⁸⁸, welcher Wechselwirkungen innerhalb hoch aufgelöster WFP beschreibt, eine Unterklasse von WFP gebildet wurde, die nicht für jede Modellbildung relevant ist. Die Diskussionen machten außerdem deutlich, dass die Besonderheit des Kontakts zwischen zwei Wirkflächen noch stärker betont werden sollte. Gleichzeitig gilt es sich

⁴⁸⁷ Wirkflächenpaare (WFP) werden gebildet aus zwei beliebig geformten Wirkflächen, die in Kontakt stehen und zwischen denen Energie, Stoff und Information übertragen werden! vgl. IPEK 2013b

⁴⁸⁸ Wirkkontakt (WK) ist der Teil eines Wirkflächenpaares, in dem aktuell die Wechselwirkungen stattfinden! vgl. IPEK 2013b

von der Beschreibung rein mechanischer Systeme zu lösen. Daher darf der Kontakt zweier WF nicht rein mechanisch verstanden werden. Empfohlen wird eine Präzisierung der Definition der WFP, welche

- das Entstehen von untergeordneten WFP ermöglicht, aber nicht vorschreibt,
- die Besonderheit des Kontakts zwischen zwei WFP stärker betont und
- ein rein mechanisches Verständnis des Kontakts vermeidet.

Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen wird die Definition der WFP und WK entsprechend angepasst und wie folgt definiert:

Präzisierte Definition des Wirkflächenpaars (WFP)⁴⁸⁹

Wirkflächenpaare (WFP) werden gebildet aus zwei beliebig geformten Wirkflächen, die in Wirkkontakt stehen, in dem Energie, Stoff und/oder Information übertragen werden.

Präzisierte Definition des Wirkkontakts (WK)⁴⁹⁰

Der Wirkkontakt (WK) ist der Bereich eines Wirkflächenpaares, in dem aktuell die Wechselwirkungen stattfinden.

Die Definition macht Wirkkontakte zu einer speziellen Art von Kontakten, welche zwingend eine Übertragung von Energie, Stoff und/oder Information voraussetzen. Innerhalb eines WFP kann die Anzahl der Wirkkontakte abhängig vom Auflösungsgrad variieren. Falls kein Wirkkontakt besteht, existiert auch kein WFP. Wichtig für die Konstruktion und Modellbildung mit Wirkflächenpaaren während der Synthese und der Analyse ist, dass sich der Auflösungsgrad und die Größe bzw. räumliche Ausdehnung des dargestellten WFP primär am Zweck der Modellbildung orientiert. Damit kann je nach Bedarf auch in ein WFP „hineingezoomt“ werden um die im Wirkkontakt stattfindenden Wechselwirkungen zu betrachten.

⁴⁸⁹ basiert auf eigenen Überlegungen und Diskussionen mit ALBERS und MATTHIESEN

⁴⁹⁰ basiert auf eigenen Überlegungen und Diskussionen mit ALBERS und MATTHIESEN

8 Zusammenfassung und Ausblick

Das Kapitel fasst die Erkenntnisse dieser Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick für mögliche Fragestellungen und Themen nachfolgende Arbeiten.

8.1 Zusammenfassung

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist es, die Handlungsmuster von Konstrukteuren bei der Funktion-Gestalt-Synthese zu identifizieren, um zukünftig eine bessere Ausrichtung methodischer Ansätze an die Bedürfnisse der Anwender zu ermöglichen. Dazu werden im Stand der Forschung zunächst die Erkenntnisse vorangegangener, empirischer Untersuchungen erfasst und bezüglich ihres Forschungsschwerpunkts eingeordnet. Dieser Vergleich offenbart, dass der Fokus vieler Studien vorwiegend auf der Verbesserung der Lehre und der Ableitung von Erklärungsmodellen für den Konstruktionsprozess liegt. Die Weiterentwicklung von Konstrukteuren im industriellen Umfeld ist ein weitgehend unbesetztes Thema, für das es auch in der Industrie selbst derzeit kaum Lösungen gibt.⁴⁹¹ Darüber hinaus macht die Einordnung der verschiedenen Arbeiten bezüglich ihres Forschungsschwerpunkts deutlich, dass die Konstruktionsforschung von einer vollständigen Beschreibung der verschiedenen Einflüsse auf den Konstruktionsprozess und den darin entwickelten Lösungen noch weit entfernt ist. Während einige Einflussgrößen, wie z. B. der Einfluss des Konstruktionsproblems, bislang kaum erforscht sind, basieren die Erkenntnisse über die Zusammenhänge zwischen den gewählten Problemlösungsstrategien und den individuellen Einflüssen des Konstrukteurs primär auf Laborstudien, wobei die empirische Relevanz der dort beobachteten Phänomene durch entsprechende Untersuchungen im Feld bislang kaum belegt ist.

Aus diesem Grund wird im Rahmen dieser Arbeit eine Feldstudie zur Identifikation der von Konstrukteuren praktizierten Handlungsmuster bei der Funktion-Gestalt-Synthese mit dem Ziel durchgeführt, die bestehenden, vorwiegend aus Laborstudien resultierenden Erkenntnisse, auf ihre empirische Relevanz zu überprüfen und gegebenenfalls zu erweitern. Gleichzeitig sollen die dadurch gewonnenen Erkenntnisse zu einer besseren Ausrichtung methodischer Unterstützung bezüglich der Bedürfnisse der Anwender beitragen, und Hilfestellungen zu deren gezielter persönlicher Weiterentwicklung geben.

⁴⁹¹ vgl. acatech 2012, S. 92

Die retrospektiv-deskriptive Studie beschäftigt sich mit der Analyse von sechs Fallbeispielen, welche von sechs Konstrukteuren mit unterschiedlicher Berufserfahrung und Neigung durchgeführt werden. Alle Konstrukteure sind im Bereich der Gerätekonstruktion in einem Unternehmen tätig, welches in der Sparte Befestigungstechnik hochwertige elektrische Geräte entwickelt. Die detaillierte Analyse der Fallbeispiele zeigt, dass in der Gerätekonstruktion sowohl Umsetzungs-, als auch Systematik-Kompetenzen für das Lösen von Konstruktionsproblemen benötigt werden. Konstrukteure mit einer starken Systematik-Orientierung zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der Lage sind, Lösungen auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen zu entwickeln, und dabei durch die „vollständige“ Betrachtung des Lösungsraums das Finden einer „optimalen“ Lösung anstreben. Im Gegensatz dazu verfügen Konstrukteure mit starker Umsetzungs-Orientierung über ausgeprägte Fähigkeiten hinsichtlich der Erhöhung der Produktreife und der Überführung in die Serienproduktion. Bei der Lösungssuche auf konkreter Ebene streben sie primär eine „zufriedenstellende“ Lösung an, welche sie in kurzen Entwicklungsschleifen schnell zur Serienreife führen. Darüber hinaus zeigt die Analyse, dass die Handlungsmuster der Konstrukteure vorwiegend von der Ausprägung und dem Entwicklungsgrad der jeweiligen Kompetenz abhängig sind. Dies führt bei einer einseitigen Orientierung, welche in den Fallbeispielen vermehrt beobachtet werden konnte, dazu, dass die Konstrukteure in unterschiedlichen Problemsituationen weitestgehend nicht in der Lage sind, ihr Handlungsmuster situativ anzupassen. Verantwortlich für die in dem Unternehmen beobachtete Tendenz zur Umsetzungs-Orientierung von Konstrukteuren sind vermutlich in erster Linie der in der Gerätekonstruktion herrschende Zeitdruck, stark ergebnisorientierte Ziele und mangelndes Bewusstsein bezüglich der verschiedenen Entwicklungsmöglichkeiten. Trifft ein solcher umsetzungs-orientierter Konstrukteur auf einen Kollegen mit Systematik-Spezialisierung, kann es wie in einem der Fallbeispiele zu Schwierigkeiten beim Informationstransfer kommen, da eine gemeinsame Kommunikationsbasis fehlt.

Um die Probleme, welche aus einer einseitigen Entwicklung hinsichtlich der Umsetzungs- oder Systematik-Kompetenz resultieren, abzuschwächen und dem Mangel an Weiterbildungsmöglichkeiten im Unternehmen entgegen zu wirken, gibt diese Arbeit Anregungen zur Veränderung und gezielten Entwicklung des individuellen Handlungsmusters. Für unerfahrene Konstrukteure wird eine aktivitätenspezifische Wahl des Ansprechpartners bzw. Mentors mit unterschiedlichem Kompetenzschwerpunkt empfohlen. Auf diese Weise können unerfahrene Konstrukteure von den jeweiligen Stärken des Umsetzungs- und systematik-orientierten Spezialisten profitieren und lernen. Darüber hinaus wird durch das Auflisten der Stärken und Schwächen der Umsetzungs- und Systematik-Orientierung in Not- und Planungssituationen ein Bewusstsein für die Vor- und Nachteile der

unterschiedlichen Handlungsmuster geschaffen. Auf diese Weise können Konstrukteure zukünftig ihre Vorgehensweise reflektieren und werden vielleicht durch die empfohlene unterschiedliche Betonung der Aktivitäten in Not- und Planungssituationen stärker dazu angeregt, ihr Handlungsmuster an den Anforderungen der aktuellen Situation auszurichten.

Zur Verbesserung der Kommunikation zwischen Konstrukteuren mit gegensätzlichen Kompetenzschwerpunkten wird die Tauglichkeit des C&C²-Ansatzes für die Funktion-Gestalt-Synthese überprüft. Die dazu herangezogenen Diplomarbeiten offenbaren Missverständnisse bezüglich der Anwendung des C&C²-Ansatzes, welche sich in drastischer Weise auf die Funktion-Gestalt-Synthese auswirken können. Um ein stärkeres Bewusstsein für die korrekte, und damit eine Basis für die erfolgreiche Anwendung des C&C²-Ansatzes zu legen, wird abschließend die Definition für die Leitstützstrukturen und Wirkflächenpaare präzisiert.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch die Untersuchung der Fallbeispiele bestehenden Erkenntnisse bezüglich der Vorgehensweise von Konstrukteuren bestätigt und erweitert werden. Gleichzeitig wird dadurch eine stärkere Ausrichtung methodischer Unterstützung an den Bedürfnissen der Anwender ermöglicht. Die vorliegende Arbeit gibt hierfür erste Impulse, und erfüllt auf diese Weise ihre Zielsetzung.

8.2 Ausblick

Aus Sicht der Konstruktionsforschung sollten sich zukünftige Untersuchungen mit der Erforschung von weniger bekannten Variablen, wie z. B. dem Einfluss des Konstruktionsproblems, beschäftigen. Hierzu sind sowohl Laborstudien als auch Feldstudien bezüglich des Verhaltens einer Person bei Bearbeitung von verschiedenen Konstruktionsproblemen denkbar. Darüber hinaus besteht ein Mangel an klaren Regeln für die empirisch-qualitative Konstruktionsforschung, dessen Beseitigung sich weitere Arbeiten widmen könnten.

Bezüglich der Erkenntnisse dieser Arbeit, welche auf der Auswertung von sechs Fallbeispielen aus dem Bereich der Gerätekonstruktion beruhen, wäre eine Bestätigung und Erweiterung wünschenswert. Denkbar sind an dieser Stelle weitere Feldstudien in anderen Branchen (z. B. der Automobilbranche, Schiffsbau, Anlagenbau etc.), welche eine Generalisierbarkeit der Erkenntnisse auf andere Konstruktionsbereiche ermöglichen. Alternativ könnten auch Laborstudien durchgeführt werden, die sich mit der detaillierten Untersuchung einzelner Aspekte dieser Arbeit (z. B. statistische Verteilung der Orientierung von Konstrukteuren im industriellen Umfeld oder an Hochschulen) auseinandersetzen.

Ein interessanter Ansatz könnte auch sein, die Forschung am Konstrukteur mit der Forschung am C&C²-Ansatz zu verbinden. Um die Vorteile des Ansatzes in der Lehre nachzuweisen, könnten beispielsweise Studenten mit unterschiedlicher Ausbildung bei der Analyse von technischen Systemen beobachtet werden. Die Beobachtung erfahrener Konstrukteure könnte zudem weitere Erkenntnisse bezüglich deren Denkweise liefern, was ebenfalls für eine gezielten Ausrichtung des Ansatzes auf die Bedürfnisse der Anwender genutzt werden könnte. Geeignet scheinen hierzu Laborstudien die mit Hilfe von Eye-tracking sowie Video- und Tonaufzeichnungen die Denkweise der Anwender tiefer erforschen.

Ein ähnliches Setup wäre auch für Generation weiterer Erkenntnisse bezüglich der Funktion-Gestalt-Synthese denkbar. Hier gilt es zukünftig noch weitere konkrete Beispiele zu schaffen, welche die Vorgehenseise des Konstrukteurs bei der Funktion-Gestalt-Synthese detailliert beschreiben, um Orientierungen für andere Konstrukteure zu geben, wie dieser Prozess ablaufen kann. Gleichzeitig ist es wichtig, die Eigenschaften von Leitstützstrukturen (LSS) und Wirkflächen (WF) zu definieren, damit die Anwender eine konkrete Vorstellung davon haben, wie eine Systemveränderung durchgeführt werden kann. An dieser Stelle gilt es zu prüfen, in wie weit die von LEMBURG⁴⁹² definierten Eigenschaften diesen Prozess bereits unterstützen können.

Darüber hinaus zeigen die verschiedenen Diskussionen bezüglich des C&C²-Ansatzes, dass es unter Umständen sinnvoll ist, bei der Funktion-Gestalt-Synthese vor dem Festlegen der Gestalt, und dem damit verbundenen Fixieren der Eigenschaften von LSS und WF, einen weiteren Zwischenschritt einzuführen, in welchem Anforderungen an die LSS zur Funktionserfüllung formuliert werden (erste unvollständige Sammlung siehe Tabelle 9). Auf diese Weise wird die visuelle Darstellung der Funktionsgestaltelemente WFP und LSS durch zusätzliche, erklärende textuelle Beschreibungen in Form von Anforderungen greifbarer, und regt Konstrukteure noch stärker zur Entwicklung neuer Ideen in der Funktion-Gestalt-Synthese an.

Bezüglich der Forschungsobjekte ist darüber nachzudenken, ob die Untersuchungen verstärkt auf erfahrene Konstrukteure und Anwender zu erweitern sind, da viele Studenten noch zu sehr damit beschäftigt sind die Regeln des C&C²-Ansatzes intellektuell zu verarbeiten, wodurch die für die Funktion-Gestalt-Synthese so wichtige Kreativität blockiert wird.

⁴⁹² vgl. Lemburg 2006, S. 93 ff.

Gesamt betrachtet zeigen die verschiedenen Untersuchungen und Arbeiten bezüglich des C&C²-Ansatzes ein enormes Potential für eine Unterstützung der Analyse- und Syntheseschritte in der Konstruktion. Der C&C²-Ansatz ermöglicht erstmals Funktions-Gestalt-Zusammenhänge sowohl auf abstraktem als auch auf konkretem Niveau in der gleichen Ontologie zu beschreiben. Als etabliertes Denkmodell könnte er in der Praxis die in dieser Arbeit definierten Kommunikationsbarrieren zwischen Konstrukteuren unterschiedlicher Orientierung überwinden. Um dies zu erreichen, ist es extrem wichtig in Zukunft die Synthesemöglichkeiten noch stringenter weiter zu entwickeln.

Tabelle 9: Anforderungen an die LSS

Anforderungen an die LSS	
Übertragungsgröße	Definiert ob Stoff, Energie oder Information zwischen den Wirkflächenpaaren übertragen wird. Darüber hinaus legt die Übertragungsgröße je nach Konkretisierungsgrad des Systems fest, in welcher Form dies geschieht.
Kapazität	Definiert das Maximum der Übertragungsgröße, welches ohne Beeinträchtigung der Funktion übertragen werden muss.
Übertragungsgeschwindigkeit	Definiert die Geschwindigkeit mit welcher eine Übertragungsgröße zwischen WFP übertragen wird.
Übertragungsweg	Definiert die zur Gewährleistung der Funktion genutzte räumliche Verbindung (direkt oder indirekt) zwischen WFP.
Übertragungsart	Definiert die Kopplung von Eingangs- und Ausgangssignal, welche linear oder nicht linear ausgeprägt sein kann.
Übertragungsverlauf	Definiert die zeitliche Veränderung (dynamisch oder statisch) der Übertragungsgröße.
Existenz	Definiert die zeitliche Existenz (permanent oder temporär), welche im Wesentlichen an die Existenz der verbundenen WFP geknüpft ist.

9 Literaturverzeichnis

Abdullah et al. 2011

Abdullah, Z., Burvill, C. R., Field, B. W. (2011). *Identifying and quantifying industry perceptions of engineering drawing skills in novice Malaysian engineers*. In: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design ICED11, Copenhagen

acatech 2012

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (2012). *Faszination Konstruktion - Berufsbild und Tätigkeitsfeld im Wandel*. Springer

Albers 2010

Albers, A. (2010). *Five Hypotheses about Engineering Processes and their Consequences*. In: Proceedings of the TMCE 2010, Ancona

Albers 2011

Albers, A. (2011). *Der Entwickler im Zentrum des Systems der Produktentstehung*. In: Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung SSP 2011. Stuttgart

Albers & Meboldt 2006

Albers, A., Meboldt, M. (2006). *A New Approach in Product Development, Based on Systems Engineering and Systematic Problem Solving*. In: AEDS 2006 Workshop, Pilsen

Albers & Meboldt 2007

Albers, A., Meboldt, M. (2007). *IPEMM – Integrated Product Development Process Management Model, based on Systems Engineering and Systematic Problem Solving*. In: Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED07, Paris

Albers & Sadowski 2013

Albers, A., Sadowski, E. (2013). *The Contact and Channel Approach (C&C²-A) – relating a system's physical structure to its functionality*. In: An Anthology of Theories and Models of Design: Philosophy, Approaches and Empirical Explorations. Springer, Heidelberg, 2013

Albers & Wiedner 2011

Albers, A., Wiedner, A. (2011). *Analysis of created representations of the design object during the problem solving process*. In: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design ICED11. Copenhagen, Vol. 1, S. 256-265

Albers et al. 1999

Albers, A., Matthiesen, S. (1999). *Maschinenbau im Informationszeitalter*. In: 44. Internationales wissenschaftliches Kolloquium Ilmenau, Techn. Univ. Ilmenau

Albers et al. 2002a

Albers, A., Matthiesen, S. (2002). *Konstruktionsmethodisches Grundmodell zum Zusammenhang von Gestalt und Funktion technischer Systeme – Das Elementmodell „Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen“ zur Analyse und Synthese technischer Systeme*. In: Konstruktion, Zeitschrift für Produktentwicklung, Band 54, Heft 7/8 - 2002

Albers et al. 2002b

Albers, A., Saak, M., Burkardt, N., Schweinberger, D. (2002). *Gezielte Problemlösung bei der Produktentwicklung mit Hilfe der SPALTEN-Methode*. In: Internationales wissenschaftliches Kolloquium Ilmenau 2002, Techn. Univ. Ilmenau

Albers et al. 2003a

Albers, A., Matthiesen, S., Ohmer, M. (2003). *Evaluation of the Element Model 'Working Surface Pairs & Channel and Support Structures'*. In: Proceeding of International CIRP Design Seminar 2003. Grenoble, S. 352-362

Albers et al. 2003b

Albers, A., Matthiesen, S., Ohmer, M. (2003). *Alterations in students' ability to solve problems by introduction of the Element Model C&CM into the Karlsruhe Education Model for Industrial Product Development KaLeP*. In: 14th International Conference on Engineering Design ICED03, Stockholm

Albers et al. 2004a

Albers, A., Burkardt, N., Ohmer, M. (2004). *The Pair Character of Working Surfaces – Significant Elements of the Contact & Channel Model C&CM*. In: 14th International CIRP Design Seminar. Design in the global village, Cairo

Albers et al. 2004b

Albers, A., Burkardt, N., Ohmer, M. (2004). *Principles of Design on the abstract Level of the Contact and Channel Model*. In: Proceedings of the TMCE Symposium, Lausanne

Albers et al. 2005

Albers, A., Burkardt, N., Meboldt, M., Saak, M. (2005). *SPALTEN Problem Solving Methodology in the Product Development*. In: Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED05, Melbourne

Albers et al. 2007

Albers, A., Alink, T. (2007). *Support of design engineering activity for a systematic improvement of products*. In: Proceedings of the CIRP Design Seminar. The Future of Product Development, Berlin

Albers et al. 2008a

Albers, A., Alink, T., Thau, S., Matthiesen, S. (2008). *Support of design engineering activity through C&CM - temporal decomposition of design problems*. In: Proceedings of the TMCE Symposium, Izmi

Albers et al. 2008b

Albers A., Burkardt N., Deigendesch T., Meboldt M. (2008). *Enabling key competencies by educational project work exemplified by teamwork and cooperation*. In: International Conference on Engineering and Product Design Education E&PDE 2008, Barcelona

Albers et al. 2010

Albers, A., Braun, A., Muschik, S. (2010). *Ein Beitrag zum Verständnis des Aktivitätsbegriffs im System der Produktentstehung*. In: Tag des Systems Engineering TdSE 2010. München, S. 87-96

Albers et al. 2011

Albers, A., Sadowski, E., Marxen, L. (2011). *A New Perspective on Product Engineering Overcoming Sequential Process Models*. In: Birkhofer, H. (Hg.). The Future of Design Methodology. London, Springer, S. 199-209

Alink 2010

Alink, T. (2010). *Bedeutung, Darstellung und Formulierung von Funktion für das Lösen von Gestaltungsproblemen mit dem C&C-Ansatz*. Dissertation, IPEK, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Anderson 1983

Anderson J. (1983). *The Architecture of Cognition*: Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press

Atman & Bursic 1998

Atman, C. J., Bursic, K. M. (1998). *Verbal Protocol Analysis as a Method to Document Engineering Student Design Processes*. In: Journal of Engineering Education 87, S. 121-132

Atman et al. 1996

Atman, C. J., Bursic, K. M., Lozito, S. L. (1996). *An Application of Protocol Analysis to the Engineering Design Process*. In: ASEE Annual Conference Proceedings

Badke-Schaub 2001

Badke-Schaub, P. (2001). *Training zum Erkennen und Bewältigen kritischer Situationen in Projektgruppen*. In: Fisch, R., Beck, D., Englich, B. (Hg.). *Projektgruppen in Organisationen*. Göttingen: Hogrefe, S. 249-268

Badke-Schaub & Frankenberger 2004

Badke-Schaub, P., Frankenberger, E. (2004). *Management Kritischer Situationen – Produktentwicklung erfolgreich gestalten*. Springer

Behrendt 2009

Behrendt, M. (2009). *Entwicklung eines Systemtribometers mit Abbildung mehrachsiger instationärer Beanspruchungskollektive zur Analyse von Reibung und Verschleiß im Mischreibungsgebiet im Kontext nasslaufender Umschlingungs-CVT*. Dissertation, IPEK, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Beier & Maier 2010

Beier, F., Maier, T. (2010). *How digitize analog industrial design engineering*. In: International Design Conference DESIGN 2010, Dubrovnik

Benacerraf 1973

Benacerraf, P. (1973). *Mathematical Truth*. In: The Journal of Philosophy, Vol. 70, No. 19, pp661-679

Bender 2004

Bender, B. (2004). *Erfolgreiche individuelle Vorgehensstrategien in frühen Phasen der Produktentwicklung*. Dissertation, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1, Nr. 377, Technische Universität Berlin

Benz et al. 2009

Benz, A., Stock, D., Walter, T. (2009). *Case Study Research - Anforderungen und Analysemethoden*. Institut für Wirtschaftsinformatik, Universität St. Gallen [Online]. Verfügbar unter: http://www.tim.ethz.ch/education/courses/courses_fs_2009/course_docsem_fs_2009/presentations/T23CaseStudyResearch [19.02.2013]

Bessant 1979

Bessant, J. R. (1979). *Preparing for design studies: ways of watching*. In: Design Studies, Vol. 1, No. 2, Oct. 1979, S. 77-83.

Bessant & Mc Mahon 1979

Bessant, J. R., Mc Mahon, B. J. (1979). *Participant observation of a major design decision in industry*. In: Design Studies, Vol. 1, No. 1, July 1979, S. 21-26.

Blade & Watson 1955

Blade M. F., Watson W. S. (1955). *Increase in Spatial Visualization Test Scores During Engineering Study*. In: Psychological Monographs: General and Applied. Vol. 69 (12), S. 1-13

Blessing 1994

Blessing, L. (1994). *A process-based approach to computer-supported engineering design*. Cambridge UK: Black Bear Press

Bonnema & Van Houten 2006

Bonnema, G. M., Van Houten, F. J. A. M. (2006). *Use of models in conceptual design*. In: Journal of Engineering Design, Vol. 17, No. 6, December 2006, S. 549-562

Bortz & Döring 2002

Bortz, J., Döring, N. (2002). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. 3. Auflage, Berlin

Brander et al. 1985

Brander, S., Kompa, A., Peltzer, U. (1985). *Denken und Problemlösen*. Opladen: Westdeutscher Verlag GmbH

Brereton et al. 1993

Brereton, M., Cupal, T., Leifer, L. (1993) *Reconstructing Reality in Engineering Exercises: An Experience in Design, Exercise and Use*. In: Proceedings of the 9th International Conference on Engineering Design ICED93, Hague

Brereton et al. 1996

Brereton, M., Cannon, D., Mabogunje, A., Leifer, L. (1996). *Characteristics of collaboration in engineering design teams*. In: N. Cross, H. Christiaans & K. Dorst (Hg.), *Analysing Design Activity*. Chichester: John Wiley & Sons.

Cartwright 1989

Cartwright, N. (1989). *Nature's Capacities and their Measurement*. Oxford: Clarendon Press

Carroll et al. 1980

Carroll, J. M., Thomas, J. C., Miller, L. A., Friedman, H. P. (1980). *Aspects of Solution Structure in Design Problem Solving*. In: *American Journal of Psychology*, Vol. 93, No. 2, S. 269-284.

Chakravartty 2001

Chakravartty, A. (2001). *The Semantic or Model-Theoretic view of Theories and Scientific Realism*. In: *Synthese*, Vol. 127, No. 3, pp325-345

Chimka & Atman 1998

Chimka, J. R., Atman, C. J. (1998). *Graphical representations of engineering design behaviour*. In: 1998 Frontiers in Education Conference, Tempe, Arizona

Christiaans et al. 1993

Christiaans, H. Dorst, D., Cross, N. (1993). *Levels of Competence in Product Designing*. In: Proceedings of the 9th International Conference on Engineering Design ICED93, Hague

Cooper et al. 2002

Cooper, R. G., Edgett, S. J., Kleinschmidt E. J. (2002). *What Best Practice Companies Are Doing*. In: *Industrial Research Institute (Hg.), Research Technology Management*, Vol. 45, No. 5

Crabtree et al. 1993

Crabtree, R., Baid, N., Fox, M. (1993). *An Analysis of Coordination Problems in Engineering Design*. In: Proceedings of the 9th International Conference on Engineering Design ICED93, Hague

Crain et al. 1997

Crain, R. W., Davis, D. C., Trevisan, M. S., Calkins, D. E., Gentili, K. W. (1997). *State wide endorsement of design in Washington*. In: Proceedings of the Frontiers in Education Annual Meeting, S. 363-365.

Cross 1995

Cross, N. (1995). *Teamwork in design: empirical observations of group activity*. In: Proceedings of the 10th International Conference on Engineering Design ICED95, Praha

Czichos & Hennecke 2007

Czichos, H., Hennecke, M. (2007). *Das Ingenieurwissen*. Berlin: Springer

Deigendesch 2009

Deigendesch, T. (2009). *Kreativität in der Produktentwicklung und Muster als methodisches Hilfsmittel*. Dissertation, IPEK, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Dörner 1987

Dörner, D. (1987). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. 3. Auflage, Stuttgart: Kohlhammer

Dörner 1994

Dörner, D. (1994). *Gedächtnis und Konstruieren*. In: Pahl, G. (Hg.), 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 1998

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

Dörner 2006

Dörner, D. (2006). *Die Logik des Misslingens - Strategisches Denken in komplexen Situationen*. rororo

Dörner & Lantermann 1990

Dörner, D., Lantermann, E.-D. (1990). *Experiment und Empirie in der Psychologie*. Working Paper Nr.1, Max-Planck-Gesellschaft, Projektgruppe für Kognitive Anthropologie.

