

Tobias Deigendesch

**Kreativität in der Produktentwicklung
und Muster als methodisches Hilfsmittel**

Creativity in Product Development
and Patterns as a Methodological Means of Support

Band 41

Systeme ■ Methoden ■ Prozesse

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

Forschungsberichte

Tobias Deigendesch

**Kreativität in der Produktentwicklung
und Muster als methodisches Hilfsmittel**

Creativity in Product Development
and Patterns as a Methodological Means of Support

Band 41

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

Copyright: IPEK ▪ Institut für Produktentwicklung, 2009
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Universität des Landes Baden-Württemberg und
nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

Alle Rechte vorbehalten

ISSN 1615-8113

Kreativität in der Produktentwicklung und Muster als methodisches Hilfsmittel

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

genehmigte
Dissertation

von

Dipl.-Ing. Tobias Deigendesch
aus Freudenstadt

Tag der mündlichen Prüfung: 08. Dezember 2009
Hauptreferent: o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. A. Albers
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. H. Binz

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 Focus 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 41

Gerade in der gegenwärtigen krisenhaften Situation in der Wirtschaft im Maschinen- und Fahrzeugbau kommt dem Thema Innovationen eine entscheidende Bedeutung zu. Innovationen sind dabei im Schumpeter'schen Sinne erfolgreiche, am Markt realisierte Inventionen. Inventionen bezeichnen kreative neue Lösungen. Alle Unternehmen müssen sich der Herausforderung zur Suche nach neuen Produkten stellen. Dabei ist zu beachten, dass in den letzten Jahren die Produkte und die zu ihrer Erstellung notwendigen Entwicklungsprozesse immer komplexer geworden sind. Das zunehmende Vordringen der Mechatronik oder auch der Miniaturisierung, um nur zwei Megatrends zu nennen, führt zu immer komplexeren Verknüpfungen und Strukturen in den entwickelten Produkten.

Gleichzeitig stellt der Entwicklungsprozess große Herausforderungen an das Thema Wissensmanagement. Das Wissen ist in den Unternehmen zumeist noch immer intrinsisch in den Köpfen der Mitarbeiter gespeichert. Die für die Entwicklung komplexer Produkte notwendige Teamarbeit wird zwar zunehmend propagiert, doch das Teilen von Wissen ist immer noch eine große Herausforderung. Dabei ist zu beachten, dass sowohl die Informationsmenge, die zur Verfügung steht, als auch bei entsprechender Verarbeitung die Wissensmenge in der Produktentwicklung enorm zugenommen haben. Eine Verarbeitung und situationsgerechte Bereitstellung ist bis heute nicht gelöst. Hier sind neue Ansätze und Konzepte notwendig, um die komplexe Information und das komplexe Wissen moderner Produktentwicklung dem Menschen als Entwickler situationsgerecht zur Verfügung zu stellen.

Dabei soll dieses Wissen die Kreativität stimulieren und den Entwickler bei der Lösung seiner Fragestellungen unterstützen und nicht einengen oder behindern. Der Begriff der Kreativität ist dabei ebenfalls in aller Munde. Es gibt eine Vielzahl von Definitionen und auch Untersuchungen zum Thema Kreativität. Doch die Frage „Was ist eigentlich Kreativität und welche Arten von Kreativität sind in der Produktentwicklung notwendig?“ ist bisher noch nicht wirklich beleuchtet. Diesen zwei Herausforderungen stellt sich Herr Dr.-Ing. Tobias Deigendesch in seiner wissenschaftlichen Arbeit mit dem Titel „Kreativität in der Produktentwicklung und Muster als methodisches Hilfsmittel“. Er hat sich zum Ziel gesetzt, den oft gebrauchten aber noch wenig im Kontext der Produktentwicklung definierten Begriff der Kreativität zu untersuchen und eine Definition des Begriffes im Kontext der Produktentwicklung zu erstellen. Auf dieser Basis möchte er dann das Produktentwicklungswissen mit einem für das Gebiet neuartigen Ansatz, den sogenannten Mustern, strukturieren und eine Methode entwickeln, um mit Hilfe der Muster komplexes Produktentwicklungswissen den entwickelnden Menschen situationsgerecht zur Verfügung zu stellen. Die Arbeit leistet einen wichtigen Beitrag

zum Umgang mit Kreativität und Komplexität in der Produktentstehung und ist schon jetzt die Grundlage weiterer Forschungsarbeiten im IPEK.

Albert Albers

Kurzfassung

Kreativität ist die Grundlage von Innovation, von unternehmerischem Erfolg und damit von wirtschaftlichem Wachstum und gesellschaftlichem Wohlstand. Charakteristisch für Innovationsprozesse ist eine Ungewissheit über Ziele, Randbedingungen und Vorgehensweisen aus der verschiedenste Risiken folgen. Die Unsicherheit erhöht sich bei zunehmenden Neuheitsgrad des zu entwickelnden Produktes. Gleichzeitig fordern Qualitätsmanagementansätze für die Produktentwicklung stabile und standardisierte Prozesse. Kreativität hingegen ist in ihrer Planbarkeit höchst unsicher und nicht standardisierbar.

Die vorliegende Arbeit verfolgt die Zielsetzung, den Kreativitätsbegriff für den Kontext der ingenieurmäßigen Produktentwicklung differenziert zu beleuchten. Auf dieser Basis wird der Ansatz einer Methode begründet, durch die Wissen bereitgestellt und gleichzeitig kreative Lösungsfindung in den Konstruktionsaktivitäten ermöglicht wird. Ein aus der Architektur stammender und in der Softwaretechnik bekannter und erfolgreich genutzter Ansatz zur Bereitstellung von Entwurfswissen sind sogenannte Entwurfsmuster. Die Muster besitzen ein definiertes Format bestehend aus einer Problembeschreibung in einem gegebenen Kontext und einer abstrakten Lösungsbeschreibung, aus der sich eine konkrete Lösung ableiten lässt. Der Einsatz von Mustern in der Produktentwicklung lässt einen Beitrag zu Effizienz und Effektivität in der Wertschöpfungskette produzierender Unternehmen erwarten.

Die Arbeit leitet aus den Forschungsarbeiten zu Innovation und Produktentwicklung sowie der Kreativitätsforschung einen für die Produktentwicklung zweckmäßigen Kreativitätsbegriff und einen entsprechenden Bedarf an methodischer Unterstützung her. Sofern Kreativität methodisch unterstützt wird, fokussiert dies auf eine Ideenfindung bei weitem Lösungsraum. Aber auch bei Aktivitäten zur Weiterentwicklung bestehender Produkte hohen Reifegrades ist Kreativität erforderlich, jedoch weniger mit der Zielsetzung einer Produktdifferenzierung durch eine originelle Lösung, sondern vielmehr um Teillösungen unter Qualitäts-, Zeit und Kostendruck zu integrieren.

Der skizzierte Bedarf an methodischer Unterstützung wird durch den Ansatz der Mustersprachen im Sinne einer strukturierten Wissensablage als Grundlage für Lösungsfindung, Erfahrungsaustausch und Kommunikation realisiert. Die vorliegende Arbeit motiviert diesen Ansatz und stellt dem Entwickler ein Modell zur Erzeugung, Anwendung und Verbesserung von Mustern zur Verfügung. Das Modell wird durch neue Methoden ergänzt und am Beispiel der Mikrotechnik in einem ersten Schritt erprobt.

Abstract

Creativity is the basis for innovation, for business prosperity and thus for economic growth and societal wealth. Characteristic of innovation processes is uncertainty about objectives, conditions and courses of action from which a number of risks results. Uncertainty grows with increasing novelty of the product to be designed. Concurrently, relevant quality management approaches require stable and standardized design processes. On the contrary, creativity does not follow any standard and cannot be planned.

The present work aims at the objective of elaborating a differentiated view on creativity within the context of engineering design. Based on this a methodological approach is motivated that allows the representation of knowledge and enables creative solutions simultaneously. One approach originating from architecture and being successfully applied in software engineering are such called design patterns for representation of design knowledge. Patterns feature a defined format including a problem description within a certain context and an abstract solution description which allows deriving a concrete solution. It is to be expected that the application of patterns within product development contributes to efficiency and effectiveness in the value added chain of producing industry.

The present work discusses research on innovation, engineering design methodology and creativity and derives a concept of creativity that is adequate to engineering design but results in a need for methodological support. This support focuses on ideation in an open solution space. Also activities in improving and further developing existing mature products require creativity – albeit focusing less on differentiation based on originality but more on integration of known partial solutions in consideration of quality time and cost targets.

The outlined demand for methodological support is met by the approach of pattern languages as a structured way of representing knowledge for identifying solutions, exchanging experiences and communicating. The present work motivates this approach and provides engineering designers with a model for generation, application and improvement of patterns. The model is enhanced by new methods and preliminarily validated at the example of microtechnology.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als akademischer Mitarbeiter am IPEK – Institut für Produktentwicklung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und wurde u.a. im Rahmen des Teilprojekts „Entwicklungsmethodik“ des DFG Sonderforschungsbereichs 499 „Entwicklung, Produktion und Qualitätssicherung urgeformter Mikrobauteile aus metallischen und keramischen Werkstoffen“ gefördert.

Meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers gilt mein besonderer Dank. Er übertrug mir Verantwortung und schenkte mir große Gestaltungsfreiräume, die ich in meiner Tätigkeit nutzen und ausfüllen durfte. Visionär schafft er am IPEK einen Nährboden zur Entwicklung neuer Ansätze auf System-, Methoden und Prozessebene. Ich danke für die Unterstützung durch offene Gespräche und Diskussionen, Ratschläge, neue Ideen und Perspektiven mit denen er meine wissenschaftliche Arbeit prägte und förderte.

Prof. Dr.-Ing. Hansgeorg Binz vom IKTD der Universität Stuttgart danke ich für die Übernahme des Korreferats sowie für das entgegengebrachte Interesse und die wertvolle Diskussion meiner wissenschaftlichen Arbeit. Weiterhin möchte ich mich bei Prof. Dr.-Ing. Peter Gratzfeld für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes bedanken.

Eine wertvolle Bereicherung meiner wissenschaftlichen Arbeit bildeten die Gespräche im Frühjahr 2009 mit Claudia Eckert, PhD, Senior Lecturer an der Open University (UK). Vielen Dank für die Zeit, die Diskussionen und die wertvollen Hinweise im Kontext der Kreativitäts- und Expertiseforschung.

Dem gesamten IPEK-Team möchte ich für die konstruktive Arbeitsatmosphäre danken. Dieser Dank gilt insbesondere den Kolleginnen und Kollegen in meinem direkten Arbeitsumfeld im Maschinenbauhochhaus. Danke für die wissenschaftlichen und darüber hinausgehenden Gespräche und für die Unterstützung in allen fachlichen, organisatorischen, verwaltungs- und informationstechnischen Belangen.

Meiner Familie danke ich für die Unterstützung während meiner gesamten akademischen Ausbildung.

Katja, Luna und Leander, Euch vielen Dank für den Rückhalt, die Zeit, die Ihr mir für die Arbeit gelassen habt, für Eure Geduld sowie für die Möglichkeit, schnell auf andere Gedanken zu kommen.

Karlsruhe, Dezember 2009,

Tobias Deigendesch

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Grundlagen.....	7
2.1	Innovation.....	7
2.1.1	Innovationsbegriff.....	8
2.1.2	Innovation und Risiko.....	12
2.1.3	Innovationsparadoxon.....	16
2.1.4	Produktivitätsdilemma.....	18
2.1.5	Innovationsmanagement.....	22
2.1.6	Zusammenfassung.....	24
2.2	Produktentwicklung.....	25
2.2.1	Entwicklung als Problemlösung.....	25
2.2.2	Modell der Produktentstehung.....	32
2.2.3	Konstruktion.....	37
2.2.4	Methoden in der Produktentwicklung.....	38
2.2.5	Wissen in der Produktentwicklung.....	43
2.2.6	Zusammenfassung.....	46
2.3	Kreativität.....	48
2.3.1	Theoretische Ansätze in der Kreativitätsforschung.....	49
2.3.2	Kreativität als zu definierender Begriff.....	51
2.3.3	Determinanten der Kreativität.....	53
2.3.4	Das kreative Produkt.....	54
2.3.5	Die kreative Person.....	57
2.3.6	Der kreative Prozess.....	61
2.3.7	Umfeldfaktoren als systemische Notwendigkeit.....	66
2.3.8	Erfahrung und Expertise.....	70
2.3.9	Mentale Operationen.....	74
2.3.10	Methodische Kreativitätsförderung.....	76
2.3.11	Zusammenfassung.....	79
2.4	Fazit und Zielsetzung.....	80
3	Kreativität im Kontext der Produktentwicklung.....	83
3.1	Das kreative Produkt.....	83
3.2	Der kreative Entwickler.....	85
3.3	Kreative Unberechenbarkeit.....	87
3.4	Kreativität und Effizienz.....	88
3.5	Das Feld als selektive Komponente.....	89
3.6	Diskussion.....	91
4	Problemspezifizierung.....	97
5	Muster und ihre Anwendung.....	101
5.1	Die Grundidee von Mustern und Mustersprachen.....	103
5.1.1	Muster.....	104
5.1.2	Mustersprache.....	108

5.1.3	Die psychologische Perspektive	109
5.1.4	Eigenschaften von Mustern	110
5.1.5	Erstellung von Mustern.....	113
5.2	Stand der Musteranwendung.....	114
5.2.1	Architektur	114
5.2.2	Softwaretechnik	116
5.2.3	Produktentwicklung.....	118
5.2.4	Weitere Mustersprachen und affine Ansätze.....	120
5.2.5	Vergleichende Betrachtung der Musteransätze	121
5.3	Fazit und Zielsetzung	123
6	Musteransatz für die Produktentwicklung	125
6.1	Theoretische Motivation zur Musteranwendung	125
6.2	Definitionen, Struktur und Systematik.....	129
6.2.1	Muster und Mustersprache in der Produktentwicklung	129
6.2.2	Systematik.....	131
6.3	Aktivitäten, deren Methoden und Anforderungen.....	133
6.3.1	Identifikation und Ableitung	136
6.3.2	Bereitstellung	144
6.3.3	Situationsanalyse und Problemeingrenzung	148
6.3.4	Suche und Auswahl	150
6.3.5	Assimilation.....	152
6.3.6	Kommunikation	153
6.3.7	Integration.....	155
6.3.8	Validierung und Optimierung	157
6.3.9	Zusammenfassung.....	159
6.4	Diskussion und Implikationen für die Praxis.....	161
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	165
8	Quellen.....	167
Anhang	179
Anhang 1	Methoden zur Entwicklung alternativer Lösungen.....	179
Anhang 2	Beispiel Architekturmuster	180
Anhang 3	Beispiel Software-Muster	182
Anhang 4	Beispiel Produktentwicklungsmuster.....	191
Anhang 5	Beispielmuster aus der Mikrotechnik.....	193
Anhang 6	Abbildungsverzeichnis	196
Anhang 7	Tabellenverzeichnis	198
Anhang 8	Abkürzungen und Akronyme.....	199
Index	201

1 Einleitung

Motivation, Zielsetzung und Nutzen

Kreativität und Innovation sind in aller Munde. Der durchweg positiv wahrgenommene Bedeutungsinhalt führt zu einer fast inflationären Nutzung der Begriffe. Kreativität ist die Grundlage von Innovation, von unternehmerischem Erfolg und damit von wirtschaftlichem Wachstum und gesellschaftlichem Wohlstand. So wurde das Jahr 2009 von der EUROPÄISCHE UNION zum *Europäischen Jahr der Kreativität und Innovation 2009* erklärt.¹

Charakteristisch für Innovationsprozesse ist eine Ungewissheit über Ziele, Randbedingungen und Vorgehensweisen. Entscheidungen unter Ungewissheit bergen diverse Risiken. Je origineller oder neuer eine Produktidee ist, desto höher sind die mit deren Umsetzung einhergehenden Chancen, aber auch Risiken. Gleichzeitig fordern Qualitätsmanagementansätze für die Produktentwicklung stabile und standardisierte Prozesse. Paradoxerweise ist Kreativität das genau nicht; sie ist weder ein planbarer noch deterministischer Prozess. In der Entwicklung innovativer Produkte wird insbesondere den frühen Aktivitäten ein hoher Bedarf an Kreativität zugesprochen. Kreativität ist ein essentieller Bestandteil ingenieurmäßiger Entwicklung.² Der überwiegende Anteil konstruktiv entwickelnder Tätigkeiten befasst sich jedoch mit Anpassungs- und Variantenkonstruktionen. Auch bei diesen Aktivitäten bei der Weiterentwicklung bestehender Produkte hohen Reifegrades ist Kreativität erforderlich, jedoch weniger mit der Zielsetzung einer Produktdifferenzierung durch eine originelle Lösung, sondern vielmehr um Teillösungen unter Qualitäts-, Zeit und Kostendruck zu integrieren. Typische Kreativitätstechniken fokussieren auf Originalität und weniger auf Nutzen. Deren Ergebnisse sind bei falschem Einsatz unter den skizzierten Umständen in späten Entwicklungsaktivitäten häufig unzureichend oder sogar kontraproduktiv. Auch führt der falsche Einsatz zu einer verringerten Methodenakzeptanz bei den Anwendern.

Die Grundlage kreativer Entwicklung sind Erfahrung und Wissen. Wissen ist heute ein Produktions- und strategischer Wettbewerbsfaktor.³ Neues wird durch Umstrukturi-

¹ vgl. Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2008), darin: „Die Systeme der allgemeinen und beruflichen Bildung sollten auf allen angemessenen Ebenen in ausreichendem Maße für die Entwicklung von Schlüsselkompetenzen sorgen, die die Grundlage für Kreativität und Innovation bilden, und damit die Befähigung vermitteln, im persönlichen, beruflichen und gesellschaftlichen Leben innovative und originäre Lösungen zu finden.“

² vgl. Howard et al. (2008)

³ vgl. North (2002), S. 65

rierung und Kombination bestehender Wissensinhalte geschaffen. Die unzureichenden Absolventenzahlen in den MINT-Fächern⁴ sowie der demographische Wandel in Deutschland führen zu einer drastischen Abnahme der verfügbaren Arbeitskraft, insbesondere von technischen Fachkräften. Gleichzeitig stieg in den letzten Jahren der Bedarf der Industrie an auf hohem Niveau technisch ausgebildeten Mitarbeitern⁵. Betrachtet man die Ingenieursersatzzahlen, also die Anzahl jüngerer bezogen auf die Anzahl älterer Ingenieure, so lag dieser Quotient im Jahre 2004 bei 0,9⁶. Das heißt, dass bei konstanter Arbeitsstellenzahl, zukünftig jeder zehnte Ingenieursarbeitsplatz nicht mit vorhandenem Nachwuchs besetzt werden kann. In den kommenden Jahren verlassen Tausende Wissensträger aus Forschung und Entwicklung ihre Arbeitgeber und nehmen ihr implizites, also nicht nach außen hin verbreitetes Wissen mit sich in den Ruhestand. Zur nachhaltigen Sicherung der Innovationsfähigkeit muss dem durch die Einführung geeigneter Wissensmanagement-Ansätze begegnet werden.

Wissen allein genügt nicht. Es bedarf kreativen Handelns, um aus bestehendem Wissen neue Produkte mit mehr Nutzen für Kunden und Unternehmen zu schaffen.

Die vorliegende Arbeit verfolgt die Zielsetzung, für die Gruppe der Konstrukteure⁷ die Randbedingungen für Kreativität in der Produktentwicklung aufzuzeigen und differenziert zu beleuchten. Auf dieser Basis wird der Ansatz einer Methode begründet, durch die Wissen bereitgestellt und gleichzeitig kreative Lösungsfindung in den Konstruktionsaktivitäten ermöglicht wird.

Ein vor allem aus der Architektur stammender und in der Softwaretechnik bekannter und häufig genutzter Ansatz zur Bereitstellung von Entwurfswissen sind sogenannte Entwurfsmuster. Diesen Mustern sind eine Problembeschreibung in einem gegebenen Kontext und eine abstrakte Lösungsbeschreibung gemein. Dabei handelt es sich bei der Lösungsbeschreibung um einen Lösungsvorschlag, aus dem sich eine konkrete Lösung ableiten lässt.

Der Einsatz des hier erforschten Musteransatzes für die Produktentwicklung bringt Vorteile für verschiedene Anwendergruppen in der produzierenden Wirtschaft. Es wird dabei der folgende Nutzen erwartet: Durch die Anwendung der hier entwickelten

⁴ MINT = Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik

⁵ In dieser Arbeit ist aus Gründen der Lesbarkeit von Mitarbeitern, Ingenieuren, Studierenden, etc. die Rede; angesprochen sind damit jedoch beide Geschlechter.

⁶ vgl. VDI/IW (2008), s. a. OECD (2007), Indikator A1, Tabelle 1.5. Anmerkung: Jüngere sind 24-35 Jährige mit tertiärem Abschluss und 30-39 Jährige mit Promotion. Ältere sind 55-64 Jährige.

⁷ Der Konstrukteur - wie er hier verstanden wird - ist Treiber und Gestalter im Entwicklungsprozess mit Fokus auf synthetisierenden Aktivitäten.

Methode gelingt es dem Produktentwickler, kontinuierlich erprobtes Lösungswissen abzulegen und darauf bei Bedarf zurückzugreifen. Er schafft damit mit seinen Kollegen eine gemeinsame Wissensbasis und gleichzeitig die Grundlage für Erfahrungsaustausch und Diskussion neuer Lösungen. Personalentwickler finden eine Möglichkeit, das Wissen erfahrener Entwickler und Kompetenzträger vor deren Ruhestand zu akquirieren und zu speichern, um das Wissen um Kernkompetenzen zu sichern. Berufseinsteiger können durch eine in Musterform strukturierte Wissensablage leichter neue Kompetenzen entwickeln und so schneller und besser in die Wertschöpfungskette eingebunden werden. Zuletzt bringt die Musteranwendung auch Studierenden der Produktentwicklung den Vorteil, sich leichter in neuen Wissensgebieten zu orientieren.

Zusammenfassend lässt der Einsatz von Mustern in der Produktentwicklung einen Beitrag zu Effizienz und Effektivität in der Wertschöpfungskette produzierender Unternehmen erwarten.

Wissenschaftliche Einordnung

In der Wissenschaftstheorie lassen sich Formal- und Realwissenschaften unterteilen. Zu den Formalwissenschaften gehören Logik, Philosophie oder Mathematik. Die Realwissenschaften umfassen „reine“ Grundlagenwissenschaften, wie die Naturwissenschaften, die sich mit der Erklärung empirischer Wirklichkeitsausschnitte beschäftigen, und die „angewandten“ Handlungswissenschaften mit dem Ziel der Analyse menschlicher Handlungsalternativen zwecks der Gestaltung sozialer oder technischer Systeme. Zu Letzterem zählen die Ingenieurwissenschaften.⁸

Die vorliegende Arbeit ordnet sich in den Bereich der angewandten Handlungswissenschaft ein. Diese reiht sich zwischen Grundlagenforschung und Praxis ein. Die wesentlichen Unterschiede liegen nach ULRICH in der praktischen Problemorientierung, dem grundsätzlichen Forschungsziel, dem Regulativ der Nützlichkeit und seinen Kriterien der praktischen Problemlösefähigkeit sowie den angestrebten Aussagen (vgl. Tabelle 1).⁹

Die angewandte Forschung wählt in der Praxis wahrgenommene Probleme aus, deren Lösung durch bestehendes Wissen nicht möglich ist.¹⁰ Nach ULRICH beginnt der Forschungsprozess der angewandten Wissenschaft in der Praxis, hat die Untersuchung des Anwendungszusammenhangs im Fokus und endet in der Praxis. Der

⁸ vgl. Ulrich & Hill (1979)

⁹ vgl. Ulrich (2001), S.206, S.219ff.

¹⁰ vgl. Ulrich (1981), S.5

Theorie kommt dabei vielmehr die Rolle des Informationslieferanten zu.¹¹ In ULRICHs Forschungsprozess spielt der Praxisbezug eine elementare Rolle und wird in mehreren Phasen hergestellt (vgl. Abbildung 1, Schritte I, III und V).

Tabelle 1: Unterschiede zwischen theoretischen und anwendungsorientierten Wissenschaften

Differenzierungsmerkmal	Theoretische Wissenschaften	Angewandte Wissenschaften
Entstehung der Probleme	in der Wissenschaft selbst	in der Praxis
Art der Probleme	disziplinär	adisziplinär
Forschungsziele	Theorieentwicklung und -prüfung, Erklären der bestehenden Wirklichkeit	Entwerfen möglicher Wirklichkeiten
angestrebte Aussagen	deskriptiv, wertfrei	normativ, wertend
Forschungsregulativ	Wahrheit	Nützlichkeit
Fortschrittskriterien	Allgemeingültigkeit, Bestätigungsgrad, Erklärungskraft und Prognosekraft von Theorien	praktische Problemlösekraft von Modellen und Regeln

Quelle: Ulrich (2001), S.220

Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Der prinzipielle Aufbau der Arbeit ist bezogen auf die Schritte der Vorgehensweise nach ULRICH in Abbildung 1 dargestellt. Dessen Forschungsprozess sieht die Erfassung und Typisierung praxisrelevanter Probleme vor. Es folgen die Erfassung und Untersuchung der problemrelevanten Theorien und Verfahren sowie des anwendungsrelevanten Anwendungszusammenhangs. Aus diesen Grundlagen werden Beurteilungskriterien, Gestaltungsregeln und -modelle abgeleitet. Den Abschluss bilden die Prüfung der Regeln und Modelle im Anwendungszusammenhang sowie darüber hinaus die Beratung der Praxis.¹²

Entsprechend beschreibt Kapitel 2 die problemrelevanten Theorien und Modelle bezogen auf den Anwendungszusammenhang in den Bereichen Innovation (Abschnitt 2.1) und Produktentwicklung (Abschnitt 2.2). Eine weitere Grundlage sind die Theorien und Modelle der Kreativitätsforschung (Abschnitt 2.3).

Kapitel 3 hat die Erörterung der Kreativität in der Produktentwicklung als ersten eigenen Beitrag zum Inhalt. Die Darstellung des kreativen Produktes und Entwicklers, die

¹¹ vgl. Ulrich (1981), S.19

¹² vgl. (Ulrich (1981), S.20

Unberechenbarkeit der Kreativität, ihre Effizienz und Umfeld führen auf die Diskussion hin.

Kapitel 4 führt auf Basis der Ergebnisse der Kapitel 2 und 3 hin zu einer Problemspezifizierung. Die Zielsetzung und Anforderungen einer methodischen Unterstützung von Kreativität in der Produktentwicklung werden konkretisiert und der Ansatz zur Nutzung von Mustersprachen prinzipiell motiviert.

Kapitel 5 gibt einen Überblick über den Stand der Wissenschaft zu Mustern und deren Anwendung. Vorgestellt werden die Grundidee (Abschnitt 5.1), die Erstellung (Abschnitt 5.1.4) und Eigenschaften (Abschnitt 5.1.4) von Mustern sowie der Stand deren Anwendung (Abschnitt 5.2).

Kapitel 6 entwickelt als zweiten eigenen Beitrag den Musteransatz als methodisches Hilfsmittel in der Produktentwicklung. In Abschnitt 6.1 wird dessen Anwendung theoretisch motiviert. Es folgen Definitionen, Struktur und Systematik des Musteransatzes (Abschnitt 6.2). In Abschnitt 6.3 wird ein Modell elementarer Aktivitäten sowie Methoden zu deren Unterstützung vorgestellt. Parallel folgt eine erste Validierung am Beispiel der Mikrotechnik. Die ideale Validierung der in der vorliegenden Arbeit entwickelten Methode wäre eine umfangreiche Untersuchung innerhalb eines Unternehmens über mehrere Jahre. Dies kann jedoch im Rahmen dieser Arbeit praktisch nicht umgesetzt werden.

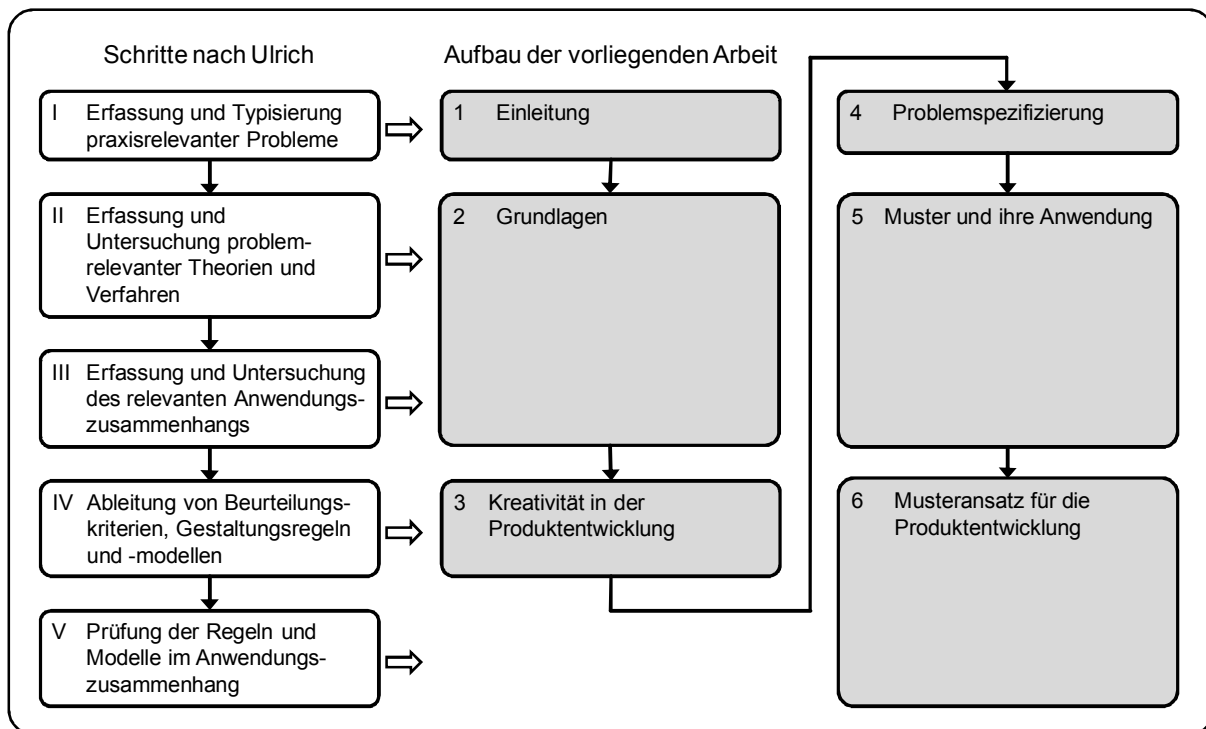


Abbildung 1: Forschungsprozess und Aufbau der Arbeit

Quelle: Eigene Darstellung; vgl. Ulrich (1981), S.20; vgl. Ulrich (2001), S.22

2 Grundlagen

Die problemrelevanten Theorien und Verfahren sowie der relevante Anwendungszusammenhang der vorliegenden Arbeit sind die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu Innovation, Produktentwicklung und Kreativität.

Im vorliegenden Grundlagenkapitel befasst sich der Abschnitt Innovation mit den zugehörigen Begrifflichkeiten, dem Innovationsrisiko und -paradoxon sowie dem Produktivitätsdilemma. Abschließend wird das Innovationsmanagement eingeordnet.

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Produktentwicklung und deren Kontext eingegrenzt. Relevante Faktoren in der Produktentwicklung, wie deren Auffassung als Problemlösung, ihre modellhafte Beschreibung, die Konstruktion als entwickelnde Aktivität sowie die Anwendung von Methoden und Wissen werden aufgezeigt.

Der das Grundlagenkapitel abschließende Abschnitt umfasst Kreativität als Theorie und Begriff, erläutert die unterschiedlichen Sichten auf das Phänomen Kreativität sowie Möglichkeiten zu deren Förderung. Die Determinanten der Kreativität – Produkt, Person, Prozess und Umfeld – sowie der Einfluss von Erfahrung und Expertise und die zu Grunde liegende mentale Operationen werden aufgezeigt. Abschließend folgt die Darstellung der methodischen Kreativitätsförderung.

2.1 Innovation

Innovation ist die Grundlage wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Fortschritts. Sie führt zur Durchdringung existierender Märkte durch neue Produkte oder schafft sich ihre eigenen Märkte für neue Verwendungen. Nur durch eine solche Differenzierung und Markterfolg können Unternehmen sich in globalisierten Märkten behaupten und überleben. Damit führt Innovation zu wirtschaftlichem Wachstum, Standortsicherung, Arbeitsplätzen und gesellschaftlichem Wohlstand.

Der großen Chance der Innovation stehen Risiken aus Unwissen und Unplanbarkeit gegenüber. Unternehmen sind oft exzellent in der Verbesserung ihrer internen Strukturen und Abläufe. Innovation erfordert diese Prozesseffizienz aus Marktsicht, gleichzeitig ist Flexibilität und Reaktionsfähigkeit aufgrund der unzureichenden Informationsgrundlage notwendig. Ansätze des Innovationsmanagements versuchen Innovationsparadoxon und Produktivitätsdilemma entgegenzusteuern.¹³

¹³ vgl. Hauschildt (1993), S.27f.

2.1.1 Innovationsbegriff

Der Begriff der Innovation wurde auf vielfache Weise definiert. Wesentlicher Kern der Definitionen ist Neuerung und deren Ausmaß, Wahrnehmung oder Erstmaligkeit. Weitere Definitionen ergänzen den Nutzen oder haben einen Verwertungsbezug als Kriterium. Andere hingegen stellen den Prozess, der zur Innovation führt, als maßgebliches Element in den Vordergrund.¹⁴

SCHUMPETER prägte mit seiner Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung den heute angewandten Innovationsbegriff. Er formulierte, was Innovation heute, von der Alltagsanwendung abgesehen, meint: die Durchsetzung einer neuen Kombination.¹⁵ Oder genauer: die neue Kombination eines Zwecks mit einem Mittel¹⁶, eines Bedürfnisses mit einer Problemlösung¹⁷. Diese Innovation kann in fünf Bereichen auftreten:¹⁸

- *Produkt*: Herstellung eines neuen Produktes, einer neuen Produktqualität oder die neue Verwendung eines bekannten Produktes
- *Produktion*: Einführung einer neuen Produktionsmethode
- *Markt*: Erschließung neuer Märkte
- *Rohstoffmarkt*: Erschließung neuer Rohstoff- oder Halbzeugquellen
- *Organisation*: Gründung einer oder Änderung innerhalb einer Organisation z.B. durch Fusion oder Kartellbildung

ROPOHL formuliert den Ablauf technischer Entwicklungen (technische Ontogenese) anhand der vier Phasen Kognition, Invention, Innovation und Diffusion.¹⁹ Die Kognition umfasst die aus den Naturwissenschaften folgenden Erkenntnisse und bildet die Grundlage für eine technische Erschließung. Die Inventionsphase generiert anwendungsbezogenes technisches Wissen und führt zur Erfindung einer neuen Technik. Erst durch die Innovation, der im Sinne SCHUMPETERS erfolgreichen technisch-

¹⁴ vgl. Hauschildt (1993), S.5f.

¹⁵ vgl. Schumpeter (1912), S.158, dort: „Durchsetzung neuer Kombinationen“. Ebenda, S.174 zum Unternehmer: „Nur dann erfüllt er die wesentliche Funktion eines solchen, wenn er neue Kombinationen realisiert, also vor allem, wenn er die Unternehmung gründet, aber auch, wenn er ihren Produktionsprozess ändert, ihr neue Märkte erschließt, in einen direkten Kampf mit Konkurrenten eintritt, usw.“

¹⁶ vgl. Hauschildt (1993), S.1

¹⁷ vgl. Bircher (2005), S.17

¹⁸ vgl. Schumpeter (1912), S.159ff.; vgl. Schumpeter (1952), S.100f.; vgl. Hauschildt (1993), S.8

¹⁹ vgl. Ropohl (2009), S.258f.

wirtschaftlichen Umsetzung der Invention, wird die Technik für den Anwender, bzw. eine gesellschaftliche Verwendung verfügbar. Führt die Verfügbarkeit zu tatsächlicher Verwendung, zu Akzeptanz bei den Zielgruppen und zu einer Marktdurchdringung, beginnt die Diffusionsphase. Aus dem Phasenmodell der technischen Ontogenese wird deutlich, dass Innovation mehr ist, als Forschung und Entwicklung (F&E).²⁰ Entsprechend muss es Teil von Produktentwicklung sein, Kundenbedürfnisse vor dem Hintergrund der Unternehmensstrategie und des Wettbewerbs im Sinne eines Suchfelds für potentielle Produktideen zu skizzieren. ALBERS wird diesem durch eine separate Entwicklungsaktivität gerecht, die er als Profilmotivierung bezeichnet.²¹

SPECHT et al. verstehen unter Innovation den gesamten Prozess von F&E, Produktion und Markteinführung. F&E fasst alle Aktivitäten und Prozesse zusammen, „*die zu neuen materiellen und/oder immateriellen Gegenständen führen sollen*“. Dabei wird neues Wissen generiert und vorhandenes Wissen neu angewandt.²²

BINZ und REICHLER definieren mit Blick auf Produkte Innovation wie folgt: „*Eine Produktinnovation ist die erfolgreiche Umsetzung einer kreativen neuen Idee oder Invention mit verbessertem Kunden- und Herstellernutzen.*“²³

Im Begriff der Innovation, der sich aus dem lateinischen *novus* (= neu) ableitet, schwingt das Neue bzw. die Neuerung mit. COOPER charakterisiert das Neue aus Unternehmens- und Marktsicht. Zum einen kann ein Produkt neu sein, wenn es im betrachteten Unternehmen vorher nicht produziert oder verkauft wurde. Zum anderen ist ein Produkt neu, wenn es bislang auf dem Markt unbekannt war. Spannt man diese beiden Dimensionen auf, lassen sich sechs Bereiche darstellen. Es zeigte sich, dass über 50 Prozent der neuen Produkte auf Ergänzungen oder Verbesserung bekannter Produkte basieren (vgl. Abbildung 2).²⁴ Nach HAUSCHILDT kann der Neuheitsgrad nur subjektiv beurteilt werden. Innovation ist folglich, was für eine solche gehalten wird. Demnach ist nicht der technische Wandel, sondern dessen Wahrnehmung und der Wandel des Bewusstseins maßgeblich. Diese Subjektivität kann auf der Ebene eines beliebigen Individuums, eines Experten, einer betrieblichen Führungsinstanz, einer Branche oder einer ganzen Ökonomie liegen.²⁵ Eine Neuheitsbeurteilung kann in Abhängigkeit des Urteilenden (Benutzer, Hersteller), des Neuheits-

²⁰ vgl. Hübner & Jahnes (1998), S.206ff.

²¹ vgl. Albers et al. (2006), vgl. Albers (2010, Veröffentlichung in Vorbereitung)

²² vgl. Specht et al. (2002), S.13ff.

²³ Binz & Reichle (2005)

²⁴ vgl. Cooper (2002), S.13ff.

²⁵ vgl. Hauschildt (1993), S.13f.

grads (inkrementell, radikal) und der Zweckmäßigkeit (Nutzen, Anwendungshäufigkeit) stark unterschiedlich ausfallen.²⁶ Zur Bewertung von Innovationen existieren Rechenmodelle, die jedoch auch auf subjektive Eingaben angewiesen sind.²⁷ ADLER et al. vermuten, dass der Innovationsgrad in dem Ausmaß der Wirkung auf das Umfeld liegt.²⁸

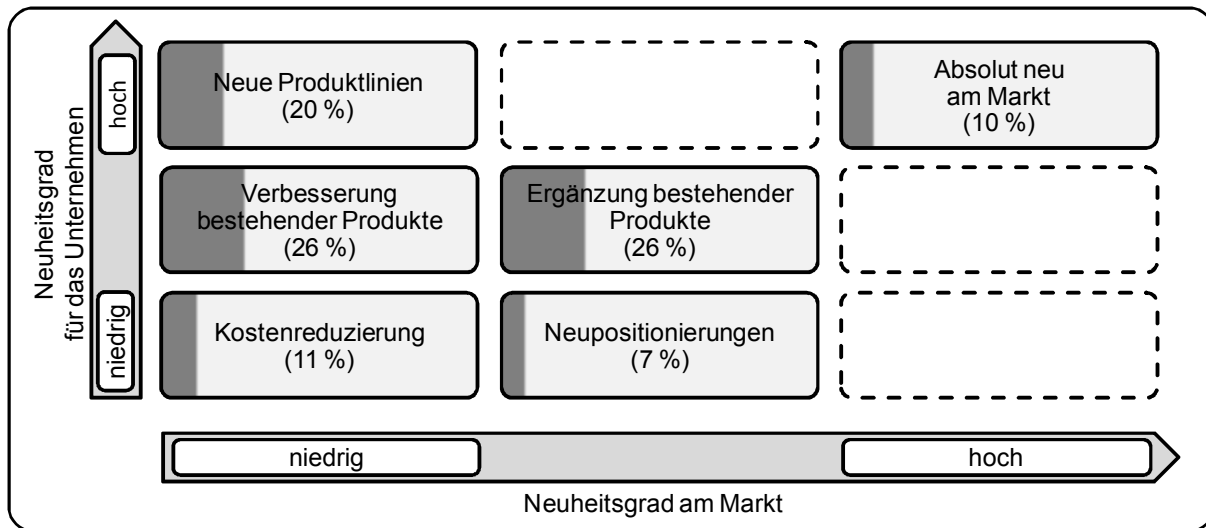


Abbildung 2: Arten neuer Produkte und deren Anteile

Quelle: Eigene Darstellung nach Booz-Allen & Hamilton, 1982 zit. in Cooper (2002), S.13

Anhand der Dimensionen Zweck und Mittel lassen sich vier Innovationstypen unterscheiden (vgl. Abbildung 3).²⁹ Die meisten Quellen konzentrieren sich lediglich auf die beiden Extreme; inkrementelle und radikale Innovation. Inkrementelle Innovationen (*continuous innovation*, Verbesserungsinnovation) entstehen in einer vorhandenen Infrastruktur basierend auf vorhandenem Wissen ohne bestehende Strategien oder Prämissen zu berühren. Sie sind durch fortschreitende Verbesserung, Fokussierung und zunehmender Spezialisierung gekennzeichnet. Radikale Innovationen (*discontinuous innovation*, Durchbruchinnovation) hingegen gehen mit einem Technologiesprung einher und bringen mit ihrer Innovationshöhe das Risiko mit sich, vom Kunden nicht akzeptiert zu werden. Radikale Innovationen platzieren sich außerhalb existierender Märkte, erweitern diese und ordnen sie neu. Diese Innovationsart ist

²⁶ vgl. Reichle (2006), S.66

²⁷ vgl. Binz & Reichle (2005) vgl. Reichle (2006); vgl. Weller et al. (2007)

²⁸ vgl. Adler et al. (2009)

²⁹ vgl. Hauschildt (1993), S.6f.

durch das Verlassen bekannten Terrains und durch Wissenserweiterung hinsichtlich Markt und Technologie gekennzeichnet.³⁰ Daher bezeichnen BENNER und TUSHMAN inkrementelle Innovationen als „ausbeutend“, da sie auf bestehendem Wissen beruhen und eben dieses ausbeuten, und radikale Innovationen als „forschend“, da diese neues Wissen und eine Abkehr oder Erweiterung von vorhandenen Fähigkeiten bedeuten.³¹

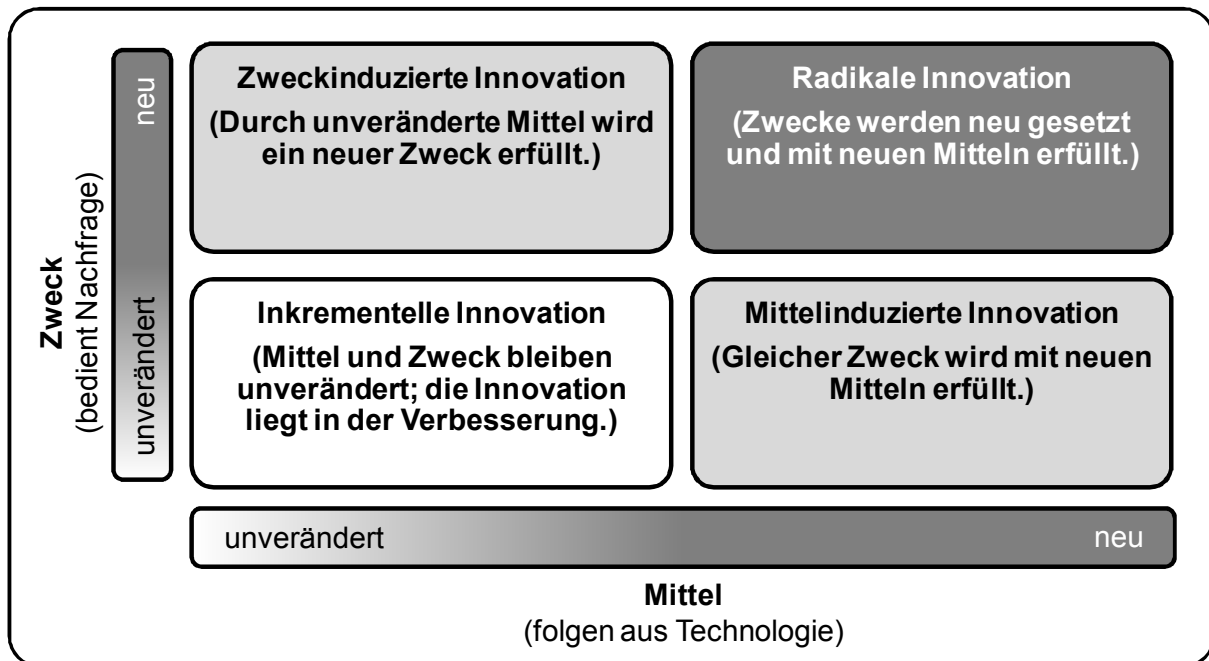


Abbildung 3: Innovationstypen in Abhängigkeit der Änderung von Zweck und Mittel

Quelle: Eigene Darstellung nach Hauschildt (1993), S. 6f.

Die Hauptunterschiede zwischen den beiden meist unterschiedenen Arten, inkrementelle und radikale Innovation, liegen im Neuheitsgrad, in der Planbarkeit, im Risiko, im Effekt auf den Markt und in den Einflüssen unternehmensinterner organisatorischer Strukturen (vgl. Tabelle 2). Diese diskrete Unterscheidung kann jedoch nur theoretischer Natur sein. Für die Produktentwicklung, bei der häufig Komponenten in Anpassungskonstruktionen wiederverwendet werden, muss die Frage gestattet sein, wann eine inkrementelle Innovation zur radikalen wird. In der Realität bewegen sich

³⁰ vgl. Miller, W. L. & Morris, L.: 4th Generation R&D: Managing Knowledge, Technology and Innovation. New York, 1998, zit. in: Bürgel et al. (2006)

³¹ vgl. Benner & Tushman (2003); im Original: Incremental technological innovations [...] are exploitative and build upon existing organizational knowledge. In contrast, radical innovations [...] are exploratory, since they require new knowledge or departures from existing skills.

Neuprodukte in einem Kontinuum beginnend bei unverändertem Zweck und Mittel, sprich dem Vorgängerprodukt, und einer Radikalinnovation, die neue Nachfragen mit neuen Techniken bedient.

Tabelle 2: Gegenüberstellung von Verbesserungs- und Durchbruchsinnovation

Fragestellung	Durchbruchsinnovation	Verbesserungsinnovation
Zeitliche Planbarkeit	schwierig	ziemlich gut
Grad der Novität	sehr hoch	von schwach bis beachtlich
Budgetierbarkeit	schwierig	ziemlich gut
zu erwartender Widerstand gegen die Innovation	hoch bis sehr hoch	mäßig
Risiko des Scheiterns im Projektteam	hoch	mäßig
Verändert das Denken im Markt	sehr stark	schwach bis mittelstark
Risiko im Markt	hoch	mittel
Lang andauernde Konkurrenzvorteile	hoch	mittel bis gering
Organisatorische Idealform	breit angelegtes Team mit starkem Leiter	demokratisch geführtes Team
Interne Förderung	vorzugsweise durch einflussreiche Führungskraft, Pate	nicht so wichtig
Menschentyp des Teamführers	ideenreich, „Entdecker“	handwerklich, „Problemlöser“

Quelle: nach Berth (1992), S.182

2.1.2 Innovation und Risiko

Hoher Neuheitsgrad, die damit einhergehende Unsicherheit, hohe Komplexität und Dynamik kennzeichnen in hohem Maße risikobehaftete Projekte. Das Risiko drückt sich insbesondere in der wirtschaftlichen Verwertbarkeit, der Einhaltung von Zeit- und Kostenrahmen sowie in technologischer Unsicherheit aus.³² In manchen Branchen wird aufgrund des damit einhergehenden Risikos sogar versucht, gerade nur so viel zu innovieren, um noch wettbewerbsfähig zu bleiben.³³ COOPER zeigte, dass nur 30 Prozent aller Neuprodukte neue Produktlinien und absolut neue Produkte am Markt sind, von denen sich jedoch 60 Prozent der untersuchten Unternehmen am ehesten Erfolg versprechen. Ursächlich für diesen Unterschied zwischen Erfolgser-

³² vgl. Gassmann (2006); vgl. Unger & Eppinger (2009)

³³ vgl. Eckert et al. (2007); vgl. Eckert et al. (2009)

wartung bei hochgradig neuen Produkten und tatsächlicher Marktplatzierung ist die Angst vor dem Risiko.³⁴

Risiko ist nach MACCRIMMON und WEHRUNG die Möglichkeit, dass zukünftige Ereignisse zu negativen Folgen für ein Unternehmen führen, da diesem die Kontrolle über die Ereignisse, die Kenntnis über die Art der Ereignisse oder die Zeit, um Unsicherheit in Sicherheit zu wandeln, fehlen.³⁵ SICOTTE und BOURGAULT identifizieren vier Arten von Unsicherheit: (1) Unsicherheit aus dem Markt heraus, (2) technische, bzw. projektbezogene Unsicherheit, (3) Unschärfe von Zielen und Anforderungen und (4) Komplexität.³⁶

Unsicherheit ist Folge einer unzureichenden Informationslage. Risiko ist hingegen eine Konsequenz von Unsicherheit. Im Verlauf des Innovationsprozess treten vier Risikoarten zu Tage. (1) Technisches Risiko entsteht aus der Unsicherheit, für das Entwicklungsproblem auch eine erfolgversprechende technische Lösung zu finden. (2) Zeitrisko basiert auf der Unsicherheit über die durchzuführenden Aufgaben. (3) Kostenrisiko betrifft die Unsicherheit der Kostenverursachung, insbesondere bezüglich von der Entwicklung verantwortete Kosten, die in späteren Produktlebensphasen wirksam werden. (4) Verwertungsrisiko folgt aus den Unsicherheiten bei der Markteinführung, die beispielsweise aus Kundenakzeptanz, erzielbarem Preis und veränderten rechtlichen oder gesellschaftlichen Randbedingungen resultieren.³⁷

In Bezug auf Projekte definiert GASSMANN Risiko als „*Summe der Möglichkeiten, dass sich Erwartungen des Projektsystems aufgrund von Störprozessen nicht erfüllen*“.³⁸ Die Störprozesse können technischer, sozialer oder ökonomischer Natur sein. Insbesondere das wirtschaftliche Risiko ist nicht unerheblich, bedenkt man, dass nach einer Studie für ein am Markt erfolgreiches Produkt durchschnittlich 170 Produktideen notwendig sind. Das heißt, nur 0,6 Prozent der generierten Ideen führten zum Produkterfolg. 9 Prozent aller in der Studie betrachteten Ideen wurden bis zur Marktreife entwickelt; von denen – bis auf die oben genannten 0,6 Prozent – nahezu alle direkt floppten, Verluste oder nur mittelmäßigen Erfolg einbrachten (vgl. Abbildung 4).³⁹ Für die Pharma-Industrie sprechen SPECHT et al. sogar von einer Erfolgsquote bezogen

³⁴ vgl. Cooper (2002), S.13ff.

³⁵ MacCrimmon, K. R. & Wehrung, D. A.: Taking Risks: The Management of Uncertainty. New York : Free press, 1986, zit. in Floricel & Ibanescu (2008)

³⁶ vgl. Sicotte & Bourgault (2008)

³⁷ vgl. Specht et al. (2002), S.25; vgl. Unger & Eppinger (2009)

³⁸ Gassmann (2006), S.10

³⁹ vgl. Wahren (2004), S.157ff.

auf alle Ideen von 0,01 Prozent.⁴⁰ Als Ursache für das Marktversagen nennt COOPER vier Hauptgründe⁴¹. (1) Unzureichende Marktforschung führt zu Produkten, die an den wesentlichen Wünschen und Bedürfnissen vorbeiführen, und zu Fehleinschätzung der tatsächlichen Marktakzeptanz. (2) Technische Probleme in Entwicklung und Produktion, insbesondere bei der Umstellung von Pilot- zu Massenfertigung, sind ebenfalls ein Grund. Eine unzureichende Kenntnis oder Fehleinschätzung des Marktes führt zu Konstruktionen, die der Kunde nicht bereit ist zu bezahlen (*over-engineering*). (3) Fehleinschätzungen in der Marktstrategie und ungenügende Marketingaufwendungen gefährden ebenfalls den Produkterfolg. (4) Zuletzt kann der richtige Zeitpunkt des Markteintritts über Erfolg und Misserfolg entscheiden. Insbesondere das Wettbewerbs-, aber auch sich veränderndes Kundenverhalten während der Entwicklung, erfordern die Besetzung des richtigen Zeitfensters, um ein Produkt in den Markt zu bringen.

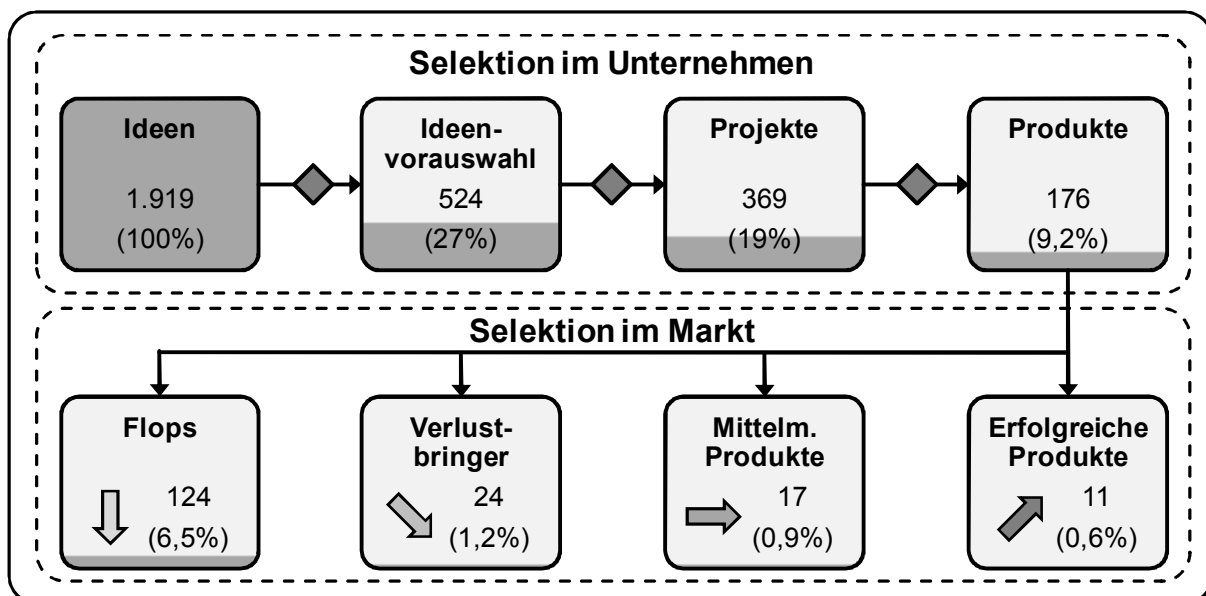


Abbildung 4: Selektionsprozess von der Idee zum Markterfolg

Quelle: Eigene Darstellung nach Wahren (2004), S.159

FLORICEL und IBANESCU begreifen Risiko und Unsicherheit in F&E als Folge vier dynamischer Umfeldfaktoren:⁴²

⁴⁰ vgl. Specht et al. (2002), S.25

⁴¹ vgl. Cooper (2002), S.22ff.

⁴² vgl. Floricel & Ibanescu (2008)

- (1) *Geschwindigkeit*: Die feststellbare Intensität von Veränderung innerhalb einer Branche bringt Fortschritte hinsichtlich Funktionalität, Leistung oder Kosten. In hochdynamischen Branchen besteht die ständige Gefahr der Produktüberalterung im Vergleich zum Wettbewerb. Ist diese Dynamik konstant, können Unternehmen sich durch Schaffung geeigneter Prozesse und Entscheidungswege anpassen.
- (2) *Turbulenz*: Das Risiko ergibt sich aus der Unstetigkeit der umfeldbezogenen Veränderung hinsichtlich vergangener Trends und erwarteter Richtungen. Vorgänge auf einer branchenübergreifenden Makroebene, beispielsweise Globalisierung, ändern die Marktverhältnisse für Unternehmen überraschend.
- (3) *Wachstum*: Expansion und die damit verbundene Möglichkeit zur Nutzung von Skaleneffekten werden zur Gefahr, wenn neue Kundengruppen den Markt betreten.
- (4) *Instabilität*: Sie ergibt sich aus dem Verhalten des Wettbewerbs, beispielsweise durch Produktnachbauten, Verkaufsoffensiven und Platzierung kostengünstigerer oder substituierender Produkte.

Folglich sind eine gezielte Risikobetrachtung und die entsprechende Ableitung von Konsequenzen erforderlich. Bekannte und dokumentierte Risiken lassen sich bewusst handhaben. Die Gesamtheit des Risikos wird durch die Elimination von Risiken, bspw. durch einen gezielten Technologiewechsel, verringert. Die Folge muss eine Prüfung auf neue Risiken und eine Neubewertung des Gesamtrisikos sein. Risiken, die sich nicht eliminieren lassen, können unter Umständen reduziert werden, beispielsweise durch Diversifikationsstrategien. Die übrigen Risiken teilen sich auf in solche, die sich in eine andere Organisation transferieren lassen, bspw. durch Versicherungen, und in das vom Unternehmen zu tragende Restrisiko. Zuletzt muss als Beitrag zur Entscheidungsfindung die erwartete Chance gegenüber dem Restrisiko abgewogen werden.⁴³ Für ein funktionierendes Risikomanagement ist es essentiell, sich über die vorhandenen, vor allem aber nicht vorhandenen Informationen bewusst zu sein.⁴⁴ ALBERS führt daher die Tragweitenanalyse als Problemlösungsaktivität in die Planung und Durchführung von Produktentwicklungsprozessen ein.⁴⁵ Ihr Ergebnis ist eine Übersicht bezüglich potentieller Chancen und Risiken und damit Entscheidungsgrundlage für weitere Maßnahmen zu deren Behandlung. WAHREN er-

⁴³ vgl. Boutellier & Kalia (2004)

⁴⁴ vgl. Gassmann (2008)

⁴⁵ vgl. Albers et al. (2002); vgl. Albers et al. (2005a); s. Kapitel 2.2.1, S.23ff.

gänzt, dass Bewertungsprozesse nicht nur aus dem Zusammenführen und der Analyse von Informationen bestehen, sondern auch die Selektionsentscheidung selbst beinhalten, und beide Aktivitäten häufig von unterschiedlichen Personen durchgeführt werden. Diese Entscheidungen über Innovationen sind trotz aller Sicherheitsbemühungen immer risikobehaftet.⁴⁶ Die Ursache hierfür liegt im Innovationsparadoxon begründet.

2.1.3 Innovationsparadoxon

„Wie kann jemand das planerisch vorherbestimmen, was er noch nicht weiß?“⁴⁷

Mit dieser Frage formuliert SCHOLL das Innovationsparadoxon. Auf der einen Seite können Innovationen nicht geplant werden. Die auftretenden Probleme sind von vornherein unbekannt, und entsprechend groß ist der Einfluss von Zufall und Irrtum. Gleichzeitig wird die gezielte Planung von Innovationen gefordert. Der Weg in das Unbekannte und Unplanbare wird durch Anlehnung an Bekanntes in kleinen Schritten mit dem Auffüllen kleiner Wissenslücken zurückgelegt.⁴⁸

Das Innovationsparadoxon zeigt, dass optimales Wissen und eine entsprechende Entscheidungsgrundlage bei Innovationen in unzureichendem Maße vorhanden sind. Durch die begrenzte Rationalität des Menschen (*bounded rationality*), also durch Entscheidungsfindung ohne vollständige Berücksichtigung aller Randbedingungen, seiner eingeschränkten mentalen Leistungsfähigkeit sowie der Unmöglichkeit, alle Informationen zu erfassen und zu nutzen, folgert SCHOLL, dass sich Unsicherheiten im Innovationsprozess nicht ausschalten lassen.⁴⁹ Aufgrund der unzureichenden Informationslage lassen sich Innovationsprobleme nicht logisch-systematisch lösen, sondern bedürfen einer eher intuitiven, kreativen Herangehensweise.⁵⁰

Dieser begrenzten Rationalität gegenüber steht das Controlling mit der Aufgabe der „Sicherstellung der Rationalität der Führung“, bspw. durch Zielplanung und -kontrolle, über Finanzkennziffern oder Bewertung von Risiko, Wettbewerbsvorteil, Terminierung, Ressourcennutzung und der Wahrscheinlichkeit technischen und wirtschaftli-

⁴⁶ vgl. Wahren (2004), S.151ff.

⁴⁷ Scholl (2004), S.6

⁴⁸ vgl. Scholl (2004), S.5ff.

⁴⁹ vgl. Scholl (2004), S.4

⁵⁰ vgl. Schlicksupp (1977), S.20f.

chen Erfolgs.⁵¹ Ein Bewusstsein über die Vermischung von Rationalem und nicht Rationalem zu entwickeln, ist für Bewerter und Entscheidungsträger erforderlich.⁵²

Durch Entscheidungen wird der betrachtete Lösungsraum reduziert und gleichzeitig und gleichermaßen Unsicherheit in Sicherheit gewandelt.⁵³ In einer Studie von SCHUH legten spätestens in der Konzeptphase eines Neuentwicklungsprojekts 76 Prozent der befragten Unternehmen den Lösungsraum so fest, dass eine weitere Suche nach Alternativen ausgeschlossen wird.⁵⁴ Diese Entscheidungen auf höchst unsicherer Basis führen zu zeit- und kostenintensiven Iterationen in der nachfolgenden Serienentwicklung.⁵⁵ Dem kann durch eine frühzeitige Beachtung aller entwicklungsrelevanten Aspekte durch Ansätze, wie der der Integrierten Produktentwicklung und damit einhergehende Vorgehensweisen, wie Simultaneous Engineering⁵⁶ und Kernteams begegnet werden.⁵⁷

Dass das frühe Festlegen und Aussondern kritisch ist, ist keine neue Feststellung. So schrieb bereits 1788 FRIEDRICH SCHILLER an den Dichter CHRISTIAN KÖRNER:

*„Ihr Herren Kritiker [...] schämt oder fürchtet Euch vor dem augenblicklichen, vorübergehenden Wahnwitz, der sich bei allen eigenen Schöpfungen findet, und dessen längere oder kürzere Dauer den denkenden Künstler von dem Träumer unterscheidet. Daher Eure Klagen über Unfruchtbarkeit, weil Ihr zu früh verwerft und zu streng sondert.“*⁵⁸

Wie oben skizziert, besteht der überwiegende Teil der Produktneuheiten aus angepassten oder ergänzten bestehenden Lösungen (vgl. Abbildung 2). Gerade bei hochkomplexen Produkten ist eine komplette Neukonstruktion riskant und kostspielig. Zur

⁵¹ Bürgel et al. (2006), S.214

⁵² vgl. Wahren (2004), S.154

⁵³ vgl. Browning et al. (2002)

⁵⁴ vgl. Schuh et al. (2007), S.14; Schuh et al. teilen ein nach Produktplanung, Konzeptentwicklung, Serienentwicklung/Produktionsvorbereitung, Anlauf und Serie

⁵⁵ vgl. Schuh et al. (2007); vgl. Schuh et al. (2008a)

⁵⁶ „Simultaneous Engineering ist eine Organisationsstrategie, die eine Senkung der Produktentwicklungszeiten und Kosten bei gleichzeitiger Steigerung der Qualität des Produktes und der Produktionseinrichtungen durch systematische Verbesserung der Zusammenarbeit der internen Funktionsbereiche Entwicklung, Produktionsplanung, Produktion und Administration und der Zusammenarbeit mit den Entwicklungs- und Produktionsbereichen der Kunden, der Zulieferer des Zulieferers sowie der Produktionsmittelhersteller verfolgt, mit dem Ziel, die Abläufe weitestgehend zu parallelisieren und die zeitgleiche Entwicklung und Erstellung von Produkt und Produktionsmittel sicherzustellen.“ Albers (1994)

⁵⁷ vgl. Albers (1994), vgl. Ehrlenspiel (2003), vgl. Albers (2010, Veröffentlichung in Vorbereitung)

⁵⁸ vgl. Süßmann (2000), S.79

Risikominimierung und Kostenreduzierung werden Entwicklungsprozesse mit dem Ziel der *Business Process Excellence* perfektioniert.⁵⁹ Innovation findet hier schrittweise auf Basis erprobter Technologien statt. Bei der Anpassung und Ergänzung bestehender Produkte und Technologien kommt es oft zur „*emergency innovation*“, bei der die Integration bestehender Teilsysteme zum Gesamtsystem neue Lösungen bei stark eingeschränktem Lösungsraum erfordert.⁶⁰ Die Verwendung bekannter Teilsysteme, Produkte oder Technologien führt zu vermeintlicher Sicherheit, sodass eine Analyse potentieller Risiken nicht durchgeführt wird.

2.1.4 Produktivitätsdilemma

Dem amerikanischen Ingenieur und Erfinder EDISON wird der Ausspruch nachgesagt, Genie (gelegentlich ist auch von Erfindung oder Invention die Rede) sei zu einem Prozent Inspiration und zu 99 Prozent Transpiration. In dieser Aussage spiegeln sich zwei Aspekte wieder, zwischen denen unter Innovationsdruck stehende Unternehmen einen Spagat leisten müssen. Inspiration geht mit Freiheit, Offenheit, Spontaneität und Chaos einher, während Transpiration für Disziplin und operative Leistungsfähigkeit steht.⁶¹ Der Begriff des Produktivitätsdilemmas geht auf ABERNATHY zurück, der feststellte, dass die Abnahme des wirtschaftlichen Erfolgs eines Unternehmens in Relation zu dessen Effizienz- und Produktivitätsstreben steht. Er vermutete, dass die Orientierung eines Unternehmens hin zu Produktivitätszuwächsen seine Flexibilität und Innovationsfähigkeit hemmt und damit letztlich die Wettbewerbsfähigkeit verringert.⁶²

Effektivität und Effizienz sind „*Schlüsselziele*“ im Zielsystem von F&E. Nur deren gemeinsame Erreichung bringt eine wirtschaftliche F&E mit sich.⁶³ Zur Produktivitätssteigerung werden prozessorientierte Qualitätsmanagementansätze, beispielsweise auf Basis der DIN EN ISO 9001 und der eher leistungsorientierten Ansätze wie DIN EN ISO 9004, Six Sigma oder dem Total Quality Management (TQM) eingesetzt.⁶⁴ Das gemeinsame grundlegende Element dieser Qualitätsmanagementansät-

⁵⁹ vgl. Eckert et al. (2009)

⁶⁰ vgl. Eckert et al. (2007)

⁶¹ vgl. Chu et al. (2004)

⁶² vgl. Abernathy (1981), S.3f.; vgl. Benner & Tushman (2003)

⁶³ vgl. Specht et al. (2002), S.18f.; Das Zielsystem der F&E nach Specht umfasst bereichsweit Ziele für F&E-Potentiale sowie Ziele für den F&E-Prozess (Technologieentwicklung, Konzeptentwicklung, Produkt-/Prozessentwicklung), die F&E-Objekte (Technologie, Konzept, Produkt/Prozess) sowie Ziele für die Ergebnisse, die einen Beitrag zur Erreichung der ökonomischen und nicht-ökonomischen Unternehmensziele leisten.

⁶⁴ vgl. DIN9001; vgl. DIN9004; vgl. Toutenburg & Köpfel (2009); vgl. Betzl (1996)

ze ist ein auf Effizienz fokussiertes Prozessmanagement⁶⁵. Prozessmanagement beinhaltet prinzipiell eine Abfolge dreier Aktivitäten: (1) Analyse der vorhandenen Routineabläufe, (2) Prozessverbesserung durch inkrementelle Veränderung und Rationalisierung und (3) kontinuierliche Verbesserung und Anwendung der bewährten Methoden (*best practice*)⁶⁶. Prozessmanagement wird ungeachtet der Vor- und Nachteile im Kontext der eigenen Unternehmenskultur eingesetzt, da andere namhafte Unternehmen dies öffentlichkeitswirksam tun und somit indirekten Druck zur Nachahmung ausüben. Es besteht zudem die Gefahr, dass sich Kernkompetenzen durch Prozessmanagement festsetzen und in einem sich schnell ändernden Unternehmensumfeld langfristig zum Stolperstein werden können.⁶⁷ Im Jahr 2007 berichtete das Magazin BUSINESSWEEK über das als hochkreativ geltende Unternehmen 3M, bei dem der Umsatzanteil von neuen Produkten (Markteintritt vor maximal fünf Jahren) von einem Drittel auf ein Viertel zurückging, während zeitgleich die Organisation auf Effizienz getrimmt wurde.⁶⁸

Prozessmanagement verbessert Kommunikation und Interaktion durch die Entstehung interner Normen, Regeln und Rollenverteilungen. Daher fördert es Ressourcenverteilungen, Entscheidungsfindung und Problemlösung, führt aber im Bereich von F&E zu einer veränderten Schwerpunktsetzung zwischen unterschiedlichen Innovationsarten, wie verschiedene Studien zeigen konnten.⁶⁹ BENNER und TUSHMAN stellten in einer Längsschnittstudie fest, dass Prozessmanagement-Aktivitäten zu einer Erhöhung der „ausbeutenden“ inkrementellen Innovationen führte und die entsprechenden Unternehmen sich zunehmend auf diese Strategie konzentrierten.⁷⁰ Durch starke Kundenorientierung im Prozessmanagement und eine ständige Erhöhung des Kundennutzens durch kontinuierlich verbesserte Produktions- und Vertriebsprozesse zielt der Nutzen neuer Produkte auf bereits bestehende Kundengruppen und fördert damit inkrementelle Innovation, hemmt jedoch Radikalinnovationen. BENNER und TUSHMAN folgern, dass prozessorientierte Unternehmen auf Basis ihres Wissens und ihrer Erfahrung Bestehendes „ausbeuten“ und nicht Neues „erfor-

⁶⁵ Das vom Qualitätsmanagement ausgehende Prozessmanagement, wie es hier dargestellt wird, entspricht nicht dem Management des Produktentstehungsprozesses, wie es das integrierte Produktentstehungsmodell (iPeM) nach Albers erlaubt; vgl. Albers et al. (2008a); vgl. Albers 2010

⁶⁶ vgl. Benner & Tushman (2002)

⁶⁷ vgl. Benner & Tushman (2003)

⁶⁸ vgl. Hindo (2007)

⁶⁹ vgl. Benner & Tushman (2003)

⁷⁰ vgl. Benner & Tushman (2002)

schen“. In reifen Prozessen werden Aktivitäten planmäßig durchgeführt, Zwischenfälle und Ausnahmen sind sehr selten. Externe Impulse werden gefiltert oder abgepuffert, sodass Routineprozesse nicht gestört werden.⁷¹ Solche Unternehmen sind während stabiler Phasen im Branchenlebenszyklus gut aufgestellt. Ist das Unternehmensumfeld jedoch dynamisch und eher von Unsicherheit und Veränderung geprägt, verringert Prozessmanagement die Reaktionsfähigkeit von F&E.⁷² Wie ALBERS feststellt, hängt die Zukunftsfähigkeit eines Unternehmens von der Neuproduktentwicklung ab, wenngleich der überwiegende Teil der Entwicklungstätigkeiten und des Umsatzes aus Anpassungs- und Variantenkonstruktionen stammen.⁷³ Und hier führen die Prozessmanagementaktivitäten nur bedingt zu einer gesteigerten Effektivität im Unternehmen.⁷⁴ Damit bestätigt sich ABERNATHYS Vermutung, dass kurzfristige Effizienz und langfristige Anpassungsfähigkeit unverträglich sind. Gleichzeitig effizient „ausbeuten“ und wandlungsfähig „forschen“ zu können, erfordert eine gewisse „Beidhändigkeit“, die sich beispielsweise durch differenziert eingebundene forschende Untereinheiten und Meta-Routinen (= Routinen zur Änderung von Routinen) realisieren lässt.⁷⁵

Die Effektivität der Entwicklung durch das Erreichen von Kundennutzen und die Effizienz durch schlanke Entwicklungsprozesse zu erhöhen, ist das Ziel der Leitlinien des *Lean Innovation*-Ansatzes nach SCHUH. *Lean Innovation* ist der Versuch, *Lean Thinking* auf Innovationsmanagement anzuwenden.⁷⁶ In der Theorie sollen die Leitlinien mit zunehmendem Reifegrad in einem Veränderungsprozess schrittweise im Unternehmen integriert werden (vgl. Abbildung 5). Während in der ersten Stufe (*Adhoc*) keine Orientierung an den Leitlinien festzustellen ist, basiert in der fünften Stufe maximaler Reife die Forschungs- und Entwicklungskultur vollständig auf den Leitlinien und verbessert sich kontinuierlich (*Lean Optimized*).⁷⁷

Beim Produktivitätsdilemma wird auch von einem organisatorischen Dilemma zwischen operativer Stabilität und innovativer Dynamik gesprochen.⁷⁸ So greifen unter

⁷¹ vgl. Adler et al. (2009)

⁷² vgl. Benner & Tushman (2003)

⁷³ vgl. Albers (1994)

⁷⁴ vgl. Benner & Tushman (2003)

⁷⁵ vgl. Adler et al. (2009)

⁷⁶ vgl. Schuh et al. (2008b); *Lean Thinking* ist ein stark kundenorientierter Ansatz, der Verschwendung zu reduzieren und wertschöpfende Aktivitäten zu fördern versucht.

⁷⁷ vgl. Schuh et al. (2008a)

⁷⁸ vgl. Hauschildt (1993), S.27ff.

Zeitdruck, z.B. beim Überschreiten von Meilensteinen, erfolgreiche Unternehmen auf bewährte Teillösungen zurück.⁷⁹

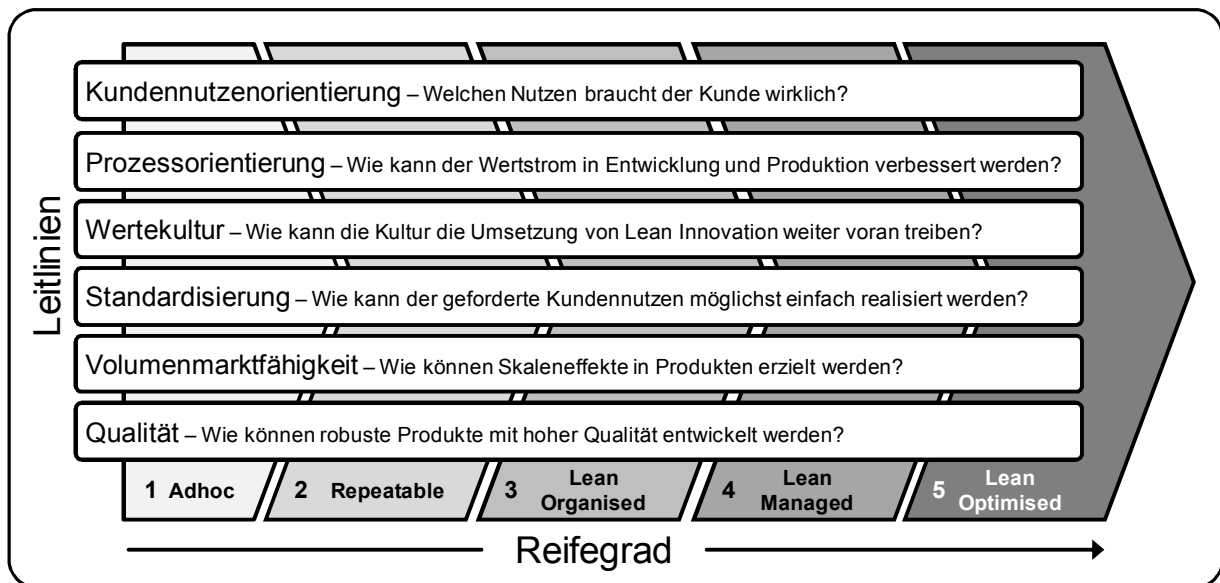


Abbildung 5: Lean Innovation-Leitlinien und Reifegradmodell

Ziel der Lean Innovation Leitlinien ist es, im Sinne von Kundennutzen effektive Produkte effizient zu entwickeln. Die organisatorische, technische und kulturelle Erschließung der Leitlinien und die entsprechende Integration ins Unternehmen erfolgt schrittweise, wie es das dargestellte Reifegradmodell beschreibt.

Quelle: Eigene Darstellung nach Schuh et al. (2008a)

Eine Alternative zur Minimierung des Innovationsrisikos und zur internen Optimierung des Innovationsprozesses ist es, Innovationsprozesse durch die bewusste Übernahme Innovationen Dritter von optimierten Routineprozessen zu trennen, bspw. mittels Fremdvergabe oder Open Innovation-Strategien.⁸⁰ Die Unternehmensorganisation kann sich auf wiederkehrende, sichere, zuverlässige, reibungsarme und kostengünstige Routineprozesse konzentrieren, während die einmaligen, unvorherseh- und unplanbaren sowie schwer bewältigbaren Innovationen außerhalb der optimierten internen Prozesse stattfinden. KELLEY zitiert eine von dem Design-Unternehmen IDEO in Auftrag gegebene Studie, die Innovation als eine der vier Kernursachen nennt, weshalb Firmen Entwicklungsaufgaben extern in Auftrag geben.⁸¹ Das Aus-

⁷⁹ vgl. Schuh et al. (2007), S.10

⁸⁰ vgl. Hauschild (1993), S.32ff.; vgl. Chesbrough (2006); vgl. Vanhaverbeke & Cloudt (2006); vgl. Albers & Ili (2008); vgl. Enkel et al. (2009)

⁸¹ vgl. Kelley (2002), S.11

gliedern von Innovation kann in verschiedensten Kooperationsformen geschehen, bspw. durch Auftragsforschung, Innovationskooperationen oder Gemeinschaftsforschung.⁸²

2.1.5 Innovationsmanagement

Innovationsmanagement ist die Steuerung von Innovationsprozessen. Risikoreiche Prozesse sind anders zu führen als Routinevorgänge. Nach GASSMANN scheitern die meisten Innovationsvorhaben aufgrund einer unzureichenden Risikobetrachtung zu Projektbeginn.⁸³ Ein geeignetes Innovationsmanagement ist somit erforderlich, um trotz Innovationsparadoxon und Produktivitätsdilemma einen Produkterfolg zu erzielen.

Grundsätzlich ist Innovationsmanagement in seiner stark von den Wirtschaftswissenschaften geprägten Sicht vom F&E-Management abzugrenzen, da die Merkmale von innovationsbezogener F&E-Aktivitäten sich nicht auf alle Innovationsprozesse übertragen lassen. Die grundlegenden Unterschiede sind nach HAUSCHILDT der Bezug von F&E auf naturwissenschaftliche Prozesse und nicht auf administrative, eine einfachere Systematisierbarkeit und, zumindest in Grenzen, Planbarkeit sowie die Möglichkeit, sich gegenüber anderen Innovationsprozessen leichter institutionalisieren und organisieren zu lassen.⁸⁴ Das F&E-Management endet mit dem Abschluss der Produktentwicklung, ist jedoch mit den nachfolgenden Aktivitäten eng verbunden (vgl. Abbildung 6). Das Technologiemanagement deckt den Bereich der naturwissenschaftlich-technischen Kenntnisse ab.⁸⁵

Aufgrund der oben genannten Aspekte muss sich Innovationsmanagement vom Management in Routinesituationen grundlegend unterscheiden.⁸⁶

GASSMANN sieht Innovationsmanagement auf normativer, strategischer und operativer Ebene. Die normative Ebene formuliert durch Leitbilder die Vision und Mission des Unternehmens. Die strategische Ebene nimmt unternehmensinterne und -externe Perspektiven auf Ressourcen, Technologien, Wissen und Kompetenzen sowie auf Märkte, Kunden, Wettbewerb, Zulieferer und Partner wahr. Insbesondere unter Berücksichtigung von Kunde, Wettbewerb und eigenen Kernkompetenzen findet Technologie- und Innovationsmanagement statt. Die operative Ebene fokussiert

⁸² vgl. Hauschild (1993), S.53ff.

⁸³ vgl. Gassmann (2008)

⁸⁴ vgl. Hauschildt (1993), S.25f.

⁸⁵ vgl. Specht et al. (2002), S.16f.

⁸⁶ vgl. Hauschildt (1993), S.22

auf die Gestaltung und Durchführung des Innovationsprozesses. Das Management regelt Leistung, Qualität, Kosten und Zeit unter Anwendung von Methoden zu Effektivitäts- und Effizienzsteigerung.⁸⁷

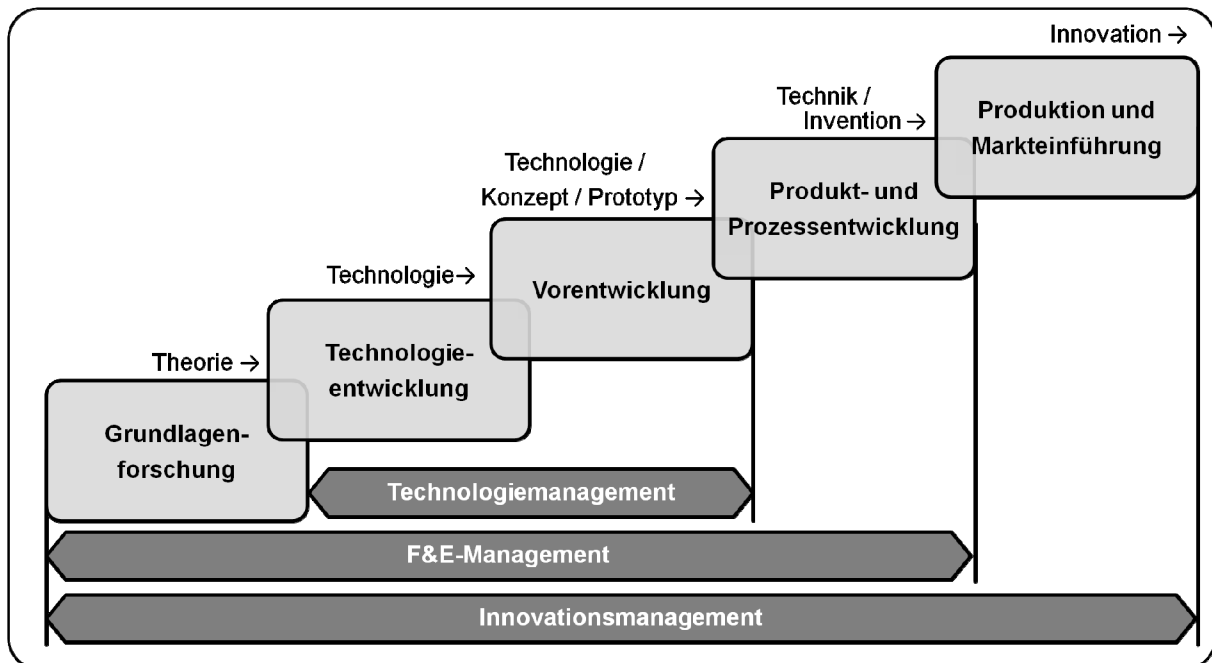


Abbildung 6: Technologiemanagement, F&E-Management und Innovationsmanagement

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Specht et al. (2002), S.16

Zur Erhöhung der Entwicklungsproduktivität und zur Auflösung des Innovationsparadoxons entwickelte SCHUH den *Lean Innovation*-Ansatz. Dieser sieht eine alternativenorientierte Produktentwicklung vor, deren Kern die parallele Lösungsentwicklung ist und die den Lösungsraum erst bei einer ausreichenden Informationsbasis einengt. Grundlage hierfür ist ein ausgereiftes Wissensmanagementsystem, das es auch erlaubt, zwischenzeitlich gestoppte Entwicklungen bei Bedarf wieder aufzunehmen. Der Mehraufwand der relativ langen Parallelentwicklung („*combine, test, decide*“) von Lösungsalternativen soll durch weniger Iterationen kompensiert werden, wie sie in Folge später Fehlererkennung bei konventionellen Ansätzen („*fail and react*“) der Fall wären.⁸⁸

In der Innovationsliteratur ist eine Vielzahl von präskriptiven Innovationsprozessen und Modellen zu finden, wie sie beispielsweise MEBOLDT für die Produktentwicklung

⁸⁷ vgl. Gassmann (2006); vgl. Gassmann (2008)

⁸⁸ vgl. Schuh (2008)

untersuchte.⁸⁹ Einen allgemeinen vorschreibbaren Entwicklungsprozess kann es nach ALBERS nicht geben. Kein Entwicklungsprozess gleicht einem anderen und jeder verläuft in einzigartiger Weise.⁹⁰ Für die Modellierung und Repräsentation von Referenzprozessen für die innovationsorientierte Produktentwicklung und die Ableitung und Implementierung konkreter Prozesse stellt ALBERS das integrierte Produktentstehungsmodell (iPeM) bereit. Dieses greift analog zu SCHUHS oben genanntem Lean Innovation-Ansatz den Wissensmanagement-Aspekt durch eine kontinuierliche Ablage und Verknüpfung von Zielen und Objekten, also von Entscheidungen und validierten Ergebnissen, auf.⁹¹

2.1.6 Zusammenfassung

Der Begriff der Innovation kann sich auf Produkte, aber auch auf Produktionstechnologien, Märkte oder organisatorische Strukturen beziehen. Produktinnovation meint dabei nicht die reine technische Erfindung, die zuvor notwendige Invention, sondern die Durchsetzung dieser im Markt. Im Begriff der Innovation schwingt der Bezug zu etwas Neuem mit. Die meisten Neuprodukte basieren jedoch auf vorhandenen Lösungen und verbessern oder ergänzen diese. Radikalinnovationen erfordern die Beachtung neuer Kundenwünsche und -bedürfnisse sowie neuer Technologien. Inkrementelle Innovationen verbessern den Kundennutzen und dessen technische Umsetzung schrittweise. Das Neue ist in seinen Eigenschaften nicht vorhersehbar und paradoxerweise nicht planbar. Entsprechend groß ist das Risiko, das Innovationsprojekte mit sich bringen. Der Drang nach Exzellenz in Prozessen geht einher mit Präzision, Kontinuität und Wiederholung, fördert inkrementelle Innovation und hemmt die durch Abweichung und Zufall geprägte Radikalinnovation. Damit verhindert die Prozessorientierung vieler Unternehmen, auf ein sich wandelndes Unternehmensumfeld flexibel mit neuen Produkten reagieren zu können.

Dem Innovationsmanagement kommt die Aufgabe zu, durch geeignete Ansätze, Systeme, Methoden und Prozesse, das Innovationsparadoxon und das Produktivitätsdilemma zu lösen und die Zukunft eines Unternehmens in immer dynamischer werdenden und sich schnell wandelnden Märkten zu sichern.

⁸⁹ vgl. Meboldt (2008)

⁹⁰ vgl. Albers et al. (2008a); vgl. Albers (2010, Veröffentlichung in Vorbereitung)

⁹¹ vgl. Albers & Meboldt (2007); vgl. Albers (2010, Veröffentlichung in Vorbereitung)

2.2 Produktentwicklung

Die Produktentwicklung als integrierendes Element aller produktbeeinflussender Faktoren ist der Kern der Produktentstehung.⁹² Die Produktentstehung umfasst den gesamten Prozess, der von der ersten Projektierungsaktivität bis hin zur Produktnutzung durchlaufen wird. Darin schließt sich die Produktentwicklung an planende und projektierende Aktivitäten an und ist Grundlage für Fertigung, Vermarktung und folgende Nutzung⁹³. In anderen Worten heißt das, die Produktentwicklung führt aus dem Markt folgende Ziele, also Kundenwünsche und -bedürfnisse, Wettbewerbssituation und eigene Unternehmensinteressen, in eine validierte Produktgestalt über. Produktentstehung wird als Lösen eines Problems, also Auflösen eines Unterschieds zwischen Soll- und Ist-Zustand gesehen. Ihre Aktivitäten und Zusammenhänge lassen sich wie im Weiteren dargestellt über kaskadierte fraktale Problemlösungsprozesse modellieren.⁹⁴ Das heißt jede relativ über- und untergeordnete Tätigkeit entspricht einer Problemlösungsaktivität.

2.2.1 Entwicklung als Problemlösung

In der Konstruktions- und Entwicklungsmethodik existiert der Ansatz, Produktentwicklung als Problemlösung aufzufassen und durch geeignete Integration von Problemlösungsprozessen zu unterstützen.⁹⁵

Problemdefinition

PAHL und BEITZ kennzeichnen ein Problem durch drei Elemente: (1) unerwünschter Anfangszustand, (2) erwünschter Endzustand und (3) Hindernisse, die das Erreichen des Endzustands vereiteln. Ist der Weg zum Endzustand bekannt, wird von einer Aufgabe gesprochen.⁹⁶ ALBERS hingegen definiert ein Problem wie folgt:

„Ein Problem ist eine Abweichung zwischen dem beliebig unbekanntem Anfangszustand (Ist-Zustand) und einem gewünschten beliebig vagen

⁹² vgl. Ehrlenspiel (2003), S.1

⁹³ vgl. VDI2220

⁹⁴ vgl. Albers & Meboldt (2006); vgl. Albers et al. (2008a); vgl. Albers et al. (2010)

⁹⁵ vgl. Rutz (1985), S.2; vgl. Hacker et al. (1996); vgl. Pahl & Beitz (1997), S.59ff.; vgl. Albers et al. (2002); vgl. Ehrlenspiel (2003), S.46ff.; vgl. VDI2221, S.3; vgl. Albers (2010, Veröffentlichung in Vorbereitung)

⁹⁶ vgl. Pahl & Beitz (1997), S.59ff.

*Endzustand (Soll-Zustand), verbunden mit dem – zumindest teilweise – unbekanntem Weg vom Ist zum Soll.*⁹⁷

Dabei ist eine Aufgabe im Sinne von PAHL und BEITZ nach ALBERS ebenfalls ein Problem, das sich durch einen weitgehend bekannten Weg auszeichnet. Andere unterscheiden Aufgabe und Problem anhand des Erfahrungsschatzes des Problemlösers. DÖRNER schreibt: „Was für ein Individuum ein Problem oder eine Aufgabe ist, hängt von seiner Vorerfahrung ab.“⁹⁸ Nach RUTZ hilft Erfahrung, Probleme sehr schnell zu lösen, bzw. diese auf einfach zu erfüllende Aufgaben zurückzuführen (vgl. Abbildung 7).⁹⁹

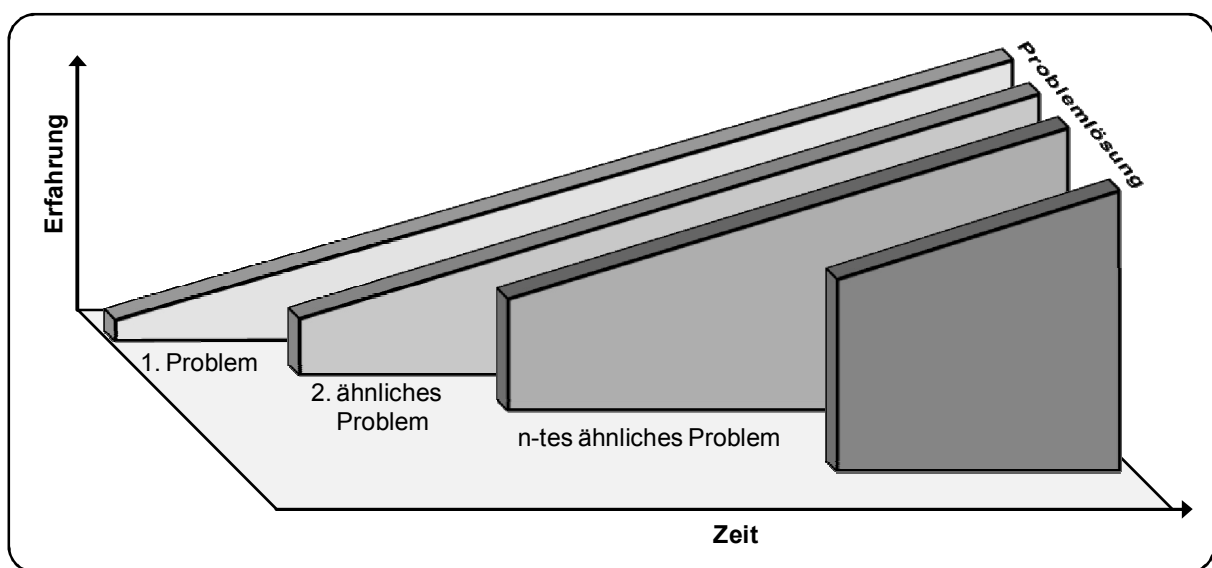


Abbildung 7: Zunahme an Erfahrung bewirkt zielgerichtetere Handlungen und höhere Effektivität
Die Abbildung stellt den Zusammenhang zwischen zeitlichem Fortschritt und Problemlösungserfahrung stark vereinfacht linear dar. Ein erfahrener Problemlöser kann auf einem höheren Erfahrungsniveau einsteigen und das in ähnlicher Weise schon bekannte Problem schneller lösen.

Quelle: Eigene Darstellung nach Rutz (1985), S.44

Problemart und -situation

Im Gegensatz zur Problemdefinition sind bei Aufgaben die notwendigen Mittel und Methoden bekannt.¹⁰⁰ EHRENSPIEL ergänzt, bei einer Aufgabe müsse zudem auch

⁹⁷ vgl. Albers et al. (2005a), vgl. Saak (2006), S.6

⁹⁸ Dörner zit. in Rutz (1985), S.59

⁹⁹ vgl. Rutz (1985), S.59

¹⁰⁰ vgl. Pahl & Beitz (1997), S.59ff.

der Lösungsraum klar eingegrenzt sein. Damit unterscheidet er die Aufgabe vom Zielproblem, bei dem zwar auch Mittel bekannt und verfügbar sind, der Lösungsraum hingegen unklar und schwer erkennbar ist. Im Falle unzulänglich bekannter oder verfügbarer Mittel können sich Mittelprobleme bei einem definiertem Lösungsraum und Ziel- und Mittelprobleme bei unklarem Lösungsraum ergeben.¹⁰¹

SCHLICKSUPP identifiziert fünf Elementarprobleme, die es in Problemlösungsprozessen zu lösen gilt:¹⁰²

- (1) Suchprobleme sind charakterisiert durch die Suche nach Strukturen, die sich in ihren Merkmalen gleichen oder ähnlich sind. Gemeint ist nicht die Lösungssuche.
- (2) Auswahlprobleme betreffen die Auswahl von Alternativen bezüglich einer gegebenen Zielsetzung.
- (3) Analyseprobleme bestehen aus dem Erkennen von Strukturen, deren elementarem Aufbau und Eigenschaften.
- (4) Konstellationsprobleme erfordern die Anordnung von Elementen zu einer Struktur mit gewünschten Soll-Eigenschaften.
- (5) Konsequenzprobleme zeichnen sich durch die Logik und Anwendung von Gesetzmäßigkeiten aus. Strukturen werden unter Berücksichtigung ihrer elementaren Beziehungen verändert.

Problemarten lassen sich auch anhand des Grades ihrer Strukturierbarkeit unterscheiden. Wohlstrukturierte Routineprobleme erlauben eine zwingende Lösungsfindung durch Befolgen eines Prozesses oder eines Algorithmus. Schlechtstrukturierte Probleme hingegen, wie beispielsweise Innovationsprobleme, erlauben nur eine ungerichtete, intuitive und zufallshafte Ideensuche.¹⁰³

ALBERS unterscheidet zwei Situationsarten, die eine Problemlösung erfordern (vgl. Abbildung 8). (1) Die Notsituation ist eine Abweichung von Soll- und Ist-Zustand, die sich sofort gegenwärtig auswirkt und nicht vom Problemlöser ausgelöst wurde. Der Ist-Zustand weicht dabei ungewollt vom gewünschten Soll-Zustand ab. Ziel der Problemlösung ist es, in möglichst kurzer Zeit den Ist-Zustand wiederherzustellen. (2) Eine Planungssituation führt zu einer initiierten Problemlösung mit dem Ziel, einen ge-

¹⁰¹ vgl. Ehrlenspiel (2003), S.52ff.

¹⁰² vgl. Schlicksupp (1977), S.60ff.

¹⁰³ vgl. Schlicksupp (1992), S.59

wünschten Soll-Zustand zu erreichen. Die gewollte Abweichung wird erst in der Zukunft wirksam.¹⁰⁴

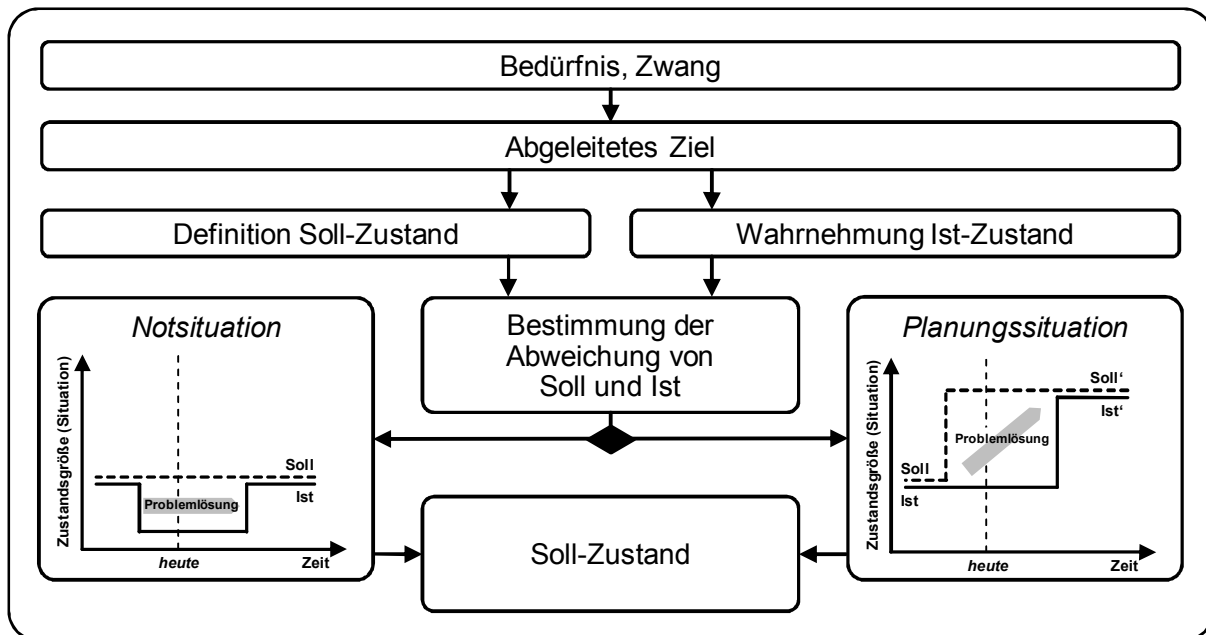


Abbildung 8: Bewusstes Handeln und Problemsituationen

Quelle: Eigene Darstellung nach Schlicksupp (1977), S.34, Albers et al. (2002) und Albers & Meboldt (2006)

Systematische Problemlösung

Für eine effiziente und effektive Lösungsfindung wurden zur Unterstützung des Problemlösers oder eines Problemlösungsteams im Sinne einer bewusst einzusetzenden Arbeitstechnik, Problemlösungsprozesse entwickelt.¹⁰⁵ SAAK gibt eine Übersicht über die im Kontext der Produktentwicklung bekannten und etablierten Problemlösungsprozesse.¹⁰⁶ An dieser Stelle wird nur auf den von ALBERS entwickelten und im weiteren Verlauf der Arbeit immer wieder aufgegriffenen SPALTEN-Ansatz für eine zielgerichtete Lösungsfindung eingegangen.¹⁰⁷

¹⁰⁴ vgl. Albers et al. (2002); vgl. Saak (2006), S.13ff.

¹⁰⁵ vgl. Ehrlenspiel (2003), S.79ff.

¹⁰⁶ vgl. Saak (2006), S.34ff.

¹⁰⁷ vgl. Albers et al. (2002); vgl. Albers et al. (2005a); vgl. Albers & Meboldt (2006)

Das Akronym SPALTEN steht für:

- **S**ituationsanalyse
- **P**roblemeingrenzung
- **A**lternative Lösungen
- **L**ösungsauswahl
- **T**ragweitenanalyse
- **E**ntscheiden & Umsetzen
- **N**acharbeiten und Lernen

Die sieben Teilschritte werden sequentiell oder problemangepasst dynamisch durchlaufen. Der Ansatz besitzt fraktalen Charakter, sodass sich innerhalb eines Schrittes wieder ein SPALTEN-Prozess durchlaufen lässt. Besonderes Augenmerk richtet der SPALTEN-Prozess auf das Problemlösungsteam und dessen Zusammenstellung, die während des Problemlösungsprozesses anforderungsorientiert dynamisch angepasst wird.

Die einzelnen Schritte werden im Folgenden kurz charakterisiert (vgl. Abbildung 9):¹⁰⁸

- *Situationsanalyse(SA)*: Im ersten Schritt wird die Situation erfasst. Informationen werden gesammelt, strukturiert und dokumentiert und dienen den nachfolgenden Schritten als Grundlage.
- *Problemeingrenzung(PE)*: Auf Basis der Situationsanalyse werden die problemrelevanten Informationen herausgefiltert, um die Ursache des Problems zu identifizieren. Hypothesen werden entwickelt und untersucht. Ergebnis dieses Schritts ist eine detaillierte Problemformulierung.
- *Alternative Lösungen (AL)*: Der Schritt konzentriert sich auf die Suche nach alternativen Lösungen zur Problemlösung und eine erste Einordnung bezüglich ihrer prinzipiellen Machbarkeit. Er schließt jedoch eine vergleichende Lösungsbewertung und -auswahl aus.
- *Lösungsauswahl (LA)*: Die Analyse und Bewertung der generierten Lösungsalternativen führt zur Auswahl der vielversprechendsten Ideen. Voraussetzung ist eine geeignete Auswahl an Bewertungskriterien. Die nicht weiter verfolgten Ideen werden in einem kontinuierlichen Ideen- und Informationsspeicher (KIS) für spätere Problemlösungen abgelegt.
- *Tragweitenanalyse(TA)*: Während der Tragweitenanalyse werden für die ausgewählte Lösung vorhersehbare potentielle Risiken und Chancen sowie deren Ursachen identifiziert und analysiert. Ziel ist es, Risiken und Chancen frühzei-

¹⁰⁸ vgl. Albers et al. (2005a)

tig abzuschätzen sowie Szenarien der Realisierungsvoraussetzungen und Strategien zu entwickeln, um diese zu minimieren bzw. zu nutzen.

- *Entscheiden & Umsetzen (EU)*: Die Entscheidung, eine in den vorhergegangenen Schritten entwickelte Lösung, umzusetzen wird getroffen und dokumentiert. Die anschließende Umsetzung berücksichtigt die Strategien zur Risikominimierung und Chancennutzung.
- *Nacharbeiten und Lernen (NL)*: Der letzte Schritt beruht auf dem Ansatz des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) und zielt darauf ab, durch Reflektion des durchlaufenen Problemlösungsprozesses, Erfahrungen auszuwerten und Verbesserungsvorschläge zu dokumentieren und einzubringen.

Bevor von einem Schritt zum nächsten gegangen wird, sieht SPALTEN zwei Überprüfungsaktivitäten vor. Zum einen ist es notwendig, einen Informationscheck (IC) durchzuführen. Dieser stellt sicher, dass für den folgenden Schritt ausreichend Informationen verfügbar sind. Zum anderen muss die Zusammensetzung des Problemlösungsteams (PLT) geprüft und gegebenenfalls hinsichtlich der im folgenden Schritt benötigten Kompetenzen angepasst werden.

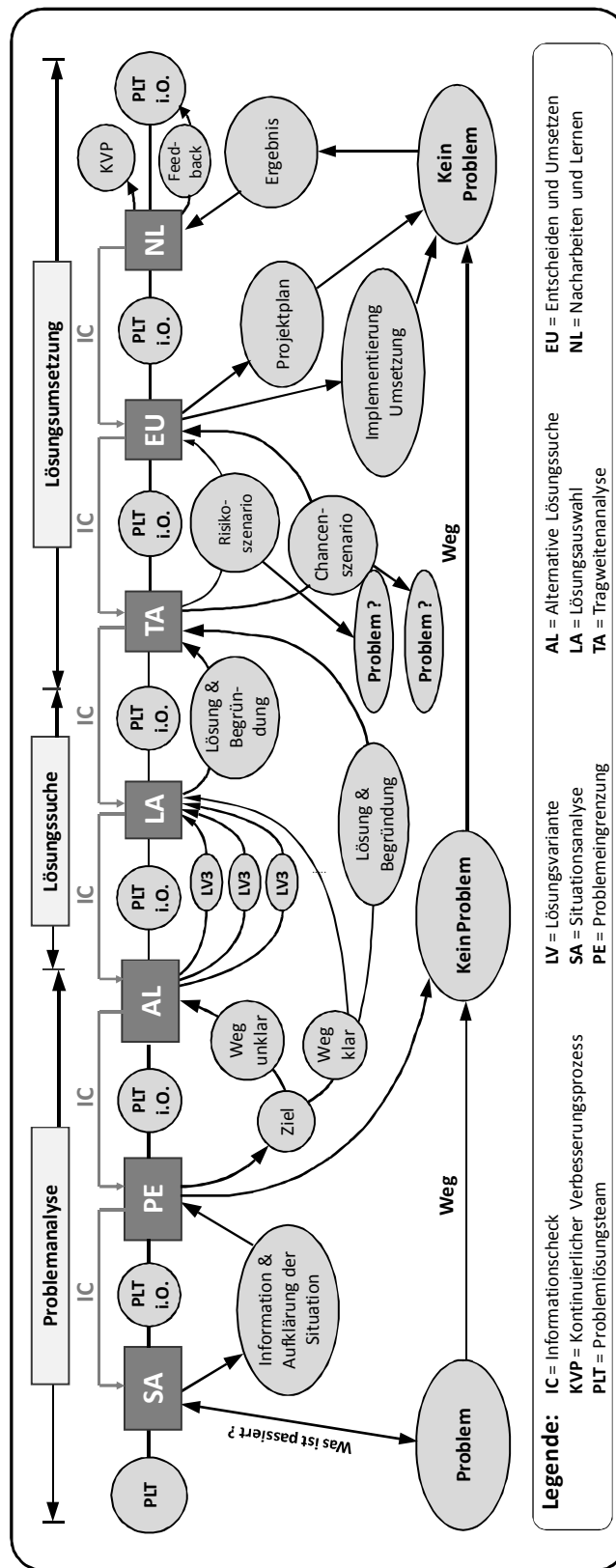


Abbildung 9: SPALTEN Problemlösungsprozess

Quelle: Eigene Darstellung nach Albers et al. (2005a), Albers & Meboldt (2006) und Albers (2010, Veröffentlichung in Vorbereitung)

2.2.2 Modell der Produktentstehung

Zur Beschreibung und Fortschrittskontrolle von Produktentwicklung und -entstehung existiert eine Vielzahl von Prozessansätzen.¹⁰⁹ Beispielhaft genannt seien hier Managementansätze wie Stage-Gate nach COOPER¹¹⁰, entwicklungsgetriebene Ansätze wie die VDI-Richtlinien 2220 und 2221¹¹¹ oder die Integrierte Produktentwicklung nach EHRENSPIEL¹¹² sowie Front-End-Ansätze, die gezielt die frühen Aktivitäten der Produktentwicklung modellieren.¹¹³ MEBOLDT sieht das Hauptdefizit vordefinierter Methoden, Handlungsschemata und Prozessmodelle in der mangelnden Reaktionsfähigkeit im Umgang mit Komplexität. Damit verbundene in der Praxis auftretende Faktoren wie Unschärfe, Unvollständigkeit, Dynamik und hoher Vernetzungsgrad werden in den meisten Modellen vereinfacht oder nicht aufgenommen.¹¹⁴

ALBERS formuliert zentrale Hypothesen über die Produktentstehung und leitet daraus ein Beschreibungsmodell ab.¹¹⁵ Die im Kontext der vorliegenden Arbeit relevanten Hypothesen lauten:

- *Hypothese 1: Einzigartigkeit der Produktentstehung: Jeder Produktentstehungsprozess ist einzigartig und individuell.* Kein Prozess der Produktentstehung wird sich in gleicher Weise wiederholen. Unterschiedliche Ziele, Randbedingungen und Handlungssysteme führen zu einzigartigen Prozessverläufen. Daher bilden präskriptive Modelle nur ein grobes Rahmenwerk und bieten keine Unterstützung, wenn es im Projektverlauf zu Abweichungen von der Plansituation kommt. Die Beziehungen zwischen einzelnen Phasen sind in präskriptiven Prozessmodellen vorgegeben. Im Projektverlauf ergeben sich die Beziehungen aus den Zielen und den Objekten, die mit Blick auf die Zielerreichung generiert wurden. Es ist folglich ein Modell notwendig, das spezifische Produktentstehungsprozesse abbilden kann.
- *Hypothese 2: System der Produktentstehung: Produktentstehung kann ausgehend von der Systemtheorie als Transformation eines (ursprünglich vagen)*

¹⁰⁹ vgl. Howard et al. (2008)

¹¹⁰ vgl. Cooper et al. (2002); vgl. Albers & Meboldt (2006)

¹¹¹ vgl. VDI2220; vgl. VDI2221

¹¹² vgl. Ehrlenspiel (2003)

¹¹³ vgl. Meboldt (2008), S.31ff.

¹¹⁴ vgl. Meboldt (2008), S.144ff.

¹¹⁵ vgl. Albers (2010, Veröffentlichung in Vorbereitung)

Zielsystems in ein konkretes Objektsystem durch ein Handlungssystem beschrieben werden. Die Beziehungen zwischen den einzelnen Phasen der Produktentstehung beruhen auf Zielen, auf generierten Objekten sowie dem System, das die verknüpften Ziele in Objekte transformiert, dem Handlungssystem (vgl. Abbildung 10). Diese drei Systeme wechselwirken und entscheiden über Erfolg und Misserfolg einer Produktentstehung. Zur Beschreibung und Optimierung der Produktentstehung ist daher ein systemischer Ansatz vorteilhaft.

Handlungssystem: Das Handlungssystem ist ein soziotechnisches System, das sich aus strukturierten Aktivitäten, Methoden und Prozessen sowie aus zur Realisierung notwendigen Ressourcen, wie Personal, Maschinen, Budget, etc., zusammensetzt. Das Handlungssystem generiert sowohl Ziel- als auch Objektsystem. Eine Wechselwirkung zwischen Ziel- und Objektsystem ist direkt nicht möglich.

Zielsystem: Das Zielsystem beschreibt die vorgedachten und geplanten Eigenschaften des Objektsystems und des Produktes. Es beschreibt die Ziele, deren Wechselwirkungen und Randbedingungen¹¹⁶, die für die Entstehung eines Objektsystems notwendig sind, sowie deren Begründung. Das Zielsystem beschreibt auf Basis des bestehenden Zustands des Objektsystems den zukünftig gewollten Zustand. Das Zielsystem wird mit Fortschreiten der Produktentstehung kontinuierlich erweitert und konkretisiert. Eine richtige, konsistente und vollständige Definition des Zielsystems bietet die Grundlage einer erfolgreichen Produktentstehung.

Objektsystem: Das Objektsystem enthält alle Objekte, die Ergebnis der Zielerreichung sind. Das Objektsystem ist vollständig sobald der bestehende Zustand dem geplanten entspricht. Im Objektsystem repräsentierte Objekte müssen nicht unbedingt physisch manifestiert sein, sondern können auch Software oder Dienstleistungen sein. Zudem besteht das Objektsystem nicht nur aus dem endgültigen Produkt, sondern auch aus auf dem Weg der Zielerreichung benötigten Objekten, wie Dokumentationen, Prüfberichte, Prototypen, technischen Zeichnungen, CAD-Modellen etc. Die zentrale Ausgangsgröße des Objektsystems und des Systems der Produktentstehung sind die Produkte.

¹¹⁶ vgl. hierzu auch Oerding (2009)

- *Hypothese 3: Validierung: Die zentrale Aktivität in der Produktentstehung ist die Validierung.* Die Validierung treibt – neben der Synthese – die zielgerichtete Evolution des Zielsystems voran und gestaltet damit einen zweckmäßigen Verlauf des Produktentstehungsprozesses. Validierung ist der kontinuierliche Vergleich der im bestehenden Zustand erreichten Ziele mit den geplanten. Nur durch Validierung wird Wissen generiert. Sie zeigt neue Randbedingungen auf und ermöglicht damit die Ableitung neuer Ziele. Validierung und Synthese sind die grundlegenden Aktivitäten der Produktentstehung. Nach der Synthese eines neuen Objekts, ist es Aufgabe des Handlungssystems, dessen Aussagekraft in Hinblick auf die Zielerreichung zu bewerten.

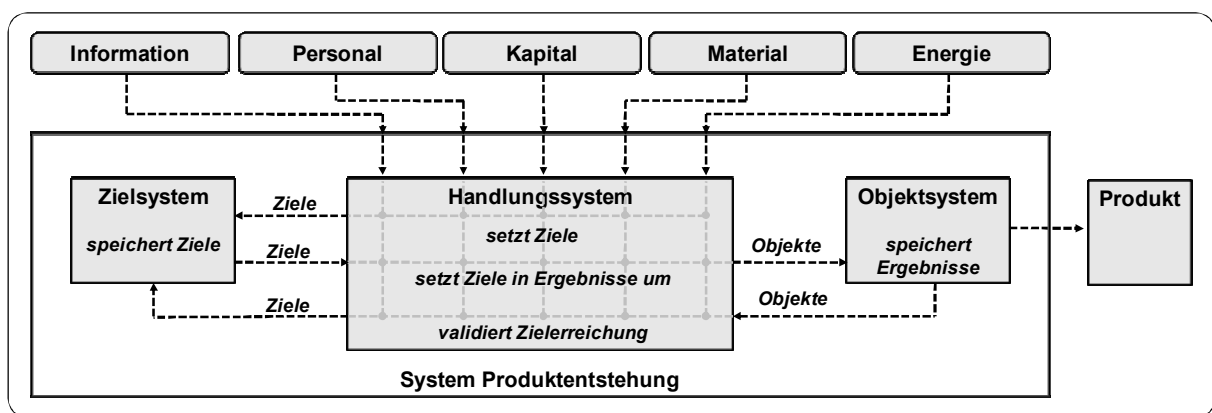


Abbildung 10: Das System der Produktentstehung

Quelle: Albers (2010, Veröffentlichung in Vorbereitung)

Mit dem integrierten Produktentstehungsmodell (iPeM) nach ALBERS wird versucht, den aus der Komplexität realer Entstehungsprozesse resultierenden Defiziten früherer Modelle zu begegnen, indem ihm eine einfache Modellbildung und damit verbunden eine geringe Eigenkomplexität zugrunde gelegt werden.¹¹⁷

Grundlage für ein interdisziplinäres Verständnis über die Produktentstehung ist die Schaffung intersubjektiver Mentalmodelle, die Vertreter disziplinspezifischer Sichten dennoch eindeutig und transparent kommunizieren lassen.¹¹⁸ Dies ermöglicht das Metamodell (vgl. Abbildung 11), das eine gemeinsame Ebene zur Modellierung von Prozessen durch die abstrakte Bereitstellung von Struktur und möglichen Inhalten aufspannt. Kern des Metamodells ist das Handlungssystem, dessen Aufgabe die er-

¹¹⁷ vgl. Albers & Meboldt (2007); vgl. Meboldt (2008), S.150ff.; vgl. Albers (2010, Veröffentlichung in Vorbereitung)

¹¹⁸ vgl. Meboldt (2008), S.201ff.

kenntnisbasierte Weiterentwicklung des Zielsystems und die Überführung dessen in ein Objektsystem ist. Das Handlungssystem verbindet die typischen Aktivitäten der Produktentstehung mit Problemlösungsaktivitäten und formt die sogenannte Aktivitätenmatrix. Diese wird durch ein Ressourcensystem und ein Phasenmodell ergänzt. Als Problemlösungsprozess wurde der SPALTEN-Prozess nach ALBERS integriert.¹¹⁹

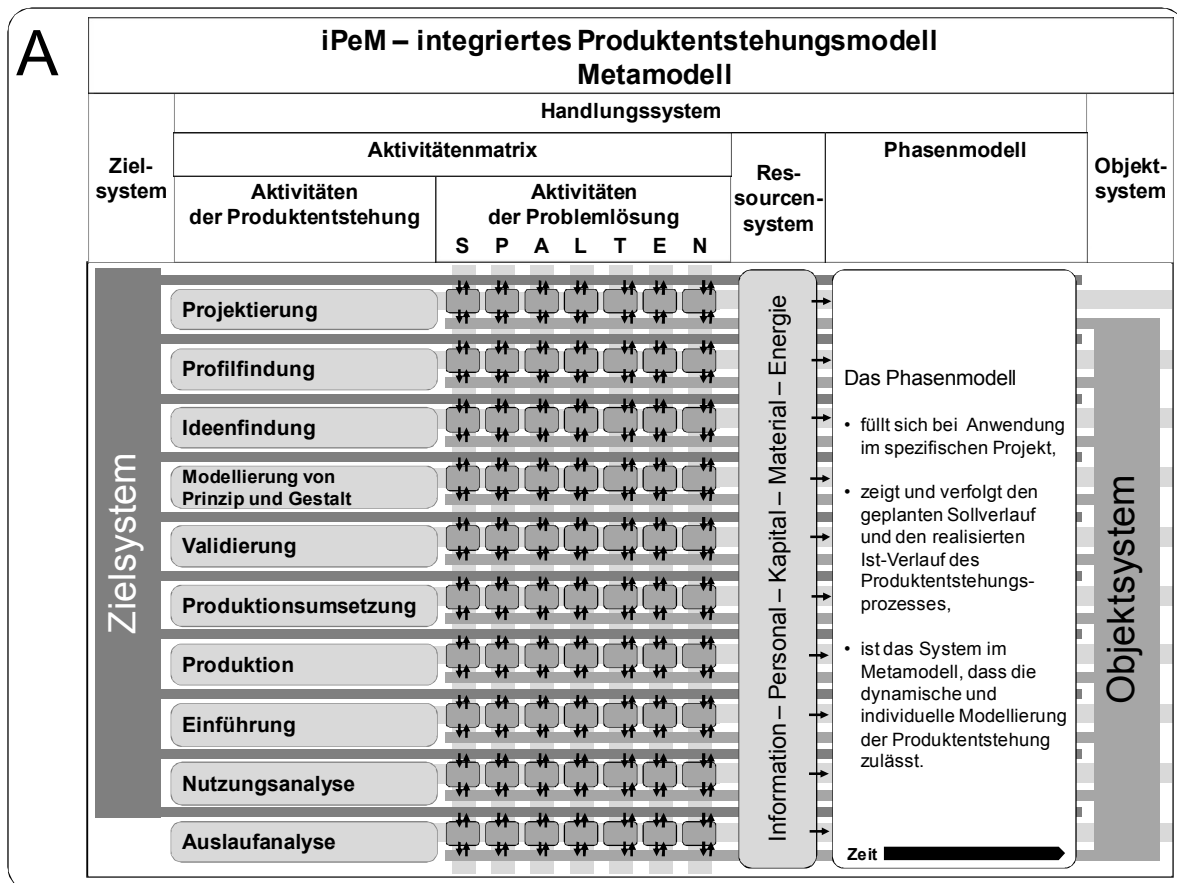


Abbildung 11: Das integrierten Produktentstehungsmodell (iPeM): (A) Metamodell

Das Modell umfasst Zielsystem, Handlungssystem sowie das Objektsystem. Mit Hilfe der Aktivitätenmatrix, die typische Aktivitäten der Produktentstehung mit Problemlösungsaktivitäten in Bezug setzt, lassen sich Phasenmodelle als Referenz-, Implementierungs- oder Anwendungsmodell beschreiben. Im Ressourcensystem sind einsetzbaren Ressourcen verankert.

Quelle: Albers (2010, Veröffentlichung in Vorbereitung)

¹¹⁹ vgl. Albers et al. (2002); vgl. Albers et al. (2005a); vgl. Albers & Meboldt (2006); siehe auch Abschnitt 2.2.1, S.24ff.

Die Aktivitäten der Produktentstehung verdeutlichen den strukturellen Aufbau von Produktentstehungsprozessen und leiten sich aus Phasen des Produktlebenszyklus ab. Jede Aktivität repräsentiert spezifische Informationsinhalte, die in einem Problemlösungsprozess gesammelt oder generiert werden müssen. Obwohl die Aktivitäten in Anlehnung an einen Produktlebenszyklus formuliert und dargestellt sind, ist die Reihenfolge und Häufigkeit ihrer Aktivierung nicht vorgegeben und vom spezifischen Projekt abhängig.

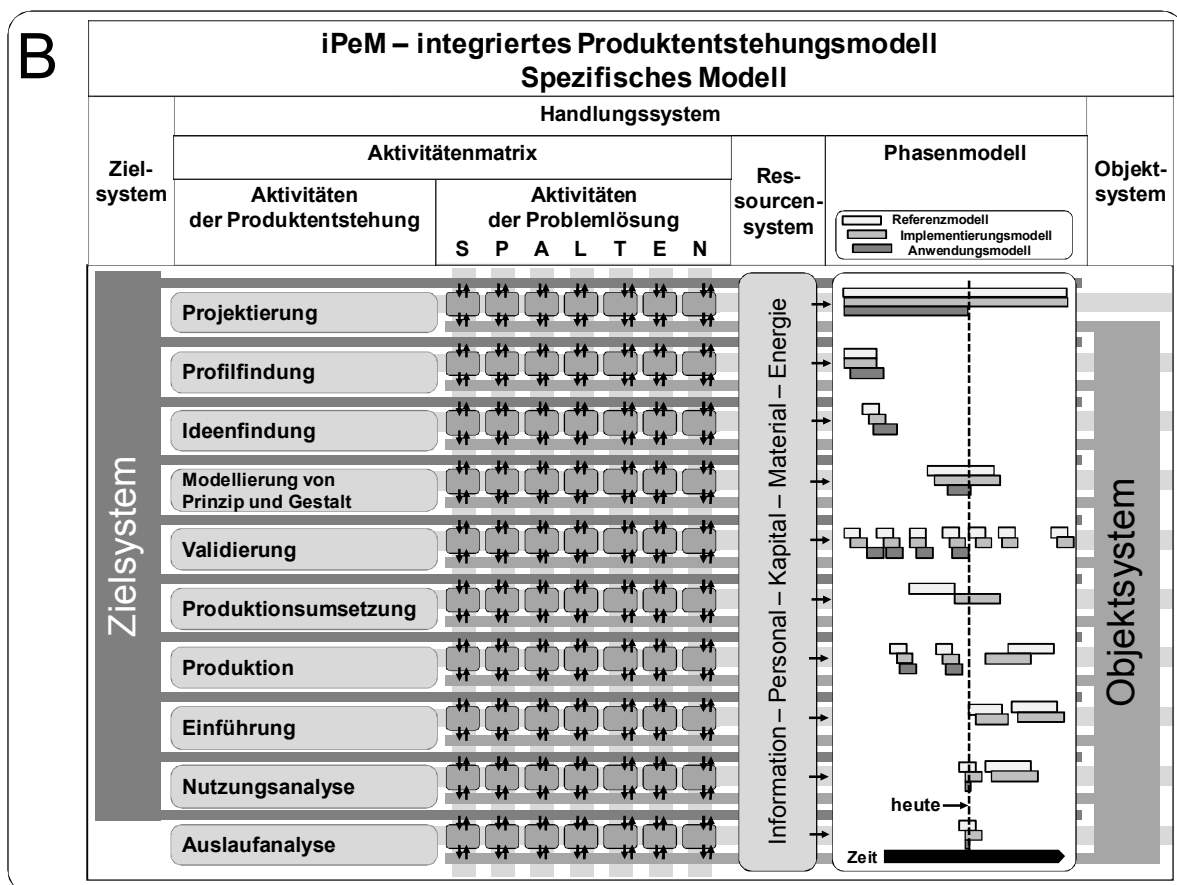


Abbildung 12: Das integrierten Produktentstehungsmodell (iPeM): (B) Spezifisches Modell

Im spezifischen Modell ist die konkrete Anwendung dargestellt. Das Referenzmodell repräsentiert einen Modellprozess, wie er in der Vergangenheit zum Erfolg führte. Das Implementierungsmodell bildet den heutigen Planungsstand ab. Bis zum heutigen Zeitpunkt fortgeschritten zeigt das Anwendungsmodell den tatsächlichen Projektverlauf.

Quelle: Albers (2010, Veröffentlichung in Vorbereitung)

Innerhalb des durch das Metamodell vorgegebenen Rahmens können anwendungsspezifische Phasenmodelle dargestellt werden, die Inhalte auch zeitlich in Bezug stellen und konkrete Abläufe für die Produktentstehung aufzeigen. Diese spezifische Instanziierung des Metamodells stellt die Management-Sicht auf die Produktentste-

hung dar. Aktivitäten und untergeordnete Vorgänge werden zeitlich und inhaltlich strukturiert und mit Ressourcen ausgestattet. Kosten und notwendige Arbeitsleistung werden abgeschätzt und ihr Fortschritt kontrolliert. Das Phasenmodell visualisiert den Projektstand. Dabei umfasst das Phasenmodell drei Stufen: (1) Referenzmodell, (2) Implementierungsmodell und (3) Anwendungsmodell. Das Referenzmodell basiert auf den Erfahrungen vergangener Entstehungsprozesse eines Anwendungsbereichs und dient zur planerischen Orientierung. Ist ein Referenzmodell für einen Anwendungsbereich vorhanden, lässt sich aus diesem ein Implementierungsmodell ableiten, das fallspezifisch die Aktivitäten der Produktentstehung zeitlich verknüpft und terminlich fixiert. Es dient der inhaltlichen und zeitlichen Planung eines Entwicklungsprojekts. Die Kontrolle und Dokumentation der konkreten Projektdurchführung führt zum Anwendungsmodell. Es dient der Projektverlaufsdokumentation, dem übergeordneten Wissensmanagement und im Abgleich mit dem Referenzmodell zur kontinuierlichen Verbesserung von Referenzmodell und Entstehungsprozess.¹²⁰

2.2.3 Konstruktion

Der Konstruktionsbegriff ist mehrfach belegt. Die Konstruktion ist eine organisatorisch-funktionale Einheit, eine Phase im Entstehungsprozess, die Aktivität eines oder mehrerer Handelnden sowie das Produkt dieser Aktivität. Nach VDI2221 entwickelt die Konstruktion alle zur Herstellung und Nutzung eines Produkts notwendigen Informationen und stellt diese bereit.¹²¹ EDER definiert Konstruktion als einen Transformationsprozess von Informationen über einen zukünftigen technische Prozess und/oder ein technisches System, der mit Hilfe eines iterativen Wechselspiels von externen Repräsentationen und mentalen Modellen durchlaufen wird.¹²² Diese Definition ist konsistent anwendbar im integrierten Produktentstehungsmodell iPeM mit seinem Zielsystem (Informationen), dem Produkt im Objektsystem (technischer Prozess/System) und Handlungssystem (Transformationsprozess).

PAHL und BEITZ klassifizieren theoretisch drei Konstruktionsarten: Neukonstruktion, Anpassungskonstruktion und Variantenkonstruktion.¹²³ Nach EHRENSPIEL sind lediglich 33 Prozent Neukonstruktionen und 30 Prozent Variantenkonstruktionen. Den größten Anteil besitzen Anpassungskonstruktionen mit 37 Prozent. Dabei ist die Verteilung branchenabhängig. Im Werkzeugmaschinenbau beträgt der Anteil der Varian-

¹²⁰ vgl. Meboldt (2008), S.201ff.; vgl. Albers (2010, Veröffentlichung in Vorbereitung)

¹²¹ vgl. VDI2221, S.40

¹²² vgl. Eder (2008)

¹²³ vgl. Pahl & Beitz (1997) S.4; Konstruktion umfasst im Kontext der Konstruktionslehre nach Pahl und Beitz die Phasen Konzipierung, Entwerfen und Ausarbeiten.

tenkonstruktion bis zu 70 Prozent.¹²⁴ ALBERS berichtet aus dem Bereich der Automobilzulieferer, dass der größte Anteil der Entwicklungsaktivitäten sich mit der gestalterischen Anpassung prinzipiell vorhandener Lösungen an kundenspezifische Problemstellungen bei gleichzeitiger kontinuierlicher Verbesserung der Produkteigenschaften befasst, wenngleich für die Zukunftssicherung Neuentwicklungen die entscheidende Rolle haben.¹²⁵

In der vorliegenden Arbeit gilt: Der Konstruktionsbegriff ist geprägt durch eine Sichtweise in der Vergangenheit, die die Konstruktion oft auf Tätigkeiten am Zeichenbrett reduzieren wollte. Dabei ist *Konstruktion* weit mehr. Sie umfasst im engeren Sinne als Dachaktivität im integrierten Produktentstehungsmodell iPeM die Aktivitäten der Ideenfindung, Prinzip- und Gestaltmodellierung unter Berücksichtigung der vorhergehenden und nachfolgenden Aktivitäten.

2.2.4 Methoden in der Produktentwicklung

Ein methodischer Entwicklungs- und Konstruktionsprozess ist nach BEITZ eine wichtige Voraussetzung für Produktinnovation unter Qualitäts-, Zeit- und Kostendruck.¹²⁶ In der Literatur sind vielzählige Definitionen zu den Begriffen Methoden und Methodik zu finden.¹²⁷ In der vorliegenden Arbeit gilt:

Eine *Methode* ist eine anwendungs- und ergebnisbezogene Vorgehensweise. Häufig sind Methoden Element übergeordneter Methoden und beinhalten selbst untergeordnete Methoden.

Methodik ist die Wissenschaft und Lehre, die sich mit Methoden beschäftigt. Somit ist der Begriff Methodik immer dann angebracht, wenn eine Methode (weiter-)entwickelt wird oder Methoden unterrichtet werden. Methodenforschung wird synonym zu Methodik genutzt.

Bedarf und Ziel von Methoden

Das übergeordnete Ziel von Produktentwicklungsmethoden aus Anwendersicht ist die Verbesserung von Qualität, Zeit und Kosten.¹²⁸ Diesen drei Faktoren müssen durch den Faktor Quantität ergänzt werden, die den Mehrwert durch eine größere

¹²⁴ vgl. Ehrlenspiel (2003), S.242

¹²⁵ vgl. Albers (1994)

¹²⁶ vgl. Beitz (1985)

¹²⁷ bspw. Rutz (1985), S.9; Pahl & Beitz (1997), S.751; Ehrlenspiel (2003), S.667; Lindemann (2007), S.56; Jansch (2007), S.26f.; VDI2223, S.88; Keller & Binz (2009)

¹²⁸ vgl. Grabowski & Geiger (1997), S.48

Zahl von Lösungen, Ideen, o.ä. darstellt. JÄNSCH unterscheidet drei Zielkategorien für die Konstruktionsmethoden, die sich auf Produkt, Lehre und Denkökonomie beziehen. (1) Das produktbezogene technische Ziel von Methoden ist die Verbesserung des Entwicklungsprozesses hinsichtlich Effizienz und Effektivität sowie des resultierenden Produkts im Sinne einer optimalen Lösung. (2) Mit der Methodenanwendung wird das Ziel einer verbesserten Lehre durch Systematisierung und Darstellung von Erfahrungen, Erkenntnissen und Voraussetzungen zum erfolgreichen Konstruieren verfolgt. (3) Denkprozesse sollen durch Methodenanwendung erleichtert werden und effizientes, objektives und vollständiges Denken unterstützen.¹²⁹ Wesentliche Anteile des methodischen Arbeitens gehen auf die begrenzte Kapazität unseres Gehirns zurück.¹³⁰

Die Ziele der Anwendung von Konstruktionsmethoden sind nach RUTZ vier Gruppen zuzuordnen: (1) technische, (2) organisatorische, (3) persönliche und (4) didaktische Ziele (vgl. Tabelle 3).¹³¹

Tabelle 3: Ziele der Anwendung von Konstruktionsmethoden

Technische Ziele	<ul style="list-style-type: none"> • bessere Maschinen, • höhere Qualität, Fehlerreduktion • neuartige Maschinen
Organisatorische Ziele	<ul style="list-style-type: none"> • Rationalisierung der Konstruktionsarbeit • Verkürzung der Konstruktionsarbeit • Ermöglichung von Teamarbeit • interdisziplinäre Arbeiten möglich • Steigerung der Kreativität • Objektivierung der Konstruktionsarbeit • Rückverfolgung von Entscheidungen • Verkürzung der Einarbeitungszeit
Persönliche Ziele	<ul style="list-style-type: none"> • Hilfestellung in neuartigen Situationen • Konstruktion nachvollziehbar machen • Problembewusstsein erweitern • bessere Präsentation der Konstruktion gegenüber Vorgesetzten, Kunden, ...
Didaktische Ziele	<ul style="list-style-type: none"> • Konstruieren lehrbar machen • Rationalisierung der Lehre

Quelle: ergänzt nach Rutz (1985), S.33

¹²⁹ Jänsch (2007), S.16ff.

¹³⁰ vgl. Ehrlenspiel (2003), S.55

¹³¹ vgl. Rutz (1985), S.32f.

Methodenanwendung in der Praxis

Die Erfüllung der oben genannten Ziele, beispielsweise bessere oder neuartige Maschinen, Rationalisierung und Verkürzung der Konstruktionsarbeit, Kreativitätssteigerung etc. lässt sich nicht direkt auf die Anwendung von Methoden zurückführen. Somit birgt die Methodenanwendung in der Praxis eine gewisse Problematik.¹³² Je nach persönlichem Wissen und Erfahrung im Umgang mit Methoden, reicht das Spektrum von Überzeugung bis zur Ablehnung.

LEE und TRUEX skizzieren für Software-Entwickler ein Modell der Methodenwahrnehmung, in dem Methodenanwender vier Stufen durchlaufen.¹³³

- (1) *Vorstufe*, der Anfänger kennt keine methodischen Ansätze, besitzt jedoch eine positive Haltung Methoden gegenüber, da er schon häufiger mit Entwicklungsproblemen konfrontiert wurde, deren einfachere Lösung er sich durch Methodeneinsatz erhofft.
- (2) *Promethodische Stufe*, der Anfänger hat Methoden und deren Ablauf kennengelernt, ihm fehlen jedoch Kenntnisse darüber, wann und warum eine Methode am besten einzusetzen ist; er setzt Methoden zwar gerne, aber undifferenziert ein. Derjenige, der nur einen Hammer besitzt, behandelt alles wie einen Nagel, besagt die Metapher von MASLOWS Hammer treffend.¹³⁴
- (3) *Antimethodische Stufe*, negative Erfahrungen durch die undifferenzierte Methodenanwendung im Entwickleralltag führen zu Frustration. Zwar entsteht beim Anwender ein Bewusstsein für die Methoden, gleichzeitig zeigt sich eine negative Grundeinstellung gegenüber den Methoden selbst und deren Anwendung.
- (4) *Amethodische Stufe*, während der ablehnenden Haltung gegenüber Methoden entstehen neue Perspektiven, durch die erfolgreiche Entwickler feststellen, wann und warum welche Methode geeignet ist. Sie befinden sich auf einer Stufe, die nicht durch ein starkes Für oder Wider, sondern durch eine situativ angepasste, intuitive und differenzierte Methodenanwendung gekennzeichnet ist.

Außer von der Erfahrung ist die Methodenanwendung auch von der Persönlichkeit abhängig. BERTH beschreibt eine Typenabhängigkeit bei Kreativitätstechniken. So

¹³² vgl. Lindemann (2007), S.58; vgl. Jänsch (2007), S.49f.

¹³³ vgl. Lee & Truex (2000)

¹³⁴ vgl. Maslow (1966), S.15

präferierten Entdecker eher Analogietechniken, während Problemlöser (Denker) Ordnungstechniken und Umsetzer Brainstorming bevorzugten.¹³⁵

Eine Studie aus dem Jahr 1995 zur Situationsanalyse der Produktentwicklung in Deutschland zeigte, dass wesentliche Methoden nicht eingesetzt werden.¹³⁶ Dieselbe Studie zählt die folgenden Probleme und Schwachstellen in der Methodenanwendung auf: zu hoher Aufwand, zu starker Theorieballast, mangelhafte Vorbereitung und Unterstützung beim Einsatz, fehlende Rechnerunterstützung, fehlende methodische Unterstützung beim Konstruieren mit CAD-Systemen, fehlende Bereitschaft zur bereichsübergreifenden Anwendung, zu langsame Umsetzung neuer Methoden, variierende Anwendbarkeit und das Fehlen eines ganzheitlichen Methodik-Wirksamkeitssystems mit integrierten Einzelmethoden. Bedarf gesehen wurde für Methoden des Änderungs- und Variantenmanagements sowie für die Standardisierung von Lösungskonzepten mit international verständlichen Konstruktions- und Entwicklungsunterlagen. Der überwiegende Teil der Schwachstellen ist nach wie vor vorhanden. Nach BENDER fokussiert die Konstruktionsmethodik zu sehr auf Neukonstruktionen, während die am häufigsten vorkommenden Konstruktionsarten, Anpassungs- und Variantenkonstruktion zu wenig unterstützt werden.¹³⁷ JÄNSCH sieht die Methodenproblematik in der Praxis in erster Linie als ein Transferproblem vom Methodenentwickler hin zum Produktentwickler, die sich auf die unzureichende Darstellung und Dokumentation, auf Lehrprobleme und Akzeptanz- und Anwendungsprobleme zurückführen lässt (vgl. Tabelle 4).¹³⁸

Fehlendes Methoden-Know-how und vor allem der Zeitbedarf sind nach einer Erhebung von VOLKMANN in der Entwicklungspraxis die häufigsten Hinderungsgründe für den Methodeneinsatz.¹³⁹

¹³⁵ vgl. Berth (1992), S.165

¹³⁶ vgl. Grabowski & Geiger (1997), S.40ff.

¹³⁷ vgl. Pietzcker (2004), S.41

¹³⁸ vgl. Jänsch (2007), S.49f.

¹³⁹ vgl. Volkmann (2001)

Tabelle 4: Methodenproblematik

Darstellungs- und Dokumentationsprobleme	<ul style="list-style-type: none"> • heterogene Begrifflichkeiten • verschiedene Schulen • hoher Abstraktionsgrad • theoretisch • keine einheitliche Darstellung • keine einheitliche Struktur und Abfolge 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Komplexität • hohe Wissenschaftlichkeit • gedankliche Schwächen • Distanz zu praktischem Bedarf und Nachfrage • geeignete Präsentation
Lehrprobleme	<ul style="list-style-type: none"> • Wie Methodenakzeptanz erzeugen? 	<ul style="list-style-type: none"> • Sind Konstruktionsmethoden zweckmäßig für menschliches Problemlösen?
Akzeptanz- und Anwendungsprobleme	<ul style="list-style-type: none"> • Hürde bei Einführung • hoher Anpassungsbedarf • zeitintensiv • zu geringe Flexibilität • Missverständnisse bei Begrifflichkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • nimmt die Attraktivität des Konstruierens • Wirkweise (Erfolg) nicht nachgewiesen • passt nicht zu Erfahrungen

Quelle: Jänsch (2007), S.50

Anforderungen an Konstruktionsmethoden

Die Entwicklung von Konstruktionsmethoden ist letztlich auch ein Produktentwicklungsprozess mit einem definierten Zielsystem, d.h. mit einer bekannten Zielgruppe und zu erfüllenden Anforderungen. Nicht zuletzt aus den oben dargestellten Schwachstellen und Problemen bei der Methodenanwendung müssen sich Anforderungen für erfolgversprechende Methoden ableiten lassen. Nach KELLER und BINZ lassen sich acht Anforderungskategorien für Konstruktionsmethoden unterscheiden:¹⁴⁰

- (1) *Revidierbarkeit*: Die Methode muss durch etablierte Mittel überprüft werden können. In der Produktentwicklung muss sie sich auf ihre Effektivität und Effizienz hin überprüfen lassen.
- (2) *Praxisrelevanz und Wettbewerbsfähigkeit*: Eine zu entwickelnde Methode muss einen in der Praxis vorherrschenden Bedarf decken, der durch andere Methoden nicht oder unzureichend abgedeckt wird. In ihrer Anwendung muss die neue Methode existierenden (konkurrierenden) Methoden mindestens ebenbürtig sein.