Dörner et al. 1983

Dörner, D., Kreuzig, H., Reither, F., Stäudel, T. (1983). *Lohhausen - Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Bern: Huber

Donmoyer 2000

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

Dorst 1991

Dorst, K. (1991). *An empirical study into design thinking*. In: Cross, N., Doorst, K., Roozenburg N. (Hg.), *Research in design thinking*. Proceedings of a Workshop meeting held at the Faculty of Industrial Design Engineering, Delft University of Technology, May 29-31

Dorst & Reymen 2004

Dorst, K., Reymen, I. (2004). *Levels of expertise in design education*. In: Lloyd, P., Roozenburg, N., McMahon, C., Brodhurst, L. (Hg.), *The Changing Face of Design Education*. International Engineering and Product Design Education Conference IEPDE 2004, Delft

Dreibholz 1975

Dreibholz, D. (1975). *Ordnungsschemata bei der Suche von Lösungen*. In: *Konstruktion*, Nr. 27, S. 233-239.

Dylla 1991

Dylla, N. (1991). *Denk- und Handlungsabläufe beim Konstruieren*, Dissertation, Technische Universität München (TUM)

Eastman 1968

Eastman, C. M. (1968). *Explorations of the Cognitive Processes in Design*. Dissertation, Carnegie Mellon University, Pittsburgh (PA)

Eastman 1970

Eastman, C. M. (1970). *On the Analysis of Intuitive Design Processes*. In: Moore, G. (Hg), *Emerging Methods in Environmental Design*, Cambridge, S. 21- 37

Eckert et al. 2010

Eckert, C. M., Alink, T., Albers, A. (2010). *Issue driven analysis of an existing product at different levels of abstraction*. In: the 11th International Design Conference DESIGN 2010, Cavtat-Dubrovnik

Eder & Hubka 2005

Eder, W., Hubka, V. (2005). *Curriculum, pedagogics and didactics for design education*. In: Journal of Engineering Design. Vol. 16, No. 1, February 2005, S. 45-61

Ehrlenspiel & Rutz 1987

Ehrlenspiel, K., Rutz, A. (1987) *Konstruieren als gedanklicher Prozeß*. In: Konstruktion, Nr. 39, S. 409-414.

Ehrlenspiel & Dylla 1991

Ehrlenspiel, K., Dylla, N. (1991). *Untersuchung des individuellen Vorgehens beim Konstruieren*. In: Konstruktion, Nr. 43, S. 43-51.

Ehrlenspiel & Dylla 1993

Ehrlenspiel, K., Dylla, N. (1993). *Experimental Investigations of Designers' Thinking Methods and Design Procedures*. In: Journal of Engineering Design, Vol. 4, No. 3, S. 201-212.

Ehrlenspiel 2007

Ehrlenspiel, K. (2007). *Integrierte Produktentwicklung*. München: Hanser

Eisenhardt 1989

Eisenhardt, K. M. (1989). *Making Fast Strategic Decisions in High Velocity Environments*. In: Academy of Management Journal 1989, S. 543-576

Farrugia et al. 2011

Farrugia, P. J., Borg, J. C., Camilleri, K. P. (2011). *Exploiting hand sketching in educating 'mechanically oriented' engineering students*. In: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design ICED11, Copenhagen

Field 2011

Field, B. (2011). *Fluency and flexibility of concepts arising from personalized ideation techniques*. In: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design ICED11, Copenhagen

Fischer et al. 2007

Fischer, A., Meuer, R., Weber, M. (2007). *Handwerkzeuggerät*. Patentschrift, Deutsches Patent- und Markenamt, Patent-Nr.: DE102007000093A1.

Flick 2002

Flick, U. (2002). *Qualitative Forschung*, 6. Aufl., Reinbek b. Hamburg

Franke 1995

Franke, H.-J. (1995). *Bilder und Begriffe beim konstruktiven Denken - Diskussionen und Ergebnisse eines Workshops*. In: VDI Berichte, Nr. 1169

Frankenberger 1997

Frankenberger, E. (1997). *Arbeitsteilige Produktentwicklung- Empirische Untersuchung und Empfehlungen zur Gruppenarbeit in der Konstruktion*. Dissertation, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1, Nr. 291, Technische Universität Darmstadt, Düsseldorf: VDI-Verlag

Fricke 1993

Fricke, G. (1993). *Konstruieren als flexibler Problemlöseprozess – Empirische Untersuchung über erfolgreiche Strategien und methodische Vorgehensweisen beim Konstruieren*. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1, Nr. 227, Technische Universität Darmstadt

Frigg 2003

Frigg, R. (2003). *Re-representing scientific representation*. PhD thesis, London School of Economics

Geis et al. 2008

Geis, C., Bierhals, R., Schuster, I., Badke-Schaub, P., Birkhofer, H. (2008). *Methods in practice – a study on transfer of design methods*. In: Proceedings of the International Design Conference DESIGN 2008, Dubrovnik

Gomm et al. 2000

Gomm, R., Hammersley, M., Foster, P. (2000). *Case Study Method*. Thousand Oaks: Sage 2000

Günther 1998

Günther, J. (1998). *Individuelle Einflüsse auf den Konstruktionsprozess*. Dissertation, Technische Universität München (TUM), Aachen: Shaker

Guindon 1990

Guindon, R. (1990). *Designing the Design Process. Exploiting Opportunistic Thoughts*. In: Human-Computer Interaction, Vol. 5, S. 305-344.

Hacker 1992

Hacker, W. (1992). *Expertenkönnen*. Göttingen, Stuttgart: Verlag für Angewandte Psychologie

Hales 1987

Hales, C. (1987). *Analysis of the engineering design process in an industrial context*. Dissertation, University of Cambridge, Grants Hill Publication

Hansen 1965

Hansen, F. (1965). *Konstruktionssystematik*. Berlin: VEB Verlag Technik

Harrison & Aurisicchio 2011

Harrison, T., Aurisicchio, M. (2011). *Understanding the front end of design*. In: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design ICED11, Copenhagen

Hartmann et al. 2011

Hartmann, M., Kohlschmied, F., Daubner, C. (2011). *Handwerkzeugmaschine mit pneumatischem Schlagwerk und Steuerungsverfahren dafür*. Patentschrift, Europäisches Patentamt, Patent-Nr.: EP2394793A1

Hauptmann 2012

Hauptmann, U. (2012). *Werkzeugaufnahme*. Patentschrift, Europäisches Patentamt, Patent-Nr.: EP2495078A1

Hauser 2007

Hauser, S. (2007). *Konzepte zur Validierung geometrischer Charakteristika von Mikroverzahnungen*. Dissertation, IPEK, Universität Karlsruhe (TH)

Helfferich 2005

Helfferich, C. (2005). *Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews*. 2. Aufl., VS Verlag

Hofbrucker & Ohlendorf 2011

Hofbrucker, T., Ohlendorf, O. (2011). *Bohrwerkzeug*. Patentschrift, Europäisches Patentamt, Patent-Nr.: EP2383072A1

Hoover 1991

Hoover, S., Rinderle, J., Finger, S. (1991). *Models and abstractions in design*. In: Design Studies, Vol. 12, Issue 4, October 1991, S. 237-245

Howard et al. 2008

Howard, T. J., Culley, S. J., Dekoninck, E. (2008). *Describing the Creative Design Process by the Integration of Engineering Design and Cognitive Psychology Literature*. In: Design Studies, Vol. 29, S. 160-180

Hutterer 2005

Hutterer, P. (2008). *Reflexive Dialoge und Denkbausteine für die methodische Produktentwicklung*. Dissertation, Technische Universität München (TUM)

Hykin 1972

Hykin, D. H. W. (1972). *Design Methods and Design Practice - A Field Study of the Design Process in the Engineering Industry*. PhD thesis, University of London

IPEK 2013a

IPEK (2013). *K.2.5.2.0.0.0.0.0_GLDA_CCA_Grundhypothesen*. Vorlesungsmaterial des IPEK zu der Vorlesung Maschinenkonstruktionslehre, IPEK, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), WS2012/13

IPEK 2013b

IPEK (2013). *K.2.5.3.0.0.0.0.0_GLDA_CCA_Definitionen*. Vorlesungsmaterial des IPEK zu der Vorlesung Maschinenkonstruktionslehre, IPEK, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), WS2012/13

Jänsch 2007

Jänsch, J. (2007). *Akzeptanz und Anwendung von Konstruktionsmethoden im industriellen Einsatz*. Dissertation, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1, Nr. 396, Technische Universität Darmstadt

Kao & Archer 1997

Kao, D., Archer, N. P. (1997). *Abstraction in conceptual model design*. In: International Journal of Human-Computer Studies, Vol. 46, S. 125–150.

Karrar 2008

Karrar, C. (2008). *Ein Beitrag zur Entwicklung, Dimensionierung und Prüfung trockenlaufender Kupplungen und Bremsen in Antriebsstrangsystemen im Hinblick auf die Vermeidung von Reibschwingungen*. Dissertation, IPEK, Universität Karlsruhe (TH)

Kläger 1993

Kläger, R. (1993). *Modellierung von Produktanforderungen als Basis für Problemlösungsprozesse in intelligenten Konstruktionssystemen*. Dissertation, Aachen: Shaker Verlag

Köhler 1921

Köhler, W. (1921). *Intelligenzprüfungen am Menschenaffen*. Berlin, Heidelberg: Springer

Köller et al. 1994

Köller, O., Rost, J., Köller, M. (1994). *Individuelle Unterschiede beim Lösen von Raumvorstellungsaufgaben aus dem IST- bzw. IST-70-Untertest "Würfelaufgaben"*. In: Zeitschrift für Psychologie, 202, S. 65-85

Kristen et al. 2009

Kristen, F., Ludwig, M., Manschitz, E., Kaibach, W., Mössnang, F., Stroissnigg, H., Schallert, M. (2009). *Drehmomentkupplung*. Patentschrift, Deutsches Patent- und Markenamt, Patent-Nr.: DE102009046475A1

Kriz et al. 1987

Kriz, J., Lück, H., Heidbrink, H. (1987). *Wissenschafts- und Erkenntnistheorie. Eine Einführung für Psychologen und Humanwissenschaftler*. Opladen: Leske und Budrich

Kroll 2011

Kroll, E. (2011). *Structured concept development with parameter analysis*. In: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design ICED11, Copenhagen

Kromrey 2002

Kromrey, H. (2002). *Empirische Sozialforschung*. Opladen

Lamnek 1995

Lamnek, S. (1995). *Qualitative Sozialforschung. Methoden und Techniken*. 3. Aufl., München: Psychologie Verlags Union

Lattuca et al. 2006

Lattuca, L., Terenzini, P., Volkwein, J. (2006). *Engineering Change: A study of the Impact of EC2000*. Executive summary, ABET, Baltimore

Lemburg 2006

Lemburg, J. (2006). *Methodik der schrittweisen Funktion-Gestalt-Synthese*. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technischen Hochschule Aachen (RWTH). Aachen: Shaker

Lenk 1993

Lenk, E. (1993). *Zur Problematik der technischen Bewertung*. Dissertation, Technische Universität München (TUM), München: Hanser

Liem 2011

Liem, A. (2011) *How productrepresentation types are perceived at the client's end to facilitate communication and decision making*. In: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design ICED11, Copenhagen

Lienert & Ratz 1998

Lienert, Gustav A., Ratz, U. (1998). *Testaufbau und Testanalyse*. 6. Aufl., Weinheim

Lincoln & Guba 2000

Lincoln, Y., Guba, E. (2000). *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

Lindemann 2007

Lindemann, U. (2007). *Methodische Entwicklung technischer Produkte*. Berlin: Springer

Lloyd & Deasley 1996

Lloyd, P., Deasley, P. (1996). *Ethnographik Description of Design Networks*. In: Ö. Akin & G. Saglam (Hg.), *Proceedings after Symposium "Descriptive Models of Design"*, 1.-5. Juli, Istanbul

Locke 2001

Locke, K. (2001). *Grounded Theory in Management Research*. London

Logie 1995

Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial Working Memory*. Hove: Psychology Press

Lohmeyer 2013

Lohmeyer, Q. (2013). *Menschzentrierte Modellierung von Produktentstehungssystemen unter besonderer Berücksichtigung der Synthese und Analyse dynamischer Zielsysteme*, Dissertation, IPEK, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Lossack 2004

Lossack, R. S. (2004). *Wissenschaftstheoretische Grundlagen für die rechnerunterstützte Konstruktion*. Habilitationsschrift, Universität Karlsruhe (TH)

Malhotra et al. 1980

Malhorta, A., Thomas, J. C., Carroll, J. M., Miller, L. A. (1980). *Cognitive Processes in Design*. In: *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 12, S. 119-140

Marion & Fixson 2011

Marion, T. J., Fixson, S. K. (2011). *The benefits and pitfalls of digital design tools*. In: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design ICED11, Copenhagen

Marples 1961

Marples, D. L. (1961). *The Decisions of Engineering Design*. In: IRE Transactions on Engineering Management, EM-8, June 1961, S. 55-71

Matthiesen 2002

Matthiesen, S. (2002). *Ein Beitrag zur Basisdefinition des Elementmodells "Wirkflächenpaare & Leitstützstrukturen" zum Zusammenhang von Funktion und Gestalt technischer Systeme*. Dissertation, IPEK, Universität Karlsruhe (TH)

Meboldt 2008

Meboldt, M. (2008). *Mentale und formale Modellbildung in der Produktentstehung - als Beitrag zum integrierten Produktentstehungs-Modell (iPeM)*. Dissertation, IPEK, Universität Karlsruhe (TH)

Meboldt et al. 2012

Meboldt, M., Matthiesen, S. ; Lohmeyer, Q. (2012). „*The Dilemma of Managing Iterations in Time-to-Market Development Processes*“. In: 2nd International Conference on Modelling and Management of Engineering Processes MMEP 2012, Cambridge

Miller 1956

Miller, G. A. (1956). *Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information*. In: The Psychological Review, Vol. 63, pp. 81-97

Minneman 1991

Minneman, S. L. (1991). *The social construct of a technical reality: empirical studies of group engineering design practice*. Dissertation, Stanford University, Pa10 Alto Research Centre, CA

Mitariu-Faller 2009

Mitariu-Faller, M. (2009). *Methoden und Prozesse zur Entwicklung von Friktionssystemen mit Ingenieurkeramik am Beispiel einer trockenlaufenden Fahrzeugkupplung*. Dissertation, IPEK, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Müller 1989

Müller, J. (1989). *Möglichkeiten und Ergebnisse der analytischen Darstellung konstruktiver Entwurfsprozesse im aktivitäts- und ereignisorientierten Graph*. In: Konstruktion, Nr. 41, S. 25-34

Müller 1990

Müller, J. (1990). *Arbeitsmethoden der Technikwissenschaften*. Berlin/Heidelberg: Springer

Nersessian 2008

Nersessian, N. J. (2008). *Creating scientific concepts*. Cambridge, MA, US: MIT Press

North 2011

North, K. (2011). *Wissensorientierte Unternehmensführung – Wertschöpfung durch Wissen*. Wiesbaden: Gabler Verlag

Ölvander et al. 2008

Ölvander J., Lundén B., Gavel H., (2008). *A computerized optimization framework for the morphological matrix applied to aircraft conceptual design*. In: Computer Aided Design, 41, S. 187-196

Ohmer 2008

Ohmer, M. (2008). *Ein Beitrag zur Synthese technischer Systeme auf Basis des Contact & Channel Model C&CM*. Dissertation, IPEK, Universität Karlsruhe (TH)

Pache et al. 2001

Pache, M., Römer, A., Lindemann, U., Hacker, W. (2001) *Sketching behaviour and creativity in conceptual engineering design*. In: Proceedings of the 13th International Conference on Engineering Design ICED01, Glasgow

Pahl & Beitz 1986

Pahl, G., Beitz, W. (1986). *Konstruktionslehre - Handbuch für Studium und Praxis*. 2. Auflage, Berlin: Springer

Pahl 1992

Pahl G. (1992). *Merkmale guter Problemlöser beim Konstruieren*. In *praxiserprobte Methoden erfolgreicher Produktentwicklung*. In: VDI-Bericht Nr. 953, S. 187-201. Düsseldorf: VDI-Verlag

Pahl et al. 2005

Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K.-H. (2005). *Konstruktionslehre: Grundlagen Erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung*. Berlin: Springer

Patzak 1982

Patzak, G. (1982). *Systemtechnik - Planung komplexer innovativer Systeme*. Berlin: Springer

Ponn & Lindemann 2008

Ponn, J., Lindemann, U. (2008): *Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte*. Springer

Ramström & Rhenman 1965

Ramström, D., Rhenman, E. (1965). *A Method of Describing the Development of an Engineering Project*. In: IEEE Transactions on Engineering Management. Vol. EM-12, No. 3, S. 79-86.

Rittel 1984

Rittel, H. W. (1984). *Second generation design methods*. In: Cross, N. (Hg.) *Developments in design methodology*. Chichester: John Wiley & Sons, 1984 (Artikel wurde im Original 1972 publiziert)

Robinson et al. 2005

Robinson, M. A., Sparrow, P. R., Clegg, C., Kamal Birdi, K. (2005). *Design engineering competencies: future requirements and predicted changes*. In: *Design Studies*, Vol. 26

Rosen 2012

Rosen, G. (2012) *Abstract Objects*. The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Edward N. Zalta (Hg.), [Online]. Verfügbar unter: <http://plato.stanford.edu/entries/abstract-objects/> [19.02.2013]

Rückert 1997

Rückert, C. (1997). *Untersuchungen zur Konstruktionsmethodik – Ausbildung und Anwendung*. Düsseldorf: VDI-Verlag

Rückert et al. 1997a

Rückert, C., Ahrens, G., Schroda, F., Gaedeke, O. (1997). *Evaluating Methodical Engineering Design Education*. In: Proceedings ASME International Conference on Design Theory and Methodology, Paper No. DTM-97-3889

Rückert et al. 1997b

Rückert, C., Giesa, H.-G., Schroda, F., Bender, Beate (1997). *Categorizing Engineering Design Problems*. In: Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED97, Vol. 2, S. 441-444.

Rückert et al. 1997c

Rückert, C., Schroda, F., Gaedeke, O. (1997). *Wirksamkeit und Erlernbarkeit der Konstruktionsmethodik*. In: *Konstruktion*, Nr. 49, S. 26-31.

Rutz 1985

Rutz, A. (1985). *Konstruieren als gedanklicher Prozeß*. Dissertation, Technische Universität München

Saak 2006

Saak, M. (2006). *Entwicklung eines Konzeptes und eines Prototypen für ein rechnergestütztes Werkzeug zum effizienten Einsatz der Problemlösungsmethodik ‚SPALTEN‘*. Dissertation, IPEK, Universität Karlsruhe (TH)

Sachse & Hacker 1995

Sachse, P., Hacker, W. (1995). *Wie denkt und handelt der Konstrukteur?* TU Dresden, Forschungsbericht des Instituts für allgemeine Psychologie und Methoden der Psychologie, 24

Sauter 2011

Sauter, C. (2011). *Ein Beitrag zur Integration von Wikis und Social Tagging in die Produktentstehung*. Dissertation, IPEK, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Schregenberger 1980

Schregenberger, J.W. (1980). *Methodenbewusstes Problemlösen: ein Beitrag zur Ausbildung von Ingenieuren, Beratern und Führungskräften*. Dissertation, Technische Hochschule Zürich

Schubert et al. 2011

Schubert, S., Nagarajah, A., Feldhusen, F. (2011). *An approach for more efficient variant design processes*. In: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design ICED11, Copenhagen

Schyr 2006

Schyr, C. (2006). *Modellbasierte Methoden für die Validierungsphase im Produktentwicklungsprozess mechatronischer Systeme am Beispiel der Antriebsstrangentwicklung*. Dissertation, IPEK, Universität Karlsruhe (TH)

Seel 2003

Seel, N.M. (2003). *Psychologie des Lernens*. München: Ernst Reinhard Verlag

Shah 2005

Shah, J. (2005). *Identification, Measurement & Development of Design Skills In Engineering Education*. In: Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED05, Melbourne

Simon 1962

Simon, H. A. (1962). *The Architecture of Complexity*. In: Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 106, Nr. 6, S. 467-482

Stacey et al. 2003

Stacey, M., Eckert, C. M. (2003). *"Against Ambiguity"*. In: Journal of CSCW, 12 (2), S. 153-183

Stachowiak 1973

Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Wien: Springer

Stephenson 1987

Stephenson, T. (1987). *Raumvorstellung und Berufsausbildung*. Dissertation, Universität Wien, Grund- und integrativwissenschaftliche Fakultät

Stauffer et al. 1987

Stauffer, L. A., Ullman, D. G., Dietterich, T. G. (1987). *Protocol Analysis of Mechanical Engineering Design*. In: Proceedings of the International conference on Engineering Design ICED 87, WDK Schriftenreihe 13, Vol. 1, S. 74-85.

Stauffer & Ullman 1988

Stauffer, L. A., Ullman, D. G. (1988). *A Comparison of the Results of Empirical Studies into the Mechanical Design Process*. In: Design Studies, Vol. 9, Nr. 2, S. 107-114

Stauffer & Ullman 1991

Stauffer, L. A., Ullman, D. G. (1991). *Fundamental Processes of Mechanical Designers based on Empirical Data*. In: Journal of Engineering, Vol. 2, Nr.1, S. 89-101.

Stuffer 2007

Stuffer, A. (2007). *Prototyp eines stufenlos verstellbaren Getriebes als Technologieträger für die Potenzialabschätzung von ingenieurkermaischen Werkstoffen in geschmierten Friktionssystemen*. Dissertation, IPEK, Universität Karlsruhe (TH)

Tang 1989

Tang, J. C. (1989). *Listing, Drawing and Gesturing in Design: A Study of the Use of Shared Workspaces by Design Teams*. PhD thesis, Stanford University

Tang & Leifer 1991

Tang, J. C., Leifer, L. J. (1991). *An Observational Methodology for Studying Group Design Activity*. In: Research in Engineering Design, Vol. 2, Nr. 4, S. 209-219.

Tang & Minneman 1990

Tang, J. C., Minneman, S. L. (1990). *VideoDraw: A video interface for collaborative drawing*. In: Proceedings of the Conference on Computer and Human Interaction (CHI) '90, Seattle, S. 313-320.

Tang et al. 2011

Tang, H. H., Lee, Y. Y., Gero, J. S. (2011). *Comparing collaborative co-located and distributed design processes in digital and traditional sketching environments: A protocol study using the function-behaviour-structure coding scheme*. In: Design Studies, Vol. 32, Nr. 1, S. 1-29

Thomas & Carroll 1979

Thomas, J. C., Carroll, J. M. (1979). *The Psychological Study of Design*. In: Design Studies, Vol.1, Nr. 1, S. 5-11

Tomiyama et al. 2009

Tomiyama, T., Gu, P., Jin, Y., Lutters, D., Kind, C., Kimura, F. (2009). *Design methodologies: Industrial and educational applications*. In: CIRP Annals - Manufacturing Technology.

Turchin 1997

Turchin, V. (1997). *Abstraction*. Principia Cybernetica Web [Online]. Verfügbar unter: <http://pespmc1.vub.ac.be/ABSTRACT.html> [19.02.2013]

Ullman 2009

Ullman D. G. (2009) *The Mechanical Design Process*. 4th edition, Boston: McGraw-Hill

Ullman & Dietterich 1987

Ullman, D. G., Dietterich, T. G. (1987). *Mechanical Design Methodology: Implications on Future Developments of CAD and KB Systems*. In: Engineering with Computers, Vol. 2, Nr. 1, S. 21-29

Ullman et al. 1988

Ullman, D. G., Dietterich, T. G., Stauffer, L. A. (1988). *A model of the mechanical design process based on empirical data*. In: Artificial Intelligence in Engineering Design and Manufacturing, Vol. 2, S. 33-52

Vaus 2001

Vaus, D. A. d. (2001). *Research Design in Social Research*. London, New Delhi: SAGE

VDI 2220

Verein Deutscher Ingenieure (1980). *Richtlinie 2220, Produktplanung – Ablauf, Begriffe und Organisation*. Berlin: Beuth

VDI 2221

Verein Deutscher Ingenieure (1993). *Richtlinie 2221, Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Berlin: Beuth

Visser 1990

Visser, W. (1990). *More or Less Following a Plan During Design: Opportunistic Deviations in Specification*. In: International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 33, Nr. 3, S. 247-278

Visser 1994

Visser, W. (1994). *Organisation of Design Activities: Opportunistic with hierarchical Episodes*. In: Interacting with Computers, Vol. 6, No. 3, S. 235-274

Visser 1995

Visser, W. (1995). *Reuse of Knowledge: Empirical Studies*. In: Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1010, S. 335-346

Visser 1996

Visser, W. (1996). *Use of Episodic Knowledge and Information in Design Problem Solving*. In: Cross, N., Christiaans, H., Dorst, K. (Hg.), *Analysing Design Activity*. Chichester, S. 271-289.

Viswanathan & Linsey 2011

Viswanathan, V., Linsey, J. (2011). *Understanding fixation: A study on the role of expertise*. In: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design ICED11, Copenhagen

Volkwein et al. 2004

Volkwein, J., Lattuca, L., Terenzini, P. (2004). *Engineering Change: A study of the Impact of EC2000*. In: Int. J. Engng Ed. Vol. 20, Nr. 2

Wallace & Hales 1987

Wallace, K. M., Hales, C. (1987). *Detailed Analysis of an Engineering Design Project*. In: Proceedings of the International Conference on Engineering Design ICED 87, Vol. 1, S. 94-101

Wallmeier 2001

Wallmeier, S. (2001). *Potenziale in der Produktentwicklung- Möglichkeiten und Grenzen von Tätigkeitsanalyse und Reflexion*. Dissertation, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 1, Nr. 352, Technische Universität Darmstadt, Düsseldorf: VDI Verlag

Welling 2007

Welling, H. (2007). *Four Mental Operations in Creative Cognition: The Importance of Abstraction*. In: Creativity Research Journal, Vol. 19, Nr. 2-3, S. 163-177

Weth 1994

von der Weth, R. (1994). *Konstruieren: Heuristische Kompetenz, Erfahrung und individuelles Vorgehen*. In: Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, 38,12, 3, S. 102-111

Wiedner et al. 2011

Wiedner, A. Hartmann, M. Hauptmann, U. (2011) *Werkzeugaufnahme*. Patentschrift, Deutsches Patent- und Markenamt, Patent-Nr.: DE102011077244A1

Willke 1998

Willke, H. (1998). *Organisierte Wissensarbeit*. In: Zeitschrift für Soziologie, Vol. 27, Nr. 3, S. 161-177

Wrona 2004

Wrona, T. (2004). *Strategiebildungsprozesse in deutschen Internet-Unternehmen – theoretische Überlegungen und empirische Fallstudienbefunde*. Unveröffentlichte Habilschrift, Essen

Wulf 2002

Wulf, J. (2002). *Elementarmethoden zur Lösungssuche*. Dissertation, Technische Universität München (TUM), München: Dr. Hut Verlag

Wynn & Clarkson 2005

Wynn D., Clarkson J. (2005). *Models of designing, in Designing process improvement*. Springer

Zeiler 2011

Zeiler, W. (2011). Integral design: to combine architecture and engineering for a sustainable built environment. In: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design ICED11. Copenhagen

Zeitz 1997

Zeitz, C. M. (1997). *Some Concrete Advantages of Abstraction: How Experts' Representations Facilitate Reasoning*. In: Feltovich, P. J., Ford, K. M., Hoffman, R. R. (Hg.), *Expertise in context: Human and machine*, S. 43–65, Menlo Park, CA: AAAI Press

Zwicky 1966

Zwicky, F. (1966). *Entdecken, Erfinden, Forschen im morphologischen Weltbild*. Zürich: Droemer Knaur

Studien-, Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten

Holubarsch 2009

Holubarsch, M., Co-Betreuer: Lohmeyer, Q., Wiedner, A., Betreuer: Albers, A. (2009). *Methodenentwicklung zur Zielkonfliktidentifikation am Beispiel der Metallsubstitution durch Kunststoff*. Diplomarbeit, IPEK, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Kern 2010

Kern, A., Co-Betreuer: Lohmeyer, Q., Wiedner, A., Betreuer: Albers, A. (2010). *Analyse der Ziel- und Objektsystementwicklung bei der Konzeption eines Versuchsstandes für ein modulares Schlagwerk*. Diplomarbeit, IPEK, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Lücke 2012

Lücke, J., Co-Betreuer: Ruckpaul, A., Wiedner, A., Betreuer: Matthiesen, S. (2012). *Entwicklung neuer Ansätze zum Lösen festsitzender Bohrwerkzeuge mittels des C&C2-Ansatzes*. Diplomarbeit, IPEK, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Martin 2009

Martin, P., Co-Betreuer: Lohmeyer, Q., Wiedner, A., Betreuer: Albers, A. (2009). *Early Detection of Conflicts of Objectives by Developing Concept Ideas for Hammering Mechanisms*. Diplomarbeit, IPEK, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Serf 2013

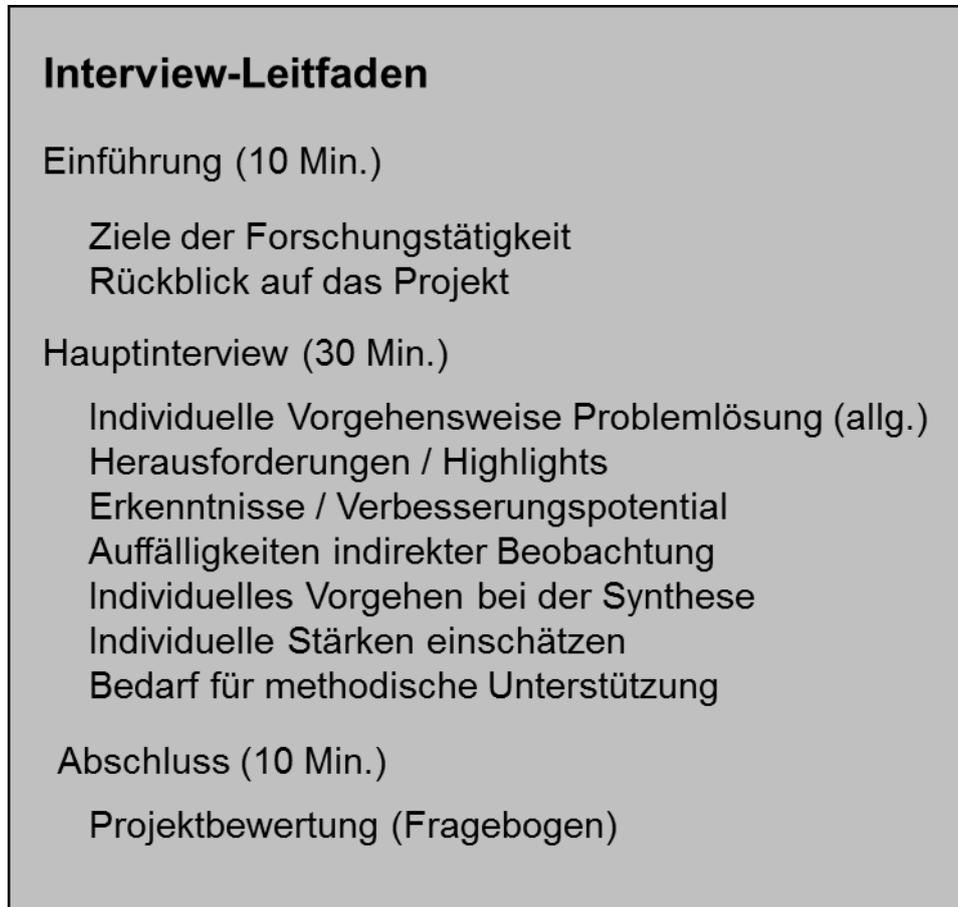
Serf, M., Co-Betreuer: Braun, A., Wiedner, A., Betreuer: Matthiesen, S. (2013). *Konzeptentwicklung zur Optimierung der Schlagwerkscharakteristik eines Bohrhammers unter Anwendung des iPeM und C&C2-A*. Diplomarbeit, IPEK, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Werber 2009

Werber, A., Co-Betreuer: Lohmeyer, Q., Wiedner, A., Betreuer: Albers, A. (2009). *Requirements Mapping am Beispiel der Substitution der Sicherheitskupplung in einem Kombihammer*. Diplomarbeit, IPEK, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Anhang

Anhang 1 Interview-Leitfaden

A grey rectangular box containing the text of the interview guide. The text is organized into sections: 'Interview-Leitfaden' (title), 'Einführung (10 Min.)' (introduction), 'Hauptinterview (30 Min.)' (main interview), and 'Abschluss (10 Min.)' (conclusion). Each section lists specific topics to be discussed during that part of the interview.

Interview-Leitfaden

Einführung (10 Min.)

- Ziele der Forschungstätigkeit
- Rückblick auf das Projekt

Hauptinterview (30 Min.)

- Individuelle Vorgehensweise Problemlösung (allg.)
- Herausforderungen / Highlights
- Erkenntnisse / Verbesserungspotential
- Auffälligkeiten indirekter Beobachtung
- Individuelles Vorgehen bei der Synthese
- Individuelle Stärken einschätzen
- Bedarf für methodische Unterstützung

Abschluss (10 Min.)

- Projektbewertung (Fragebogen)

Bild 86 Interview-Leitfaden

Anhang 2 Fragebogen

Tabelle 10: Fragebogen zur Projektbewertung

Neuheitsgrad der Technologie	
0	die Lösung wurde nicht verändert
1	die Lösung ist aus anderen internen Produkten der gleichen Produktfamilie bekannt und wurde für das bestehende System leicht angepasst
2	die Lösung ist aus anderen externen Produkten der gleichen Produktfamilie bekannt und wurde für das bestehende System leicht angepasst
3	die Lösung ist aus anderen internen Produkten einer anderen Produktfamilie bekannt und wurde für das bestehende System angepasst
4	die Lösung ist aus anderen externen Produkten einer anderen Produktfamilie bekannt und wurde für das bestehende System angepasst
5	die Lösung ist intern und extern noch unbekannt
Erkunden des Lösungsraums	
0	es wurden keine Alternativen untersucht
1	es wurden an einigen Stellen neue Lösungen entwickelt, welche die Alten ersetzen
2	für einige Funktionen wurden mehrere zum Teil nicht umgesetzte Alternativen betrachtet, ohne Anspruch auf Vollständigkeit
3	für die wesentlichen Funktionen wurden mehrere Alternativen betrachtet ; das Vorhandensein weiterer Lösungen im untersuchten Lösungsraum ist durchaus denkbar
4	für die wesentlichen Funktionen wurden systematisch Alternativen entwickelt ; einige Bereiche wurden von der Lösungssuche bewusst ausgeklammert
5	umfassende Variation aller Systemvariablen wurde durchgeführt und dargestellt ; wesentliche Alternativen innerhalb des vorgegebenen Lösungsraums sind nicht zu erwarten
Zielerreichung (Projektziele)	
0	die Projektziele wurden nicht erreicht
1	nur einige Ziele (<50%) konnten erreicht werden
2	etwa die Hälfte der Ziele wurde erreicht
3	einige schmerzhaft Kompromisse mussten zur Erreichung der restlichen Ziele getroffen werden
4	die Projektziele wurden bis auf wenige kaum relevante Kompromisse erreicht
5	alle Projektziele wurden ohne Kompromisse erreicht
Reifegrad	
0	die Funktion des Systems wurde nicht validiert
1	die Funktion des Systems wurde durch digitale Versuchsmodelle validiert
2	die Funktion des Systems wurde mit Prototypen geprüft, zeigt aber partiell noch Schwächen
3	die Funktion des Systems wurde mit Prototypentests validiert
4	die Funktion des Systems wurde mit Prototypentests validiert, zeigt jedoch über seine Lebensdauer partiell noch Schwächen
5	die Funktion des Systems wurde über seine Lebensdauer mit Prototypentests validiert

Anhang 3 Interviews

Interview mit VP 01

Interviewer: „Welches Vorgehen hat sich aus deiner Sicht bei der Lösung von Konstruktionsproblemen bewährt?“

VP 01: *„In meiner Vorgehensweise versuche ich mich meistens an der gelernten SPALTEN-Methodik zu orientieren. Das Problem dabei ist jedoch, dass diese eher einen groben Rahmen vorgibt, ohne speziell konkrete Hinweise zu geben, was man in den einzelnen Phasen tun soll. Grundsätzlich beginnt das Ganze natürlich mit einer Problemanalyse beziehungsweise Problemeingrenzung, wo ein Verständnis entwickelt wird und eben die wesentlichen Stellhebel identifiziert werden. Was mir persönlich sehr viel Spaß macht, ist die Lösungssuche, wo es für mich eigentlich immer darum geht, den Lösungsraum sehr umfangreich anzuschauen und mir zu überlegen, was es alles für theoretische Möglichkeiten gibt, um mich dann für wenige Lösungen daraus zu entscheiden. Wichtig dabei ist für mich auch, dem Ganzen eine Struktur zu geben. Die Eingrenzung, also die Lösungsauswahl, verläuft meistens in mehreren Schritten, und das ist in den meisten Fällen ein Ausschluss von einzelnen Lösungen. Was ich selten erlebt hab', sind strategische Entscheidungen für bestimmte Lösungsrichtungen. Wichtig ist aus meiner Sicht für die Lösungsauswahl, dass man andere Meinungen hinzuzieht, denn gerade als junger Konstrukteur habe ich das erlebt, dass man manche Lösungen anders einschätzt als die erfahrenen Kollegen. Was dann dazu führen kann, dass man vielversprechende Lösungen übersieht, da man die Auswahlkriterien anders eingeschätzt hat. Was dann auch ein sehr wichtiger Punkt ist, ist die Validierung der Lösungen. Das ist unter Umständen ein sehr komplexes oder kompliziertes Thema, da die Ergebnisse erst interpretiert werden müssen, und daraus richtige Handlungsanweisungen abgeleitet werden müssen. Also für mich stellt das oft eine große Schwierigkeit auch dar. Ich denke auch, dass das viel Erfahrung braucht an der Stelle.“*

I: „Was waren die größten Herausforderungen im Projekt?“

VP 01: *„In der Anfangsphase des Projekts ging es erstmal d'rum zu verstehen, was eigentlich das Problem ist und was man eigentlich lösen muss. Am Anfang musste ich mich erstmal orientieren, und das ist mir nicht unbedingt so leicht gefallen. Wir haben uns dann auch am Anfang des Projekts auf diese Kostenthemen fokussiert. Wir haben da eine Funktionskostenanalyse durchgeführt. Da wurde sehr viel Energie rein gesteckt mit mäßigem Erfolg, muss man letztendlich sagen. Was auch 'ne große Herausforderung während des Projekts war, war die Veränderung der Ziele. Sehr gut ist das an der Einzelschlagenergie des Schlagwerks zu sehen, welche zunächst auf einem relativ niedrigen Niveau angesetzt war. Als dann klar war, in welches Gerät das Schlagwerk integriert werden soll, wurde diese Einzelschlagenergie nach und*

nach nach oben korrigiert. Was auch schwierig war, war, dass zu einem späten Zeitpunkt noch entschieden wurde, das Drall-Prinzip mit aufzunehmen. Die dritte große Herausforderung in dem Projekt war aus meiner Sicht das Thema Unterstützung hinsichtlich der Validierung. Das Problem war, dass wir während des Projekts kaum Ressourcen bekommen haben für das Testfeld. Das hat sich durchgezogen wie ein roter Faden, so dass wir dann auch am Ende mit dem Test nicht so weit gekommen sind, wie ich mir das mal ursprünglich vorgestellt hatte.“

I: „Was würdest du heute anders machen?“

VP 01: „Zunächst würde ich gar nicht ohne ausreichende Testkapazitäten starten. Dann würde ich auch nicht mehr so viel Energie in das Verstehen von Kosten und Preisen stecken, weil das nicht immer unbedingt an der technischen Lösung hängt, aus meiner Sicht. Viele Preise und Kosten sind nicht plausibel erklärbar. Ich würde außerdem versuchen, den Lösungsraum schneller einzuengen. Ich würde versuchen, mich gleich am Anfang auf den Lösungsraum zu stürzen, um die Konstruktion schnell stark zu entwickeln, um dann früh in die Validierung der Lösung einzusteigen. Weil die Validierung, glaube ich, ein Thema ist, was ich in seinem Umfang und seiner Wichtigkeit im Projekt unterschätzt hab‘.“

I: „Was ist gut gelaufen oder gut gelungen?“

VP 01: „Wo ich viel gelernt hab‘, ist bei der Lösungsraumdarstellung. Hier systematisch vorzugehen, wie man Lösungen entwickelt, und aus einem strukturierten Lösungsraum heraus Lösungen ableiten kann. Außerdem hab‘ ich mir natürlich während der Zeit mein Netzwerk aufgebaut, und auch im Bezug auf die Projektleitung vieles gelernt.“

I: „Es fällt auf, bei der Analyse der Dokumente, dass du zunächst mit einer längeren Analysephase auf sehr konkretem Niveau startest. Wie kam es dazu?“

VP 01: „Ich habe natürlich erstmal versucht, das System im Einzelnen zu verstehen, die Funktionen herauszuarbeiten. Dazu habe ich mir Schnittdarstellungen der Systeme hergenommen und hab‘ Kraftflüsse eingezeichnet und versucht, eben die Funktionen der einzelnen Baugruppen zu verstehen. Auf Basis der einzelnen identifizierten Funktionen ging’s dann im nächsten Schritt darum rauszufinden, welche Stellen im System wir eigentlich bearbeiten wollen und welche interessant sind für die Gewichtsreduktion. Da hab‘ ich dann unterschiedliche Hardware untersucht – also auch von Konkurrenten. Dann hab‘ ich die verglichen mit unserer Lösung. Dabei wurde klar, dass im Prinzip zwei Stellen in unserem System interessant sind. Wobei sich dann eben gezeigt hat, dass die eine Schnittstelle sehr viel weniger Freiräume hinsichtlich der Lösungssuche hat als die andere. Wir haben

uns dann entschieden, in dem Bereich mit den größeren Freiräumen zu starten. Außerdem war hier auch das Potential für die Gewichtsreduktion viel größer.“

I: „Wie ging es dann weiter? Kannst du den Projektablauf beschreiben?“

VP 01: „Aus der Funktionskostenanalyse hatten wir ja die ganzen Funktionen, die eigentlich in diesem Bereich übertragen werden. Auf Basis dieser Funktionen hab' ich dann versucht, für jede einzelne Funktion Lösungen, Teillösungen, Alternativen zu entwickeln. Dabei ging es mir auch darum, dies möglichst vollständig zu tun. Auch hat sich an dieser Stelle gezeigt, dass manche Lösungen überhaupt nicht miteinander kompatibel waren. Um dann letztendlich ein Optimum zu finden bezüglich des Gewichts, was ja ein ziemlich wichtiges Ziel in dem Projekt war, hab' ich dann von den Lösungen, die in dem Lösungsraum sinnvoll erschienen, parametrische Modelle im CAD erstellt. Das Ganze auf relativ einfachem Niveau mit starken Vereinfachungen. Vor allem was Übergänge, Freistiche und so weiter anbetraf. Auf diese Weise hab' ich dann die einzelnen Lösungen anhand der parametrischen Modelle miteinander verglichen. Da hat sich dann eben schnell gezeigt, dass es Konstruktionen gibt, die gewichtstechnisch eindeutige Vorteile haben. Das Interessante dabei war, dass nicht die Schnittstelle, welche in diesem Bereich die dünnste war, nicht automatisch auch die leichteste Schnittstelle war. Weil sich gezeigt hat, dass diese relativ dünne Konstruktion auch länger baut als ein Optimum, was irgendwo dazwischen liegt. Zur Auswahl des Konzepts hab' ich dann Vertreter aus Test und Konstruktion eingeladen, und wir haben uns dann gemeinsam für die sinnvollste Lösungsrichtung entschieden.“

I: „Wie ging die Entwicklung dann weiter?“

VP 01: „Nachdem die Schnittstelle dann klar war, hab' ich mich zunächst mal wieder auf das Schlagwerk konzentriert. Dabei hab' ich versucht, das Schlagwerk nach dem neu'sten Stand der Erkenntnisse aufzubauen und an diese Schnittstelle anzupassen. Wobei zuvor bei der paramtrischen Betrachtung schon Teile des Schlagwerks mitbetrachtet wurden wie jetzt zum Beispiel Zusatzmasse, Döpfer und so weiter. Auch hier ging es eigentlich darum, Alternativen aufzuzeigen, und sich dann für die beste Alternativen zu entscheiden. Anschließend ging es dann weiter mit der Werkzeugaufnahme selbst, wo ich eben zunächst mal versucht hab', das bestehende System an die neue Schnittstelle anzupassen. Gleichzeitig hab' ich innerhalb der Werkzeugaufnahme versucht Gewicht einzusparen. Als dann bei den Tests Probleme auftraten, haben wir uns zu einem relativ späten Zeitpunkt im Projekt entschlossen, dieses Drall-Prinzip mitzuintegrieren. Für die Konstruktion hat das noch mal starke Veränderungen bedeutet.“

I: „Mir ist aufgefallen, dass du das Lösen von Problemen auf abstrakter Ebene bevorzugst. Wie kommt es dazu, dass du im Projekt erst so spät mit der praktischen Validierung beginnst?“

VP 01: *„Dazu haben aus meiner Sicht mehrere Gründe beigetragen. Eine Sache ist natürlich, dass ich erstmal relativ unerfahren bin, und mir die Bedeutung der Validierung zu diesem Zeitpunkt vielleicht noch nicht so ganz deutlich war, wie wichtig das eigentlich ist. Außerdem hat mir das abstrakte Denken so viel Spaß gemacht, dass ich mich bestimmt in diesem Bereich, der mir gut liegt, vielleicht etwas verzettelt hab'. Dann kam natürlich diese Problematik mit den Testingenieuren hinzu, dass wir keinen oder nur wenig Support bekommen haben. Ein anderes Problem ist natürlich, dass es sich um ein relativ großes System handelt. Mit dem Schlagwerk, der Schnittstelle und der Werkzeugaufnahme. Hier war sicherlich das Problem, dass es schwierig ist einzelne Teile zu separat zu testen. Und deswegen musste eigentlich alles entwickelt sein, bis die erste praktische Validierung möglich war. Man hätte sicherlich, wenn man das jetzt im Nachhinein betrachtet, den Schlagwerkstest vorziehen können, aber dann hätte man auch erst das Schlagwerk entwickeln müssen bevor man die Schnittstelle entwickelt. Die Frage ist, ob das dann auch zu einem optimalen Gewichtsergebnis geführt hätte. Ja, der große Systemumfang war hier das Problem.“*

I: „Was sind deiner Ansicht nach die Schwächen eines Analyse-geprägten Vorgehens?“

VP 01: *„Natürlich kommt bei dem Analyse-geprägten Vorgehen das Erkunden des Lösungsraums zu kurz, was dann letztendlich dazu führt, dass man sich nicht langfristig für eine Lösung entscheiden kann, weil man nicht weiß, ob die Lösung auch wirklich die beste ist. Es ist natürlich auch schwieriger solch eine Lösung durch Patente zu schützen, da man mögliche Umgehungen vermutlich gar nicht kennt. Die man jedoch durch eine umfangreiche Lösungsraum-Erkundung einfach bekommen könnte.“*

I: „Wie entstehen bei dir neue Lösungen? Wie ist das konkret im Projekt abgelaufen?“

VP 01: *„Erstmal muss ich natürlich verstehen, was das Ziel ist, was beabsichtigt wird. Dann fange ich an die bestehenden Lösungen anzuschauen, und versuche konkret zu verstehen, was mich hindert diese Ziele zu erreichen. Im nächsten Schritt überlege ich mir dann, was es für theoretische Möglichkeiten gibt dieses Ziel zu erreichen und die Funktionalität des Systems zu erhalten oder zu verbessern. Wenn es darum geht den Lösungsraum umfangreich zu betrachten und zu strukturieren, wäre der nächste Schritt dann eben verschiedene Lösungen, die man kennt, herzunehmen, und sich zu überlegen, durch was die sich unterscheiden. Um dann*

aus diesen Unterscheidungskriterien Kriterien für die Struktur des Lösungsraums abzuleiten. Manchmal muss man sich das auch relativ abstrakt überlegen, ohne dass man schon eine Gestaltlösung im Kopf hat, und erst im zweiten Schritt überlegen, wie man das umsetzen kann. Auf solche Ideen kann man aber auch kommen, wenn man diese bestehenden Lösungen versucht erstmal zu ordnen. Meistens ist das ein Wechselspiel von Ordnen und Suche nach neuen Lösungen. Dabei kommt es natürlich oft vor, dass man Lösungen entwickelt, wo man eigentlich sofort sehen kann, dass das Quatsch ist und nicht weiterführt. Im konkreten Fall bei der Schnittstelle hatte ich mir zu vielen Teilproblemen Teillösungen überlegt und diese dann in Gesamtlösungen für diesen Bereich integriert. Auch bei der Lösung der Federanordnung für die vordere Schnittstelle gab es zunächst sehr abstrakte Überlegungen, wie sich der Verriegelungsring abstützen kann, wenn die Kugel radial mehr Spiel hat. Ich kam insgesamt auf vier theoretisch mögliche Prinzipien und machte zu jedem einen konkreten Vorschlag. Auch hier wäre mein Favorit ein ganz anderer gewesen. In Absprache mit zwei anderen Konstrukteuren entschieden wir uns für eine Lösung mit zwei Kugeln. Im nächsten Schritt ging es darum, eine neue Federanordnung zu suchen, da klar war, dass die Alte bei der Integration einer zweiten Kugel nicht funktionieren würde. Wieder kam ich auf vier theoretische Lösungsrichtungen, welche sich aus Wettbewerberpatenten, eigenen Serienlösungen und neuen Lösungen zusammensetzten. Dabei entstand dann auch die Idee einer neuen Anordnung, welche ich in zwei Ausführungsformen konkretisierte. Die Lösung wurde anschließend separat getestet und ist jetzt in ein am Markt befindliches Gerät integriert.“

I: „Denkst du die ganzen Lösungen im Kopf und bringst sie dann ins CAD, oder machst du viele Zeichnungen und Skizzen?“

VP 01: „Ideen, Fragestellungen und so weiter entstehen natürlich erstmal im Kopf. Was hilft das Ganze zu strukturieren, ist ein Blatt Papier und ein Stift. Bei dem Versuch Lösungen zu skizzieren merkt man dann oft, was die Knackpunkte der Konstruktion sind. Bei dem Skizzieren selbst entstehen oft neue Lösungen, die auch möglich sind. Bei einem Problem mit klaren Randbedingungen gehe ich auch manchmal so vor, dass ich mir den Teil der Zeichnungen, der immer gleich ist, einscanne und kopiere und dann nur noch in den offenen, weißen Bereich meine Überlegungen hineinskizziere. Das kann auch schon sein. Meine Erfahrung ist, dass es wahnsinnig wichtig ist, diese Überlegungen schnell festzuhalten und auch explizit zu machen. Sonst sind sie auch schon mal wieder weg.“

I: „Fällt dir das Skizzieren leicht?“

VP 01: „Es gibt sicherlich Kollegen, bei denen man staunend über die Schulter blickt, weil die aufwendige Geometrien gut dreidimensional skizzieren können. Auf dem

Niveau bewege ich mich sicherlich nicht, aber es gelingt mir durchaus auch die wesentlichen Dinge auf einem Blatt Papier skizzieren zu können, so dass es dann auch andere Kollegen verstehen. Da hat mir sicherlich geholfen, dass ich schon immer gern nicht nur technisch gezeichnet hab'.

I: „Was denkst du, wo deine Stärken bei der Lösung von Konstruktionsproblemen liegen?“

VP 01: *„Also ich glaube, dass meine Stärke darin liegt um eine Struktur oder Ordnung zu kämpfen, und die dann auch irgendwann zu erkennen. Was mir auch Spaß macht, ist das abstrakte, gedankliche Durchdringen von Problemen. Das geht dann auch so weit, dass wenn ich mich mit einem Problem intensiv beschäftige, dass mir plötzlich zuhause auf dem Sofa, beim Joggen oder unter der Dusche eine Lösung dazu einfällt. Also meine Stärken liegen sicherlich eher in der Kreativität und der Strukturierung.“*

I: „An welchen Stellen würdest du dir konstruktionsmethodische Unterstützung wünschen?“

VP 01: *„Für das Erstellen von einer Lösungsvielfalt gibt es natürlich schon solche Ansätze, wie „systematische Variation“. Trotzdem denke ich, dass man für die Strukturierung eines Lösungsraums noch Unterstützung geben kann. Das läuft momentan bei mir und den Kollegen in meiner Umgebung, wie ich das so beobachten kann, noch sehr intuitiv ab. Die Frage ist, ob man da irgendwelche Regeln ableiten kann, wie das noch stärker unterstützt werden kann. Für die Lösungssuche an sich ist es natürlich wichtig, dass man Ansätze entwickelt, die einen variablen Abstraktionsgrad zulassen. Das sind aus meiner Ansicht die Schwächen von solchen Ansätzen wie TRIZ, die für die Anwendung einen sehr hohen Abstraktionsgrad erfordern, der sicherlich für die meisten technischen Probleme überhaupt nicht zutrifft, und daher nicht hilfreich ist. Die meisten technischen Probleme, mit denen ich so konfrontiert bin, müssen im Rahmen enger Randbedingungen gelöst werden. Ein hoher Abstraktionsgrad, wie er bei TRIZ vorgesehen ist, ist da aus meiner Sicht nicht hilfreich.“*

Interview mit VP 02

Interviewer: „Beim Lösen von Konstruktionsproblemen, wie gehst du da vor?“

VP 02: „Also meine Vorgehensweise ist mehr analytisch. Es gibt ein Problem und ich bemühe mich dann darüber nachzudenken, worin das Problem eigentlich besteht. Weil oftmals ist der Fehler, was ich in der Vergangenheit öfter hatte, dass das Problem, das dargestellt wurde, nicht das eigentliche Problem war, das existierte. Dass zu schnell in die Lösung gegangen wurde, ohne das Problem als solches zu erkennen, worin es bestand. Bei mir ist eigentlich, denke ich, der erste Ansatz zu verstehen, was das Problem eigentlich ist. Ist das, was wir machen, ein Symptom bekämpfen oder haben wir das Problem verstanden?“

I: „Okay. Und zum Verstehen des Problems ist die Hardware ganz wichtig.“

VP 02: „Also ich bin nicht so abstrakt in der Richtung. Für mich ist Hardware ganz wichtig und für mich ist auch Analyse gelaufener Hardware, mittels der Hardware, ganz wichtig. Daran baue ich viel auf. In der ersten Näherung baue ich mir dann Lösungskonzepte gedanklich auf, die ich aber auch relativ schnell prinzipiell abgeklärt haben möchte. Also ich baue keine theoretischen Lösungskonzepte auf, die ich immer weiter spinne. Das heißt, manchmal schon, wenn das Stand der Technik ist, der geklärt ist. Aber bei unsicheren Sachen versuche ich Prinzipversuche, um bestimmte Lösungsprinzipien, die ich mir denke, auch zu evaluieren. Nicht dass ich dann auf der falschen Schiene lang laufe, die dann letztendlich nichts bringt.“

I: „Ist dir das schon passiert?“

VP 02: „Wiederholt, ja.“

I: „Okay. Wenn du jetzt direkt an das Projekt denkst, was waren da die größten Herausforderungen?“

VP 02: „Zuerst mal bin ich in das Projekt gekommen mit einer anderen Prämisse. Ich sollte zunächst ja nichts an der Leerschlagabstellung tun. Ich habe dann andere Vorarbeiten geleistet und im Zuge der Probleme die wir hatten kam dann 'ne Möglichkeit hinzu, zu versuchen leerschlagdämpfende Maßnahmen in der Werkzeugaufnahme mit umzusetzen. Dann habe ich mir überlegt, Leerschlag umzusetzen. Also die bisherige Leerschlagtheorie oder Schlagwerkstheorie hängt sehr stark von Stoßzahlen zwischen Werkzeug, Döpper und Döpper, Flugkolben und so weiter ab. Und dann wollte ich erstmal aufnehmen, wie weit unterscheiden wir uns mit der jetzigen Hardware. Wo liegen wir generell mit den unterschiedlichen Hardwaren. Können wir an der Stoßzahl signifikant was tun. Dass sie wirkungsvoll ist, steht nicht im Zweifel, aber haben wir eine Chance irgendwie signifikant da etwas an der Stoßzahl zu tun, um da weiter zu kommen. Und da hab' ich mir

unterschiedliche Hardware vorbereitet und aufgebaut, um zu versuchen, ob mit unterschiedlicher Hardware unterschiedliche Stoßzahlen nachgewiesen werden könnten und später vielleicht auch eingestellt werden könnten. Das ist die eine Geschichte. Parallel dazu habe ich dann natürlich versucht, die Stoßzahl bewusst zu verändern mit diesen Varianten.“