¹⁴⁰ vgl. Keller & Binz (2009). Keller und Binz sprechen von einer Methodik und meinen damit einen strukturierten Satz von Methoden. In der vorliegenden Arbeit schließt dies der Begriff Methode mit ein.

- (3) *Wissenschaftliche Güte*: Eine Methode muss den drei Kriterien Objektivität, Reliabilität und Validität genügen. Die Methodenanwendung muss anwenderunabhängig, verlässliche und belastbare Ergebnisse liefern. In der Produktentwicklung lässt sich der Faktor Mensch mit seinem Wissen und Fertigkeiten nicht ausblenden, sodass die Methodenanwendung immer zu unterschiedlichen Ergebnissen führen wird. Die Methode muss in ihrer Durchführung gewisse Standards erfüllen, um verlässlich zu funktionieren. Um belastbare Ergebnisse zu liefern, muss der Anwendungsbereich klar definiert sein.
- (4) *Verständlichkeit*: Wiederholbarkeit, Erlernbarkeit und Anwendbarkeit sind Voraussetzungen einer verständlichen Methode. Dazu gehört eine eindeutige Beschreibung, warum, wann und wie welche Dinge zu tun sind.
- (5) *Nützlichkeit*: Eine Methode ist dann nützlich, wenn ihre Anwendung mit wenig Aufwand zum gewünschten Ergebnis führt. Sie muss effizient und effektiv sein.
- (6) *Problemspezifische Wirksamkeit*: Der Anwender muss erkennen können, inwiefern die Methode für die Bearbeitung der vorliegenden Problemstellung geeignet ist.
- (7) *Struktur und Kompatibilität*: Durch die Methodenanwendung soll die Komplexität des vorliegenden Problems reduziert werden – idealerweise bis zum Erreichen des Aufgabenniveaus. Das schlecht strukturierte Problem wird in ein wohlstrukturiertes transformiert. Dabei wird die Rücktransformation der Teillösungen zu einer gültigen Gesamtlösung vorausgesetzt. Diese Vorgehenseise muss domänenunabhängig auch in inter- und multidisziplinären Anwendungsszenarien funktionieren.
- (8) *Flexibilität*: Bei der Verwendung einer Methode muss ausreichend Flexibilität zur Umstrukturierung der beinhalteten Methoden vorhanden sein.

2.2.5 Wissen in der Produktentwicklung

„Der Wertzuwachs entsteht heute aus der ‚Produktivität‘ und der ‚Innovation‘. Beide bedeuten die Anwendung von Wissen auf die Arbeit.“¹⁴¹

DRUCKER schreibt, Innovation und Produktivität sind Folge der Anwendung von Wissen auf Arbeit. Ein Drittel der Wissensarbeit in Unternehmen ist mit der Entwicklung

¹⁴¹ Peter Drucker, amerikanischer Ökonom und Pionier der modernen Managementlehre, zitiert in Köck & Willfort (2007)

neuen Wissens verbunden.¹⁴² WEIß definiert Wissen als „*Verwirklichung (Akquisition + Organisation + Speicherung + Apportation + Nutzung + Erhaltung) von Daten und Informationen über die Zeit*“.¹⁴³ Wissen folgt nach NORTH aus der Verarbeitung von Informationen durch das Bewusstsein, ist somit von individueller Erfahrung geprägt und wird kontextspezifisch interpretiert.¹⁴⁴ PROBST et al. bezeichnen Wissen als die „*Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen*“.¹⁴⁵

NORTH et al. fassen vier Faktoren zusammen, die den Wissensaustausch wichtiger werden lassen. (1) Mitarbeiter sind an unterschiedlichen Orten mit ähnlichen Problemen konfrontiert. (2) Wissensintransparenz ist die Folge einer breiten Wissensverteilung in einer Organisation. (3) Vermutete Synergien ergeben sich durch Erfahrungsaustausch. (4) Wissensteilung, Kreativität und Gemeinschaft sind menschliche Grundbedürfnisse.¹⁴⁶

Darüber hinaus führt in der Produktentwicklung die Komplexität und Leistungsfähigkeit heutiger Produkte zu einem umfangreichen Informationsbedarf für den Entwickler. Das zentrale Innovationsrisiko folgt aus Unwissenheit (Innovationsparadoxon). Information ist die Verringerung von Ungewissheit.¹⁴⁷ Die systematisierte Bereitstellung von Informationen ist eine kreativitätsbegünstigende Umfeldbedingung.¹⁴⁸ Den gestiegenen Informationsbedarf bei Innovation und Produktentwicklung spiegeln die Qualität und Effektivität der Informationsbereitstellung in vielen Unternehmen nicht wider.¹⁴⁹ Heutige Informationssysteme unterstützen zudem nur reine Informationsbereitstellung, also kein kontextualisiertes Wissen (vgl. Abbildung 13).¹⁵⁰ Dabei spielt gerade Informationsgewinn und -beschaffung eine wesentliche Rolle beim Problemlösen und damit auch beim Entwickeln.¹⁵¹ Die dabei generierten Ideen für die Zukunft zu bewahren, ist eine notwendige Aufgabe in Unternehmen. Ein solches gezieltes

¹⁴² vgl. Köck & Willfort (2007)

¹⁴³ Weiß (2006), S.53; Unter Apportation versteht Weiß das Wiederauffinden von Daten und Information

¹⁴⁴ vgl. North (2002), S.38f.

¹⁴⁵ vgl. Probst et al. (2006), S.22

¹⁴⁶ vgl. North et al. (2000)

¹⁴⁷ vgl. Wersig (1996), S.228

¹⁴⁸ vgl. Preiser (2006)

¹⁴⁹ vgl. VDI2247, S.6

¹⁵⁰ vgl. Feldhusen et al. (2006)

¹⁵¹ vgl. Rutz (1985), S.52

Wissensmanagement erfordert ein Bewusstsein in der gesamten Organisation über alle Ebenen hinweg.¹⁵²

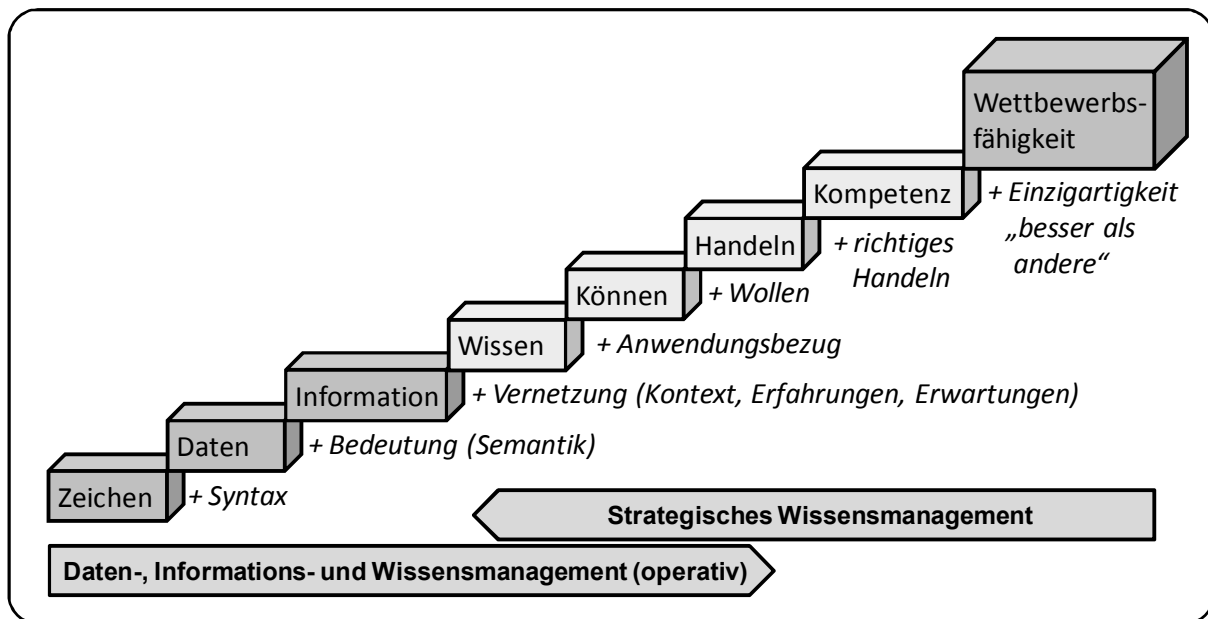


Abbildung 13: Wissenstreppe

Quelle: North (2002), S.39

HACKER et al. beschreiben das Entwerfen als „wissenbasiertes Entwickeln von Lösungen, also auch das Aufgreifen schon bekannter Lösungen kombiniert mit dem Ausdenken neuer“.¹⁵³ Entsprechend erwartet auch RUTZ eine Effektivitätssteigerung beim Lösen konstruktiver Probleme u.a. durch „Verbessern und Strukturieren des Wissens und der Erfahrung“ sowie durch „Verbessern der Ausdrucksfähigkeit des Konstrukteurs durch mehr Übung bzw. durch Schaffung einer konstruktiven Sprache“ und durch die vordergründige „Einsicht in den Stoff bei der Übermittlung und Aufnahme von Wissen“.¹⁵⁴

Kern des Wissensmanagements ist der Umgang mit Inhalten, beispielsweise mit Texten oder Grafiken. Zur Abbildung dieser Inhaltseinheiten werden Repräsentationen genutzt, die sich in interner Art und Struktur der Speicherung unterscheiden.¹⁵⁵ Die Aufzählung und Beschreibung der vielen Formen von Wissensrepräsentationen

¹⁵² vgl. Segler (2000), S.99

¹⁵³ vgl. Hacker et al. (1996)

¹⁵⁴ Rutz (1985), S.127

¹⁵⁵ vgl. Weiß (2006), S.23

ist für diese Arbeit von untergeordneter Bedeutung und in anderen Quellen umfangreich dargestellt.¹⁵⁶

Um die Produktivität von Wissensarbeitern zu stärken, muss nach SCHÜTT Wissensmanagement auf drei Kategorien fokussieren:¹⁵⁷

- (1) *Prozesse*: Relevante Faktoren sind Zielsystemdefinition und Aufgabenteilung, Ablauforganisation, Standardisierung und Leistungsbewertung.
- (2) *Organisation und Kultur*: Für das Wissensmanagement wichtige Größen sind vorhandene Begabungen und Wissen, Arbeitsumfeld, Unterstützung und Weiterbildung sowie Motivationsfaktoren und deren Ausprägung.
- (3) *Informationstechnologie*: Wissensarbeit hängt direkt vom Bezug von Informationen und damit von der Verfügbarkeit und Nutzung geeigneter rechnergestützter Werkzeuge ab.

Mit zunehmender Nutzung von Informationstechnologie besteht der Bedarf nach Sicherung entsprechender Elemente der Wissensarbeit.¹⁵⁸ Wissensmanagement muss in der Praxis pragmatisch, einfach und nutzbar sein. Es soll u.a. sich an konkreten Problemen orientieren, an existierende Systeme anschließen sowie in einer verständlichen Sprachen formuliert sein, die im Unternehmensalltag vermittelbar ist.¹⁵⁹ Insbesondere bei der multidisziplinären Produktentwicklung, beispielsweise von mechatronischen Systemen, ist die problemadäquate Bereitstellung von Methoden- und Erfahrungswissen für einen effizienten Entwicklungsprozess entscheidend.¹⁶⁰

Einen generellen Überblick zu Wissensmanagement, dessen Einführung und Anwendung sowie allgemeine Hinweise zum Methodeneinsatz zum Management von Ingenieurwissen gibt die Richtlinie VDI5610.¹⁶¹

2.2.6 Zusammenfassung

Die Produktentwicklung ist eine Teilaktivität der Produktentstehung. Aufgrund der häufig unscharfen Randbedingungen (Innovationsparadoxon) sieht sich der Entwickler selten mit reinen Routineaufgaben, sondern mit Problemen mit unklarem Ziel, unklarem Weg oder beidem gegenübergestellt. Daher wird Produktentwicklung auch als

¹⁵⁶ bspw. in Liese (2003), S.23ff.

¹⁵⁷ vgl. Schütt (2003)

¹⁵⁸ vgl. Shneiderman (2000)

¹⁵⁹ vgl. Probst et al. (2006), S.27

¹⁶⁰ vgl. Albers & Gausemeier (2009)

¹⁶¹ vgl. VDI5610

Problemlösung verstanden mit entsprechenden Vorgehensmodellen beschrieben. Eine typische, hier vorgestellte Vertreterin dieser Vorgehensmodelle ist die SPALTEN-Methode. Diese Problemlösungsmethode bildet zusammen mit typischen Aktivitäten der Produktentstehung ein Metamodell. Dieses erlaubt es dem erfahrenen Entwickler, erfolgversprechende Referenzmodelle abzulegen, die als Standard oder Orientierung zur Ableitung projektbezogener Implementierungsmodelle dienen. Beim Durchlaufen der Aktivitäten steht eine Vielzahl von Methoden zur Anwendung bereit. Deren Akzeptanz ist in der Praxis jedoch deutlich weniger ausgeprägt, als es die Komplexität der Produktentstehung erwarten lassen dürfte. Eine methodische Vorgehensweise ist gerade unter Qualitäts-, Zeit- und Kostendruck eine Voraussetzung für Produktinnovationen. Produktentwicklung erfordert technischen Sachverstand und umfangreiche Marktkenntnis. Methoden zur Unterstützung dieser Wissensarbeit durch geeignete Wissensrepräsentationen bilden die Grundlage erfolgreicher Entwicklungen.

2.3 Kreativität

Kreativität führt zu Invention und ist damit essentieller Bestandteil von Innovation und erfinderischer Wertschöpfung.¹⁶² Sie ist ursächlich für gesellschaftlichen Fortschritt und Wohlstand. Dies wird ebenso von der Politik gesehen und brachte die EUROPÄISCHE UNION dazu das *Europäischen Jahr der Kreativität und Innovation 2009* mit dem Ziel zu erklären, auf breiter Basis Kreativität und Innovationsfähigkeit zu stärken.¹⁶³ In der Literatur ist keine einheitliche und anerkannte Definition von *Kreativität* zu finden. Der Begriff der Kreativität wird aufgrund seiner positiven Konnotation (bspw. Gefühlsfreiheit, Enthemmung oder Entspannung¹⁶⁴) intensiv genutzt und scheint zum Modewort verkommen¹⁶⁵. So finden sich im Internet mehrere hundert Millionen Einträge, die den Begriff „creative“ enthalten.¹⁶⁶

Die in den letzten Jahren aufgekommenen Begriffe der Kreativwirtschaft und -gesellschaft betonen die Kreativität als relevanten Faktor von Wissensentwicklung.¹⁶⁷ Eine solche Kreativgesellschaft wird nach SCHÄFERS gekennzeichnet sein durch ein hohes Bildungsniveau, strukturierte und gegliederte Informationen, beschleunigten Informationsaustausch durch informationstechnische Systeme, störungsfreie fachübergreifende Kommunikation und zeitliche Freiräume für kreatives Arbeiten.¹⁶⁸ Vordergründig sind in diesem Gesellschaftsmodell kreative Personen und der kreative Prozess, durch die das Wissen erweitert wird.¹⁶⁹ Hierfür bereitet der bereits vollzogene Wandel zur Wissensgesellschaft die Wiege. So erfüllen die Anforderungen der Wissensgesellschaft die Wissensarbeiter¹⁷⁰, die sich häufig mit unklaren Aufgabenstellungen und unbekanntem Lösungsweg konfrontiert sehen. Das Be-

¹⁶² vgl. Schlicksupp (1977), S.20ff.; vgl. Howard et al. (2008)

¹⁶³ vgl. Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2008), darin: „Die Systeme der allgemeinen und beruflichen Bildung sollten auf allen angemessenen Ebenen in ausreichendem Maße für die Entwicklung von Schlüsselkompetenzen sorgen, die die Grundlage für Kreativität und Innovation bilden, und damit die Befähigung vermitteln, im persönlichen, beruflichen und gesellschaftlichen Leben innovative und originäre Lösungen zu finden.“

¹⁶⁴ vgl. Rhodes (1961)

¹⁶⁵ vgl. Götz (1981); vgl. Preiser (2006)

¹⁶⁶ Suchmaschinentreffer (Suchmaschine: Google, <http://www.google.de> [04.03.2009]): „create“ ca. 864 Mio., „creative“ ca. 454 Mio., „creativity“ ca. 60 Mio., „kreativ“ ca. 9,29 Mio., „kreativität“ ca. 6,11 Mio.

¹⁶⁷ vgl. Florida & Tinagli (2004); vgl. WiWo (2006); vgl. Willfort et al. (2007), S.17ff; vgl. Schäfers (2007), S.13

¹⁶⁸ vgl. Schäfers (2007), S.21f.

¹⁶⁹ vgl. Schäfers (2007), S.108

¹⁷⁰ vgl. Köck & Willfort (2007)

schreiten dieses Wegs benötigt auf die Situation spezifisch flexibel angewandtes Wissen und darauf basierend entsprechende kreative Schritte.¹⁷¹

Kreativität ist ein essentieller Bestandteil ingenieurmäßiger Entwicklung.¹⁷² Während sich jedoch Wirtschaftswissenschaftler eher mit der Thematik Innovation und Konstruktionswissenschaftler mit eher der Invention beschäftigen, ist Kreativität in erster Linie Element psychologischer Forschung, deren Sicht der folgende Abschnitt vorwiegend zusammenfasst. Als Auslöser der psychologischen Kreativitätsforschung gilt die Antrittsrede des Präsidenten der *American Psychological Association* GUILFORD im Jahr 1950, in der er die gesellschaftliche Relevanz und die Vorteile entsprechender Forschungsaktivitäten nennt.¹⁷³ Ein weiterer Auslöser massiver (v.a. amerikanischer) Forschungsanstrengungen auf dem Gebiet der Kreativität war der sogenannte „Sputnik-Schock“¹⁷⁴, durch den der Bedarf an kreativen Wissenschaftler erkannt wurde¹⁷⁵.

2.3.1 Theoretische Ansätze in der Kreativitätsforschung

Unterschiedliche psychologische Schulen versuchen Kreativität mit ihren jeweiligen Theorien zu erklären¹⁷⁶. Die Unterschiedlichkeit der Ansätze einzelner Schulen spiegelt sich ebenfalls in den Erklärungsansätzen zur Kreativitätstheorie wider. Lediglich als Beispiel für die verschiedenen Schulen wird im Folgenden auf die Erklärungsversuche der Psychoanalyse sowie auf die Theorien der Gestalt- und der Assoziationspsychologie sowie die jüngste Theorie der kreativen Kognition näher eingegangen. Daneben existieren weitere Kreativitätstheorien, die in der einschlägigen Literatur detailliert beschrieben sind.¹⁷⁷

Die psychoanalytische Theorie der Kreativität lässt sich auf FREUDS Konzept der Sublimation zurückführen. Hierunter versteht er, dass Triebe von ihren eigentlichen Zielen auf andere Ziele projiziert werden und somit in eine Ersatzbefriedigung umge-

¹⁷¹ vgl. Willfort et al. (2007), S.7

¹⁷² vgl. Howard et al. (2008)

¹⁷³ vgl. Guilford (1950)

¹⁷⁴ 1957 brachte die sowjetische Raumfahrt den ersten Satelliten, Sputnik 1, erfolgreich auf eine Erdumlaufbahn, was den Amerikanern bis dato nicht gelungen war und deren Selbstverständnis als Technologieführer einen Schlag versetzte.

¹⁷⁵ vgl. Landau (1971), S.9; vgl. Funke (2000), S.285

¹⁷⁶ Landau (1971), S.18ff.

¹⁷⁷ vgl. Landau (1971), S.18ff.; vgl. Preiser (1986), S.27ff.; vgl. Marakas & Elam (1997)

formt werden¹⁷⁸. Kreativität ist damit Ausdruck der Verarbeitung von freien Assoziationen, die aus einem inneren Konflikt heraus entwickelt werden, während ein Verdrängen der Konflikte zu keiner kreativen Handlung führt.¹⁷⁹

Die Gestalttheorie der Kreativität geht auf WERTHEIMER zurück. Hier bringt Kreativität eine spontane Idee geformt hervor. Ursächlich ist eine Tendenz des Individuums zur guten Gestalt, d.h. von der strukturell unvollständigen hin zur vervollständigten Situation (Prägnanzprinzip¹⁸⁰). Die Erfassung einer Problemsituation erzeugt mit ihren kontroversen Forderungen Spannungen beim Denker. Der resultierende Denkprozess folgt den Spannungen in Richtung der verbesserten Situation. Er umfasst die gegebene Situation, die Umformung deren Elemente sowie frühere Erfahrungen und Wissen. Er führt zu der Schaffung einer neuen Situation, *„die als eine gute Gestalt, in der die gegenseitigen Forderungen sich im Einklang befinden und in der die Teile von der Struktur des Ganzen ebenso bestimmt sind wie das Ganze von den Teilen, durch innere Kräfte zusammengehalten wird“*.¹⁸¹ Das Finden des eigentlichen Problems ist vor allem in Unkenntnis der verbesserten Situation die Hauptleistung. Der Kern der Theorie liegt in der Wandlung einer unvollständigen Gestalt, einer spannungsbehafteten Struktur zu einem ausbalanciertem, harmonischen Ganzen durch Umformen, Umstrukturieren und Reorganisieren.¹⁸²

Als Begründer der assoziationspsychologischen Theorie zur Kreativität gilt MEDNICK, der den kreativen Prozess als *„Bildung assoziativer Elemente zu neuen Kombinationen, die entweder spezifischen Erfordernissen genügen oder aber in irgendeiner Weise nützlich sind“* definiert.¹⁸³ Ihm zu Folge liegt in der Abhängigkeit von spezifischen Erfordernissen der Unterschied zwischen Kreativität und Originalität. Die Originalität eines Beitrags ist umso höher, je geringer seine Auftretenswahrscheinlichkeit innerhalb einer definierten Grundgesamtheit ist. Eine kreative Lösung wird umso wahrscheinlicher, je eher eine Situation um eine Person oder der Zustand dieser die räumliche und zeitliche Nähe von assoziativen Elementen (die Kontiguität) begünstigt. MEDNICK unterscheidet drei Arten von Kontiguität, die die assoziativen geistigen

¹⁷⁸ Sigmund Freud zitiert in Landau (1971), S.18: „Sexualregungen [...] werden dabei sublimiert, d.h. von ihren sexuellen Zielen abgelenkt und auf sozial höher stehende, nicht mehr sexuelle, gerichtet.“

¹⁷⁹ vgl. Landau (1971), S.22ff.

¹⁸⁰ Wertheimer (1945), S.225.; „Das Prägnanzprinzip [...] behauptet, dass die Organisation des Feldes so klar und einfach zu werden strebt, wie es die gegebenen Bedingungen gestatten.“

¹⁸¹ Wertheimer (1945), S.226

¹⁸² vgl. Wertheimer (1945), S.219ff.

¹⁸³ Mednick (1963)

Inhalte hervorrufen, zusammenbringen und damit eine kreative Leistung ermöglichen. Die Umgebungskontiguität entsteht durch gleichzeitiges Auftauchen von Stimuli in der Umgebung, die dann zur Kombination der stimulierten assoziativen Elemente zu einem kreativen Ergebnis führt. Dieses unbeabsichtigte Finden einer kreativen Lösung durch glücklichen Zufall wird als Serendipität bezeichnet. Ähnlichkeit von Stimuli oder von ähnlichen assoziativen Elementen führt zu Kontiguität von Strukturen oder Objekten auf künstlerischen Gebieten, wie Malerei, Musik oder Dichtung. Durch Vermittlung (Mediation) gemeinsamer Elemente lässt sich ebenfalls Kontiguität erzeugen, beispielsweise durch die Verwendung von verbalen, mathematischen oder chemischen Symbolen.

Der Ansatz der kreativen Kognition (*creative cognition*) sieht Kreativität nicht als einen einzelnen Prozess, sondern als Ergebnis einer Vielzahl mentaler Prozesse. Dabei werden generative Prozesse zur Bildung kognitiver Strukturen und explorative Prozesse zur Verbesserung dieser Strukturen unterschieden. Die erstgenannten Prozesse, beispielsweise Assoziation oder Analogiebildung, entwickeln mentale Repräsentationen, die präinventive Strukturen (*pre-inventive forms*¹⁸⁴) genannt werden, wie Muster, Formen oder mentale Modelle. In der explorativen Phase werden diese präinventiven Strukturen sinnvoll kombiniert und interpretiert.¹⁸⁵

PREISER bezeichnet ein Vergleich der Kreativitätstheorien wegen der hohen Heterogenität und mangelndem Bezug untereinander als wenig sinnvoll.¹⁸⁶ Die theoretischen Ansätze zeigen deutlich, wie sich die Psychologie dem Aspekt Kreativität auf sehr unterschiedliche Art und Weise nähert. Eine einheitliche Theorie der Kreativität ist nicht vorhanden.¹⁸⁷

2.3.2 Kreativität als zu definierender Begriff

In der etymologischen Betrachtung leitet sich der Begriff der Kreativität aus dem lateinischen Verb *creare* für *erschaffen* ab. Ursprünglich wird im Englischen der Begriff *creation* ausschließlich im Sinne der göttlichen Schöpfung genutzt. Erst später ab dem 16. Jahrhundert wird auch dem Menschen schöpferisches Tun zugebilligt. So schreibt der italienische Dichter TASSO, es gäbe „zwei Schöpfer – Gott und den Poe-

¹⁸⁴ vgl. Finke (1992)

¹⁸⁵ vgl. Finke et al. (1996)

¹⁸⁶ vgl. Preiser (1986), S.28. Bei seinem Vergleich bezieht er sich auf die Theorien: Psychoanalyse, existenzpsychologische Theorie, kulturtheoretische Ansätze, assoziationspsychologische Ansätze, gestalttheoretische Ansätze, Übertragungstheorie und Strukturtheorie.

¹⁸⁷ vgl. Preiser (1986), S.27; vgl. Runco (2004), S.660

ten“¹⁸⁸. Erst ab dem 18. Jahrhundert werden Kunst und Kreation in Zusammenhang gebracht. Der Begriff Kreativität folgt erst im 20. Jahrhundert als Ausdruck der Fähigkeit, kreativ zu sein.¹⁸⁹ Zeitgenössische Wörterbücher sehen im Begriff der Kreativität in erster Linie die Schöpferkraft.¹⁹⁰

In der Literatur ist eine Vielzahl von Definitionen veröffentlicht. Die Folgenden stellen nur eine Auswahl dar:

„Der Ausdruck Kreativität ist ein Nomen, das ein Phänomen benennt, bei dem eine Person ein neues Konzept (das Produkt) kommuniziert.“¹⁹¹

„Im engeren Sinne bezieht sich Kreativität auf die Fähigkeiten (abilities), die für schöpferische Menschen am meisten charakteristisch sind.“¹⁹²

„Kreativität ist ein Prozess der Formgebung von Ideen oder Hypothesen, des Testens dieser Ideen und der Kommunikation der Resultate.“¹⁹³

„Wenn Kreativität ohne die Beachtung ihrer Angemessenheit nicht definiert werden kann und Angemessenheit nur durch Experten auf einen Gebiet definiert werden kann, dann ist die Definition von Kreativität grundsätzlich und unvermeidbar von sozialer Natur.“¹⁹⁴

Aus der Auswahl an Definitionen zeigt sich, wie vielschichtig der Begriff der Kreativität ist. Viele der bekannten Definitionen folgen zwei grundsätzlich verschiedene Ansichten.¹⁹⁵ Zum einen wird als Resultat ein gesellschaftlich wertvolles Produkt vorausgesetzt, bevor der Prozess, der zu diesem führte, als kreativ bezeichnet werden kann. Zum anderen ist das Produkt kreativer Aktivität für ein Individuum intrinsisch wertvoll und somit nicht zwingend ein gesellschaftlich wertvolles Produkt. Der erste

¹⁸⁸ Williams (1986), S.82

¹⁸⁹ vgl. Williams (1986), S.82ff.

¹⁹⁰ Duden (2000), S.764: Kreativität = „das Schöpferische, Schöpferkraft“; Wahrig (2002), S.777: Kreativität = „schöpf. Kraft“; Collins (1998), S.371 findet creativity nur Erwähnung als abgeleiteter Begriff von creative = “having the ability or power to create”; create = “to cause to come into existence”

¹⁹¹ vgl. Rhodes (1961), im Original: “The word creativity is a noun naming the phenomenon in which a person communicates a new concept (which is the product).”

¹⁹² Guilford (1950)

¹⁹³ vgl. Torrance, E. P.: Developing creative thinking through school experience. In: Parnes & Harding (eds.): A source book of creative thinking, Scribner, 1962, S.31-47, zitiert in Landau (1971), S.8

¹⁹⁴ vgl. Sawyer (2006), S.122, im Original: „If creativity can't be defined without appropriateness, and appropriateness can only be defined by the people working in a domain, then the definition of creativity is fundamentally and unavoidably social.“

¹⁹⁵ vgl. Barron & Harrington (1981), S. 441; vgl. Sawyer (2006), S.27

Fall der soziokulturellen Definition, so SAWYER, beschränkt kreative Leistung auf große, beispielsweise Nobelpreis-trächtige Leistungen, während der zweite bereits das kindliche Auftürmen von Bausteinen oder die Anpassung eines Kochrezepts an vorhandene Zutaten als kreativen Akt akzeptiert. Letzteres, sozusagen die alltägliche Kreativität, ist im Sinne einer Abgrenzung zum Nicht-kreativen unmöglich zu definieren.¹⁹⁶

Je nach Perspektive und Zeitgeist wird Kreativität als Voraussetzung eines neuen Produktes, als Persönlichkeitsmerkmal im Sinne einer Fähigkeit, als mentaler Prozess oder aber als ein vom sozialen Umfeld abhängiges Konzept gesehen. Die Suche nach einer einheitlichen Definition des Begriffs Kreativität führt zu keiner Lösung.¹⁹⁷ Eine umfassende Übersicht relevanter Arbeiten in der Kreativitätsforschung bieten beispielsweise BARRON und HARRINGTON für die frühe, persönlichkeitsorientierte Kreativitätsforschung sowie RUNCO und SAWYER für die moderne, multidisziplinäre Herangehensweise.¹⁹⁸

2.3.3 Determinanten der Kreativität

RHODES analysierte eine Vielzahl von Arbeiten zu Kreativität und identifizierte vier unterschiedliche Richtungen, aus welchen der Aspekt beleuchtet wird. Damit subsummiert er unter den Überbegriff Kreativität vier elementare Betrachtungsweisen: die Determinanten Produkt, Person, Prozess und Press („Kreativitätsdruck“ durch die Umgebung)¹⁹⁹. Ausgangspunkt ist das kreative Produkt, also das Erzeugnis der Tätigkeit einer oder mehrerer kreativen Personen. Die zweite Determinante beschreibt entsprechend, welche personalen Faktoren eine Person kreativ sein lassen. Die dritte interessierende Größe ist der kreative Prozess, in dem die kreative Person das kreative Produkt generiert. Der letzte Einflussfaktor bildet sich aus den Umgebungsbedingungen, die auf die kreative Person einwirken. Zusammen bildet die Alliteration Produkt, Person, Prozess und Press die 4Ps der Kreativität.²⁰⁰ Die jüngere Kreativitätsforschung verlagert den Schwerpunkt weg von der Erforschung rein personaler psychologischer Faktoren in Richtung der Sozial- und Bildungsforschung.²⁰¹ Zur Strukturierung der vorliegenden Arbeit sind die disziplinspezifischen Sichten, so sie

¹⁹⁶ vgl. Sawyer (2006), S.27

¹⁹⁷ vgl. Preiser (1986), S.1; vgl. Götz (1981); vgl. Kim et al. (2006)

¹⁹⁸ vgl. Barron & Harrington (1981); vgl. Runco (2004); vgl. Sawyer (2006); vgl. Runco (2007)

¹⁹⁹ Rhodes (1961): „[...] and of course no one could conceive a person living or operating in vacuum, so the term press is also implicit.“

²⁰⁰ vgl. Rhodes (1961)

²⁰¹ vgl. Runco (2004), S.674f., vgl. Sawyer (2006)

für die Arbeit relevant sind, ebenfalls den 4P-Perspektiven zugeordnet. Eine Übersicht über die jüngsten disziplinspezifischen Ansätze der Kreativitätsforschung geben STERNBERG oder RUNCO.²⁰²

2.3.4 Das kreative Produkt

Das kreative Produkt ist augenscheinlich. Hingegen lassen sich die kreativen Eigenschaften einer Person nicht unmittelbar feststellen. Dies gelingt ebenso wenig bei der Untersuchung kreativer Prozesse oder des Umfeldeinflusses auf die Entwicklung kreativer Leistung. Das kreative Produkt erscheint daher als Grundlage einer phänomenologischen Kreativitätsbeschreibung Sinn zu ergeben. Zur Bestimmung des kreativen Produkts ist es erforderlich, geeignete Kriterien heranzuziehen. Beim kreativen Produkt handelt es sich nicht um das Ergebnis eines ingenieurmäßigen Produktentstehungsprozesses, sondern um das explizit gemachte Ergebnis (Idee) einer kreativen Handlung aus psychologischer Sicht.

Kriterien des kreativen Produktes

Das Produkt als Ausdruck kreativer Leistung ist bei RHODES die Umsetzung einer Idee, eines Gedankens, der über Worte, Visualisierung oder einen beliebigen anderen Weg kommuniziert wurde. Er stellt jedoch auch fest, dass es keinerlei Beurteilungssystem für Produkte auf Basis eines ideellen Wertes oder Originalitätsgrad gibt. Dies mündet darin, dass jeder Gegenstand als ein kreatives Produkt bezeichnet werden könne.²⁰³ Auch PREISER führt an, das kreative Produkt müsse sich zur Definition vom nicht-kreativen abgrenzen. Wenig hilfreich zur Klärung der Definition ergänzt er, die hierzu notwendige Klassifizierung erfordert definierte Bewertungskriterien in einem Wertesystem aus der interessierenden Domäne. Da jedoch das kreative Produkt möglicherweise über die bekannten Kategorien und Denkweisen hinausgeht, ließe es keine Klassifizierung zu, was somit letztlich den Versuch einer Definition ad absurdum führe.²⁰⁴ AMABILE hingegen definiert ein Produkt als kreativ, wenn eine Expertengruppe aus einer adäquaten Domäne das Produkt übereinstimmend als kreativ beurteilt (*Consensual Assessment Technique*). Die Kreativitätskriterien sind hier Neuheit, Nützlichkeit, Angemessenheit, Korrektheit und Wert sowie die Bedingung, dass die Problemstellung heuristisch und nicht algorithmisch zu lösen ist.²⁰⁵ HOLM-

²⁰² vgl. Sternberg (1999); vgl. Runco (2004)

²⁰³ Rhodes (1961)

²⁰⁴ vgl. Preiser (1986), S.5

²⁰⁵ vgl. Amabile, T. M.: *Creativity in Context*. Boulder, CO : Westview, 1996, zitiert in Hennessey (2003), S.257; vgl. Amabile (1982)

HADULLA berichtet aus eigener Erfahrung in der Kreativitätsberatung, dass „*kreative Leistungen von der Expertengemeinschaft in der Regel erkannt werden*“.²⁰⁶ Die Bewertung von Ideen durch Experten ist jedoch insbesondere dann als problematisch zu sehen, wenn das kreative Produkt die herrschende Expertenmeinung in Frage stellt.²⁰⁷ Das Neue, so LUHMANN, zeige sich in Form von Abweichungen, die irritieren und provozieren.²⁰⁸

Während für RHODES die Äußerung eines neuen Konzepts bereits ein kreativer Akt ist, erweitern die meisten Definitionen, die den Weg über das kreative Produkt beschreiten, die Neuheits- bzw. Originalitätsbedingung um zwei weitere Faktoren: Nutzen und Angemessenheit, bzw. Akzeptanz im gesellschaftlichen Umfeld. Für LANDAU ist die Antwort kreativen Denkens dann gut, „*wenn sie neu ist, relevant ist (dem Problem adäquat) und den Erfahrungs- oder Wissenskreis erweitert*“.²⁰⁹ AMABILE sieht Kreativität als Erstellung eines Objekts, das sowohl neu als auch angemessen ist.²¹⁰ Insbesondere die jüngeren Definitionen heben den sozialen Aspekt hervor. Nach MCLAUGHLIN ist das kreative Produkt über seine soziale Einbindung definiert, da das gesellschaftliche Umfeld das Kreativitätsmerkmal bestimmt.²¹¹ Ebenso WILLFORT et al., denen zu Folge Kreativität als „*Produktion von neuen, relevanten und effektiven Ideen bezeichnet*“ wird. Die notwendigen Bedingungen für die kreative Idee sind entsprechend Originalität, Nützlichkeit und soziale Akzeptanz.²¹² Kreativität muss angemessen sein und erfordert „*klare Strukturen und sichere Rahmenbedingungen*“.²¹³ Zusammenfassend beinhaltet der überwiegende Teil der Definitionen des kreativen Produkts die Kriterien Originalität und Angemessenheit, wenn auch einzelne Quellen noch weitere Kriterien als notwendig erachten²¹⁴ (vgl. Tabelle 5).

²⁰⁶ Holm-Hadulla (2005), S.57

²⁰⁷ vgl. Segler (2000), S.81

²⁰⁸ vgl. Wahren (2004), S.108

²⁰⁹ Landau (1971), S.8

²¹⁰ vgl. Amabile (1989); vgl. Amabile, T. M.: Creativity in Context. Boulder, CO : Westview, 1996, zitiert in Hennessey (2003), S.257

²¹¹ McLaughlin (1993), S.52: „Creative products are socially defined.“

²¹² vgl. Willfort et al. (2007), S.29

²¹³ Holm-Hadulla (2005), S.46

²¹⁴ vgl. Amabile (1982); vgl. Howard et al. (2008)

Tabelle 5: Kriterien des Kreativitätsmerkmals sowie deren Synonyme

Kreativitätskriterium	herangezogene Synonyme
Originalität	Neuheit, Ungewöhnlichkeit
Angemessenheit	Nützlichkeit, Effektivität, Nutzen, Zweckmäßigkeit, soziale Akzeptanz, Relevanz, problemadäquat

Quelle: Eigene Darstellung auf Basis psychologischer Definitionen

Klassifikationen

Eine Idee kann dabei originell aus psychologischer, personeller („*P-Creative*“) oder aus historischer, transpersonaler Perspektive („*H-Creative*“) sein.²¹⁵ Während die Psychologie eher an der P-Originalität interessiert ist, erweist sich für die innovative Produktentwicklung die H-Originalität als besonders relevant in Hinblick auf Intellectual Property (IP) und Patente.²¹⁶

MUMFORD und GUSTAFSON kategorisieren kreative Produkte nach *major* und *minor contributions* in Abhängigkeit der Originalität. *Minor contributions* weiten Bestehendes aus durch eine nützliche Problemlösung aus, während *major contributions* mit großer Originalität eine Vielzahl von Problemen lösen.²¹⁷ Auch SAWYER erkennt in den Definitionen zwei Kategorien: große kreative Leistungen („*big C creativity*“), die ausgesprochenen gesellschaftlichen Nutzen mit sich bringen, und kleine alltägliche kreative Leistungen („*little c creativity*“, Alltagskreativität), wobei sich letztere nur schwer abgrenzen und definieren lassen.²¹⁸ Dieses Spektrum kreativer Leistungen lässt sich in fünf Klassen (vgl. Tabelle 6) diskretisieren, die sowohl die Klassierung kindlicher Zeichnungen wie auch die vollkommen neuer Konzepte und Prinzipien erlaubt.²¹⁹

²¹⁵ vgl. Boden (1999)

²¹⁶ vgl. Howard (2008)

²¹⁷ vgl. Mumford, M. D. & Gustafson, S. B.: Creativity syndrome: Integration, application, and innovation. *Psychological Bulletin* 103, 1988, S.27-43, zitiert in Schuler & Görlich (2007), S.7

²¹⁸ vgl. Sawyer (2006), S.27ff.

²¹⁹ vgl. Torrance (1988); vgl. Schuler & Görlich (2007), S.7

Tabelle 6: Klassen kreativer Leistung aus psychologischer Sicht

Kreativitätsklasse	Phänomen
Ausdrucks kreativität	Kinderzeichnungen
Produktive Kreativität	Kunstwerke, wiss. Produkte
Erfinderische Kreativität	technische Neuheiten
Innovative Kreativität	neue gedankliche Konzepte
Emergentative Kreativität	völlig neue Prinzipien, um die herum neue Schulen u. ä. entstehen können

Quelle: vgl. Torrance (1988), S.46; Übersetzung vgl. Schuler & Görlich (2007), S.7

2.3.5 Die kreative Person

Die frühe Kreativitätsforschung sucht die Ursache für kreative Leistung schwerpunktmäßig in personalen Charakteristika einer Persönlichkeit. Persönlichkeit ist das Profil charakteristischer Gedanken, Gefühle und Verhaltensweisen, die eine Person von anderen unabhängig von Zeit und Situation unterscheidet.²²⁰ Kreativität wird in der personalen Perspektive nicht als Ergebnis gesehen, sondern als Fähigkeit eines Individuums, die in einem kreativen Produkt mündet.²²¹

BARRON und HARRINGTON resümieren einen in vielen wissenschaftlichen Arbeiten unverändert stabilen Satz von Kerncharakteristika kreativer Personen (bspw. ästhetische Wertschätzung, vielseitiges Interesse, Reiz durch Komplexität, hohe Energie, unabhängige Urteilsbildung, Autonomie, Intuition, Selbstvertrauen, Fähigkeit zur Widerspruchslösung, die Fähigkeit widersprüchliche Charaktereigenschaften zu besitzen, Selbstbild ‚kreativ‘). Aus diesen Eigenschaften lassen sich beschreibende Adjektive ableiten, die empirisch nachweisbar mit kreativer Leistung und Aktivität korrelieren²²². SCHULER und GÖRLICH bündeln die kreativitätsbegünstigenden oder -fördernden Persönlichkeitsmerkmale unter den Überbegriffen Intelligenz, intrinsische Motivation, Nonkonformität, Selbstvertrauen, Offenheit und Erfahrung (vgl. Tabelle 7)²²³. Eigenschaften wie Neugier, Interesse, Ehrgeiz, Hingabefähigkeit, Frustrationstoleranz und Selbstvertrauen sind Voraussetzungen für kreatives Handeln und von Kindheitsbedingungen, wie dem Erleben von Vertrauen und Sicherheit, abhängig.²²⁴

²²⁰ Runco (2007), S.280

²²¹ vgl. Guilford (1950)

²²² vgl. Barron & Harrington (1981), S.453f

²²³ vgl. Schuler und Görlich (2007), S.14; in ähnlicher Weise Holm-Hadulla (2005), S.36

²²⁴ vgl. Holm-Hadulla (2005), S.38

Darüber hinaus wird Sinn für Humor ebenfalls als kreativitätsfördernde Eigenschaft betrachtet.²²⁵

Tabelle 7: Kreativitätsfördernde oder -begünstigende Persönlichkeitsmerkmale

Zusammenfassendes Merkmal	Assoziierte Persönlichkeitsmerkmale
Intelligenz	Umgang mit Komplexität, Intuition, Einsicht, Fantasie, Bildung, Vorstellungskraft, Integrationsfähigkeit
Intrinsische Motivation	Ehrgeiz, Ausdauer, Konzentration, Leistungsmotivation, Energie, Leistungsfreude, Antrieb, Belohnungsaufschub
Nonkonformität	Originalität, Unkonventionalität, Autonomiestreben, Individualismus, Unabhängigkeit des Urteils, Eigenwilligkeit
Selbstvertrauen	emotionale Stabilität, Selbstbild ‚kreativ‘, Risikobereitschaft
Offenheit	Neugierde, Freude an Neuem, ästhetische Ansprüche, intellektuelle Werte, Bedürfnis nach Komplexität, breite Interessen, Flexibilität, Ambiguitätstoleranz
Erfahrung	Wissen, Einstellungen und Werthaltungen, metakognitive Fertigkeiten (Planung, Monitoring, Feedback, Selbststeuerung, Selbstbeurteilung)

Quelle: nach Schuler & Görlich (2007)

Zur Umsetzung von Ideen in Innovationen sind dagegen grundsätzlich andere Eigenschaften, wie u.a. Kommunikationsfähigkeit, Anpassungsbereitschaft, Realitätssinn oder Überzeugungskraft, notwendig.²²⁶ Dies spiegelt sich auch im Kompetenzprofil für Produktentwicklungsingenieure nach ALBERS wieder, das neben Fach-, Methoden- und Sozialkompetenz auch Kreativitäts- und Elaborationspotential unterscheidet.²²⁷ KROY skizziert geforderte Persönlichkeitsmerkmale für Kreativität in Organisationen sowie Merkmale bei zu starker Ausprägung. Offensichtlich ist, dass manche Kreativitätsmerkmale innerhalb organisatorischer Strukturen schnell zum Störfaktor und Konfliktherd werden können (vgl. Tabelle 8).²²⁸

Es zeigt sich über die stabilen Kerncharakteristika hinaus jedoch, dass Merkmale kreativer Personen domänenabhängig spezifisch sein können. Kreative Wissenschaftler weisen in Bezug auf eine durchschnittliche Vergleichsgruppe höhere emotionale Stabilität, mehr Wagemut und höheres Selbstbewusstsein auf, während krea-

²²⁵ vgl. Kim et al. (2006); vgl. Willfort et al. (2007), S.23, 49f.

²²⁶ vgl. Schuler und Görlich (2007), S.19

²²⁷ vgl. Albers et al. (2008b)

²²⁸ vgl. Kroy (1984)

tive Künstler eine geringere emotionale Stabilität, geringeren Wagemut und eher Schuldneigung besitzen.²²⁹

Tabelle 8: Gegenüberstellung von geforderten Persönlichkeitsmerkmalen und zu starker Ausprägung

Geforderte Persönlichkeitsmerkmale	Zu starke Merkmalsausprägung
<ul style="list-style-type: none"> • Andersartigkeit, Neuartigkeit, Selbstdenker • Aus dem ‚Rahmen‘ fallen • Unkonventionalität • Großes Selbstvertrauen • Unempfindlichkeit gegenüber Kritik und Ablehnung seiner Ideen • Hohe Ambiguitätstoleranz • Weitgehende Identifikation mit der Aufgabe, Arbeit, Idee 	<ul style="list-style-type: none"> • Irres Genie, genialer Irrer, psychisch Kranker • Störfaktor innerhalb der Organisation • Häufige Erzeugung von Konflikten • Selbstüberschätzung, Überheblichkeit • Sturheit, Uneinsichtigkeit • Eingeschränkte Möglichkeit der Verhaltenssteuerung • Mangelnde Selbstkontrolle • keine fachgebietsübergreifende Sichtweise • Unterschätzung des Realisierungsaufwands neuer Ideen • Geringschätzung der Ideen anderer

Quelle: Kroy (1984)

Die Korrelation von Intelligenz und Kreativität war Ziel einer Vielzahl von Untersuchungen. Intelligenz wird von LANDAU als Fähigkeit definiert, „*Informationen zu sammeln und sie in verschiedenen Situationen zu gebrauchen*“. Dabei nutzt Kreativität genau diese Fähigkeit, „*erweitert sie jedoch durch neue Beziehungen zwischen den Informationen*“.²³⁰ Studien mit als kreativ geltenden Gruppen erwachsener Künstler, Wissenschaftler, Mathematiker und Schriftsteller zeigen, dass diese sehr hohe allgemeine Intelligenzwerte aufweisen. Ein häufig vermuteter degressiv zunehmender Zusammenhang von Intelligenz und Kreativität, wobei der Einfluss der Intelligenz mit ihrer Zunahme sinkt, ist unbestätigt.²³¹ Die heute gebräuchliche Schwellentheorie besagt, dass hochkreative Personen hohe Intelligenz aufweisen, hochintelligente Personen aber nicht zwingend hoch kreativ sind. Für kreative Leistung wird eine Mindestintelligenz (Schwelle) vorausgesetzt, bei deren Überschreiten ein Potential für Kreativität vorhanden ist.²³² GARDNER unterscheidet sieben Intelligenzen durch

²²⁹ vgl. Cattell, R. B.: *Abilities: Their Structure, Growth, and Action*. Boston : Houghton Mifflin, 1971, zitiert in Barron & Harrington (1981), S.456

²³⁰ Landau (1971), S.7

²³¹ Barron & Harrington (1981), S445f.

²³² Runco (2007), S.7

deren Kombination sich kreative Personen unterscheiden:²³³ linguistische, musikalische, logisch-mathematische, räumliche, körperlich-kinästhetische und inter- und intrapersonale Intelligenzen.²³⁴

Empirische Studien zeigen, dass intrinsische Motivation kreativitätsfördernd wirkt.²³⁵ Extrinsische Motivation, die sich aus der Erfüllung eines externen Ziels, beispielsweise einer Belohnung, speist, erweist sich dagegen als eher schädlich. Intrinsische Motivation erfährt ein Individuum, wenn es seine Motivation um einer Sache Willen oder aus der Aufgabe selbst schöpft. Das Gefühl von Kompetenz und Können sind dabei elementar.²³⁶ Ein weiteres intrinsisches Motiv ist das Verlangen nach einem Flow-Erlebnis, einem Gefühl des völligen Aufgehens in einer Tätigkeit.²³⁷ Beim Flow-Erlebnis stehen Herausforderung und Leistungsfähigkeit einer Person im Gleichgewicht, sodass die Person in ihrer Tätigkeit aufgehen und einen sogenannten Flow erleben kann.

Neben dem motivationalen Faktor stellt auch die in einer Domäne relevante Fachkenntnis eine Komponente der Kreativität dar.²³⁸ Nach der Assoziationstheorie sind relevante Elemente in einem vorhandenen Repertoire eine Voraussetzung, um Elemente neu kombinieren zu können.²³⁹

Personenbezogen sind auch biologische Faktoren, wie Geschlecht oder Alter. Geschlechtsspezifische Unterschiede in der kreativen Leistung wurden in älteren Studien festgestellt und liegen vermutlich in kulturellen Faktoren (geschlechtsspezifische Erziehung und Bildungschancen) begründet²⁴⁰, während jüngere Studien keine direkten Unterschiede im divergenten Denken feststellten²⁴¹. MASLOW begründet die weniger ausgeprägte Präsenz hochkreativ erscheinender Frauen mit deren höherem Interesse an Prozessen und nicht an Produkten.²⁴² Das Alter spielt für die kreative

²³³ vgl. Gardner (1993), S.431ff.

²³⁴ vgl. Gardner (1985)

²³⁵ vgl. Amabile (1989); vgl. Collins & Amabile (1999); vgl. Hennessey (2003)

²³⁶ vgl. Hennessey (2003)

²³⁷ vgl. von Cube (2000), S.45ff. und S.149

²³⁸ vgl. Amabile (1989); vgl. Fischer (1993); vgl. Segler (2000)

²³⁹ vgl. Mednick (1963)

²⁴⁰ vgl. Ruth & Birren (1985); vgl. Runco (2004)

²⁴¹ vgl. Reese et al. (2001)

²⁴² vgl. Maslow, A. H.: Creativity in self-actualizing People. In: Anderson, H. H. (Hrsg.): Creativity and its Cultivation. New York: Harper & Row, S.83-95 zitiert in Kämmerer (2000), S.304

Leistungsfähigkeit ebenfalls eine Rolle.²⁴³ ROSEN und RUZICKA stellen einen signifikant überdurchschnittlichen Anteil als hochkreativ bewertete Mitarbeiter im Altersbereich 40 bis 59 fest.²⁴⁴ Als ursächlich für eine abnehmende Kreativität im Alter wird eine physiologisch langsamere Informationsverarbeitung angenommen.²⁴⁵ Verschiedene kognitive Fähigkeiten entwickeln sich in Abhängigkeit des Alters in ungleichem Maße weiter oder zurück, was zu unterschiedlichen kreativen Leistungsbemessungen je nach Schwerpunktsetzung des entsprechenden Testverfahrens führt.²⁴⁶ Zu berücksichtigen ist jedoch, dass die kreative Leistungsfähigkeit von der Expertise, der Erfahrung auf einem bestimmten Gebiet abhängt. Damit scheint eher das relative Alter im Sinne der Beschäftigung mit einer Thematik eine Rolle zu spielen als das absolute Alter.

Die Vielschichtigkeit des Konstrukts Kreativität führt zu Schwierigkeiten bei der Messung. Zum heutigen Tage steht kein standardisiertes Testverfahren zur Verfügung.²⁴⁷

2.3.6 Der kreative Prozess

Der Aspekt des kreativen Prozess will zur Klärung der Vorgehensweise bei der Schaffung eines kreativen Produktes beitragen. POINCARÉ beschrieb seine Vorgehensweise, seinen Denkprozess und die Begleitumstände bei seinen mathematischen Entdeckungen autobiographisch.²⁴⁸ Daraus entstand das erste Phasenmodell der Kreativität von WALLAS²⁴⁹, auf das eine Vielzahl anderer Modelle folgen sollte. Bei diesen unterscheidet SHNEIDERMAN drei „Schulen“.²⁵⁰ Die *Inspirationalisten* – zu denen WALLAS zählt – betonen die spontane Einsicht, den Aha-Effekt, der intuitiv die Idee hervorbringt sowie die Schritte, die zur Vor- und Nachbereitung der Inspiration dienen. Die *Strukturalisten* bevorzugen diskursive Vorgehensmodelle zur Problemlösung. Grundlagen sind die Erfassung von Wissen und methodische Hilfsmittel zur Lösungsfindung und -bewertung. Der strukturalistische Ansatz zeichnet eher ein Bild einer bewussten Ideengenerierung auf Basis der Verknüpfung zwei oder mehrerer

²⁴³ vgl. Reese et al. (2001); vgl. Schuler & Görlich (2007), S.3, Naturwissenschaftler veröffentlichen mit einer fünffach höheren Wahrscheinlichkeit im Altersbereich von 30 bis 50 Jahren.

²⁴⁴ vgl. Rosen & Ruzicka (1990)

²⁴⁵ vgl. Ruth & Birren (1985)

²⁴⁶ vgl. Schuler & Görlich (2007), S.41f.

²⁴⁷ vgl. Benedek (2008); eine Übersicht über psychologischer Testverfahren zur Kreativität gibt Schweizer (2006)

²⁴⁸ vgl. Poincaré (1914)

²⁴⁹ vgl. Wallas (1927), S.79ff.

²⁵⁰ vgl. Shneiderman (2000)

vorhandener Denkinhalte oder bereits existierender Ideen.²⁵¹ Die *Situationalisten* sehen den Kern des kreativen Prozesses eingebunden in einen sozialen und intellektuellen Kontext. Kreativität geschieht innerhalb einer Gemeinschaft mit sich verändernden Rahmenbedingungen und sozialen Prozessen, die zur Akzeptanz neuer Ideen führen (vgl. Abschnitt 2.3.7, S.66).

Phasenmodelle

Die Beschreibung des kreativen Prozesses mittels diskreter Phasen geht auf die psychologische Interpretation der Ausführungen POINCARÉ durch WALLAS zurück und führte zu dem häufig gebräuchlichen, aber auch kontrovers diskutierten Vier-Phasen-Modell des kreativen Prozesses. Dieses besteht aus den Phasen der Präparation, Inkubation, Illumination und Verifikation (vgl. Tabelle 9).²⁵² In der Präparationsphase sammelt das Individuum Informationen und identifiziert das Problem. Diese Informationen werden in der Inkubationsphase unterbewusst auf das Problem bezogen und weiterverarbeitet, bis eine so verknüpfte Struktur zum spontanen Einfall, zur Illumination führt. In der abschließenden Verifikationsphase wird die Brauchbarkeit des Einfalls geprüft und dieser dann im Folgenden umgesetzt.²⁵³ In der Literatur wird insbesondere das Auftreten der Inkubationsphase, in der, wie WALLAS annimmt, unterbewusst an der Problemlösung gearbeitet wird, kritisch diskutiert.²⁵⁴ Nicht das unterbewusste Arbeiten an der Lösung, sondern andere während der Inkubationszeit auftretende Effekte gehen im spontanen Einfall auf. Der Zeitraum der Inkubationsphase scheint zu Einstellungseffekten, wie dem Vergessen fixierter erfolgloser Problemlösungsstrategien oder zur Aktivierung durch zufällige Hinweisreize zu führen.²⁵⁵ Weitere Erklärungsansätze sind Erholung und damit eine Leistungssteigerung des Gehirns, Stressabbau und Auflösen von Denkblockaden, besserer Überblick durch Abstand zum Problem, Entspannung und eine damit einhergehende Förderung von Imagination und Analogiebildung.²⁵⁶ Was bei der Illumination genau den spontanen Einfall auslöst, ist ungeklärt. Die innere geistige Dynamik und die Abhängigkeit von

²⁵¹ vgl. Howard et al. (2008). Zu dieser Schule zählen einschlägige Problemlösungsmethoden, wie bspw. TRIZ nach Altschuller oder SPALTEN nach Albers; vgl. Altschuller (1986); vgl. Albers et al. (2002); vgl. Albers et al. (2005a);

²⁵² vgl. Wallas (1927), S.79ff.

²⁵³ vgl. Preiser (2006)

²⁵⁴ vgl. Finke et al. (1996), S.149; vgl. Engelkamp & Zimmer (2006), S.655ff.

²⁵⁵ vgl. Engelkamp & Zimmer (2006), S.655ff.

²⁵⁶ vgl. Preiser (2006)

einer Vielzahl von Randbedingungen, wie individuelle Erfahrung, Wertvorstellungen und Überzeugungen führen zu einer Unvorhersehbarkeit des kreativen Produkts.²⁵⁷

In der Literatur existiert eine Vielzahl weiterer Phasenmodelle. HOWARD et al. vergleichen eine Vielzahl von Phasenmodellen des kreativen Prozesses und leiten einen zusammenfassenden Prozess ab, der aus den Phasen Analyse, Generation, Evaluation sowie Kommunikation und Implementierung besteht.²⁵⁸

Tabelle 9: Phasenmodell des kreativen Prozesses

Phase	Inhalte
Präparation	Informationssammlung und Problemidentifikation
Inkubation	Unterbewusstes Verarbeiten der Informationen
Illumination	Spontaner Einfall und plötzliche Einsicht, Aha-Effekt
Verifikation	Überprüfung des Einfalls auf Brauchbarkeit und weitere Umsetzung

Quelle: vgl. Wallas (1927), S.79ff.; vgl. Preiser (2006)

Komponentenmodelle

Komponentenmodelle beschreiben ähnlich wie Phasenmodelle kognitive Prozesse, die zu Kreativität führen. Sie setzen allerdings keine schrittweise Reihenfolge beim Durchlaufen des Prozesses voraus, sondern beschreiben Komponenten und deren Zusammenhänge.

Das Komponentenmodell der Kreativität nach AMABILE beschreibt diejenigen Komponenten, die für eine individuelle kreative Leistung notwendig sind und wie diese Komponenten die Stufen eines kreativen Prozesses beeinflussen.²⁵⁹ Die erforderlichen Komponenten sind hier kreativitätsrelevante Fähigkeiten, bereichsrelevante Fähigkeiten und intrinsische Aufgabenmotivation. Die bereichsrelevanten Fähigkeiten umfassen Faktenwissen, technische Fertigkeiten und Begabungen in der entsprechenden Domäne. Diese Fähigkeit beinhaltet alle Informationen, aus denen eine Idee geformt und gegenüber denen diese als neu abgegrenzt werden kann. Die kreativitätsrelevanten Fähigkeiten lassen sich mit Denkstil, heuristischer Fähigkeit und zielführendem Arbeitsstil beschreiben. Ein geeigneter kognitiver Stil erleichtert das Verständnis komplexer Zusammenhänge und ermöglicht mentale Fixierungen zu überwinden. Unter Heuristik versteht AMABILE eine allgemeine Strategie, um an Prob-

²⁵⁷ vgl. Boden (1995)

²⁵⁸ vgl. Howard et al. (2008)

²⁵⁹ vgl. Amabile (1989)

leme und Aufgaben heranzugehen.²⁶⁰ Angewandte Heuristiken sind Verfremdung des Vertrauten, Analyse von Fallbeispielen, Analogiebildung, Berücksichtigung von Ausnahmen oder die Untersuchung von Widersprüchen. Diese Heuristiken besitzen eher impliziten Charakter und werden nicht bewusst angewandt. Ein zielführender Arbeitsstil zeichnet sich durch die Fähigkeit aus, lange Zeit Leistung für die Lösung eines Problems aufbringen zu können, verbunden mit der Gabe, erfolglose Suchwege auch wieder zu verlassen. Die dritte Komponente, die intrinsische Aufgabenmotivation, setzt sich aus der prinzipiellen Haltung gegenüber der Aufgabenstellung und der Wahrnehmung der Beweggründe, die Aufgabe anzunehmen, zusammen. Letztere sind stark von sozialen Umfeldfaktoren abhängig und können sich beispielsweise durch externe Einflüsse, wie Fortschrittskontrollen, schnell von intrinsischen Faktoren, wie Interesse an der Aufgabe, zu extrinsischen wandeln.²⁶¹

Diese drei Komponenten wendet Amabile auf ein Fünfphasenmodell des kreativen Prozesses an, der aus Präsentation, Präparation, Ideengenerierung, Ideenvalidierung und Ergebnisbeurteilung besteht (vgl. Abbildung 14). Die erste Phase der Aufgabenpräsentation hängt maßgeblich von der Motivation ab, die Aufgabe anzunehmen. Die Präparationsphase wird von den bereichsrelevanten Fähigkeiten dominiert. Auf die Ideengenerierung wirken sowohl die motivationale wie auch die kreativitätsrelevante Komponente. Die vierte Phase der Ideenvalidierung prüft, inwieweit die Ideen den Kriterien der Aufgabenstellung gerecht werden. Die Ergebnisbeurteilung als letzter Schritt führt zu einem iterativen Neudurchlaufen bzw. zur Beendigung des Prozesses in Abhängigkeit des Ergebnisses.

Aus Sicht der Produktentwicklung muss die Frage gestellt werden, ob in einer Organisation mit definierten Projektzielen Misserfolg zur Beendigung des kreativen Prozesses führen darf? Gerade bei wenig erfolgversprechenden Ideen ist es in diesem Kontext erforderlich, weitere Iteration zu durchlaufen, bis Ideen in ausreichender Qualität und Quantität vorhanden sind. Zudem sind in der Produktentwicklung im Allgemeinen nicht nur eine Person sondern ein Problemlösungsteam an der Ideenfindung beteiligt.

²⁶⁰ vgl. Amabile (1989); Engelkamp & Zimmer (2006, S.638) fassen den Begriff konkreter: „Heuristiken sind Strategien beim Problemlösen, die sich als hinreichend effizient erweisen, aber gelegentlich führen sie zu Fehlern.“

²⁶¹ vgl. Amabile (1989)

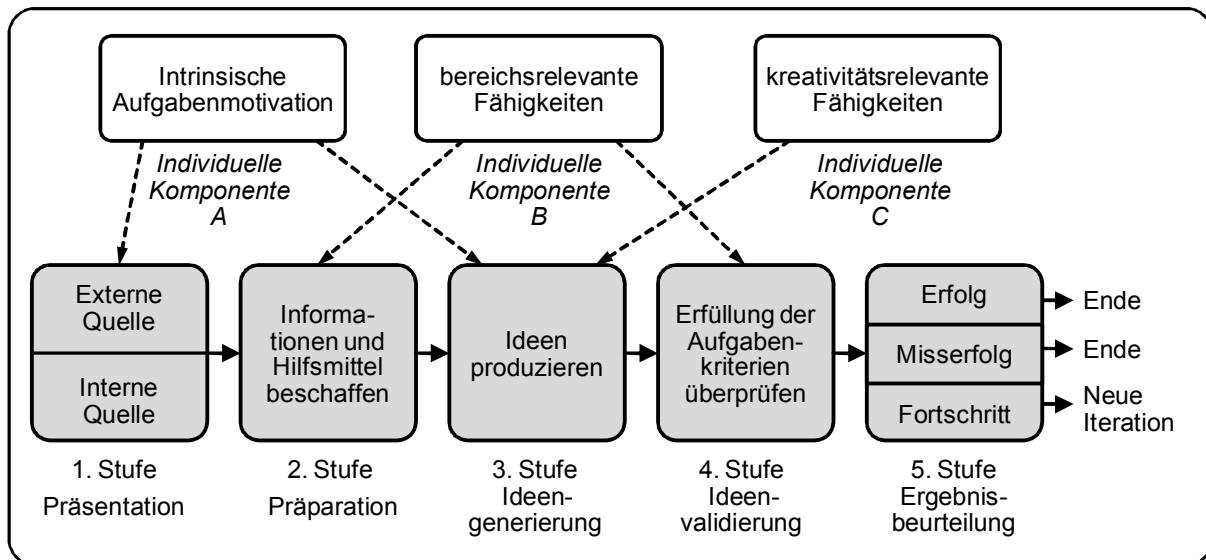


Abbildung 14: Komponentenmodell der Kreativität

Quelle: Eigene Darstellung nach Amabile (1989)

WEISBERG stellt fest, dass die kognitiven Prozesse, die zu kreativen Lösungen führen, die gleichen sind, wie sie auch bei Alltagshandlungen durchlaufen werden.²⁶² Auch FINKE et al. sehen bei den der Kreativität zugrunde liegenden kognitiven Prozessen keine prinzipiellen Unterschiede gegenüber solchen Prozessen, die zu un-kreativen Lösungen führen. Daher verzichten sie auf eine Definition von Kreativität im Sinne eines kreativen Prozesses und definieren vielmehr das kreative Denkprodukt.²⁶³ Statt eines kreativen Prozesses modelliert FINKES *Geneplore*-Modell die kreative Kognition mit zwei iterativ durchlaufenen Hauptphasen der Generierung und Exploration. Während des Generierungsschritts entwickelt das Individuum eine bestimmte mentale Struktur, sog. *pre-inventive structures*, deren Eigenschaften in der Explorationsphase interpretiert und genutzt werden. Beide Phasen können durch gesetzte Randbedingungen beeinflusst werden.²⁶⁴ Die kognitiven Prozesse, die in der ersten Phase ablaufen, sind beispielsweise das Abrufen von Gedächtnisstrukturen, deren Assoziation und Kombination oder domänenübergreifende Analogieübertragung. Explorative Prozesse umfassen die Suche nach neuen oder gewünschten Eigenschaften bei der generierten präinventiven Struktur und deren mögliche Funktionen. Ebenfalls explorativer Natur sind Prozesse zur Bewertung der mentalen Struktur aus verschiedenen Sichten, die Beurteilung als mögliche Lösung sowie die Ab-

²⁶² vgl. Weisberg (1988)

²⁶³ vgl. Finke et al. (1996), S.3

²⁶⁴ vgl. Finke et al (1992), S.17ff.

schätzung möglicher Grenzen. Typische präinventive Formen sind beispielsweise imaginäre dreidimensionale Formen, verbale Kombinationen oder mentale Modelle.²⁶⁵

Als kreativitätsrelevant identifiziert WELLING vier generierende mentale Operationen: Wissensanwendung, Analogiebildung, Kombination und Abstraktion.²⁶⁶ Auf die mentalen Operationen wird im weiteren Verlauf der Arbeit näher eingegangen werden (s. Abschnitt 2.3.9, S.74).

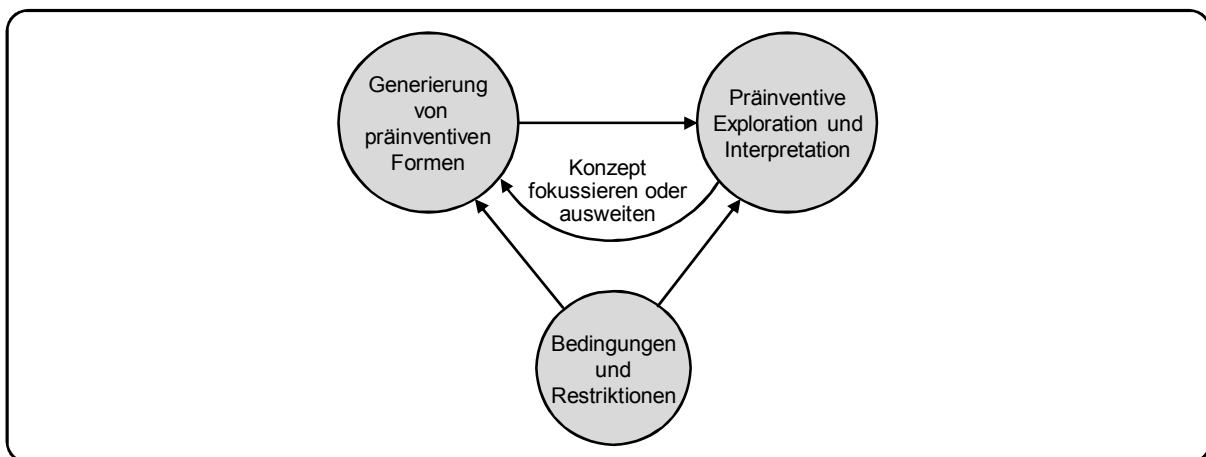


Abbildung 15: Struktur des Geneplore-Modells (Generation – Exploration Model)

Quelle: Eigene Darstellung nach Finke et al. (1992), S.18ff.

2.3.7 Umfeldfaktoren als systemische Notwendigkeit

Kreativität kann nicht als Fähigkeit eines isolierten Individuums betrachtet werden.²⁶⁷ So liefert die Umgebung Stimuli zur Aktivierung kreativer Prozesse.²⁶⁸ Das soziale Umfeld und die Domäne des Kreativen haben neben Begabung, Motivation und Persönlichkeitseigenschaften ebenfalls große Bedeutung.²⁶⁹ Es lassen sich direkte personale, organisatorische und systemische Umfeldbedingungen unterscheiden.

²⁶⁵ vgl. Ward et al. (1999)

²⁶⁶ vgl. Welling (2007)

²⁶⁷ vgl. Csikszentmihalyi (1988)

²⁶⁸ vgl. Torrance (1988)

²⁶⁹ vgl. Holm-Hadulla (2005), S.35

Direktes personales Umfeld

Als Kreativität begünstigende Umfeldfaktoren sieht PREISER stimulierende Bedingungen, Hemmungsabbau und Methoden, die die Situation anregend gestalten, Blockaden reduzieren und die Verarbeitung von Informationen systematisieren.²⁷⁰

Die Kienbaum-Studie von BERTH untersuchte die Orte der Ideenfindung. Lediglich 6 Prozent der Ideen in der Studie wurden während Meetings geboren; lediglich weitere 18 Prozent am Arbeitsplatz und 11 Prozent auf Dienstreisen. Die anderen 65 Prozent der Ideen und damit rund zwei Drittel hatten ihren Ursprung nicht im Unternehmen (vgl. Abbildung 16). Nur allein der Ort kann nach WAHREN nicht für die Kreativitätsförderung entscheidend sein. Vielmehr spielen harte, auf Wissen beruhende, konzentrierte und systematische Arbeit, Motivation, Führung und die organisatorischen Rahmenbedingungen eine wichtige Rolle.²⁷¹

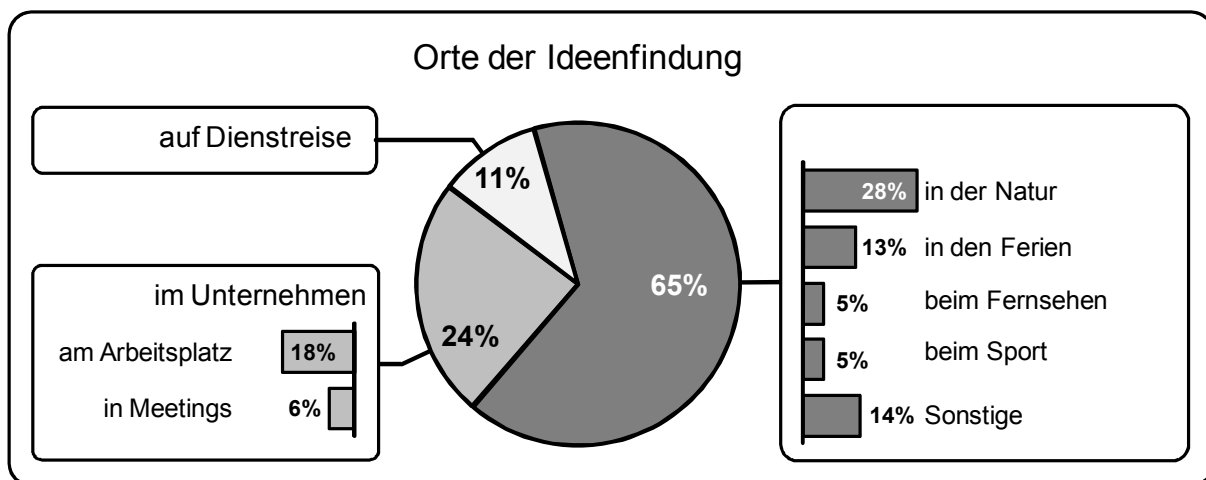


Abbildung 16: Orte der Ideenfindung

Quelle: nach Wahren (2004), S.106ff.

Organisatorisches Umfeld

Das organisatorische Umfeld umfasst Faktoren aus organisatorischen Strukturen, beispielsweise aus Aufbau- und Ablauforganisation eines Unternehmens. AMABILE untersucht hierfür den psychologischen Kontext der Kreativität und schlägt drei Gruppen von organisationalen Faktoren vor: Innovationsdrang, Ressourcen und Füh-

²⁷⁰ vgl. Preiser (2006)

²⁷¹ vgl. Wahren (2004), S.106ff.

rung.²⁷² Zur Unterstützung auf Innovation gerichteter Aktivitäten müssen geeignete Ressourcen, wie ausreichende Zeit und Training bereitgestellt werden. Aus der Führungsperspektive helfen Freiheit und Autonomie in der Arbeitsweise, herausfordernde und interessante Tätigkeiten, die Vorgabe klarere strategischer Ziele und Teams bestehend aus Personen mit vielseitigen Fähigkeiten und Sichten. Übermäßiger Zeit- und Bewertungsdruck, Bewahrung des Status Quo und politische Probleme innerhalb einer Organisation untergraben eine kreative Leistungsentwicklung.²⁷³ Sogar der Versuch einer extrinsischen Motivation durch Belohnung kann Kreativitätshindernd wirken.²⁷⁴

Bezogen auf Unternehmen sind nach SEGLER beeinflussende Faktoren bei der Entfaltung kreativer Leistung Organisationsstruktur, Unternehmenskultur und Führungsstil sowie die unternehmensinterne Kommunikation.²⁷⁵ Er empfiehlt zur Steigerung von Engagement und Kreativität drei strukturelle Möglichkeiten: die Einrichtung eines betrieblichen Vorschlagswesens, das Geben von Entscheidungsfreiheit über die Art der eigenen Arbeitsdurchführung sowie die Beteiligung an Entscheidungsfindungen. SOMMER und GROSSER sehen sozial-kommunikative und organisatorisch-institutionelle Ursachen für Kreativitätshemmungen im Unternehmen. Machtkämpfe, Mobbing, Neidgefühle, Nichtakzeptanz unbequemer kreativer Mitarbeiter oder ungeeignetes Führungsverhalten sind sozial-kommunikative Hemmfaktoren. Von organisatorisch-institutioneller Natur sind fehlende Anerkennung, mangelnde Bereitschaft, Wissen zu teilen, unzureichende Delegation und Erfolgskontrolle.²⁷⁶

Kreativität als systemisches Phänomen

Das kreative Produkt muss den Kriterien Neuheit und Nützlichkeit genügen. Diese Bewertung erfolgt durch das systemische Umfeld des Kreativen. In seinem Systemmodell zeichnet CSIKSZENTMIHALYI das Zusammenspiel dreier treibender Systeme, aus dem sich Kreativität als Phänomen entwickelt.²⁷⁷ Soziale Organisationseinheiten bilden das *Feld* und wählen die für wertvoll erachteten neuen Ideen aus. Die entsprechende *Domäne* wahrt diese Ideen und gibt sie über Generationen weiter. Die Domäne wird von der einzelnen *Person* verändert, indem das Feld seine Ideen an-

²⁷² vgl. Amabile (1989); vgl. Amabile et al. (1996)

²⁷³ vgl. Amabile (1989); vgl. Collins & Amabile (1999)

²⁷⁴ vgl. Hennessey (2003)

²⁷⁵ vgl. Segler (2000), S.91ff.

²⁷⁶ vgl. Sommer & Grosser (1996)

²⁷⁷ vgl. Csikszentmihalyi (1988); vgl. Csikszentmihalyi (1999)

nimmt und die Veränderung vornimmt. Erst das Vorhandensein einer Domäne mit kulturellen Eigenschaften ermöglicht die Ideenfindung des Einzelnen und Innovation. Die in der Domäne vorhandenen Informationen prägen das Individuum; ohne diese wäre es zu keinem kreativen Beitrag fähig. Dieser Beitrag ist jedoch ohne ein bewertendes soziales Feld nicht als kreativ erkennbar. Das Feld bilden dabei alle, die die betreffende Domäne ändern können. CSIKSZENTMIHALYI beschreibt dies am Beispiel der Kunst, bei der das Feld aus Kunstlehrern und -historikern, die Kultur weiterreichen, beurteilenden Kritikern, Sammlern, die den Künstlern das Überleben sichern, Galeristen und Museumsleitern, die die Kunst bewahren sowie der Gruppe von Künstlern, die Stile entwickeln, besteht. Die Akteure des Feldes sind die Wächter der Domäne, da erst sie deren Beeinflussung durch eine neue Idee erlauben. Da das Feld in einen erweiterten sozialen Kontext eingebunden ist, können Ideen, die von den Wächter der Domäne abgewiesen werden, von benachbarten Domänen aufgenommen werden, wenn die dortigen Akteure sie als für ihre Domäne relevant erachten. Aus seinen Betrachtungen leitet CSIKSZENTMIHALYI die Kernfrage ab, wie vergangene Kreativität einem großen Personenkreis so zugänglich gemacht werden kann, dass sie zukünftige Kreativität ermöglicht und fördert.

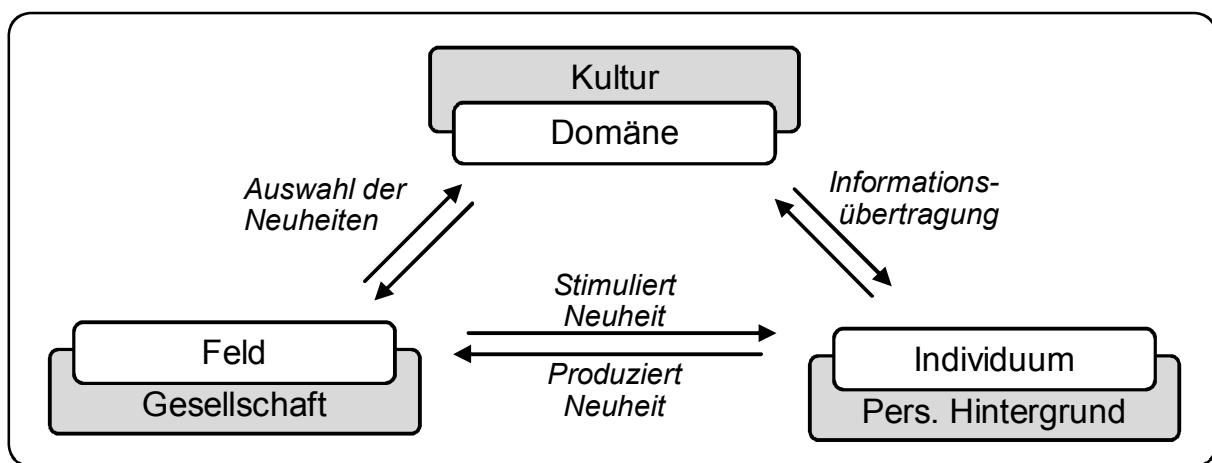


Abbildung 17: Systemmodell der Kreativität

Quelle: nach Csikszentmihalyi (1999)

WESTMEYER nimmt den systemischen Ansatz auf und konstruiert daraus Kreativität als Relation:²⁷⁸

- (1) *„Das Produkt y der Person p gilt als kreativ zur Zeit t genau dann, wenn es D, F und R gibt derart, dass: D eine Domäne, F das zur Domäne D gehörende Feld und R eine substantielle Teilmenge von F ist; für alle r aus R gilt, dass das Produkt y der Person p zur Zeit t von der einschätzenden Person r als kreativ (alternativ: als neu und angemessen) im Hinblick auf die Domäne D eingeschätzt wird.“*
- (2) *„Die Person p gilt als kreativ zur Zeit t genau dann, wenn es (wenigstens) ein Produkt y der Person p gibt, das zur Zeit t als kreativ gilt.“*
- (3) *„Der Prozess pr bei der Person p gilt als kreativ zur Zeit t, wenn der Prozess pr bei der Person p ein Produkt y hervorgebracht hat, das zur Zeit t als kreativ gilt.“*

Es wird ersichtlich, dass in diesem Kreativitätsverständnis entscheidend ist, wer wann darüber urteilt, ob ein Produkt als kreativ gilt. Gilt das Produkt als kreativ, lässt sich dieser Schluss auf die Person, den zu Grunde liegenden Prozess und die fördernde Umgebung übertragen.

2.3.8 Erfahrung und Expertise

Wie bei der Betrachtung personaler Einflussfaktoren auf die kreative Leistungsfähigkeit festgestellt, spielt Expertise, das domänenspezifisches Wissen, eine relevante Rolle.²⁷⁹ Expertise ist nach CHI et al. der Besitz umfangreichen Wissens und prozeduraler Fähigkeiten.²⁸⁰ Darüber hinaus umfasst die Erfahrung im Sinne eines Sammelbegriffs alle durch Anschauung, Wahrnehmung, Empfindung und praktische Erprobung gewonnenen Kenntnisse.²⁸¹ Kreative Produkte beruhen auf bereits Vorhandenem, und Originalität zeigt sich erst, indem sie über das Vorhandene hinaus geht. Daraus folgert WEISBERG, dass paradoxer Weise man sich zuerst möglichst viel Wissen über alte Dinge aneignen müsse, um neue Dinge zu generieren.²⁸² Hinzu

²⁷⁸ vgl. Westmeyer (2008)

²⁷⁹ vgl. Mednick (1963); vgl. Weisberg (1988); vgl. Amabile (1989); vgl. Fischer (1993); vgl. Ward et al. (1999); vgl. Weisberg (1999); vgl. Segler (2000)

²⁸⁰ vgl. Chi, M., Glaser, R. & Rees, E.: Expertise in Problem Solving. In: Sternberg, R. J. (Hrsg.): Advances in the Psychology of Human Intelligence. Hillsdale, NJ, USA : Erlbaum, 1982, S.7-75, zit. in Popovic (2004)

²⁸¹ vgl. Gaede (2007), S.144

²⁸² vgl. Weisberg (1988)

kommt, dass intrinsische Motivation als stark kreativitätsförderndes Merkmal auch aus Kompetenzerleben und dem Gefühl von Meisterschaft hervorgeht und damit direkt mit Erfahrung und Expertise zusammenhängt.²⁸³

Expertise

Expertise ist Grundlage für ausgeprägte Kreativität. ENGELKAMP und ZIMMER definieren einen Experten als Person, die in einer bestimmten Domäne über besonderes Wissen verfügt und in dieser Domäne verglichen mit einem Laien ein sehr guter Problemlöser ist.²⁸⁴ Die häufig genannte Regel, dass zehn Jahre Erfahrung auf einem bestimmten Gebiet zur Erlangung von Expertenwissen notwendig seien, ist jedoch nicht allgemein gültig bestätigt, wengleich dies für einige Domänen (z.B. Musikkomposition) gezeigt werden konnte. Wenn auch nicht domänenübergreifend quantifizierbar, so ist eine lange Beschäftigung in einer Domäne dennoch eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für einen kreativen Beitrag.²⁸⁵ Nach ERICSSON sind mehrere Tausend Stunden bewusster Beschäftigung und Übung notwendig. Relevant sind Motivation, Konzentration und der Willen, sich Verbesserung hart zu erarbeiten.²⁸⁶

Betrachtet man jedoch Domänen, in denen nicht ein Individuum, sondern mehrere Personen an einer Problemlösung arbeiten, so können diese bereits nach kurzer Einarbeitungszeit in der Lage sein, kreative Leistungen zu erbringen. In projektbasierten Lehrveranstaltungen, wie beispielsweise der Integrierten Produktentwicklung am IPEK, konnten studentische Entwicklungsteams beobachtet werden, die innerhalb von vier Monaten patentreife Lösungen entwickelten.²⁸⁷

Experten und Novizen unterscheiden sich in der Art und Weise, wie sie Informationen mental strukturieren. SIMON zu Folge besitzen Experten mindestens 50.000 *Chunks* in ihrer Wissensdomäne.²⁸⁸ Chunks sind strukturierte Informationseinheiten, die im Gedächtnis verarbeitet werden. Der Begriff Chunk geht auf MILLER zurück, der feststellte, dass die Kapazität der menschlichen Informationsverarbeitung maximal

²⁸³ vgl. Hennessey (2003)

²⁸⁴ vgl. Engelkamp & Zimmer (2006), S.644

²⁸⁵ vgl. Weisberg (1999)

²⁸⁶ vgl. Ericsson, K. A.: Attaining excellence through deliberate practice: insights from the study of expert performance. In: Ferrari, M. (Hrsg.): The Pursuit of Excellence Through Education. Hillsdale, NJ, USA: Erlbaum, 2001, zit. in Cross (2004)

²⁸⁷ vgl. Albers et al. (2009d)

²⁸⁸ vgl. Simon, H.A.: The Science of the Artificial. (Cambridge, MA: MIT Press), 1981; zit. in Fischer (1993)

sieben plus/minus zwei Chunks umfasst.²⁸⁹ Durch geeignete Strukturierung können umfangreichere Informationen vereinfacht zu einem Chunk zusammengefasst und gehandhabt werden (*recoding*). Aus der beschränkten Kapazität der menschlichen Informationsverarbeitung folgt auch die Unfähigkeit, mit komplexen Situationen umgehen zu können. Die Verarbeitungskapazität von nur wenigen Informationseinheiten gilt in gleichem Maße für Novizen und Experten. Jedoch stellten CHASE und SIMON am Beispiel unterschiedlich erfahrender Schachspieler fest, dass Experten zum einen umfangreicherer Chunks bilden und mehr Chunks im Langzeitgedächtnis bereithalten.²⁹⁰

Expertise in Design, Entwicklung und Konstruktion

Design-Expertise²⁹¹ ist nach POPOVIC der Besitz von Wissen sowie die kreative und analytische Fähigkeit, Wissen zu gewinnen, zu analysieren und anzuwenden.²⁹² Der überwiegende Teil der Expertiseforschung beschäftigt sich mit wohl definierten Problemstellungen, während im Bereich von Design und Produktentwicklung der Problemlöser sich mit überwiegend nicht oder schlecht definierten Problemen konfrontiert sieht. Im Gegensatz zu Anfängern verfügen Experten über explizite Strategien zur Problemlösung. Anfängern wird eher ein „*trial and error*“-Stil zugesprochen, während Experten probeweise ihre Entscheidungen vorbewerten, diese dann erst umsetzen und abschließend bewerten.²⁹³ Experten können die Problemstellung besser repräsentieren und entscheiden sich früh für die beste Repräsentation, um das Problem zu lösen.²⁹⁴ CROSS fasst Studien zum Problemlöseverhalten von Experten zusammen. Sie handeln vorwiegend lösungs- und nicht problemorientiert. Dabei grenzen sie das Problem aktiv ein und konzentrieren ihre Lösungsalternativen darauf. Die Anzahl der entwickelten Lösungsalternativen ist eher gering. Umso mehr halten die Experten an Lösungen fest, wenn sie sich bei deren Umsetzung mit Schwierigkeiten konfrontiert sehen. Auch wurde festgestellt, dass Experten beim Entwickeln häufig

²⁸⁹ vgl. Miller (1956)

²⁹⁰ vgl. Chase & Simon (1973); Bei dem Reproduktionsversuch sollten Schachspieler eine dargestellte Spielsituation (Stimulus) auf einem weiteren Schachbrett nachbauen. Gemessen wurden dabei die Zeitintervalle zwischen dem Setzen einzelner Figuren, anhand derer sich auf den Chunk-Umfang schließen ließ.

²⁹¹ Im englischen Sprachraum wird keine Unterscheidung zwischen vorwiegend Ästhetik getriebener Gestaltung (Design), architektonischer Gestaltung und vorwiegend Technik getriebener Gestaltung (Design=Konstruktion) gemacht. Die referenzierte englischsprachige Literatur spricht meist alle drei Domänen an.

²⁹² vgl. Popovic (2004)

²⁹³ vgl. Cross (2004)

²⁹⁴ vgl. Popovic (2004)

kognitive Aktivitäten wechselten, was darauf hindeuten könnte, dass sie Problemstellung und -lösung gleichzeitig weiterentwickeln.²⁹⁵

Vorwissen als Kreativitätshemmer: Fixierung

Neue Ideen über etwas zu haben, ohne darüber irgendeine Kenntnis zu haben, ist unmöglich. Wissen ist somit Grundlage und kann zugleich ein Hindernis sein. Dinge und Probleme werden als gegeben angesehen, was zu einer beschränkten, fixierten Sichtweise führt, die nicht über vorhandene Paradigmen und Standpunkte hinausgeht.²⁹⁶ Bekannt ist DUNCKERS Schachtelproblem, auch Kerzenproblem genannt, bei dem Versuchspersonen mit gegebenen Gegenständen, Kerzen an der Wand befestigen sollten. Durch vorherige Nutzung der Schachteln als Behältnis wurde bei der Versuchsgruppe eine funktionale Gebundenheit (Schachtel = Behältnis) erzeugt, sodass in geringerem Maße als bei der Kontrollgruppe die Schachteln als Standfläche (= neue Funktion) für die Kerzen genutzt wurden.²⁹⁷ LUCHINS zeigte Einstellungseffekte, bei denen Versuchspersonen statt eines einfacheren Lösungswegs den im Vorfeld trainierten längeren Lösungsweg wählten.²⁹⁸ Ingenieure ließen sich durch zuvor gezeigte Beispiele in ihren Ergebnisse beeinflussen²⁹⁹. Sie gingen neue Problemstellungen durch bekannte Lösungsansätze an, statt einen alternativen geeigneteren Weg zu berücksichtigen.³⁰⁰ Auch MARSH et al. konnten nachweisen, dass durch die Präsentation von Beispielen die Lösungen deren Merkmale aufnahmen.³⁰¹ Die empirischen Nachweise, die einen negativen Zusammenhang von Wissen und Kreativität zum Ergebnis haben, beruhen auf Tests, die unter künstlichen Bedingungen durchgeführt wurden und gegenüber dem Vorwissen stark veränderte Problemsituationen simulierten. WEISBERG stellt jedoch fest, dass die meisten Situationen, in denen historisch kreative Leistungen erbracht wurden, vorausgegangen Situationen sehr ähnlich waren, sodass Vorwissen konstruktiv genutzt werden konnte und kein Hemmnis war.³⁰²

²⁹⁵ vgl. Cross (2004)

²⁹⁶ vgl. Sternberg (1988b)

²⁹⁷ vgl. Engelkamp & Zimmer (2006), S.633; vgl. Knoblich & Öllinger (2006)

²⁹⁸ vgl. Engelkamp & Zimmer (2006), S.635; vgl. Bilalic et al. (2008)

²⁹⁹ vgl. Jansson & Smith (1991); vgl. Ward et al. (1999)

³⁰⁰ vgl. Chrysikou & Weisberg (2005)

³⁰¹ vgl. Marsh et al. (1996)

³⁰² vgl. Weisberg (1999)

Bei Schachspielern konnten BILALIC et al. die Flexibilität von „Super“-Experten nachweisen. Diese sahen, wie auch die „normalen“ Experten, die bekannte Lösung, darüber hinaus fanden sie aber auch eine bessere Lösung. Daraus folgt, dass Expertise zwar Einstellungseffekte mit sich bringt, die aber mit zunehmendem Grad der Expertise weniger ins Gewicht fallen und eine größere mentale Flexibilität erlauben.³⁰³ Bei Ingenieuren sehen FINKE et al. diesen Effekt ebenfalls und vermuten, dass die Fixierungsneigung mit geringer Erfahrung einhergeht.³⁰⁴

2.3.9 Mentale Operationen

Wie oben dargestellt, ist Kreativität stark vom Vorwissen und dessen geistiger Weiterverarbeitung abhängig. Als kreativitätsrelevant identifiziert WELLING vier mentale Operationen in Reihenfolge zunehmenden Neuheitspotentials: Wissensanwendung, Analogiebildung, Kombination und Abstraktion. Diese Unterscheidung ist theoretisch sehr gut machbar; praktisch führt oftmals nur die Anwendung mehrerer Operationen zu einem kreativen Produkt. Wissenschaftliche, ingenieurmäßige und künstlerische Kreativität ist überwiegend von kombinierenden und abstrahierenden, alltägliche Kreativität eher von anwendenden und analogiebildenden Operationen geprägt³⁰⁵

Wissensanwendung

Die adaptive Anwendung vorhandenen Wissens ist eine gewöhnliche Handlung. Bei alltäglichen, sich wiederholenden Aktivitäten, wie Gehen, Fahren oder Sprechen wird vorhandenes Wissen kreativ angewandt. Dabei ist jedoch keine Anwendung in diesen häufig wiederkehrenden Aktivitäten genauso wie die vorangegangene und jede ist, wenn auch in geringem Maße, neu.³⁰⁶

Analogiebildung

Sich mit Neuem vertraut zu machen, indem es mit Bekanntem in Bezug gesetzt wird, und das Bekannte durch eine neue Perspektive zu verfremden, sind Elemente menschlicher Intelligenz und beruhen auf der Fähigkeit des Analogieschlusses.³⁰⁷ Bei der Analogiebildung wird ein bereits bekanntes Konzept in einen neuen Kontext überführt. Die Beziehungen innerhalb des bekannten und neuen Konzeptes sind

³⁰³ vgl. Bilalic et al. (2008)

³⁰⁴ vgl. Finke et al. (1996), S.158

³⁰⁵ vgl. Welling (2007)

³⁰⁶ vgl. Welling (2007)

³⁰⁷ vgl. Gick & Holyoak (1983)

ähnlich.³⁰⁸ Der der Analogiebildung zugrunde liegende kognitive Prozess umfasst vier Phasen: Enkodierung der Quelle (im Vorfeld gelöstes Problem), Analogiefindung, Zuordnung von Quelle und vorliegendem Problem (*mapping*)³⁰⁹, Schlussfolgerung (*Inferenz*).³¹⁰ Beim Mapping werden Strukturen von der Quelle auf das Problem übertragen. Auf Grundlage der Schematheorie wird bei der Schemainduktion die Struktur des Problems abstrahiert und auf Konvergenz mit vorhandenen Schemata geprüft. Schemata entstehen durch Abstraktion von Wahrnehmungen und deren Kategorisierung, beispielsweise durch Weglassen von Unterscheidungsmerkmalen (eliminierende Induktion). Einzelne Analoge teilen identische Kategorien, füllen diese aber unterschiedlich aus, sprich sie instanzieren das Schema auf verschiedene Weise. Das sehr hohe Abstraktionsniveau, auf dem Experten Schemata enkodieren können, erlaubt es ihnen, Analogieschlüsse über ihren Bereich hinaus zu ziehen.³¹¹

Inspiration durch Analogien erhöhte bei Versuchspersonen die Anzahl und auch die Varietät der Lösungen.³¹² Studien zeigten, dass explizite Informationen, die analog zum Problem verknüpft sind, schwer zu finden sind.³¹³ Bei der hierzu notwendigen Ähnlichkeitsbetrachtung werden zwei Arten von Ähnlichkeit unterschieden: oberflächliche und strukturelle Ähnlichkeit. Oberflächliche Ähnlichkeit nimmt Bezug auf das Äußere oder Attribute, wie beispielsweise der Nutzen eines Produktes. Strukturelle Ähnlichkeit hingegen beschreibt ähnliche Beziehungen von Objekten, beispielsweise auf Ebene von Produktfunktionen. Sind oberflächliche Ähnlichkeiten nicht vorhanden, ist die Identifikation struktureller Ähnlichkeiten erschwert.³¹⁴ Für die Produktentwicklung machten McADAMS und WOOD die funktionale Ähnlichkeit quantifizier- und messbar.³¹⁵ LINSEY et al. stellten fest, dass Entwickler durch allgemeine Analogierepräsentationen leichter beeinflusst wurden, als durch domänenspezifische.³¹⁶

In Design und Entwicklung ist *design-by-analogy* ein üblicher Ansatz. Analoge Konzepte werden genutzt, wenn auch der Entwickler sich häufig nicht darüber bewusst

³⁰⁸ vgl. Gick & Holyoak (1980); vgl. Welling (2007)

³⁰⁹ Welling (2007) sieht in der Analogiebildung mit Merkmalszuordnung (*mapping*) und Schlussfolgerung als separaten Prozess, den er einer anderen mentalen Operation, der Kombination, zuschreibt.

³¹⁰ vgl. Linsey et al. (2007)

³¹¹ vgl. Gick & Holyoak (1983)

³¹² vgl. Gick & Holyoak (1980); vgl. Tseng et al. (2008)

³¹³ vgl. Tseng et al. (2008)

³¹⁴ vgl. Tseng et al. (2008)

³¹⁵ vgl. McAdams & Wood (2002)

³¹⁶ vgl. Linsey et al. (2007)

ist, dass er ein solches nutzt.³¹⁷ Dieses durch unbewusste Gebundenheit und Analogiebildung erklärbare Phänomen ist die versehentliche Nachahmung (Kryptomnesie), bei der Betroffene eine ursprünglich fremde Lösung für ihre eigene halten. Versuchspersonen neigten dazu, im Vorfeld gesehene Ideen, Beispiele oder Problemlösungen zu reproduzieren und diese Ergebnisse mindestens für den gegebenen Kontext als neu zu erklären.³¹⁸

Kombination

Bei der Kombination werden zwei Konzepte zur einer Idee verbunden. Im Gegensatz zur Analogiebildung entsteht bei der Kombination eine vollkommen neue Struktur. Die Neuheit dieser Struktur kann sowohl in der zeitgleich räumlichen wie auch in der zeitlichen Kombination liegen. Neben der reinen Verschmelzung der vorliegenden Konzepte erlaubt die Kombination auch die Neustrukturierung der Elemente innerhalb dieser Konzepte. Nach WELLING liegen der Kombination zwei Heuristiken zugrunde: die Identifikation und Zuordnung von Lösungsmerkmalen (mapping) sowie die Nutzung von Fallbeispielen. Kombination ist die vorwiegende mentale Operation bei ingenieurmäßiger Kreativität. So sind viele technische Lösungen aus der Verbindung existierender Elemente entstanden.³¹⁹

Abstraktion

Abstraktion als mentale Operation ist die Entdeckung von Struktur, Regelmäßigkeit, Mustern oder Ordnung innerhalb einer Vielzahl von Wahrnehmungen. Sie erlaubt eine Repräsentation, die Grundlage zur konzeptionellen Neustrukturierung ist. WELLING führt EINSTEINS Entdeckung der Relativitätstheorie als Beispiel an, die ihm nur dadurch möglich wurde, indem er die Konzepte von Raum und Zeit durch Abstraktion als Elemente einer gemeinsamen Klasse auffassen konnte.³²⁰

2.3.10 Methodische Kreativitätsförderung

Der kreative Prozess kann durch explizite methodische Unterstützung beschleunigt werden.³²¹ Kreativität lässt sich durch die Schaffung geeigneter organisatorischer

³¹⁷ vgl. Linsey et al. (2007)

³¹⁸ vgl. Brown, A. S. & Murphy, D. R.: Cryptomnesia: Delineating inadvertent plagiarism. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 15, 1989, S.432–442, zit. in Chrysikou & Weisberg (2005)

³¹⁹ vgl. Welling (2007)

³²⁰ vgl. Welling (2007)

³²¹ vgl. Lindemann (2007), S.28

Rahmenbedingungen fördern (vgl. Abschnitt 2.3.7, S.66). Die direkte Förderung der Kreativität einzelner oder von Gruppen wird durch Einsatz von Kreativitätstechniken, häufig synonym als Ideenfindungsmethoden bezeichnet, zu erzielen versucht. Allerdings kommen diese in der Praxis selten zum Einsatz.³²² Die Zahl der Techniken zur Kreativitätsförderung ist nach SOMMER und GROSSER nicht zu überblicken.³²³ SCHLICKSUPP spricht 1993 von ungefähr hundert Methoden im deutschen Sprachraum, von denen sich aber nur rund ein Viertel wesentlich unterscheiden.³²⁴ Die vorliegende Arbeit beschränkt sich daher auf die Darstellung von Klassen von Kreativitätstechniken und deren prinzipielle Wirksamkeit. Für konkrete Beschreibungen einzelner Kreativitätstechniken sei an dieser Stelle an die einschlägigen und in umfangreichem Maße vorhandenen Quellen verwiesen.³²⁵

Klassen von Kreativitätsmethoden

SCHLICKSUPP legt den Kreativitätsmethoden zwei Klassen von heuristischen Prinzipien zu Grunde, auf denen die eher systematisch-analytischen und intuitiven³²⁶ Wirkungsweisen beruhen (vgl. Tabelle 10).³²⁷ Hierin spiegeln sich auch die von SHNEIDERMAN unterschiedenen Schulen der Inspirationalisten und Strukturalisten wider (vgl. Abschnitt 2.3.6, S.61).³²⁸ SCHLICKSUPP kategorisiert insgesamt sechs Gruppen (A-F) von Ideenfindungsmethoden:³²⁹ (A) Brainstorming und ähnliche Methoden, die sich durch ungehemmte Diskussion und spontane Assoziationen auszeichnen; (B) Brainwriting-Methoden, bei denen spontane Ideen aufgeschrieben werden; (C) Methoden der schöpferischen Orientierung, bspw. Bionik, bei denen bestimmte Prinzipien bei der Lösungssuche befolgt werden; (D) Methoden der schöpferischen Konfrontation, wobei der Problemlöser durch die Auseinandersetzung mit problemfernen Konzepten stimuliert werden soll; (E) Methoden der systematischen Strukturierung, wie bspw. morphologische Methoden, die das Problem in Teilprobleme zerlegen, hierfür Lösungen generieren und diese kombinieren; (F) Methoden der systematischen Problemspezifizierung zur Aufdeckung der Kernfragen des Problems.

³²² vgl. Berth (1992), S.147ff.

³²³ vgl. Sommer & Grosser (1996)

³²⁴ vgl. Schlicksupp (1993), S.70

³²⁵ bspw. Geschka & von Reibnitz (1980), Schlicksupp (1992), Schlicksupp (1993), Dhillon (2006), @MAP, @GINA

³²⁶ Intuition ist das eher gefühlsmäßige Erfassen eines Gegenstands, Vorgangs oder Zusammenhangs ohne verstandsmäßige Überlegung. Vgl. Geschka & von Reibnitz (1980), S.7

³²⁷ vgl. Schlicksupp (1992), S.59ff.

³²⁸ vgl. Shneiderman (2000)

³²⁹ vgl. Schlicksupp (1977), S.18f.; vgl. Schlicksupp (1992), S.62f.

Tabelle 10: Heuristische Prinzipien und Kreativitätsmethoden

	Systematisch-analytische Methoden	Die Intuition anregende Methoden
zu Grunde liegende Heuristiken	<ul style="list-style-type: none"> • Systematische Erfassung, Ordnung und Gliederung von problemrelevanten Elementen • Systematische Kombination • Systematische Variation 	<ul style="list-style-type: none"> • Wechselseitige Assoziation • Semantische Intuition • Analogiebildung und Vergleichsziehung • Strukturübertragung und Struktursynthese
Hauptmethoden	<ul style="list-style-type: none"> • Morphologischer Kasten • Morphologische Matrix • Attribute Listing • Funktionsanalyse • Problemlösungsbaum 	<ul style="list-style-type: none"> • Brainstorming • Brainwriting • Synektik • Semantische Intuition

Quelle: Schlicksupp (1977), S.17; Schlicksupp (1992), S.60f.

Die Konstruktionswissenschaftler PAHL und BEITZ unterteilen die für die Konstruktion allgemein einsetzbaren Lösungsmethoden neben konventionellen Ansätzen, wie Recherche oder Analyse natürlicher und technischer Systeme, in intuitiv-betonte und diskursiv-betonte Methoden.³³⁰ EHRENSPIEL hingegen listet unter Kreativitätstechniken die vorwiegend intuitiven Methoden, während die eher diskursiven Methoden, wie Ordnungsschemata oder Konstruktionskataloge, den Systematiken zugeordnet werden.³³¹

Wirksamkeit

Die Wirksamkeit von Kreativitätsmethoden wird kontrovers gesehen. Nach HOLM-HADULLA sind diese Techniken nur wirksam, wenn sie die Persönlichkeit der Teilnehmer, deren individuellen Situation, Begabung und Motivation berücksichtigen.³³²

WILLFORT et al. konnten empirisch zeigen, dass kleine Interventionen durch kognitive Stimulation während der Ideenfindung zu einer Steigerung von Kreativität führen konnte. Während keine Intervention eine sich kontinuierlich verringernde Ideenzahl

³³⁰ vgl. Pahl & Beitz (1997), S.99ff.

³³¹ vgl. Ehrlenspiel (2003), S.382ff.

³³² vgl. Holm-Hadulla (2005), S.117

mit sich brachte, ermöglichte die Beschäftigung mit fremden Ideen einen weiteren Ideenfluss.³³³

Ein nicht unerheblicher Faktor, der über die Wirksamkeit von Kreativitätsmethoden entscheidet, ist die Gruppe. Nach GESCHKA und VON REIBNITZ sind Gruppen mit fünf bis sieben Personen am effizientesten.³³⁴ Bei weniger Personen ist der mangelnde Erfahrungsschatz der leistungsbegrenzende Faktor, bei größeren Gruppen die erschwerte Kommunikation. Für das Brainstorming, die wohl populärste Ideenfindungsmethode³³⁵, wurden Effekte gezeigt, die die Wirksamkeit der Methode entgegenstehen. Gruppenbasierte Kreativitätstechniken bringen Prozessverluste, die sich nachteilig auf die Ideenproduktion der Gruppe auswirken. Anhand des Brainstormings zeigten mehrere Studien, dass Brainstorming-Gruppen weniger und weniger gute Ideen hervorbrachten. STROEBE und NIJSTAD identifizierten neben Produktivitätsverlusten durch Selbstzensur aufgrund von Bewertungsangst und Trittbrettfahrei, dem Verstecken hinter der Leistung anderer, Produktionsblockierung als Hauptursache für Prozessverluste in Gruppen. Diese Blockierung ist das Resultat der Konvention, dass zu einem Zeitpunkt sich nur eine Person äußern darf. Der Produktivitätsgewinn durch den positiv stimulierenden Effekt gruppeninterner Kommunikation wird der Produktivitätsverlust durch Blockierungseffekt überlagert, der in einem Netto-Verlust resultiert. Die förderliche Stimulation konnte jedoch bei Entfernen dieser Blockade, bspw. beim Brainwriting oder elektronischen Brainstorming nachgewiesen werden.³³⁶ WILLFORT et al. sehen hierin Argumente für individuelle Kreativitätstechniken, die mit anderen Arten kognitiver Stimulation und mit Rechnerunterstützung einhergehen.³³⁷

2.3.11 Zusammenfassung

Kreativität ist ein zwar vielfach, aber divergent definiertes psychologisches Konstrukt. Sie kann aus verschiedensten Blickwinkel aufgefasst werden. Die häufig genannten sind Produkt, Person, Prozess und Umfeld. So ist Kreativität das, was zu einem kreativen, durch Originalität und Angemessenheit charakterisierten Produkt führt. Die Forschung an den kreativitätsfördernden Persönlichkeitsmerkmalen führte zu einer Sammlung von Attributen typisch kreativer Personen, beispielsweise Künstlern oder

³³³ vgl. Willfort et al. (2007), S.49ff.

³³⁴ vgl. Geschka & von Reibnitz (1980), S.6

³³⁵ vgl. Geschka (1983)

³³⁶ vgl. Stroebe & Nijstad (2004); vgl. Nijstad & Stroebe (2006)

³³⁷ vgl. Willfort et al. (2007), S.39ff.

Architekten. Ebenfalls Gegenstand der Forschung war der kreative Prozess. Jüngste Erkenntnisse zeigen jedoch, dass die der Kreativität zugrunde liegenden kognitiven Prozesse dieselben sind, wie sie bei der Konfrontation mit alltäglichen Situationen auch durchlaufen werden. Die Folge ist eine Unterscheidung in historisch relevante Originalität (große Kreativität) und psychologisch relevante Originalität (kleine Kreativität). Expertise ist Grundlage einer ausgeprägten Kreativität. Entsprechend sind Lösungen und Lösungsweg von Vorwissen geprägt, eine Fixierungsneigung auf dieses Vorwissen nimmt jedoch mit zunehmender Expertise ab. Die der Kreativität zu Grunde liegenden mentalen Operation sind in Alltagssituationen vorwiegend Wissen anwendende und Analogien bildende Operationen, bei ingenieurmäßiger Kreativität vorwiegend kombinierende und abstrahierende mentale Operationen. Zur Förderung von Kreativität sind unzählige Methoden und Techniken bekannt. Deren Wirksamkeit lässt sich jedoch aufgrund fehlender Kreativitätstests nicht bemessen. Solche standardisierten Tests sind aufgrund der Komplexität des Konstrukts Kreativität nicht vorhanden.

2.4 Fazit und Zielsetzung

Produktentwicklung umfasst, wie im integrierten Produktentstehungsmodell iPeM dargestellt, nicht nur eine Vielzahl von Aktivitäten, die unterschiedlichste Disziplinen zusammenführen, sondern auch die Schnittstellen zum operativen Management, zum Wissensmanagement sowie zu Verbesserungsprozessen. Innerhalb dieses Rahmenwerks muss der Entwickler in seinem Tun eine Vielzahl von Anforderungen und Einschränkungen berücksichtigen, die häufig nicht explizit in einem Zielsystem formuliert sind.

Produktentwicklung ist Problemlösung.³³⁸ Problemlösungsprozesse beinhalten einen generativen Schritt, der Lösungsalternativen zum Ergebnis hat. Demnach ist Produktentwicklung eine kreative Tätigkeit und bringt kreative Produkte hervor. Häufig wird jedoch ingenieurmäßige Kreativität in einschlägigen Arbeiten schlicht ignoriert. Der von der psychologischen Forschung gezeichnete Kreativitätsbegriff ist in hohem Maße vielschichtig und nicht eindeutig belegt. Dieser etablierte unscharfe Kreativitätsbegriff wird den Aktivitäten der Produktentwicklung nur in eingeschränktem Maße gerecht. Wie SHNEIDERMAN für die Entwicklung von IT-Systemen feststellte, ist es notwendig, unterschiedliche Kreativitätsperspektiven zu charakterisieren, um daraus

³³⁸ vgl. Albers et al. (2002); vgl. Albers & Meboldt (2006); vgl. VDI2221, S.3; vgl. Pahl & Beitz (1997), S.59ff.; vgl. Ehrlenspiel (2003), S.46ff.

passende Anforderungen an IT-Werkzeuge abzuleiten.³³⁹ Bis heute besteht für die Produktentwicklung der Bedarf, dies zu tun.

Eine Orientierung, wie unterschiedlich Kreativitätskonzepte in Produktentwicklung und anderen Disziplinen sein können, gibt eine nicht-repräsentative Umfrage von GOLLER und KOBE unter Entwicklungsingenieuren (n = 22) und Künstlern (n = 7). Der kreative Produktentwickler entwickelt neue Ideen und Lösungen, die nicht zwingend neu im Sinne einer Radikalinnovation, zumindest aber neu für den entsprechenden Markt sind. Problemlösungen erdenkt er durch die Kombination vorhandener Produkte und Prozesse. Künstler hingegen erfinden Neues ohne externen Stimulus aus sich selbst heraus. Der Zweck ist nicht die Lösung eines Problems sondern Selbstverwirklichung.³⁴⁰

Betrachtet man die Definitionen zu Kreativität in der Konstruktionsmethodik so fallen diese höchst unterschiedlich aus. BEITZ unterscheidet nach KROY zwei Arten der Kreativität. Primäre Kreativität führt zu originären Ideen, während die sekundäre Kreativität die Fähigkeit ist, *„graduell Neues aus der assoziativen Kombination bestehenden Wissens zu finden, bzw. auf der Grundlage bekannter Daten und Detaillösungen zu entwickeln“*.³⁴¹ In die gleiche Richtung geht auch die Definition von SINGER und ADKINS, die schreiben: *„Creativity is the combining of existing elements in new ways to develop something which is new and useful“*.³⁴² BEITZ' zweistufige Sichtweise ähnelt dem Ansatz der großen und kleinen kreativen Leistung oder dem der historischen H-Originalität und der psychologischen P-Originalität nach BODEN. Wird die genannte Kombination als mentale Operation aufgefasst, fehlen der vorliegenden Definition jedoch die übrigen mentalen Operationen und kognitiven Prozesse, die bei der kreativen Aktivität unterschieden werden. Treffend ist der Zusatz des bestehenden Wissens, das als Grundlage kreativen Handelns vorausgesetzt wird. Nach EHRENSPIEL ist Kreativität *„allgemein die Fähigkeit des Menschen, Ideen, Konzepte, Kombinationen und Produkte hervorzubringen, die in wesentlichen Merkmalen neu sind und dem Bearbeiter vorher unbekannt waren“*.³⁴³ Diese Definition besitzt einen rein subjektiven Fokus; sie macht keine Aussage über die Umgebung als beurteilende Instanz. Der Begriff des Bearbeiters impliziert zudem, dass es sich um Kreativität in einer Organisation handelt.

³³⁹ vgl. Shneiderman (2000)

³⁴⁰ vgl. Goller & Kobe (2008)

³⁴¹ vgl. Beitz (1985); vgl. Kroy (1984)

³⁴² vgl. Singer & Adkins (1984)

³⁴³ Ehrlenspiel (2003), S.382

Die Definitionen der beiden Konstruktionswissenschaftler erweisen sich zum einen als kontrovers, zum anderen unter dem Eindruck der psychologischen Forschung als unzureichend. Oder aber, die in der Produktentwicklung betrachtete Kreativität wird in der psychologischen Wahrnehmung unzulänglich erfasst.

Die Diskrepanzen der verschiedenen psychologischen Konzepte und deren bisherige Übertragung auf die Produktentwicklung erfordern eine Neuordnung des Kreativitätsbegriffs mit dem übergeordneten Ziel einer qualitäts-, quantitäts-, kosten- und zeitgerechten Produktentwicklung. Die Schaffung einer einheitlichen Begriffswelt ist Grundlage für eine situationsgerechte Methodenentwicklung und -auswahl, eine rationale Methodenanwendung sowie eine situationsgerechte Teamzusammensetzung. Die Kenntnis über den Einsatz der richtigen Methode für ein gegebenes Problem, trägt dazu bei, die unzureichende Methodenakzeptanz bei den Anwendern in der Praxis zu mindern.

Die Betrachtung der spezifischen Anforderungen der Produktentwicklung und der Ergebnisse psychologischer Forschung zeigt den Bedarf einer Neuordnung des Kreativitätsbegriffs für die Produktentwicklung.

3 Kreativität im Kontext der Produktentwicklung

Um den oben skizzierten Bedarf einer Neuordnung des Kreativitätsbegriffs für die Produktentwicklung zu bedienen, zeigt der vorliegende Abschnitt das Konstrukt Kreativität am Produkt selbst, am kreativen Entwickler und an ihrer Unberechenbarkeit auf. Dieses wird ergänzt um die Beleuchtung des Zusammenhangs von Kreativität und Effizienz sowie des Umfelds, in dem Kreativität zu Tage tritt. Diese Betrachtungen führen zu einer Neudefinition des Kreativitätsbegriffs in der Produktentwicklung. Das Kapitel endet mit Implikationen für die methodische Unterstützung.

3.1 Das kreative Produkt

Zu Beginn ein Fallbeispiel: Eine Gruppe Ingenieure entwickelt eine Schraube, die durch die Änderung einiger weniger geometrischer Parameter an der Schraubenspitze bislang nachteilige Eigenschaften verliert und zusätzlichen Kundennutzen mit sich bringt und meldet diese zum Patent an. Äußerlich bleibt das Ergebnis eine Schraube. Ist dieses Produkt nun originell? Oder neu? Oder überhaupt kreativ?

Die psychologische Betrachtung des kreativen Produkts legt einer Kreativitätsbewertung die Kriterien Originalität oder Neuheit und Angemessenheit zugrunde. Diese Attribute sind jedoch nicht eindeutig, wie beispielsweise an BODENS Originalitätsunterscheidung³⁴⁴ festzustellen ist. Damit verlieren die Definitionen im selben Maße an Eindeutigkeit, in dem ihre Attribute nicht eindeutig sind. Allgemeinsprachlich wird unter Originalität Ursprünglichkeit, Besonderheit, Eigenart oder Seltsamkeit verstanden.³⁴⁵ Eine Neuheit ist etwas, was soeben hergestellt wurde. Und neu ist das, was bisher unbekannt war.³⁴⁶

Originalität versus Neuheit

Die Frage ist nun, ob in einem System, indem die primären Maßstäbe vom Markt diktierte Größen wie Qualität, Quantität, Kosten und Zeit sind, das Originalitätskriterium noch ein angemessenes ist. Wirkliche Neukonstruktionen, die wenige ähnliche Vorläufer, sei es unternehmensintern oder -extern besitzen, sind sehr selten. Der überwiegende Teil der Konstruktionstätigkeiten fällt auf Anpassungs- und Variantenkonstruktionen, in manchen Branchen, beispielsweise dem Werkzeugmaschinenbau,

³⁴⁴ vgl. Boden (1999)

³⁴⁵ vgl. Wahrig (2002), S.946

³⁴⁶ vgl. Wahrig (2002), S.918f.

sogar zu 70 Prozent auf Variantenkonstruktionen.³⁴⁷ Über die Hälfte der Produktneheiten auf dem Markt sind Verbesserungen oder Ergänzungen bestehender Produkte (vgl. Abbildung 2). Damit ist Kreativität mit großem Originalitätspotential in der Produktentwicklung nur in geringem Maße notwendig, bzw. stellt aufgrund des hohen Risikos, das der Originalitäts- und damit Unbekanntheitsgrad mit sich bringt, unter Umständen sogar einen Negativfaktor dar.

Was aber ist Neuheit im Kontext der Produktentwicklung? Neuheit steht immer in Relations zu einem Bezugssystem, zu dem Wissen eines Individuums, zu anderen Technologien, zu anderen Zwecken, zu anderen Produkten eines Marktes. Das kreative Ergebnis in der Produktentwicklung ist oftmals die Erfindung. Die Kombination vorhandener Lösungen zu etwas Neuem ist bereits ein erfinderischer Akt. So schreibt das DEUTSCHE PATENT- UND MARKENAMT in seinen Richtlinien zur Prüfung von Patentanmeldungen, *„der Anmeldegegenstand ist neu, wenn er bei jedem einzelnen Vergleich mindestens ein Merkmal aufweist, das dem Stand der Technik fehlt“*.³⁴⁸ Und zu der Prüfung der erfinderischen Tätigkeit: *„Bei der Prüfung des Anspruchs ist immer von der Kombination der Merkmale auszugehen. Eine zergliedernde Betrachtungsweise ist unzulässig“*.³⁴⁹ Ein Produkt ist also dann neu, wenn seine Merkmale oder die Kombination dieser dem Fachmann unbekannt sind.

Angemessenheit und Nutzen

Die Forderungen vieler Definitionen des kreativen Produkts nach Angemessenheit sind in der Produktentwicklung noch stärker zu gewichten. Der Produkterfolg hängt maßgeblich von der Orientierung an Zielgruppen, deren Nachfrage und Bedürfnissen ab. Die Entwicklung einer neuen Produktlösung, die nicht herstellbar oder absetzbar ist, leistet keinen positiven Beitrag zum Unternehmenserfolg. In der ingenieurmäßigen Produktentwicklung werden statt maximaler Originalität zweckmäßige Lösungen gebraucht.

Es bietet sich daher an, im entwicklungsspezifischen Kontext für die Begriffsklärung von Angemessenheit und Nutzen, die Unternehmenssicht und damit den Innovationsbegriff heranzuziehen. Die Nutzenerfüllung spiegelt sich im Zweck eines innovativen Produktes, also in der erfolgreichen Bedienung unveränderter oder neuer Kundenbedürfnisse wieder. Erfüllt das Produkt im Sinne einer Marktorientierung seinen Zweck, wird aus dem kreativen Produkt ein innovatives.

³⁴⁷ vgl. Ehrlenspiel (2003), S.242

³⁴⁸ vgl. DPMA (2004), S.8

³⁴⁹ vgl. DPMA (2004), S.9

Im Sinne CSIKSZENTMIHALYIS Systemmodell kommt dem Feld die Aufgabe zu, die Neuheit und Zweckmäßigkeit zu beurteilen. Alle Mitglieder einer Domäne, die diese ändern können, repräsentieren das Feld. Erst durch die Akzeptanz der Subjekte des Feldes zu einem bestimmten Zeitpunkt erhält ein Produkt das Attribut kreativ. Also *ist* es nicht kreativ, es gilt als kreativ.

Fazit für die Produktentwicklung

Das kreative Produkt ist neu und zweckmäßig. Neu meint, dass die Merkmale, bzw. die Kombination dieser, innerhalb der betrachteten Domäne dem Fachmann unbekannt sind. Die Zweckmäßigkeit zeigt sich in der Orientierung an aus Unternehmensperspektive bekannten oder neu zu erschließenden Märkten.

3.2 Der kreative Entwickler

Der kreativen Person werden charakteristische Persönlichkeitsmerkmale wie Intelligenz, intrinsische Motivation, Nonkonformität, Selbstvertrauen, Offenheit und Erfahrung zugeschrieben. Das Verständnis der kreativen kognitiven Vorgänge zeigt jedoch, dass diese grundsätzlich bei allen Menschen gleich sind. Aus der Unterscheidung verschiedener Intelligenzen und intellektueller Profile ergibt sich, dass kreative Leistungsfähigkeit sich bei einem Individuum aufgabenspezifisch variierend ausprägen kann.

Der überwiegende Teil der persönlichkeitsbezogenen Kreativitätsforschung fand bis in die 1980er Jahre statt. Diese Ergebnisse lassen sich nur mit Augenmaß auf die Entwicklungs- und Unternehmensprozesse des beginnenden 21. Jahrhunderts übertragen. Das kreativitätsfördernde Persönlichkeitsmerkmal Nonkonformität beispielsweise kann in heutigen Entwicklungsszenarien mit interdisziplinären Entwicklergruppen und Prozessmanagement je nach Grad der Ausprägung kontraproduktiv sein. Teamfähigkeit ist eine Grundvoraussetzung in der Entwicklungsarbeit.³⁵⁰

Das Komponentenmodell nach AMABILE zeigt in geeigneter Weise die drei Einflussgrößen auf den kreativen Prozess: kreativitätsrelevante Fähigkeiten, bereichsrelevante Fähigkeiten und intrinsische Aufgabenmotivation. Intrinsische Motivation ist eine Grundvoraussetzung kreativer Leistungsfähigkeit. Extrinsische Motivation hingegen kann gegenteilig wirken und die kreative Leistungsfähigkeit verringern. Eine motivierendes Umfeld und eine entsprechende Unternehmensorganisation sind förderlich. Der Aspekt der bereichsrelevanten Erfahrung und des Wissens gewinnt zunehmend an Bedeutung. Informationen stehen den Unternehmen heute in einer Fülle

³⁵⁰ vgl. Albers et al. (2008b)

zur Verfügung, dass die Schwierigkeit nicht im Finden von Information, sondern im schnellen Identifizieren der richtigen Information liegt. Erfahrung und Wissen ist jedoch meist nicht dokumentiert und informatorisch verfügbar. Doch genau in Wissen und Erfahrung steckt in einer wissensgetriebenen Wertschöpfung das Unternehmenskapital. Deutsche Unternehmen sehen sich in den kommenden Jahren mit einem Fachkräftemangel und geringen Ingenieursatzraten konfrontiert. Die Gefahr des Wissensverlusts innerhalb der Unternehmen und einer damit einhergehenden Reduzierung des Kreativitätspotentials ist evident. Um zukünftig kreativ und innovativ zu bleiben, ist die Schaffung geeigneter Grundlagen eine Voraussetzung. Hierzu zählt die Speicherung und Bereitstellung von Wissen.

Je nach Problemstellung sind Menschen in Abhängigkeit ihrer Persönlichkeit unterschiedlich leistungsfähig. Im einfachsten Fall lassen sich nach LEAVITT drei extreme Präferenztypen formulieren: Entdecker, Problemlöser (Denker) und Umsetzer.³⁵¹ ALBERS nutzt diese Einteilung, um möglichst heterogene Entwicklungsteams zu etablieren, da diese erfahrungsgemäß ausgeglichener agieren.³⁵² BERTH empfiehlt, Entwicklungsteams für Radikalinnovationen bevorzugt von Entdeckern, für inkrementelle Innovationen bevorzugt von Denkern führen zu lassen.³⁵³ Die Aufteilung geht auch ähnlich SHNEIDERMANS Einteilung mit unterschiedlichem Verständnis über den kreativen Prozess einher: Inspirationalisten und Strukturalisten.

Fazit für die Produktentwicklung

Ausgehend von der Theorie der multiplen Intelligenzen und dem Ergebnis der Kognitionswissenschaften, das die der Kreativität zu Grunde liegenden kognitiven Prozesse denen entsprechen, die der Mensch alltäglich anwendet, gibt es nicht den kreativen Entwickler. Der kreative Entwickler ist ein Konstrukt aus einer Vielzahl von Faktoren, die sich aus seinem intellektuellen Profil, seiner Erfahrung und Expertise und seiner Einbindung in Unternehmensstrukturen ergeben. Ein und dasselbe Konstrukt, ein und derselbe Entwickler kann je nach Problem und Umfeld große kreative Leistungen erbringen oder zu keiner Lösung beitragen. Die Varietät der Aktivitäten im Entwicklungsprozess geht mit variierenden Anforderungen an Expertise und Kreativitätspotential einher. Der im integrierten Produktentstehungsmodell iPeM eingebun-

³⁵¹ vgl. Leavitt (1983); vgl. Berth (1992), S.60ff.

³⁵² vgl. Albers et al. (2008b)

³⁵³ vgl. Berth (1992), S.182

dene Problemlösungsprozess sieht daher eine regelmäßige Überprüfung und Anpassung der Teamzusammensetzung vor.³⁵⁴

Der kreative Entwickler ist ein richtig eingesetzter und eingebundener Experte, der sein Wissen – in zunehmendem Maße – aus entsprechenden Repräsentationen schöpft.

3.3 Kreative Unberechenbarkeit

Unsere Kreativität beruht auf Bekanntem, das durch mentale Operationen zu etwas Neuem abstrahiert, kombiniert und umstrukturiert wird. Kreative Prozesse sind nicht deterministisch und ihre Produkte sind aufgrund der mentalen Komplexität sowie aufgrund der unbekanntenen und individuellen Vorerfahrungen und Randbedingungen nicht vorhersagbar. Die daraus resultierende Unsicherheit nimmt noch mehr zu, wenn die unzulängliche Informationenlage bei Innovationsprojekten mit einbezogen wird. Damit stellt die kreative Unberechenbarkeit ein zentrales Risiko in der Produktentwicklung und der Innovation dar.

Zur Minimierung des Risikos aus der kreativen Unberechenbarkeit schlagen Unternehmen Strategien ein, deren Kern in der inkrementellen Verbesserung existierender Produkte und der Nutzung externer kreativer Wertschöpfung und validierter Konzepte liegt. Doch welche Folgen hat diese Vorgehensweise für die Entwicklung? Diese konzentriert sich darauf, bestehende Produkte hinsichtlich funktionaler Effektivität, Kosteneffizienz oder deren Verhältnis im Vergleich zum Wettbewerb zu verbessern. Der Fokus liegt auf Anpassungskonstruktionen; das Produkt wird an die Marktverhältnisse, an Kundenbedürfnisse und Wettbewerbssituation angepasst. Der überwiegende Teil des technischen Systems bleibt unverändert bzw. muss aus Kostengründen sogar unverändert bleiben. Bestehende Teillösungen werden als validiert und zuverlässig betrachtet und eingesetzt. Der Konstrukteur wird hierbei mit einer Kombination von Unsicherheit bezüglich der Integration neuer Komponenten und einem überbestimmten Problem aus den vorhandenen Systemkomponenten konfrontiert und muss diese handhaben.³⁵⁵ Es muss also Bekanntes unter überbestimmten Randbedingungen angepasst oder ergänzt werden. Damit ist auch im Falle der Integration externer Vorentwicklungsergebnisse eine kreative konstruktive Weiterentwicklung und Anpassung notwendig.

³⁵⁴ vgl. Albers et al. (2005a); vgl. Albers (2010, Veröffentlichung in Vorbereitung)

³⁵⁵ vgl. Albers & Alink (2008)

Eine weitere Strategie zur Risikominimierung und zur Erreichung vermeintlicher Sicherheit ist die sehr frühe Festlegung des Lösungsraums. Diese Entscheidungen bergen aufgrund der unzureichenden Informationslage in frühen Entwicklungsphasen Fehleinschätzungen, die zu zeit- und kostenintensiven Iterationen in nachfolgenden Entwicklungsphasen führen. Aus der Plan- wird eine Notsituation zu einem Zeitpunkt, an dem nur wenig Raum für hochkreative Lösungen ist. Die zuverlässig funktionierende und schnell umsetzbare Lösung wird bevorzugt. Ein Nachweis über die zuverlässige Funktion geschieht in solch einer Situation über die Nutzung bekannter Lösungen.

Fazit für die Produktentwicklung

Die kreative Unberechenbarkeit führt zu Risikominimierungsstrategien, die darauf abzielen, in möglichst umfangreichem Maße bestehendes Wissen in die Entwicklung von Produkten zu integrieren. Zum einen findet die kreative Lösungssuche außerhalb der Serienentwicklung in zeitlich vorgelagerten, teilweise auch externen, Entwicklungsaktivitäten (schwerpunktmäßig mit den Aktivitäten Profilmodellierung, Ideenfindung, Prinzipmodellierung) statt. Neue Lösungen orientieren sich primär an unscharfen Randbedingungen aus Markt und Technologie. Im Vordergrund steht die prinzipielle technische und wirtschaftliche Machbarkeit mit dem Ziel, Aussagen über Nutzen, Kosten und Risiko zu machen. Zum anderen müssen in der Serienentwicklung qualitativ ausreichende, schnell umsetzbare und kostengünstige Lösungen entwickelt werden. Kreativ zu sein, bedeutet hier, möglichst in hohem Maße erprobtes Wissen in eine neue Problemstellung einzubringen und diese mit minimalen Neuerungen effizient, effektiv und risikoarm zu lösen.

3.4 Kreativität und Effizienz

Aus organisatorischer Sicht geht der Trend von funktionsorientierten Strukturen hin zum Denken in Prozess- und Wertschöpfungsketten. Die Anforderungen an die Prozessqualität, wie sie beispielsweise durch TQM und Six Sigma formuliert werden, erlauben keine unkalkulierbaren Störgrößen. Die Einführung solcher Qualitätsmanagementsysteme führt auf Kosten der Radikalinnovationen zu verstärkter inkrementeller Innovation. Dies ist eine Stärke, solange Kundenbedürfnis und Technologie sich in geringem Maße weiterentwickeln. Bei Technologiesprüngen oder Änderungen der Kundenbedürfnisse sind rein auf inkrementelle Innovation ausgerichtete Unternehmen nicht reaktionsfähig und in ihrer Existenz bedroht. Ein Ansatz zur Sicherung von Innovationsfähigkeit bei gleichzeitiger Fokussierung auf Prozessexzellenz ist die Trennung von Originalitätsschöpfung als Grundlage von Radikalinnovationen und effizienter Wertschöpfung im Serienentwicklungsprozess. Radikal neue Produkte entstehen in anders organisierten Vorentwicklungsabteilungen oder extern durch

Open Innovation-Ansätze und Auftragsvergabe an Forschungsinstitutionen und Entwicklungsdienstleister. Als Kernkompetenz der Entwicklung bleiben konstruktive Fragestellungen, deren Antworten unter hohem Qualitäts-, Quantitäts-, Zeit- und Kostendruck gefunden werden müssen. Hierzu ist ebenfalls Kreativität notwendig, allerdings mit geringerer historischer Originalität auf Basis vorhandenen Erfahrungswissens, ohne jedoch Routinedenken zu sein. Sehr originelle Lösungen bergen weiterhin die Gefahr umfangreicher und vor allem mangels Erfahrung nur schwer identifizierbarer und bewertbarer Risiken und sind damit schwer in durch Prozessmanagement gesteuerte Entwicklungsaktivitäten zu integrieren.

Fazit für die Produktentwicklung

Aus den Forderungen nach schlanken und effizienten Entwicklungsprozessen folgt eine Trennung kreativer Aktivität in eine Lösungssuche mit dem Schwerpunkt auf Neuheit und Originalität und eine Lösungssuche mit dem Schwerpunkt auf Angemessenheit und Nutzen. Wichtig ist, die organisatorische Verbindung zwischen beiden Schwerpunkten zu realisieren.

3.5 Das Feld als selektive Komponente

Das Umfeld eines Produktes, also im Sinne CSIKSZENTMIHALYIS die Domäne sowie das urteilende Feld, sind ausschlaggebend, ob ein Produkt als kreativ gilt (vgl. Abbildung 18). Im Systemmodell beurteilt das Feld die Neuheit und Zweckmäßigkeit. Das Feld besteht aus allen Mitgliedern der Domäne, die diese ändern können. Wie sieht nun ein solches Systemmodell für die Produktentwicklung aus? Die veränderten Randbedingungen kreativer Produktentwicklung lassen sich nicht in CSIKSZENTMIHALYIS Systemmodell abbilden. Gegenüber dem Markt tritt nicht das kreative Individuum, sondern das Unternehmen, die Marke, auf. Im Unternehmen agieren Entwickler, deren Arbeit nicht vom Markt, sondern von Instanzen der Unternehmensorganisation beurteilt wird. Das hier entwickelte Ebenenmodell der kreativen Produktentwicklung bleibt zwar abstrakt, wird jedoch der Realität gerechter (vgl. Abbildung 19).

Ebenenmodell der kreativen Produktentwicklung

Heutige technische Produkte sind nicht mehr Ergebnis einer einzelnen Person, sondern ganzer Organisationen. Es ist also nicht das Individuum, der Künstler, dessen Werk das Feld, also die Kritiker, Galeristen und Sammler als kreativ identifizieren müssen. Bei einem technischen Produkt ist die Domäne der Markt, bestehend aus den Kunden, dem Unternehmen und den Wettbewerbern sowie sämtlichen beeinflussenden Interessensvertretern aus Politik, Bildung oder Gesellschaft. In der Domäne, dem Markt, gibt es Gruppen, die diesen beeinflussen können. Dies sind bei-

spielsweise die Kunden mit ihren Bedürfnissen, Meinungsbildner und Medien, die Bedürfnisse wecken, Trends setzen und diese multiplizieren, der Wettbewerb und seine Produkte als Bezugsgröße, Ersteller von Richtlinien und Normen oder Gesetzgeber. Ein technisches Produkt überzeugt einzig und allein durch seine Marktfähigkeit. Diese besteht darin, sich gegenüber dem Wettbewerb durch vermehrten Kundennutzen abzugrenzen und dies kundenwirksam darzustellen sowie sich an Richtlinien, Normen und Gesetze zu halten. Nur das Feld entscheidet über Marktakzeptanz, über Erfolg oder Flop und stimuliert die Entwicklung neuer Produkte (vgl. Abbildung 19).

Das kreative Individuum, der Entwickler, ist von der Domäne und von dessen urteilendem Feld isoliert. Die Informationen aus dem Markt und dessen Instanzen gelangen nicht direkt, sondern über zwischengeschaltete Unternehmenseinheiten zu ihm. Über die Ergebnisse seiner Arbeit wird primär nicht von Marktteilnehmern, sondern von Entscheidungsträgern innerhalb des Unternehmens geurteilt. Diese agieren auf Basis von unternehmens- und marktrelevanten Informationen und unter dem Eindruck des Risikos aus unklaren Marktentwicklungen. Dabei repräsentieren die Entscheidungsträger die Marktteilnehmer innerhalb des Unternehmens. Neben Entscheidungsträgern gibt es nicht organisatorisch manifestierte Entscheider, die an Lösungsbewertung und Auswahl mitwirken.

Wird als Produkt das individuelle Denkprodukt eines Entwicklers gesehen, so muss dieses zuerst der Erfüllung von Zielen genügen, die eher den Kreativitätskriterien Nützlich, Zweckmäßig oder Angemessenheit entsprechen. Neuheit muss Unbekanntes und damit immer ein Risiko beinhalten und ist nur ein Sekundärziel.

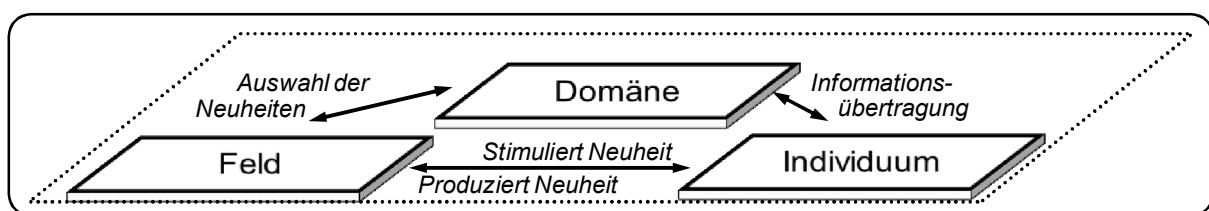


Abbildung 18: Abstrahiertes Systemmodell

Quelle: Eigene Darstellung nach Csikszentmihalyi (1999)

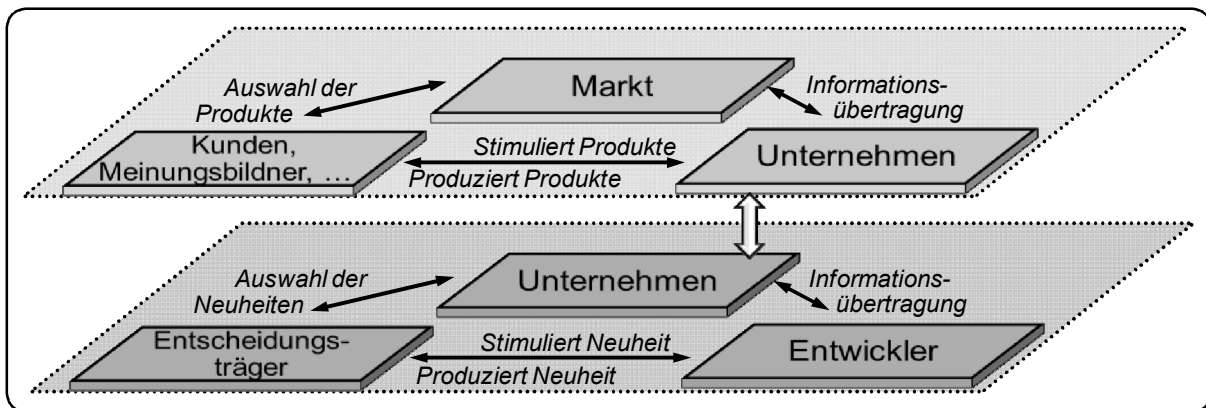


Abbildung 19: Ebenenmodell der Kreativität

Der Entwickler wird innerhalb des Unternehmens in seiner Kreativität durch ebenfalls unternehmensintern Entscheidungsträger stimuliert. Nach außen stellt das Unternehmen das kreative Individuum dar, das innerhalb des Marktes von entscheidenden Marktteilnehmern (Kunden, Meinungsbildner, ...) stimuliert wird. Damit ist der kreative Entwickler nicht mit der Domäne, dem Markt, konfrontiert, in dem sich sein Produkt etablieren soll, sondern mit Unternehmensinstanzen, die das externe Feld, die entscheidenden Marktteilnehmer, aber auch die Unternehmenssicht repräsentieren.