I: „Wenn man es jetzt mal versucht zusammenzufassen, war die größte Herausforderung die Stoßrichtung für das Projekt zu finden, oder? Wie man überhaupt was ändern kann. Was überhaupt die Hebel sind.“

VP 02: *„Wo gibt es Hebel, die signifikant sind, die auch einstellbar sind, die auch nachvollziehbar sind. Genau!“*

I: „Weil du bei den Stoßzahlen am Anfang gemerkt hast, dass da gar nicht wirklich ein Hebel ist. Ok, also die Hebel zu finden war eine große Herausforderung.“

VP 02: *„Das ist, was ich vorher gesagt habe. Das ist Teil der Analyse des Problems. Wo liegt das Problem, wo haben wir das Problem.“*

I: „Ja. Gab es auch andere große Herausforderungen?“

VP 02: *„Ja gut, die großen Herausforderungen kamen dann eigentlich mit der Umsetzung. Das ist aber, denke ich, nicht so selten. Die großen Herausforderungen kommen meistens mit der Umsetzung. Zunächst muss die Idee da sein und die Idee muss auch nachvollziehbar sein. Und die Umsetzung, die Teilumsetzung Grenzen hat. Man hat Randbedingungen, die man in der Ideensuche weglassen kann. Das ist auch ein Teil der Abstrahierung. Man lässt das in der Ideensuche weg, die Randbedingungen kommen später, die muss man dann umgehen oder einbeziehen.“*

I: „Gibt es irgendwas, was du heute anders machen würdest, wenn du auf das Projekt schaust?“

VP 02: *„Eigentlich nicht. Zumindest in der Anfangsphase nicht. Ich habe mir überlegt, wie man die Stoßzahl verändern kann, was die Stoßzahl überhaupt beeinflusst. Mir ging es dabei um die Stoßzahl in meinem Funktionsstrukturende, also in der Werkzeugaufnahme zwischen Döpper und Werkzeug, in diesem Systembereich. Wie man sie verändern kann. Dann ging es mir darum, dass ich letztlich Energie abbauen wollte, signifikant. Ich würde nicht viel anders vorgehen, glaub' ich.“*

I: „Okay. Was ist besonders gut gelaufen in dem Projekt?“

VP 02: *„Ja, wenn man so will, die Zusammenarbeit mit der Messtechnik. Das war recht wirksam und hilfreich gewesen. Und natürlich die Zusammenarbeit mit der Prototypenwerkstatt. Diese analytische Vorgehensweise, wie ich sie gemacht hatte, dass ich das durch Prinzipientests evaluiere, hängt natürlich davon ab, dass man in absehbarer Zeit auch Testmaterial in Händen hat. Und das liegt auch an der*

Prototypenwerksatt hier. Das liegt auch mit daran, dass man sich überlegen muss, dass man für Prinzipientest möglichst einfache Geometrien, möglichst einfache Testverfahren verwendet. Nicht so sehr ins Detail geht, sondern erst den Effekt rauskriegen möchte. Du musst andere Randbedingungen weglassen, um bestimmte Effekte nachzuweisen oder auch zu sehen, dass sie, wie theoretisch angedacht weniger bringen, oder andere Randbedingungen generieren. Also, wie gesagt, Idee, Prinzipversuch mit relativ einfach gestrickter Hardware.“

I: „Also wenn ich mir das anschau, wie das Projekt anhand der dokumentierten Darstellungen abgelaufen ist, dann ist beim Detaillierungsgrad auffällig, dass es nach der Mindmap auf Basis von Text und Symbolen sehr schnell konkret wurde. Wenn da Skizzen zwischendrin entstanden sind, habe ich die nicht finden können in den Unterlagen. Das ging dann eigentlich ziemlich schnell ins CAD, meiner Meinung nach. Und was auch auffällt, ist, dass du relativ kurze Konstruktionszyklen machst, ohne dabei durch Simulationen zu validieren. Bei anderen Projekten sieht das ganz anders aus.“

VP 02: *„Die Simulationsanwendung hat sich in diesem Fall nicht angeboten. Ansonsten ist meine Vorgehensweise. Die ist nicht immer effizient, aber das ist das, was ich mir im Laufe der Zeit angeeignet habe.“*

I: „Man muss nicht immer sagen, dass eine besser oder das andere schlechter ist, aber jedes hat halt gewisse Vorteile. Und, du hast es schon so halb beantwortet, aber ich möchte es trotzdem nochmal fragen, warum du die abstrakte Ebene so ausgeklammert hast und was du da für schlechte Erfahrungen gemacht hast?“

VP 02: *„Ja, es gibt gewisse Erfahrungen, die ich gemacht hatte mit der abstrakten Ebene. Ich lehne das nicht grundsätzlich ab, nur wo sich bei mir ein innerer Widerstand bildet ist, dass man abstrakte Ebenen sehr weit detailliert, ohne dass man irgendwo einen Nachweis hat, dass das Ganze funktionieren kann. Es wird sehr viel Energie aufgrund abstrakter Betrachtung [aufgewendet] und schon daraus ins Detail gegangen, ohne dass es nachgewiesen ist, dass es funktionieren kann. Ich gehe dann meistens nur den ersten Schritt mit, und dann möchte ich wissen, ob diese Richtung eine Chance hat oder nicht. Das ist so meine Vorgehensweise. Hat auch damit zu tun, dass vielleicht mein Abstraktionsvermögen nicht so weit ausgeprägt ist wie bei anderen. Das ist sicherlich auch ein Grund. Es gibt ein Beispiel, das mir einfällt. Als das Problem mit den eiernden Kappen bei der TE 1 aufgetaucht ist. Die Kappen sind geeiert und das pushte ein bisschen hoch. Man hat angefangen, sich die Zeichnungen anzuschauen, was da passiert und was die Lösung sein könnte. Aber man hat die Hardware nicht genommen. Das wäre mein erster Schritt gewesen. Ich hätte die Hardware angeschaut, weshalb das eiert. Auf den Zeichnungen sieht man das nicht, auf den Zeichnungen ist das ideal dargestellt,*

wie es sich ausführt. Die ersten Ideen sind eben schon anhand der Zeichnung generiert worden. Letztlich war, dass wir die Hardware betrachten, das Entscheidende. Dass man mit Federanschlag, etcetera etwas tun konnte. Es muss beides sein, aber die Hardware ist bei der Problembetrachtung immer wichtig. Auf Fotos oder sonst irgendwie, aber das ist entscheidend.“

I: „Was sind die Schwächen der abstrakten Problemlösung aus deiner Sicht?“

VP 02: *„Die Unsicherheit, dass die abstrahierten Lösungen erstens den Kern treffen, und zweitens auch weiterzuhelfen. Man muss immer beginnen damit, aber den Evaluierungsschritt dazwischen finde ich sehr hilfreich.“*

I: „Das ist auch die Realität, also dass man auch Probleme übersieht, oder?“

VP 02: *„Dass man diese theoretische Gedankenkette weitervollzieht, und ganz einfach ein wichtiges Problem übersieht. Und dann schon zu sehr ins Detail gedacht hat und man dann wieder zurückfahren muss. Das wird immer passieren, aber, so es machbar ist, mit einer kleinen Evaluierung kann man da viel gewinnen.“*

I: „Wenn du jetzt sagst, dass dir die abstrakten Ebenen nicht so liegen, wie entstehen dann bei dir die neuen Lösungen oder wie ist das Drall-Prinzip entstanden?“

VP 02: *„Es ist schon aus abstrakten Gedankengängen entstanden. Ich ging davon aus, dass das Werkzeug gebremst werden muss. Und da gibt es verschiedene Möglichkeiten, und eine Möglichkeit ist ganz einfach über einen längeren Weg Reibung zu nutzen. Und dann kam wieder der Evaluierungsversuch. Dann habe ich gesehen, der längere Weg hat Effekte, aber hat geringere Effekte. Weg ist gut, aber die Reibung war zu gering. Und dann: Wie kann man die Reibung vergrößern? Und zwar so, dass sie keinen Verschleiß generiert und sich dann irgendwann negiert. Und dann habe ich nach Möglichkeiten gesucht, wie man Masseeffekte anderer Partner mit einbeziehen könnte. Aber der erste Schritt war, wie gesagt, Energie vom Werkzeug wegzunehmen, aus dem System rauszunehmen. Und dann bin ich über Stufen dahin gekommen.“*

I: „Und hast du dir diese abstrakten Sachen alle im Kopf überlegt?“

VP 02: *„Ja, wenig über Skizzen, das heißt keine Freiskizzen. Ich habe mir CAD-Zeichnungen genommen, Eins-zu-eins-Zeichnungen genommen, und anhand dieser habe ich Skizzen reinkonstruiert.“*

I: „Das ist mir auch schon aufgefallen. Dein Arbeitsplatz ist so gestaltet mit lauter Schnitten von Geräten, in die du gerne reinskizzierst.“

VP 02: *„Ich sitze gerne mit einem Kollegen vor einem Schnitt, vor einem Bild, und dann reden wir über Probleme. Der Vorteil ist, das hat auch was mit meinem nicht ganz so ausgeprägten Abstraktionsvermögen zu tun, dass ich das vor mir sehe und*

mir das dann nicht überlegen muss, und dass ich keine Gehirnenergie damit verbrate, mir das vorzustellen, sondern dass ich das vor Augen habe, und dann im Zwiesgespräch mit anderen Kollegen sehen kann, was man da tun kann, und da gleich reinzuzeichnen. Das sind so die Mittel, die ich auch mag, die auch fruchtbringend sind. Die nächste Sache ist, dass es wenig bringt, wenn man allein ist. Der Ideenaustausch mit anderen ist sehr hilfreich. Nicht, um die Lösung jetzt sofort zu bringen, sondern um über bestimmte Anmerkungen, über verschiedene Sichtweisen auf das Problem zusammen auf die Lösung zu kommen. Man ist in seiner Denkstruktur, ich zumindest, relativ schnell auf einer Schiene. Und durch Gespräche kommt man auf völlig anderen Schienen, und wenn man beide Entwicklungsschienen miteinander verbindet, hat man vielleicht genau die Stoßrichtung, die es bringen kann. Also die Interaktion mit anderen Kollegen ist ziemlich wichtig.“

I: „Passiert es dir oft, wenn du dann aus den gedanklichen Sachen ins CAD gehst, dass irgendwelche Sachen nicht funktionieren?“

VP 02: *„Ja, das passiert. Das passiert recht schnell. Dafür ist das CAD auch sehr gut. Das ist auch der Vorteil des CAD gegenüber Skizzen. Weil man im CAD auch die Dimensionen, Toleranzen, Spalten und so schneller und besser abschätzen kann. Vieles scheitert ja am mangelnden Bauraum. Und Bauraum ist ja eigentlich das Entscheidende. Das passiert mir, das ist so! Man findet auch häufig Lösungen im CAD. Das geht mir auch so, dass ich im CAD Sachen versuche und mir darstellen lasse, und dann sehe, wie weit ich mit dieser Lösung komme. Wo sind die Grenzen? Und dann kann man im CAD auch sehen, wo Umgehungen möglich sind.“*

I: „Würdest du sagen, dass dir das Skizzieren leicht fällt, oder eher nicht?“

VP 02: *„Eher nicht. Das freie Skizzieren zumindest nicht. Wenn ich vorhandene Ausdrücke habe, fällt es mir wesentlich einfacher. Das hat auch was mit Abstraktionsvermögen zu tun.“*

I: „Glaubst du, wenn man sich zu lang im Abstrakten bewegt, dass es dann eine gewisse Unsicherheit bei dir auslöst?“

VP 02: *„Ich würde eher sagen, ein ungutes Gefühl. Wenn ich mich zu lange im Abstrakten bewege, weiß ich nicht, wie gut die Idee sein kann.“*

I: „Es könnte ja sein, dass da eine Unruhe entsteht, dass man endlich zur Hardware kommen muss?“

VP 02: *„Es ist eher eine Unsicherheit.“*

I: „Unsicherheit, ob du alle Probleme betrachtet hast?“

VP 02: „Ob ich etwas übersehen habe, ob etwas Wichtiges, etwas Essenzielles nicht bedacht wurde.“

I: „Okay. Was denkst du, wo deine Stärken sind bei der Lösung von Konstruktionsproblemen?“

VP 02: „Ich denke, dass sie in der Analysephase liegen. Ich komme ein bisschen auch von der Werkstoffschiene, und da gibt es ja bestimmte Materialbrüche und Risse und alles Drum und Dran, und da ist mir schon vor längerer Zeit eingebläut worden, die Anamnese aus dem Medizinischen ist verdammt wichtig. Die muss man kennen, und man muss wissen, wo das Problem überhaupt da ist. Das reine Problem sagt nichts aus. Es muss bekannt sein in welchem Umfeld, in welchen Temperaturen, Staubbedingungen, in welchem Betriebszustand es aufgetreten ist, ob es im Anwendungstest passiert ist, oder in einem Simulationsprüfstand passiert ist, etcetera. Das ist recht wichtig, um auf das Problem zu gehen. Was sehr häufig auftritt, ist, dass man schnell ein Problem sieht und eine Aktion startet. Und das gesehene Problem ist völlig falsch interpretiert worden. Das war gar nicht das Problem. Aber es ist schnell eine Aktion gestartet worden, um schnell zu sein, und durch diese schnell startende Aktionen verliert man Zeit für eine gründliche Analyse, um wirklich das Problem zu lösen. Ich denke, dass ich sehr stark analytisch vorgehe, teilweise zu stark, das mag sein, das ist aber meine Vorgehensweise.“

I: „Jetzt haben wir eigentlich über die ganzen Konstruktionsprozesse gesprochen. An welcher Stelle fändest du eine konstruktionsmethodische Unterstützung wichtig? Oder fehlt sie dir gar nicht?“

VP 02: „Die ist schon wichtig. Das Problem mit der Konstruktionsmethodik ist, denke ich, gar nicht so sehr die Methodik. Das Problem ist, die Hürde zu überwinden, sie anzuwenden. Also die Konstruktionsmethodik ist ja nicht so wahnsinnig neu, es gibt die schon sehr lange. Es gibt diesen morphologischen Kasten [Konstruktionskataloge?] beispielsweise. Wenn man da öfter reinschaut, oder wenn man öfter ganz einfach Prinzipien sich betrachtet und sich diese vor Augen führt, dann ist man teilweise auch schneller als man es sonst wäre. Das Problem besteht eigentlich darin, angehalten zu werden, systematischer vorzugehen. Es ist eher der innere Schweinehund. Beispielsweise diese FMEAs, die gemacht werden. Die bringen mir persönlich sehr viel. Die bringen nicht so sehr etwas für die spätere Lösung, sondern ganz einfach die FMEA vorzubereiten, und diese gesamten Baugruppen, die man schon mal konstruiert hat, nochmal so durchdacht einzeln und strukturell zu betrachten. Die Zeit nehme ich mir eigentlich sonst nicht. Und das ist für mich sehr hilfreich. Da kommt man auf Erkenntnisse, an denen man wochenlang vorbeigegangen ist. Wie gesagt, das Animieren Konstruktionsmethoden anzuwenden, das wäre vielleicht ein Punkt.“

I: „Und wie könnte man das aus deiner Sicht realisieren? Neue Prozesse oder in Prozesse integrieren? Oder als Deliverables für Gates?“

VP 02: *„Vielleicht ja. Bestimmte Sachen, die auch schon gemacht wurden. Dass man meinerwegen die FMEAs als Bedingung für ein Gate nimmt. Damit sichert man ab, dass das System nochmal systematisch betrachtet wurde. Man muss es tun. Man ist dazu angehalten. Es ist nicht von einem selbst abhängig. Man muss ein bisschen gezwungen werden dazu, glaube ich. Es ist auch so, wir hatten ja in der Gruppe bestimmte Vorgehensweisen in dem GEOS-Prozess angedacht, und diesen Maßnahmenbaum, den wir da aufgestellt hatten, den schaue ich mir hin und wieder an, und der ist für mich auch nach wie vor hilfreich. Den schaue ich mir allerdings nicht im Vorhinein an, sondern mittendrin, wenn ich der Meinung bin, dass ich was vergessen habe. Das ist vielleicht auch ein Fehler, aber zumindest ist es so, dass ich ihn anschau und dass er für mich schon hilfreich ist. Solche Sachen finde ich zum Beispiel gut. Also so eine Art Checklisten, Checklisten der Vorgehensweise, ob man wesentliche Sachen vergessen hat. Und die Checklisten helfen einem auch sehr schön die Vorgehensweise zu strukturieren: Was muss ich denn noch tun, wie könnte ich denn noch weiter kommen und was könnte ich vergessen haben.“*

I: „Glaubst du, dass es Sinn macht, jemanden, der stark analytisch und jemanden, der sehr abstrakt denkt, zu kombinieren?“

VP 02: *„Ich denke, das macht großen Sinn. Das habe ich in unserer Zusammenarbeit gemerkt. Das bringt mich von einem gewissen Chaos weg. Diese Gefahr besteht. Wenn man zu wenig strukturell, zu wenig konstruktionsmethodisch vorgeht, dann kann man auch bei bester Analyse auf ein Gleis kommen, das nicht der besten Lösung entspricht. Also das passt gut zusammen. Deswegen ist Interaktion mit anderen Kollegen wichtig.“*

I: „Das heißt, wenn man jetzt an die Interaktion denkt, dann müsste man, wenn man das sehr fruchtbar machen wollte, schauen, dass man jemanden hat, der ganz anders denkt?“

VP 02: *„Ja, zwei Gleichgestrickte bringen nicht viel, das ist so. Und genau diese Geschichte mit den Blitz-FMEAs ist sehr, sehr hilfreich. Das fehlt mir, das ist nicht überall machbar. Es ist manchmal sehr schwierig. Das hat bei uns in der Gruppe relativ gut funktioniert.“*

I: „Was hat bei den anderen nicht so gut geklappt?“

VP 02: *„Ja, sie sind in verschiedenen Projekten drin, und völlig Projektfremde reinzuholen macht es recht schwierig. Das braucht eine größere Erklärungsphase, um in das Projekt reinkommen. Und es ist auch teilweise so, dass völlig Projektfremde in Bereiche abdriften, die theoretisch möglich wären, aber den Kern*

nicht treffen, weil sie auf Grund ihrer anders gelagerten Tätigkeit den Kern nicht erkannt haben und auch nicht erkennen konnten.“

I: „Das ist mir auch bei unserer letzten gemeinsamen FMEA aufgefallen. Das war ja schon ein großer Personenkreis, in dem wir am Anfang überlegt haben, was alles möglich ist, aber da gab es einige Leute, die so weit weg waren von der Werkzeugaufnahme, dass sie eigentlich kaum etwas besteuern konnten.“

VP 02: *„Ja, für die war das eigentlich Weiterbildung.“ (lacht)*

I: „Also es ist ganz wichtig, dass sie auch tief drin stecken in der Thematik, oder Erfahrungen haben.“

VP 02: *„Ja, das ist ganz wichtig, dass die schon Erfahrungen gemacht haben. Zumindest gewisse Erfahrung in einem peripheren Bereich. Eine FMEA nur mit Projektfremden zu machen, das ist relativ sinnlos.“*

Interview mit VP 03

Interviewer: „Erstmal würde mich ganz allgemein interessieren, wie du beim Lösen von Problemen vorgehst?“

VP 03: *„Das hängt stark von der Zeit ab, die du kriegst. Also welchen Umfang du bearbeiten musst und in welcher Zeit du die Lösungen bringen musst. Wie weit du aufmachen kannst im Lösungsraum. Das ist vielleicht schon mal das Wichtige, dass du dir das erst mal klar machst, was du überhaupt für eine Chance hast. Dass du dich da nicht überschätzt. Und dann kannst du halt bei kurzfristigen Problemen, die du schnell lösen musst, musst du dich halt einfach konzentrieren. Da kannst du den Lösungsraum vielleicht nicht voll durchstrukturieren, sondern musst halt sagen: Das glaube ich aus meiner Erfahrung heraus, dass es gut funktioniert, und ein Drehlager ist immer besser als 'ne translatorische Bewegung, oder halt nach Sachen, die gut funktionieren aus deiner Erfahrung 'raus. Und wenn du mehr Zeit hast, dann kannst du anfangen, die Sachen wirklich methodisch aufzuziehen. Und was immer hilft, ist diese „Abstrahiererei“. Also ich glaube auch, wenn du Übung hast in der Methode oder in der Abstrahierung von den Themen, dann kannst du das auch ziemlich schnell. Also auch bei den Nebensachen fängt man dann an zu überlegen, wo man dann sagt: Da geht's um 'ne Reibkraft, da ist immer Reibwert und da ist immer 'ne Normalkraft, dann hast du quasi die Struktur schon im Kopf. Was kann mir da jetzt reinspielen, wie kann ich das beeinflussen? Das ist halt klassisch, was ist wirklich das Problem? Wie viel Zeit hab' ich, das Problem zu lösen? Was sind die Randbedingungen? Also dreimal hinterfragen, was überhaupt das Problem ist, weil du in der Regel ein Problem löst. Dass du es erstmal richtig verstehst. Dann Abstrahieren, dann gucken, was es für Möglichkeiten gibt.“*

I: „Ja, und wie lief jetzt die Problemlösung bei dem Projekt konkret ab?“

VP 03: *„Ja, im Prinzip schon so, wie ich es gerade beschrieben hab'. Des lief so ab: Das Problem war Abstellen von einem Schlagwerk. Und da haben wir erstmal relativ viel Zeit damit verbracht zu verstehen, was beim Abstellen passieren müsste, damit ein so komplexes System abstellt. Warum tut's des heut' nicht, und wie sind die Parameter? Und da haben wir viele Parameterstudien gefahren über Simulationen, um überhaupt rauszukriegen, was da helfen würde. Bei den Problemen musst du erstmal Systemverständnis aufbauen, dass du überhaupt mitreden kannst. Bei anderen kreativen Problemen musst du das vielleicht nicht so sehr. Aber bei dem Problem war es wichtig, erstmal zu verstehen, was läuft. Um später Kriterien zu haben, wie gut Lösungen sind. Wenn du das System nicht verstanden hast, kannst du auch Lösungen schlecht bewerten. Also war da der erste Schritt erstmal viel, viel Simulationen, viele Parameterstudien, um Systemverständnis aufzubauen. Irgendwann waren wir dann der Meinung, wir haben es jetzt weit genug verstanden.“*

Und danach haben wir den Lösungsraum dann über Technologien eingegrenzt, und haben gesagt, ich kann's mechatronisch machen, ich kann's pneumatisch machen, ich kann's mechanisch machen, wie auch immer. Und haben dann gesagt, aus irgendwelchen Gründen, die wir besprochen haben, versuchen wir diese Technologieecke. Und haben eben gesagt, wir schließen Sachen aus und versuchen das über pneumatische Prinzipien zu lösen. Und dann haben wir geguckt, wie unser System ausschaut, welche Bauteile wir auf jeden Fall brauchen, um die Hauptfunktionen zu erfüllen, welche Möglichkeiten wir haben pneumatische Effekte zu erzeugen, und dann eben wie wir bestimmte pneumatische Kammern über Ventile oder Rückschlagventile, oder was auch immer, miteinander verknüpfen mit irgendwelchen Drosseln, also was es da für Möglichkeiten gibt. Und haben dann 'ne Vorauswahl getroffen. Und haben dann gesagt: Macht's überhaupt Sinn, diese beiden Luftkammern miteinander zu verbinden? Egal wie ich das mach'. Da gibt's welche, die machen Sinn. Da gibt's welche, die machen keinen Sinn. Da haben wir nicht gerechnet, sondern das war praktisch gesunder Menschenverstand. Und bestimmte Teile dieser Matrix, also da ergibt sich so 'ne logische Matrix, die den Lösungsraum absteckt, haben dann praktisch aussortiert und haben bestimmte Teile der Matrix dann detailliert, und haben gesagt, hier würde es Sinn machen, und wir gucken dann in dieses Feld der Matrix rein und schauen, welche Verbindungsmöglichkeiten gibt's von der Kammer zu der Kammer? Also mit irgendwelchen Ventilen oder Drosseln oder Parallelschaltung von Ventil und Drossel und so weiter. Da gibt's dann praktisch 'ne Untermatrix in der Matrix, und da haben wir wieder gesagt, das würde Sinn machen, das würde keinen Sinn machen. Jeweils abgeleitet von den Kriterien, die wir im ersten Schritt erarbeitet haben. Dann sind wir in die Simulation reingegangen und haben gesagt, egal wie wir das später konstruktiv lösen, guck mal nach, wie sich das System verhält, wenn das ermöglicht wird. Und die Simulation hat dann gesagt, das ist irgendwie ein sehr brauchbarer Weg, oder das hat 'nen kleinen Hebel. Und bei denen, die sich als gut rausgestellt haben, haben wir dann versucht konstruktive Lösungen zu finden. Also des war quasi auf mehrere Schritte von sehr abstrakt und von gesundem Menschenverstand ausgewählt bis bestimmte Felder dann über Simulationen oder Parameterstudien angekuckt und die vielversprechenden Felder wieder konstruiert. Und da ging dann eigentlich erst die Konstruktion los.“

I: „Und was waren die großen Herausforderungen dabei?“

VP 03: „'Ne Struktur zu finden, das Vorgehen zu finden. Also wenn wir jetzt ein ähnliches Problem auf die gleiche Art und Weise lösen müssten, dann wäre das, glaube ich, relativ einfach jetzt. Aber das Vorgehen sich zu überlegen, 'ne Struktur zu finden, die irgendwie Vollständigkeit sichert, und des aber trotzdem so kaskadenhaft abzufahren, so dass du sagst, naja, ich mach' erst mal 'nen vollständigen

Lösungsraum auf, bin mir sicher, dass ich da nix vergess' und find aber trotzdem 'nen Weg, dass ich innerhalb der gegebenen Zeit irgendwie die Sachen sehr abstrakt ausschließ', andere Sachen detailliere, die wieder ausschließ', und dann so langsam kommen die ersten Konstruktionen, die Fertigungen. Das ist die Kunst mit dem großen Vorteil, dass du dir am Schluss eigentlich relativ sicher bist, dass du nix Wesentliches übersehen hast. Das kann natürlich immer passieren, aber die Sicherheit ist viel größer, wie wenn du die erste Idee ausprobierst.“

I: „Gibt es etwas, was du heute anders machen würdest?“

VP 03: *„Wenn ich ein ähnliches Problem hätte, würde ich schneller durchmarschieren, weniger Aufwand betreiben. Also wenn ich ein Problem hätte, was ich schon mal so gelöst habe. Wenn ich aber ein neues Problem hab', von dem ich keine Ahnung hab', würd' ich das eigentlich wieder ähnlich machen. Aber ich glaub', dass wir in dem Projekt eher zu viel im Abstrakten waren und eigentlich relativ spät ins Konkrete reingegangen sind, in die Messtechnik, und wirklich Sachen aufgebaut haben und getestet haben. Und speziell in dem Projekt hat das super funktioniert mit viel geistiger Arbeit und 'ner Schuhschachtel voll Prototypenteile, aber das muss nicht immer funktionieren. Da ist auch ein bisschen Glück dabei, meiner Meinung nach, und ich würd' im nächsten Projekt eigentlich früher Muster aufbauen, ja um dieses Risiko ein bisschen auszuschließen. Ich hab' jetzt im Prinzip das Risiko ausgeschlossen, dass ich methodisch Sachen im Lösungsraum vergess', bin aber das Risiko eingegangen, dass ich die Sachen einfach falsch einschätz' in der Funktion und dass es vielleicht irgendwann mal mit den Vorstellungen, die ich hab', nicht funktioniert. Das hätte ja auch passieren können, dass es so einfach nicht funktioniert, wie die rechnenden Methoden, weil irgendwelche Effekte reinkommen, die wir ignoriert haben. Da muss man irgendwie ein Optimum finden. Da waren wir eher zu methodisch, und sind relativ spät rein gegangen. Hatten da Glück, aber das muss nicht wieder so sein.“*

I: „Gibt es etwas, was ziemlich gut gelaufen oder gelungen ist?“

VP 03: *„Ich glaub', dass das Vorgehen ganz gut ist, und auch die Struktur. Aber da war auch ein bisschen Glück dabei, dass das in der Realität auch so funktioniert.“*

I: „Als ich mir das Projekt angeschaut habe, ist mir aufgefallen, dass du, wie du jetzt schon gesagt hast, sehr viel theoretisch validierst. Warum hast du an dieser Stelle diese Vorgehensweise gewählt?“

VP 03: *„Weil das Problem eigentlich seit Jahrzehnten pragmatisch gelöst werden sollte, aber bisher nicht funktioniert hat. Das heißt, wir haben irrsinnig viele Sachen ausprobiert und sind eigentlich immer nur ein' Tick weitergekommen. Irgendwie haben wir's immer hingekriegt, aber letztendlich hatte jedes Entwicklungsprojekt riesen Probleme damit, und ich glaub', dass du da eben mit pragmatischen Ansätzen*

und „Trial and Error“ irgendwann nicht weiter kommst, und vor allem ist auch schlecht strukturiert und auch schlecht dokumentiert. Was da alles ausprobiert worden ist. Und das Schöne an so einer Struktur ist ... naja, ich krieg' die Zeit, ich krieg' das Geld des zu tun, und ich hatte auch die Möglichkeit, da richtig einzusteigen. Und der Vorteil von dem Vorgehen ist dann einfach, wenn du die Struktur hast, kannst du auch Ideen oder Patente komplett in die Konstruktionsmethode mit einsortieren und kriegst ein ganz anderes Bild über den Lösungsraum. Welche Stellen sind besetzt? Welche sind noch frei? Was ergibt sich allein aus der Logik der Struktur für neue Möglichkeiten? Und das Pragmatische hat lang' nicht funktioniert, und ich wollt's nicht wieder so probieren wie alle anderen. Das ist der eine Grund dazu. Der zweite Grund ist, ich hab' die Möglichkeit dazu. Und der dritte Grund ist, dass mich das interessiert, 'nen Weg zu finden auf 'ne methodische Art und Weise.“

I: „Waren die Vorgehensstrukturen schon zu Beginn komplett erarbeitet oder haben die sich auch während der Zeit entwickelt?“

VP 03: „Während der Zeit entwickelt. Also das sieht im Bericht und in den Präsentationen so aus, als wäre das alles klar durchdacht und hätte irgendwie 'nen roten Faden von Anfang bis Ende. Aber die Wahrheit ist, dass das ein iteratives Vorgehen ist. Also man ist, glaube ich, immer, oder zumindest meine Arbeitsweise ... du lässt dich ein Stück weit treiben. Das passiert auf 'nem Schmierblatt. Du machst Skizzen, zum Teil nicht strukturiert, einfach mal so, mal so, was gibt's da alles für Möglichkeiten. Dann gibt's wieder 'nen Schnitt, wo du sagst, jetzt versuch ich das wieder in 'ne Struktur rein zu kriegen. Dann strukturierst du wieder und dann siehst du weiße Flecken und dann lässt du dich wieder ein bisschen treiben, auf einer anderen Ebene, also das ist ein iteratives Vorgehen. Und am Schluss kommt 'ne Struktur raus, die dann eigentlich ganz gut aussieht, als hätte man das perfekt durchdacht von Anfang bis Ende. Das ist, glaub' ich, ähnlich wie in der Mathematik. Da gibt's halt geschlossene Lösungen. Für einfache Probleme kann man das machen, dass man das analytisch runterrechnet, und sobald es kompliziert wird, musst du vielleicht auf numerische Methoden übergehen, und ich glaub', dieses treiben lassen und schau'n, wie weit ist das jetzt weg? Also konvergiert die Lösung? Passt das zu meinem Zielsystem? Oder konvergiert sie nicht? Kann das funktionieren? Ist die zu groß, zu teuer, was auch immer? Ich glaub', das ist ein iteratives Vorgehen. Das kann man vielleicht analytisch, so wie das im Bericht aussieht, könnte man sagen, das ist analytisch, das ist ganz klar runtergerechnet. Aber naja, glaub' ich, trotzdem iterativ.“

I: „Wo war der Punkt, dass ihr in die praktische Validierung einsteigt? Was war da der Auslöser?“

VP 03: „Also auf dem Weg vom Abstraktem zum Konkreten kommst du halt irgendwann an den Punkt, wo du sagst, ich hab’ jetzt ’ne Idee, wie ich’s konstruieren könnte. Es scheint vernünftig zu sein, die Simulation sagt, dass es funktioniert, nach allem was wir wissen, was wir berechnen können. Ich seh’ als Konstrukteur ’ne Möglichkeit, das umzusetzen in dem Bauraum mit bestimmten Bauteilen. Dann triffst du eine Entscheidung, so wollen wir das bauen, und dann baust du das auf. Klar, weil du ja immer ’nen Teil nicht verstanden hast, oder ignorierst, oder nicht simulieren kannst. Und irgendwann war das reif.“

I: „Wie entstehen bei dir neue Lösungen, und wie ist das konkret im Projekt abgelaufen?“

VP 03: „Das ist, wie vorhin schon gesagt, ziemlich iterativ. Es entsteht ja aus treiben lassen in bestimmten Phasen und aber auch irgendwie viel’ Sachen ordnen und in Struktur bringen, und aus dieser Struktur, aus irgendwelchen Flecken raus ... ja, vielleicht ist dieses treiben lassen eine qualitative Arbeit, wo du sagst, da hau’ ich erst mal Hypothesen in den Raum. Später steck’ ich dann Lösungsräume ab, versuch’ das zu strukturieren, und dann wird’s eigentlich quantitativ logisch, wenn mein morphologischer Kasten da steht. Dann kann man sagen, was wäre, wenn man die Ecken noch machen würde. Und dann kann man wieder sagen, ein Schritt konkreter, da kommen wieder drei Parameter rein, ich kann das so, oder so, oder so machen. Dann kann wieder irgendwie ’ne Ordnung aufziehen, irgendein System, wie auch immer. Dann kann man sagen, logischerweise gibt’s so viele Möglichkeiten. Was würde Sinn machen? Dann wird wieder entschieden und so weiter.“

I: „Mich würde noch genauer die konkrete Projektversion interessieren.“

VP 03: „Die Projektversion war so: Treiben lassen auf dem Schmierblatt. Viele Skizzen. Diese Skizzen einsortieren in eine Ordnung, ’ne Ordnung schaffen, und dann wieder Sachen treiben, und da gibt’s natürlich schon Ideen die du ganz früh hast, die sich dann durchziehen. Das ist schon so. Und es gibt auch viele Felder, die sich durch die Struktur auf tun und die keinen Sinn machen, und du konstruierst auch konkret. Also es ist nicht so, dass du in irgendwelchen Schaltsymbolen denkst, sondern du zeichnest schon konkrete Sachen da hin. Und du hast dann auch schon ’nen O-Ring drin, und das ist dann auch schon so, wie man’s montieren kann. Du springst dann quasi hin und her. Das ist, glaub’ ich, das worauf du wahrscheinlich hinaus willst. Das ist nicht streng logisch, sondern du hast diese Sprünge, die du ja auch aufzeichnest.“

I: „Wie läuft dann der Prozess ab mit Lösungen denken und die dann explizit machen? Also denkst du dir Lösungen direkt im Kopf und bringst sie dann ins CAD oder... was für eine Rolle spielen Aufzeichnungen und Skizzen bei dir?“

VP 03: *„Die spielen eine riesen Rolle. Also da passiert wahnsinnig viel. Die erste Zeit läuft eigentlich komplett auf Skizzenebene ab. Und da gibt's dann innerhalb der Skizzenebene auch wieder: Man kann das abstrakter machen und das kann man irgendwie konkreter machen. Da gibt's viele Sprünge, aber ins CAD geh' ich eigentlich erst relativ spät. Wobei man aus dem CAD auch immer ein bisschen Randbedingungen ableiten kann, also hat 'nen gewissen Bauraum zur Verfügung, muss bestimmte Durchmesser einhalten und so weiter aus anderen Gründen. Und das macht schon Sinn, sich da bestimmte Randbedingungen raus zu messen, eigentlich als Kriterium für die Skizzen später. Um ein Gefühl zu kriegen, dass man da nicht völlig neben der Kapsel ist, aber die Ideen entstehen eigentlich erst auf dem Blatt. Danach versuchst du die dann ins CAD zu kriegen, und dann kriegst du halt ein Gefühl für die Dimensionen und Größen. Da sterben dann einige, bei anderen brauchst du dann halt wieder 'ne Idee.“*

I: *„Fällt dir das Skizzieren leicht?“*

VP 03: *„Ja.“*

I: *„Wie gehst du bei dem Ordnen des Lösungsraums vor?“*

VP 03: *„Auch iterativ. Da gibt's Ordnungen, da bieten sich irgendwie so Baumstrukturen an, oder Mind-Maps. Und da gibt's andere Sachen. Da bieten sich Matrizen an und morphologische Kästen. Und da gibt's auch keinen klar logischen Weg, sondern da bin ich auch iterativ. Da muss ich auch zwei-, dreimal hin und her springen, so wie hier jetzt. Da hast du zwei Dimensionen, und da bietet sich einfach 'ne Matrix an. Bei anderen Sachen bieten sich, wenn's mehr wie zwei Dimensionen sind, dann bieten sich andere Ordnungsmeinungsgeschichten an.“*

I: *„Welche Vorteile siehst du im Ordnen des Lösungsraums?“*

VP 03: *„Zum einen bringt's die eigenen Gedanken in 'ne Ordnung. Du kriegst 'nen besseren Überblick, was noch fehlt und wie die Sachen zusammen hängen. Und zum anderen hat das den großen Vorteil, dass du logisch auf weiße Flecke kommst, weil du dich dann halt irgendwann mal fragst, was passiert denn, wenn ich jetzt aus radialer Achse axiale Achse mach' und aus dem des mach' und wenn ich jetzt 'ne Kunststofffeder oder 'ne Biegefeder durch 'ne Druckfeder ersetze'. Also es werden eigentlich neue Lösungen erzwungen durch 'nen strukturierten Lösungsraum, und aber auch für später kann man auch Wissen in diesen Lösungsräumen auch gut ablegen. Also man kann in diesen Lösungsraum bestehende Patente reinlegen und sammeln, und das ist meiner Meinung nach ein riesen Vorteil. Oder auch bestehende Ideen, die schon mal im Konzern waren, die vielleicht in bestimmten Randbedingungen funktionieren, ab 'ner bestimmten Temperatur oder Bauart nicht mehr funktionieren. Das bringt da einfach ein bisschen Ordnung rein und führt*

vielleicht auch dazu, dass man nicht jedes Projekt bei null anfangen muss, sondern dass man die Ordnung weitergeben und weitertreiben kann. Mit der Gefahr, dass sie natürlich als gottgegeben stehen bleibt und dass Leute nichts Neues machen. Andere Randbedingungen ergeben immer andere Lösungen. Das darf man nicht zu pauschal sehen.“

I: „Was denkst du, wo deine Stärken sind beim Lösen von Konstruktionsproblemen?“

VP 03: „Also in einem Satz gesagt gibt's, glaub' ich, Erfahrung. Diese langjährige Erfahrung führt einfach dazu, dass du sagst, ein Kunststoffteil sollte wenn möglich so aussehen, ein Blechbiegeteil sollte wenn möglich so aussehen, die Simulationserfahrung sagt, ein Bauteil sollte auf Biegung wenn möglich so aussehen. Eine Druckeinleitung sollte wenn möglich so sein. Das Material hat Stärken auf die Beanspruchung und das auf eine andere Beanspruchung. Also das sind ganz viele Erfahrungen mit ganz pauschalen Optimas, die du halt mit hast und das aber gekoppelt, glaub' ich, dass du dich auch davon freimachen kannst. Dass du eben sagen kannst, jetzt ist 'ne Phase, da weiß ich schon, wie's gut funktionieren könnte, aber da mach' ich quasi noch mal auf. Das ist, glaub' ich, ein Unterschied. Ich glaub', dass ich das schalten kann. Ich weiß nicht, ob ich mir das einbild', aber das ist quasi bewusst, wie das Hirn funktioniert mit Vorurteilen, und ein Stückweit kann man sich, glaub' ich, freimachen. Das ist ja das, was man den erfahrenen alten Hasen nachsagt. Die haben so ihre Bilder, die funktionieren. Die haben ihre Vorurteile, die haben schon mal funktioniert und da gehst du dann nie mehr davon weg, weil du halt erstmal das nimmst, was du kennst und was schon mal funktioniert hat und was sich bewährt hat. Und ich glaub', der Königsweg ist das zu schalten, dass du sagst: Ich wüsste schon, wie das einfach geht, aber ich gehe den neuen Weg. Und ich gehe ganz gezielt, ohne dass ich Angst hab', da zu scheitern. Geh' ganz gezielt neue Sachen ein und denk' das mal durch und weiß genau, ich kann jetzt frei arbeiten, weil in einer Woche werd' ich das bewerten und aussieben, und dann kommt der Schnitt sowieso. Und dieses Schalten von Freimachen und nur die Erfahrung wieder eingrenzen, dieses Aufmachen und Zumachen. Das ist, glaube ich, eine Stärke.“

I: „Glaubst du, dass Lösungen dadurch entstehen, dass du bekannte Prinzipien in einen neuen Kontext bringst?“

VP 03: „Ja. Bekannte Prinzipien hast du ja, wenn du so arbeitest, auch in dem Lösungsraum angekuckt, hast sie vielleicht bewertet, und sagst, unter den Randbedingungen funktioniert die Lösung super. Es gibt andere Randbedingungen, da ist eine andere Lösung besser. Es gibt Konstruktionskataloge, es gibt physikalische Prinzipien und naja, da kann man ganz viele Analogien von dem Thema zu dem Thema finden. Oder noch eine andere Lösung die bessere Lösung sein kann. Das darf man halt nicht so pauschal sehen, da muss man sich situativ die

ganzen Vor- und Nachteile ankucken und sagen, bei dem Problem ist die Lösung das bessere. Es gibt Keile, es gibt Kniehebel, es gibt Pneumatik, es gibt Hydraulik, es gibt bestimmte Fertigungstechnologien und das ist alles nur eine Kombination von bestehenden Sachen.“

I: „An welcher Stelle würdest du dir konstruktionsmethodische Unterstützung wünschen?“

VP 03: „Ich glaub', zum einen ... also das, was am Anfang als Problem geschildert wurde, erst mal 'ne Methodik zu finden, wie du so ein Projekt durchfahren kannst, und zum anderen, wenn du dich ein Stück weit hast treiben lassen und bestimmte Lösungen auf dem Papier hast, die in eine Struktur zu bringen. Das fällt den Leuten mehr oder weniger leicht, und da gibt's Leute, wie bei uns die Methodenjungs, denen fällt das sehr leicht, sieben Lösungen in eine Struktur zu bringen. Zu sagen, naja, wenn man das abstrahiert, dann ist es eigentlich nur eine Variation von dem und dem und das ist gekoppelt mit dem und dem und eigentlich ist das so eine Logik, die da dahinter steckt. Und da gibt's Leute, denen fällt das sehr leicht und Leute, die tun sich da ein bisschen schwer, und da gibt's, glaub' ich, Unterstützung. Oder da könnt's Unterstützung geben. Aber auch da, wie du überhaupt hingehst an so was. Also man muss sich erst mal Systemverständnis aufbauen, oder kann ich gleich anfangen mit meinen Ideen? Hast du das Problem genau genug hinterfragt? Weißt du überhaupt, was auf einer abstrakten Ebene gut wäre für deine Lösung? Und wie hast du die Entscheidung getroffen? Da wär's, glaub' ich, gut, Unterstützung zu haben. Und schön wär's auch, wenn man diese Analogien aus anderen Bereichen irgendwie zugänglich machen könnte. Also dass du da auch Inspiration kriegst, konstruktionsmethodisch. Dass du quasi deine eigenen Ideen ein bisschen spiegelst an dem, was es gibt in der Literatur, in Konstruktionskatalogen, in ja anderen technischen Bereichen. Das könnte ja methodisch auch unterstützt werden. Aber in erster Linie Ordnung. Dass die dir ordnen helfen beim Vorgehen.“

Interview mit VP 04

Interviewer: „Welches Vorgehen hat sich aus deiner Sicht bei der Lösung von Konstruktionsproblemen bewährt und was hältst du für wichtig?“

VP 04: „Also die Methode, wie wir vorgegangen sind, also zuerst mal eine Wertanalyse über die bisherigen Bauteile zu machen, also auch von der Konkurrenz, und die auch mal mit unserer Kupplung gegenüber zu stellen, wo sind Kosteneinsparungen. Dann erkennt man so langsam, wo Kosteneinsparungen sind, und ich fand die Methode für die Basis eigentlich zum Einstieg extrem wichtig. Dass man sieht, wo steht die Konkurrenz, wo stehen wir, wo sind unsere Punkte, wo ma' am meisten einsparen können, und in die Richtung müssen wir dann auch wieder weiter gehen.“

I: „Wie lief das Projekt ganz konkret ab? Kannst du den Projektablauf aus deiner Sicht schildern?“

VP 04: „Wir haben mit unserem Moderator einmal im Monat diese Sitzung gehabt, wo man auch kreativ tätig sein konnte. Also am Anfang ist einfach die Analyse der bisherigen Rutschkupplung gemacht worden, ganz neutral. Einfach nur auf dem Papier, damit jeder in die Problematik mit eingebunden ist, weil da waren ja Leute aus unterschiedlichen Abteilungen. Also, einmal Techniker und zum zweiten dann auch Beschaffer, und die mussten ja alle mal ins Boot geholt werden, das heißt, man hat ganz unten angefangen. Welches Bauteil hat welche Funktion? Und dann ist man da eigentlich so langsam eingestiegen. Warum braucht man das Bauteil? Könnten wir das Bauteil ersetzen? Oder können wir Bauteile zusammenfügen? Also des ging am Anfang dann relativ, man kann sagen unstrukturiert, los. Man hat da einfach ein bisschen rumgesponnen. Man könnte das Ganze ja ganz anders gestalten und so weiter, und da sind manchmal bisschen ulkige Ideen rausgekommen, und ich hab' die dann zwischen den Sitzungen immer wieder ein bisschen, ja, auf Plausibilität überprüft gehabt.“

I: „Und du hast vorher gesagt, dass das irgendwie ein bisschen aus dem Ruder gelaufen ist. Was war da konkret das Problem?“

VP 04: „Ja, man hat das Fenster einfach zu weit aufgemacht gehabt. Man hat an Ideen rumgesponnen, die für dieses Projekt, für die Projektdauer, einfach gar nicht akzeptabel waren. Das waren g'spinnerte Ideen, auf gut Deutsch gesagt, und in dem Projektverlauf über die zwei Jahre hätten wir das gar nicht auf die Reihe gekriegt. Das wäre ein komplett neues Projekt geworden.“

I: „Bei der Durchsicht der Dokumente habe ich gesehen, dass ihr eine große Liste von Ideen durch Analogiebildung erzeugt habt. Hat dieses Vorgehen zum Ziel geführt?“

VP 04: *„Nein, die Analogiebildung hat nicht zum Ziel geführt. Und dann hat man sich einfach gesagt, wir müssen unseren Spielraum eingrenzen. Wir müssen sagen, okay, den Bauraum haben wir und die Funktionen sind ja sowieso gegeben und wir müssen auch irgendwo in Richtung Projektdauer auch denken. Was ist realistisch und was ist unrealistisch? Und dann hat man einfach die Ideen, die man gesammelt hatte, die man in einer relativ großen Matrix erzeugt hatte, die hat man einfach mal zusammen bewertet und hat gesagt, das macht keinen Sinn und das macht keinen Sinn und das macht keinen Sinn. Und dann hat man die Ideensammlung ein bisschen gefiltert gehabt. Also einmal in futuristischen Ideen und einmal in praxisorientierteren Ideen.“*

I: *„Das ist mir aufgefallen, dass bei ganz vielen Sachen steht „entfällt“.“*

VP 04: *„Ja, das war einfach vom Praxisgedanken her ... du weißt ja genau, da waren sehr viele Praktiker dabei, wie der XY, und der hat da gesagt, das macht ja gar keinen Sinn. Da können wir noch so viel rumspinnen, die Erfahrung sagt, dass das nicht funktioniert.“*

I: *„Nach diesen Sitzungen hattet ihr schon ein grobes Konzept festgelegt, oder?“*

VP 04: *„Ja, ja genau. Vier Varianten haben sich dann eigentlich rauskristallisiert, wo man sich gesagt hat, okay, in diese Richtung können wir konstruktiv weiter arbeiten, ist es technisch machbar. Also die technische Machbarkeit mussten wir klären, und auch in Richtung Kosten mussten wir das Ganze genau validieren. Weil die Motivation war ja eigentlich gewesen, Kosten einzusparen. Alles andere war ja eigentlich nebensächlich gewesen. Die Nebeneffekte, die wir später erzeugt haben, also die wir kostenlos dazu bekommen haben, die waren am Anfang eigentlich nebensächlich gewesen. War „nice to have“.“*

I: *„Und hat diese Funktionskostenanalyse aus deiner Sicht die Weichen richtig gestellt für das Projekt?“*

VP 04: *„Eigentlich schon. Nur das Ziel ist eigentlich nie komplett erreicht worden, weil die großen Funktionskosten, die waren ja eigentlich durch das Kupplungszahnrad gegeben, und zum Schluss, du hast ja dann gesehen, als wir die letzten vier Varianten dann nochmal gegeneinander gestellt haben, dass eigentlich die teuerste Variante in Richtung Zielerfüllung die Sicherste war, und in der Richtung ist man dann weiter gegangen. Und die anderen Varianten waren ein bisschen Harakiri, da hätte man wahrscheinlich noch relativ lange Entwicklungszeit gebraucht, bis man die zum Laufen gebracht hätte. Und da hat man gesagt, okay, man geht den sichersten Weg und lässt die anderen raus.“*

I: *„Gab es am Ende des Projekts noch viele Validierungsschleifen, wo du noch Sachen geändert hast, und die dann anschließend wieder getestet wurden?“*

VP 04: „Das sind ja verschiedene Varianten, die wir mal als Funktionstest ausprobiert gehabt haben, und dann Varianten auch, da hat man dann gesagt, die können wir streichen, das ist einfach zu weit vom Ziel entfernt. Also man ist in jede Hardware reingegangen, also von allen vier Varianten ist Hardware erzeugt worden, und man hat alle zum Laufen gebracht, man hat sich zum Beispiel auch über Fertigungstechniken Gedanken gemacht, über Alternativfertigungstechniken, und diese Sachen hat man alle durchgespielt gehabt auch in Hardware dann.“

I: „Was waren aus deiner Sicht die größten Herausforderungen bei dem Projekt?“

VP 04: „Am Anfang fand ich den Start vom Projekt, und in Richtung Ziel zu kommen, das war für mich die größte Herausforderung. Wo können wir das Ganze so weit filtern, dass wir in ein realistisches Ziel kommen?“

I: „Hattest du Sorgen, dass das nicht gelingt?“

VP 04: „Ja, da habe ich Angst gehabt. Man tut hier nur in Ideen rumspinnern. Jeder hat seine eigene Idee, will die unbedingt durchsetzen, und die sind dann teilweise nicht zielführend gewesen, und da hab' ich Angst gehabt, dass mir das irgendwie aus dem Ruder läuft. Weil es sind auch dann teilweise Ideen umgesetzt worden, die wirklich, wo man gesagt hat, macht eigentlich kein' Sinn, aber trotzdem verschiedene Leute haben darauf bestanden, das müssen wir noch machen. Probieren wir's mal aus. Und da sind dann auch Kupplungen entstanden, die sind gleich im Papierkorb gelandet. Einmal aufgebaut und dann ...“ (lacht)

I: „Gibt es etwas, das du heute anders machen würdest?“

VP 04: „Ja vielleicht. Ich würde vielleicht mit einer anderen Methodik anfangen. Ich würde vielleicht nicht den gleichen Moderator nehmen, der wirklich hervorragend ist und sehr gut dokumentiert, aber der dann in der Materie sehr, sehr weit entfernt ist. Er kann gut die Leute in ein Boot holen, er kann sehr gut motivieren, aber ich hätte eher 'nen technik-lastigen Methodiker gehabt. Und so was würde ich dann auch bevorzugen im nächsten Projekt. Das mehr auch in Richtung Ziel geht. Schon am Anfang abstrahiert wird, aber das Ganze nicht so weit vom Ziel entfernt.“

I: „Denkst du, dass diese Workshops eine gute Sache sind?“

VP 04: „War eine extrem gute Sache, aber man hat einen langen Weg in den Workshops gehabt, bis man ans Ziel gekommen ist.“

I: „Und was ist das Gute an den Workshops gewesen?“

VP 04: „Erstens, dass man die Leute mit dem Problem konfrontiert hat, dass die Leute dann auch motiviert waren in dem Workshop zusammen zu arbeiten, und die haben sich auch Mühe gegeben irgendwelche eigenen Ideen miteinzubringen. Und ich glaub' eine kleinere Gruppe, so zwei, drei Leute, die hätten die Ideen gar nicht

zusammengebracht. Und so hat sich eine Idee zu der anderen gesellt, und plötzlich ist man drauf gekommen, ja, die Idee kombiniert mit der anderen Idee ist eigentlich optimal. Und das sind Workshops, die machen dann richtig Spaß. Wenn man sich dann in Richtung Ziel so peu à peu, Schritt für Schritt loshangelt. Das war echt gut.“

I: „Was ist besonders gut gelaufen in dem Projekt?“

VP 04: *„Dass die erste Rutschkupplung lief. Obwohl wir dann einen Hebelbruch hatten, aber das war ein Problem, das hatten wir schnell lokalisiert gehabt und hatt's auch relativ schnell behoben, und dann war eigentlich die Kupplung lebensdauerfest gewesen. Und da hab' ich eigentlich gedacht, ich hätte da viel, viel mehr Probleme.“*

I: „Du hast also gleich zu Beginn die Lösungen im Sack gehabt und hast dann noch andere Sachen ausprobiert?“

VP 04: *„Genau.“*

I: „Wie sind bei deinem Projekt konkret die Lösungen entstanden?“

VP 04: *„Aus dieser großen Matrix, wo man verschiedene Ideen gefunden hat und wo man dann Ideen als nicht lösbar oder als nicht zielführend gefiltert hat. Da sind verschiedene Ideen weiterverfolgt worden und die Ideen hat man dann auch mal in Richtung Kosten ein bisschen durchgeklopft und durchgeknetet. Und dann sind auch wieder aus den Lösungen wieder Alternativlösungen heraus gekommen, wo man nur gedacht hat, man wird ein' Tick billiger. Das war manchmal total kontraproduktiv. Da hat man gemerkt, man hat mehr Bauteile, muss mehr Bauteile zusammenfügen und so weiter. Im Endeffekt wird's teurer. Und dieser Lösungsfindungsprozess war sehr interessant gewesen. Und dann ist man in Richtung Fertigungsmethode also auch in Richtung praxisgerecht gegangen. Also man hat gesagt, mit der Fertigungsmethode können wir diese Sachen lösen, mit der Fertigungsmethode andere Sachen, und wenn man diese verschiedenen Sachen kombiniert, könnten wir möglicherweise ein optimales Bauteil oder ein günstiges Bauteil bekommen. Und da sind auch teilweise dann wirre Fertigungsmethoden in Umlauf gesetzt worden, wo man verschiedene Sachen zusammen gelötet hat und was eigentlich total kontraproduktiv war, weil's eigentlich viel teurer geworden wäre.“*

I: „Entstehen Lösungen bei dir zunächst im Kopf und bringst du die dann direkt ins CAD, oder machst du Skizzen? Wie läuft das bei dir ab?“