Fazit für die Produktentwicklung

Markt- und damit erfolgswirksam ist nicht die individuelle Kreativität, sondern Kreativität gepaart mit Marktfähigkeit, also die Innovation. Öffentlich wahrgenommen wird das kreative Unternehmen und nicht der Entwickler. Die Organisation innerhalb eines Unternehmens leitet Informationen aus der Domäne, dem Markt, durch das Feld an das Individuum Entwickler weiter und stimuliert mit identifizierten Kundenbedürfnissen und Wettbewerbsdruck. Das Feld besteht aus verantwortlichen Unternehmensinstanzen.

3.6 Diskussion

Der überwiegende Teil psychologischer Untersuchungen zur Kreativität hatte allgemein als typisch kreativ anerkannte Personengruppen ins Zentrum gerückt. Historiometrische Ansätze untersuchten die sozialen und politischen Umfeldler kreativer Personen. Viele Experimente zu Person, Prozess oder Umfeld wurden mit Künstlern, Musikern, Architekten oder Designern durchgeführt. Häufig waren die Versuchspersonen aus Studierenden zusammengestellt und nicht aus praktizierenden Personen. Im Mittelpunkt steht das Individuum, das durch die Instanzen einer Domäne als kreativ wahrgenommen wird. Es zeigt sich, dass eine Übertragbarkeit des psychologischen Kreativitätsbegriffs nur eingeschränkt auf die Produktentwicklung möglich ist. Dieser orientiert primär sich am Individuum und dessen

Umfeldinteraktion und weniger an Strukturen, wie sie im heutigen Unternehmensumfeld auftreten.

Die Entwicklung kreativer Produkte ist nur dann nachhaltig, wenn diese zugleich innovativ sind und zu Markterfolg führen. Das kreative Produkt ist somit stark vom Nutzenkriterium und weniger vom Neuheits-, geschweige denn vom Originalitätskriterium abhängig. Kreativ zu sein ist keine Eigenschaft eines Produkts, sondern wird ihm von den entscheidenden Instanzen des Marktes zugeschrieben. Im Markt tritt jedoch nicht der kreative Entwickler, sondern das kreative Unternehmen oder die kreative Marke auf. Die kreative Eigenschaft erhält das Unternehmen durch die Präsenz auf dem Markt mit einem als kreativ geltenden Produkt. An dieser Stelle zeigt sich das Innovationsdilemma: Über das Produkt urteilen Instanzen des Marktes mit Hilfe des primären Kriteriums Nutzen und des sekundären Kreativitätskriteriums Neuheit. Das Ebenenmodell zeigt, dass diese Instanzen innerhalb des Unternehmens durch Entscheidungsträger repräsentiert werden. Diese nutzen bevorzugt die sicheren Informationen aus dem bestehenden Markt und entscheiden auf dieser Basis. Damit laufen jedoch die entscheidenden Instanzen Gefahr, das Potential kreativer Lösungen, die ihr bisheriges Marktverständnis nicht fassen kann oder die auf einem anderen Markt erfolgversprechend sind, zu übersehen.

Tabelle 11 zeigt eine Gegenüberstellung der vier Kreativitätsdeterminanten nach RHODES in Hinblick auf die vorwiegend allgemeine psychologische Sicht und die hier definierte spezielle Sicht der Produktentwicklung.

Tabelle 11: Gegenüberstellung der Kreativitätsdeterminanten in Psychologie und Produktentwicklung

Determinante	Psychologie	Produktentwicklung
Produkt	1. Originalität, 2. Angemessenheit	1. Nutzen, 2. Neuheit
Person	Individualität	Multidisziplinäre Aktivität
Prozess	individuell und unberechenbar	prozessorientiert und produktiv
Umfeld	Originalitätskriterium	Marktkriterien

Sich schnell wandelnde Märkte erfordern eine kontinuierliche Anpassung an weiterentwickelte Kundenbedürfnisse (Wettbewerbsprodukt hat technologisches Begeisterungs-/Alleinstellungsmerkmal) durch neue Lösungen. Um in solchen Märkten zu bestehen, sind Radikalinnovationen³⁵⁶ notwendig. Dennoch führen die Strategien zur Risikominimierung vermehrt zu Anpassungskonstruktionen auf Grundlage möglichst umfangreicher Wiederverwendung erprobter Lösungen und Technologien. Die Integ-

³⁵⁶ vgl. Abschnitt 2.1.1, S.7

ration bereits weit entwickelter Teillösungen führt in späten Entwicklungsstadien zu Problemen in Form von Notsituationen und sogenannter *emergency innovation* bei der Lösungsfindung.

Für den kreativen Entwickler zeigen sich daher zwei Arbeitsszenarien. (1) Finden von Lösungen mit dem Ziel einer Radikalinnovation mit hohem Neuheitsgrad unter dem Eindruck großer Unsicherheit bei gleichzeitig hohem Risiko. (2) Finden von Lösungen mit dem Ziel einer inkrementellen Innovation mit möglichst geringem Neuheitsgrad mit möglichst umfangreicher Vorerfahrung bei großer Sicherheit und entsprechen geringem Risiko in einem stringent prozessgesteuerten Entwicklungsumfeld. Auch aus den Forderungen nach schlanken und effizienten Entwicklungsprozessen folgt eine Trennung kreativer Aktivität in eine Lösungssuche mit dem Schwerpunkt auf Neuheit und Originalität und eine Lösungssuche mit dem Schwerpunkt auf Angemessenheit und Nutzen. Zeitdruck und Qualitätsanforderungen führen dazu, bevorzugt auf bekannte Lösungen zurückzugreifen. Entsprechend unterschiedlich sind die Anforderungen an den Entwickler, das Problemlösungsteam und die Anwendung methodischer Hilfsmittel. Für den ersten Fall können Persönlichkeitsmerkmale, wie vielseitig breites Interesse, Nonkonformität, Reiz durch Komplexität, unabhängige Urteilsbildung, Autonomie, Intuition und Selbstvertrauen von Vorteil sein. Im zweiten Fall sind Konformität, tiefes Fachwissen, Detailverliebtheit, Perfektionismus, Frustrationstoleranz, Integrationsfähigkeit eher von Vorteil.

Betrachtet man den hohen Anteil von Produktneuheiten auf Basis angepasster oder ergänzter Vorläuferprodukte und den hohen Anteil an Anpassungskonstruktionen, lässt sich generell folgern, dass die Kreativität in der Produktentwicklung eher von bekanntem Produkt- und Marktwissen beeinflusst ist. Diese Wahrnehmung verstärkt sich unter dem Eindruck durch stärker vom Nutzenaspekt geprägte Entscheidungsszenarien.

Kreativitätsdefinition

Aufgrund des oben dargestellten Bedarfs, Kreativität in der Produktentwicklung differenziert zu betrachten, werden in der vorliegenden Arbeit zwei Kreativitätsarten unterschieden, deren Begrifflichkeit an BEITZ anlehnt.³⁵⁷ Allgemein wird Kreativität in erster Linie mit dem Hervorbringen von etwas Originellem oder Neuem und nicht mit dem damit verbundenen Nutzen assoziiert. Daher soll die Relevanz des Neuheitskriteriums als Unterscheidungsmerkmal herangezogen werden. Die Unterteilung in primäre und sekundäre Kreativität ist wertfrei.

³⁵⁷ vgl. Beitz (1985)

- (1) *Primäre Kreativität* führt zu Ideen mit hohem Neuheitsgrad. Zweckmäßigkeit und kurzfristiger Nutzen spielen eine untergeordnete Rolle.

Eine entsprechende Weiterentwicklung besitzt das Potential zur Radikalinnovation. Informationen über den zukünftigen Markt, aus Vorgängerprodukten oder Dokumentationen sind nicht vorhanden oder nicht nutzbar. Eine Fokussierung auf den Produktnutzen ist somit primär nicht möglich. Über die Produkteigenschaften ist wenig bekannt, d.h. der Lösungsraum ist weit geöffnet. Restriktiv wirkende Qualitäts- und Kostenziele sind eher in geringem Maße oder nicht vorhanden.

- (2) *Sekundäre Kreativität* führt zu Ideen mit kurzfristig hohem Nutzen und eher geringerem Neuheitsgrad.

Der Schwerpunkt liegt auf dem Finden einer zweckmäßigen, wenig riskanten und schnell umsetzbaren Lösung. Sekundäre Kreativität ist eher bei der Weiterentwicklung bestehender Produkte zu inkrementellen Innovationen erforderlich.

Tabelle 12 stellt die Unterschiede zwischen primärer und sekundärer Kreativität in der Produktentwicklung dar.

Tabelle 12: Extremvergleich der Konzepte Primäre und Sekundäre Kreativität

Kriterium	Primäre Kreativität	Sekundäre Kreativität
<i>Produkt:</i>		
Marktplatzierung	Radikalinnovation	inkrementelle Innovation
Originalität	groß	gering
Kurzfristiges Nutzenpotential	eher gering	eher groß
Langfristiges Nutzenpotential (gesellschaftl./wirtschaftl.)	eher groß	eher gering
Reifegrad des Produkts / der Komponente	gering	hoch
Qualitätsanforderungen	eher gering oder (noch) nicht vorhanden	hoch
Lösungsraum	uneingeschränkt	stark eingeschränkt
<i>Risikofaktoren:</i>		
Vorläuferprodukte	nicht vorhanden	vorhanden
Marktkennntnis	nicht vorhanden	vorhanden
bisherige Dokumentation	nicht vorhanden	vorhanden
<i>Umfeldfaktoren:</i>		
Zeitdruck	geringerer Zeitdruck	hoher Zeitdruck
Kostendruck	geringer Einfluss	starker Einfluss
Risikoakzeptanz	hoch	gering
Problemsituation	Plansituation	Plan- und Notsituation
Präferenztyp Mitarbeiter	Entdecker	Problemlöser (Denker)

Implikationen für die methodische Unterstützung

Die Diskussion über Kreativität in der Produktentwicklung konvergiert in der Feststellung, dass zwei unterschiedliche Kreativitätsformen unterschieden werden müssen. Die frühen Lebensphasen eines Produktes erfordern primäre Kreativität mit Fokus auf Neuheit. Hier ist eine Vielzahl an Methoden zu Ideenfindung gut dokumentiert verfügbar (vgl. Methodenübersicht in Anhang 1). Die späten Aktivitäten unterstützen den Entwickler eher durch richtlinien- und regelbasierte Hilfsmittel, wie Gestaltungsprinzipien oder Hinweisen zur x-gerechten Gestaltung (Design for X).

Je nach Persönlichkeit (Präferenztyp) werden verschiedene Kreativitätstechniken bevorzugt und Anforderungen an diese gestellt. Der sich im Fall der inkrementellen Innovation besser zurechtfindende Typ Problemlöser (Denker) bevorzugt Ordnungstechniken gegenüber Analogietechniken, wie der Synektik. Passend ist SHEIDERMANS Vorschlag, für die Entwicklung von Werkzeugen unterschiedliche Kreativitätssichten mit entsprechenden Anforderungen zu charakterisieren.³⁵⁸

³⁵⁸ vgl. Shneiderman (2000)

Soll die ingenieurmäßige Kreativität in späten Aktivitäten der Produktentwicklung, in der Konstruktion, gefördert werden, so bedarf es Methoden, die den spezifischen Randbedingungen dieser entsprechen. Die Randbedingungen zeigen sich bei der Gegenüberstellung von primärer und sekundärer Kreativität (vgl. Tabelle 12). Je weiter der Entwicklungsprozess fortgeschritten ist, desto mehr sind Lösungen erforderlich, die schnell, kostengünstig und möglichst risikolos in einem stark eingeschränkten Lösungsraum zum Erfolg führen. Vor diesem Hintergrund erscheinen zur Unterstützung des Entwicklers Methoden förderlich, die die in Dokumentationen oder Vorläuferprodukten manifestierten Erfahrungen anderer Entwickler oder des Unternehmens nutzen. Qualitätsanforderungen, Zeitdruck und geringe Risikoakzeptanz machen einen einfachen Zugriff auf dieses Erfahrungswissen notwendig.

Lösungsspeicher, wie beispielsweise Konstruktionskataloge, weisen in Hinblick auf die Unterstützung sekundärer Kreativität diverse Defizite auf. Im Allgemeinen ist der Ansatz eines Konstruktionskatalogs per Definition auf beliebiges Lösungswissen anwendbar. Die Bandbreite der systematisch aufbereiteten und bereitgestellten Inhalte reicht von physikalischen Effekten über abstrakte Wirkprinzipien bis hin zu ansatzweise gestalteten Lösungen für definierte Anwendungsbereiche (bspw. schaltbare Kupplungen).³⁵⁹ Die Darstellung im Konstruktionskatalog verzichtet üblicherweise auf die Einbettung der Lösungen in einen bestimmten Kontext und eine kontextabhängige Bewertung hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit. Dabei würden Konstruktionskataloge eine solche Erweiterung prinzipiell im Hauptteil oder Anhang erlauben. Ein weiteres Defizit stellt die eingeschränkte Verfügbarkeit der überwiegend in gedruckter Form vorhandenen Kataloge dar, die oftmals vergriffen und nur noch bei Bibliotheken auszuliehen sind.

Eine Methode, die einfach und strukturiert Erfahrungswissen für die inkrementelle Weiterentwicklung eines Produktes in späten Entwicklungsaktivitäten bereitstellt, gibt es bislang nicht.

³⁵⁹ vgl. Ewald (1975); vgl. Neudörfer (1980); vgl. Roth (1982); vgl. Schneider (1985);

4 Problemspezifizierung

Aus dem Anwendungszusammenhang heraus wird deutlich, dass die Unterstützung des Konstrukteurs durch Methoden und Information in heutigen Entwicklungsaktivitäten essentiell ist. Bekannte Wege weisen hier bislang Defizite auf oder laufen ins Leere.

Die Betrachtung der Theorie über Innovation zeigt eine mögliche Strategie zur Zukunftssicherung durch Innovation auf: Reaktionsfähigkeit auf Wandel durch Radikalinnovationen bei gleichzeitig hoher Produktivität durch effektive und effiziente inkrementelle Innovation. Rein auf inkrementelle Innovation ausgerichtete Unternehmen können auf schnellen Technologiewandel und/oder veränderte Kundenbedürfnisse nur eingeschränkt reagieren, da sie ihre Entwicklungs- und Produktionsprozesse sowie die Orientierung an bekannten Kundengruppen zu perfektionieren versuchen. Radikalinnovationen bergen dagegen immer ein hohes Risiko, das aus multiplen Unsicherheiten hinsichtlich technischer Lösung, Zeit, Kosten und Verwertbarkeit folgt.³⁶⁰ Risiko und Unsicherheit sind in qualitäts- und prozessoptimierten Organisationen unerwünscht. Entsprechend folgt eine organisatorische Trennung in Einheiten mit unterschiedlich orientierten Management-Ansätzen.

Was bedeutet dies für die Produktentwicklung und deren methodische Unterstützung? Nach wie vor gibt es eine Existenzgrundlage für die bekannten Kreativitätstechniken, die in erster Linie die primäre Kreativität bedienen. In der Vergangenheit, heute und auch zukünftig existiert jedoch ein Bedarf für Methoden, die die sekundäre Kreativität gerade in den späten synthetisierenden Aktivitäten der Produktentwicklung unterstützen. HACKER et al. beschreiben das Entwerfen als „*wissenbasiertes Entwickeln von Lösungen, also auch das Aufgreifen schon bekannter Lösungen kombiniert mit dem Ausdenken neuer*“.³⁶¹ Schon 1997 formulierten GRABOWSKI und GEIGER den Bedarf für Methoden für die Standardisierung von Lösungskonzepten mit international verständlichen Konstruktions- und Entwicklungsunterlagen mit möglichst geringem Anwendungsaufwand und geringem Theorieballast.³⁶² Auch RUTZ erwartet eine Effektivitätssteigerung beim Lösen konstruktiver Probleme u.a. durch „*Verbessern und Strukturieren des Wissens und der Erfahrung*“ sowie durch „*Verbessern der Ausdrucksfähigkeit des Konstrukteurs durch mehr Übung bzw. durch Schaffung einer*

³⁶⁰ vgl. Abschnitt 2.1.2, S.11

³⁶¹ vgl. Hacker et al. (1996)

³⁶² vgl. Grabowski & Geiger (1997), S.40ff.

*konstruktiven Sprache“ und durch die vordergründige „Einsicht in den Stoff bei der Übermittlung und Aufnahme von Wissen“.*³⁶³

Konkretisierte Zielsetzung und Anforderungen

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel der Entwicklung einer Methode, durch die der Konstrukteur in seiner sekundären Kreativität in der Gestaltung, insbesondere bei Anpassungskonstruktionen (Produktveränderung oder -ergänzung) mit dem Ziel inkrementeller Innovation, unterstützt wird. Die Übertragbarkeit auf andere Aktivitäten ist durchaus möglich, ist aber nicht Teil der vorliegenden Arbeit.

Die Methode muss

- Denk- und Handlungsunterstützung für den Konstrukteur sein,
- sich in die Gestaltungsaktivität einbinden lassen,
- die Effektivität und Effizienz in der Gestaltung erhöhen,
- sich in inkrementelle Innovationsprozesse einbinden lassen,
- verständlich, wiederholbar, erlernbar und einfach anwendbar sein,
- Praxisorientierung besitzen und
- idealerweise an bestehende Werkzeuge in der Entwicklung andocken.

Ansatz zur Erfüllung der konkretisierten Zielsetzung

KLINGEL, für F&E verantwortliches Geschäftsleitungsmitglied eines Werkzeugmaschinenherstellers, stellte aus Sicht des Praktikers im Jahr 1996 fest:³⁶⁴

„Kreativität schulen bedeutet aber nicht auswendig lernen. Unser Gehirn hat einen anderen Weg gefunden, um Phantasie zu fördern: Das Speichern, Erkennen und Vergleichen von Mustern. Alle Ereignisse und Prozesse weisen charakteristische Muster auf, die wir oft spontan erkennen, deren konkrete Beschreibung uns aber meist völlig überfordern würde. [...]

Auch der Erfolg und der Misserfolg eines Unternehmens hat in der Regel sein Muster, ebenso wie ein neues Produkt. Ein Entwickler, der nicht in der Lage ist, Muster zu erkennen, oder besser noch Muster zu ergänzen und neu zu definieren, wird selten innovative Prozesse anstoßen. Dabei geht es nicht um die Entdeckung des absolut Neuen. Aus der Geschichte

³⁶³ Rutz (1985), S.127

³⁶⁴ Klingel (1996)

der Erfindungen lässt sich ableiten, dass die meisten Entwicklungen durch neue Kombinationen vorhandener Erkenntnisse entstehen.“

Damit skizziert KLINGEL für die oben dargestellte Problematik einen praxisorientierten Ansatz – vermutlich ohne zu wissen, dass in der Architektur solche Muster ange-dacht wurden und zum Zeitpunkt seiner Veröffentlichung die Entwicklung, Anwen-dung und Verbreitung von Mustern in der Softwaretechnik ihren Siegeszug begann.

Diese aus den oben geführten Untersuchungen zur Kreativität in der Produktentwick-lung und der damit einhergehenden Unterscheidung in primäre und sekundäre Krea-tivität sowie aus dem beispielhaft vorgestellten Praxisbedarf abgeleitete Erkenntnis verspricht die Möglichkeit, das Konzept der Entwurfsmuster, mit Hilfe derer der Archi-tekturtheoretiker ALEXANDER problemorientiert architektonisches Entwurfswissen re-präsentiert, für die Produktentwicklung zu übernehmen, ihren spezifischen Anforde-rungen anzupassen und positiv zu validieren.

5 Muster und ihre Anwendung

Der Ansatz zur Abbildung von häufig wiederkehrenden Lösungsprinzipien in Form von Mustern und Mustersprachen wurde von dem Architekturtheoretiker ALEXANDER Ende der siebziger Jahre geprägt³⁶⁵.

Ausgangspunkt des Musteransatzes ist seine Arbeit *„Notes on the Synthesis of Form“*, in der er die Komplexität des Entwerfens über den Weg der Rationalität im Entwurfsprozess handhabbar zu machen versucht, indem das Entwurfsproblem in intuitiv und mit Erfahrung lösbare Teilprobleme zerlegt wird. Idealerweise lassen sich diese Probleme auf Grundprobleme reduzieren, deren Lösungen bekannt sind (*pattern*) und die damit ebenfalls zu einer Lösung des übergeordneten Problems führen. Die systematische Unterteilung der Entwurfsaufgabe in Teilprobleme und die folgende strikte Synthese der Gesamtlösung aus Teillösungen gibt ALEXANDER später wieder auf.³⁶⁶

Bei Städten und Gebäuden identifiziert ALEXANDER prinzipielle Gemeinsamkeiten und formuliert aus diesen insgesamt 253 überwiegend untereinander verknüpfte Muster, deren Besonderheit in dem nach Kontext, Problem und Lösung gegliederten Format³⁶⁷ liegt. Mit der Wahl eines bei jedem Muster wiederkehrenden Formats bezweckt er zum einen die Darstellung der Verknüpfung der Muster untereinander im Sinne einer Sprache und zum anderen die Beschreibung von Problem und dessen Lösung, so dass diese vom Leser leicht zu beurteilen, sowie einfach ohne Verlust der zentralen wesentlichen Inhalte anzupassen sind. ALEXANDER definiert allgemein:

*„Jedes Muster beschreibt zunächst ein in unserer Umwelt immer wieder auftretendes Problem, beschreibt den Kern der Lösung dieses Problems, und zwar so, dass man diese Lösung millionenfach anwenden kann, ohne sich je zu wiederholen.“*³⁶⁸

³⁶⁵ vgl. Alexander et al. (1977), dt. Übers.: Alexander & Czech (1995), vgl. Alexander (1979)

³⁶⁶ vgl. Sieverts (1997); vgl. Lea (1994)

³⁶⁷ vgl. Alexander et al. (1977), S.Xff; Alexander (1979), S.247: „Each pattern is a three-part rule, which expresses a relation between a certain context, a problem, and a solution.“

³⁶⁸ Alexander & Czech (1995), S.X, im Original (Alexander et al., 1977, S.X) heißt es: „Each pattern describes a problem which occurs over and over again in our environment, and then describes the core of the solution to that problem, in such a way that you can use this solution a million times over, without ever doing it the same way twice.“

ALEXANDERS Ideen werden rund ein Jahrzehnt später im Bereich der Softwaretechnik durch BECK und CUNNINGHAM³⁶⁹ in Form einer kleinen Sprache mit wenigen Mustern aufgegriffen. Bereits ein Jahr später finden bei einer Konferenz zur objektorientierten Programmierung ein Workshop zum Thema Pattern sowie ein weiterer mit dem Ziel der Schaffung eines Handbuchs zur Software-Architektur statt. Die Teilnehmer beider Workshops erarbeiten grundsätzliche Möglichkeiten, wie sich das Format software-spezifischer Muster gestalten und dessen Inhalte gliedern lassen³⁷⁰. Die Workshop-Ergebnisse sollen auch die Grundlage für die Mustersprache der sogenannten *Viererbände (Gang of Four, GoF)* bilden, die sie 1995 in einem Buch veröffentlichen, welches den Mustern endgültig zum Durchbruch in der Softwaretechnik verhilft³⁷¹.

Der Grundgedanke einer partizipativen Anwendung führt zur Entwicklung des ersten Wiki-Systems³⁷² im Sinne eines offenen Content Management Systems (CMS), bei dem jeder die abgelegten Muster nutzen und verbessern kann. Seit 1995 findet jährlich die Konferenz *PLoP – Pattern Languages of Programs* – statt, deren Ziel es ist, Programmierern bei der Art und Weise, Muster zu formulieren, zu unterstützen und deren vorgestellte Mustersprachen zu verbessern.

1997 findet ein Workshop³⁷³ zu Mustersprachen für die Gestaltung von Mensch-Computer-Interaktion statt; TIDWELL³⁷⁴ entwickelt eine umfangreiche Mustersprache und veröffentlichte diese im Internet.

Im Bereich der maschinenbaulichen Produktentwicklung, des *Engineering Designs*, veröffentlicht SALUSTRI 2001 zum ersten Mal die Idee, mit Mustern zu arbeiten und bildet diese in einem Wiki-System ab³⁷⁵. 2007 veröffentlichen FELDHUSEN und BUNGERT Muster zur Integration in Product Lifecycle Management (PLM)-Systeme³⁷⁶.

Das vorliegende Kapitel beschreibt die dem Musteransatz zu Grunde liegende Idee, die Erstellung und Eigenschaften von Mustern sowie den Stand ihrer Anwendung in Architektur, Softwaretechnik und Produktentwicklung.

³⁶⁹ vgl. Beck & Cunningham (1987)

³⁷⁰ vgl. Coad & Mayfield (1992), vgl. Anderson (1992)

³⁷¹ vgl. Gamma et al. (1995)

³⁷² vgl. Leuf & Cunningham (2001), S.15; vgl. @Cunningham

³⁷³ vgl. Bayle et al. (1998)

³⁷⁴ vgl. Tidwell (1998) und @Tidwell

³⁷⁵ vgl. Salustri (2001) und Salustri (2005)

³⁷⁶ vgl. Feldhusen & Bungert (2007a)

5.1 Die Grundidee von Mustern und Mustersprachen

Die Grundidee der Muster lässt sich anhand eines Alltagsbeispiels³⁷⁷ verdeutlichen. Wir befinden uns in einem soziotechnischen System, indem wir ständig mit technischen Systemen, beispielsweise mit Fahrzeug- und Verkehrssystemen, Gebäudetechnik und Rechnern bzw. deren Software, interagieren. Die meisten der hinter diesen Systemen liegenden Vorgänge sind für uns nicht ohne Weiteres erkenn- und nachvollziehbar. Wir möchten – vielleicht gerade deswegen – wissen, was das System gerade macht, wo es sich befindet oder wie weit die Abwicklung unseres Auftrags fortgeschritten ist, bzw. wie lange diese noch dauern wird. Viele technische Systeme lösen dieses Problem erfolgreich, indem sie dem Benutzer Rückmeldung über den aktuellen Status geben.

Das passende Muster beschreibt nun das Problem (Unsicherheit, was System gerade macht), das in einem bestimmten Problemumfeld (Interaktion von Mensch und technischem System) häufig auftritt sowie den gemeinsamen Kern der Lösungen (Rückmeldung des Systemstatus), die dieses Problem erfolgreich lösen konnten (vgl. Abbildung 20). Damit weist das Muster den Anwender auf den Lösungskern (Rückmeldung des Systemstatus) hin, ohne ihm vorzuschreiben, wie diese Rückmeldung konkret auszusehen hat. Es lässt damit kreativen Freiraum, den Lösungskern an die konkreten Randbedingungen anzupassen. Die Lösung kann damit höchst unterschiedlich ausfallen, ohne den gemeinsamen Kern zu verlieren. Der vor dem Aufzug Wartende sieht, in welchem Stockwerk sich der bestellte Aufzug gerade befindet. Software zeigt den Fortschritt von Operationen, wie Kopieren oder Speichern an. Und Fahrzeuge aller Art geben ihren Fahrern Rückmeldung über diverse Bordinstrumente.

³⁷⁷ in Anlehnung an Tidwells Progress Indicator Pattern; vgl. Tidwell (1998)

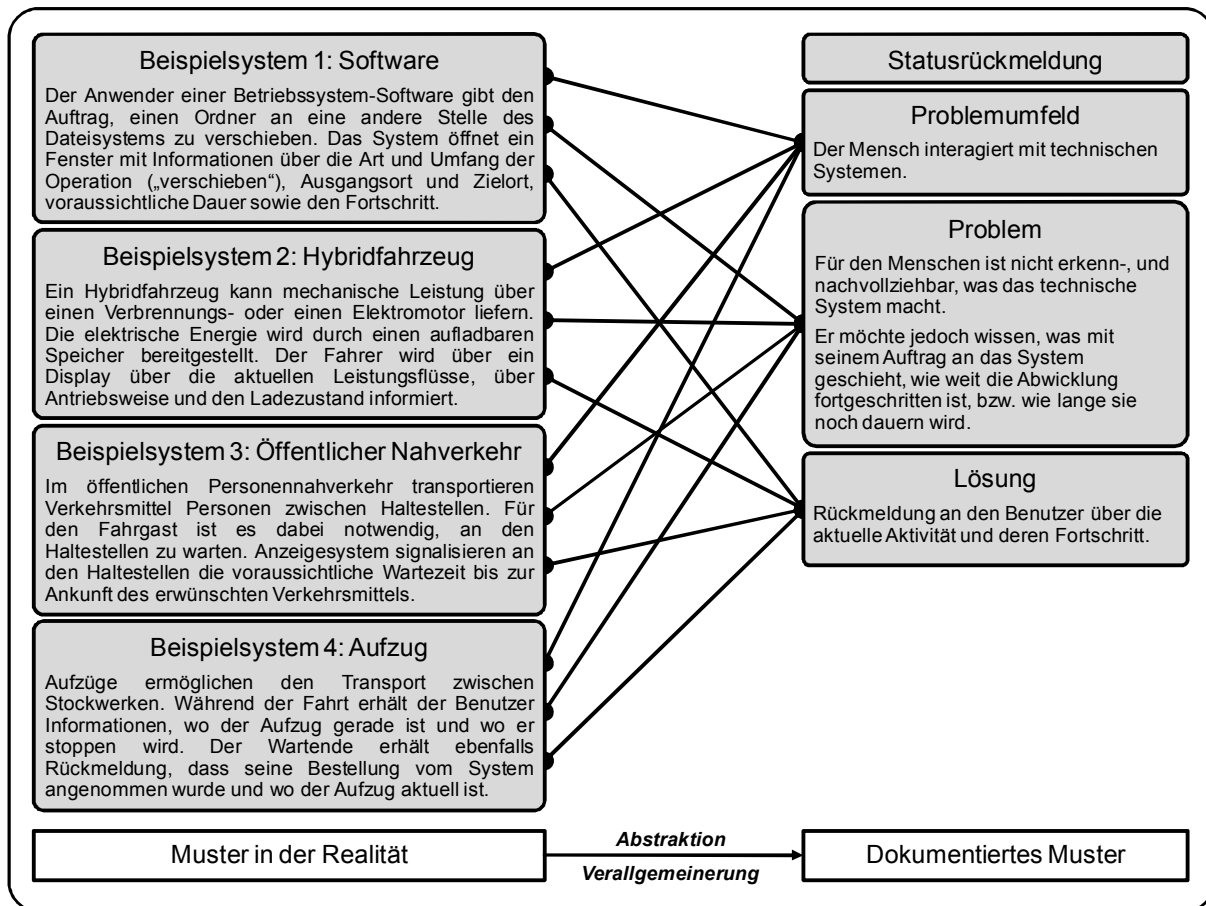


Abbildung 20: Alltagsbeispiel für ein Muster

Aus den Alltagsbeispielen, in denen Mensch und Maschinen interagieren, lassen sich die invarianten kontextuellen Problemumfeld-, Problem- und Lösungsmerkmale ableiten und darstellen.

5.1.1 Muster

Der Begriff Muster wird im allgemeinen Sprachgebrauch als synonym zu Schablone, Schema, Standard, Vorlage, Modell oder Archetyp u.v.m. betrachtet. In der vorliegenden Arbeit wird der Musterbegriff in seiner engeren speziellen Bedeutung im ALEXANDER'schen Sinne angewandt.

Die Muster und deren Verknüpfung zu einer Mustersprache in der hier betrachteten Form finden ihren Ursprung in der Beschreibung häufig wiederkehrender architektonischer Elemente, die sich aus der Erfahrung vieler Jahrhunderte des Bauens ergeben.³⁷⁸ Eine Gruppe um den Architekturtheoretiker ALEXANDER entwickelte in den siebziger Jahren ein Mustersystem von 253 Mustern.³⁷⁹ Sie sehen Städte und Ge-

³⁷⁸ vgl. Alexander (1979), S.XI

³⁷⁹ vgl. Alexander et al. (1977)

bäude als Zusammensetzung von bestimmten materiellen Einheiten, die bei allen – zumindest bei einer repräsentativ großen Anzahl – Städten und Gebäuden ähnlich gestaltet sind. Diese ähnlichen Einheiten definiert er als Muster.³⁸⁰ Zweck der Gestaltung mit Mustern ist es, menschengerecht zu entwerfen und damit Städten und Gebäuden Leben einzuhauchen. Dieses kann ALEXANDERS Auffassung nach nur gelingen, wenn die Menschen einer Gesellschaft eine gemeinsame (architektonische) Sprache sprechen.³⁸¹ Diese Mustersprache soll nicht nur den Entwurfsprozess unterstützen, sondern es dem Laien ermöglichen, sein Haus zu entwerfen oder gemeinschaftlich das Umfeld in einer Stadt oder einem Viertel zu verbessern.

Um der Einfachheit, Klarheit und Übersichtlichkeit Willen hat jedes Muster dasselbe Format:³⁸²

- *Name und Beispielbild*
- *Kontext:* Der einleitende Abschnitt beschreibt den Kontext des Musters und wie sich dieses Muster in übergeordnete größere Muster einfügt.
- *Problem:* Das Problem wird in Form einer Überschrift hervorgehoben in ein bis zwei Sätzen vorgestellt. Hierauf folgt eine detaillierte Problembeschreibung, bei der der Hintergrund des Problems dargestellt und dessen Gültigkeit nachgewiesen werden.
- *Lösung:* Als wichtigster Teil wird nun ebenfalls in hervorgehobener Form die Problemlösung beschrieben. Dies geschieht im Sinne einer Anleitung, durch welche materiellen oder sozialen Beziehungen sich das Problem lösen lässt. Schließlich wird im Hauptteil der Lösungsansatz durch eine Abbildung mit den wichtigsten Lösungselementen visualisiert. Das Format schließt mit der Verknüpfung zu untergeordneten Mustern, die bei der vollständigen Lösungsumsetzung helfen.

Unter Kontext werden im Allgemeinen Umgebungsbedingungen verstanden. FELD-HUSEN et al. kommen für die Produktentwicklung zu dem Schluss, dass der Kontext diejenigen Informationen beinhaltet, die das Umfeld einer Handlung ausmachen, wobei das Umfeld sich aus denjenigen Faktoren zusammensetzt, die zwar die Handlung, nicht aber den Handelnden oder das Objekt der Handlung betreffen.³⁸³

³⁸⁰ vgl. Alexander (1979), S.11

³⁸¹ vgl. Alexander et al. (1977), S.X

³⁸² vgl. Alexander et al. (1977), S.Xf.

³⁸³ Feldhusen et al. (2006)

Die Lösungsbeschreibung als zentrales Element eines Musters erfolgt so, dass die essentiellen Bestandteile und Beziehungen, die zur Problemlösung erforderlich sind, in allgemeiner und abstrakter Weise dargestellt werden. Dies ermöglicht die Anpassung an individuelle Präferenzen und aufgabenspezifische Randbedingungen. Daher sind die Beschreibungen so gehalten, dass dem Anwender keine konkrete Lösung aufgezwängt wird, er jedoch alle wesentlichen Lösungselemente zur Problemlösung nutzen kann. Diese wesentlichen Lösungselemente sind diejenigen Aspekte, die bei allen erfolgreichen Lösungen desselben Problems invariant vorhanden identifizierbar waren. Allerdings stellt ALEXANDER klar, dass nicht alle Lösungen im Sinne des Musters in gleichem Maße bei allen realen Lösungen auffindbar sind. Diese Unterschiede in der Signifikanz signalisieren dem Musternamen angefügte Sternchen (Asteriske). Dabei bedeuten zwei Asteriske, dass die Lösungselemente bei allen realen Lösungen invariant vorhanden waren. Oder im Umkehrschluss, dass ohne Beachtung der Lösungsmerkmale des Musters eine Lösungsumsetzung nicht möglich ist. Aus der Angabe eines Asterisks lässt sich schließen, dass das Lösungsmerkmal durchaus invariant sein könnte, aber die Wahl der Lösungselemente durchaus noch Verbesserungspotenzial zulässt. Zuletzt gibt es noch Muster, deren Lösungselemente in einigen, jedoch längst nicht allen realen Lösungen auftreten. Diese Muster werden dennoch aufgeführt, um dem Leser – der bei ALEXANDER ja auch der architektonische Laie ist – wenigstens eine mögliche Lösung an die Hand zu geben.³⁸⁴

Abbildung 21 zeigt ein Beispielmuster aus der Architektur.

³⁸⁴ vgl. Alexander et al. (1977), S.XIIIff.

Fußgängerstraße **

[Anm. d. Verf.: Kontextbeschreibung mit übergeordneten Mustern]

... die früheren Muster - PROMENADE (31), EINKAUFSTRASSE (32) und NETZ VON FUSS- UND FAHRWEGEN (52) - erfordern alle dichte Fußgängerstraßen; ebenso REIHENHÄUSER(38), WOHNHÜGEL (39), UNIVERSITÄT ALS OFFENER MARKT (43), MARKT MIT VIELEN GESCHÄFTEN (46); innerhalb des GEBÄUDEKOMPLEXES (95) erfordert ORIENTIERUNG DURCH BEREICHE (98) dasselbe. Beim Anlegen einer Fußgängerstraße sollte man sich vergewissern, dass sie ein NETZ VON FUSS- UND FAHRWEGEN (52), ERHÖHTE GEHWEGE (55) und ORIENTIERUNG DURCH BEREICHE (98) in der Stadt bewirkt.

[Anm. d. Verf.: Problembeschreibung]

Der einfache soziale Kontakt, der entsteht, wenn Leute einander auf der Straße treffen, ist eine der wesentlichsten Arten des sozialen "Klebstoffs" der Gesellschaft.

In der heutigen Gesellschaft fehlt diese Situation und damit dieser Klebstoff weitgehend, und zwar deshalb, weil so viele der tatsächlichen Bewegungsvorgänge in Innengängen und Eingangshallen stattfinden, statt im Freien. Das liegt teilweise daran, dass die Autos die Straßen eingenommen und unwirtlich gemacht haben, und teilweise daran, dass die in Reaktion darauf gebauten Gänge dasselbe bewirken. Der Effekt ist doppelt schädlich. [...]

Kurz, die Lösung der zwei erwähnten Probleme – die von Autos beeinträchtigten Straßen und die leeren Gänge – ist die Fußgängerstraße. Fußgängerstraßen werden sowohl benützt, um von Auto, Bus oder Bahn zum Zielort zu kommen, als auch als direkte Verbindung zwischen Wohnungen, Geschäften, Büros, Behörden und Schulen. [...]

[Anm. d. Verf.: Lösungsbeschreibung inkl. untergeordneter Muster]

Daraus folgt:

Leg Gebäude so an, dass sie Fußgängerstraßen bilden: mit vielen Eingängen und offenen, direkt von den oberen Stockwerken zur Straße führenden Treppen, so dass auch Wege zwischen einzelnen Räumen – nicht nur zwischen Gebäuden – im Freien zurückgelegt werden.

Die Straße wird keinesfalls funktionieren, wenn ihre Gesamtfläche nicht so klein ist, dass sie von den Fußgängern gefüllt wird - FUSSGÄNGERDICHTHE (123). Leg entlang der Straße häufig Eingänge und offene Treppen an; vermeide innere Gänge, um die Leute herauszubringen; diese Eingänge sollten eine gewisse Zusammengehörigkeit haben und als System betrachtet werden können – FAMILIE VON EINGÄNGEN (102), OFFENE TREPPEN (158); die Leute sollten Innen- und Außenräume mit Blick auf die Straße haben – PRIVATERRASSE AN DER STRASSE (140), STRASSENFENSTER (164), ÖFFNUNG ZUR STRASSE (165), DIE GALERIE RUNDHERUM (166), ZWEI-METER-BALKON (167); und die Straße sollte raumbildende Form haben - ARKADEN (119), DIE FORM VON WEGEN (121). ...

Abbildung 21: Exemplarischer Auszug aus dem Muster „Fußgängerstraße“

Das Auszug zeigt deutlich die charakteristischen Abschnitte eines Musters: prägnanter Titel, die Beschreibung des Kontexts, des Problems und der Lösung sowie die Verknüpfung zu untergeordneten Mustern. Andere Muster sind mit GROSSBUCHSTABEN geschrieben.

Quelle: Alexander & Czech (1995), S. 526ff.; Anhang 2, S.180, zeigt das vollständige Muster

5.1.2 Mustersprache

“A pattern language is a system which allows its users to create an infinite variety of those three dimensional combinations of patterns which we call buildings, gardens, towns.”³⁸⁵

Wie ALEXANDER schreibt, ist eine Mustersprache der Architektur ein System, das die Erstellung von Lebensräumen erlaubt. Sprache besteht im einfachsten Fall der logischen Sprachen aus Elementen und Regeln, die diese Elemente verknüpfen. Natürliche Sprachen besitzen Elemente in Form von Wörtern und grammatikalische Regeln, wie sich diese Wörter aneinanderreihen oder im Zusammenhang mit anderen Wörtern verändern lassen (Syntax). Die Satzsemantik ergibt sich aus der syntaktischen Verknüpfung der Worte, der Satzelemente. Muster hingegen sind gleichzeitig Elemente und durch ihre instruktive Lösungsdarstellung auch Regeln, die untergeordnete Elemente verknüpfen. Die Anwendung der Mustersprache ergibt Sätze, Verknüpfungen von Mustern zu etwas Ganzem, zu einem Gebäude (vgl. Tabelle 13). Die Mustersprache eines Architekten ist die Summe seines Wissens über die Gebäudegestaltung und unterscheidet sich von der eines anderen. Die Sprachen beider sind nicht identisch, obwohl sie jeweils gleiche Muster und ganze Stück der Sprache teilen.³⁸⁶

SALUSTRI schlägt die taxonomische Einordnung in zwei Verknüpfungstypen vor: die Abstraktion hin zu übergeordneten und die Komposition hin zu untergeordneten Mustern.³⁸⁷

Die Verzahnung der potentiell vorliegenden domänenspezifischen Mustersprache beschreiben FELDHUSEN und BUNGERT durch drei Beziehungsarten, die entweder Bezug auf eine Untermenge, auf eine Schnittmenge oder auf eine unabhängige, sichtspezifisch andersartige Menge nehmen.³⁸⁸ Dabei bilden die von einem Untermuster ausgehenden weiter untergeordneten Muster mit diesem zusammen eine eigene Mustersprache, die gleichzeitig eine Untermenge des dem Untermuster übergeordneten Musters darstellt. Bei Schnittmengen gibt es Muster, die in zwei Sprachen gültig und verknüpft sind.

³⁸⁵ Alexander (1979), S.186

³⁸⁶ vgl. Alexander (1979), S.184ff.; Alexander 1979, S.202

³⁸⁷ vgl. Salustri (2001)

³⁸⁸ vgl. Feldhusen & Bungert (2007b)

Tabelle 13: Vergleich der natürlichen Sprache mit der architektonischen Mustersprache

Natürliche Sprache	Mustersprache
Worte	Muster
Grammatikalische Regeln	Muster, die durch Beziehungen zu Mustern verknüpft sind.
Sätze	Gebäude und Orte

Quelle: nach Alexander (1979), S.187

5.1.3 Die psychologische Perspektive

*„Every person has a pattern language in his mind.“*³⁸⁹

Wir denken in Mustern, schreibt ALEXANDER. Nur durch die geistige Repräsentation von Mustern kann ein Individuum kreativ sein. Damit ist die Mustersprache die Quelle kreativer Leistung, ohne die kein Gestalten möglich wäre.³⁹⁰ Diese mentalen Muster bilden in unseren Köpfen, genauso, wie dokumentierte Muster, die Muster der Realität ab. (vgl. Abbildung 22). Implizite mentale Muster sind vorhanden, aber nicht bewusst greifbar, während explizite ausgedrückt und kommuniziert werden können.³⁹¹ Die mentalen Muster stellen geistige Abbildungen der realen existierenden Muster dar, indem sie deren morphologischen Regeln repräsentieren.³⁹² Die mentalen Muster lassen sich psychologisch mit der Schematheorie erklären (vgl. auch Abschnitt 2.3.9)³⁹³. Schemata repräsentieren im Sinne einer Wissensstruktur die abstrahierten Gemeinsamkeiten mindestens zweier Analoge.³⁹⁴ Der Gestalter greift auf seine mentalen Muster, auf Schemata, zurück und kombiniert aus diesen das Neue. Schemata besitzen abstrakte Kategorien (Slots, Variable), die bei der Instanziierung verschiedene plausible konkrete Zustände (Werte) annehmen können. Die Variablen selbst werden ebenfalls durch Schemata repräsentiert.³⁹⁵

Die Schematheorie besagt, dass Wissen in Wissenseinheiten gespeichert ist, in mentalen Mustern. Ein Schema lässt sich jedoch nicht von einer Person zur anderen übertragen. Muster und ihre Verknüpfungen kommen der Art und Weise, wie Menschen ihr Wissen strukturieren, sehr nahe und erlauben es dem Anwender sehr ein-

³⁸⁹ Alexander (1979), S.202

³⁹⁰ vgl. Alexander (1979), S.203ff.

³⁹¹ vgl. Kohls & Scheiter (2008); vgl. Kohls & Uttecht (2009)

³⁹² vgl. Alexander (1979), S.181

³⁹³ vgl. Kohls & Scheiter (2008); vgl. Kohls & Uttecht (2009)

³⁹⁴ vgl. Gick & Holyoak (1983)

³⁹⁵ vgl. Kohls & Scheiter (2008)

fach, seine individuellen Schemata zu konstruieren. Hilfestellung im Muster geben Beispiele, aus denen sich das Schema ableiten lässt.³⁹⁶

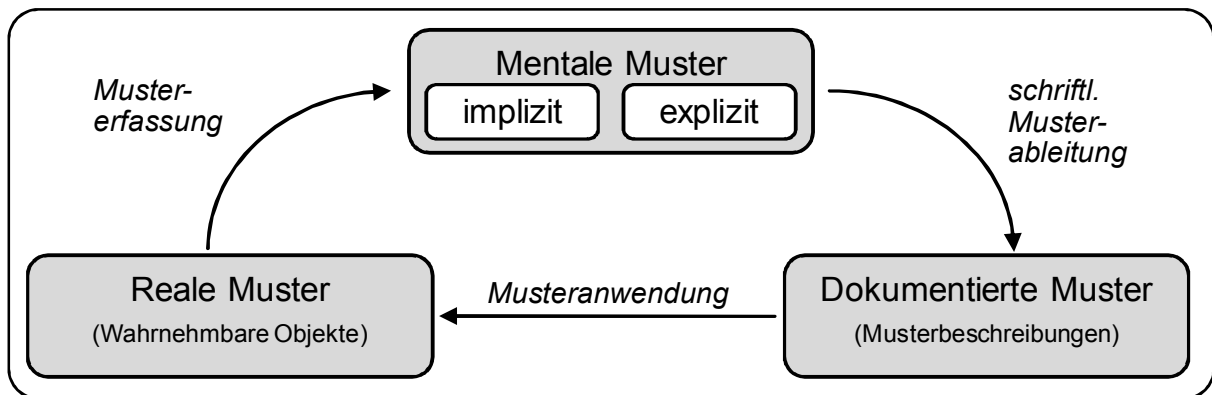


Abbildung 22: Beziehung zwischen unterschiedlichen realen, mentalen und dokumentierten Mustern

Quelle: nach Kohls & Scheiter (2008), Kohls & Uttecht (2009)

5.1.4 Eigenschaften von Mustern

Die aus der Grundidee heraus entwickelten Muster sind vor allem durch ihr besonderes Format und ihre Einfachheit gekennzeichnet. Allerdings ist die einfache und strukturierte Beschreibung von Erfahrungswissen alleine nicht ausreichend, um „mustergültig“ zu sein. Hinzu kommen noch weitere Eigenschaften, die Muster typischerweise innehaben.

- **Einheitsformat:** Obgleich eine Vielzahl von Mustersprachen mit unterschiedlichen Strukturen aus verschiedenen Domänen bekannt sind, teilen alle die Kernelemente des ALEXANDER'schen Musterformats³⁹⁷: Name, Kontext, Problem und dessen Lösung.
- **Einfachheit:** Im allgemeinen Sinne eines Hilfsmittels zur Unterstützung der Kommunikation unter Experten und im speziellen Sinne von ALEXANDER, der Muster für Laien bereitstellt, muss die angewandte Sprache einfach sein. Ebenso zur Weitergabe und Verbreitung der Sprache besteht die Forderung nach Einfachheit und Direktheit.³⁹⁸

³⁹⁶ vgl. Kohls & Scheiter (2008)

³⁹⁷ vgl. Alexander et al. (1977)

³⁹⁸ vgl. Alexander (1999) und Alexander (1979), S.230

- *Generativität*: Jedes Muster beschreibt sowohl etwas Wirkliches und zugleich den Weg, wie man dieses erwirken kann.³⁹⁹ Die Lösungsbeschreibung enthält Anweisungen, wie sich der erwünschte Zustand, der durch das Problem im dem gegebenen Kontext verhindert wird, einstellen lässt.

LEA skizziert zudem die folgenden Eigenschaften⁴⁰⁰. Jedes Muster ist unabhängig, spezifisch und in sich durch sein Einheitsformat geschlossen. Problem und Lösung sind einfach beschrieben und führen durch die Anwendung des Musters zu einem in sich sinnvollem Ganzem. Da sich LEA hier auf den Aufbau und das in der realisierten Gestalt identifizierbare Muster bezieht, steht er nicht im Widerspruch zu ALEXANDERS Aussage, „[...] kein Muster ist eine abgetrennte Einheit. Jedes Muster kann in der Welt nur soweit Bestand haben, als es von anderen Mustern gestützt wird [...]“⁴⁰¹. Die Musteranwendung führt zu einer ausgeglichenen Gestalt, denn der Lösungsteil eines Musters beschreibt die invarianten Lösungselemente, die das problemspezifische Ungleichgewicht aus vorherrschenden Kräften und Zwängen zu einem Gleichgewicht führen. Muster bilden die empirische⁴⁰² Erfahrung abstrakt und in ihrem Kontext allgemein gültig ab. Aufgrund der Kontextabhängigkeit sind sie nicht universell. Muster sind offen. Sie lassen sich auf unterschiedlichen Detaillierungsstufen wiederfinden und bilden sich durch untergeordnete, weniger detailliertere Muster ab; sie haben einen fraktalen Charakter. Damit gibt es keine in sich geschlossene Mustersprache. Muster stehen in hierarchischen Beziehungen zueinander. Sie können in ihrem Kontext untergeordnetes und gleichzeitig bezogen auf ihre Lösungsumsetzung übergeordnetes Muster sein. Als übergeordnetes Muster setzen sie sich in ihrer Realisierung aus untergeordneten Mustern zusammen.

SALUSTRI hingegen ergänzt die Eigenschaften der Muster um die folgenden Merkmale bei der Formulierung „guter“ Muster. Ein Muster beschreibt nicht nur den Weg zur Lösung, sondern auch die strukturellen Inhalte der Lösung selbst. Es enthält die Begründung, warum die Lösung in dem gegebenen Kontext angemessen und sinnvoll ist, sodass der Anwender für seinen spezifischen Fall die Angemessenheit selbst beurteilen kann. Ein Muster beschreibt ein wiederkehrendes Phänomen, das einen problematischen Zustand erfolgreich lösen konnte. SALUSTRI empfiehlt mindestens drei identifizierte realisierte Problemlösungen, in den sich das Muster widerspiegelt.

³⁹⁹ vgl. Alexander (1979), S.182, „A pattern is a rule which describes what you have to do to generate the entity which it defines.“

⁴⁰⁰ vgl. Lea (1994)

⁴⁰¹ Alexander & Czech (1995)

⁴⁰² Alexander meint mit „empirisch“ lediglich den Erfahrungsbezug und keinen empirischen Nachweis mit wissenschaftlichen Methoden; vgl. Dovey (1990)

Die Lösung wird um Beispiele im Sinne von Kontraindikationen ergänzt, also um Fälle, bei denen die Musteranwendung nicht zum Erfolg führte. Zudem kann es alternative Lösungswege geben, die dieselbe Problemstellung auf andere Art und Weise lösen. Diese werden im SALUSTRI'schen Musterformat in einem eigenen Abschnitt angegeben. Ein Muster ist für einen bestimmten Kontext beschrieben und nur in diesem gültig. Der Kontext muss ausreichend detailliert geschildert sein, um den Anwender in seiner Beurteilungsfähigkeit zu unterstützen. Das Muster stellt den Bezug zwischen Kontext, Problem und Lösung sowie zu über-, untergeordneten und verwandten Mustern ausreichend beschrieben dar. Die Anwendung des Musters muss Sinn ergeben und dem Anwender helfen bei einer spezifischen Problemstellung eine entsprechend geeignete Lösung zu finden. Muster sind lebendige Dokumente, deren Inhalt sich durch partizipative Anwendung weiter entwickelt – von der Verbesserung bis zur ihrer Auflösung.⁴⁰³

WINN und CALDER beschreiben weitere Merkmale, die ein (Software-)Muster über das typische Format hinaus besitzen muss. Ein Muster setzt ein Artefakt voraus, welches durch die Musteranwendung gestaltet werden kann. Es überbrückt dabei mehrere Abstraktionsniveaus, von der abstrakten kurzen Lösungsbeschreibung bis hin zu konkreten Lösungsbeispielen⁴⁰⁴. Dabei enthält es sowohl funktionale auf die Lösung bezogene Aspekte und nichtfunktionale Aspekte, die die Sinnhaftigkeit der Lösung im gegebenen Kontext erklären. Die Anwendung des Musters und die vorgeschlagene abstrakte Lösung werden am Beispiel einer real umgesetzten Gestaltung offensichtlich. Das Muster enthält die invarianten Lösungselemente und bietet damit eine Struktur, die das Zusammenspiel von stabilen und veränderlichen Systemelementen zu überblicken erlaubt. Muster sind nie isoliert und immer in eine Sprache eingebunden. Wie in einer lebendigen Sprache können Worte hinzukommen oder eine neue Bedeutungen gewinnen. Genauso werden Muster durch ihre Anwendung validiert und angepasst. Muster sind immer domänenspezifisch. Sie erfassen immer große Ideen und nie triviale Lösungsansätze.⁴⁰⁵ SALUSTRI hingegen betont für die multidisziplinäre Produktentwicklung, dass auch trivial erscheinende Lösungen in Mustern formuliert werden sollten, da diese für disziplinfremde Betrachter nicht in gleichem Maße trivial erscheinen.⁴⁰⁶

⁴⁰³ vgl. Salustri (2005)

⁴⁰⁴ Dies trifft auf Software-Muster im Sinne von Gamma et al. (1995) zu. Die Muster nach Alexander et al. (1977) sind alle auf dem selben Abstraktionsniveau. Vgl. Salustri (2001)

⁴⁰⁵ vgl. Winn & Calder (2002)

⁴⁰⁶ vgl. Salustri (2001)

5.1.5 Erstellung von Mustern

Für die erste Mustersprache in der Architektur wird kein methodischer Weg zur Musterableitung aufgezeigt. Für ALEXANDER ist eine Mustersprache nicht mehr und nicht weniger, als eine Art, Erfahrungswissen abzubilden.⁴⁰⁷ Das Explizitmachen eines vermuteten Musters führt über die Beantwortung von drei Fragen: (1) Um was genau handelt es sich? (2) Warum führt das Etwas zu der gewünschten Lösung? (3) Und wann und wo kann das Muster angewandt werden? Die Musterlösung ist soweit identifiziert, aber noch nicht kommunizierbar oder kritisierbar. Was fehlt, ist der funktionale Nutzen, das Problem zur Lösung. Dieses problembezogene Ungleichgewicht resultiert aus Kräften bzw. Einflussgrößen, die es zu beschreiben gilt. Der nächste Schritt ist, reale Gebilde zu untersuchen: Welche Eigenschaften haben gute Gebilde gemeinsam, welche schlechte? Sind das Problem und die Gemeinsamkeiten ähnlicher Gebilde bekannt, lassen sich die invarianten Größen bestimmen, die zum Kräftegleichgewicht und damit zur abstrakten Lösungen führen. Dieses Muster wird nun in einen weiteren Zusammenhang gebracht, es werden Beziehungen zu anderen Mustern geknüpft und damit das Muster in die Sprache eingebunden. Die Musteridee wird ergänzend graphisch repräsentiert.⁴⁰⁸ Abschließend erhält das vorläufige Muster einen eindeutigen treffenden Namen, bevor es mit anderen geteilt, kritisiert und verbessert werden kann.⁴⁰⁹

Das zu lösende Problem als inhärentes Element aller Muster bietet einen weiteren möglichen Startpunkt zur Ableitung von Mustern. Anfänglich werden die im interessierenden Bereich auftretenden Probleme recherchiert, thematisch gruppiert und zu Grundproblemen kondensiert. Eine weitere Recherche nach Lösungen ergibt mögliche Muster, aus denen sich schließlich die endgültigen Muster ergeben.⁴¹⁰

Die Erstellung von Mustern ist ein iterativer kollaborativer Prozess, bei dem Erfahrungen und Kenntnisse gesammelt, geteilt und in emergentem Sinne, verstärkt werden. Faktoren, die die Wahrscheinlichkeit erhöhen, zentrale Elemente zu finden, sind Heuristiken, Selbstbeobachtung, Realitätsbezug sowie sozialer Konsens.⁴¹¹

⁴⁰⁷ vgl. Alexander (1979), S.207

⁴⁰⁸ vgl. Alexander (1979), S.267: "If you can't draw a diagram of it, it isn't a pattern."

⁴⁰⁹ vgl. Alexander (1979), S.249ff.

⁴¹⁰ vgl. @E-LEN

⁴¹¹ vgl. Lea (1994); vgl. Salustri (2005)

Zudem existiert eine eigens entwickelte Mustersprache zum Schreiben von Mustern, wobei die den Mustern zugrunde liegenden Ideen als gegeben vorausgesetzt werden.⁴¹²

5.2 Stand der Musteranwendung

Was nun die einzelnen Fachdisziplinen und Domänen unter Mustern verstehen und welche methodischen Ansätze sie bei der Identifikation und Anwendung verfolgen, behandelt der nachfolgenden Abschnitt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Architektur, quasi der Mutterdomäne der Muster, auf der Softwaretechnik, in der die Musteranwendung groß wurde und auf der maschinenbaulichen Produktentwicklung. Der Abschnitt endet mit einer vergleichenden Betrachtung der Ansätze.

5.2.1 Architektur

Die Idee der Muster und Mustersprachen wird in den Siebzigern in der Architekturtheorie geboren (s. Abschnitt 5.1). Die archetypischen Lösungsaspekte, die invariant wiederkehrenden Elemente von Vierteln, Straßenzügen, Gebäuden und Höfen, welche die Menschheit in Jahrtausenden des Städte- und Häuserbaus hervorgebracht hat, werden identifiziert und in einer Vielzahl strukturierter Muster abgelegt. Die dahinterliegende tiefere Motivation beruht nicht nur auf der Schaffung einer architektonischen Sprache, derer sich auch Laien bedienen können, sondern schöpft sich auch aus dem moralischen Aspekt, dem Menschen eine gute Umgebung zu gestalten⁴¹³.

Der ursprüngliche Ansatz ALEXANDERS zur Musteranwendung ist stark philosophisch geprägt. Um eine Stadt lebendig zu gestalten, muss die Gestaltung zeitlos sein („*timeless way of building*“). Zeitloses Bauen kann seiner Ansicht nach nur durch Erfüllung bestimmter Qualitätsanforderungen realisiert werden. Diese Qualität hat sich seit Jahrtausenden des Bauens entwickelt. Aufgrund ihres Ursprungs in der Erfahrung der bauenden Menschheit, lässt sie sich nicht spezifizieren; sie ist die Qualität ohne Namen („*quality without a name*“). Für diese Qualität benutzt ALEXANDER statt einer Benennung Charakteristika: lebendig, ganz, komfortabel, frei, exakt, selbstlos, ewig. Das Tor zu dieser Qualität ist die Mustersprache („*the gate*“), hinter welchem der Weg des zeitlosen Bauens („*the way*“) beginnt.⁴¹⁴

⁴¹² vgl. Meszaros & Doble (1998)

⁴¹³ vgl. Alexander (1999)

⁴¹⁴ vgl. Alexander (1979), S.IXff.

Eines der besonderen Merkmale der ALEXANDER'schen Mustersprache ist die partizipative Anwendung durch verschiedene Akteure – vom Experten bis zum Laien, vom Städteplaner bis zum Bewohner. Mit der Mustersprache soll jeder Bewohner seine Umgebung gestalten können. Dabei gibt es für jedes Bauproblem eine entsprechende Mustersprache bzw. eine entsprechende Textpassage in einer übergeordneten Sprache. Dabei löst die Musteranwendung nicht nur das Bauproblem, sondern entwickelt gleichzeitig und gleichermaßen die Umsetzung eines übergeordneten Musters mit, beispielsweise durch den Bau eines Hauses die Gestaltung eines Viertels. Um die Qualität ohne Namen zu erreichen, kann Gestaltung nicht nur Prozess des Zusammensetzens einzelner Teile zu einem Ganzen sein. Vielmehr ist ein Prozess notwendig, in dem einzelne Teile unter dem Einfluss ihrer Position im übergeordneten Ganzen angepasst werden. In den Gedanken des Anwenders entsteht durch die Umsetzung eines Musters nach dem anderen der Eindruck eines Gebildes. ALEXANDER spricht daher von Entfaltung der Gestalt im Kopf des Gestalters. Die Muster sind dabei Operatoren, die den Gestaltungsraum unterteilen; die Sprache ist die Sequenz der Operatoren. Dabei startet der Anwender bei dem hierarchisch höchsten Muster seiner Sequenz. Um den Kontext zu verstehen, muss er zunächst die direkt oberhalb verknüpften Muster erfassen. Als nächstes betrachtet er die direkt unterhalb verknüpften Muster. Diese Vorgehensweise ermöglicht die mentale Entwicklung einer ganzheitlich kohärenten Gestalt.⁴¹⁵

Mit ihren 253 Mustern reicht die ALEXANDER'sche Mustersprache sehr weit. Sie beginnt mit unabhängigen Regionen („*Independent regions*“) und endet bei Inneneinrichtung und Dekoration („*Things from your life*“). Die architektonischen Muster sind linear nach der Größe ihrer Reichweite geordnet, beginnenden bei den Größten für ganze Regionen und Städte und weitergehend über Viertel bis hin zu konstruktiven Details. Innerhalb dieser Reihenfolge finden sich untergeordnete Muster, ohne deren Anwendung das entsprechende übergeordnete Musterproblem nicht gelöst werden kann. Das heißt zugleich, dass sich ein übergeordnetes Muster nur dann vollständig anwenden lässt, wenn über die im Muster beschriebene Lösung hinausgehend die verknüpften untergeordneten Muster angewandt werden.⁴¹⁶ Die systemischen Ausbildungen der Verknüpfungen bilden zusammen mit den Mustern die Mustersprache. Abbildung 21 zeigt ein Beispielmuster aus der Architektur.

⁴¹⁵ vgl. Alexander (1979), S.353ff.

⁴¹⁶ vgl. Alexander et al. (1977), S.XII

Mustersprachen sind lebendig; sie sollen sich kontinuierlich weiterentwickeln und verbessern.⁴¹⁷ ALEXANDER schreibt, „[...] *the central task of 'architecture' is the creation of a single, shared, evolving pattern language, which everyone contributes to, and everyone can use.*“⁴¹⁸ Eine inhaltliche Weiterentwicklung im Bereich der Architektur ist jedoch nicht dokumentiert.

Die Anwendung der Mustersprache in der Architektur führte nicht zum Erfolg. Es ist der Umstand, dass die Muster Architektur kommunizierbar machen und der Bauherr als laienhafter Kunde sich in den Entwurfsprozess einbringen kann, dem es zu verdanken ist, dass der Musteransatz im Kreis der Baumeister auf Ablehnung stößt.⁴¹⁹ Hinzu kommt, dass Muster in der praktischen baulichen Anwendung schwierig sind und der Unterschied zu einfachen funktionalen Regeln nicht transparent wird.⁴²⁰ Nach DOVEY widerspricht ALEXANDERS Philosophie vielen Gesichtspunkten unserer kapitalistischen, konsumorientierten und individualistischen Gesellschaftsstrukturen.⁴²¹

5.2.2 Softwaretechnik

Der ALEXANDER'sche Musteransatz wurde Ende der achtziger Jahre im Feld der Softwaretechnik durch BECK und CUNNINGHAM⁴²² in Form einer kleinen Sprache mit fünf Mustern aufgegriffen und begann einen Siegeszug, der sich in vielen Grenzbereichen der Softwareentwicklung fortsetzt. CUNNINGHAMS Vision war es, dass es dem Computeranwender mit Hilfe von Mustern möglich sein sollte, eigene Rechneranwendungen zu entwickeln und zu programmieren⁴²³. Im Rahmen zweier Konferenz-Workshops wurden erste Ansätze zum formativen Aufbau software-spezifischer Muster entwickelt⁴²⁴. Wohl am bekanntesten ist die Mustersprache der sogenannten *Gang of Four* um GAMMA⁴²⁵. Es etablierte sich die jährliche Konferenz *Pattern Languages of Programs*⁴²⁶, in der überwiegend Mustersprachen diskutiert werden.

⁴¹⁷ vgl. Alexander et al. (1977), S.XV

⁴¹⁸ Alexander (1979), S.241

⁴¹⁹ vgl. Borchers, J.: *A Pattern Approach to Interaction Design*. (New York, USA : Wiley) 2001 zitiert nach Feldhusen & Bungert (2007b)

⁴²⁰ vgl. Sieverts (1997)

⁴²¹ vgl. Dovey (1990)

⁴²² vgl. Beck & Cunningham (1987)

⁴²³ vgl. Sowizral (1987)

⁴²⁴ vgl. Coad & Mayfield (1992), vgl. Anderson (1992)

⁴²⁵ vgl. Gamma et al. (1995)

⁴²⁶ @Hillside

Die Beiträge durchlaufen einen Review-Prozess, das *Shepherding*, bei dem sogenannte *Shepherds* die Muster und Mustersprachen begutachten und Verbesserungsvorschläge machen. HARRISON präsentiert eine Mustersprache, wie sich ein solcher Begutachtungs- und Verbesserungsprozess gestalten lässt.⁴²⁷

Die Anwendung von Mustern zur Abbildung von Lösungswissen bei der Programmierung griff schnell auf andere affine Bereiche über. So entstanden Mustersprachen für die Gestaltung von Mensch-Computer-Interaktion, zur Entwicklungsprozessoptimierung, zur Methodeneinführung, für verbesserte Produktivität, zu Projektmanagementmethoden oder zum Lektorat von Mustersprachen bzw. entsprechenden Konferenzbeiträgen⁴²⁸. Alle folgten prinzipiell dem Format der ALEXANDER'schen Muster. Hinzu kamen zum einen allgemeine Punkte, wie die Beschreibung geltender Randbedingungen (Anforderungen, Abhängigkeiten), weiterer Konsequenzen und Nachteile der Musteranwendung oder die Nennung variiertes oder verwandter Muster. Zum anderen wurden spezifische Punkte zur Implementierung oder Beispiele aus dem Programmier-Code ergänzt.⁴²⁹

Die Musteranwendung in der Softwaretechnik bietet ebenso wie die architektonischen Muster Lösungswissen zu häufig wiederkehrenden Problemen, jedoch sind diese Lösungen im Vergleich wesentlich konkreter und häufig direkt umsetzbar. Es handelt sich, wie GAMMA auch titelt, bei Entwurfsmustern um wiederverwendbare objektorientierte Programmelemente⁴³⁰. Ein Beispielmuster ist in Anhang 3 dargestellt.

Mit der Entwicklung des ersten webbasierten Wiki-Systems ermöglicht CUNNINGHAM eine echte partizipative Anwendung, bei der der Anwender durch seine Erfahrungen ohne großen Aufwand per Intra-/Internet zur Fortentwicklung der Mustersprache beitragen kann. Zugleich steht dieser Entwicklungsschritt sofort allen anderen Nutzern zur Verfügung.⁴³¹

Ganz im Sinne ALEXANDERS früherer Absicht, den Entwicklungsprozess mit Hilfe von Mustern systematisch rational zu durchlaufen, entwickeln EDEN et al. ein Werkzeug zu automatischer Anwendung von Softwaremustern.⁴³²

⁴²⁷ vgl. Harrison (1999)

⁴²⁸ vgl. Bayle et al. (1998), vgl. Tidwell (1998), vgl. @Tidwell, vgl. Appleton (1997), vgl. DeLlano & Rising (1997), vgl. Taylor (1998), vgl. Beedle et al. (1998), vgl. Harrison (1999)

⁴²⁹ vgl. Anderson (1992)

⁴³⁰ Gamma et al. (1995): Design Patterns. Elements of Reusable Object-Oriented Software.

⁴³¹ vgl. Leuf & Cunningham (2001), S.13ff.

⁴³² vgl. Eden et al. (1997)

In einer Reihe von Experimenten untersuchten PRECHELT et al. die Anwendung von Entwurfsmustern in der Softwaretechnik. Bei der Wartung von Software-Codes konnte gezeigt werden, dass die Dokumentation von im Programm angewandten Mustern den zeitlichen Wartungsaufwand und die Fehlerquote bei der Wartung verringert.⁴³³ Darüber hinaus bestätigte UNGER-LAMPRECHT, dass Programmieren mit Entwurfsmustern bei mehr Flexibilität keine höheren Kosten verursacht. Teams mit gemeinsamer Musterkenntnis und Terminologie konnten durch ein gemeinsames Verständnis besser kommunizieren.⁴³⁴

Bei einer Rede 1996 anlässlich einer Softwaretechnik-Konferenz bemängelt ALEXANDER im Wesentlichen zwei Aspekte „seiner“ Muster, die er bei den Softwaretechnikern vermisse.⁴³⁵ Zum einen die moralische Komponente, die bei den architektonischen Mustern die Frage beantwortet, wie sich ein für Menschen gutes Umfeld gestalten lässt. Zum anderen fehlt in seinem Verständnis die Generativität; die Fähigkeit aus den Mustern etwas kohärentes Ganzes zu entwickeln.