VP 04: *„Diese finale Lösung ist eigentlich direkt im CAD entstanden. Gut, ich hab' mir die Ideen im Kopf so zusammengereimt, wie die Kräfteverteilung sein soll, wie der Kräfteverlauf sein soll, und dann konnte man das direkt im CAD nachvollziehen, und dann hat sich die Baugruppe, die haben sich dann irgendwann ergeben. Die sahen am Anfang komplett anders aus. Und dann kommt auch beim Konstruieren kommen dann bestimmte Ideen, das könnte man so machen ... dadurch wird die Sache auch*

vereinfacht. Da sagt man halt, okay, wenn man das anders gestaltet, kann man ein Teil wieder entfallen lassen.“

I: „Fällt dir das Skizzieren leicht?“

VP 04: *„Also ich kann relativ schlecht skizzieren, würde ich sagen. Also ich kann's erkennen, aber Andere können's wahrscheinlich nicht lesen, wenn ich irgendwas skizziere. Und da geh' ich eher in Richtung CAD. Vom Kopf ins CAD rein. Also wenn man konkrete Vorstellungen hat, wie es auszusehen hat.“*

I: „Funktioniert das gut bei dir?“

VP 04: *„Es wächst halt. Also das Bauteil sieht am Anfang vogelwild aus, aber irgendwann nimmt's dann Gestalt an.“*

I: „Das heißt, du machst erst mal das Bauteil total grob und verfeinerst es dann?“

VP 04: *„Ja.“*

I: „In der Baugruppe dann oder in Einzelteilen?“

VP 04: *„In der Baugruppe.“*

I: „Du schusterst dir eine Baugruppe aus ganz groben Teilen zusammen?“

VP 04: *„Genau. Wie ist der Kräfteverlauf, entweder die Teile müssen wo gelagert werden und so weiter, und dann ergibt sich der Rest. Alles andere ist dann eigentlich noch Detailarbeit.“*

I: „Was mir auch aufgefallen ist, dass du sehr viele Explosionsdarstellungen erzeugt hast in dem Projekt. Was war der Grund? Worin siehst du die Vorteile?“

VP 04: *„Um einfach mal zu zeigen, wie einfach ein Bauteil sein kann. Wie kompliziert das jetzige Bauteil ist und wie einfach das neue Bauteil sein kann. Und durch solche Explosionszeichnungen sieht man auch die Anzahl der Bauteile viel besser als in der Schnittdarstellung. Also es ist nicht für mich, sondern eher um das ganze Projekt besser darzustellen.“*

I: „Wenn du ein Design verstehen willst, dann hilft dir ein Schnitt mehr als eine Explosion?“

VP 04: *„Ja klar. Für mich ist ein Schnitt besser als eine Explosion. Die Explosion ist eigentlich nur eine Grafik.“*

I: „Ich hab' auch gesehen, dass ihr einen morphologischen Kasten erstellt habt. Wie wichtig findest du solche Darstellungen des Lösungsraums und was für eine Rolle haben die in dem Projekt gespielt?“

VP 04: *„Der war eigentlich wichtig, um zu sehen, welche Lösungen kann ich ausfiltern und welche Lösungen stehen bleiben. Das heißt, ich hab' ein relativ großes*

Bild von Lösungen, die kreiert worden sind. Und das kann ich eigentlich nur in so einem morphologischen Kasten sehen, und damit ich auch weiß, die Funktion, die ich brauch', kann nur durch bestimmte Bauteile, beziehungsweise Lösungen, erreicht werden.“

I: „Seid ihr dabei noch auf zusätzliche Sachen gekommen?“

VP 04: *„Ja, da sind später wieder neue Ideen kreiert worden auf Basis von den Lösungen. Aber das sind auch wieder Lösungen, die sind auch wieder wegdiskutiert worden. Die sind dann gar nicht mehr aufskizziert worden, sondern gleich wieder wegdiskutiert worden.“*

I: „Ihr habt die theoretische Validierung durch die Simulation genutzt und ihr habt aber auch die praktische Validierung genutzt. Nach welchen Kriterien hast du gewählt, welche Validierung passend ist?“

VP 04: *„Die theoretische Validierung war ja eigentlich die Grundlage, um das Ganze praktisch zu validieren, und wir mussten sowieso beides machen an der Stelle.“*

I: „Ist deine Erfahrung so, dass du sagst, ohne theoretische Validierung funktioniert die Kupplung überhaupt nicht?“

VP 04: *„So ungefähr. Also ich würd' der theoretischen Validierung immer den Vortritt geben an der Stelle, weil die Kupplung ist so komplex, da kann man so viele Tests machen. Also bevor man da in irgendwelche Hardware geht, sollte man da doch von theoretischer Seite das Ganze abgesichert haben. Ich finde es wichtig früher.“*

I: „Wann hast du entschieden, dass jetzt genug theoretisch validiert ist?“

VP 04: *„Weil das theoretische ja in trockenen Tüchern war. Man musste das Ganze sowieso praktisch validieren, das war ein Projektziel gewesen. Und da hat man einfach die sicherste Variante ans Ziel geführt.“*

I: „Was denkst du, wo deine Stärken beim Lösen von Konstruktionsproblemen sind?“

VP 04: *„Ich würde sagen, eher in der Detaillierung. Wenn ich das Problem mal hab', das dann ins Detail zu überführen, in eine praxisgerechte Konstruktion zu überführen. Also nicht das Analytische, sondern eher in Richtung Praxis, weil ich einfach die Erfahrung des Konstrukteurs habe, die ist da einfach ein bisschen ausgeprägter. Andere machen das eher so in Methodik, die gucken sich das Problem methodisch an und kreieren dann irgendeine abstrakte Lösung, und ich bin da eher für diese direkte praktische Lösung, die auch in die Konstruktion direkt miteinfließt.“*

I: „Und du nimmst dir dann für die Phasen, wo du jetzt nicht so deine Stärken siehst, Unterstützung in Form von den anderen Konstrukteuren?“

VP 04: „Ja.“

I: „An welcher Stelle würdest du dir konstruktionsmethodische Unterstützung wünschen?“

VP 04: *„Also ganz am Anfang, ganz wichtig, um das Problem einfach analytisch darzustellen. Man hat das praktische Problem, aber das Ganze jetzt mal die Kräftewirkungen und so weiter, ganz analytisch, ganz trocken darzustellen, warum und wieso braucht man das und das. Man hat ja die Baugruppe schon so verinnerlicht, dass man möglicherweise an ganz extremen Stellen das Ganze übersieht, dass man Probleme übersieht. Und wenn man das analytisch ganz methodisch darstellt, warum das Bauteil diese Kräfte aufnehmen muss, diese Ladungen haben muss und so weiter, dann hat man mehr Freiräume, anders auch die Lösung zu finden. Und dann würd' ich sagen, wenn man verschiedene Arten von Lösungen schon kreierte hat, dann würde ich das Ganze auch noch mal über Konstruktionsmethodik abfahren. Dass man am Anfang die Problematik lösungsmethodisch darstellt. Man dann irgendwie in die Konstruktionsphase, in die Entwicklungsphase einsteigt, und nach dieser ersten Entwicklungsphase, wo erste Ideen kreierte worden sind, dass man da nochmal Methodik drüber zieht, okay, was macht Sinn, was macht keinen Sinn.“*

I: „Da spielt ja dann die Erfahrung eine ziemlich große Rolle.“

VP 04: *„Genau.“*

I: „Ist aus deiner Sicht das Darstellen des Lösungsraums, wie ihr das mit dem morphologischen Kasten gemacht habt, auch wichtig?“

VP 04: *„Das ist wichtig. Extrem wichtig, ja. Da kann man die Lösungsfindung relativ schnell durchziehen. Dass man Dinge auch eingrenzt.“*

I: „Ist das aus deiner Sicht genügend unterstützt, dass man so was leicht erstellen kann? Oder war das eine Herausforderung, so einen Kasten zu erstellen?“

VP 04: *„Die Unterstützung vom Moderator, die war schon notwendig, um solche Kästen zu erstellen. Also wir als Konstrukteure, oder die Teammitglieder, wir hätten den Kasten wahrscheinlich nie so erstellt. Und dafür sollte man halt einen externen Moderator schon haben, als Konstruktionsunterstützung.“*

Interview mit VP 05

Interviewer: „Welches Vorgehen hat sich aus deiner Sicht bei der Lösung von Konstruktionsproblemen bewährt? Wie gehst du da vor?“

VP 05: „Also zuerst schau' i mir halt des Problem selber an, an der Hardware, i bohr' erstmal selber, dass i sieg, oh, da gibt es dieses Problem, des muss i selber sehen, sonst kann i mir da kein' Eindruck machen. Und dann geh' i eigentlich schon auf's CAD, vielleicht mal so auf dem Blatt mal ganz schnell irgendwie so a Skizze, aber dann geh' i eigentlich schon auf's CAD. Und in den Fällen hier, da waren jetzt zum Beispiel die Gummiteile, die waren am Anfang viel zu dünn konstruiert von meiner Seite her. Da ist der Staubsauger angegangen, „pffft“, und dann sind die eigentlich schon fast platt 'worden. Also da hat von meiner Seite her komplett das G'fühl g'fehlt, was eigentlich mit so Elastomerteilen passiert, wenn a Staubsauger an is'. Also da waren die Wandstärken rein auf hartem Kunststoff irgendwie, plus nochmal anderthalb Millimeter, und des war's dann irgendwie schon. Und des hat man dann gesehen. Oh Gott, des is' viel zu weich, das Ganze. Also des waren so die Erfahrungen, wo i da vorher gar keine Erfahrung hatte. Also das war das Erste. Und wenn ich des weiß, dann ... Oh, Wandstärken stärker machen! Also des is' dann schon des erste. Und da is' es dann schon immer schwierig, weil du brauchst dann a Prototypen, und die sind teuer. Also das Einzelteil ist nicht teuer, aber das Werkzeug ist dann letztendlich doch teuer. Und dann kostet dann so ein kleiner Faltenbalg gleich mal fünfhundert Euro, plus dann noch mal sechzig, siebzig Euro das einzelne Teil. Dauert wieder drei Wochen, manchmal vier Wochen, bis dann a Teil kriegst. Und da bin i gern immer am CAD, und dann nimm i des Teil noch mal so in d' Hand und drück noch mal und denk mir, Mensch, des müsst doch jetzt so steifer sein. Und dann, wenn des Teil kommt und es sollte immer noch nicht gut sein, dann hilf i mir eher, dass i noch mal an O-Ring drüber kleb'. Dass i dann schau', anhand dieser Hardware, wie kann i des versteifen, indem i dann unten bei die Falten dann an O-Ring reinleg'. Mit Sekundenkleber hält des super gut. Dann wird des Ganze schon steifer, dass i des G'fühl dafür krieg'. Also so waren die ersten Ansätze. Glaub', da gibt's noch Teile, wo überall noch so O-Ringe drauf'klebt worden sind. Dass wenn der Staubfluss oder der Luftstrom da ist, dass die mir, „pffft“, gar nicht so einfallen. Oder auch dann gab's so harte Kunststoffteile, die, die man vorne so draufg'stülpt hat. Also des waren wie so kleine Prinzessinnenkronen, sag' i jetzt mal. Die hat man nochmal über'n Gummi drauf mit Sekundenkleber festg'macht, und dann war schon mal die Formstabilität gegeben. Also i bin da der, der net in die Simulation läuft. Da bin i am Anfang g'laufen, zum XY, und da hat keiner eigentlich Zeit dafür g'habt. Also des is' net a Projekt, wo man mit am Bohrhammer runter läuft und sagt, Mensch, könnt's ihr da mal was machen? Wobei i auch gar net so weiß, ob des jetzt bei so

Elastomerteilen so gut funktioniert. Also wenn der, der's dann ausprobiert, erstmal rumklebt, rumprobiert und dann nochmal Teile in Auftrag gibt.“

I: *„Kannst du den Projektverlauf mal grob aus deiner Sicht schildern?“*

VP 05: *„Also irgendwann kam der Gruppenleiter auf mich zu und es gab zwei Möglichkeiten. Entweder diese Absaugung zu machen, wo's a Technologieprojekt zuvor gab. Oder, dass eventuell a neuer Seitenhandgriff kommt mit Vibration oder so was für Kombihämmer. Und dann hat sich's aber ziemlich schnell rausgestellt, oh, wir müssen eigentlich in die Richtung Staubabsaugung gehen. Und i hab' mich so richtig g'freut, weil's was Neues ist, was richtig Neues! Noch nie was mit solchen Teilen zu tun g'habt. Dann ist's eigentlich schon ziemlich schnell gestartet, weil's scho' Hardware vom Technologieprojekt gab. Die hab' i auf den Tisch bekommen, und hab' den Bericht durchg'lesen. Hab' dann die Teile g'nommen und bin in den Handbohrraum 'gangen, hab' des erste Loch in meinem Leben mit Hammerbohrkrone 'bohrt. Hab' dann bisschen tief 'bohrt und wieder raus'zogen, und der Kern is' immer schön stecken 'blieben. Dann hab' i tiefer 'bohrt und raus'zogen, und mhh ..., der Kern is' immer noch stecken 'blieben. Und da hab' i mir 'dacht, ja, wie kriegt ma' den jetzt raus? Dann bin i ins Büro 'gangen zum Gruppenleiter vom Handtest und hab' i g'sagt, du, schau' mir mal her, wie geht das jetzt? Und dann sagt er: Ja, du bohrst auf volle Tiefe, dann machst du 'ne seitliche Bewegung, und der Kern bricht und ist in der Hammerbohrkrone drin. Des hab' i dann g'macht und hat super funktioniert. Der ganze Staub ist abgesaugt worden. Und dann sag' i: Und jetzt? Wie geht's weiter? Und dann sagt er, ja, normalerweise schlägt man halt die Hammerbohrkrone mit Gerät seitlich gegang Untergrund, dass der Kern rausfällt. Und sag' i: Ja, aber des geht ja hier net in dem Fall, weil der Faltenbalg über die Hammerbohrkrone drüber geht. Der ist mir ja dann gleich kaputt. Ich kann ja nicht mit dem Faltenbalg wo dagegen schlagen. Dann bin ich zum Versuchsingenieur gegangen und hab' ihm des erklärt, dass des so zwar gut absaugt, aber vom Handling her ist des ja net, was die Praxis zeigt. Mir ham dann an vorhandenen Faltenbalg g'nommen, der in etwa so die Größe hatte, und ham dann die Hammerbohrkrone so gegang flachen Untergrund g'schlagen, und dann hat der Faltenbalg schon sofort Risse 'kriegt. Also hat ma g'sehen, fünfmal wenn ma' draufs schlägt, is' der eigentlich hin. Also ham ma g'sagt, so funktioniert's net. Und die Basis war so, wir befestigen des Ganze mit dem Seitenhandgriff am Gerät, verwenden das bestehende Teil und bauen halt dahinter irgendwas und was davor, wo ma dann absaugen. Vom Marketing war auch der Wunsch, dass wir die langen Hammerbohrkronen absaugen können. Nicht nur die kurzen, weil dieser Faltenbalg vom Technologieprojekt, der war halt kurz, dass er über die kurzen Hammerbohrkronen drüber ging. Aber das wollte das Marketing nicht. Die wollten beide Längen, weil eigentlich fast mehr Durchbrüche gemacht werden, als*

Dosensenken. Dann kam ganz schnell die Idee ... Bin dann in die Werkstatt runter 'gangen, hab' i g'sagt: Machts mir bitt'schön hinten stirnflächig Löcher rein. Hab' dann den Durchmesser g'messen vom Saugrohr und hab' die Fläche umg'rechnet auf die Anzahl und Durchmesser der Löcher. Hab' dann die Hammerbohrkrone g'nommen mit zehn Löcher, Durchmesser acht Millimeter oder so was. Dann hab' i selber 'bohrt, in dem i die Hardware vom Prototypen verwendet hab', und hab' vorne als Verlängerung ein PVC-Rohr g'nommen. Und hab' dann bohrt und hab' g'sehn: Woahr, des saugt super gut ab! Also des funktioniert so. Und hab' dann ein Loch nach dem andern zu'klebt und hab' dann g'sehn, Mensch, drei Löcher, eigentlich zwei, aber lieber drei dann, falls mal eins verstopft. Des müsst' ja ausreichen. Und dann sin' ma soweit g'angen, dass ma in die Hammerbohrkrone drei Löcher reing'macht ham. Die is' uns dann aber nach fünf Löcher' im Beton schon 'brochen, weil ma einfach in die harte Hammerbohrkrone die Löcher reing'setzt ham. Und des hat so stark die Festigkeit verletzt, dass die uns wirklich so schnell 'brochen sind. Dann ham ma halt g'wartet, bis der Zulieferer des schon vorher, vor der Wärmebehandlung, reingebracht hat. Und dann hat ma g'sehen, Mensch, die Richtung is' die richtige. Und dann ging's darum, wie tief kömmer jetzt bohren. Und dann hat ma g'sehen, des vorhandene Teil kostet uns so viel an Bohrtiefe. Des wär' besser, wenn ma des gar net verwenden würden, wenn ma was neues machen würden. Und auch dieses harte Kunststoffteil am Seitenhandgriff, des wird uns immer brechen beim Falltest. Und daraufhin wurde dann entschieden: Nee, wir nehmen des Geld in d' Hand, wir machen da komplett a neues Teil. Und dann ist dieses Basisteil geboren worden, mit dem neuen Seitenhandgriff. Und dann ham wir diese Rüssel so Schritt für Schritt verbessert. Bis wir dann mit dem Marketing diese Killerdemo g'macht ham, und da hat man dann des erste mal auf Hohlziegel 'bohrt. Da ham ma g'sehn, ach Gott, des saugt ja gar net ab. Also im Hohlziegel komm i net in den Arbeitspunkt mit dem Gerät. Also da kommt der Schlag und die Hammerbohrkrone saust zu weit vor und mir fehlen dann zwanzig, fünfundzwanzig Millimeter von der Hammerbohrkrone bis zum Faltenbalg, und somit kann des nix mehr absaugen. Und des ham ma leider erst da bemerkt. Also des ist vorher im Test gar net überprüft worden. Und des hieß dann, dieses Saugrohr muss kürzer werden und dieser vordere Bereich mit dem Faltenbalg länger werden und muss dann diesen zusätzlichen Weg beim Bohren auf Hohlziegel überbrücken. Und des gab dann nochmal eine riesen Werkzeugänderung. Weil die Teile waren schon aus dem Werkzeug. Dann gab's noch mal 'ne große Schleife, weil der große Faltenbalg nie die Länge hatte. Da haben uns immer so 7 Millimeter gefehlt, nach Zeichnung. Der ist immer so in sich zusammeng'fallen. Und dann war so die ganze Betreuung vom Zulieferer war nicht so gut. Also die hatten dieses Wissen gar net, wie zieht sich jetzt so a Faltenbalg zusammen. Da war so die Argumentation, ja so was gibt's eigentlich

gar nicht, wie mir machen, weil a Faltenbalg wird immer am Ende befestigt und am Anfang befestigt. Also der schirmt irgendwas ab, wo kein Staub oder Dreck hin soll. Und der wird immer befestigt und in Position g'halten, und jetzt machts ihr was, wo auf einer Seite is' er in Position und auf der anderen Seite soll er irgendeine Länge haben. Des ist total schwierig. Da war gar keine Erfahrung da. Also was am Anfang a bisserl schwierig war, der Versuchingenieur war neu in der Firma. Da hat sich im Versuch kaum jemand bemüht, den einzuarbeiten. Des ist heut noch so, dass der am liebsten mit mir den Test macht. Ich bin eigentlich heile froh, weil dann seh' i des auch jetzt gleich, aber ich hätt' mir eigentlich g'wünscht, dass der des für sich viel kritischer anschaut. Viel mehr probiert und runddoktert.“

I: „Gab es noch andere Herausforderungen im Projekt?“

VP 05: „Nee, eigentlich net. Es gab dann nur noch die Herausforderung mit dem Seitenhandgriff. Dass ma den im Kipptest bestehen. Und da ham ma im Januar gleich die ganze Hardware der Messtechnik 'geben zum Testen. Zugleich ham ma aber auch den Falltest oder Kipptest auch vorher schon g'macht mit diesen Teilen. Bevor wir im CCT zu Kunden rausgegangen sind. Also das war mir ganz wichtig, weil ich da schon mal Probleme hatte. Dass ma wissen, der Seitenhandgriff, der hält. Und der Test im Versuch selber, der hat, glaub' i, a halbes Jahr 'dauert, bis die anfangen. Und wir waren dann schon eigentlich so, jetzt wird dann aber so langsam verkauft. Und dann kam ma drauf: Nee, zwei Sachen erfüllt er net. Total spät! I war dann stinkesauer. Und dann war halt schnell noch mal Werkzeugänderung, was mach' ma. Die Erste hat noch net 'tragen und da musste ma noch 'ne Zweite machen. Und dann musste ma sie im Versuch noch mal selbst überprüfen.“

I: „Gibt es etwas, was du heute anders machen würdest?“

VP 05: „Ja, ich würd' da schon viel anders machen. Also wenn's geht, würd' i zuerst mal schauen, wie gut ist da die Simulation. Weil am Anfang hat mir das viel Schleifen 'kostet, dass ma diese Wandstärken überhaupt mal richtig hatten. Also bis da der Zulieferer gesagt hat, ja, wir können bis anderthalb Millimeter runter gehen. Also weiter drunter nimmer, aber bis 1,5. Des hat ewig 'dauert. Da waren bei uns zwei, drei Schleifen bis wir des erstmal hatten. Also des war schlecht.“

I: „Und würdest du an deiner Vorgehensweise etwas ändern?“

VP 05: „An der Vorgehensweise jetzt net. Also jetzt wüsst' i auch die ganzen Wandstärken, diese ganze Problematik mit den Shore-Härten. Und würd' jetzt halt bei den nächsten, was jetzt auch des neue Projekt is', kann i halt unwarscheinlich viel schon abnehmen, was halt jetzt als Hardware mit der Geometrie alles scho' da is'. Also ich profitier halt jetzt von den Erfahrungen, die i halt da sammeln musste.“

I: „Was ist besonders gut gelaufen im Projekt?“

VP 05: „Gut ist immer g'laufen die Beziehung zu dem Projektleiter. Der ist am Anfang immer so der Konstrukteur. Gut, manche stört's, mich strört's net, weil jeder hat andere Ideen, und vielleicht kommt man da auf des ein oder andere. Und man konnte von ihm das ein oder andere auch brauchen. Der wollt' auch immer wissen, wie's grad' läuft und hat auch selber 'bohrt. Was auch total gut lief, war die Beziehung zum Marketing. Der Kollege hatte auch dieses Feingefühl. Was ist wichtig? Was will der Kunde? Lieber ein Teil weniger, als eins zu viel. Lieber da jetzt ein Kompromiss, als alles voll ausreizen. Also der hat mich da unwahrscheinlich unterstützt. Man hat da nur im Meeting aufzeigen müssen, so und so stell ich mir vor und es gibt die und die Möglichkeiten. Der hat ziemlich schnell eigentlich auch des rausgesucht, was man selber vorhatte. Also man hat jetzt so nichts vorgegeben, weil Marketing ist schon der erste Kunde für mich, aber vom Gefühl her sagt man, Mensch, des ist der beste Weg, und der hat des auch sofort überrissen. Also des lief total gut mit dem. Schwierig wurde es dann, als der wegging ...“

I: „An den Dokumenten hab' ich gesehen, dass du zu Beginn des Projekts zusammen mit einem Moderator einen Workshop gemacht hast, um die Funktionen des Systems darzustellen. Was für eine Rolle hat das für dich gespielt?“

VP 05: „Mhhh ... Also ich konnt' davon nichts verwenden. Es war schon so strukturiert und alles, und ich fand des total toll, wie der des kann. Also ich konnt' sowas gar net. Aber da tu' i mir dann total schwer damit. Also i bin da so der: Die Teile sind scho' da vom Prototyp, und dann bin i da eigentlich schon mehr so im Detail drin.“

I: „Wie entstehen dann bei dir neue Lösungen?“

VP 05: „Also ich fang' eigentlich immer so auf am Blatt an und hab' dann links das Werkzeug und rechts die Maschine und dazwischen ist nur die Mittellinie, und dann skizzier' i irgendwie so mit dem Bleistift mal auf, wie i mir so was jetzt vorstellen konnt'. Und dann geht des von Blatt zu Blatt irgendwie so und dann wächst des so langsam. Und wenn i dann irgend so a Richtung schon hab', dass i sag', Mensch, so konnt's jetzt am besten funktionieren, dann fang' i im CAD eigentlich scho' an, dass i mir des so a bisserl maßstäblich hinkrieg', ob des überhaupt so funktionieren könnte.“

I: „Also du machst viel über Skizzen eigentlich?“

VP 05: „Ja, also des is' bei mir immer so, i brauch' zuerst a Blatt Papier. Auf CAD kann i des gar net.“

I: „Also dass Skizzieren liegt dir ziemlich gut?“

VP 05: „Ja genau. Aber ich kann halt jetzt net irgendwie des maßstäblich, und da bin i auch ziemlich schlampig. Aber wenn ich's dann schon so im Kopf so grob hab',

dann fang' i einfach mal an, dass i mir einfach mal im CAD den Zylinder in der Länge und so, dass ich einfach mal so diese Grundmaße irgendwie hab'. Also der erste Ausdruck ist auch immer des Gerät mit der richtigen Position von der Hammerbohrkrone. Dann hab' ich schon mal so ein bisserl dieses Verhältnis von den Längen und Größen. Also des brauch' i. Und dann fang' i eigentlich scho' an, also die Schnittstelle is' klar, und dann geht des irgendwie so weiter.“

I: „Beim Skizzieren selbst, fängst du da auf dem weißen Blatt an, oder versuchst du, die Randbedingungen, Schnittstellen schon maßstäblich mit zu betrachten, um sicherzustellen, dass alles nachher in den vorgegebenen Bauraum passt?“

VP 05: *„Nee, eigentlich, des ist, sag' i mal, a Blatt Papier, wo's Gerät is' und die Position, weil die Länge der Hammerbohrkrone is' ja vor'geben. Und dann fang' i eigentlich an, von da bis da muss i was machen. Und dann war des am Anfang ein Rohr. Vorne mit 'nem Faltenbalg. So war, glaub' i, die erste Skizze. Und des hätt' mir jetzt eigentlich scho' ausgereicht. Also wo i sag', des müsst' eigentlich so funktionieren. Und dann kam erst: Ach ja, die anderen Durchmesser oder so ... und dann: Ah, jetzt wird's scho' schwieriger, nee, des geht ja net. I kann ja net vorn einen Faltenbalg ... Also brauch' i noch a zweites Rohr. Und dann geht's so weiter, dass ma sagt: Ah, a zweites Rohr, und dann die kurzen, wie viel' brauch' i da jetzt? Oh, da brauch' i dann ja auch zwei oder nur eins? Und dann werden das schon immer mehr Teile, und dann muss ma irgendwann sagen: Oh, Moment, Schnitt! Und dann is' irgendwann entstanden: Nee, mir wollen des vorne austauschbar machen, weil vorne der größte Verschleiß is' ... Aber des ist oft so ... Zuerst amal einfach, und dann wächst es, wächst es, wächst es irgendwie so. Da bin i net so strukturiert, dass i sag': Ah, Moment, brauch' i irgendwo dazwischen nochmal 'ne Schnittstelle? Des wächst bei mir dann erst viel zu spät vielleicht auch.“*

I: „Ich habe gesehen, dass du immer versuchst viele Alternativen darzustellen. Wie entwickelst du diese? Hast du da eine Struktur im Kopf?“

VP 05: *„Nee. Des is' dann auch immer so auf'm Papier irgendwie g'wachsen. Da denk' i mir des und des, ach, da könnt' ma hier noch so a Zwischenlösung machen und die Lösung noch machen. Da gibt's so mehrere Varianten, wie des auszusehen hätte. Nee, des kommt so aus'm Kopf raus. Und dann bin i gleich im CAD, dass i des gleich auf des Powerpoint drauf bring'. Dass dann bei der nächsten Teamsitzung schon a Entscheidung 'troffen werden kann.“*

I: „Mir ist aufgefallen, dass du auf diese Weise viele Darstellungen erzeugst, in denen mehrere Alternativen dargestellt sind. Darüber hinaus werden dadurch viele Ideen für Änderungen dokumentiert. Welche Vorteile siehst du in dieser Vorgehensweise?“