5.2.3 Produktentwicklung

Im Bereich der maschinenbaulichen Produktentwicklung veröffentlicht SALUSTRI Entwurfsmuster für die multidisziplinäre Entwicklung. Er unterscheidet *principle patterns* für Entwurfsprinzipien⁴³⁶ und *practice patterns* für bewährte Lösungsverfahren (*best practices*). Die Musteranwendung führt durch Vermittlung des Kontexts über den Einbezug technischer Anforderungen hinaus zur Beachtung übergeordneter Randbedingungen, die aus dem Markt, dem ästhetischen Design oder der Nutzung herühren können. Damit kann die Musteranwendung einen ausbalancierten Entwurf, bzw. im maschinenbaulichen Sinne eine ausbalancierte emergente Gestalt, erwirken. Dieustersprachliche Vermittlung von Lösungsansätzen leitet die Kreativität des Entwicklers in erfolgversprechende Bahnen und warnt ihn zugleich vor möglichen Konsequenzen. Mustersprachen unterstützen durch ihren Aufbau systembasierte Ansätze, die top-down von einer übergeordneten Ebene aus beginnen.⁴³⁷ Zur Be-

⁴³³ vgl. Prechelt (1997), S.38; vgl. Prechelt et al. (1997), S.37f.; vgl. Prechelt & Unger (1999); vgl. Prechelt et al. (2002)

⁴³⁴ vgl. Unger-Lamprecht (2000), S.143ff.

⁴³⁵ vgl. Alexander (1996), Keynote address at ACM Conference on Object-Oriented Programs, Systems, Languages, and Applications (OOPSLA)

⁴³⁶ Der Ausdruck Entwurfsprinzipien gilt für viele Domänen und enthält auch Gestaltungsprinzipien im Sinne von Pahl & Beitz (1997)

⁴³⁷ vgl. Salustri (2001): balanced design, tempered creativity and creative reasoning, design process

reistellung der Muster und für die Anwendung in der universitären Lehre entwickelt SALUSTRI ein Wiki-System.⁴³⁸ Ein Beispielmuster ist in Anhang 4 beschrieben.

FELDHUSEN et al. schlagen vor, Wissen über Muster per eingebetteter Webbrowser-Funktion in PDM- und CAD-Systeme zu integrieren. Dazu werden die Muster in HTML implementiert und über ein CMS zur Verfügung gestellt. Auf Basis der Rolle des Anwenders im Entwicklungsprozess, des rechnergestützten Entwicklungswerkzeugs und der aktuellen Aufgabe leitet ein sogenannter *context mapper* eine spezifische Sichtweise ab, der eine entsprechende Mustersprache im CMS hinterlegt ist.⁴³⁹ Zu den bislang bekannten und häufig in den meisten Sprachen auftretenden Musterelementen werden sogenannte *background pattern* hinzugefügt, die dem Anwender Hintergrundinformationen zu einem bestimmten PLM-Muster beispielsweise in Form von Theorie und wissenschaftlichem Beweis bieten und so sich so auch für Lehrzwecke eignen.⁴⁴⁰

In der Produktentwicklung kommen viele andere Formen von Lösungsspeichern zum Einsatz. Typische Repräsentationen von Lösungen sind Konstruktionskataloge und Features.

In ihrer Grundidee, wiederverwendbare Lösungselemente bereitzustellen, sind Konstruktionskataloge und Muster gleich. Beide stellen Lösungsmodelle dar, ohne die konkrete Lösung direkt zu beschreiben. Die Vorgehensweise bei der Nutzung von Lösungskatalogen sieht eine Strukturierung des Gesamtproblems in einzelne isolierte Teilprobleme vor, die es durch Finden von katalogisierten Einzellösungen zu lösen und dann kombinieren gilt.⁴⁴¹ Nach ROTH stellt „*der Lösungskatalog immer das umfassendste, annähernd vollständige Spektrum für die Realisierung einer bestimmten Aufgabe zur Verfügung*“.⁴⁴² Damit stellen Kataloge möglichst alle in ihrer Ordnungsstruktur denkbaren Lösungen bereit, aus denen der Anwender eine oder mehrere für sein Problem passend erscheinende Lösungen auswählt. Eine Mustersprache stellt hingegen nur die Lösungen, die einem definierten Kontext erfolgreich sind, bereit. Jedes Muster bettet die Lösungsinformation in ihren Kontext ein, d.h. es stellt einen Bezug zu übergeordneten und untergeordneten Mustern her und ermöglicht damit die Abbildung und Nutzung eben nicht nur von Informationen, sondern geht einen Schritt weiter in Richtung der Repräsentation von Wissen.

⁴³⁸ vgl. Salustri (2001) und (2005)

⁴³⁹ vgl. Feldhusen et al. (2006)

⁴⁴⁰ vgl. Feldhusen & Bungert (2007a) und (2007b)

⁴⁴¹ vgl. Beitz (1985); vgl. VDI2221

⁴⁴² Roth (1982), S.51

Features definiert die VDI-Richtlinie 2218 nach WEBER allgemein als „*informationstechnische Elemente, die Bereiche von besonderem (technischen) Interesse von einzelnen oder mehreren Produkten darstellen*“.⁴⁴³ PODEHL & ARNOLD stellen fest, dass Muster und Features sehr ähnlich sind und schlagen eine Kombination beider („*feature patterns*“) vor, um domänenspezifisches Wissen abzulegen, Ergebnisse wiederzuverwenden und eine eindeutige Kommunikation zu unterstützen.⁴⁴⁴ PAHL und BEITZ definieren Feature hingegen wesentlich konkreter als „*Zusammenhang von Daten und Strukturen (geometrischer und nicht-geometrischer Art) zur Beschreibung und rechnerinterner Speicherung technischer Sachverhalte bei CAD-Anwendungen*“.⁴⁴⁵ Hier meint der Begriff Feature Gestalt- bzw. Konstruktionslemente, aus denen im CAD-System eine Bauteilgeometrie definiert werden kann, z.B. Nuten, Bohrungen, Fasen oder Rippen. Legt man diese anwendungstypische Feature-Definition zu Grunde, tritt der Unterschied zu Mustern klar und deutlich hervor. Die Feature stellen damit zwar auch die invarianten Merkmale einer Vielzahl von Lösungen dar, lassen jedoch die mustertypische Kontext- und Problembeschreibung vermissen, sodass es dem Anwender selbst überlassen bleibt, das Feature in einen systemischen Kontext zu stellen.

5.2.4 Weitere Mustersprachen und affine Ansätze

Hauptsächlich mit dem Erfolg der Mustersprachen im Bereich der Softwaretechnik entwickeln sich auch Mustersprachen für andere Aktivitäten im direkten Umfeld der Softwareentwicklung: Mensch-Computer Interaktion, Prozessverbesserung, Technologieeinführung oder Projektmanagement.⁴⁴⁶ Hinzu kommt die Verwendung des Mustersprachenansatzes für die Pädagogik und e-Learning.⁴⁴⁷

Eher als zur Ideen Anregung als im Sinne von Mustern verwenden Unternehmen Mustergegenstände, die besondere Eigenschaften aufweisen.⁴⁴⁸ Einen ähnlichen Ansatz verfolgt die Idee der TRIZ-Box, bei der Artefakte, die bestimmte Innovationsprinzipien verdeutlichen, den Ideenfindungsprozess durch gezielte Stimulation unterstützen sollen.⁴⁴⁹ Auch die TRIZ-Methode⁴⁵⁰ selbst repräsentiert erfolgversprechende

⁴⁴³ VDI2218, S.10

⁴⁴⁴ vgl. Arnold & Podehl (1999)

⁴⁴⁵ Pahl & Beitz (1997), S.714

⁴⁴⁶ vgl. Bayle et al. (1998) und @Tidwell; Appleton (1997); DeLano & Rising (1997) & Beedle et al. (1998)

⁴⁴⁷ vgl. Bergin (2000); Eckstein (2000); @E-LEN; @pedagogicalpatterns

⁴⁴⁸ vgl. Kelley (2002), S.160ff.

⁴⁴⁹ vgl. Albers et al. (2009c)

Lösungsansätze für technische Widersprüche, ordnete diese Lösungen jedoch nicht in einen umfassenden Kontext ein und verfügt nicht über die Flexibilität, kontinuierlich neue Lösungen aufzunehmen und zu repräsentieren.

5.2.5 Vergleichende Betrachtung der Musteransätze

Die Musterformate variieren nahezu von Autor zu Autor. Vergleicht man die repräsentativen Autoren unterschiedlicher Domänen⁴⁵¹, werden die Unterschiede der Varianten offensichtlich (vgl. Tabelle 14). Dennoch teilen alle dieselbe Grundstruktur: Name, Kontext, Problem und Lösung. Die Beziehungen zu anderen Mustern, die aus den Elementen ein System, eine Sprache machen, sind in allen Formaten vorhanden, aber häufig an unterschiedlicher Stelle eingefügt.

⁴⁵⁰ vgl. Altschuller (1986)

⁴⁵¹ Architektur: Alexander et al. (1977), Softwaretechnik: Gamma (1995), Pädagogik: @E-LEN, Engineering Design: Salustri (2005), PLM: Feldhusen & Bungert (2007b)

Tabelle 14: Musterformate beispielhafter Autoren aus unterschiedlichen Domänen

Domäne	Architektur	Softwaretechnik	Pädagogik / eLearning	Engineering Design	Product Lifecycle Management
Jahr	1977	1995	2004	2005	2007
Quelle	Alexander et al. (1977)	Gamma et al. (1995)	@E-LEN	Salustri (2005)	Feldhusen & Bungeit (2007b)
Name	✓	✓	✓	✓	✓
Reife/Signifikanz	✓		✓		
Kategorie		Klassifikation	Kategorie, Typ		
Metadaten			Autoren, Datum	Autoren, Datum	✓
Bild	✓				
Kontext	Kontext inkl. übergeordneter Muster	Intention Motivation inkl. kurzer Problem- und Lösungsbeschreibung	Kontext	Kontext inkl. mögl. Kontraindikationen	Kontext inkl. übergeordneter Muster
Problem (kurz)	✓		✓	✓	✓
Problembeschreibung	✓		✓	✓	✓
Lösung (kurz)	Lösung (kurz)		Lösungsbeschreibung	Lösung Bezug zu anderen Mustern	Lösung inkl. untergeordneter Muster Background
Lösungsbeschreibung	Lösungsbeschreibung Bild	Anwendbarkeit, Struktur der verwendeten Klassen, Beteiligung von Klassen und Objekten, Zusammenspiel der Beteiligten			
Konsequenzen		✓		✓	
Beispiele		Implementierungshinweise Beispiel-Code Anwendungsbeispiele	Anwendungsbeispiele	Beispiele (am besten 3 unterschiedliche Fälle, bei denen Muster nicht funktionierte)	
Beziehungen	Untergeordnete Muster	Verwandte Muster	Verwandte Muster, Zusatzinformation über Musterbeziehungen	Bezug bei Lösung optional: andere verwandte Muster	Bezug bei Lösung
Quellenangabe			✓		✓

5.3 Fazit und Zielsetzung

Wie sich zeigt, haben Muster mittlerweile starke Verbreitung erfahren. Insbesondere in der Softwaretechnik und affinen Bereichen konnte sich der Musteransatz erfolgreich durchsetzen. Weshalb Muster funktionieren, wurde vom überwiegenden Teil der Anwender nicht hinterfragt. Der Erfolg der Muster im Software-Bereich schien als Begründung ausreichend. Empirische Nachweise, dass Muster effizienter oder effektiver zu Ergebnissen führten, wurden nur für einige wenige spezielle Anwendungsfälle erbracht. Betrachtet man die Musterformate in den verschiedenen Domänen, so teilen diese alle die gleichen Kernelemente: prägnanter Name, Kontext-, Problem- und Lösungsbeschreibung.

Erste Arbeiten beleuchten Muster aus psychologischer Sicht. Ihre Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Musteransatz der Art und Weise, wie wir Menschen unser Denken strukturieren und organisieren, sehr ähnlich kommt. Unsere mentalen Wissensstrukturen sind nicht von einem Individuum zum anderen übertragbar. Muster mit ihrer ähnlichen Struktur bieten das Potential, als Vehikel zur Wissensübertragung zu dienen.

Im Bereich der (maschinenbaulichen) Produktentwicklung wurde das Konzept der Muster erstmals 2001 eingeführt. Schwerpunkte lagen dabei in der Repräsentation durch IT-Werkzeuge. Eine ganzheitliche Methode, wie sich Muster identifizieren und ableiten, anwenden und verbessern lassen, ist bislang nicht vorhanden.

Aus diesem Bedarf folgt die Zielsetzung, eine Methode zu bereitzustellen, die den Entwickler bei der Arbeit mit Mustern unterstützt.

6 Musteransatz für die Produktentwicklung

Der Musteransatz für die Produktentwicklung wird in diesem Kapitel auf Grundlage der Randbedingungen der Produktentwicklung sowie auf den Erkenntnissen zur Kreativität in der Produktentwicklung theoretisch motiviert. Auf die notwendigen Begriffsdefinitionen und Systematisierung von Musterarten folgt die Vorstellung eines Aktivitätenmodells, das beschreibt, wie sich Muster identifizieren und ableiten, anwenden und verbessern lassen. Diese Darstellung wird durch mögliche Methoden zur Unterstützung der Aktivitäten ergänzt. Abschließend wird der Musteransatz für die Produktentwicklung am Beispiel der Mikrotechnik validiert.

6.1 Theoretische Motivation zur Musteranwendung

Die theoretische Motivation zur Musteranwendung in der Produktentwicklung beruht auf zwei Aspekten. Erstens eignen sich Muster, um Wissen zu repräsentieren und zweitens, um Kreativität durch abstrakte Wissensrepräsentation zu fördern.

Muster eignen sich, um Wissen zu repräsentieren

“A pattern language is really nothing more than a precise way of describing someone’s experience of building.”⁴⁵²

Erfahrung und Wissen sind mehr als reine Information. Wissen ist die subjektive Verknüpfung von Information mit Erfahrung. Aus der Information wird Wissen, indem sie in einen Kontext gebracht und subjektiv interpretiert wird. Heute eingesetzte Informationssysteme erlauben meist eine reine Repräsentation von Informationen. Die Verknüpfung mit Kontext, der aus der Information Wissen werden lässt, ist nicht systemimmanent vorhanden. Erst durch Kontextinformation wird die eigentliche Information interpretierbar.⁴⁵³ Die Relevanz von Kontextinformationen zeigt das Gedankenexperiment in Abbildung 23.

⁴⁵² Alexander (1979), S.207

⁴⁵³ vgl. Abschnitt 2.2.5, S.44; vgl. North (2002), S.39

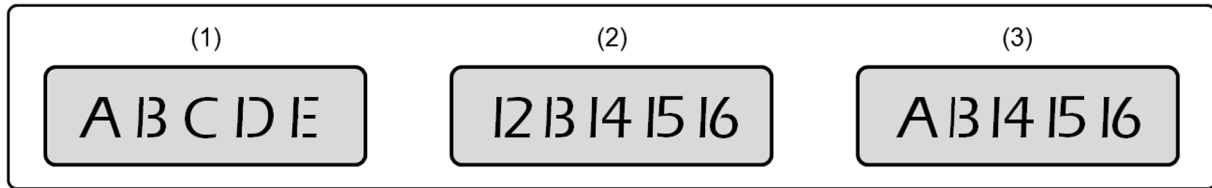


Abbildung 23: Gedankenexperiment zur Kontextabhängigkeit

Der Leser erkennt unter (1) eine Buchstabenreihe, unter (2) eine Zahlenkolonne. Erst beim Lesen von (3) stellt er fest, dass der Buchstabe B und die Zahl 13 hier gleich sind. Durch die Anwendung erfahrungsgepprägter mentaler Wissensstrukturen wird die Information subjektiv interpretiert.

Quelle: Eigene Darstellung nach Schaub (2008)

Muster besitzen im ALEXANDER'schen Sinn drei Kernkomponenten: Kontext-, Problem- und Lösungsbeschreibung. Durch die Darstellung des Kontexts als erste Komponente eines Musters kann der Leser die Informationen schnell und richtig einordnen. Damit werden die dargelegten Informationen eher intersubjektiv ähnlich interpretiert und führen zu ähnlicher Wissenskonstruktion. Der Kontext wird üblicherweise prosaisch beschrieben und enthält Verknüpfungen zu übergeordneten Mustern. Durch Beachtung dieser kann der Nutzer das vorliegende Muster in das übergeordnete System einordnen. Die Wissensrepräsentation erzielt damit aus sich heraus ein Systemverständnis beim Anwender.

Der Erfolg der Musteridee in der Software-Entwicklung zeigt ein ausschöpfbares Potential für andere entwickelnde Branchen auf.⁴⁵⁴ Gleichwohl ist zu bedenken, dass die Gestaltung von Software sich im Prinzip auf eindimensionalen Code reduzieren lässt, die technische Produktentwicklung sich dagegen mit dreidimensionalen dynamischen Systemen befasst. Die prinzipielle Anwendbarkeit auf räumliche Gestaltungsprobleme zeigte ALEXANDER auf, wobei dessen Muster nur eingeschränkt akzeptiert wurden. Für die mangelnde Akzeptanz können zwei Gründe angeführt werden. Zum einen stellt die mit der Mustersprache einhergehende Philosophie einer Gebäude- und (Wohn-)Raumgestaltung durch die Bewohner selbst den Mythos des kreativen Architekten in Frage. Dass sich in Architekturkreisen ALEXANDERS Musteridee nicht durchsetzen konnte, ist nicht weiter verwunderlich. Zum anderen waren zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der 253 Architekturmuster 1977 die Möglichkeiten der Informationenaufbereitung und -weitergabe auf Druckmedien und deren Verbreitungsmöglichkeiten begrenzt. Erst die Programmierer in der Softwaretechnik konnten auf Basis gerade etablierter Netzwerksysteme Werkzeuge schaffen, mit denen sich Muster nicht nur bereitstellen, sondern auch leicht ändern und an jüngste

⁴⁵⁴ vgl. Abschnitt 5.2.2, S.110

Erfahrungen anpassen ließen. Damit war der Siegeszug der Musteridee in der Softwaretechnik eingeläutet. Beide Gründe, die eine Durchsetzung der Musteridee in der Architektur verhinderten, liegen im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit nicht vor. Die Bereitstellung von Lösungsprinzipien in Form von Konstruktionskatalogen ist seit langem Stand der Technik in der Konstruktionsmethodik. Einschränkungen durch Informations- und Kommunikationstechniken spielen heute keine Rolle mehr. Die Einschränkungen liegen vielmehr auf der Seite des Anwenders, der durch geeignete motivationale Anreize dazu bewegt werden muss, sein Wissen zu teilen.

Wissensmanagement und dessen Methoden müssen pragmatisch, einfach und nutzbar sein. Die zu Grunde liegenden Prozesse müssen sich an konkreten Problemen orientieren und in einer verständlichen Sprache formuliert sein, die im Unternehmensalltag vermittelbar ist.⁴⁵⁵

Durch die klare und immer gleiche Struktur eines Musters, durch die Kontext-, Problem- und Lösungsbeschreibung wird der Aufwand und damit die Hürde, Wissen zu teilen, reduziert und die Informationsaufnahme erleichtert.

Muster eignen sich, um Kreativität in der Produktentwicklung durch abstrakte Wissensrepräsentation zu fördern.

Muster werden in der Softwaretechnik erfolgreich zur Bereitstellung von Erfahrungswissen eingesetzt. Wissen und Erfahrung zählen zu den kreativitätsrelevanten Persönlichkeitsmerkmalen. Nach AMABLES Komponentenmodell haben solche bereichsrelevanten Fähigkeiten einen direkten Einfluss auf den kreativen Prozess⁴⁵⁶. Auch in FINKES Geneplore-Modell⁴⁵⁷ führen im Generierungsschritt mentale Operationen auf Basis vorhandener Wissensstrukturen zu präinventiven Formen, deren Umsetzbarkeit anhand von Erfahrungen in der Exploration beurteilt wird. Ausgehend von CSIKSZENTMIHALYIS Systemmodell⁴⁵⁸ bezieht das Individuum seine Informationen aus der Domäne. Gleichzeitig erfordert eine kreative Lösung eine entsprechende Akzeptanz in der Domäne und bei den urteilenden Instanzen des Feldes. Diese Akzeptanz ist risikoärmer zu erreichen, wenn die neue Lösung auf bereits früher erfolgreichen Lösungsansätzen beruht. Zudem urteilt das Feld ebenfalls auf der Grundlage von Erfahrung und bestehendem Wissen.

⁴⁵⁵ vgl. Abschnitt 2.2.5, S.45ff.

⁴⁵⁶ vgl. Abschnitt 2.3.6, S.62ff.

⁴⁵⁷ vgl. Abschnitt 2.3.6, S.62ff.

⁴⁵⁸ vgl. Abschnitt 2.3.7, S.66ff.

Die experimentellen Arbeiten der Psychologie weisen nach, dass das Zeigen von Beispielen die Chance erhöht, dass gemeinsame Merkmale der Beispiele in neuen Lösungen vorkommen.⁴⁵⁹ Die resultierende Interpretation ist, dass Fallbeispiele die Kreativität einschränken. Dies ist vollkommen richtig, legt man der Interpretation primäre Kreativität zu Grunde. Sekundäre Kreativität sieht die Nutzung von Merkmalen aus konkreten Beispielen nicht als Einschränkung, sondern als Chance zur Risikominimierung durch die Wiederverwendung erprobter Lösungen.⁴⁶⁰ Der Musteransatz verfolgt genau dieses Ziel durch die Bereitstellung abstrakter gemeinsamer Lösungsmerkmale, bekannte und erprobte Lösungen in einer neuen Problemstellung anzuwenden.

Darüber hinaus stellt die Expertiseforschung im Falle des Schachspiels fest, dass erfahrene Spieler leicht durch Einstellungseffekte beeinflusst wurden, mit zunehmender Erfahrung diese Effekte wieder abnahmen.⁴⁶¹ Daraus leiten sich für die Musteranwendung zwei Fälle ab. Erstens wird der unerfahrene oder mäßig erfahrene Anwender durch die Bereitstellung erprobter und erfolgversprechender Lösungen unterstützt. Und zweitens wird der Experte sich durch die Muster nicht beeinflussen lassen und ggf. neue und bessere Lösungen finden, die wiederum in ein Muster einfließen können.

Damit zeigt sich, dass durch die Musterform die Möglichkeit besteht, Erfahrungen über erprobte Lösungen so bereitzustellen, dass derjenige, dem das Erfahrungswissen im Sinne einer Grundlage von Kreativität fehlt, dieses leicht erwerben kann und gleichzeitig derjenige, der über umfangreiches Erfahrungswissen verfügt, nicht durch Einstellungseffekte in seiner Kreativität eingeschränkt ist.

⁴⁵⁹ vgl. Abschnitt 2.3.8, S.70ff.

⁴⁶⁰ vgl. Abschnitt 3.6, S.89

⁴⁶¹ vgl. Abschnitt 2.3.8, S.70ff.

6.2 Definitionen, Struktur und Systematik

6.2.1 Muster und Mustersprache in der Produktentwicklung

Im Folgenden werden die Definitionen für den Bereich der Produktentwicklung festgelegt. Diese basieren überwiegend auf bekannten Definitionen aus anderen Domänen, wie sie in Kapitel 1 beschrieben sind.

Ein *Muster* ist die Beschreibung der invarianten Merkmale einer Vielzahl von Lösungen zu ähnlichen Problemstellungen in einer definierten Situation. Charakteristisch für ein Muster ist eine feste Struktur inhaltlicher Elemente und deren Verknüpfung zu über- und untergeordneten Mustern.

Damit sind die Kernkomponenten eines Musters festgelegt: die kontextbeschreibende Situation, Problem- und Lösungsmerkmale. Muster beschreiben (Teil-)Systeme der Produktentstehung. Die Generierung solcher Systeme ist die Lösung eines Problems. Daher bietet es sich an, zum Aufbau von Mustern für die Produktentwicklung sich an der SPALTEN-Methode nach ALBERS zu orientieren. Ein Muster für die Produktentwicklung ist somit folgendermaßen strukturiert:

- *Name (Alias)*: Die Namensgebung erfordert eine eindeutige und treffende Kurzbeschreibung des Musters. Aliase für dasselbe Muster ergänzen den Namen.
- *Situation*: Die Situation beschreibt den Kontext, in dem das Muster gültig ist. Sie umfasst alle relevanten Informationen aus der Situationsanalyse (SA). Die Situation beinhaltet Verknüpfungen zu übergeordneten Mustern und grenzt den Gültigkeits- und Anwendungsbereich auf eine Domäne ein.
- *Problem*: Die Problembeschreibung umfasst die invarianten Merkmale einer Vielzahl ähnlicher Problemstellungen innerhalb der in der Situation definierten Domäne. Sie ist textuell und ergänzend grafisch umgesetzt und grenzt das Problem ein (PE).
- *Lösung*: Die Lösungsbeschreibung ist abstrakt und unabhängig von konkreten Anwendungsfällen (AL). Sie enthält die invarianten Merkmale einer Vielzahl von Lösungen des beschriebenen Problems sowie Hinweise, wie der Anwender zu einer Lösung gelangt. Dies geschieht u.a. durch die Verknüpfung mit untergeordneten Mustern. Zudem enthält der Lösungsteil Informationen, warum die Anwendung der beschriebenen abstrakten Lösung bei dem gegebenen Problem sinnvoll erscheint (LA). Die Lösung wird textuell und ergänzend grafisch beschrieben.

- *Tragweite*: Die Tragweiteanalyse zeigt potentielle Chancen und Risiken auf, die sich aus der Musteranwendung ergeben können (TA).
- *Konsequenz*: Die Konsequenz beschreibt das Ergebnis der Musterumsetzung (EU).
- *Beispiele*: Die Beispiele erklären an konkreten Fällen, wie das Muster umgesetzt wurde. Es können auch Beispiele ergänzt werden, bei denen die Umsetzung nicht zum gewünschten Ergebnis geführt hat. Neue Beispiele der Musteranwendung werden im Schritt NL im Muster abgelegt. Nach der Schematheorie sind zur Bildung eines Schemas mindestens zwei Analoge erforderlich. Das heißt, der Anwender benötigt mindestens zwei analoge Beispiele, anhand derer er das Muster identifizieren kann.
- *Verwandte Muster*: Das Muster kann ein verwandtes Muster haben, das dasselbe Problem auf andere Weise erfolgreich löst, und das an dieser Stelle mit dem interessierenden Muster verbunden wird.
- *Quellen*: Auflistung von Quellenverweisen
- *Metadaten*: Unter Metadaten fallen mögliche Zugriffselemente, bspw. Schlagworte, Kategorien o.ä. sowie ergänzende Information, wie Signifikanz, Ersteller, Bearbeiter, Änderungsdatum o.ä.

Durch die Verknüpfung zu übergeordneten Mustern in der Situationsbeschreibung besitzt ein Muster ein Supermuster, dessen Anwendung das entsprechende Muster unterstützt. Gleichzeitig verweist es im Lösungsteil auf untergeordnete Muster, Submuster, die wiederum der Musteranwendung dienen (vgl. Abbildung 24).

Relativ zum Muster existieren folglich:

- *Supermuster*: relativ übergeordnetes Muster, das hilft, den Kontext des interessierenden Musters nachzuvollziehen.
- *Submuster*: relativ untergeordnetes Muster, das der Umsetzung der Lösung des interessierenden Musters dient.

Im Fall einer konkreten Anwendung eines Musters mit untergeordneten Mustern ergibt sich im ALEXANDER'schen Sinn ein Satz innerhalb einer Mustersprache. Diese wird folgendermaßen definiert:

Eine *Mustersprache* ist ein System unter einander in Bezug stehender Muster, die in einer definierten Situation gültig sind. Diese Situation entspricht der Situationsbeschreibung des höchststehenden Musters und wird an die untergeordneten Muster weitervererbt.

Die Worte der Mustersprache sind die Muster selbst, die grammatikalischen Regeln ergeben sich aus ihrer Verknüpfung und gesprochene Sätze entstehen durch die konkrete Anwendung von Mustern (vgl. Abbildung 24).

Die Mustersprache hat nicht zum Ziel, die Formulierung von Mustern zu ermöglichen, sie ist vielmehr der Zusammenhang aller Muster eines Kontextes.

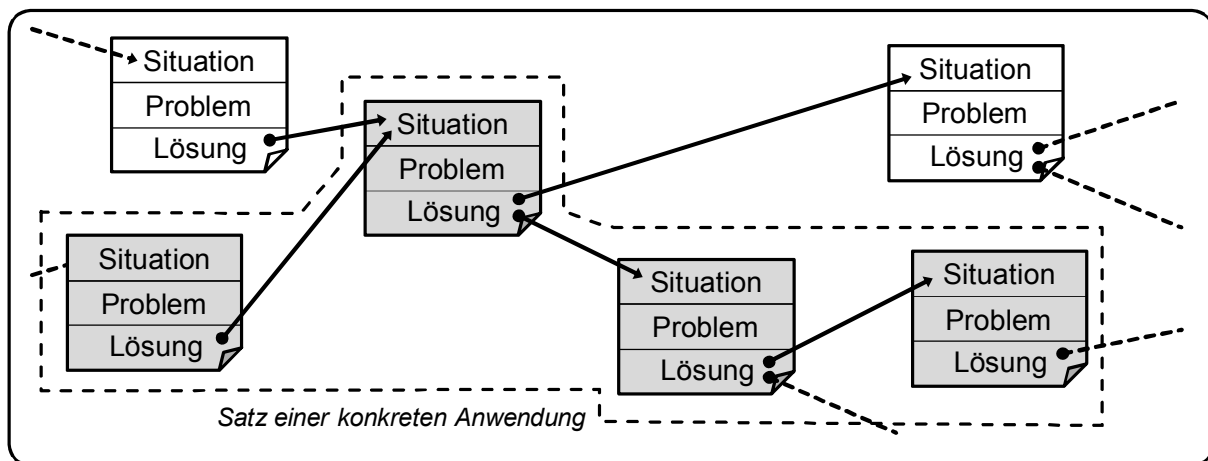


Abbildung 24: Mustersprache

6.2.2 Systematik

Die Musterphilosophie nach ALEXANDER hat physisch manifestierte Objekte, Städte und Gebäude, zum Inhalt. Der dem integrierten Produktentstehungsmodell iPeM zu Grunde liegende systemische Ansatz sieht für jedes Objekt(sub)system ein zugehöriges Ziel(sub)system vor⁴⁶². Der Weg vom Ziel zum Objekt wird durch Aktivitäten unter Einsatz von Ressourcen zurückgelegt. Wenn sich, wie in anderen Domänen erfolgreich gezeigt, aus physisch manifestierten Objektsystemen Muster zur Lösungsentwicklung ableiten lassen, müssen sich auch aus Ziel- und Aktivitätensystemen Muster ableiten lassen. In diesem Fall sind Zielsystem bzw. Aktivitätensystem das Objektsystem im Sinne einer Lösung eines entsprechenden Entwicklungsproblems. So stellen Referenzprozessmodelle als Empfehlung zur zeitlichen und inhaltlichen Kombination von Aktivitäten letztlich nichts anderes dar, als die invarianten Merkmale einer Vielzahl von erfolgreichen Anwendungsmodellen. Aus dem Referenzmodell als Lösungsbeschreibung wird durch die Ergänzung der fehlen-

⁴⁶² s.a. Abschnitt 2.2.2, S.29, Abbildung 11

den mustertypischen Strukturelemente ein Aktivitätensystemmuster, oder kurz: ein Aktivitätsmuster⁴⁶³.

Es gilt folglich für die Produktentstehung die Unterteilung in drei Arten:

- *Objektsystemmuster (Objektmuster)*: Objektmuster beschreiben die invarianten Merkmale einer Vielzahl von Problemlösungen, die sich anhand von Objekten manifestieren. Diese Objekte können physisch vorhandene Produkte, Software, Code o. ä. sein.
- *Zielsystemmuster (Zielmuster)*: Zielmuster beschreiben die invarianten Lösungsmerkmale einer Vielzahl erfolgreicher erstellter Zielsysteme. Beispielsweise können die Hauptmerkmale von Anforderungslisten nach PAHL und BEITZ⁴⁶⁴ als Zielmuster bei der Erstellung eines Zielsystems dienen.
- *Aktivitätensystemmuster (Aktivitätsmuster)*: Aktivitätsmuster beschreiben die invarianten Lösungsmerkmale bei der erfolgreichen Durchführung von Aktivitäten. Aktivitätsmuster enthalten im Lösungsteil Methoden oder Referenzprozesse. Die Betonung liegt auf dem Lösungsteil. Das Aktivitätenmuster beschreibt eben nicht nur die erfolgversprechende Vorgehensweise, sondern ergänzt diese um die Beschreibung, in welcher Situation die Methodenanwendung sinnvoll ist und welches Problem durch sie gelöst werden kann. Durch die mustermäßige Repräsentation von Methoden kann dem oben geschilderten und aus Fehlanwendungen hervorgehenden Akzeptanzproblem von Methoden in der Praxis entgegengewirkt werden.⁴⁶⁵

⁴⁶³ Zur besseren Lesbarkeit und einfacheren Anwendung werden die Begriffe durch Weglassen von „-system-“, vereinfacht.

⁴⁶⁴ vgl. Pahl & Beitz (1997), S.170

⁴⁶⁵ vgl. Abschnitt 2.2.4, S.40ff.

6.3 Aktivitäten, deren Methoden und Anforderungen

Der Einsatz von Mustern geschieht durch aktives Handeln von Anwendern. Diese im vorliegenden Abschnitt vorgestellten Aktivitäten lassen sich gezielt durch Methoden unterstützen. Ein Muster durchläuft dabei prinzipiell die drei Zustände Erzeugung, Anwendung und Verbesserung, bevor es „ausgemustert“ wird.

Um Muster anwenden zu können, müssen diese erst erzeugt werden. Ein Experte oder ein Expertenkreis muss aus seinem bzw. ihrem Erfahrungsschatz heraus potentielle Muster identifizieren, ableiten und speichern, um sie Anwendern in einer geeigneten Repräsentation zur Verfügung zu stellen. Bei der Anwendung leitet der Entwickler den Kontext, also die Situation aus der gegebenen Problemstellung ab, und wählt ein auf seine Situation zutreffendes Muster aus. Bei der Anwendung werden die Kommunikation und Dokumentation durch die in Musterform explizit gemachten Situationsanalysen, Problemeingrenzungen und ausgewählten Lösungen unterstützt. Nach der Anwendung fügt der Entwickler seine neu gewonnenen Erfahrungen dem Muster hinzu. Abbildung 25 zeigt die Zusammenhänge der Aktivitäten des Musteransatzes, wie sie in den nachfolgenden Abschnitten erläutert werden.

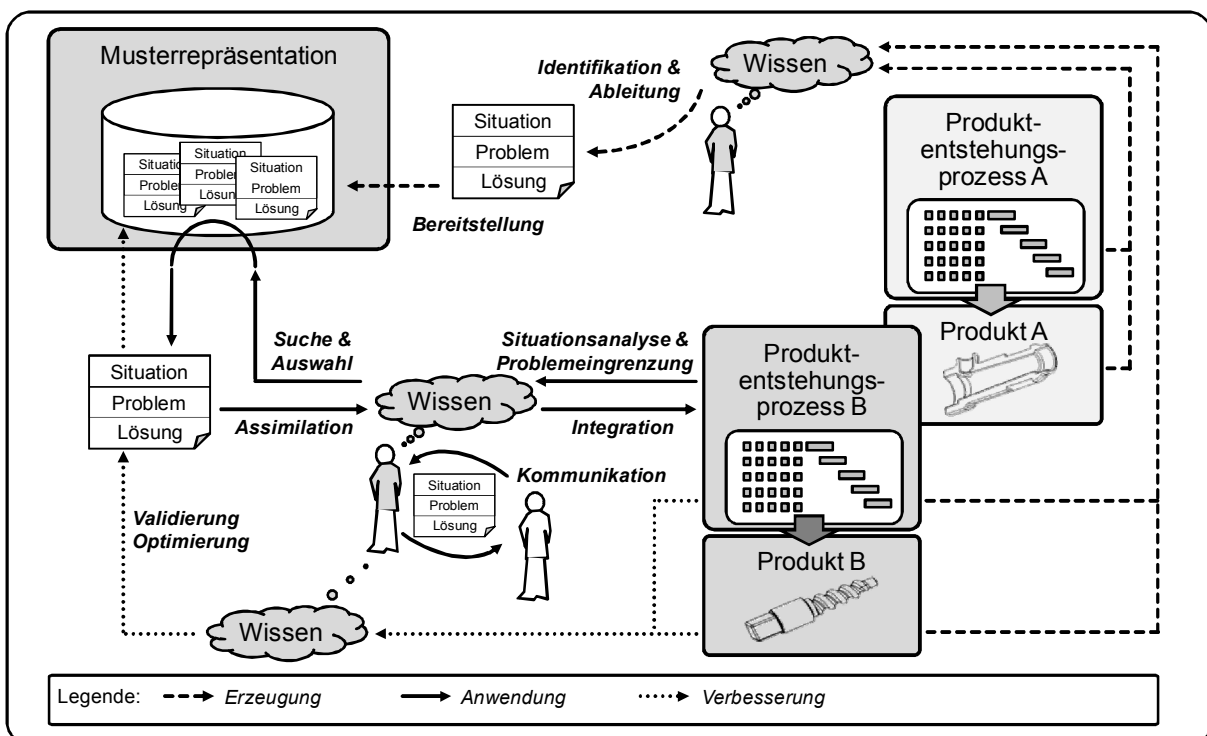


Abbildung 25: Aktivitätenmodell des Musteransatzes

Ein Experte (im Bild oben) teilt sein Wissen aus früheren Produktentstehungsprozessen, indem er Muster identifiziert, ableitet und über ein Repräsentationssystem bereitstellt. Diese Muster können nun für Problemstellungen in neuen Produktentstehungsprozessen gefunden und angewandt werden.

Quelle: Eigene Darstellung nach Albers et al. (2009b)

Das folgende fiktive Beispiel beschreibt die Zusammenhänge im Aktivitätenmodell. Der Entwickler, ein Experte, besitzt Wissen aus vorangegangenen Produktentstehungsprozessen. In den dabei gewonnenen Erfahrungen kann er ähnliche Situationen, Probleme und erfolgreiche Lösungen identifizieren. Diese ergänzt er bei der Musterableitung um weitere Aspekte. Das nun vollständige Muster kann er mittels eines geeigneten Repräsentationssystems bereitstellen. Ein Kollege ist mit der Aufgabe betraut, ein Produkt in Orientierung an einem bekannten Referenzprozessmodell weiterzuentwickeln. Er führt Situationsanalyse und Problemeingrenzung nach SPALTEN durch und möchte aufgrund des kurzfristig anstehenden Meilensteins und aufgrund eines von der Unternehmensleitung vorgezogenen Produktionsstarts bereits erprobte Lösungen verwenden. Er recherchiert im Intranet des Unternehmens in der Musterrepräsentation und wird fündig. Er liest das Muster (Assimilation) und kann über die Situations- und Problembeschreibung sowie über die Verknüpfung zum Supermuster es als für seine Problemstellung passend einordnen. Beim Lesen der untergeordneten Musters stößt er auf ein mögliches Risiko, das er bislang nicht berücksichtigt hatte. Nach kurzer Verständigung mit einem Kollegen (Kommunikation) fällt diesem schnell eine konstruktive Lösung ein, durch die sich das Risiko in früheren Konstruktionen eliminieren ließ. Der Kollege ergänzt mit wenig Aufwand die Mustersprache in der Repräsentation um das neue Muster. Während dessen integriert der Entwickler die Musterlösung in seine Konstruktion und setzt diese weiter um. Nach gelungener Konstruktion, beim Nacharbeiten und Lernen, bestätigt er die Gültigkeit des Musters (Validierung), verknüpft die vom Kollegen gefundene Lösung zur Risikoelimination mit dem ursprünglichen Muster und ergänzt es um das Beispiel der gerade abgeschlossenen Konstruktion (Optimierung).

Der Musteransatz, wie in der vorliegenden Arbeit vorgestellt, wurde während seiner Entstehung kontinuierlich weiterentwickelt und verbessert. Als praktische Anwendung und zur kontinuierlichen Verbesserung dienen die Konstruktionsaufgaben des Sonderforschungsbereichs SFB 499 „Entwicklung, Produktion und Qualitätssicherung urgeformter Mikrobauteile aus metallischen und keramischen Werkstoffen“. Die Erläuterung der Aktivitäten des Musteransatzes wird daher im vorliegenden Abschnitt durch Beispiele aus der Mikrotechnik begleitet. Die Umsetzung am Beispiel der Mikrotechnik dient dabei als erste Erprobung der Wirksamkeit der Methode.

Die den im SFB 499 zu entwickelnden Systemen zu Grunde liegende Technologie beruht auf einer Miniaturisierung bestehender makroskopischer Produktionstechnologien, wie Pulverspritzgießen und anschließendem Sintern. Vorbereitend hierzu müssen Spritzgießformen mit Kavitäten hergestellt werden, deren Strukturdetails im Bereich kleiner zehn Mikrometer liegen. Gleichzeitig treten Fertigungsabweichungen auf, die im Vergleich zu makroskopischen Bauteilen relativ größer ausfallen.

Die Zielsysteme bei der Entwicklung so zu fertigender mikromechanischer Systeme sind durch einen hohen Grad an Multidisziplinarität gekennzeichnet. Die zum Einsatz kommenden mikrospezifischen Produktionstechnologien sind gerade den Kinderschuhentwachsen; sie bringen umfangreiche Randbedingungen und Restriktionen mit sich, die bei der Konstruktion beachtet werden müssen.⁴⁶⁶ Das Risiko, in späten Phasen der Produktentstehung aufwändige Änderungen vollziehen zu müssen, ist hierdurch besonders hoch. Meilensteinüberschreitungen, Planungskonflikte für Maschinenkapazitäten und Korrekturaufwände in Konstruktion und Fertigungsvorbereitung sind einige der vorstellbaren Konsequenzen. Zur Repräsentation von Informationen aus dem SFB, insbesondere von Erfahrungswissen aus der Produktion und Fertigungsvorbereitung, wurde ein Informationssystem aufgebaut: das *Micro Book of Knowledge (MyBoK)*.

Einen Überblick über die Referenzprozesse und Methoden zur mikrospezifischen Produktentwicklung geben MARZ⁴⁶⁷, WATTY⁴⁶⁸ und ALBERS et al.⁴⁶⁹ Erste Zwischenergebnisse über den Einsatz von Mustern in der Mikrotechnik wurden von ALBERS, DEIGENDESCH und TURKI veröffentlicht.⁴⁷⁰

Im Folgenden wird das konkrete Beispiel durch ein grau hinterlegtes Feld von der allgemeinen Aktivitäten- und Methodenbeschreibung abgegrenzt.

⁴⁶⁶ vgl. Watty & Binz (2005); vgl. Albers et al. (2007a); vgl. Albers et al. (2007b)

⁴⁶⁷ vgl. Marz (2005)

⁴⁶⁸ vgl. Watty (2006)

⁴⁶⁹ vgl. Albers et al. (2005b); vgl. Albers et al. (2007a); vgl. Albers et al. (2007b)

⁴⁷⁰ vgl. Albers et al. (2009a); vgl. Albers et al. (2009b)

Beispiel Mikrotechnik: Demonstratorsysteme

Grundlage der Muster waren die Erfahrungen, die bei Neu-, Anpassungs- und Variantenkonstruktionen der in Abbildung 26 vorgestellten Demonstratorsysteme sowie der damit verbundenen Werkzeug- und Prüfstandsentwicklung gemacht wurden.

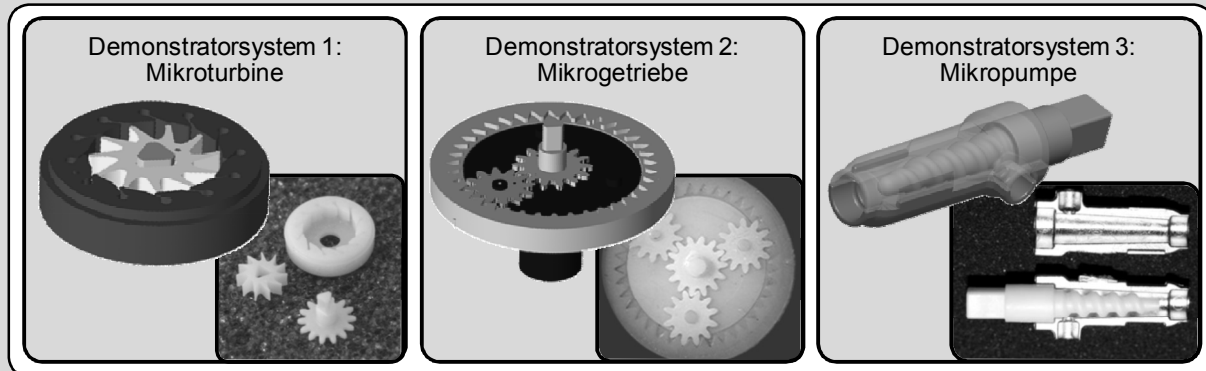


Abbildung 26: Demonstratorsysteme des Sonderforschungsbereichs 499 „Mikro-Urformen“

6.3.1 Identifikation und Ableitung

Um Muster identifizieren und ableiten zu können, wird genauere Kenntnis über Lösungen und deren Umsetzung benötigt. Wissen über die Lösung selbst, über die Gründe deren Auswahl und über Herausforderungen, Chancen und Risiken sowie die sich daraus ergebenden Konsequenzen bei der Umsetzung sind wertvolles Kapital eines Unternehmens. Erfahrene Entwickler besitzen genau dieses umfangreiche Wissen über Lösungen und deren Umsetzung. Es explizit und repräsentierbar zu machen ist der Kerninhalt der Aktivitäten zur Identifikation und Ableitung von Mustern. Damit schaffen diese Aktivitäten die Grundlage eines jeglichen Mustereinsatzes im Unternehmen. Als erster Schritt in Richtung Musteranwendung bedarf es eines methodischen Vorgehens, um effektiv und effizient Muster finden zu können.

Identifikation

Die Identifikation von Mustern entspringt bei den bekannten oben genannten Quellen dem erfahrenen Entwickler, der feststellt, dass er eine bestimmte Lösung für ein häufig auftretendes Problem anwendet. Diese spontane, zufällige Musterentdeckung ist sicherlich ein gangbarer Weg, dürfte aber für die gezielte Einführung des Musteransatzes in Unternehmen nicht effizient sein. Methoden, die die Identifikation

von Mustern zum Inhalt haben, sind bis auf wenige Ausnahmen nicht bekannt.⁴⁷¹ Die einzig bekannte methodische Vorgehensweise sieht vor, gezielt im interessierenden Bereich typische Probleme zu recherchieren und abstrakt zusammenzufassen. Durch Abstraktion der entsprechenden Lösungen werden potentielle Muster gewonnen. Diese Vorgehensweise ist prinzipiell übertragbar und durch weitere Methoden erweiterbar.

Die Identifikation als Aktivität führt zu einem *Urmuster*, einem Archetyp, bestehend aus Situation, Problem und Lösung, das bei der Musterableitung inhaltlich aufbereitet und vervollständigt wird.

Neben klassischen Methoden zur Kreativitätsförderung können zwei systematische Methoden zur Musteridentifikation angewandt werden: Umkehrung der SPALTEN-Methode sowie die Analyse bekannter (technischer) Systeme.

Identifikationsmethode: Umkehrung der SPALTEN-Methode

Produktentwicklung ist Problemlösung. Eine mögliche systematische Vorgehensweise zur Problemlösung ist SPALTEN.⁴⁷² Auch nutzt das integrierte Produktentstehungsmodell iPeM SPALTEN als Problemlösungsaktivität zur Beschreibung von Produktentstehung. Die bei der Problemlösung gemachten Erfahrungen folgen inhaltlich den definierten SPALTEN-Schritten.⁴⁷³ Die bei der Produktentstehung entwickelten Erkenntnisse lassen sich auf Basis der Aktivitätenmatrix einzelnen SPALTEN-Schritten bzw. Elementen der Aktivitätenmatrix zuordnen.

Eine nachvollziehbare Projekt-/Fortschrittsdokumentation, beispielsweise in einem konsequent vervollständigten Zielsystem, vorausgesetzt, durchschreitet die Identifikationsmethode die durchlaufenen Prozesse retrospektiv.

Bei etablierter Musteranwendung im Unternehmen findet diese Methode ihren Ausgangspunkt im Schritt *Nacharbeiten & Lernen* eines jeden Problemlöseprozesses. Die Vorgehensweise ist alternativ problem- oder lösungsorientiert. Die lösungsorientierte Vorgehensweise zeigt Abbildung 27. Ausgehend von den Ergebnissen mehrerer Problemlösungsprozesse werden ähnliche Lösungsideen gruppiert und abstrahiert (AL). Dieses Ergebnis bildet zusammen mit den gemeinsamen Merkmalen der Lösungsumsetzung (EU) die Lösungsbeschreibung des Musters. Aus den gemeinsamen Elementen von Situationsanalyse und Problemeingrenzung können Situati-

⁴⁷¹ vgl. Abschnitt 5.1.4, S.104ff.

⁴⁷² vgl. Abschnitt 2.2.1, S.32

⁴⁷³ vgl. Abschnitt 2.2.2, S.36

ons- und Problembeschreibung des Musters hergeleitet werden. Gleiches gilt für die Chancen und Risiken aus der Tragweitenanalyse. Gemeinsame Besonderheiten aus dem Schritt NL fließen je nach betroffenem SPALTEN-Schritt in das Muster ein. Die ursprünglich betrachteten Ergebnisse fließen als Beispiele in das Muster ein. Die problemorientierte Vorgehensweise untersucht und gruppiert zuerst typisch auftretende Probleme und sucht dann ähnliche Lösungen mit Erfolgspotential zur Musteridentifikation. Durch das retrospektive Nachvollziehen der SPALTEN-Schritte werden die ähnlichen Elemente identifiziert und ermöglichen die Ableitung neuer Muster.

Wurden die vorliegenden Probleme nicht mit SPALTEN gelöst bzw. entsprechend dokumentiert, bietet die vorgeschlagene Vorgehensweise eine Orientierung, nach welchen Inhalten gesucht werden muss.

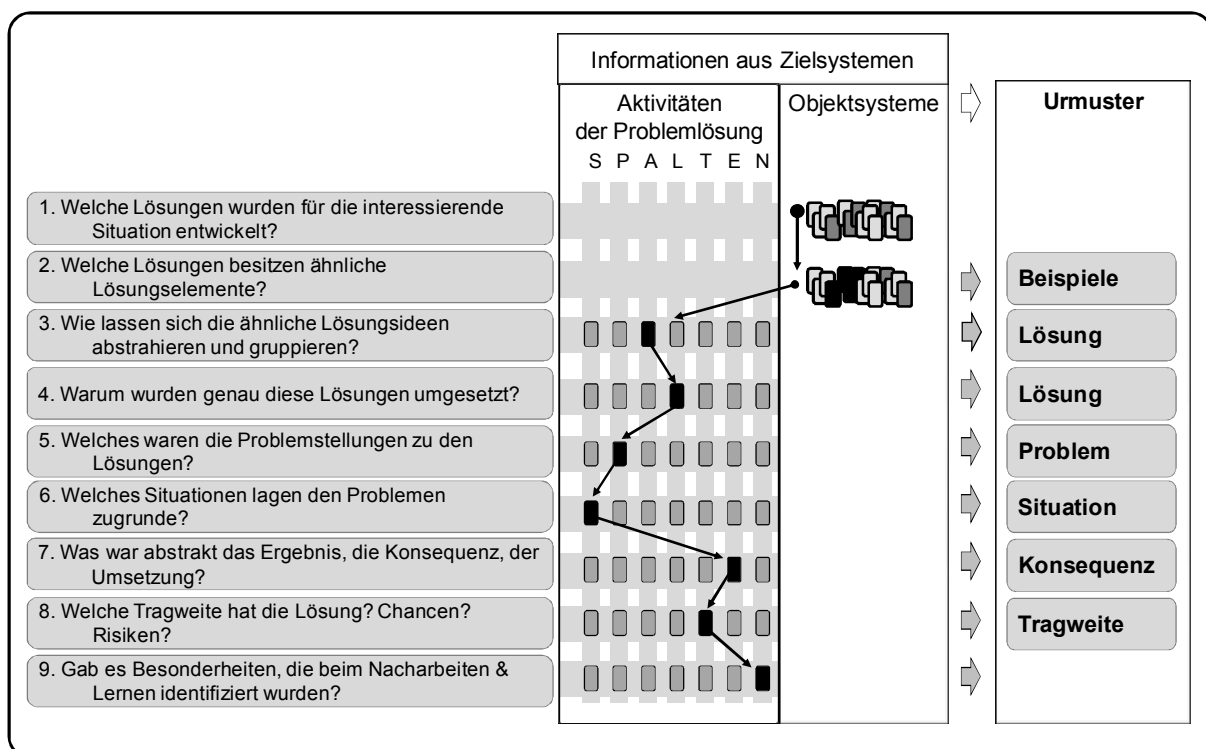


Abbildung 27: Musteridentifikation und -ableitung aus Entwicklungsaktivitäten und -ergebnissen

Aus Basis von Projektdokumentationen lassen sich frühere Problemlösungen zur Musteridentifikation und -ableitung retrospektiv durchschreiten.

Identifikationsmethode: Analyse bekannter (technischer) Systeme

Ausgangspunkt ist die Analyse der Ähnlichkeiten erfolgreicher Lösungen für ähnliche Problemstellungen. Zur Identifikation von Produktähnlichkeiten eignet sich beispiels-

weise die Ähnlichkeitsbewertung von McADAMS und WOOD.⁴⁷⁴ Allgemeiner und vielseitiger anwendbar ist eine Methode, durch die sich auf Basis einer Analyse bekannter (technischer) Systeme der Zusammenhang von Funktion und Gestalt zur Gruppierung typischer Gestaltungsprobleme (Funktionen) und Lösungen (Gestalt) herstellen lässt.⁴⁷⁵ Als Modell zur Erstellung des Zusammenhangs von Gestalt und Funktion dient das *Contact & Channel Model (C&CM)* von ALBERS.⁴⁷⁶ Im Modell wird die Gestalt durch Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen abstrahiert und aus der Verbindung mindestens zweier Wirkflächenpaare mit den entsprechenden Leitstützstrukturen eine Funktion abgeleitet.

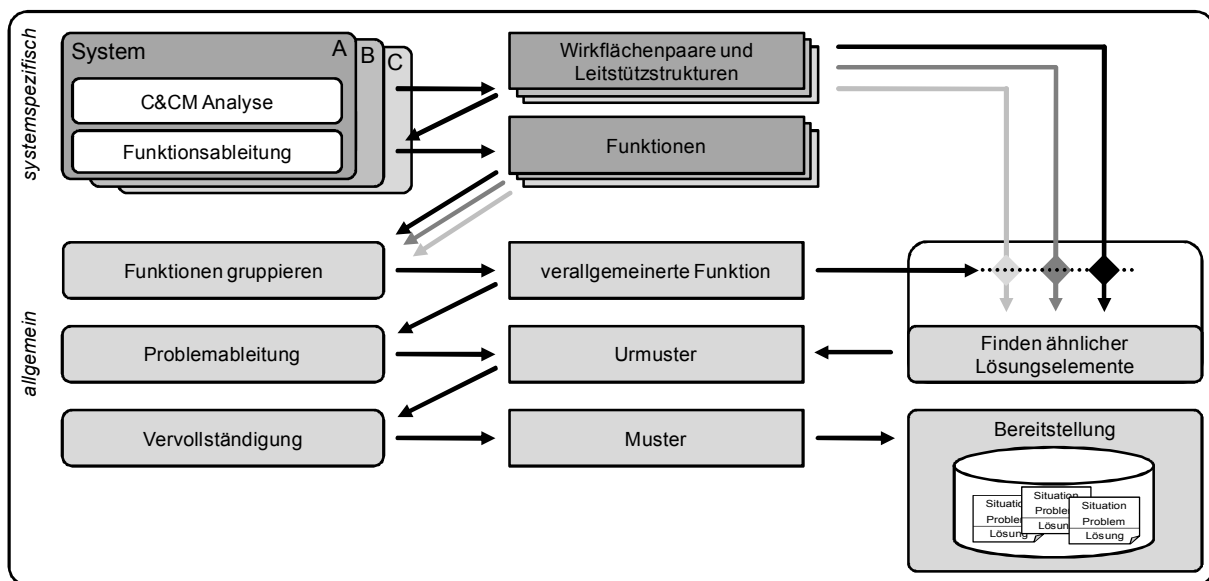


Abbildung 28: Musteridentifikation und -ableitung durch Systemanalyse mit C&CM

Mittels einer C&CM-Analyse lassen sich gemeinsame Funktionen und gestalterische Lösungen identifizieren, gruppieren und zu einem Urmuster transformieren.

Quelle: Eigene Darstellung nach Albers et al. (2009b)

Zur Musteridentifikation werden bei der Analyse bekannter (technischer) Systeme für eine ähnliche Situation bekannte Lösungen analysiert. Die ähnlichen Funktionen der Systeme werden als Problemstellung herangezogen, die entsprechenden gemeinsamen Merkmale der gestalterischen Umsetzungen als Lösungen. Hierzu werden zuerst systemspezifisch mittels C&CM Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen

⁴⁷⁴ vgl. McAdams & Wood (2002)

⁴⁷⁵ vgl. Albers et al. (2009b)

⁴⁷⁶ vgl. Albers & Matthiesen (2002); vgl. Matthiesen (2002); vgl. Albers et al. (2008c)

identifiziert und entsprechende Funktionen abgeleitet (vgl. Abbildung 28). Auf Grundlage der Gruppierung ähnlicher Funktionen wird eine verallgemeinerte Funktion abstrahiert, aus der sich das Problem ableiten lässt. Gleichzeitig werden gestalterische Lösungsansätze, also gemeinsame invariante Lösungsmerkmale für diese verallgemeinerte Funktion in den vorliegenden C&C-Modellen, gefunden. Beide ergeben zusammen mit der Situation ein Urmuster, das in der Musterableitung vervollständigt und dann zur Anwendung bereitgestellt wird.

Bei der Durchführung ist zu beachten, dass alle C&C-Modelle sowie die weiteren Bearbeitungsschritte von derselben Person bzw. Gruppe erstellt werden, um bei der Modellierung ein einheitliches Begriffsverständnis sicherzustellen.

Beispiel Mikrotechnik: Identifikation

Bei der Erzeugung der Mustersprache zur urformenden Mikrotechnik des SFB 499 kamen die hier vorgestellten Methoden zum Einsatz. Mit Brainstorming, dem Umkehren der SPALTEN-Methode und der Analyse technischer Systeme mit C&CM konnten erfolgreich eine erste Mustersprache für die urformende Mikrotechnik entwickelt werden. Beispielsweise führte die letztere Methode zur Identifikation und Ableitung des Musters *Gleitlager*, da in der für den SFB 499 definierten Situation alle bisherigen beweglichen Systeme solche aufwiesen. Die Anwendung der Methode *Umkehren von SPALTEN* führte ausgehend von den Lösungen zum Problem der Auswerfer- und Angussplatzierung zu den Mustern *Anspritzflächen* und *Auswerferflächen*.

Abbildung 29 zeigt eine Auswerfermarke, wie sie beim Entformen durch einen Auswerferstift in den ungesinterten Grünling geprägt wird. Bei der Fertigung bilden Auswerfer und Grünling ein Wirkflächenpaar. Im abgebildeten Fall ist für den Betrieb ebenfalls ein Wirkflächenpaar angedacht, das zur Erfüllung der Funktion „Lagern“ beiträgt. Die Auswerfermarke verändert die Bauteiloberfläche und kann während des Betriebs die Funktion behindern. Das Problem entsteht, wenn eine für den Betrieb relevante Wirkfläche auch während der Fertigung als Wirkfläche genutzt wird.

Abbildung 30 zeigt am Beispiel einer Anspritzfläche, die erfolgreiche Strategie, die durch die Fertigung beeinflussten Flächen von Flächen zu trennen, die im Betrieb genutzt werden. Die Lösung lautet also, fertigungsrelevante Wirkflächen von im Betrieb funktionsrelevanten Wirkflächen zu trennen.

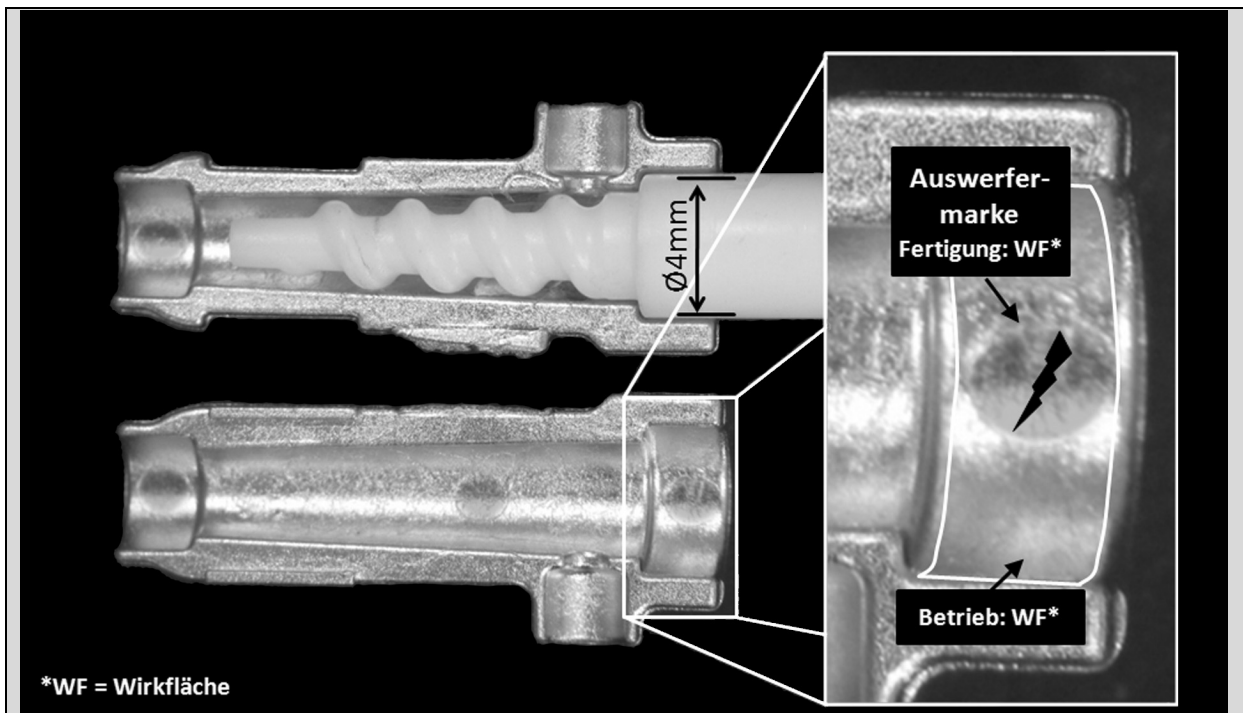


Abbildung 29: Beispiel Auswerfermarke

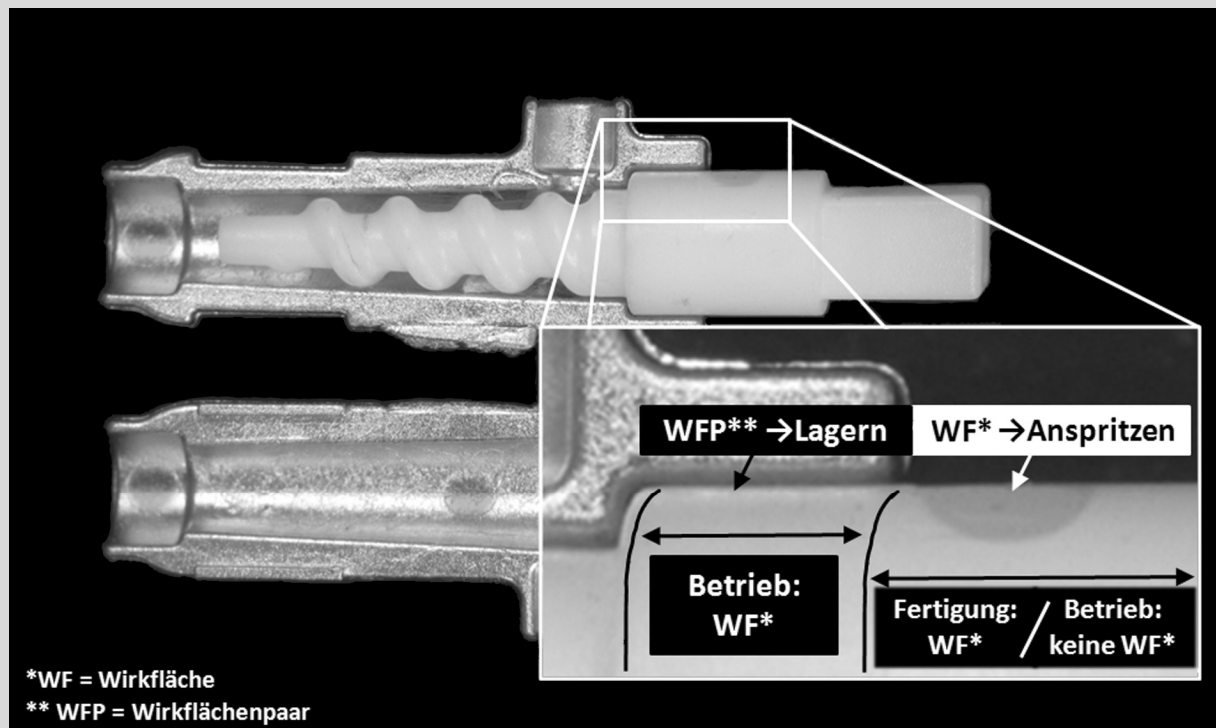


Abbildung 30: Beispiel Anspritzfläche

Ableitung

Bei der Musterableitung wird das identifizierte Urmuster inhaltlich ausgearbeitet, vervollständigt und ausformuliert, sodass es zur Anwendung bereitgestellt werden kann. Die Anforderungen, wie ein Muster aufzubauen und zu formulieren ist, wurden für verschiedene Domänen bereits skizziert.⁴⁷⁷ Diese lassen sich in weiten Teilen auf den Musteransatz für die Produktentwicklung übertragen. Eine entsprechende Berücksichtigung der folgenden Aspekte ist bei der Musterableitung hilfreich:

- *Vollständigkeit*: Definierte Pflichtelemente müssen vollständig ausgefüllt sein. Dies sind mindestens Name, Situation, Problem, Lösung, Konsequenz und Bearbeiter.
- *Problemursachen*: Die Hauptzwänge und Randbedingungen, die das Problem ausmachen, müssen nachvollziehbar sein.
- *Verständlichkeit*: Die Aufnahme der Musterinformation wird durch treffende Benennung, Betonung relevanter Kerninhalte (Situation, Problem, Lösung) gegenüber weniger wichtigen Zusatzinformationen sowie durch eine klare Strukturierung bei der Musterrepräsentation erleichtert. Als treffende Namen bieten sich Benennungen des Ergebnisses der Musteranwendung oder metaphorische Namen an. Die Zielgruppe, deren Kenntnisse und Fähigkeiten müssen bei der Beschreibung berücksichtigt werden.
- *Einbindung in eine Mustersprache*: Das Muster weist Verknüpfung von Super- und Submustern in der Situations- bzw. Lösungsdarstellung auf. Die Verweise auf andere Muster sind entsprechend betont darzustellen. Die Nennung des treffenden Namens erleichtert das Verständnis, was dieses Muster charakterisiert.

⁴⁷⁷ vgl. Meszaros & Doble (1998); vgl. Salustri (2005)

Beispiel Mikrotechnik: Ableitung

Nach der Identifikation des Urmusters bei den Anspritzflächen, werden bei der Musterableitung die ergänzenden Informationen erarbeitet und das Muster durch die Einbindung in die Mustersprache vollendet.

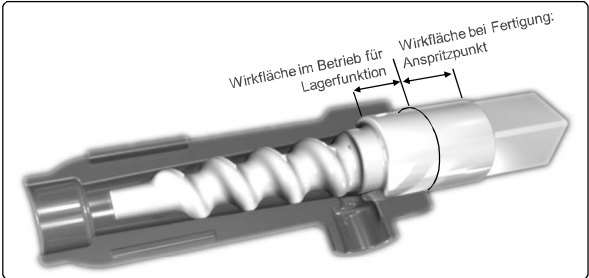
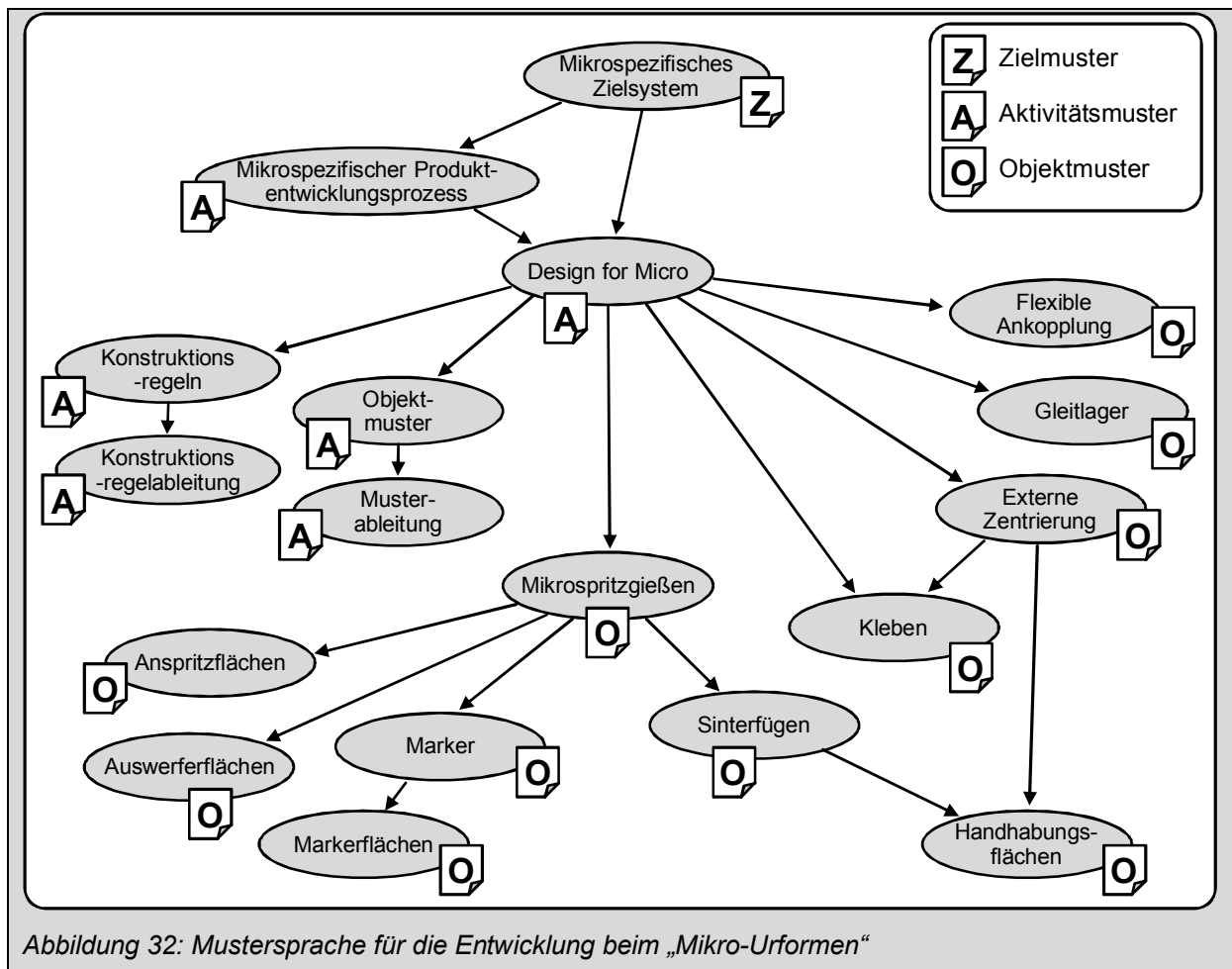
Name	Anspritzflächen
Situation	Mikrobauteile werden durch <u>Spritzgießen</u> hergestellt.
Problem	Beim Spritzgießprozess wird die Formmasse in die Kavität gepresst. Nach Erkalten und Erstarren der Formmasse wird das Bauteil entformt und vereinzelt. Dabei wird der noch mit dem Bauteil verbundene Angusskanal gewaltsam vom Bauteil getrennt. Die Geometrie der Trennstelle ist nicht eindeutig definiert und im Betrieb unter Umständen als funktionsrelevante Wirkfläche ungeeignet.
Lösung	Trennung von funktionsrelevanten Flächen während des Betriebs von Anspritzflächen (Wirkflächen während der Fertigung).
Tragweite	Chancen: keine Funktionseinschränkung im Betrieb durch Anspritzpunkte Risiken: zusätzliche Flächen (Fertigungswirkflächen), reduziertes Miniaturisierungspotential
Konsequenz	Bauteil mit definierten Wirkflächen für den Betrieb und separaten Wirkflächen für die Produktion (Anspritzpunkte)
Beispiel	<p>Der Anspritzpunkt wurde bei der Schnecke als separate Wirkfläche gestaltet. Die Wirkfläche für das Gleitlager bleibt unberührt. Erkennbar ist auch der notwendige zusätzliche Bauraum.</p> 

Abbildung 31: Beispielmuster: Anspritzflächen (Auszug)

Das vollständige Muster ist in Anhang 5, S.193 dargestellt.

Nach der Musterableitung folgt die Integration des Musters in die Mustersprache (vgl. Abbildung 32). Hierzu werden Supermuster (im vorliegenden Beispiel: Spritzgießen) mit der Situationsbeschreibung und Submuster mit der Lösungsbeschreibung verknüpft.



6.3.2 Bereitstellung

Die Bereitstellung von Mustern bzw. Mustersprachen erfordert eine geeignete Repräsentationsform, die sich in die unternehmenseigenen Prozesse leicht eingliedern lässt. Da diese stark unterschiedlich sind, vor allem aber da die unterstützende Informationstechnologie einem steten und schnellen Wandel unterliegt, werden an dieser Stelle keine konkreten Empfehlungen für Software-Tools o.ä. gemacht. Stattdessen bleibt es bei der Formulierung eines Zielsystems, das eine geeignete Repräsentationsform erfüllen muss:

- **Interoperabilität:** Die Repräsentation sollte sich möglichst effizient in bestehende Unternehmensprozesse und Werkzeuge einbinden lassen, um dem Anwender möglichst ohne zusätzlichen Aufwand zur Verfügung zu stehen.
- **Mehrbenutzerfähigkeit:** Zentrale Aufgabe der Musterrepräsentation ist es, Informationen über erfahrungsgemäß erfolgversprechende Lösungen bereitzustellen. Ein Einsatz im Unternehmen ergibt nur dann Sinn, wenn mehr als eine Quelle und mehr als ein Abnehmer von Informationen die Repräsentation nut-

zen. Eine notwendige Eigenschaft ist daher eine Mehrbenutzerfähigkeit. Idealerweise blockiert die Bearbeitung eines Themas nicht die Nutzung oder Bearbeitung eines anderen Aspekts.

- *Verfügbarkeit:* Die Repräsentation muss sich in Unternehmensprozesse einbinden lassen. Da der überwiegende Teil an Ideen außerhalb des Unternehmens entsteht, kann idealerweise raum- und zeitunabhängig auf eine solche Repräsentation zugegriffen werden. Dies kann mit der Notwendigkeit für die Vergabe von Zugriffsberechtigungen einhergehen.
- *Erweiterbarkeit:* Muster entstehen aus der Erfahrung und entwickeln sich mit dieser weiter. Eine Repräsentation muss die notwendige Anpassbarkeit für eine kontinuierliche Verbesserung erlauben. Auch hier kann eine Vergabe von Zugriffsberechtigungen notwendig sein.
- *Sicherheit:* Muster repräsentieren die Erfahrungen eines Unternehmens und sind dessen Kapital im Wissenszeitalter. Entsprechende Zugriffsbeschränkungen müssen bedacht werden. Die für alle Berechtigten möglichst einfache Zugänglichkeit der Repräsentation erfordert Maßnahmen zum Schutz vor Datenverlust durch geeignete systemspezifische Datensicherungsstrategien.
- *Suchfunktion:* Die Musterrepräsentation unterstützt den Anwender durch eine oder mehrere geeignete Suchfunktionen.
- *Klare Strukturierung der Musterdarstellung:* Idealerweise besitzt die Repräsentationsform Vorlagen, die dem Mustererzeuger die Strukturierung des Musters vorwegnehmen. Damit wird sichergestellt, dass keines der Elemente vergessen wird. Gleichzeitig hilft die Vorgabe dem Ersteller, sein eigenes Wissen zu strukturieren, um es leichter explizit zu machen.
- *Übersicht:* Ein Katalog der Muster und eine kurze Darstellung ihrer Zielsetzungen schafft bei umfangreichen Sprachen Überblick und erleichtert die Suche.
- *Verknüpfungen:* Muster ordnen sich in eine Mustersprache ein, d.h. sie besitzen Verknüpfungen zu Super- und Submustern sowie ggf. ergänzend zu verwandten Mustern. Die Repräsentation ermöglicht eine einfache Navigation durch die Sprache.
- Die Repräsentation berücksichtigt Ziele und Anforderungen aus allen Aktivitäten, d.h. aus Erzeugungs-, Anwendungs- und Verbesserungsaktivitäten.

Ein solches System ist heutzutage ohne Rechnerunterstützung nicht mehr denkbar. Mit der Entwicklung solcher Systeme zur computer-vermittelten Kommunikation und Gruppenarbeit (*Computer-Supported Cooperative Work, CSCW*) beschäftigen sich in

erster Linie Organisations- und Sozialwissenschaftler sowie Informatiker. Der Stand der Technik ist in der einschlägigen Literatur wiedergegeben und wird an dieser Stelle nicht näher beleuchtet.⁴⁷⁸

Neben der informationstechnischen Komponente zeigt die Erfahrung, dass die Bestimmung eines „Gärtners“ sinnvoll sein kann.⁴⁷⁹ Dessen Aufgabe ist das Pflegen der Repräsentation, d.h. die Strukturierung und Fehlerkorrektur der Inhalte.

Die Struktur lässt sich verbessern durch:⁴⁸⁰

- sinnvolle Seitenverknüpfungen
- Verknüpfung in Zusammenhang stehender Inhalte
- Übersichtsseiten
- Wiederherstellung verlorener Inhalte
- Erstellung und Erhaltung alternativer Inhaltszugänge

⁴⁷⁸ vgl. Gross & Koch (2007); vgl. Schwabe et al. (2001); vgl. Boos et al. (2000)

⁴⁷⁹ vgl. Meboldt (2008), S.219

⁴⁸⁰ vgl. Leuf & Cunningham (2001), S.334

Beispiel Mikrotechnik: Bereitstellung

Als Repräsentationssystem zur Bereitstellung der Muster wurde das SFB-eigene Informationssystem *MyBoK* genutzt. Dabei handelt es sich um ein Wiki-System, das auf der Wiki-Engine *dokuwiki* aufsetzt.⁴⁸¹ Ein Wiki-System ist ein Content Management System, das sich aufgrund seiner Eigenschaften für die Kooperation und Dokumentation in Entwicklungsprojekten⁴⁸² eignet. Zudem wurde speziell für die Repräsentation von Software-Entwurfsmustern das erste Wiki-System entwickelt.⁴⁸³

MyBoK wird auf einem Web-Server betrieben und ist aus dem World Wide Web erreichbar. Das Wiki-System besitzt eine Struktur mit Namensräumen (*namespaces*) und Seiten (*pages*) ähnlich einem Dateisystem mit Ordnern und Dateien. Zugriffsrechte für einzelne Benutzer und Gruppen können für Seiten und Namensräume gesetzt werden. Mittels einfachster Syntax und Werkzeugleisten können Seiten erstellt, editiert oder geändert und untereinander verknüpft werden. Bilder und Dateien können hochgeladen und bereitgestellt werden. Alte Stände werden gespeichert und bei Bedarf wieder hergestellt. Überschriften strukturieren die Seiteninhalte und erlauben eine automatische Erstellung einer Inhaltsübersicht. Benutzer können einzelne Inhalte abonnieren, d.h. sie erhalten bei Änderungen eine Email-Benachrichtigung. Damit muss sich der Anwender relevante Statusänderungen nicht erst beschaffen, sondern bekommt sie geliefert (*pull vs. push-communication*). Abbildung 33 zeigt die Grundfunktionen des Wiki-Systems.

Durch die einfache Bedienbarkeit des Wiki-Systems wird das Teilen von Erfahrungswissen nicht zusätzlich erschwert. Mittels einer Standardvorlage mit dem Musterformat kann der Nutzer sofort sein Wissen nach Situation, Problem, Lösung usw. strukturieren und explizit machen.

⁴⁸¹ vgl. @DokuWiki; vgl. Albers et al. (2009a); vgl. Albers et al. (2009b)

⁴⁸² vgl. Albers et al. (2007c); vgl. Weerasinghe & Salustri (2007); vgl. Walthall et al. (2009)

⁴⁸³ vgl. Leuf & Cunningham (2001), S.15

Beispiel Mikrotechnik: Wiki-System

The screenshot displays the MyBoK (Micro Book of Knowledge) interface. At the top, there is a navigation bar with the page name '[[public:mybok]]', the title 'SFB499 MYBoK - MICRO BOOK OF KNOWLEDGE', and a search function. Below the navigation bar, there is a sidebar on the left containing a tree view of the site structure, including folders like 'arbeitskreise', 'demonstratoren', 'dimensionierung', 'fertigungsverfahren', 'konstruktion', 'playground', 'public', 'werkstoffe', 'wiki', 'zim', 'hilfe', and 'mybok'. The main content area features a header image with the word 'PROJEKT', followed by the title 'MyBoK' and a brief description of the system. Below this, there are sections for 'Der SFB 499 "Mikro-Urformen"' and 'Unser Internetauftritt', each with a 'Bearbeiten' button. At the bottom, there is a footer with user information and a 'Nach oben' button. Annotations in the diagram point to various elements: 'Seitenname' points to the page title; 'Chronik' points to the 'Zuletzt angesehen' section; 'Suchfunktion' points to the search bar; 'Seiten-Inhalt' points to the main content area; 'Namensraum' points to the 'public' folder in the sidebar; 'Seite' points to the 'mybok' folder; 'Wiki-Inhaltsübersicht' points to the sidebar tree; 'Seite bearbeiten' points to the 'Diese Seite bearbeiten' button; 'Ältere Version öffnen' points to the 'Ältere Versionen' button; 'Metadaten' points to the 'publomybok.txt' metadata line; 'Abo-Funktion' points to the 'Änderungen abonnieren' button; and 'Abschnitt bearbeiten' points to the 'Bearbeiten' button for the main content.

Abbildung 33: Informationssystem MyBoK – Micro Book of Knowledge

6.3.3 Situationsanalyse und Problemeingrenzung

Das Wissen um das Bestehen eines Problems in einer Situation ist die Grundlage, um geeignete Maßnahmen, wie den Einsatz von Mustern, ableiten und einsetzbare Muster auswählen zu können. Dieses Wissen eignet sich der Anwender bei der methodischen Vorgehensweise in der Produktentwicklung an, wie es das integrierte Produktentstehungsmodell zu modellieren erlaubt. Die Aktivitäten der Situationsanalyse und Problemeingrenzung stellen somit Informationen aus der aktuellen Problemlöseaktivität bei der Produktentwicklung bereit.

Situationsanalyse

Ziel der Situationsanalyse in der SPALTEN-Methode ist die Unterstützung der Situationserkennung und -aufklärung, die Auswertung der Informationsbasis, das Aufzeigen von Informationsdefiziten, das Erkennen und Verstehen der Problemstellung, die

Identifizierung des Problemkerns sowie die Ableitung geeigneter Handlungen für die weitere Vorgehensweise.⁴⁸⁴

Folgende Auswahl an Methoden ist zur Situationsanalyse einsetzbar:⁴⁸⁵

- Checklisten (Brisanz, Bedeutung, Bewegung)
- Recherchierende Methoden
- Zustandsbeschreibung
- Analyse, Aufklärung und Beurteilung der Situation mittels verschiedener An-sichts-/Einflussebenen

Problemeingrenzung

Ziel der Problemeingrenzung ist es, aus der Fülle von Informationen, die während der Situationsanalyse erfasst wurden, die relevanten herauszufiltern deren Einfluss auf die Problemursache bzw. -wirkung zu erkennen. Als Vorgehensweise ist vorgesehen, bestehende Informationen zu analysieren, Abweichungen zu erkennen, diese zu beschreiben und abzugrenzen. Bei der Hypothesenbildung werden Ursachen für die Abweichungen erkannt und daraufhin nach Eintrittswahrscheinlichkeit bewertet. Die Ursachen werden abschließend beurteilt und eine Vorgehensweise zur Problembehandlung festgelegt.⁴⁸⁶

Folgende Auswahl an Methoden ist zur Problemeingrenzung einsetzbar:⁴⁸⁷

- Soll-Ist-Vergleich
- Warum-Analyse
- Hypothesenliste
- Ist-Ist-Nicht-Analyse

⁴⁸⁴ vgl. Saak (2006), S.107f.

⁴⁸⁵ vgl. Albers (2009), Modul K.2.4.4.3.6.4 SPALTEN SA Situationsanalyse Geeignete Methoden

⁴⁸⁶ vgl. Albers (2009), Modul K.2.4.4.3.7.1 SPALTEN PE Problemeingrenzung Einführung;
vgl. Saak (2006), S.121ff.

⁴⁸⁷ vgl. Albers (2009), Modul K.2.4.4.3.7.4 SPALTEN PE Problemeingrenzung Geeignete Methoden

Beispiel Mikrotechnik: Situationsanalyse und Problemeingrenzung

Der Entwickler führt die Schritte Situationsanalyse und Problemeingrenzung gemäß des Problemlösungsprozesses SPALTEN durch. Es zeigt sich, dass das zu entwickelnde mikrotechnische System urformend mittels Spritzgießen herstellbar ist. Über das Wiki-System MyBoK sucht er weitere Informationen.

6.3.4 Suche und Auswahl

Hat der Anwender die Situation erfasst, das Problem identifiziert und sich entschieden, in den vorhandenen Mustern nach einer Lösung zu suchen, greift er auf die Musterrepräsentation zu. Die anwendbaren Suchstrategien hängen in großem Maße von den Möglichkeiten des genutzten Repräsentationssystems ab. Charakteristisch für Suchprobleme ist die Suche nach Strukturen, die sich in ihren Merkmalen gleich oder ähnlich sind.⁴⁸⁸ Wissen entsteht aus der subjektiven Interpretation des Individuums. Der Experte, der das Muster erzeugt, nutzt beim Externalisieren unter Umständen einen bestimmten Wortschatz. Beschreibt der Anwender die vorliegende Situation oder das Problem in anderen Worten, führen Suchstrategien über Volltext nicht zum Erfolg. Semantische Technologien bieten hier Chancen, jedoch gleichzeitig auch das Risiko der mangelhaften Integrationsfähigkeit in Unternehmensprozesse. Semantische Technologien sind für den praktischen Einsatz in der Produktentwicklung bislang ungeeignet, da diese auf Ontologien basieren, deren Erstellung Spezialwissen erfordert und üblicherweise Produktentwickler nicht die Kompetenz oder die Motivation zur Ontologieentwicklung mitbringen.⁴⁸⁹

Wie in der Beschreibung der Aktivitäten „Ableitung“ und „Bereitstellung“ dargestellt, eröffnen sich drei einfach umsetzbare Wege, Inhalte durch eine geeignete Gestaltung von Muster und Musterrepräsentation auffindbar zu machen.

- *Treffender Name*: Eine sinnträchtige Benennung der Muster sowie die zusätzliche Nennung von Aliassen ermöglicht es dem Anwender, den Kern des Musters schnell und einfach zu verstehen, wenn dieses in Listen, Inhaltsverzeichnissen, bei Suchergebnissen o.ä. aufgeführt wird.

⁴⁸⁸ vgl. Schlicksupp (1977), S.60ff.

⁴⁸⁹ vgl. Feldhusen et al. (2006)

- *Musterkatalog*: Ein Musterkatalog listet die Muster mit einer kurzen Darstellung des Kerns des Musters. Dieser dürfte für einen definierten Kontext übersichtlich sein, sodass der Anwender über den Katalog zugreifen kann.
- *Verknüpfungen*: Trifft der Anwender bei der Suche nicht das passende Muster, gelingt es ihm über die Verknüpfungen zu Super- und Submustern schnell, die Muster und die diesen zugrunde liegenden Situationen zu erfassen. Die Mustersprache leitet den Anwender somit zu der benötigten Problemlösung.

Beispiel Mikrotechnik: Suche

Das Wiki-System *MyBoK* erlaubt unterschiedliche Suchstrategien: (1) Volltextsuche in allen Inhalten, (2) Autovervollständigung, sofern ein Seitename den Suchbegriff enthält und (3) Navigation durch Übersichtsseiten (vgl. Abbildung 34), Inhaltsverzeichnisse und Verknüpfungen. Dies ermöglicht dem Anwender die Nutzung unterschiedlicher Suchwege. Anfänger suchen aus dem Musterkatalog das höchste Muster, also das Muster ohne Supermuster, und erlangen schrittweise zunehmend detaillierte Kenntnis über die Zusammenhänge in der Metersprache. Für die Konstruktion kann durch Schlagwortsuche, mittels Inhaltsverzeichnis oder Musterkatalog ein geeignetes Muster gefunden und angewandt werden.

The screenshot shows the search results for 'spritzgiessen' in the MyBoK system. The interface includes a search bar with the input 'spritzg', a search button, and a list of 'Passende Seitennamen' (relevant page names) such as '2_komp_pulverspritzguss' and 'niederdruckspritzgiessen'. The search results section displays 'Ergebnisse' (results) with 'Passende Seitennamen' and 'Treffer im Volltext' (full-text hits). Annotations with arrows point to various elements: 'Suchbegriff' (search term), 'Gefundene Seitennamen' (found page names), 'Suchergebnisse' (search results), 'Treffer in Seitennamen' (hits in page names), 'Treffer im Volltext' (hits in full text), and 'Wiki-Inhaltsübersicht' (wiki content overview).

Abbildung 34: Suchfunktionalitäten im Wiki-System

6.3.5 Assimilation

Im Sinne der Schematheorie⁴⁹⁰ meint Assimilation die Zuordnung einer wahrgenommenen Situation zu einem subjektiven Schema. Im speziellen Sinn des Musteransatzes bedeutet Assimilation die Aufnahme der durch das Muster repräsentierten Information durch den Anwender. Aus dem expliziten Muster wird eine implizite Vorstellung beim Anwender erzeugt. Einem Schema gleich, bietet das Muster invariante Elemente, Kategorien an und erlaubt es gleichzeitig, die abstrakte allgemeine Lösung passend zur vorliegenden Problemstellung kreativ zu erweitern und zu konkretisieren (vgl. Abbildung 35).⁴⁹¹ Im Sinne des kognitiven Kreativitätsmodells (FINKES Geneplore-Modell⁴⁹²) hilft das Muster, eine präinventive Form zu erzeugen und unterstützt bei der Exploration durch die Bereitstellung von Informationen über Randbedingungen von Situation, Problem, Lösung, Konsequenz und Tragweite.

Das Muster unterstützt durch sein Format eine effiziente Informationsaufnahme. Relevante Kerninhalte sind typografisch betont dargestellt. Mittels der durchgängig gleichbleibenden Strukturierung des Musters mit Name, Situation, Problem, Lösung usw. kann der Anwender schnell identifizieren, ob das Muster für seine Situation relevant ist. Durch die Verknüpfung übergeordneter Supermuster erhält der Anwender eine Vorstellung, wie sich die vorgeschlagene Lösung in das Umfeld der Situation und die Problemursachen einordnet.

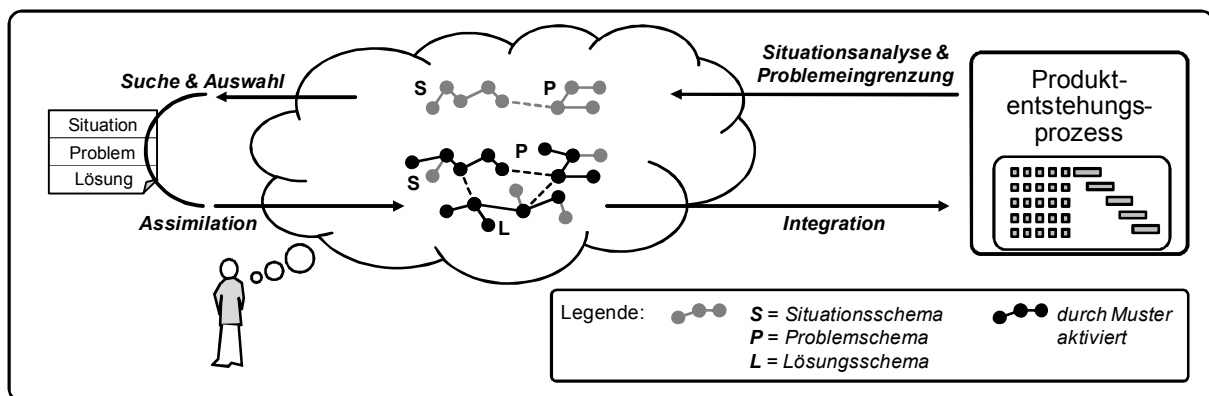


Abbildung 35: Assimilation beim Anwender

Der Anwender instanziiert bei der Situationsanalyse und Problemeingrenzung ein Schema. Durch das Muster kann er ein Schema assimilieren und anhand der vorliegenden Randbedingungen instanziiieren.

⁴⁹⁰ vgl. Abschnitt 2.3.8, S.70ff.; vgl. Abschnitt 5.1.3, S.103ff.

⁴⁹¹ vgl. Kohls & Scheiter (2008)

⁴⁹² vgl. Abschnitt 2.3.6, S.62ff.

Beispiel Mikrotechnik: Assimilation

Der Entwickler nimmt die im Beispielmuster dargestellten Informationen auf. Dabei aktiviert und instanziiert er vorhandene Schemata und ergänzt diese durch weitere Informationen, die aus dem Muster oder weiteren verknüpften Schemata stammen können. Sein möglicherweise aktiviertes Schema „Entwurf einer mikro-urgedformten Welle“ könnte zum Zeitpunkt der Musteraufnahme die möglichen Platzhalter „Wirkflächenpaar Antrieb“, „Wirkflächenpaar Abtrieb“, „Leitstützstruktur Übertragung“, „Lagerung“ und „Fertigungsrestriktionen“ beinhalten, die dann spezifisch aus Randbedingungen des Zielsystems und/oder individueller Erfahrung instanziiert werden:

Wirkflächenpaar Antrieb → quadratische Polygonwellenverbindung

Wirkflächenpaar Abtrieb → Schneckenoberfläche fördert Flüssigkeit

Leitstützstruktur Übertragung → Keramikstruktur

Lagerung → Gleitlager

Fertigungsrestriktionen → notwendige Anspritzpunkte beachten

Jede Instanziierung der Platzhalter kann wiederum durch Schemata erfolgen. So könnte das o.g. Gleitlager ein Schema mit den Platzhaltern „Lagergeometrie“, „Oberflächenbeschaffenheit“, „Schmierstoff“, „Drehzahl“ und „Last“ sein.

6.3.6 Kommunikation

Umfangreiche Problemlösungsprozesse und Produktentwicklung werden, wie in der SPALTEN-Methoden bzw. dem integrierten Produktentstehungsmodell iPeM skizziert, immer von einer Gruppe bzw. einem Team von mehreren interagierenden Personen durchgeführt. Entwickler beziehen sich in ihren Erklärungen häufig auf bereits bekannte Lösungselemente. Als schwierig erweist sich dabei jedoch ein durch individuelle Interpretationen hervorgerufenen unterschiedliches Verständnis.⁴⁹³ Wissen wird aus Informationen subjektiv konstruiert und ist intrapersonell verankert. Beim Austausch mit Kommunikationspartnern muss das vorhandene Wissen, die durch die Botschaft zu vermittelnde Vorstellung, durch den Sender explizit gemacht und nach einer vereinbarten Konvention kodiert werden. Nach der Übertragung wird die Botschaft vom Empfänger dekodiert und eine subjektive Vorstellung entwickelt. Eine

⁴⁹³ vgl. Eckert et al. (2003)

Feedback-Schleife bestätigt den Empfang der Mitteilung (vgl. Abbildung 36). Der Kommunikationsprozess kann durch drei Effekte gestört werden. (1) Sender und Empfänger benutzen nicht denselben Code, sodass die Vorstellungen der beiden nicht gleich sind (semantische Lücke). (2) Die Rückmeldung über die empfangene Mitteilung ist unzureichend. (3) Der Sender oder der Empfänger stehen aus subjektiven Gründen der vermittelten Vorstellung negativ gegenüber, was aus subjektiven Erlebnissen, entsprechenden Empfindungen oder interpersonalen Diskrepanzen folgen kann. Die beiden letzten Punkte lassen sich nur auf psychologischer Ebene lösen. Die Kodierungsproblematik ist daher der Ansatzpunkt zur Kommunikationsverbesserung.⁴⁹⁴

Die Anwendung von Mustern und Mustersprachen leistet einen Beitrag, die semantische Lücke zu schließen. Sie liefert eine Konvention mit definierten Begrifflichkeiten. Bereits mit der Nennung des Musternamens kann der Empfänger eine Vorstellung entwickeln, welche Situation, welches Problem oder welche Lösung der Sender adressiert.

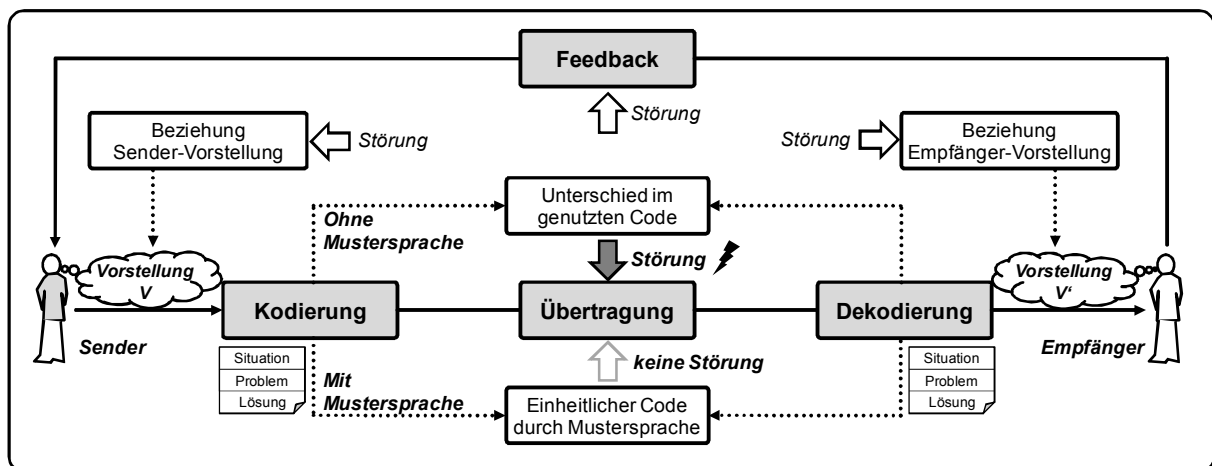


Abbildung 36: Muster im Kommunikationsprozess

Eine mögliche Störstelle im Kommunikationsprozess liegt in der Diskrepanz der genutzten Codes von Sender und Empfänger, was zu einer Abweichung der jeweiligen Vorstellung führt. Muster stellen einen Code bereit, auf den sich beide Anwender verständigt haben und auf dessen Basis kodiert und dekodiert wird. Sender und Empfänger erlangen eine gemeinsame Vorstellung.

Quelle: Eigene Darstellung; Kommunikationsmodell nach Peters (2004), S.16f.

⁴⁹⁴ vgl. Peters (2004), S.14ff.

Beispiel Mikrotechnik: Kommunikation

Die in den Mustern festgeschriebenen Begriffe führen bei ihrer Nennung zu einer gemeinsamen Vorstellung bezüglich des diskutierten Sachverhalts. Die Begriffe „Auswerfermarke“ oder „Anspritzpunkt“ verbinden sowohl Sender wie auch Empfänger, die mit den entsprechenden Mustern arbeiten, mit denselben Inhalten, invarianten Merkmalen und Beispielen.

6.3.7 Integration

Bei der Integrationsaktivität entwickelt der Anwender aus der im Muster formulierten Lösung eine zum vorliegenden Problem passende Lösung. Dabei konkretisiert er die invarianten Merkmale der Musterlösung und erweitert sie bezüglich des für den konkreten Fall definierten Zielsystems.

Die Aktivitäten der Problemlösung werden im integrierten Produktentstehungsmodell iPeM durch die Problemlösungsmethode SPALTEN abgebildet.⁴⁹⁵

Abbildung 37 zeigt die Integration von Mustern in die SPALTEN-Methode und damit in das integrierte Produktentstehungsmodell iPeM. Zur Integration sind dabei zwei Wege denkbar. Zum einen lassen sich Muster wie eine von vielen Methoden innerhalb des Schrittes AL anwenden. Zum anderen besitzen Muster das Potential, die Schritte AL, LA und TA zu verkürzen. Bei dieser Vorgehensweise werden zuerst Situationsanalyse und Problemeingrenzung durchgeführt. Auf Grundlage der erarbeiteten Informationen wählt der Anwender eine für die Situation passende Mustersprache und sucht ein geeignetes Muster aus. Dabei muss der Anwender abgleichen, inwiefern die im Muster abgebildeten Problemmerkmale den tatsächlich vorliegenden entsprechen. Liegt diese Entsprechung vor, werden die Lösungsmerkmale passend zu den Randbedingungen des vorliegenden Problems konkretisiert, hinsichtlich der spezifischen Situation bewertet und integriert. Auch wenn Chancen und Risiken für die im Muster empfohlene Lösung ebenfalls im Muster dokumentiert sind, ist die Durchführung einer Tragweitenanalyse unerlässlich, um in erster Linie Risiken, die im konkreten Fall, nicht jedoch im abstrakten verallgemeinerten Muster vorliegen, zu begegnen. Es folgen die weiteren Schritte der SPALTEN-Methode. Die konkreten Ergebnisse der Lösungsumsetzung werden im abschließenden Schritt des Nachar-

⁴⁹⁵ vgl. Albers (2010, Veröffentlichung in Vorbereitung); vgl. Abschnitt 2.2.1, S.32ff.

beitens und Lernens mit den abstrakten Inhalten des Musters verglichen, um dieses kontinuierlich zu validieren und zu optimieren.

Diese letztere der beiden oben genannten Vorgehensweisen birgt ein Produktivitätspotential durch das Verkürzen der zeit- und personalintensiven Schritte der Lösungssuche, -bewertung und -auswahl. Zudem reduziert die Integration einer erprobten Lösung die Risiken, die neue bislang unbekannte Lösungen begleitet durch ihre Unsicherheiten mit sich bringen.

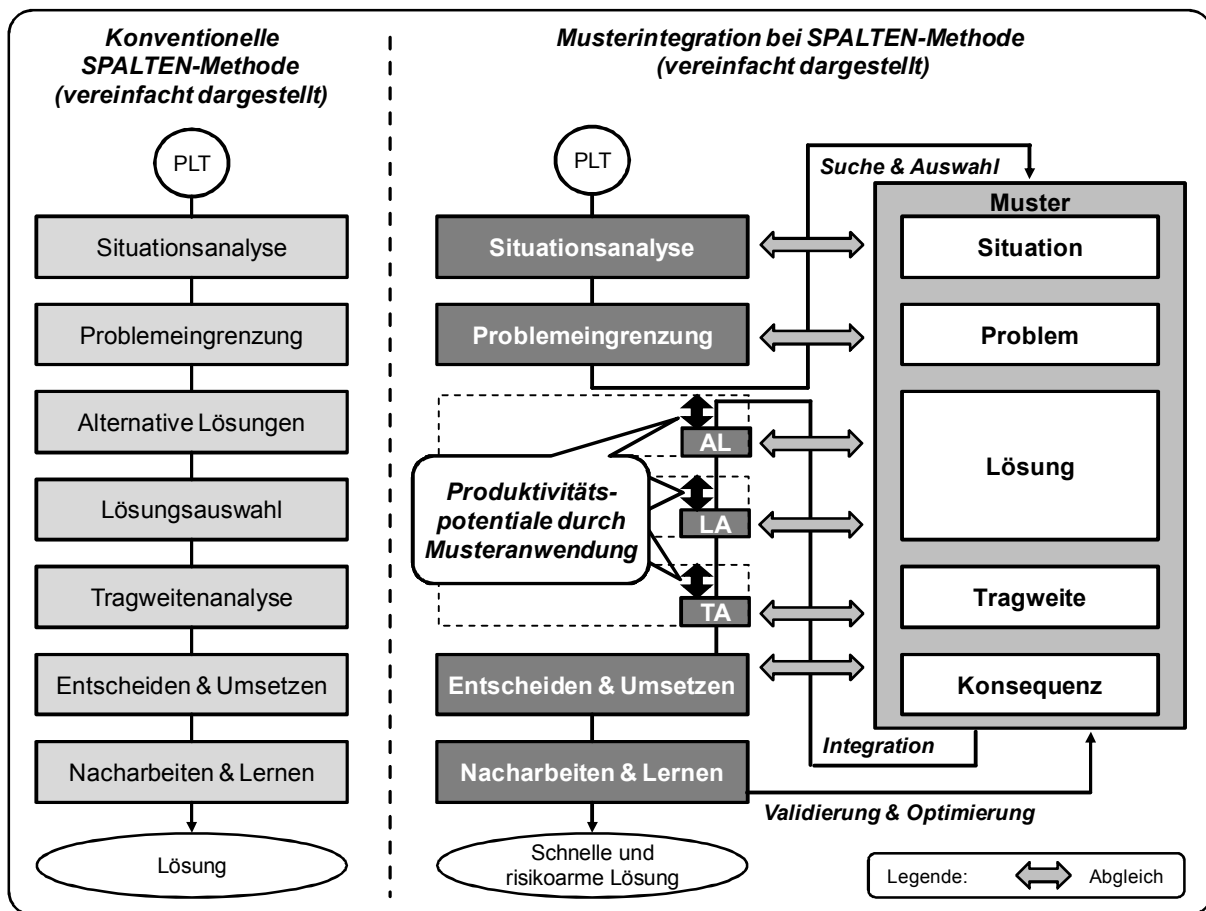


Abbildung 37: Produktivitätspotential durch Musteranwendung

Der Umfang der Aktivitäten wird exemplarisch durch die Größe der Felder dargestellt. Durch die Musteranwendung (rechts) lassen sich Aktivitäten bei der Problemlösung verkürzen. Dies führt zu einem nutzbaren Produktivitätspotential. Zudem ist die Lösung schneller verfügbar und risikoärmer, da sie auf Vorwissen beruht.

Beispiel Mikrotechnik: Integration

Beim Mikropulverspritzgießen wird eine Formmasse durch einen Angusskanal an einem oder mehreren Anspritzpunkten in die Form gepresst. Nach Erkalten und Erstarren der Formmasse wird das Werkzeug mit der Form geöffnet und dabei das Bauteil vereinzelt, d.h. vom Anguss getrennt. Diese Trennfläche ist geometrisch unbestimmt und als im Betrieb funktionsrelevante Wirkfläche ungeeignet. Die Lösung ist die Trennung der Wirkflächen, die während des Betriebs bzw. während der Fertigung funktionsrelevant sind. Dadurch wird eine zusätzliche Fläche eingebracht.

Am Beispiel der Konstruktion der Schnecke bedeutete dies, die von der Fertigung ursprünglich als Anspritzfläche gewünschte Fläche so anzupassen, dass die Fläche, die mit dem Gehäuse das Wirkflächenpaar zum Lagern bildet, um eine zusätzliche Anspritzfläche erweitert wird. Damit konnte sichergestellt werden, dass die zur Erfüllung der Lagerfunktion benötigte Fläche in ihren Oberflächeneigenschaften unverändert blieb und gleichzeitig dem Werkzeugbau eine geeignete Fläche zum Anbringen des Angusskanals zur Verfügung stand.

6.3.8 Validierung und Optimierung

Der Stand und Umfang des Wissens in Unternehmen entwickelt sich kontinuierlich fort. Neben einem Repräsentationssystem, das in der Lage ist, sich kontinuierlich ändernde und weiterentwickelnde Informationen flexibel bereit zu stellen, muss das Teilen von Wissen und neuen Erfahrungen in Unternehmensstrategie und abgeleiteten Prozessen verankert sein. Eine kontinuierliche Validierung und Optimierung ist Voraussetzung für einen nachhaltigen und erfolgreichen Mustereinsatz.

Validierung

Die Gültigkeit eines Musters ist die Voraussetzung für dessen erfolgreiche Anwendung. Der Musteransatz sieht vor, die Muster kontinuierlich zu bestätigen. Die Beschreibung und Abbildung von Anwendungsbeispielen im Muster erlaubt es dem Anwender, vorangegangene Musteranwendungen im Unternehmen nachzuvollziehen. Damit bietet die Musterrepräsentation eine Schnittstelle zum Unternehmensge-

dächtnis⁴⁹⁶, bzw. kann bei entsprechender Gestaltung einen Teil dessen Funktionen übernehmen.

Schon der erste Ansatz von ALEXANDER kennzeichnete die Muster symbolisch, um dem Anwender eine Vorstellung über die Signifikanz des Musters zu geben. Auch für den Musteransatz in der Produktentwicklung empfiehlt sich eine solche Information, sodass der Anwender einordnen kann, ob die alleinige Nutzung des Musters ausreichend ist oder eine parallele Suche nach Alternativen zweckmäßig ist. Wie bei den Architekturmustern genutzt sind, drei Signifikanzstufen sinnvoll und für den Anwender leicht zu verstehen. Die Darstellung kann symbolisch (Asteriske, Ziffern, Buchstaben) geschehen.

- Ein *A-Muster* ist hoch signifikant. Keine erfolgreiche Lösung wird um die Berücksichtigung der im Muster repräsentierten Lösungselemente umhin kommen.
- Ein *B-Muster* besitzt signifikante Lösungsmerkmale, die bei einer Vielzahl erfolgreicher Lösungen erkennbar sind.
- Ein *C-Muster* ist nicht signifikant. Alternative Lösungen sind bekannt und führen ebenfalls zu erfolgreichen Lösungen. Das Muster stellt nur eine von vielen möglichen Lösungen dar.

Aufgabe des Anwenders ist es, auch bei der Validierung des Musters, dessen Signifikanzgrad zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren.

Optimierung

Der partizipative Musteransatz sieht eine kontinuierliche Weiterentwicklung und Verbesserung der Inhalte durch die Anwender vor. Während bei der Validierung die prinzipielle Gültigkeit des Musters und der Grad dessen Signifikanz im Fokus liegen, ist es Ziel der Optimierung, die Musterinhalte mit den jüngsten Erfahrungen abzugleichen und zu verbessern.

Das Muster beinhaltet die invarianten Merkmale einer Vielzahl vorangegangener erfolgreicher Lösungen. Die Integration der Lösungselemente führt zu einer erfolgversprechenden Lösung. Tritt der Erfolg nicht ein, ist es Teil des SPALTEN-Schrittes NL, u.a. auch den Muster-Einsatz zu hinterfragen und bei Bedarf das Muster abzuändern oder um ein Negativbeispiel zu erweitern. Eine Häufung von Negativbeispielen führt zur Revision und Rückzug des Musters.

⁴⁹⁶ auch „Organizational Memory“; vgl. Abecker et al. (1998)

Beispiel Mikrotechnik: Validierung und Optimierung

Angenommen, der Anwender des oben beispielhaft angewandten Musters *Anspritzflächen* hätte neue für das Muster relevante Erfahrungen gewonnen, könnte er diese über *MyBoK* sofort allen anderen Nutzern bereitstellen. Hierzu muss er sich lediglich beim Wiki-System anmelden, das Muster auswählen und den zu ändernden Abschnitt bearbeiten. Wiki-Nutzer, die ebenfalls mit den Mustern arbeiten und die Seite abonniert haben, erhalten sofort per E-Mail Information über die Aktualisierung. Die erfolgreiche Anwendung des Musters wird nach Umsetzung der Lösung beim Nacharbeiten und Lernen im Muster dokumentiert.

6.3.9 Zusammenfassung

Ziel der hier entwickelten Methode ist es, den Konstrukteur in seiner sekundären Kreativität in der Gestaltung, insbesondere bei Anpassungskonstruktionen (Produktveränderung oder -ergänzung) mit dem Ziel inkrementeller Innovation, zu unterstützen. Dies geschieht durch die Bereitstellung der invarianten Merkmale bekannter erfolgreicher Lösungen, sodass diese leicht an die im konkreten Fall vorliegende Situation angepasst werden können. Der hier skizzierte Musteransatz beruht auf Aktivitäten zur Erzeugung, Anwendung und Verbesserung von Mustern. Muster werden von Experten in ihrer Domäne identifiziert und abgeleitet. Als Methoden eignen sich typische Ideenfindungsmethoden sowie die speziell angepassten und hier vorgestellten Methoden zur Musteridentifikation. Die Bereitstellung geschieht über ein geeignetes Repräsentationssystem, das idealerweise von einem „Gärtner“ gepflegt wird. Der Anwender, der Problemlöser, führt wie in der SPALTEN-Methode vorgesehen, die Mikroaktivitäten Situationsanalyse und Problemeingrenzung durch. Auf dieser Grundlage kann er ein geeignetes Muster in der Repräsentation finden, dessen Informationen aufnehmen und mit den anderen Mitgliedern seines Problemlösungsteams diskutieren. Die Musterlösung wird an die konkret vorliegenden Randbedingungen angepasst und integriert. Es folgen die weiteren Aktivitäten der SPALTEN-Methode. Während der letzten Aktivität, dem Nacharbeiten und Lernen, wird die Gültigkeit der verwendeten Muster bestätigt und diese ggf. optimiert. Tabelle 15 gibt einen Überblick über die Aktivitäten, deren Ziele und involvierte Personengruppen.

Der Schwerpunkt der methodischen Unterstützung liegt auf der Identifikation und Ableitung von Mustern. Die weitere Anwendung und Integration in den Problemlösungsprozess gestaltet sich durch die inhärente Struktur des Musters einfach, sodass auch Studierende und Beginner in einem Fachgebiet schnell die Zusammenhänge der Lösungen erkennen können.

Die am Beispiel der urformenden Mikrotechnik für den SFB 499 entworfene Mustersprache stellt einen ersten Schritt dar. Die Mustersprache wird mit den in neuen Entwicklungsproblemen zunehmend gewonnenen Erfahrungen kontinuierlich erweitert und verbessert. Die Mustermethode mit dem Repräsentationssystem MyBoK erlaubt eine einfache Integration in die Entwicklungs- und Problemlösungsprozesse, bietet eine einfache Struktur, um Wissen zu teilen und zu finden, und kann damit die Kommunikation unter den Akteuren durch die Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses erleichtern. Durch die Mustersprache zum Mikro-Urformen können Anfänger, im vorliegenden Fall in erster Linie Studierende, die im SFB 499 mitarbeiten, sich einfach ein Grundwissen über die Konstruktion solcher Mikrosysteme aneignen.

Tabelle 15: Aktivitäten im Musteransatz

Aktivität	Personengruppe	Ziel der Aktivität
<i>Erzeugung:</i>		
Identifikation & Ableitung	Experte / Expertengruppe	Muster erkennen und formulieren
Bereitstellung	IT / „Gärtner“	Repräsentation, Pflege der Bereitstellung
<i>Anwendung:</i>		
Situationsanalyse & Problemeingrenzung	Anwender	Situation und Problem wahrnehmen
Suche und Auswahl	Anwender	Passendes Muster in Repräsentation finden
Assimilation	Anwender	Musterinformation aufnehmen
Kommunikation	Anwender	Lösungen verstehen, Begriffsklärung
Integration	Anwender	Lösung in Produkt integrieren, Lösungen dokumentieren
<i>Verbesserung:</i>		
Validierung & Optimierung	Anwender	Gültigkeit des Musters bestätigen und neue Erfahrungen einfließen lassen

6.4 Diskussion und Implikationen für die Praxis

Zusammenfassung

Ein Muster ist die Beschreibung der invarianten Merkmale einer Vielzahl von Lösungen zu ähnlichen Problemstellungen in einer definierten Situation. Charakteristisch für ein Muster ist eine feste Struktur inhaltlicher Elemente, wie u.a. Name, Situations-, Problem- und Lösungsbeschreibung.

Die theoretische Motivation des Musteransatzes beruht darauf, dass Muster sich eignen, Wissen zu repräsentieren, Kreativität in der Produktentwicklung durch abstrakte Wissensrepräsentation zu fördern und das Potential besitzen, Problemlösungsprozesse in der Produktentwicklung in hohem Maße abzukürzen. Alle drei Aspekte zusammen führen zu einer Produktivitätssteigerung bei der Produktentwicklung, vor allem bei Entwicklungen mit dem Ziel der inkrementellen Innovation.

Die Bereitstellung einer Methode, die direkt an die Problemlösungsmethode SPALTEN anschließt, vereinfacht die Übertragung der Ergebnisse in beiden Richtungen. Zwischenergebnisse des Problemlösungsprozesses können direkt in der Struktur des Musters abgelegt werden. Gleichzeitig erlaubt diese Struktur den Abgleich der vorhandenen Problemsituation mit bereits gelösten Problemsituationen, sodass bereits erprobte Lösungsansätze direkt in die interessierende Problemlösung integriert werden können. Damit dient die Mustersprache sowohl der Speicherung von Erfahrungswissen als auch durch deren Repräsentation und der Kreativitätsunterstützung. Entscheidungen, die sich auf Muster berufen, lassen sich einfach dokumentieren und sind durch den Musterbezug für alle Musteranwender leicht und vor allem aufgrund des gemeinsamen Verständnisses unmissverständlich nachvollziehbar.

Anhand der Umsetzung des Musteransatzes für die Produktentwicklung am Beispiel der Mikrotechnik konnte deren Leistungsfähigkeit in einem ersten Schritt dargestellt werden. Die begleitenden vorgestellten Methoden erreichen ein besseres Verständnis und eine schnellere Entwicklung einer Musterbasis. Da das Potential des Musteransatzes von der Quantität und Qualität der abgebildeten Erfahrungen abhängt, ist eine Validierung des Ansatzes in der Praxis nur langfristig möglich.

Erfüllung der Ziele von Methodenanwendung

Wie im Grundlagenabschnitt dargestellt, verfolgt die Anwendung von Konstruktionsmethoden Ziele auf technischer, organisatorischer, persönlicher und didaktischer Ebene.⁴⁹⁷ Wie erfüllt nun der Musteransatz für die Produktentwicklung diese Ziele?

Die Mustermethode kann zu besseren Produkten durch die Nutzung erprobten Lösungswissens führen. Auch steht sie neuartigen Lösungen durch die abstrakte Lösungsbereitstellung nicht im Wege, sondern sorgt für einen Ausgleich zwischen Originalität und Akzeptanz, zwischen Risiko und Sicherheit. Die Methode stellt die Ergebnisse der Mikroaktivitäten in der Problemlösung und Produktentwicklung bereit und kann deren Durchführung ersetzen. Damit schafft sie ein Produktivitätspotential und eine Reduzierung der Entwicklungszeit. Die in den Mustern genutzten Begrifflichkeiten werden von den Anwendern geteilt, sodass Teamarbeit, auch computervermittelt und domänenübergreifend, unterstützt wird. Muster eignen sich zur Förderung sekundärer Kreativität mit dem Ziel, eher eine bekannte, erprobte und risikoarme Lösung für die gegebene Problemstellung weiterzuentwickeln. Die im Muster repräsentierten Lösungen werden von der Gruppe der Anwender geteilt. Muster tragen daher bei Entscheidungsfindungen, die sich auf ein Muster berufen, zu einer Objektivierung der Lösungsauswahl und damit zu einer besseren Nachvollziehbarkeit bei. Die Einarbeitungszeit für Beginner in der interessierenden Domäne kann durch die einfache, unseren Denkstrukturen ähnliche Informationsbereitstellung erleichtert werden. Damit dürfte nicht nur das Lernen, sondern auch das Lehren einen positiven Beitrag durch die Musterstruktur erfahren. Vor allem die systemische Einbindung des Musters in eine Sprache mit über- und untergeordneten Problemstellungen trägt zum Gesamtverständnis bei.

JÄNSCH adressierte die Methodenproblematik, die aus Darstellungs- und Dokumentationsproblemen, Lehrproblemen und Akzeptanz und Anwendungsproblemen resultiert.⁴⁹⁸ Viele der adressierten Probleme sind nicht in einer einzelnen Methode begründet, sondern beziehen sich auf die Gesamtheit von Methoden. Trotzdem, der Erfolg in der Softwaretechnik zeigt, dass Muster durchaus Potential besitzen, sich in der Praxis durchzusetzen. Vor allem die Einfachheit und Verständlichkeit der den Mustern zu Grunde liegenden Idee dürfte einen Beitrag zur Praxisakzeptanz leisten.

⁴⁹⁷ vgl. Tabelle 3, S.41

⁴⁹⁸ vgl. Tabelle 4, S.43

Erfüllung der Anforderungen an die Methode

KELLER und BINZ formulierten acht Anforderungen an Konstruktionsmethoden.⁴⁹⁹ Wie werden diese durch den Musteransatz erfüllt?

- (1) *Revidierbarkeit*: Der Musteransatz lässt sich in der praktischen Produktentwicklung hinsichtlich seiner Effektivität und Effizienz überprüfen. Exemplarisch konnte dies am Beispiel der Mikrotechnik aufgezeigt werden. Für eine umfangreiche empirische Validierung benötigt die Produktentwicklungspraxis erst eine umfassende Mustersprache.
- (2) *Praxisrelevanz und Wettbewerbsfähigkeit*: Die vorgestellte Mustermethode deckt den Praxisbedarf bei der Unterstützung sekundärer Kreativität, bei ihrer Integrationsfähigkeit in reifegradorientierten Unternehmens- und Entwicklungsprozessen in Hinblick auf inkrementelle Innovation ab. Ihr Alleinstellungsmerkmal ist die Verbindung von dokumentierender Wissensspeicherung und kreativer Generierung.
- (3) *Wissenschaftliche Güte*: Die Anwendung von Mustern ist immer subjektiv, repräsentiert jedoch die Erfahrungen einer Vielzahl von Anwendern und objektiviert damit die Wissensrepräsentation. Die vorgestellte Methode fokussiert auf Problemlösungsprozesse in der Produktentwicklung, speziell in der Konstruktion. Die Vorgehensweise bei der Anwendung des Musteransatzes bindet sich direkt in die Problemlösungsmethode SPALTEN ein, sodass sie verlässlich zu einem belastbaren Ergebnis führt.
- (4) *Verständlichkeit*: Die Einfachheit des Ansatzes und die Einbindung an die SPALTEN-Methode erleichtern das Erlernen und die Anwendung. Das Aktivitätenmodell und die zugehörigen Methoden erlauben dem Interessierten, Muster zu identifizieren, abzuleiten und bereitgestellt anzuwenden.
- (5) *Nützlichkeit*: Die Möglichkeit, Problemlösungs- und damit Produktentwicklungsprozesse zu verkürzen, zeigt das Effektivitäts- und Effizienzpotential des Musteransatzes. Weiterhin führt er schnell zu belastbaren, risikoarmen Lösungen.
- (6) *Problemspezifische Wirksamkeit*: Der methodische Problemlöser führt eine Situationsanalyse und Problemeingrenzung durch und kann auf dieser Basis entscheiden, ob in den ihm zur Verfügung stehenden Mustersprachen ein passender Mustersatz vorliegt.

⁴⁹⁹ vgl. Abschnitt 2.2.4, S.40ff.

- (7) *Struktur und Kompatibilität*: Die Mustersprache trägt dazu bei, übergeordnete Probleme auf Probleme geringerer Ordnung zu reduzieren. Gleichzeitig ermöglicht sie systemischen Überblick durch die musterübergreifenden Verknüpfungen.
- (8) *Flexibilität*: Die Mustermethode gliedert sich auf übergeordneter Ebene in den Ablauf der SPALTEN-Methode ein. Die Durchführung von Informationschecks erlaubt Schritte zu überspringen. Das Aktivitätenmodell der Muster ist ergebnisorientiert und schlägt geeignete Methoden vor, ohne diese vorzuschreiben.

Fazit

Die vorgestellte Methode zur Erzeugung, Anwendung und Verbesserung von Mustern zum Einsatz in der Produktentwicklung erfüllt weitgehend die Ziele und Anforderungen aus Methodenentwicklung und Praxis. Ihre Wirksamkeit konnte in einem ersten Einsatz bei der Entwicklung mikromechanischer Systeme erprobt werden. Eine Validierung in der Praxis steht in erster Linie aufgrund der kurzfristig nicht möglichen Machbarkeit noch aus. Daraus leitet sich auch der weitere Forschungsbedarf ab. Der erwartete praktische Nutzen und die Problemlösekraft des Ansatzes müssen sich in der praktischen Anwendung im Entwicklungsalltag bestätigen. Der Ansatz lässt eine sehr gute Eignung zur Strukturierung und Verknüpfung von Lehrinhalten erwarten. Dies gilt es mit der Ableitung einer passenden Mustersprache für die Entwicklungsmethodik nachzuweisen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es, die Randbedingungen der Kreativität in der Produktentwicklung zu untersuchen und auf dieser Grundlage eine Methode zu begründen, die es ermöglicht, Wissen bereitzustellen und gleichzeitig die kreative Lösungsfindung in der Konstruktionsaktivität zu unterstützen.

Die Erfassung und Untersuchung der problemrelevanten Theorien und Verfahren der Kreativitätsforschung sowie des Anwendungszusammenhangs in Hinblick auf Innovation und Produktentwicklung zeigte, dass für den Produktentwickler zwei Arten der Kreativität unterschieden werden müssen, die in ihrem Bestreben, Neues zu erschaffen, grundlegende Unterschiede aufweisen. Die primäre Kreativität führt zu Ideen mit hohem Neuheitsgrad. Zweckmäßigkeit und kurzfristiger Nutzen spielen eine untergeordnete Rolle. Die sekundäre Kreativität hingegen führt zu Ideen mit kurzfristig hohem Nutzen und vorwiegend geringem Neuheitsgrad und entsprechend geringem Risikopotential. Für die ingenieurmäßige Kreativität vor allem in späten Aktivitäten der Produktentwicklung bedarf es Methoden, die den spezifischen Randbedingungen der Förderung der sekundären Kreativität entsprechen. Im weit fortgeschrittenen Entwicklungsprozess sind Lösungen notwendig, die sich möglichst schnell, kostengünstig und risikolos in einen bereits sehr stark eingeschränkten Lösungsraum integrieren lassen. Dazu ist ein einfacher Zugriff auf Erfahrungswissen erforderlich.

Mustersprachen eignen sich als abstrakte Wissensrepräsentation, um die sekundäre Kreativität zu fördern und Problemlösungsprozesse in der Produktentwicklung in hohem Maße abzukürzen. Ein Muster ist die Beschreibung der invarianten Merkmale einer Vielzahl von Lösungen zu ähnlichen Problemstellungen in einer definierten Situation. Charakteristisch für ein Muster ist eine feste Struktur inhaltlicher Elemente, wie u.a. Name, Situations-, Problem- und Lösungsbeschreibung. Die vorliegende Arbeit stellt ein Aktivitätenmodell mit begleitenden Methoden für den Einsatz von Mustersprachen in der Produktentwicklung bereit. Ihre Wirksamkeit konnte in einem ersten Einsatz bei der Entwicklung mikromechanischer Systeme erprobt werden.

Mit der Charakterisierung von Kreativität in der Produktentwicklung und der Bereitstellung einer Methode, diese zu unterstützen, wurde die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit erreicht.

Die Validierung des Musteransatzes in der Praxis konnte in erster Linie aufgrund der kurzfristig nicht möglichen Machbarkeit nicht durchgeführt werden und muss Thema von Folgeaktivitäten sein. Weiterhin lässt der Ansatz eine sehr gute Eignung zur Strukturierung und Verknüpfung von Lehrinhalten für die Entwicklungsmethodik er-

warten. Dies gilt es, mit der Ableitung einer passenden Mustersprache und deren erfolgreichen Einsatz nachzuweisen.

Aus der Unterscheidung in primäre und sekundäre Kreativität folgt eine Neugliederung der Methoden zur Kreativitätsunterstützung. Insbesondere in der Förderung der sekundären Kreativität liegt Potential für weitere Methoden.

Durch den Musteransatz, dessen Aktivitätenmodell und die begleitenden Methoden, ist es möglich, bei der Produktentwicklung in Hinblick auf inkrementelle Innovation und unter den Randbedingungen einer kontinuierlichen Verbesserung der Entwicklungsabläufe gleichzeitig ein Kreativitäts- und Produktivitätspotential zu schaffen.

8 Quellen

- Abecker et al. (1998)** Abecker, A., Decker, S. & Kühn, O.: Organizational memory. In: *Informatik Spektrum* 21 (1998), S.213-214
- Abernathy (1981)** Abernathy, W. J.: *The Productivity Dilemma – Roadblock to Innovation in the Automobile Industry*. Baltimore : Johns Hopkins Univ. Press, 1981
- Adler et al. (2009)** Adler, P. S., Benner, M., Brunner, D. J., MacDuffie, J. P., Osono, E., Staats, B. R., Takeuchi, H., Tushman, M. L. & Winter, S. G.: Perspectives on the Productivity Dilemma. In: *Journal of Operations Management* 27 (2009), S.99-113.
- Albers (1994)** Albers, A.: Simultaneous Engineering, Projektmanagement und Konstruktionsmethodik – Werkzeuge zur Effizienzsteigerung. In: VDI-Gesellschaft EKV (Hrsg.): *Entwicklung und Konstruktion im Strukturwandel*. Düsseldorf : VDI-Verlag, 1994 (VDI-Berichte 1120)
- Albers (2009)** Albers, A.: *Produktentstehung – Entwicklungsmethodik*. Karlsruhe, Univ., Inst. Produktentwicklung, Vorlesungsunterlagen, 2009
- Albers (2010)** Albers, A.: Five Hypotheses and a Meta Model of Engineering Design Processes. In: *TMCE 2010* (Ancona 2010 ; Veröffentlichung in Vorbereitung)
- Albers & Alink (2008)** Albers, A. & Alink, T.: Support of Design Engineering Activity through the Contact and Channel Model – the Importance of a Continuous and Systematic Model Building. In: Techn. Univ. Ilmenau (Veranst.): *53rd Int. Wiss. Kolloquium* (Ilmenau 2008)
- Albers & Gausemeier (2009)** Albers, A. & Gausemeier, J.: Renaissance des System Engineering?. In: Berliner Kreis (Hrsg.): *Berliner Kreis News* 12 (2009), S.5-6
- Albers & Ili (2008)** Albers, A. & Ili, S.: The Adoption of Open Innovation in the Automotive Industry. In: *XIX ISPIM Conf.* (Tours 2008)
- Albers & Matthiesen (2002)** Albers, A. & Matthiesen, S.: Konstruktionsmethodisches Grundmodell zum Zusammenhang von Gestalt und Funktion technischer Systeme. In: *Konstruktion* (2002), Nr.7/8, S.55-60
- Albers & Meboldt (2006)** Albers, A. & Meboldt, M.: A New Approach in Product Development, Based on Systems Engineering and Systematic Problem Solving. In: *AEDS 2006 Workshop* (Pilsen 2006)
- Albers & Meboldt (2007)** Albers, A. & Meboldt, M.: IPEMM – Integrated Product Development Process Management Model, based on Systems Engineering and Systematic Problem Solving. In: Design Society (Veranst.): *Int. Conf. on Engineering Design ICED* (Paris 2007)
- Albers et al. (2002)** Albers, A., Saak, M., Burkardt, N & Schweinberger, D.: Gezielte Problemlösung bei der Produktentwicklung mit Hilfe der SPALTEN-Methode. In: Techn. Univ. Ilmenau (Veranst.): *Int. Wiss. Kolloquium* (Ilmenau 2002)
- Albers et al. (2005a)** Albers, A., Burkardt, N., Meboldt, M. & Saak, M.: SPALTEN Problem Solving Methodology in the Product Development. In: Design Society (Veranst.): *Int. Conf. on Engineering Design ICED* (Melbourne 2005)
- Albers et al. (2005b)** Albers, A., Burkardt, N., Deigendesch, T. & Marz, J.: Micro-specific Design for Tool-based Micromachining. In: *AEDS 2005 Workshop* (Pilsen 2005)
- Albers et al. (2006)** Albers, A., Burkardt, N. & Meboldt, M.: The Karlsruhe Education Model for Product Development 'KaLeP', in Higher Education. In: *Design 2006* (Dubrovnik 2006)
- Albers et al. (2007a)** Albers, A., Burkardt, N., Deigendesch, T. & Marz, J.: Micro-specific Design Flow for Tool-based Microtechnologies. In: *Microsystem Technologies* 13 (2007), S.305-310
- Albers et al. (2007b)** Albers, A., Burkardt, N. & Deigendesch, T.: Knowledge-based Support of Decision Making at the Example of Microtechnology. In: *Journal of Automation, Mobile Robotics & Intelligent Systems JAMRIS* 1 (2007), Nr.4, S.16-20
- Albers et al. (2007c)** Albers, A., Deigendesch, T., Drammer, M., Ellmer, C., Meboldt, M. & Sauter, C.: Wikis as a Cooperation and Communication Platform within Product Development. In: Design Society (Veranst.): *Int. Conf. on Engineering Design ICED* (Paris 2007)
- Albers et al. (2008a)** Albers, A., Deigendesch, T. & Meboldt, M.: Handling Complexity – A Methodological Approach Comprising Process and Knowledge Management. In: *TMCE 2008* (Izmir 2008)
- Albers et al. (2008b)** Albers, A., Burkardt, N., Deigendesch, T. & Meboldt, M.: Enabling Key

- Competencies by Educational Project Work Exemplified by Teamwork and Cooperation. In: *EPDE 2008* (Barcelona 2008)
- Albers et al. (2008c)** Albers, A., Deigendesch, T. & Alink, T.: Support of Design Engineering Activity – The Contact and Channel Model (C&CM) in the Context of Problem Solving and the Role of Modeling. In: *Design 2008* (Dubrovnik 2008)
- Albers et al. (2009a)** Albers, A., Deigendesch, T. & Turki, T.: Patterns for Design in Microtechnology. In: *8th Int. Workshop on High Aspect Ratio Micro Structure Technology HARMST 2009* (Saskatoon 2009), S.157-158
- Albers et al. (2009b)** Albers, A., Deigendesch, T. & Turki, T.: Design Patterns in Microtechnology. In: Design Society (Veranst.): *Int. Conf. on Engineering Design ICED* (Stanford 2009)
- Albers et al. (2009c)** Albers, A., Deigendesch, T. & Schmalenbach, H.: TRIZ-Box Improving Creativity by connecting TRIZ and Artifacts. In: European TRIZ Association (Veranst.): *TRIZfuture Conf.* (Timisoara 2009)
- Albers et al. (2009d)** Albers, A., Burkardt, N. & Deigendesch, T.: Vermittlung von Schlüsselqualifikationen am Beispiel des Karlsruher Lehrmodells für Produktentwicklung (KaLeP). In: Robertson von Trotha, C. Y. (Hrsg.): *Schlüsselqualifikationen für Studium, Beruf und Gesellschaft*. Karlsruhe : ZAK, 2009, S.511-520 (Problemkreise der Angewandten Kulturwissenschaft ; H.14)
- Alexander & Czech (1995)** Alexander, C. & Czech, H. (Hrsg.): *Eine Muster-Sprache. Städte, Gebäude, Konstruktion*. Wien : Löcker Verl., 1995
- Alexander (1979)** Alexander, C.: *The Timeless Way of Building*. New York : Oxford University Press, 1979
- Alexander (1996)** Alexander, C.: The Origins of Pattern Theory. In: *IEEE Software* (1999), S.71-82; zgl. ACM (Veranst.): *OOPSLA* (San Jose 1996)
- Alexander et al. (1977)** Alexander, C., Ishikawa, S., Silverstein, M., Jacobson, M., Fiksdahl-King, I. & Angel, S.: *A Pattern Language. Towns, Buildings, Construction*. New York : Oxford Univ. Press, 1977; dt. Übers.: Alexander & Czech (1995)
- Altschuller (1986)** Altschuller G. S.: *Erfinden – Wege zur Lösung technischer Probleme*. Berlin : Verl. Technik, 1986 (Originaltitel: Tvorcestvo kak tocnaja nauka)
- Amabile (1982)** Amabile, T. M.: Social psychology of Creativity: A Consensual Assessment Technique. In: *Journal of Personality and Social Psychology* 43 (1982), Nr. 5, S.997-1013
- Amabile (1989)** Amabile, T. M.: How work environment affects creativity. In: *Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics* (Cambridge 1989), Bd.1, S.50-55
- Amabile et al. (1996)** Amabile, T. M., Conti, R., Coon, H., Lazenby, J. & Herron, M.: Assessing the Work Environment for Creativity. In: *Academy of Management Journal* 39 (1996), Nr.5, S.1154-1184.
- Anderson (1992)** Anderson, B.: Workshop Report – Towards an Architecture Handbook. Addendum to the Proceedings. In: *Conf. on Object-Oriented Programs, Systems, Languages, and Applications OOPSLA* (Vancouver 1992), S.109-113
- Appleton (1997)** Appleton, B.: Patterns for Conducting Process Improvement. In: *Pattern Languages of Programs PLoP* (Allerton Park, Monticello 1997)
- Arnold & Podehl (1999)** Arnold, F. & Podehl, G.: Features and Design Patterns – A Comparison. In: *Swiss Conf. of CAD/CAM* (Neuchâtel 1999), S.140-148
- Barron & Harrington (1981)** Barron, F. & Harrington, D. M.: Creativity, Intelligence and Personality. In: *Annual Review of Psychology* 32 (1981), S.439-476
- Dresler & Baudson (2008)** Dresler, M. & Baudson, T. G. (Hrsg.): *Kreativität – Beiträge aus den Natur- und Geisteswissenschaften*. Stuttgart : Hirzel, 2008
- Bayle et al. (1998)** Bayle, E., Bellamy, R., Casaday, G., Erickson, T., Fincher, S., Grinter, B., Gross, B., Lehder, D., Marmolin, H., Moore, B., Potts, C., Skousen, G. & Thomas, J.: Putting it all Together: Towards a Pattern Language for Interaction Design. In: *SIGCHI Bulletin* 30 (1998), Nr.1, S.17-24
- Beck & Cunningham (1987)** Beck, K. & Cunningham, W.: Using Pattern Languages for Object-Oriented Programs. In: ACM (Veranst.): *Conf. on Object-Oriented Programs, Systems, Languages, and Applications OOPSLA* (Orlando 1987)
- Beedle et al. (1998)** Beedle, M., Devos, M., Sharon, Y., Schwaber, K. & Sutherland, J.: SCRUM: An