VP 05: „Ich kenne keine andere!? I weiss net. I denk', a Anderer kann sich des auch so immer am besten vorstellen. Dann mach' ich des auch meistens so farbig. Des Teil bleibt und des andere ändert sich noch. Dementsprechend kriegt des andere auch 'ne andere Farbe. Dass ma des gleich erkennt, es gibt die Variante, des is' jetzt die Basis und die is' jetzt mal hellblau, und alles was sich in den anderen Varianten so ändert bekommt immer a andere Farbe. Dass ma des in der Präsentation vor'm Marketing auch schnell nachvollziehen kann. Also so geh' i da vor.“

I: „Versuchst du bei der Suche nach Alternativen eine Vollständigkeit sicherzustellen?“

VP 05: „Nee, des sind so erstmal die Ideen, aber des passt dann so vom Maßstab her. So im Detail ist es dann noch nicht fertig. Aber da weiß i scho', wenn i des so abbilde, dann müsst's eigentlich so funktionieren.“

I: „Und wie stellst du sicher, dass du da keine Richtung übersiehst?“

VP 05: „Stell' i net sicher.“

I: „Theoretische Validierung hat im Projekt kaum stattgefunden. Was war der Grund?“

VP 05: „Also einmal waren wir froh, dass wir überhaupt vom XY aus der Berechnung was bekommen haben. Das war des erste. Und dann wollt' ich eigentlich noch 'ne Simulation zum Seitenhandgriff schon ziemlich spät, wo des Thema aufkam, dass des nicht funktioniert. Da bin ich zum XY g'laufen und hab' ihn gefragt, ob er Zeit hätte. Und da wär' das in zig Wochen erst g'wesen. Und dann sag' i: Wart' noch mal, i hab' no' a Frage. Und dann hat er gesagt, was er da machen würde. Des wären diese zwei Aussparungen, die dann so reinkamen. Die würde er machen. Des wäre dann auf jeden Fall so gar nicht schlecht. Die ham ma dann schnell reing'fräst, ham's runterschmeißen lassen, ham g'sehn, a bisserl länger noch, und dann hält's. Also des war diese Schnellsimulation, die total zielführend war. So zwischendrin haben wir gar nichts g'macht.“

I: „Wo siehst du die Vorteile der praktischen Validierung?“

VP 05: „Des liegt mir einfach. Des mach' ich jetzt schon 32 Jahre. Also ich hab' das auch nie gelernt, diese Vorgehensart an ein Thema ranzugehen. Das hab' i nie g'lernt. Da gab's ein Problem und jetzt muss es gelöst werden. Also des kenn' i net so und da werd' i auch total unsicher. Ich find' so Leute, wie der YZ aus der Methodenabteilung, die so was so können, ... das fasziniert mich schon. Aber wenn ich das jetzt machen müsste. I dät davor stehen und wüsst' gar net, wo i da jetzt so anfang'. Also des kann i net.“

I: „Aber was ja eigentlich schade ist, ist, dass die Ideen in dem Workshop zur Ableitung der Funktionen vielleicht nicht so weit getrieben wurden, dass du daran anknüpfen kannst. Da ist ja auch ein morphologischer Kasten entstanden, in welchem unterschiedliche Ideen abgebildet wurden auf sehr abstraktem Niveau. Was ich jetzt in den Dokumenten nicht nachvollziehen konnte ist, dass du diese Ideen irgendwie weitergeführt hast.“

VP 05: „Nee, des ist nicht g'macht worden.“

I: „Weil dir das zu abstrakt war?“

VP 05: „Ja! (lacht) Komisch, gell, da macht man sich schon vorher die Arbeit und dann: Ja was mach' i jetzt mit dem Ganzen? Und dann fall' i sofort in mei' sicheres Wasser und denk' mir: Hah, des pack' i jetzt so an.“

I: „Was denkst du, wo deine Stärken sind beim Lösen von Konstruktionsproblemen?“

VP 05: „Also die Stärke is', ich schau' mir erstmal den Fall an, und dann denk' i dadurch, dass i daheim auch viel mach', wie würd' ich's jetzt als Anwender gern haben? Also des denk' ich jetzt mal. Für mich muss des dann so einfach sein, robust, irgendwie so was in der Art. Also ich stell' mir das dann so vor, und dann geht das sofort auf's Papier irgendwie so. Das sind so Sachen, wo i mir denk', Mensch, was könnt' i da jetzt no' reinbauen, dass des nochmal bisserl besser wird, wenn der Bauraum scho' da wär.“

I: „An welcher Stelle würde dir konstruktionsmethodische Unterstützung helfen?“

VP 05: „Also in dem Fall war des halt nicht so ein riesen Projekt. Wenn i da jetzt Schlagwerk oder Werkzeugaufnahme machen würde, dann würd' ich viel mehr mit anderen Kollegen noch reden. Dann würd' ich einen Workshop machen und so. Da würd' i net die Teile einfach in die Werkstatt geben. Da würd' i erstmal sagen: Mensch, können wir uns alle nochmal zusammensetzen, weil da einfach die Erfahrung von den anderen da is'. Und die will i zuerst nochmal hören. Also da werd' i ganz ganz kritisch, weil da is' so viel Erfahrung bei anderen. Aber bei dem jetzt mit dem Absaugen, da hätt' i gar net g'wusst, wen i fragen soll ... “

I: „Also methodische Unterstützung siehst du darin, andere einzubinden?“

VP 05: „Ja, also die Erfahrung von anderen mit einbinden. Aber net den morphologischen Kasten nochmal mehr detaillieren oder so. Da net so.“ (lacht)

Interview mit VP 06

Interviewer: „Welches Vorgehen hat sich aus deiner Sicht bei der Lösung von Konstruktionsproblemen bewährt und was hältst du für wichtig?“

VP 06: „Also was sich in dem Projekt auf jeden Fall bewährt hat, ist, dass wir relativ zeitnah viele verschiedene Konstruktionsstände testen konnten. Ich denke, daraus ergibt sich auch die nahe Arbeit am CAD, und nicht viel mit Skizzen, da eigentlich immer das Ziel war, 'ne Idee ziemlich schnell umzusetzen und zu versuchen. Weil man's eben auf theoretische Weise nur sehr schwer validieren konnte. Deswegen hat sich das da bewährt, auf jeden Fall relativ realnah zu konstruieren und Lösungen auszudenken. Was ich da für wichtig halt' is' natürlich 'n stückweit abhängig davon, wie schnell man ist im CAD. Wenn man natürlich da sich im Detail verliert von 'nem Bauteil, ist das sicherlich der falsche Weg. Also man muss sehr viel Abstriche machen in der Konstruktionsqualität, weil man natürlich von den Fertigungstechnologien sehr eingeschränkt ist, um komplexere Bauteile zu kriegen. Die Idee war schon immer da, möglichst genau zu sein, aber man musste natürlich immer mit Hinblick auf die Zeitschiene, dann Abstriche machen. Also man kann zum Beispiel, diesen modularen Versuchsträger, den ich aufgebaut hab' mit den Item-Profilen, da hätte man sicherlich noch mehr Hirngrips reinstecken können und noch mal 'nen Monat mehr Aufwand reinstecken können. Dann hätte man bestimmt noch mal mehr Möglichkeiten gehabt, und hätte vielleicht auch Probleme, die entstanden sind, auch vermeiden können. Reibungsprobleme zum Beispiel, die beim AVR schon 'ne Rolle spielen. War jetzt aber so, dadurch dass ja im Endeffekt kurz vor Beginn vom TTM die ganze Sache angestoßen wurde. Also wir ham angefangen grob im November, und TTM-Start war im April. Also eigentlich haben wir ja die Notbremse gezogen: Also stopp, so, wie wir's eigentlich machen, wollen funktioniert's nich'. Wir müssen aber irgendwie 'ne TTM-Reife garantieren, damit wir damit starten dürfen, und das war das Problem bei der ganzen Sache. Deswegen war da auch die Zeitschiene immer so 'n Faktor, wo's drum ging, auch immer relativ zeitnah dann Realprodukte da zu haben. Und das immer in Abstimmung mit der Werkstatt. Und ich denk', das war da so die Grätsche, die man schlagen musste. Einerseits 'ne ordentliche Konstruktion, die Ideen so umzusetzen, wie man sie auch hatte. Dass es aber nicht so gut geht, wie wenn man sagt, ich hab' jetzt 'n Jahr Zeit bis da und da hin, bis der Prototyp aufgebaut wird. Und jetzt im Nachhinein würd' ich jetzt sagen, man hat das auch gesehen dann. Wir ham uns dann für eine Sache entschieden im Endeffekt, und die wurd' jetzt im Prototyp 2 umgesetzt, und da war der Konstruktionsaufwand jetzt sehr gering, weil natürlich schon im Vorhinein CAD-Modelle existiert haben, die dann angepasst werden konnten.“

I: „Und wie lief das Projekt konkret ab? Kannst du den Projektverlauf grob schildern?“

VP 06: „Also der Projektverlauf lief so ab, dass es ja eigentlich gar kein Projekt war, sondern dass eigentlich nur das Problem festgestellt wurde. Wir haben mit dem AVR ein Verschleißthema, und der Vibrationswert ist auch nicht so überragend, dass wir sagen können, wir können das Gerät dem Kunden so viel besser verkaufen, im Vergleich zu einem Nicht-AVR-Gerät. Also er war schon besser, aber nicht wirklich so überragend. Und dann war klar, man muss was machen. Man muss was ausrollen. Des wurd' dann nicht als einzelnes Projekt ausgeschrieben, sondern des ist eher 'ne Optimierungsschleife. Und dadurch, dass ich zuständig bin für's AVR-System in der Maschine, hat sich da so ein kleines Projekt gegründet. Des war jetzt nie ein Einzelprojekt, wo jetzt gesagt wurde, wir untersuchen jetzt 'nen Subchassis mit Gelenkarm und was weiß ich was ... Das ist ja eigentlich auch im Vorhinein schon gelaufen. Nur hat man sich damals auf Grund von nicht vorhandenem Wissen einfach vielleicht auch für das falsche Konzept entschieden. Man hat da 'n bisschen auf die Erfahrung gebaut, hat Teile von 'nem bestehenden AVR-System übernommen, die dann für 'ne neue Maschinenklasse nicht robust genug waren. Und daraus hat sich des dann entwickelt, und dann wurd' gesagt, okay, wir dreh'n den Spieß um und wir versuchen des durch 'n ganz neues Konzept. Des wurd' dann einfach analysiert. Da hab' ich dann auch mal die verschiedenen Systeme gegenüber gestellt. Konkurrenten sind da drin und halt die firmeneigenen Lösungen bisher. Und dann war klar, da gibt es jetzt nichts, woraus wir uns jetzt bedienen können. Es hätt' noch ein System gegeben, aber des ist so dermaßen schwer und so dermaßen teuer, dass des von vorneherein rausgefallen is'.“

I: „Also ihr habt die Entscheidung an dem Gewicht und an den Kosten festgemacht?“

VP 06: „Ja. Des Problem is' ja, dass wir bei dem Gerät einen wahnsinnigen Druck auf's Gewicht ham. Also die Zielkosten sind eh wahnsinnig schwer zu erreichen. Und dann ham wir natürlich 'n Zielgewicht, weil die Maschine eben 'n Meißelhammer sein soll, der ja eigentlich die selbe Einzelschlagenergie haben soll, wie Gerät XY, aber an die Wand gearbeitet werden soll. Und da merkste alle hundert Gramm, die de sparst, natürlich extrem. Im Endeffekt wurde gestartet dann mit 'nem Versuch, des Element, des die Robustheit nicht hatte, zu ersetzen. Des war der Cellasto-Stern hinten. Da gab's dann zwei Möglichkeiten. Entweder den Cellasto-Stern so ausprägen, dass er hält, des wär' so viel in Baugröße gegangen, weil der so viel Fleisch braucht, dass des von vorneherein rausgefallen ist. Und dann haben wir gesagt, okay, wir versuchen des auf Basis Gelenkarm. Also dieses Grundprinzip, wir benutzen einen Gelenkarm, ist ja bekannt, und deswegen ham wir gesagt, des ist ein gutes Prinzip und wir können da die Relativbewegung gut verwirklichen, und probieren des einfach mal adaptiv umzusetzen in einem Meißelhammer mit Winkelbauweise. Des ist ja genau dieser Schritt. Im Endeffekt ging's drum, eine Lösung zu finden, die diesen zweiten Freiheitsgrad verwirklicht, also dieses Grundthema. Und daraufhin hab' ich

mich für mich allein hingesezt und hab' probiert, einfach mal des Gelenkarmprinzip umzumodeln auf eine Winkelbauweise. Des war so der erste Schritt. Da hab' ich gesagt, okay, bei den bisherigen Subchassis sieht's so aus, wie könnte man das darauf adaptieren? Des wurde gemacht und in der Messung dann festgestellt, so geht's nich'. Weil wir eben diese Drehbewegung brauchen, und die wird durch diese doppelten Gelenkarme, also wie's jetzt bei allen Meißelhämmern is', dass vorne und hinten ein Gelenkarm is' und du so 'ne Parallelverschiebung kriegst, des funktioniert so nich'. Da werden die Schwingungswerte gerade in der Motorachse extrem hoch. Und daraufhin ham wir dann gesagt, okay, wir brauchen irgendwas anderes. Und ham dann schon 'n Kundenfeedback aus'm CAT mit rein gebracht. Des war, dass der Meißel zu stark wippt. Also dass ma' optisch gesehen hat, der Meißel neigt sich hoch und runter. Also dass ma sieht, die Maschine macht wirklich 'ne Bewegung zum Gehäuse, und ham des dann einfach dadurch verwirklicht, dass wir den Drehpunkt der Maschine von relativ weit hinten in der Maschine so weit wie möglich nach vorne geschoben ham. Des war auch so 'n entscheidender Punkt, weil das theoretisch rechnerisch zu 'nem schlechteren Vibrationswert führt. Des heißt, es gibt 'n Patent, wo drin steht, dass dieser Drehpunkt möglichst nah am Schwerpunkt der Maschine liegen muss. Also der Schwingwert ist am geringsten, wenn sich die Maschine um den Schwerpunkt dreht. Weil du dann wenig Zwang hast, was de irgendwie auffangen musst. Und dann ham wir des nach vorne verschoben, durch Kunden-Feedback erstmal. Des kam also so 'n bissl quer rein. Und ham dann in der ersten Messung festgestellt, hoppla, stimmt so gar nich'. Also der Vibrationswert wird gar nich' schlechter. Sondern tendenziell wird er eher besser. Und dann war die Frage, wo muss dieser Verschiebepunkt vorne hin, dieser Drehpunkt. Und des wurde wieder über 'ne Simulation vom XY aus der Berechnungsabteilung bestimmt, und dann war klar, vorne in dem Bereich passiert nich' viel, ob man jetzt plus minus ein Zentimeter hin und her schiebt, ist relativ egal. Dann war des eigentlich gefixt vorne. Der Drehpunkt ist dort vorne. Und dann ging's noch drum, den Gelenkarm hinten zu verifizieren. Also dass man hinten ein Gelenkarm hat und vorne einen Drehpunkt. Und des wurde im selben Prototyp realisiert und hat sich gezeigt, dass des relativ gut funktioniert. Und auf Basis dessen wurde dann überlegt, wie kann der Gelenkarm hinten am besten angeordnet sein. Also der war erst oben angebunden am Maschineninnenteil und unten verschraubt. Des war einfach, weil des die schnellste Möglichkeit war, des mal anzuschrauben. Und dann ham wir gesehen, ah, des is' vielleicht nicht ganz so geschickt, weil die Maschine unten, wo der schwere Motor hängt, dann gar nich' aufgehängt is'. Gar keine Fixierung mehr hat. Und daraufhin ham wir dann gesagt, wir dreh'n des um, des sollt' auch kein Problem sein, was uns aber für'n Bauraum auch was bringt. Dann ging's eben d'rum, den rumzudreh'n und unten aufzuhängen. Des wurde dann wiederum verifiziert durch die Messung, und

dann hat sich gezeigt, des is' sehr gut. Was wir allerdings geseh'n ham, is' großer Reibungseinfluss. Des heißt bei der AVR-Version kann man des beeinflussen wenn ma' Graphitpulver in die Lagerstellen macht. Gerade in die Linearbewegung, die hemmt schon ziemlich, und wenn man da Graphit rein macht, kann man den Reibungswert ganz massiv beeinflussen. Klar, wir ham da Prototypenmaterialien ... Wir waren da nicht im Detail, ich habe keine Oberflächenqualitäten angegeben bei der Herstellung von den Bauteilen. Was auch viel zu lang gegangen wär'. Oder ich hätte Bauteile aus speziellen Kunststoffen machen lassen müssen, die gar nicht zum fräsen sind. Das heißt, du bist immer gleich wieder bei hohen Kosten, Spritzgusswerkzeugen und so weiter, was einfach aufgrund der Zeitproblematik und auch kostenmäßig nicht drin gewesen wäre. Des war dann so der Punkt, dass wir bei dem Stand waren Gelenkarm hinten, diese Linearführung vorne. Dass wir da gesagt haben, des is' 'n gutes System, des is' unser System, so wollen wir des eigentlich machen. Und dann war dieser Kreativworkshop für die Linearführung, wo wir dann eben auch für diese Linearführung vorne, also die Rotations- und Translationsbewegung in einem Element, oder auch in verschiedenen Lösungen gesucht haben. Worauf dann dort eine Detailkonstruktion passiert is' mit fünf verschiedenen Varianten. Variantenauswahl dann im Zuge eines Workshops mit sieben Leuten. Also die Prototypenwerkstatt war beteiligt, die Montage war beteiligt, Versuch war beteiligt. Des war komplett vom XY aus der Methodenabteilung organisiert und durchgeführt, ein ganztägiger Workshop. Und ham uns dann für die jetzige Lösung entschieden im Endeffekt, die jetzt im Prototyp 2 umgesetzt wurde.“

I: „Ist diese Lösung aus dem Kreativworkshop heraus entstanden?“

VP 06: „Ja, die kam daraus, also des Grundprinzip kam aus unserem Workshop und wurde dann in diesem Workshop verifiziert und dann aber auch im Rahmen des Workshops auch gleich Optimierungspotentiale aufgezeigt, die ich dann in einem neuerlichen Schritt eben noch mal umgesetzt hab'. Und hinten beim Gelenkarm war der Punkt, dass die Maschine in den Tests in der Y-Richtung keine schwingungsdämpfenden Elemente hatte ... keine Federn oder keine Cellasto-Schäume, des heißt, wir ham die frei schwingen lassen in dieser Richtung. Und des is' definitiv 'n Punkt, es funktioniert im Arbeitspunkt gut, also dann, wenn der Anwender meißelt. Nur wenn er absetzt oder ansetzt oder die Maschine fallen lässt, gibt's da kein Element, was irgendwie in einer Weise Progression reinbringt, oder und die Maschine in 'nem vernünftigen Rahmen der Bewegung hält. Des heißt, wenn man die Maschine abgesetzt hat, ist der Maschineninnenteil immer erstmal abgesackt. Was natürlich vorne erstmal den Meißel verschoben hat. Und dadurch ging's dann noch mal d'rum, was für ein Element können wir da machen, und da war die erste Idee: Winkelgelenkarm wär' 'ne super Lösung, weil wir da des Verschleißthema hinten lösen würden. Winkelgelenkarm wurd' umgesetzt. Und da ham wir gesehen,

des funktioniert prinzipiell, is' aber 'n ganz heikles Thema. Punkt eins is', wie stell ich den ein, also wir ham gesehen, wenn wir den 90 Grad winkeln, dass er keine Vorzugsrichtung hat und die Maschine nie genau weiß, soll ich runter oder soll ich hochspringen. Und dass ma erst ab 'nem gewissen Winkel dann 'ne dauerhafte Vorzugsrichtung kriegt. Ham des dann aber verworfen, da durch Gespräche mit Lieferanten auch gesagt wurde, das dauerfest zu bekommen bei den Schwingwegen is' 'n ganz heikles Thema. Und da kommt die Zeitschiene wieder ... zu dem Zeitpunkt wo der Winkelgelenkarm kam, waren wir schon im TTM-Projekt und Prototyp 2 muss im September steh'n. Und deshalb ham wir gesagt, des trau' ma uns jetzt aus der Hüfte raus nicht umzusetzen. Dafür is' des zu unsicher alles mit'nander. Dann muss ma' schauen, ob ma' des nochmal irgendwann wieder aufgreift. Des is' aber 'n Thema, des ist nicht ausgeschlossen worden, weil's nicht funktioniert, sondern nur aufgrund der Zeitschiene jetzt erstmal. Da wurden jetzt auch nicht mehr Aktionen gemacht, also da wurde nichts simuliert und versucht die Festigkeit über die Simulation abzugleichen. Des war einfach so 'n Schnellschuss, wo wir gesehen ham, nee, des taugt nich' jetzt für uns in dem Moment des Projektes und ham uns dann für diese Linearführung entschieden. Und ham dann eigentlich die Erfahrung aus diesem vorderen Linearlager, des also Translation und Rotation machen muss, des is' dort hinten genau desselbe. Und ham 'n bisschen die Erfahrung daraus genommen und ham des da hinten umgesetzt. Nur hatten wir da noch des Thema Bauraum und Montagefreundlichkeit, weil der Gelenkarm muss montiert werden und des System besteht aus mehr Teilen wie vorne. Des waren Challenges, die wir dort hatten, dass wir dort einfach 'n bisschen 'n komplexeres System hatten.“

I: „Was würdest du sagen, was die großen Herausforderungen im Projekt waren?“

VP 06: „Die größte Herausforderung für mich war, dass ich immer bestrebt war, mehr Zeit zu investieren, um sich grundlegende Gedanken zu machen, aber die Zeit nicht da war. Also ich hab' immer probiert, noch mal den Sprung in 'ne Abstraktionsebene höher zu gehen, was aber sehr schwer war aus Zeitgründen. Es ist ja nicht so, dass ich nur das AVR-Projekt hatte, sondern des war in meiner täglichen Arbeit, sagen wir mal, 40 Prozent. Also ich glaub', wenn man mehr Zeit dafür hat, kann man das auch anders aufzieh'n. War aber auch der Grund, dass des im Vorhinein so erwartet wurde und deswegen auch die Entscheidung für diesen modularen Versuchsträger gefallen ist. Dass wir gesagt haben, wir probieren da 'n Versuchsträger aufzubauen, wo wir viel spielen können. Da eben auch die Simulation noch nicht wirklich so weit war zu sagen, ja, wir wissen, dass unsere Simulation mit der Realität übereinstimmt. Wir können Voraussagen treffen, wie das später aussieht. Sonst hätte man da natürlich viel mehr grundlegend machen können. Was aber auch 'n Ergebnis vom Projekt war. Dass wir gesehen ham, dass die Simulation sehr gut korreliert mit dem

was wir machen. Des heißt, der XY aus der Simulationsabteilung hat jetzt auch sehr viel Know-how noch mal aufgebaut.“

I: „Würdest du beim Rückblick auf den Projektverlauf heute etwas anders machen?“

VP 06: „Ich würd' ganz am Anfang mehr den Kontakt zu den Leuten suchen, die von der Theorie her sich das System überlegt ham. Oder eher mal theoretisch des System aufrollen. Wobei des so, wie des jetzt aufgebaut is', laut der vorhandenen Theorie, nicht wirklich gut funktionieren kann. Des tut's aber doch. Des heißt, jetzt in dem Fall hätt' sich gezeigt, dass die Meinung auf Basis der Theorie eher falsch gewesen wär'. Wenn ich da mit den Leuten gesprochen hätt', wär' ich vielleicht nich' so frei gewesen und hätte gesagt, in die Richtung geh' ma jetzt mal. Klar, ich hab' da gewisses Wissen auch schon gehabt und ich hab's auch versucht, aber der XY, des is' 'ne Person, wo Fachwissen abzugreifen is' zwar einfach, aber er is' zeitlich nich' verfügbar. Da wart' ich nich' 'ne Woche, bis ich 'ne Frage formulier'n kann an ihn und lass so lang' 'ne mögliche Umsetzung von 'nem nächsten Konzeptstand brach liegen und mach' nicht weiter. Und sag', ich muss jetzt erstmal abklären, weil die Erkenntnis aus dem realen, modularen Versuchsträger mit der Vibrationswertbestimmung is' nun mal einfach mehr vertrauenswürdig, wie jetzt 'ne Simulation. Ja, des würd' ich auf jeden Fall wieder so machen. Gerade beim AVR-System, die noch schwer zu simulieren sind, würd' ich mich immer mehr auf 'nen nicht ganz perfekten Versuchsträger verlassen, wie auf die Simulation. Wenn des am Ende zusammen passt, is' super, weil ma' dann weiß, die Simulation kann optimieren. Und dafür war's ideal. So Themen wie Federpositionsbestimmung zum Beispiel, oder wie steif muss der Gelenkarm sein? Des kann man jetzt dadurch, dass wir wissen, des deckt sich, durch die Simulation machen lassen. Und wir können jetzt im neuen Prototypen, der wird vermessen, den wird der XY von der Simulationsabteilung noch mal als Simulation aufbauen, weil die Gewichte ändern sich. Dass, wenn wir jetzt optimieren im Prototyp 2, in Zukunft da mehr auf die Simulation übergehen können. Ist auch meines Erachtens nur deswegen möglich, weil wir jetzt sehr viel gelernt ham. Auch sehr spezifisch für des AVR-System.“

I: „Was ist besonders gut im Projekt gelaufen?“

VP 06: „Besonders gut gelaufen ist der Input von Kollegen, die schon AVR-Systeme gemacht ham. Also dieser „Schnellkonstruktions-Check“, sag' ich jetzt mal. Also ich hab' was gemacht, hab' mir was überlegt, hab's umgesetzt und hab' gesagt, komm mal kurz, wie sieht's aus? Was meinst du da drüber? Thematik kennst du. Einfach kurzes Konstruktionsreview machen am Tisch und dann direkt am CAD natürlich besprechen, was kann man da machen, was kann man optimieren? Und da is' immer sehr viel Serie reingeflossen, also sehr viel Detail. Was ich dann oft auch gar nicht für den modularen Versuchsträger umsetzen konnte. Da natürlich die Kollegen, die

gerade in 'nem TTM-Projekt stecken, natürlich sehr seriennah denken. Da war die erste Aussage dann meistens, des kriegst' nicht gefertigt. Dann hab' ich gesagt, ja, geh' mal bisschen weg und sag' mir mal Funktion ... nichts Fertigungstechnologie. Weil wir haben natürlich zwei, drei Kunststoffteile drin und die Kunststoffkonstrukteure sind eher immer dazu animiert, in Herstellbarkeit zu denken und nicht in Funktion.“

I: „Welche Rolle hat für dich der Kreativworkshop mit der Anwendung der Methode 635 gespielt?“

VP 06: *„Des war sehr wichtig, erstens dadurch zu sehen, es gibt viele Lösungen. War für mich auch irgendwie ein Stück motivierend, dass da rauskommt, so grob waren's, glaub' ich, sechs verschiedene Grundideen, die dann noch mal in mehreren verschiedenen Ausführungsvarianten da entstanden sind. Also als Motivation, dass ich da seh', hey, wir haben dort Möglichkeiten verschiedenster Art. Und ich hab' ja auch versucht möglichst viele von diesen Ideen, die dort entstanden sind, umzusetzen in diesen fünf konkreteren Versionen, die dann in diesem Workshop eben bewertet wurden. Ja, dass dann 'ne sehr simple Lösung da gewonnen hat, des war relativ schnell abzusehen. Nur war's einfach für mich von der Motivation her gut und natürlich einfach 'n fremden Input zu bekommen, der graphisch dargelegt ist, den ich abrufen kann, der gespeichert is', den ich nicht irgendwo am Kaffeetisch erlangt hab', sondern der wirklich dokumentiert is'. Und zwar schnell dokumentiert is', is' für mich auch 'n riesen Vorteil. Des is' super schnell dokumentiert, weil man eigentlich aus dem Workshop rausgeht und man hat's. Es is' auf'm Papier. Und ich muss sagen, der Workshop war auch gut, weil was auf dem Papier war auch relativ selbsterklärend war. Das heißt, die Skizzen waren schon so, dass, wenn ich jetzt noch mal drauf guck', verstehen würde, was da war, und es war nicht nur ein Stichwort, wie ich es auch schon erlebt hab'. Des is', denk ich, 'ne Methode, wo's davon abhängt, auch 'ne graphische Kompetenz zu besitzen. Also, wie stell ich was dar auf so 'nem kleinen Feld, so dass man's auch später noch nachvollziehen kann.“*

I: „Wie entstehen bei dir neue Lösungen und wie ist das im Projekt genau abgelaufen?“

VP 06: *„Also konkret abgelaufen is' es, XY kommt mit dem Ergebnis der Vibrationsmessung und sagt, wir sind so und so gut, oder so und so schlecht, Punkt eins. Punkt zwei is', dass er dann immer gesagt hat, komm mal mit runter, wir filmen des mal. Schau' dir mal an, was des System macht. Und des war jedes Mal des selbe, wenn die Vibrationsmessung da war, bin ich mit runter und hab' mir die Maschine im Versuchsträger angeguckt. Wir ham's aufgenommen mit Video und ham's langsam ablaufen lassen. Ham geschaut, was macht die Maschine, wie bewegt sich das System, wo sieht man, dass vielleicht 'ne Kante drin is', dass die*

Bewegung zum Beispiel nich' harmonisch is'. Dass er irgendwo hakelt, oder 'ne blöde Bewegung macht. Und des war für mich auch immer super, dass man's real gesehen hat durch den modularen Versuchsträger, der offen is'. In der fertigen Prototypenmaschine is' 'n Gehäuse drumherum. Da kommt man nur ganz schlecht dran. Man sieht nicht, wie die Maschine sich bewegt, und es is' 'n riesen Feedback. Und darauf basiert hab' ich des mit dem XY zusammen analysiert und gesagt, wo sind die Knackpunkte, wo müss' ma besser werden? Und mein Input, konstruktiv kann ma' da was machen, kann ma' da was machen, kann ma' da was machen, also einfach mal so frei raus, was ich jetzt erstmal denke. Und er hat natürlich Input gebracht und gesagt, mir waren jetzt in dem Versuchsträger in der und der Richtung vom Vibrationswert gut und in der Richtung schlechter. Und dann ham wir uns angeschaut in Kombination jetzt mit dem Video. Die Richtung, was is' denn in der Richtung jetzt entscheidend? Was passiert da? Des war so Systemverständnis aufbauen. Und was in dem Gespräch dann entstanden is', hab' ich dann versucht auf's Papier zu bringen, und da gab es dann immer mal kleine Papierskizzen von mir, nur die hab' ich nicht dokumentiert. Des war immer so, ok, wir ham jetzt gesehen hinterer Gelenkarm Aufnahme unten Y, des funktioniert noch nich'. Des war ein Punkt, dass wir gesehen ham, also am Anfang is' da 'n runder Bolzen in der Linearnut gelaufen, dass der verkippt is'. Ja, was war da? Und dann hab' ich im Endeffekt ein kleines Brainstorming für mich alleine gemacht. Weil, ich muss dieses Problem im Endeffekt ein stückweit alleine lösen im ersten Schritt, weil, ich muss das erst sortieren, damit ich es jemand' wieder beschreiben kann und klar formulieren kann, pass mal auf, das Problem ham wir, was können wir dort ändern? Und des war dann auch der Punkt, dass ich des dann aufbereitet hab', dargestellt hab' als Skizze und dann mit dem technischen Projektleiter kurz Rücksprache gehalten hab'. Der natürlich in seinem Job auch erstens eine Verantwortung trägt und auch sehr, sehr nah am Gerät mit dran is' und am meisten Systemverständnis für's gesamte Gerät hat. Und dann mit ihm zusammen im Endeffekt dann gesagt, so und so gehen wir weiter. Und meistens is' dann drauf rausgelaufen, dass ich gesagt hab', ich überleg' mir zwei, drei Konzepte, konstruier' die aus und dann besprech' ma's noch mal.“

I: „Wie ist dieser Prozess, „ich überleg mir Konzepte“ abgelaufen? Denkst du das erst im Kopf und machst es dann explizit?“

VP 06: „Ich bin da jemand, der sehr viel im Kopf denkt. Der sehr viele Ideen einfach im Kopf ohne graphische Untermalung hat. Aber zur Verifikation zeichne ich's dann auf. Aber nicht so, dass man's weitergeben könnt'. Des is' eher so 'n kreativer Prozess. Dann nimm ich mir einfach mal 'ne Stunde, wo ich sag', jetzt mal ganz konkret, des Problem hab' ich, wie kann ich's lösen, damit ich an dem Problem vorbei komm? Und meistens passiert des beim „Laufen gehen“ abends, wenn man

so 'ne Runde dreht. Und am nächsten Morgen bin ich dann meistens so weit, um dann zu sagen, jetzt mach' ich's detailliert. Jetzt sag' ich, so könnte ma' das im modularen Versuchsträger aufziehen.“

I: „Was passiert mit den erstellten Skizzen? Entwickelst du die noch weiter, oder ist das eher eine Gedankenstütze?“

VP 06: *„Das ist eine Gedankenstütze für mich. Des is', würd' ich mal sagen, wenn des Hirn an die Grenze kommt, komplexe Sachverhalte irgendwie miteinander zu verheiraten. Des is' dann so 'ne graphische Gedankenstütze, wo ich sag', so sieht des System jetzt momentan bei mir aus, also 'n Realbild vom System, und wenn ich's dann graphisch skizziert hab', die Problematiken erkennen von der Thematik. Weil, sich 'n System zu überlegen, is' des eine, aber die Problematiken des Systems zu erkennen im Kopf, funktioniert glaub' ich nich' wirklich. Deswegen die graphischen Untermalungen.“*

I: „Fällt dir das Skizzieren leicht?“

VP 06: *„Ja. Also ich bin da relativ schnell, und konkrete Skizzen, die ich noch kommunizieren möchte, die mach' ich auch relativ schnell freihandmäßig am Rechner. Hast ja selber schon gesagt vorhin, ich skizzier' sehr viel am Rechner. Powerpoint oder sonstige graphische Programme, weil ich sag', da kann ich's besser kommunizieren. Weil wenn ich's von Hand zeichne, also ich zeichne für mich sauber genug um's zu verstehen, aber um mit anderen Leuten zu kommunizieren hab' ich die Erfahrung gemacht, es is' leichter, wenn es schon ein digitales Format hat. Weil ich sonst sehr detailliert zeichnen muss, sauber zeichnen muss und dafür is' die Zeit nich' da. Grad jetzt in dem Projekt. Ich mach' grad noch ein Technologieprojekt, da is' es anders, da hast du die Zeit. Da kannst du so was schön, ganz klar darstellen.“*

I: „Bei der Auswertung der Projekte habe ich gesehen, dass du auch mehrere Mind-Maps erstellt hast. Welche Rolle haben die bei der Entwicklung gespielt?“

VP 06: *„Also für mich ham Mind-Maps die Bedeutung: sortieren von Gedanken. Das Thema in der Mitte und ich schmeiß' Gedanken da am Anfang rein. Des is' völlig wahllos. Und die schieb' ich dann so lang' hin und her, bis ich 'ne Gedankenstruktur da rein krieg', die für mich Sinn macht.“*

I: „Es gibt eine Mind-Map relativ zu Beginn des Projekts, wo du die Bestandteile des AVR-Systems abstrakt beschreibst.“

VP 06: *„Ja genau, des war ganz am Anfang für mich, wo ich in des Projekt eingestiegen bin. Ich hab' noch nie 'n AVR-System gemacht. Ich hab' einfach versucht, des System mal zu verstehen, damit ich überhaupt weiß, um was es geht. Des war so der Projekteinstieg für mich eigentlich. Ich muss ja erstmal wissen, was*

des System macht und was ich dafür brauche. Es gibt ja auch keine Maschine momentan, die genau diese Kinematik hat, dadurch dass des völlig neu is.“

I: „Welche Rolle hat die theoretische Validierung im Projekt gespielt?“

VP 06: „Mir war's am Anfang überhaupt nicht bewusst, dass es wichtig werden würde. Es ging dann des erste mal, welche Federn brauchen wir? Welche Federsteifigkeit brauchen wir? Und dann ging's drum, des experimentell zu überprüfen. Des ist schwer, weil du dann massig Federn kaufen musst, massig messen musst. Und 'ne Messung ist auch keine Sache, die in fünf Minuten gelaufen is'. 'Ne halbe Stunde ungefähr, bis die Messung da is'. Und dass ma' da die theoretische Validierung nutzt, war da extrem hilfreich in erster Linie. Und dann ham wir gesagt, wir sind so ungewiss, des is' so neu, wir nehmen da die Unterstützung gern in Kauf. Ich hab' da auch mitunter sehr viel Aufwand rein gesteckt, weil wir mussten des Massenträgheitsmoment von der ganzen Maschine bestimmen. Theoretisch nicht möglich, also ich hab's probiert ... saß zwei Tage am CAD und hab' Massen zugewiesen von Bauteilen, und dann kam immer noch was falsches raus ... Und deswegen pragmatisches Auspendeln von Massenträgheitsmomenten und dann in die Simulation gehen, des war sehr hilfreich. Und dann auch vor allem jetzt wieder als Verbindung zum Design, weil wir ein großes Thema hatten, wie groß ist das Design? Wir konnten in dem modularen Versuchsträger keine realen Schwingungswege für den jetzigen Prototypen bestimmen, weil die Massenverhältnisse ja nicht stimmen. Des Gehäuse is' schwerer, die Maschine is' leichter innen und jetzt is' die Maschine schwerer und das Gehäuse is' leichter. Und dadurch hatten wir einmal die Verifikation von den Realschwingwegen modularer Versuchsträger. Der wurde simuliert und des hat korreliert. Und daraufhin konnte der XY aus der Simulationsabteilung in der Simulation den Prototypen 2 simulieren und uns sagen, ihr braucht den Schwingungsweg A, B, C. Und daraufhin konnten wir des Gehäuse abstimmen. Und des wird sich jetzt zeigen am Prototypen 2, ob die Schwingungswege passen oder nicht. Aber dafür is' es extrem wichtig, weil wenn das passen würde, können wir eben die Optimierung vom Prototypen 2 sehr viel auf Simulationsbasis machen. Weil wir dort auch nicht mehr die Möglichkeit haben, in Realbauteile zu gehen. Wir haben dort einen Stand und der nächste Stand is' die Serie. Also wenn des System jetzt annähernd funktioniert, und davon gehe ich aus, dann ham wir nicht viel Spielmöglichkeiten. Ich kann den Gelenkpunkt im Prototypen 2 jetzt nicht einfach mal um fünf Millimeter nach hinten verschieben. Des geht nich'. Aber der XY in der Simulation macht des relativ zeitnah. Deswegen war's sehr wichtig, dass die theoretische Validierung eingebunden wurde. Des war für mich neu, ich kannte diese Vorgehensweise nich', aber dadurch is' ja die Verantwortlichkeit für's AVR nich' nur beim Konstrukteur, sondern auch beim XY in der Vorentwicklung. Der des eben auch koordiniert hat.“

I: „Was denkst du, wo deine Stärken liegen bei der Lösung von Konstruktionsproblemen?“

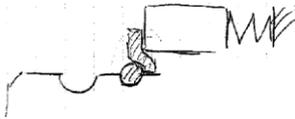
VP 06: „Dass ich sehr pragmatisch bin und sehr schnell im Umsetzen bin. Also dass ich sehr schnell 'ne 3D-Geometrie hab', die 'ne Zeichnung besitzt und die in der Werkstatt gefertigt werden kann. Und dass ich mit relativ wenig Schritten von 'ner Idee, die nicht konkret irgendwo auf'm Papier is', direkt 'n dreidimensionales Modell erstellen kann. Ich glaub', des is' 'ne sehr große Stärke von mir, des ich auch dann bei Optimierungsschleifen, wenn dann 'n Input kommt von jemand, dass ich dann sogar mit ihm zusammen die Änderung direkt im CAD gemacht hab'. Dass ich eben dann auch probier', Modelle parametrisch so aufzubauen, dass ich einfach sagen kann, ich weiß, an welchem Knopf ich drehen muss, damit die Änderung direkt demjenigen, der die Idee hat, am Bildschirm kommt. Weil derjenige, der die Idee hat und sagt, so könnt' ma's doch besser machen, und ich kann ihm dann sehr zeitnah sagen, was seine Idee eigentlich bedeuten würde im Gesamtsystem zum Beispiel auch. Zum Beispiel war die Idee, können wir den Gelenkarm nicht andersrum biegen, zum Beispiel. Wenn ich dann natürlich sage, pass mal auf, ich änder' des im CAD schnell, kommst in zwanzig Minuten wieder, dann schauen wir uns des im Gesamtsystem an. Natürlich kann ich auf'm Papier 'n Gelenkarm nehmen und kann den andersherum mahlen. Den Effekt auf's Gesamtsystem seh' ich da noch nich'. Ich kann nur sagen, ok, vielleicht is' er stabiler deswegen. Aber ich seh' dann sofort, kollidiert er? 3D is' halt des realitätsnahste, und deshalb bin ich da 'n Freund von, wenn's geht. Gerade in so was, wo's um 'n System geht, zu 'nem Zeitpunkt im Projekt, wo's schon sehr darum geht, dass ma' konkret wird. In 'nem frühen Status wär's was anderes. Also ich glaub', wenn ich des in 'nem Technologieprojekt oder in der Technologiephase von 'nem Projekt hätte, würde ich auch nicht so wahnsinnig konkret direkt in Bauteile gehen. Aber jetzt in dem Fall, dadurch, dass ich eh wusste, dass meine Idee relativ gut is', wir direkt wieder in den Versuch gehen. Des heißt, ich brauch' eh Realteile. Ich würd's jetzt 'ne Kompetenz nennen, zumindest einfache Geometrien im CAD schnell zu machen.“

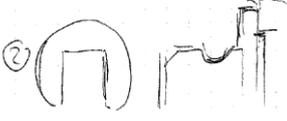
I: „Wo würdest du dir methodische Unterstützung wünschen?“

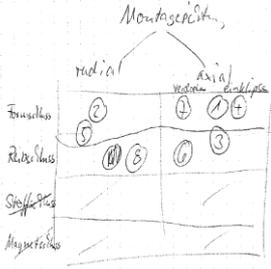
VP 06: „Ich hätt' gern' eigentlich bei jedem Konzept vorher kurz 'ne methodische Unterstützung mit jemand, der von extern drauf guckt und mit 'nem vorgegebenen Vorgehen kurz die Lösung diskutiert. Geht vielleicht in die Richtung von 'ner Blitz-FMEA, was ja intern gemacht wird. Hätt' ich haben können, hab' ich nicht gemacht. Liegt vielleicht auch daran, dass es einem in der Realität dann auch nicht bewusst ist, dass man so was dann auch mal schnell machen kann. Weil man halt einfach auch weiß, des is' 'n Stückweit auch Zeitdruck. Es ist so was passiert, aber nicht bewusst. Also nicht, des geht jetzt morgen in die Werkstatt, lass uns noch mal drüber

gucken, sondern eher so, komm mal rüber, was hältst du von der Konstruktion? Unterbewusst passiert des sicherlich, aber des ist jetzt keine bewusst angewandte Methodik, wo ma' sagt, bevor was in die Werkstatt geht, schau'n wir da nochmal drüber und optimieren des nochmal in einer Schleife. Des is' so'n Punkt, wo ich sagen würd'. Aber vielleicht da auch eben von jemand' eher fremdes, was aber eben auch Zeitaufwand bedarf. Von jemand' etwas weiter weg ...“

Anhang 4 Dokumentation Beispiel „Lösungssuche“

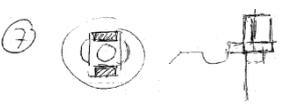
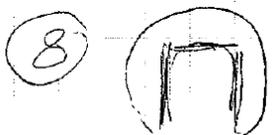
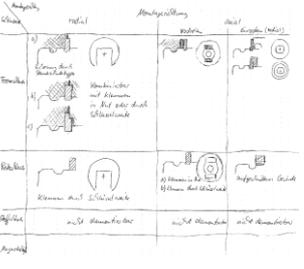
Zeit	verbal geäußert	dokumentiert	skizziert	Beschreibung
0:00:10	„Gesucht ist das Problem: wir haben den Grundkörper und einen Runddrahtsprengring, der momentan gegen den Drallring steht und eigentlich müsste da noch ein Körper dazwischen, weil wir einen starken Verschleiß haben zwischen dem Drallring, der axial vorgespannt ist und dem Runddrahtsprengring. Zwischenkörper ist eine Scheibe, da wollen wir die Relativbewegung zum Drallring haben. Es soll keine Relativbewegung sein zwischen Runddrahtsprengring und Scheibe. Letztendlich brauchen wir für diesen Bereich eine axiale Sicherung.“			Problem klären
0:02:05		A1: axiale verdreh-sichere Sicherung		Ziel klären
0:02:40	„So, was gibt's jetzt da für Lösungen, für Möglichkeiten?“	A2: einfach demontierbar		Ziel klären
0:03:30	„Andere Montagerichtung kommt nicht in Frage. Also Montage von vorne!“	A3: Montage von vorne		Ziel klären
0:04:31	„Der Runddrahtsprengring erzeugt einen Formschluss und begrenzt somit die axiale Bewegung der Scheibe. Die Scheibe begrenzt die axiale Bewegung des Drallrings.“			Problem klären
0:05:30	„Ok, und wie komme ich jetzt weiter?“			Frage formulieren
0:05:45		F1: Axiale Bewegung des Drallrings gegenüber Grundkörper begrenzen		Problem klären
0:07:05	„Das Problem ist, ich hab' 'ne Relativbewegung zwischen Drallring und Sicherung.“	Problem: Relativbewegung zwischen Drallring und Sicherung		Problem klären
0:08:45	„Was ist denn, wenn ich ... Haha, das ist eine gute Idee: Ich könnte mir überlegen, also der Ansatz wäre etwas radial zu führen ... “			Suchen (mental)

0:09:50	„Radiales Sichern durch Staubschutzkappe plus Drallring eventuell.“	Ansatz: radiales Fügen in Nut		Suchen (mental)
0:12:33	„Was hab' ich dadurch gewonnen? Ich hab' dadurch gewonnen, dass alles in einem Teil ist!“			Frage formulieren
0:13:05	„Wie könnte man das am besten darstellen?“			Frage formulieren
0:15:00	„Stellen wir das mal dar, dann haben wir hier so was ... So schaut die Scheibe aus. Und die Scheibe ist so verbaut, dass hier die Staubschutzkappe drüber greift. Und wenn die Staubschutzkappe da drüber greift, kann die Scheibe nicht mehr weg ... “			Skizzieren
0:16:16	„Ich kann auch überlegen, ob ich die irgendwie verklemmen kann. Könnte ich die verklemmen? Des irgendwie schwergängig machen? Ich könnte auch überlegen, ob ich die einen Ticken breiter mach', dass die auch von dem Drallring zentriert wird. Das wäre auch eine Variante davon.“			Suchen (mental)
0:17:31	„Wenn wir jetzt überlegen, was sind die Unterschiede?“			Strukturieren
0:17:47	„Die eine Scheibe wird axial montiert und muss axial gesichert werden“			Strukturieren
0:18:05		axial montiert, axial gesichert		Strukturieren
0:18:50	„Und das ist radial montiert und radial gesichert.“	radial montiert, radial gesichert		Strukturieren
0:20:10	„Man könnte sogar überlegen, ob man eine Drahtsicherung auf die andere Seite macht ... Braucht man das?“			Suchen (mental)
0:20:27	„Und es wäre extrem gut, wenn sich die Scheibe nicht verdreht und das wäre hier natürlich gesichert.“			Suchen (mental)
0:20:24	„Man könnte auch überlegen, ob die Scheibe auf die Schlüsselflächen greift, naja, das wäre aber schöner, wenn sie mehr greifen würde ... Wenn sie nur auf die Schlüsselflächen greift, ist sie nur einseitig gesichert.“			Suchen (mental)
0:22:17	„Man könnte das auch schön dagegen verspannen, dann müsste das schon gut halten.“			Suchen (mental)

0:22:28	„Was fallen mir noch für weitere Lösungen ein?“			Frage formulieren
0:24:36	„Also wenn man jetzt an eine Struktur denkt, gibt es auf jeden Fall die Montage-richtung, die man unterscheiden könnte ... Montage-richtung radial und axial.“			Strukturieren
0:24:48		Montage-richtung radial und axial		Strukturieren
0:25:13	„Was gäb's jetzt noch für weitere Möglichkeiten?“			Frage formulieren
0:25:30	„Bei axial könnte ich ja auch irgendetwas aufschrauben!“			Suchen (mental)
0:26:10	„Man könnte auch sagen, es gibt einen Formschluss. Also wenn ich jetzt an das Axiale denke, dann gibt's hier den Formschluss und wenn man an eine Art Reibschluss denkt, könnte man eine Art Gewinde rein theoretisch vorstellen.“			Strukturieren
0:26:30				Strukturierung
0:28:31	„Ein Gewinde könnte dann so aussehen, da müsste ich dann hier höher rausgehen und dann müsste ich dann hier etwas aufschrauben, naja, dass wäre nicht so gut. Da muss ich dann ein Gewinde aufschneiden, da muss ich dann alles drüber montieren, das ist nichts.“			Skizzieren
0:29:10	„Also ein Gewinde drauf bringen wäre nicht so gut. Vor allem müsste ich das dann ja noch gegen Verdrehen sichern, ohne dass ich weiß, wie das geht ... Na gut, das könnte man machen, da man ja noch diese Abflachungen hat. Wenn man an der Abflachung dann was reinsteckt, was das gegen Verdrehen sichert. Das könnte man sich vorstellen.“			Suchen (mental)

0:29:40	„Ok, das könnte gehen, das wäre dann axial Reibschluss.“			Strukturieren
0:29:56	„Wie könnte das denn noch durch Reibung halten?“			Frage formulieren
0:30:00	„Stoffschluss scheidet aus“			Auswählen
0:30:15	„Magnetschluss kann man auf abstraktem Niveau ausschließen.“			Auswählen
0:31:10	„Ok, was fällt mir noch ein?“			Frage formulieren
0:31:20	„Man könnte natürlich statt dem Runddrahtsprengring auch einen Sicherungsring verwenden. Der ist einfacher zu demontieren, hätte allerdings den Nachteil, dass er auch schwerer zu sichern ist durch die Scheibe. Also Sicherungsring wäre nicht so gut ... Die machen auch komische Sachen ... Aber man könnte ihn sichern, in dem man die Scheibe oben drüber biegt, sozusagen.“			Skizzieren
0:35:57	„Jetzt denk' ich an die Sicherung von dem radialen Teil.“			Suchen (mental)
0:36:09	„Die Frage ist auch, ob man das umkehren kann, das Prinzip, dass ein kleinerer Gegenstand einschnappt in einen Größeren? In eine Wellenschulter einschnappen wäre blöd, da man andere Dinge bei der Montage da drüber führen muss.“			Frage formulieren
0:38:10	„Zu der Umkehrung fällt mir jetzt momentan nichts ein.“			Suchen (mental)
0:38:28	„Der Formschluss ist bei den bisherigen Lösungen immer so, dass irgendwas einschnappt.“			Problem klären
0:40:24	„Mhh. Das ist ganz schön schwierig ... ich könnte auf jeden Fall mal überlegen, was ich für weitere Sicherungsmöglichkeiten hab'. Wenn ich an die Sicherungsmöglichkeiten denke, dann hab' ich im Prinzip die Lösung 2 mit einer Sicherung durch die Staubschutzkappe. Und Lösung 5 wäre sichern durch Staubschutzkappe und Dralling und könnte so aussehen.“	Lsg. 2: Sichern durch Staubschutzkappe; Lsg. 3: Sichern durch Staubschutzkappe und Dralling		Suchen (mental)

0:42:31	„Dass ich die Scheibe noch etwas absetze und insgesamt breiter mache. Und schaue, dass einerseits der Drallring drüber greift und andererseits die Staubschutzkappe. Ich könnte dem da noch 'ne Fase verpassen, dass der immer findet.“			Skizzieren
0:44:02	„Das wär' das Stecken von außen ... (Lsg. 2) Die Frage ist, wie viel Fleisch da ist?“			Frage formulieren
0:46:29	„Den muss man irgendwie leicht klemmen.“			Suchen (mental)
0:46:56	„Die Scheibe muss man klemmen, das ist der Punkt.“			Suchen (mental)
0:47:47	„Das Klemmen kann man durch das Nutspiel realisieren und durch die Schlüsselweite.“	Klemmen: Schlüsselweite, Nutspiel		Suchen (mental)
0:49:03	„Das wäre dann ein Reibschluss radial. Ich stecke das radial drauf.“			Suchen (mental)
0:49:24	„Gibt es noch ein Feld, das ich überhaupt nicht besetzt habe?“			Frage formulieren
0:50:10	„Was ich mir noch vorstellen könnte, ist, dass ich etwas radial draufstecke und dann drehe. Und was passiert dann durch die Drehung?“			Suchen (mental)
0:52:02	„Oder vielleicht kann das auch durch das Drehen verklemmen?“			Frage formulieren
0:54:18	„Es wäre ja auch denkbar, dass ich so 'ne Art draufdrücken, verdrehen und dann ist es gesichert, dann rastet es irgendwie ein ... Dann schieb' ich des vor bis in eine Nut und dann drehe ich des um 45 Grad.“			Suchen (mental)
0:57:41	„Man könnte sich auf jeden Fall für Lösung 6 vorstellen, dass man einen Ring hat, der so ausgeformt ist, dass man die axiale Sicherung durch Verdrehen realisiert. Häufiges Demontieren ist dabei aber sehr unpraktisch.“			Skizzieren

<p>0:59:48</p>	<p>„Was sehr interessant wäre ..., wenn ich eine zweite Scheibe dagegen schieben würde, das wäre eine lustige Lösung. Ich hab' so eine Scheibe ... Ich hab' 'ne Scheibe, die 'ne rechteckige Innenkontur hat. Also meine erste Scheibe schaut so aus und ich hab' ein Blech, das so ausschaut und meine Verdrehsicherung gewährleistet. Das könnte am besten so aussehen. Gefällt mir auch ziemlich gut, diese zweiteilige Lösung. Zumal die Nut dann auch sehr einfach ist.“</p>			<p>Skizzieren</p>
<p>1:05:30</p>	<p>„Man könnte auch überlegen, das mit einem Draht zu sichern.“</p>			<p>Suchen (mental)</p>
<p>1:06:28</p>	<p>„Das kann ja auch klemmen.“</p>			<p>Suchen (mental)</p>
<p>1:06:43</p>	<p>„Ok, wo passen denn die jetzt rein? 6 und 7 passen zu Formschluss axial ... Ok 6 könnte man als Reibschluss einordnen und 7 ist auf jeden Fall ein Formschluss.“</p>			<p>Strukturieren</p>
<p>1:08:23</p>	<p>„Montagerichtung radial und ich mach' keinen Formschluss sondern einen Reibschluss. Das wäre dann Lösung 8. Und das ist eigentlich nur, dass wir auch eine offene Gabel machen und die Gabel muss, aber das ist nichts ... Das ist Schwachsinn...“</p>			<p>Skizzieren</p>
<p>1:10:00</p>			 <p>vgl. Bild 65</p>	<p>Skizzieren</p>

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Aaron Jonas Wiedner
Geburtsdatum: 23. Juli 1981
Geburtsort: Filderstadt
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familienstand: ledig

Bildungsgang

1988 – 1998 Freie Schule Elztal e.V. (Gutach im Elztal)
1998 – 2001 Freie Waldorfschule St. Georgen (Freiburg)
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife,
2001 – 2002 Zivildienst im St. Nicolai-Spitalfonds (Waldkirch)
Einzelbetreuung eines Querschnittsgelähmten
2002 – 2008 Studium Maschinenbau, Vertiefungsrichtung Produktentwicklung
und Konstruktion, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Abschluss: Diplom

Berufstätigkeit

2005 – 2006 Wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Produktentwicklung
(IPEK), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
seit 08/2008 Konstrukteur bei der Hilti Entwicklungsgesellschaft mbH
Schwerpunkt: Bohrhammerentwicklung
seit 08/2008 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktentwicklung
(IPEK), Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Gruppe: Entwicklungsmethodik und Entwicklungsmanagement