- Extension Pattern Language for Hyperproductive Software Development. In: *Pattern Languages of Programs PLoP* (Allerton Park, Monticello, 1998)
- Beedle et al. (1998)** Beedle, M., Devos, M., Sharon, Y., Schwaber, K. and Sutherland, J.: SCRUM: An extension pattern language for hyperproductive software development. In: *Pattern Languages of Programs PLoP* (Allerton Park, Monticello, 1998)
- Benedek (2008)** Benedek, M.: Wie lässt sich Kreativität messen? In: Dresler & Baudson (2008), S.43-51
- Beitz (1985)** Beitz, W.: Kreativität des Konstrukteurs. In: *Konstruktion* 37 (1985), H.10, S.381-386
- Benner & Tushman (2002)** Benner, M. J. & Tushman, M.: Process Management and Technological Innovation: A Longitudinal Study of Photography and Paint Industries. In: *Administrative Science Quarterly* 47 (2002), S.676-706
- Benner & Tushman (2003)** Benner, M. J. & Tushman, M. L.: Exploitation, Exploration, and Process Management: The Productivity Dilemma Revisited. In: *Academy of Management Review* 26 (2003), Nr.2, S.238-256
- Bergin (2000)** Bergin, J.: Fourteen Pedagogical Patterns. In: *5th European Conference on Pattern Languages of Programs EuroPLoP* (Irsee 2000)
- Berth (1992)** Berth, R.: *Visionäres Management: Die Philosophie der Innovation*. 2. Aufl., Düsseldorf : ECON, 1992
- Betzl (1996)** Betzel, K.: Entwicklungsansätze in der Arbeitsorganisation und aktuelle Unternehmenskonzepte – Visionen und Leitbilder. In: Bullinger & Warnecke (1996), S.29-64
- Bilalic et al. (2008)** Bilalic, M., McLeod, P. & Gobet, F.: Inflexibility of Experts – Reality or Myth? Quantifying the Einstellung effect in chess masters. In: *Cognitive Psychology* 56 (2008), S.73-102
- Binz & Reichle (2005)** Binz, H. & Reichle, M.: Evaluation Method to Determine the Success Potential and the Degree of Innovation of Technical Product Ideas and Products. In: Design Society (Veranst.): *Int. Conf. on Engineering Design ICED* (Melbourne 2005)
- Bircher (2005)** Bircher, M.: *Die Integrale Produktinnovation – ein Ansatz zur Unterstützung von Innovationsprojekten*. Zürich, ETH, Diss., Nr. 16259, 2005
- Boden (1995)** Boden, M.: Creativity and Unpredictability. In: *Stanford Electronic Humanities Review* 4 (1995), Nr.2; <http://www.stanford.edu/group/SHR/4-2/text/boden.html> [02.09.2009]
- Boden (1999)** Boden, M. A.: Computer Models of Creativity. In: Sternberg (1999), S.351-372
- Boos et al. (2000)** Boos, M., Jonas, K. J. & Sassenberg, K. (Hrsg.): *Computervermittelte Kommunikation in Organisationen*. Göttingen : Hogrefe Verl. f. Psychologie, 2000 (Internet und Psychologie ; Bd.3)
- Boutellier & Kalia (2004)** Boutellier, R. & Kalia, V.: Enterprise-Risk-Management: Notwendigkeit und Gestaltung. In: Gassmann (2004), S.27-43
- Browning et al. (2002)** Browning, T. R., Deyst, J. J., Eppinger, S. D., Whitney, D. E.: Adding Value in Product Development by Creating Information and Reducing Risk. In: *IEEE Transactions on Engineering Management* 49 (2002) Nr.4, S.443-548
- Bürgel et al. (2006)** Bürgel, H. D., Hess, S. & Bauder, S.: Modernes F&E-Projektcontrolling. In: Gassmann & Kobe (2006), S.211-243
- Bullinger & Warnecke (1996)** Bullinger, H.-J. & Warnecke, H. J. (Hrsg.): *Neue Organisationsformen im Unternehmen*. Berlin : Springer, 1996
- Chase & Simon (1973)** Chase, W. G. & Simon, H. A.: Perception in Chess. In: *Cognitive Psychology* 4 (1973), S.55-81
- Chesbrough (2006)** Chesbrough, H.: Open Innovation: A New Paradigm for Understanding Industrial Innovation. In: Chesbrough et al. (2006), S.1-12
- Chesbrough et al. (2006)** Chesbrough, H., Vanhaverbeke, W. & West, J. (Hrsg.): *Open Innovation – Researching a New Paradigm*. New York : Oxford University Press, 2006
- Chrysiou & Weisberg (2005)** Chrysiou, E. G. & Weisberg, R. W.: Following the Wrong Footsteps: Fixation Effects of Pictorial Examples in a Design Problem-Solving Task. In: *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 31 (2005), Nr.5, S.1134-1148
- Chu et al. (2004)** Chu, F., Kolodny, A., Maital, S. & Perlmutter, D.: The Innovation Paradox: Reconciling Creativity and Disciplin. In: *Int. Engineering Management Conf.* (Singapur 2004),

S.949-953

- Coad & Mayfield (1992)** Coad, P. & Mayfield, M.: Workshop Report – Patterns. In: *Conf. Object-Oriented Programs, Systems, Languages, and Applications OOPSLA* (Vancouver 1992), S.93-95
- Collins (1998)** *Collins English Dictionary*. 4. Aufl. Glasgow : Harper Collins Publishers, 1998
- Collins & Amabile (1999)** Collins, M. A. & Amabile, T. M.: Motivation and Creativity. In: Sternberg (1999), S.297-311
- Cooper (2002)** Cooper, R. G.: *Top oder Flop in der Produktentwicklung*. Weinheim : Wiley-VHC, 2002
- Cooper et al. (2002)** Cooper, R. G., Edgett, S. J. & Kleinschmidt E. J.: What Best Practice Companies Are Doing. In: Industrial Research Institute (Hrsg.): *Research Technology Management* 45 (2002), Nr. 5
- Cross (2004)** Cross, N.: Expertise in Design: an Overview. In: *Design Studies* 25 (2004), S.427-441
- Csikszentmihalyi (1988)** Csikszentmihalyi, M: Society, Culture, and Person: A Systems View of Creativity. In: Sternberg (1988a), S.325-339
- Csikszentmihalyi (1999)** Csikszentmihalyi, M: Implications of a Systems Perspective for the Study of Creativity. In: Sternberg (1999), S.313-335
- von Cube (2000)** von Cube, F.: *Gefährlicher Sicherheit*. 3. Aufl. Stuttgart : Hirzel, 2000
- DeLano & Rising (1997)** DeLano, E. & Rising, L.: Introducing Technology into the Workplace. In: *Pattern Languages of Programs PLoP* (Allerton Park, Monticello 1997)
- Dhillon (2006)** Dhillon, B. S.: *Creativity for Engineers*. Singapur : World Scientific Publishing, 2006 (Series on Industrial and Systems Engineering, Vol.3)
- DIN9001** DIN Deutsches Institut für Normung: *DIN EN ISO 9001: Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen* (ISO 9001:2008). Berlin : Beuth, 2008
- DIN9004** DIN Deutsches Institut für Normung: *DIN EN ISO 9004: Leiten und Lenken für den nachhaltigen Erfolg einer Organisation – Ein Qualitätsmanagementansatz* (ISO/DIS 9004:2008, Entwurf). Berlin : Beuth, 2008
- Dovey (1990)** Dovey, K.: The Pattern Language and its Enemies. In: *Design Studies* 11 (1990), Nr. 1, S.3-9
- DPMA (2004)** Deutsches Patent- und Markenamt (Hrsg.): *Richtlinien für die Prüfung von Patentanmeldungen*. 1. März 2004, Dok.-Nr. P 2796/11.06; <http://www.dpma.de/docs/service/formulare/patent/p2796.pdf> [16.09.2009]
- Dresler & Baudson (2008)** Dresler, M. & Baudson, T. G.: *Kreativität. Beiträge aus den Natur- und Geisteswissenschaften*. Stuttgart : Hirzel, 2008
- Duden (2000)** Duden – Das große Fremdwörterbuch. Mannheim : Dudenverlag, 2000
- Eckert et al. (2003)** Eckert, C., Stacey, M. & Earl, C.: Ambiguity is a Double-edged Sword: Similarity References in Communication. In: *Int. Conf. on Engineering Design ICED* (Stockholm 2003)
- Eckert et al. (2007)** Eckert, C. M., Keller, R. & Clarkson, P. J.: Avoiding Emergency Innovation: Change Prediction in Innovative Products. In: *Int. Symp. on Innovative Management Practices ERIMA07* (Biarritz 2007)
- Eckert et al. (2009)** Eckert, C., Wyatt, D. & Clarkson, J.: The Elusive Act of Synthesis: Creativity in the Conceptual Design of Complex Engineering Products. In: *ACM Creativity & Cognition 2009* (Berkeley 2009)
- Eckstein (2000)** Eckstein, J.: Learning to Teach and Learning to Learn. In: *5th European Conf. on Pattern Languages of Programs EuroPLoP* (Irsee 2000)
- Eden et al. (1997)** Eden, A. H., Yehudai, A., Gil, J.: Precise specification and automatic application of design patterns. In: *12th IEEE Int. Conf. on Automated Software Engineering* (Incline Village 1997), S.143-152
- Eder (2008)** Eder, W. E.: Cognitive and Systematic Design. In: *Modern Machinery (MM) Science Journal* (2008), S.9-12
- Ehrlenspiel (2003)** Ehrlenspiel, K.: *Integrierte Produktentwicklung*. München : Hanser, 2003
- Engelkamp & Zimmer (2006)** Engelkamp, J. & Zimmer, H. D.: *Lehrbuch der Kognitiven Psychologie*. Göttingen : Hogrefe, 2006
- Enkel et al. (2009)** Enkel, E., Gassmann, O. & Chesbrough, H.: Open R&D and Open Innovation:

- Exploring the Phenomenon. In: *R&D Management* 39 (2009), Nr.4, S.311-316
- Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2008)** *Entscheidung Nr. 1350/2008/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 zum Europäischen Jahr der Kreativität und Innovation (2009)*. Amtsblatt der Europäischen Union, L 348/115, 24.12.2008
- Ewald (1975)** Ewald, O.: *Lösungssammlungen für das methodische Konstruieren*. Darmstadt, Techn. Hochs., Fachb. Maschinenbau, Diss., 1975 (Düsseldorf : VDI)
- Feldhusen & Bungert (2007a)** Feldhusen, J. & Bungert, F.: PLM Pattern Language: An Integrating Theory of Archetypal Engineering Solutions. In: *14th CIRP Conf. on Life Cycle Engineering* (Tokyo 2007), S.125-130
- Feldhusen & Bungert (2007b)** Feldhusen, J. & Bungert, F.: Pattern Languages: An Approach to Manage Archetypal Engineering Knowledge. In: *Int. Conf. on Engineering Design ICED* (Paris 2007)
- Feldhusen et al. (2006)** Feldhusen, J., Bungert, F., Macke, N., Gebhardt, B. & Nurcahya, E.-Z.: A Concept for Supplying Engineering Design with Context-sensitive Knowledge. In: *TMCE 2006* (Ljubljana 2006)
- Florice & Ibanescu (2008)** Florice, S. & Ibanescu, M.: Using R&D Portfolio Management to Deal with Dynamic Risks. In: *R&D Management* 38 (2008), Nr.5, S.452-467
- Florida & Tinagli (2004)** Florida, R. & Tinagli, I.: *Europe in the Creative Age*. London : Demos, 2004 <http://www.demos.co.uk/files/EuropeintheCreativeAge2004.pdf> [22.02.2009]
- Finke (1992)** Finke, R. A.: Creative Inference in Imagery and Invention. In: *AAAI Technical Report SS-92-02*, 1992. <http://www.aaai.org/Papers/Symposia/Spring/1992/SS-92-02/SS92-02-001.pdf> [02.03.2009]
- Finke et al. (1996)** Finke, R. A., Ward, T. B. & Smith, S. M.: *Creative Cognition – Theory, Research, and Applications*. Cambridge : MIT Press, 1996
- Fischer (1993)** Fischer, G.: Creativity Enhancing Design Environments. In: Gero & Maher (1993), S.235-257
- Funke (2000)** Funke, J.: Psychologie der Kreativität. In: Holm-Hadulla (2000), S.283-300
- Funke (2006)** Funke, J. (Hrsg.): *Denken und Problemlösen*. Göttingen : Hogrefe, 2006 (Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich C: Theorie und Forschung, Serie II: Kognition, Bd. 8: Denken und Problemlösen)
- Gamma et al. (1995)** Gamma, E., Helm, R., Johnson, R. & Vlissides, J.: *Design Patterns. Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Reading : Addison Wesley, 1995
- Gaede (2007)** Gaede, P.-M. (Hrsg.): *Psychologie. Denken, Fühlen, Handeln*. Mannheim : Brockhaus, 2007 (GEO Themenlexikon, Bd.12).
- Gardner (1985)** Gardner, H.: *Abschied vom IQ – Die Rahmentheorie der vielfachen Intelligenzen*. 2. Aufl. Stuttgart : Klett-Cotta, 1998 (Original: Frames of Mind. The Theory of Multiple Intelligences, 1985)
- Gardner (1993)** Gardner, H.: *So genial wie Einstein: Schlüssel zum kreativen Denken*. Stuttgart : Klett-Cotta, 1996 (Original: Creative Minds. An Anatomy of Creativity, 1993)
- Gassmann (2006)** Gassmann, O.: Innovation und Risiko – zwei Seiten einer Medaille. In: Gassmann & Kobe (2006), S.1-24
- Gassmann (2008)** Gassmann, O.: Business Excellence durch Innovation. In: Marxt & Hacklin (2008), S.3-11
- Gassmann & Kobe (2006)** Gassmann, O. & Kobe, C. (Hrsg.): *Management von Innovation und Risiko*. 2. Aufl. Berlin : Springer, 2006
- Gero & Maher (1993)** Gero, J. S. & Maher, M. L. (Hrsg.): *Modeling Creativity and Knowledge-Based Creative Design*. Hillsdale : Lawrence Erlbaum, 1993
- Geschka (1983)** Geschka, H.: Creativity Techniques in Product Planning and Development: A view from West Germany. In: *R&D Management* 13 (1983), S.169-183
- Geschka & von Reibnitz (1980)** Geschka, H. & von Reibnitz, U.: *Vademecum der Ideenfindung – Eine Anleitung zum Arbeiten mit Methoden der Ideenfindung*. 4. Aufl. Frankfurt : Batelle-Institut, 1980
- Getzels & Jackson (1962)** Getzels, J. W. & Jackson, P. W.: *Creativity & Intelligence*. London : John

- Wiley & Sons, 1962
- Gick & Holyoak (1980)** Gick, M. L. & Holyoak, K. J.: Analogical Problem Solving. In: *Cognitive Psychology* 12 (1980), S.306-355
- Gick & Holyoak (1983)** Gick, M. L. & Holyoak, K. J.: Schema Induction and Analogical Transfer. In: *Cognitive Psychology* 15 (1983), S.1-38
- Götz (1981)** Götz, I. L.: On Defining Creativity. In: *The Journal of Aesthetics and Art Criticism* 39 (1981), Nr.3, S.297-301
- Goller & Kobe (2008)** Goller, I. & Kobe, C.: Is Engineering Creativity different from Creativity in other disciplines? In: *Int. Product Development Management Conf.* (Hamburg 2008)
- Grabowski & Geiger (1997)** Grabowski, H. & Geiger, K. (Hrsg.): *Neue Wege zur Produktentwicklung*. Stuttgart : Raabe, 1997
- Gross & Koch (2007)** Gross, T. & Koch, M.: *Computer-Supported Cooperative Work*. München : Oldenbourg, 2007
- Guilford (1950)** Guilford, J. P.: Kreativität. In: Ulmann (1973), S.25-43
(Dt. Übersetzung entnommen aus *American Psychologist* 5 (1950), S.444-454)
- Hacker et al. (1996)** Hacker, W., Sachse, P. & von der Weth, R.: Denkleistungen beim Konstruieren. In: VDI-Gesellschaft EKV (Veranst.): *Zukunftschance Produktentwicklung* (Dresden 1996). Düsseldorf : VDI-Verlag, 1996, S.137-153 (VDI-Berichte 1270)
- Harrison (1999)** Harrison, N.: The Language of the Shepherds – A Pattern Language for Shepherding. In: *Pattern Languages of Programs PLoP* (Allerton Park, Monticello 1999)
- Hauschildt (1993)** Hauschildt, J.: Innovationsmanagement. München : Vahlen, 1993 (Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften)
- Hennessey (2003)** Hennessey, B. A.: The Social Psychology of Creativity. In: *Scandinavian Journal of Education Research* 47 (2003), Nr.3, S.253-271
- Hindo (2007)** Hindo, B.: At 3M, A Struggle Between Efficiency And Creativity. *Business Week* (2007), June 11
http://www.businessweek.com/print/magazine/content/07_24/b4038406.htm [11.08.2009]
- Holm-Hadulla (2000)** Holm-Hadulla, R. M. (Hrsg.): *Kreativität*. Berlin : Springer, 2000
- Holm-Hadulla (2005)** Holm-Hadulla, R. M.: *Kreativität – Konzept und Lebensstil*. Göttingen : Vandenhoeck & Ruprecht, 2005
- Howard et al. (2008)** Howard, T. J., Culley, S. J. und Dekoninck, E.: Describing the Creative Design Process by the Integration of Engineering Design and Cognitive Psychology Literature. In: *Design Studies* 29 (2008), S.160-180
- Hübner & Jahnes (1998)** Hübner, H. & Jahnes, S.: *Management-Technologie als strategischer Erfolgsfaktor*. Berlin : de Gruyter, 1998
- Jänsch (2007)** Jänsch, J.: *Akzeptanz und Anwendung von Konstruktionsmethoden im industriellen Einsatz*. Düsseldorf : VDI, 2007 (Fortschrittsberichte VDI, R.1, Nr.396); zgl. Darmstadt, Techn. Univ., Diss.
- Jansson & Smith (1991)** Jansson, D. G. & Smith, S. M.: Design Fixation. In: *Design Studies* 12 (1991), Nr.1, S.3-11
- Kämmerer (2000)** Kämmerer, A.: Kreativität und Geschlecht. In: Holm-Hadulla (2000), S.301-327
- Keller & Binz (2009)** Keller, A. & Binz, H.: Requirements on Engineering Design Methodologies. In: *Int. Conf. on Engineering Design ICED* (Stanford 2009)
- Kelley (2002)** Kelley, T.: *Das IDEO Innovationsbuch – Wie Unternehmen auf neue Ideen kommen*. München : Econ, 2002
- Kim et al. (2006)** Kim, M. S., Kim, Y. S. & Lee, H. S.: Personal Creativity Modes and Perceived Creativity. In: *Int. Design Research Symp.* (Seoul 2006), S.115-129
- Klingel (1996)** Klingel, H.: In Mustern denken. In: VDI-Gesellschaft EKV (Veranst.): *Zukunftschance Produktentwicklung* (Dresden 1996). Düsseldorf : VDI-Verlag, 1996, S.31-40 (VDI-Berichte 1270)
- Knoblich & Öllinger (2006)** Knoblich, G. & Öllinger, M.: Einsicht und Umstrukturierung beim Problemlösen. In: Funke (2006)
- Köck & Willfort (2007)** Köck, A. M. und Willfort, R.: Creative Knowledge Work for Innovation. In: *ÖGAI Journal* 26 (2007) Nr.1, S.9-13

- Kohls & Scheiter (2008)** Kohls, C. und Scheiter, K., The Psychology of Patterns. In: *Pattern Languages of Programs PLoP* (Nashville 2008)
- Kohls & Uttecht (2009)** Kohls, C. & Uttecht, J.-G.: Lessons Learnt in Mining and Writing Design Patterns for Educational Interactive Graphics. In: *Computers in Human Behavior* 25 (2009), S.1040-1055
- Kroy (1984)** Kroy, W.: Abbau von Kreativitätshemmungen in Organisationen. In: Domsch, M. & Jochum, E. (Hrsg.): *Personal-Management in der industriellen Forschung und Entwicklung (F & E)*. Köln : Heymanns, 1984 (Forschung–Entwicklung – Innovation, Bd.1)
- Landau (1971)** Landau, E.: *Psychologie der Kreativität*. 2. Aufl. München : Ernst Reinhardt Verlag, 1971 (Psychologie und Person, Bd.17)
- Lea (1994)** Lea, D.: Christopher Alexander: An Introduction for Object-Oriented Designers. In: *ACM Software Engineering Notes* 19 (1994), Nr.1, S.39-46
- Leavitt (1983)** Leavitt, H.: Management and Management Education in the West: What's Right and What's Wrong? In: Tushman, M. L., O'Reilly, C. & Nadler, D. A. (Hrsg.): *The Management of Organizations: Strategies, Tactics, Analyses*. New York : Harper & Row, 1989, S.33-42 (entnommen aus London Business School Journal, 1983)
- Lee & Truex (2000)** Lee, J. & Truex, D. P.: Cognitive Complexity and Methodological Training: Enhancing or Suppressing Creativity. In: *33rd Hawaii Int. Conf. on System Sciences HICSS* (Maui 2000)
- Leuf & Cunningham (2001)** Leuf, B. & Cunningham, W.: *The Wiki Way – Quick Collaboration on the Web*. Boston : Addison-Wesley, 2001
- Liese (2003)** Liese, H.: *Wissensbasierte 3D-CAD Repräsentation*. Aachen : Shaker, 2004 (Forschungsberichte aus dem Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion, Bd.16); zgl. Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2003
- Lindemann (2007)** Lindemann, U.: *Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. 2. bearb. Aufl. Berlin : Springer, 2007
- Linsey et al. (2007)** Linsey, J. S., Laux, J., Clauss, E. F., Wood, K.L. & Markman, A. B.: Effects of Analogous Product Representation on Design-by-Analogy. In: *Int. Conf. on Engineering Design ICED* (Paris 2007)
- Marakas & Elam (1997)** Marakas, G. M. & Elam, J. J.: Creativity Enhancement in Problem Solving: Through Software or Process? In: *Management Science* 43 (1997), Nr.8, S.1136-1146
- Marsh et al. (1996)** Marsh, R. L., Landau, J. D. & Hicks, J. L.: How Examples may (and may not) Constrain Creativity. In: *Memory & Cognition* 24 (1996), Nr.5, S.669-680
- Marxt & Hacklin (2008)** Marxt, C. & Hacklin, F.: *Business Excellence in technologieorientierten Unternehmen*. Berlin : Springer, 2008
- Marz (2005)** Marz, J.: *Mikrospezifischer Produktentwicklungsprozess (μPEP) für werkzeuggebundene Mikrotechniken*. Karlsruhe, Univ., Fak. Maschinenbau, Diss., 2002 (IPEK Forschungsberichte ; Bd.17)
- Maslow (1966)** Maslow, A. H.: *The Psychology of Science: A Reconnaissance*. New York : Harper & Row, 1966
- Matthiesen (2002)** Matthiesen, S.: *Ein Beitrag zur Basisdefinition des Elementmodells "Wirkflächenpaare und Leitstützstrukturen" zum Zusammenhang von Funktion und Gestalt technischer Systeme*. Karlsruhe, Univ., Fak. Maschinenbau, Diss., 2002 (IPEK Forschungsberichte ; Bd.6)
- McAdams & Wood (2002)** McAdams, D. A. & Wood, K. L.: A Quantitative Similarity Metric for Design-by-Analogy. In: *Journal of Mechanical Design* 124 (2002), S.173-182
- McLaughlin (1993)** McLaughlin, S.: Emergent Value in Creative Products: Some Implications for Creative Processes. In: Gero & Maher (1993), S.43-89
- Meboldt (2008)** Meboldt, M.: *Mentale und formale Modellbildung in der Produktentstehung – als Beitrag zum integrierten Produktentstehungs-Modell (iPeM)*. Karlsruhe, Univ., Fak. Maschinenbau, Diss., 2008 (IPEK Forschungsberichte ; Bd.29)
- Mednick (1963)** Mednick, S. A.: Die assoziative Basis des kreativen Prozesses. In: Ulmann (1973), S.287-304 (Dt. Übersetzung entnommen aus Mednick, M. T. & Mednick, S. A. (Hrsg.): *Research in Personality* (1963), S.583-596)
- Meszaros & Doble (1998)** Meszaros, G. & Doble, J.: A Pattern Language for Pattern Writing. In:

- Martin, R. C., Riehle, D. & Buschmann, F. (Hrsg.): *Pattern Languages of Program Design 3*, Reading : Addison-Wesley, 1998, S.529-574
- Miller (1956)** Miller, G.A.: The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information. In: *Psychological Review* 63 (1956), S.81-97.
- Neudörfer (1980)** Neudörfer, A.: *Gesetzmäßigkeiten und systematische Lösungssammlungen der Anzeiger und Bedienteile – Ein Beitrag zum methodischen Konstruieren*. Darmstadt, Techn. Hochs., Fachb. Maschinenbau, Diss., 1980 (Düsseldorf ; VDI, 1981)
- Nijstad & Stroebe (2006)** Nijstad, B. A. & Stroebe, W.: How the Group Affects the Mind: A Cognitive Model of Idea Generation in Groups. In: *Personality and Social Psychology Review* 10 (2006), Nr.3, S.186-213
- North et al. (2000)** North, K., Romhardt, K. & Probst, G. (2000). Wissensgemeinschaften: Keimzellen lebendigen Wissensmanagements. In: *io Management* 69 (2000), Nr.7-8, S.52-62.
- North (2002)** North, K.: *Wissensorientierte Unternehmensführung*. 3. Aufl. Wiesbaden : Gabler, 2002
- OECD (2007)** OECD: *Education at a Glance 2007*.
<http://www.oecd.org/edu/eag2007> [07.08.2008]
- Oerding (2009)** Oerding, J.: *Ein Beitrag zum Modellverständnis in der Produktentstehung. Strukturierung von Zielsystemen mit Hilfe von C&CM*. Karlsruhe, Univ., Fak. Maschinenbau, Diss., 2009 (IPEK Forschungsberichte ; Veröffentlichung in Vorbereitung)
- Pahl & Beitz (1997)** Pahl, G. & Beitz, W.: *Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung*. 4. Neubearb. Aufl. Berlin : Springer, 1997
- Peters (2004)** Peters, S.: *Modell zur Beschreibung der kreativen Prozesse im Design unter Berücksichtigung der ingenieurtechnischen Semantik*. Duisburg-Essen, Univ., Fachb. 4 Gestaltung und Kunsterziehung, Diss., 2004
- Pietzcker (2004)** Pietzcker, F.: *Konstruktion lehren – Wirkung einer konstruktionsmethodischen Ausbildung auf das Konstruieren bei Studenten und Konstrukteuren*. Dresden, Techn. Univ., Fak. Mathematik, Diss., 2004
- Poincaré (1914)** Poincaré, H.: Die mathematische Erfindung. In: Ulmann (1973), S.219-229 (entnommen aus Poincaré, H.: *Wissenschaft und Methode*, Leipzig : Teubner, 1914)
- Popovic (2004)** Popovic, V.: Expertise Development in Product Design – Strategic and Domain-specific Knowledge Connections. In: *Design Studies* 25 (2004), S.527-545
- Prechelt (1997)** Prechelt, L.: *An Experiment on the Usefulness of Design Patterns: Detailed Description and Evaluation*. Karlsruhe, Univ., Fak. Informatik, Techn. Rep. 9/1997
- Prechelt & Unger (1999)** Prechelt, L. & Unger, B.: Methodik und Ergebnisse einer Experimentreihe über Entwurfsmuster. In: *Informatik Forsch. Entw.* 14 (1999), S.74-82
- Prechelt et al. (1997)** Prechelt, L., Unger, B. & Schmidt, D. C.: *Replication of the First Controlled Experiment on the Usefulness of Design Patterns: Detailed Description and Evaluation*. St. Louis, Washington Univ., Dept. Computer Science, Techn. Rep. wucs-97-34, 1997
- Prechelt et al. (2002)** Prechelt, L., Unger-Lamprecht, B., Philippsen, M. & Tichy, W. F.: Two Controlled Experiments Assessing the Usefulness of Design Pattern Documentation in Program Maintenance. In: *IEEE Transactions on Software Engineering* 28 (2002), Nr.6, S.595-606
- Preiser (1986)** Preiser, S.: *Kreativitätsforschung*. 2. Aufl. Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1986 (Erträge der Forschung; Bd. 61)
- Preiser (2006)** Preiser, S.: Kreativität. In: Schweizer (2006), S.51-67
- Probst et al. (2006)** Probst, G., Raub, S. & Romhardt, K.: *Wissen managen – Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen*. 5. überarb. Aufl. Wiesbaden : Gabler, 2006
- Reese et al. (2001)** Reese, H. W., Lee, L.-J., Cohen, S. H. & Puckett, J.M. Jr.: Effects of intellectual variables, age, and gender on divergent thinking in adulthood. In: *Int. Journal of Behavioral Development* 25 (2001), S.491-500
- Reichle (2006)** Reichle, M.: *Bewertungsverfahren zur Bestimmung des Erfolgspotenzials und des Innovationsgrades von Produktideen und Produkten*. Stuttgart, Univ., Fak. Maschinenbau, Diss., 2006 (IKTD Bericht ; Nr.527)
- Rhodes (1961)** Rhodes, M.: An Analysis of Creativity. In: *Phi Delta Kappan* (1961), S.305-310
- Ropohl (2009)** Ropohl, G.: *Allgemeine Technologie – Eine Systemtheorie der Technik*. 3. überarb.

- Aufl. Karlsruhe : Universitätsverlag, 2009
- Rosen & Ruzicka (1990)** Rosen, E. A. & Ruzicka, M. F.: What makes an Engineer creative? In: *IEEE Int. Engineering Management Conf.* (Santa Clara 1990), S.281-284
- Roth (1982)** Roth, K.: *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*. Berlin : Springer, 1982
- Runco (2004)** Runco, M. A.: Creativity. In: *Annual Review of Psychology* 55 (2004) S.657-687
- Runco (2007)** Runco, M. A.: *Creativity*. Burlington : Elsevier Academic Press, 2007
- Ruth & Birren (1985)** Ruth, J.-E. & Birren, J. E.: Creativity in Adulthood and Old Age: Relations to Intelligence, Sex and Mode of Testing. In: *Int. Journal of Behavioral Development* 8 (1985), S.99-109
- Rutz (1985)** Rutz, A.: *Konstruieren als gedanklicher Prozess*. München, Techn. Univ., Fak. Maschinenwesen, Diss., 1985
- Saak (2006)** Saak, M.: *Entwicklung eines Konzeptes und eines Prototypen für ein rechnergestütztes Werkzeug zum effizienten Einsatz der Problemlösungsmethodik ‚SPALTEN‘*. Karlsruhe, Fak. Maschinenbau, Diss., 2006 (IPEK Forschungsberichte, Bd. 23)
- Salustri (2001)** Salustri, F. A.: Using Design Patterns to Promote Multidisciplinary Design. In: *CSME Int. Conf. on Multi-disciplinary Design Engineering* (Montreal 2001)
- Salustri (2005)** Salustri, F. A.: Using Pattern Languages in Design Engineering. In: *Int. Conf. on Engineering Design ICED* (Melbourne 2005)
- Sawyer (2006)** Sawyer, R. K.: *Explaining Creativity – The Science of Human Innovation*. New York : Oxford University Press, 2006
- Schäfers (2007)** Schäfers, E.: *Die Kreativgesellschaft*. Göttingen : Cuvillier, 2007
- Schaub (2008)** Schaub, H.: Human Factors: Der Mensch als Problem und Problemlöser in sozio-technischen Systemen. In: Berliner Kreis (Veranst.): *Jahrestagung Berliner Kreis 2008* (München 2008)
– Vortrag
- Schlicksupp (1977)** Schlicksupp, H.: *Kreative Ideenfindung in der Unternehmung: Methoden und Modelle*. Berlin : de Gruyter, 1977 (Mensch und Organisation Bd. 2)
- Schlicksupp (1992)** Schlicksupp, H.: *Innovation, Kreativität und Ideenfindung*. 4. überarb. und erw. Aufl. Würzburg : Vogel, 1992 (Reihe Management)
- Schlicksupp (1993)** Schlicksupp, H.: *Kreativworkshop: Ideenfindungs-, Problemlösungs- und Innovationskonferenzen planen und veranstalten*. Würzburg : Vogel, 1993 (Reihe Management)
- Schneider (1985)** Schneider, J.: *Konstruktionskataloge in der Antriebstechnik*. Darmstadt, Techn. Hochs., Fachb. Maschinenbau, Diss., 1985 (Darmstadt : Hoppenstedt, 1986)
- Scholl (2004)** Scholl, W.: *Innovation und Information*. Göttingen : Hogrefe, 2004
- Schütt (2003)** Schütt, P.: The post-Nonaka Knowledge Management. In: *Journal of Universal Computer Science* 9 (2003), Nr.6, S.451-462
- Schuh et al. (2007)** Schuh, G., Lenders, M., Schöning, S.: *Mit Lean Innovation zu mehr Erfolg*. Aachen : RWTH (WZL), 2007 (ISBN 978-3-926690-12-8)
- Schuh et al. (2008a)** Schuh, G., Eversheim, W., Jung, M., Lenders, M. & Schöning, S.: ‚Lean Innovation‘ – ein Widerspruch in sich? In: Marxt & Hacklin (2008), S.13-20
- Schuh et al. (2008b)** Schuh, G., Lenders, M., Hieber, S.: Lean Innovation: Introducing Value Systems to Product Development. In: *PICMET* (Kapstadt 2008), S.1129-1136
- Schuler & Görlich (2007)** Schuler, H. & Görlich, Y.: *Kreativität – Ursachen, Messung, Förderung und Umsetzung in Innovation*. Göttingen : Hogrefe, 2007
- Schumpeter (1912)** Schumpeter, J.: *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*. Röpke, J. & Stiller, O. (Hrsg.) Berlin: Duncker & Humblot, 2006 (Nachdruck der 1. Aufl. von 1912)
- Schumpeter (1952)** Schumpeter, J.: *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*. 5. Aufl. Berlin : Duncker & Humblot, 1952
- Schwabe et al. (2001)** Schwabe, G., Streit, N. & Unland, R. (Hrsg.): *CSCW-Kompodium: Lehr und Handbuch zum computerunterstützten kooperativen Arbeiten*. Berlin : Springer, 2001
- Schweizer (2006)** Schweizer, K. (Hrsg.): *Leistung und Leistungsdiagnostik*. Heidelberg : Springer Medizin Verlag, 2006

- Segler (2000)** Segler, T.: Kreativitätsförderung im Unternehmen. In: Holm-Hadulla (2000), S.77-108
- Shneiderman (2000)** Shneiderman, B.: Creating Creativity: User Interfaces for Supporting Innovation. In: *ACM Transact. on Computer-Human Interaction* 7 (2000), Nr.1, S.114-138
- Sicotte & Bourgault (2008)** Sicotte, H. & Bourgault, M.: Dimensions of Uncertainty and their Moderating Effect on New Product Development Project Performance. In: *R&D Management* 38 (2008), Nr.5, S.468-479
- Sieverts (1997)** Sieverts, T.: Wiedergelesen: Kevin Lynch und Christopher Alexander. In: Inst. für ORL (Hrsg.): *DISP – Dokumente und Informationen zur Schweizerischen Orts-, Regional- und Landesplanung* (1997), H.129. Zürich : ETHZ
- Singer & Adkins (1984)** Singer, J. F. & Adkins, R. D.: Managing for Creativity in Consulting Engineering. In: *Engineering Management Int.* 2 (1984), S.251-270
- Sommer & Grosser (1996)** Sommer, K.-H. & Grosser, H.: Erschließung von Kreativitätspotentialen. In: Bullinger & Warnecke (1996), S.878-888
- Sowizral (1987)** Sowizral, H. A.: Design Methodology for Object-Oriented Programming. Panel Session. In: *Conf. on Object-Oriented Programs, Systems, Languages, and Applications OOPSLA* (Orlando 1987), S.91-95
- Spath (2001)** Spath, D. (Hrsg.): *Vom Markt zum Produkt – Impulse für die Innovationen von morgen*. Stuttgart : LOG_X, 2001
- Specht et al. (2002)** Specht, G., Beckmann, C. & Amelingmeyer, J.: *F&E-Management: Kompetenz im Innovationsmanagement*. 2. Aufl. Stuttgart : Schäffer-Pöschel, 2002
- Sternberg (1988a)** Sternberg, R. J. (Hrsg.): *The Nature of Creativity*. Cambridge : Cambridge Univ. Press, 1988
- Sternberg (1988b)** Sternberg R. J.: A three-facet Model of Creativity. In: Sternberg (1988a), S.125-147
- Sternberg (1999)** Sternberg R. J. (Hrsg.) *Handbook of Creativity*. Cambridge : Cambridge Univ. Press, 1999
- Stroebe & Nijstad (2004)** Stroebe, W. & Nijstad, B. A.: Warum Brainstorming in Gruppen Kreativität vermindert: Eine kognitive Theorie der Leistungsverluste beim Brainstorming. In: *Psychologische Rundschau* 54 (2004), Nr.1, S.2-10
- Süssmann (2000)** Süssmann, J.: *Geschichtsschreibung oder Roman. Zur Konstitutionslogik von Geschichtenerzählungen zwischen Schiller und Ranke*. Stuttgart : Steiner, 2000
- Taylor (1998)** Taylor, P.: Capable, Productive and Satisfied – Patterns for Productivity. In: *Pattern Languages of Programs PLoP* (Allerton Park, Monticello 1998)
- Tidwell (1998)** Tidwell, J.: Interaction Design Patterns. In: *Pattern Languages of Programs PLoP* (Allerton Park, Monticello 1998)
- Torrance (1988)** Torrance, E. P.: Creativity as Manifest in Testing. In: Sternberg (1988a), S.43-75
- Toutenburg & Köpfel (2009)** Toutenburg, H. & Köpfel, P.: *Six Sigma – Methoden und Statistik für die Praxis*. 2. Auf. Berlin : Springer, 2009
- Tseng et al. (2008)** Tseng, I., Moss, J., Cagan, J. & Kotovsky, K.: The Role of Timing and Analogical Similarity in the Stimulation of Idea Generation in Design. In: *Design Studies* 29 (2008), S.203-221
- Ulmann (1973)** Ulmann, G. (Hrsg.): *Kreativitätsforschung*. Köln : Kiepenheuer & Witsch, 1973 (Neue Wissenschaftliche Bibliothek 53 Psychologie)
- Ulrich (1981)** Ulrich, H.: Die Betriebswirtschaftslehre als anwendungsorientierte Sozialwissenschaft. In: Geist, M. & Köhler, R. (Hrsg.): *Die Führung des Betriebes*. Stuttgart : Pöschel, 1981, S.1-25
- Ulrich (2001)** Ulrich, H.: *Systemorientiertes Management: Das Werk von Hans Ulrich*. Bern : Haupt, 2001 (Studienausgabe, Stiftung zur Förderung der Systemorientierten Managementlehre, St. Gallen)
- Ulrich & Hill (1979)** Ulrich, P. & Hill, W.: Wissenschaftstheoretische Aspekte ausgewählter betriebswirtschaftlicher Konzeptionen. In: Raffée, H. & Abel, B. (Hrsg.): *Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften*. München : Vahlen, 1979, S.161-190
- Unger-Lamprecht (2000)** Unger-Lamprecht, B.: *Experimentelle Bewertung der Auswirkungen von Entwurfsmustern*. Karlsruhe, Univ., Fak. Informatik, Diss., 2000

- Unger & Eppinger (2009)** Unger, D. W. & Eppinger, S. D.: Comparing Product Development Processes and Managing Risk. In: *Int. J. Product Development* 8 (2009), Nr.4, S.382-402
- Vanhaverbeke & Cloodt (2006)** Vanhaverbeke, W. & Cloodt, M.: Open Innovation in Value Networks. In: Chesbrough et al. (2006), S.258-281
- VDI2218** Verein Deutscher Ingenieure: *Richtlinie 2218, Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung – Feature-Technologie*. Berlin : Beuth, 2003
- VDI2220** Verein Deutscher Ingenieure: *Richtlinie 2220, Produktplanung – Ablauf, Begriffe und Organisation*. Berlin : Beuth, 1980
- VDI2221** Verein Deutscher Ingenieure: *Richtlinie 2221, Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Berlin : Beuth, 1993
- VDI2223** Verein Deutscher Ingenieure: *Richtlinie 2223, Methodisches Entwerfen technischer Produkte*. Berlin : Beuth, 2004
- VDI2247** Verein Deutscher Ingenieure: *Richtlinie 2247, Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung*. Berlin : Beuth, 1994 (Entwurf)
- VDI5610** Verein Deutscher Ingenieure: *Richtlinie 5610, Wissensmanagement im Ingenieurwesen*. Berlin : Beuth, 2009
- VDI/IW (2008)** VDI Verein Deutscher Ingenieure / Institut der deutschen Wirtschaft Köln (Hrsg.): *Ingenieurlücke in Deutschland - Ausmaß, Wertschöpfungsverluste und Strategien*. April 2008. http://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur/dps_bilder/D-PS/2008/Studie_Ingenieurluecke_VDI-IW.pdf [07.08.2008]
- Volkman (2001)** Volkman, M.: Marktorientierung und methodische Unterstützung von (Neu-)Produktentwicklungsprozessen in der Praxis. In: Spath (2001), S.35-49
- Wahren (2004)** Wahren, H.: *Erfolgsfaktor Innovation*. Berlin : Springer, 2004
- Wahrig (2002)** Wahrig, G., Wahrig-Burfeind, R. (Hrsg.): *Deutsches Wörterbuch*. 7. Aufl. Gütersloh : Wissen Media Verlag, 2002
- Wallas (1927)** Wallas, G.: *The Art of Thought*. London : Jonathan Cape, 1927
- Walthall et al. (2009)** Walthall, C., Sauter, C. Deigendesch, T., Devanathan, S., Albers, A. & Ramani, K.: Survey of Wikis as a Design Tool. In: *Int. Conf. on Engineering Design ICED* (Stanford 2009)
- Ward et al. (1999)** Ward, T. B., Smith, S. M. & Finke, R. A.: Creative Cognition. In: Sternberg (1999), S.189-211
- Watty (2006)** Watty, R.: *Methodik zur Produktentwicklung in der Mikrosystemtechnik*. Stuttgart, Univ., Fak. Maschinenbau, Diss., 2006 (IKTD Bericht ; Nr.533)
- Watty & Binz (2005)** Watty, R. & Binz, H.: Design for manufacturing and Integration of Micro-Electro-Mechanical-Systems. . In: *Int. Conf. on Engineering Design ICED* (Melbourne 2005)
- Weerasinghe & Salustri (2007)** Weerasinghe, J. S. & Salustri, F. A.: Use of Wikis as an Engineering Collaborative Tool. In: *Int. Conf. on Engineering Design ICED* (Paris 2007)
- Weisberg (1988)** Weisberg, R. W.: Problem Solving and Creativity. In: Sternberg (1988a), S.148-176
- Weisberg (1999)** Weisberg, R. W.: Creativity and Knowledge: A Challenge to Theories. In: Sternberg (1999), S.226-250
- Weiß (2006)** Weiß, S.: *Konzept und Umsetzung eines Navigators für Wissen in der Produktentwicklung*. Düsseldorf : VDI, 2006 (Fortschrittsberichte VDI, R.1, Nr.386); zgl. Darmstadt, Techn. Univ., Diss.
- Weller et al. (2007)** Weller, T., Binz, H. & Overkamp, J.: Sensitivity Analysis of an Evaluation Method for the Determination of the Success Potential and the Degree of Innovation. In: *Int. Conf. on Engineering Design ICED* (Paris 2007)
- Welling (2007)** Welling, H.: Four Mental Operations in Creative Cognition: The Importance of Abstraction. In: *Creativity Research Journal* 19 (2007), Nr.2-3, S.163-177
- Wersig (1996)** Wersig, G.: *Die Komplexität der Informationsgesellschaft*. Konstanz : UVK, 1996
- Wertheimer (1945)** Wertheimer, M.: *Produktives Denken*. 2. Aufl. Frankfurt : Kramer, 1964 (Dt. Übers. von Metzger, W.)
- Westmeyer (2008)** Westmeyer, H.: Das Kreativitätskonstrukt. In: Dresler & Baudson (2008), S.21-30
- Willfort et al. (2007)** Willfort, R., Tochtermann, K. und Neubauer, A. (Hrsg.): *creativity@work – Kreative Höchstleistungen am Wissensarbeitsplatz auf Basis neuester Erkenntnisse der*

- Gehirnforschung*. Aachen : Shaker, 2007
- Williams (1983)** Williams, R.: *Keywords – A Vocabulary of Culture and Society*. 1. überarb. Aufl. NewYork : Oxford UP, 1983
- Winn & Calder (2002)** Winn, T. & Calder, P.: Is This a Pattern? In: *IEEE Software* 19 (2002), Nr.1, S.59-66
- WiWo (2006)** N.N.: Kreativität. In: *WirtschaftsWoche* (2006) Nr.40, S.77-94 (Ausg. v. 02.10.2006)
-
- @E-LEN** Rusman, E., Lutgens, G. & Ronteltap, F.: *The production of e-learning design patterns, and a research road map for e-learning*, 2005.
<http://www2.tisip.no/E-LEN/> [22.01.2009]
- @pedagogicalpatterns** *The Pedagogical Patterns Project*.
<http://www.pedagogicalpatterns.org/> [03.02.2009]
- @Cunningham** Cunningham, W.: *WikiHistory*.
<http://www.c2.com/cgi/wiki?WikiHistory> [02.02.2009]
- @DokuWiki** Gohr, A.: *DokuWiki Manual*.
<http://www.dokuwiki.org/manual> [02.09.2009]
- @GINA** *Verbundprojekt Ganzheitliche Innovationsprozesse in modularen Unternehmensnetzwerken (GINA): Methodenindex Methodos*.
<http://www.gina-net.de/> [02.08.2009]
- @Hillside** The Hillside Group: *The Pattern Languages of Programs Conference*
<http://hillside.net/plop/pastconferences.html> [02.02.2009]
- @MAP** Universität Karlsruhe, IMI: *Vom Markt zum Produkt*.
<http://imihome.imi.uni-karlsruhe.de/map.html> [02.08.2009]
- @Tidwell** Tidwell, J.: *Common Ground: A Pattern Language for Human-Computer Interface Design*. 1999.
http://www.mit.edu/~jtidwell/ui_patterns_essay.html [02.01.2009]

Anhang

Anhang 1 Methoden zur Entwicklung alternativer Lösungen

Vom Markt zur Produktidee - Produktideen generieren		
Produktideen generieren		
Ideen unternehmensintern finden	Ideen unternehmensextern finden	
<ul style="list-style-type: none"> • Methode 635 • Synektik • Galerie- Methode • Brainstorming • Mind- Maps • Morphologische Methoden • Laterales Denken 	<ul style="list-style-type: none"> • Blitzlicht • Gesprächstechniken • Moderation • Kartenabfrage • T-Wand • Zurufliste • Walt Disney Strategie • mkl-Meta- Mind 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitatives Interview • Gruppendiskussion • Lead User Analyse • Konventionelle Literaturrecherche • Rechnergestützte Literaturrecherche • Patentanalyse • Blitzlicht • Gesprächstechniken • Moderation • Kartenabfrage • T-Wand • Zurufliste • Walt Disney Strategie • Shadowing

Von der Produktidee zum Produktkonzept - Produkt technisch konzipieren		
Produktfunktionen und deren Strukturen ermitteln		
Vorfixierungen vermeiden	Produktfunktionen ableiten	
<ul style="list-style-type: none"> • Abstraktion der Aufgabenstellung 	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionenanalyse • Methode 635 • mkl-Meta- Mind • Galerie-Methode • Mind- Maps • T-Wand 	<ul style="list-style-type: none"> • Brainstorming • Analogiebildung • Analyse bekannter technischer Systeme • Moderation

Lösungsprinzipien für Teilfunktionen und deren Strukturen suchen			Lösungsprinzipien zu Konzeptvarianten kombinieren	
Lösungsmöglichkeiten recherchieren	Lösungsmöglichkeiten intuitiv finden	Lösungsmöglichkeiten diskursiv finden	Lösungsprinzipien visualisieren	Lösungsprinzipien kombinieren
<ul style="list-style-type: none"> • Informationen über Technologietransferstellen • Rechnergestützte Literaturrecherche • Konventionelle Literaturrecherche • Patentanalyse • Bionik 	<ul style="list-style-type: none"> • Mind Maps • Brainstorming • mkl-Meta- Mind • Methode 635 • Laterales Denken • Galerie- Methode • Synektik • Analogiebildung • Moderation • T-Wand • Kartenabfrage • Zurufliste 	<ul style="list-style-type: none"> • Morpholog. Kasten • TRIZ (ARIS) • Ordnungsschemata • Systemat. Variation vorhandener Merkmale • Analyse bekannter technischer Systeme • Konstruktionskatalog • Systematische Untersuchung des physikalischen Geschehens 	<ul style="list-style-type: none"> • Morpholog. Kasten • Morphologische Methoden • Ordnungsschemata 	<ul style="list-style-type: none"> • Morpholog. Kasten • Morphologische Methoden

Vom Produktkonzept zum Produkt - Produkt entwickeln				
Produkt entwerfen				
Nachfolgende Gestaltungsschritte strukturieren	Maßgebende Module gestalten	Wesentliche Fertigungs- und Montage-	Gesamtprodukt gestalten	
<ul style="list-style-type: none"> • FMEA • Morpholog. Kasten • Morphologische Methoden 	<ul style="list-style-type: none"> • Grundregeln der Gestaltung • Gestaltungsprinzipien • Gestaltungsrichtlinien • Leitlinie beim Gestalten 	<ul style="list-style-type: none"> • Fertigungsgerechte Konstruktion • Montagegerechte Konstruktion • Recyclinggerechte Konstruktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Grundregeln der Gestaltung • Gestaltungsprinzipien • Gestaltungsrichtlinien • Leitlinie beim Gestalten 	

Quelle: MAP-Tool, Vom Markt zum Produkt, <http://imihome.imi.uni-karlsruhe.de/map.html> [20.08.2009]
 Auszug ohne Bewertungsmethoden, Anforderungsermittlung, Marketing, Produktionsplanung, Produktion, Wirtschaftlichkeit

Anhang 2 Beispiel Architekturmuster

Quelle: Alexander & Czech (1995), S. 526ff.

Fußgängerstraße **

... die früheren Muster - PROMENADE (31), EINKAUFSTRASSE (32) und NETZ VON FUSS- UND FAHRWEGEN (52) - erfordern alle dichte Fußgängerstraßen; ebenso REIHENHÄUSER(38), WOHNHÜGEL (39), UNIVERSITÄT ALS OFFENER MARKT (43), MARKT MIT VIELEN GESCHÄFTEN (46); innerhalb des GEBÄUDE-KOMPLEXES (95) erfordert ORIENTIERUNG DURCH BEREICHE (98) dasselbe. Beim Anlegen einer Fußgängerstraße sollte man sich vergewissern, dass sie ein NETZ VON FUSS- UND FAHRWEGEN (52), ERHÖHTE GEHWEGE (55) und ORIENTIERUNG DURCH BEREICHE (98) in der Stadt bewirkt.



Der einfache soziale Kontakt, der entsteht, wenn Leute einander auf der Straße treffen, ist eine der wesentlichsten Arten des sozialen "Klebstoffs" der Gesellschaft.

In der heutigen Gesellschaft fehlt diese Situation und damit dieser Klebstoff weitgehend, und zwar deshalb, weil so viele der tatsächlichen Bewegungsvorgänge in Innengängen und Eingangshallen stattfinden, statt im Freien. Das liegt teilweise daran, dass die Autos die Straßen eingenommen und unwirtlich gemacht haben, und teilweise daran, dass die in Reaktion darauf gebauten Gänge dasselbe bewirken. Der Effekt ist doppelt schädlich.

Er ist schädlich, weil Eingangshallen und Gänge im Gebäudeinneren meist tot sind. Das liegt zum Teil daran, dass Innenraum nicht so öffentlich ist wie Außenraum; und zum Teil daran, dass in einem Geschößbau die Verkehrsdichte auf jedem Gang geringer ist als auf einem öffentlichen Weg im Freien. Es ist daher unangenehm, sogar zermürend, sie zu benutzen; die Leute darin befinden sich nicht in einem Zustand, soziale Kontakte herzustellen oder darauf einzugehen.

Um den durch Verkehr gegebenen sozialen Kontakt in der Öffentlichkeit so weit wie möglich wieder herzustellen, muss der Verkehr zwischen Räumen, Büros, Abteilungen, Gebäuden tatsächlich im Freien stattfinden, auf gedeckten Wegen, in Arkaden, Gassen, Straßen, die wirklich öffentlich und von den Autos getrennt sind. Einzelne Gebäudeflügel, kleine Gebäude, Abteilungen müssen wo immer möglich eigene Eingänge haben – sodass die Zahl der Eingänge an der Straße zunimmt und wieder Leben in die Straße kommt.

Kurz, die Lösung der zwei erwähnten Probleme – die von Autos beeinträchtigten Straßen und die leeren Gänge – ist die Fußgängerstraße. Fußgängerstraßen werden sowohl benützt, um von Auto, Bus oder Bahn zum Zielort zu kommen, als auch als direkte Verbindung zwischen Wohnungen, Geschäften, Büros, Behörden und Schulen.

Um richtig zu funktionieren, brauchen Fußgängerstraßen zwei bestimmte Eigenschaften. Erstens natürlich keine Autos: aber häufige Kreuzungen mit Verkehrsstraßen, siehe NETZ VON FUSS- UND FAHRWEGEN (52): Lieferungen und andere Tätigkeiten, für die Autos und Lastwagen in die Fußgängerstraßen einfahren müssen, können auf die frühen Morgenstunden beschränkt werden, wenn die Straßen verlassen sind. Zweitens muss die Planung von Gebäuden entlang Fußgängerstraßen so weit wie möglich auf innere Stiegen, Gänge und Vorhallen verzichten, damit möglichst viel Verkehr im Freien bleibt. Es entsteht eine Straße, die gesäumt ist von Treppen, die von den oberen Räumen und Büros direkt herunterführen, und von vielen, vielen Eingängen, die die Straße zusätzlich beleben.

Schließlich sollte man darauf hinweisen, dass die angenehmsten Fußgängerstraßen jene sind, deren Breite die Höhe der umliegenden Gebäude nicht übersteigt. (Siehe "Vehicle free zones in city centers", International Brief Nr. 16, U.S. Department of Housing and Urban Development, Office of International Affairs, Juni 1972.)

Daraus folgt:

Leg Gebäude so an, dass sie Fußgängerstraßen bilden: mit vielen Eingängen und offenen, direkt von den oberen Stockwerken zur Straße führenden Treppen, so dass auch Wege zwischen einzelnen Räumen – nicht nur zwischen Gebäuden – im Freien zurückgelegt werden.



Die Straße wird keinesfalls funktionieren, wenn ihre Gesamtfläche nicht so klein ist, dass sie von den Fußgängern gefüllt wird - FUSSGÄNGERDICHTE (123). Leg entlang der Straße häufig Eingänge und offene Treppen an; vermeid innere Gänge, um die Leute herauszubringen; diese Eingänge sollten eine gewisse Zusammengehörigkeit haben und als System betrachtet werden können – FAMILIE VON EINGÄNGEN (102), OFFENE TREPPEN (158); die Leute sollten Innen- und Außenräume mit Blick auf die Straße haben – PRIVATTERRASSE AN DER STRASSE (140), STRASSENFENSTER (164), ÖFFNUNG ZUR STRASSE (165), DIE GALERIE RUNDHERUM (166), ZWEI-METER-BALKON (167); und die Straße sollte raumbildende Form haben - ARKADEN (119), DIE FORM VON WEGEN (121). ...

Anhang 3 Beispiel Software-Muster

Quelle: Gamma et al. (1995), S.87ff.

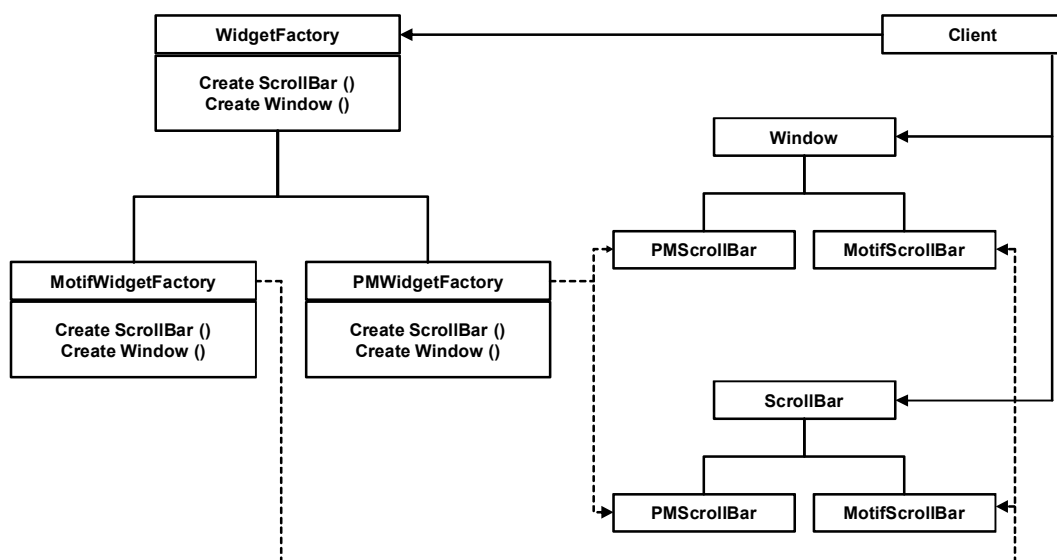
Abstract Factory

Intent: Provide an interface for creating families of related or dependent objects without specifying their concrete classes.

Also Known As: Kit

Motivation: Consider a user interface toolkit that supports multiple look-and-feel standards, such as Motif and Presentation Manager. Different look-and-feels define different appearances and behaviors for user interface "widgets" like scroll bars, windows, and buttons. To be portable across look-and-feel standards, an application should not hard-code its widgets for a particular look and feel. Instantiating look-and-feel-specific classes of widgets throughout the application makes it hard to change the look and feel later.

We can solve this problem by defining an abstract WidgetFactory class that declares an interface for creating each basic kind of widget. There's also an abstract class for each kind of widget, and concrete subclasses implement Widgets for specific look-and-feel standards. WidgetFactory's interface has an operation that returns a new widget object for each abstract Widget class. Clients call these operations to obtain widget instances, but clients aren't aware of the concrete classes they're using. Thus clients stay independent of the prevailing look and feel.



Each subclass implements the operations to create the appropriate Widget for the look and feel. For example, the `CreateScrollBar` operation on the **MotifWidgetFactory** instantiates and returns a Motif scroll bar, while the corresponding operation on the **PMWidgetFactory** returns a scroll bar for Presentation Manager. Clients create wid-

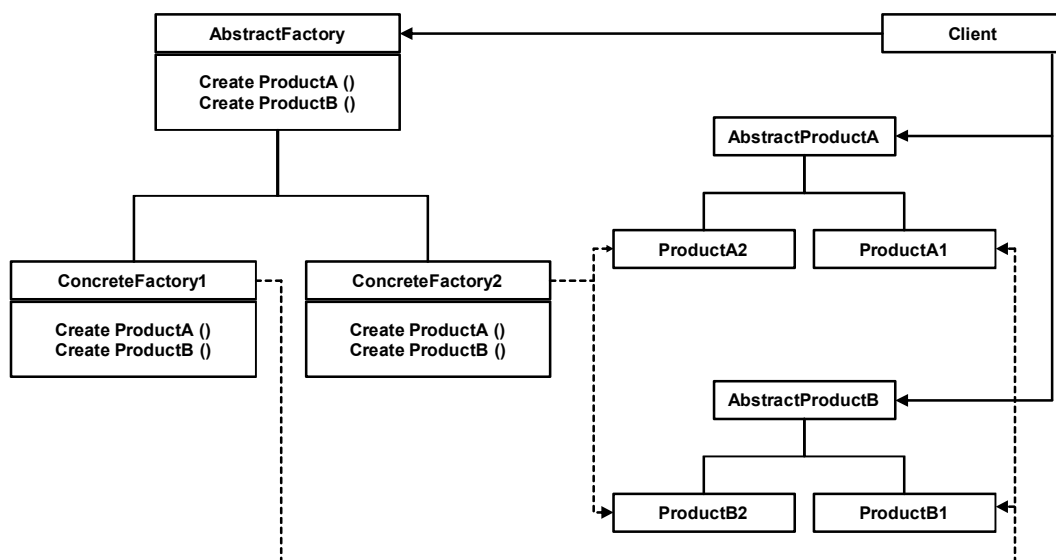
gets solely through the WidgetFactory interface and have no knowledge of the classes that implement widgets for a particular look and feel. In other words, clients only have to commit to an interface defined by an abstract class, not a particular concrete class.

A WidgetFactory also enforces dependencies between the concrete Widget classes. A Motif scroll bar should be used with a Motif button and a Motif text editor, and that constraint is enforced automatically as a consequence of using a MotifWidgetFactory.

Applicability: Use the Abstract Factory pattern when

- a system should be independent of how its products are created, composed, and represented.
- a system should be configured with one of multiple families of products.
- a family of related product objects is designed to be used together, and you need to enforce this constraint.
- you want to provide a class library of products, and you want to reveal just their interfaces, not their implementations

Structure:



Participants:

- AbstractFactory (WidgetFactory): declares an interface for operations that create abstract product objects.
- ConcreteFactory (MotifWidgetFactory, PMWidgetFactory): implements the operations to create concrete product objects.

- **AbstractProduct** (Window, ScrollBar): declares an interface for a type of product object.
- **ConcreteProduct** (MotifWindow, MotifScrollBar): defines a product object to be created by the corresponding concrete factory; implements the **AbstractProduct** interface.
- **Client**: uses only interfaces declared by **AbstractFactory** and **AbstractProduct** classes.

Collaborations:

- Normally a single instance of a **ConcreteFactory** class is created at run-time. This concrete factory creates product objects having a particular implementation. To create different product objects, clients should use a different concrete factory.
- **AbstractFactory** defers creation of product objects to its **ConcreteFactory** subclass.

Consequences: The Abstract Factory pattern has the following benefits and liabilities:

1. It isolates concrete classes. The Abstract Factory pattern helps you control the classes of objects that an application creates. Because a factory encapsulates the responsibility and the process of creating product objects, it isolates clients from implementation classes. Clients manipulate instances through their abstract interfaces. Product class names are isolated in the implementation of the concrete factory; they do not appear in client code.
2. It makes exchanging product families easy. The class of a concrete factory appears only once in an application—that is, where it's instantiated. This makes it easy to change the concrete factory an application uses. It can use different product configurations simply by changing the concrete factory. Because an abstract factory creates a complete family of products, the whole product family changes at once. In our user interface example, we can switch from Motif widgets to Presentation Manager widgets simply by switching the corresponding factory objects and recreating the interface.
3. It promotes consistency among products. When product objects in a family are designed to work together, it's important that an application use objects from only one family at a time. **AbstractFactory** makes this easy to enforce.
4. Supporting new kinds of products is difficult. Extending abstract factories to produce new kinds of Products isn't easy. That's because the **AbstractFactory**

interface fixes the set of products that can be created. Supporting new kinds of products requires extending the factory interface, which involves changing the `AbstractFactory` class and all of its subclasses. We discuss one solution to this problem in the Implementation section.

Implementation: Here are some useful techniques for implementing the Abstract Factory pattern.

1. Factories as singletons. An application typically needs only one instance of a `ConcreteFactory` per product family. So it's usually best implemented as a Singleton (127).
2. Creating the products. `AbstractFactory` only declares an interface for creating products. It's up to `ConcreteProduct` subclasses to actually create them. The most common way to do this is to define a factory method (see Factory Method (107)) for each product. A concrete factory will specify its products by overriding the factory method for each. While this implementation is simple, it requires a new concrete factory subclass for each product family, even if the product families differ only slightly.

If many product families are possible, the concrete factory can be implemented using the Prototype (117) pattern. The concrete factory is initialized with a prototypical instance of each product in the family; and it creates a new product by cloning its prototype. The Prototype-based approach eliminates the need for a new concrete factory class for each new product family.

Here's a way to implement a Prototype-based factory in Smalltalk. The concrete factory stores the prototypes to be cloned in a dictionary called `partCatalog`. The method `make:` retrieves the prototype and clones it:

```
make: partName
    ^ (partCatalog at: partName) copy
```

The concrete factory has a method for adding parts to the catalog.

```
addPart: partTemplate named: partName
    partCatalog at: partName put: partTemplate
```

Prototypes are added to the factory by identifying them with a symbol:

```
aFactory addPart: aPrototype named: #ACMEWidget
```

A variation on the Prototype-based approach is possible in languages that treat classes as first-class objects (Smalltalk and Objective C, for example). You can think of a class in these languages as a degenerate factory that

creates only one kind of product. You can store classes inside a concrete factory that create the various concrete products in variables, much like prototypes. These classes create new instances on behalf of the concrete factory. You define a new factory by initializing an instance of a concrete factory with classes of products rather than by subclassing. This approach takes advantage of language characteristics, whereas the pure Prototype-based approach is language-independent.

Like the Prototype-based factory in Smalltalk just discussed, the class-based version will have a single instance variable `partCatalog`, which is a dictionary whose key is the name of the part. Instead of storing prototypes to be cloned, `partCatalog` stores the classes of the products. The method `make` : now looks like this:

```
make: partName
    ^ (partCatalog at: partName) new
```

3. Defining extensible factories. `AbstractFactory` usually defines a different operation for each kind of product it can produce. The kinds of products are encoded in the operation signatures. Adding a new kind of product requires changing the `AbstractFactory` interface and all the classes that depend on it.

A more flexible but less safe design is to add a parameter to operations that create objects. This parameter specifies the kind of object to be created. It could be a class identifier, an integer, a string, or anything else that identifies the kind of product. In fact with this approach, `AbstractFactory` only needs a single "Make" operation with a parameter indicating the kind of object to create. This is the technique used in the Prototype- and the class-based abstract factories discussed earlier.

This variation is easier to use in a dynamically typed language like Smalltalk than in a statically typed language like C++. You can use it in C++ only when all objects have the same abstract base class or when the product objects can be safely coerced to the correct type by the client that requested them. The implementation section of *Factory Method* (107) shows how to implement such parameterized operations in C++.

But even when no coercion is needed, an inherent problem remains: All products are returned to the client with the same abstract interface as given by the return type. The client will not be able to differentiate or make safe assumptions about the class of a product. If clients need to perform subclass-specific operations, they won't be accessible through the abstract interface. Although

the client could perform a downcast (e.g., with dynamic-cast in C++), that's not always feasible or safe, because the downcast can fail. This is the classic trade-off for a highly flexible and extensible interface.

Sample Code: We'll apply the Abstract Factory pattern to creating the mazes we discussed the beginning of this chapter. Class `MazeFactory` can create components of mazes. It builds rooms, walls, and doors between rooms. It might be used by a program that reads plans for mazes from a file and builds the corresponding maze. Or it might be used by a program that builds mazes randomly. Programs that build mazes take a `MazeFactory` as an argument so that the programmer can specify the classes of rooms, walls, and doors to construct.

```
class MazeFactory {
public:
    MazeFactory() ;.
    virtual Maze* MakeMaze() const
        { return new Maze; }
    virtual Wall* MakeWall() const
        { return new Wall; }
    virtual Room* MakeRoom(int n) const
        { return new Room(n); }
    virtual Door* MakeDoor(Room* r1, Room* r2) const
        { return new Door(r1, r2); }
};
```

Recall that the member function `CreateMaze` builds a small maze consisting of two rooms with a door between them. `CreateMaze` hard-codes the class names, making it difficult to create mazes with different components. Here's a version of `CreateMaze` that remedies that shortcoming by taking a `MazeFactory` as a parameter:

```
Maze* MazeGame::CreateMaze (MazeFactory& factory) {
    Maze* aMaze = factory.MakeMaze() ;
    Room* r1 = factory.MakeRoom(1) ;
    Room* r2 = factory.MakeRoom(2) ;
    Door* aDoor = factory.MakeDoor(r1, r2) ;
    aMaze->AddRoom(r1) ;
    aMaze->AddRoom(r2) ;
    r1->SetSide(North, factory.MakeWall()) ;
    r1->SetSide(East, aDoor) ;
    r1->SetSide(South, factory.MakeWall()) ;
    r1->SetSide(West, factory.MakeWall()) ;
    r2->SetSide(North, factory.MakeWall()) ;
    r2->SetSide(East, factory.MakeWall());
    r2->SetSide(South, factory.MakeWall());
    r2->SetSide(West, aDoor);
    return aMaze;
}
```

We can create `EnchantedMazeFactory`, a factory for enchanted mazes, by subclassing `MazeFactory`. `EnchantedMazeFactory` will override different member functions and return different subclasses of `Room`, `Wall`, etc.

```
class EnchantedMazeFactory : public MazeFactory {
public:
    EnchantedMazeFactory() ;
    virtual Room* MakeRoom(int n) const
        { return new EnchantedRoom(n, CastSpell() ; }
    virtual Door* MakeDoor(Room* r1, Room* r2) const
        { return new DoorNeedingSpell(r1, r2) ; }
protected:
    Spell* CastSpell() const ;
} ;
```

Now suppose we want to make a maze game in which a room can have a bomb set in it. If the bomb goes off, it will damage the walls (at least). We can make a subclass of `Room` keep track of whether the room has a bomb in it and whether the bomb has gone off. We'll also need a subclass of `Wall` to keep track of the damage done to the wall. We'll call these classes `RoomWithABomb` and `BombedWall`.

The last class we'll define is `BombedMazeFactory`, a subclass of `MazeFactory` that ensures walls are of class `BombedWall` and rooms are of class `RoomWithABomb`. `BombedMazeFactory` only needs to override two functions:

```
Wall* BombedMazeFactory: :MakeWall () const {
    return new BombedWall ;
}
Room* BombedMazeFactory: :MakeRoom(int n) const {
    return new RoomWithABomb(n);
}
```

To build a simple maze that can contain bombs, we simply call `CreateMaze` with a `BombedMazeFactory`.

```
MazeGame game ;
BombedMazeFactory factory ;
game.CreateMaze(factory) ;
```

`CreateMaze` can take an instance of `EnchantedMazeFactory` just as well to build enchanted mazes.

Notice that the `MazeFactory` is just a collection of factory methods. This is the most common way to implement the Abstract Factory pattern. Also note that `MazeFactory` is not an abstract class; thus it acts as both the `AbstractFactory` and the `ConcreteFactory`. This is another common implementation for simple applications of the Abstract Factory pattern. Because the `MazeFactory` is a concrete class consisting entire-

ly of factory methods, it's easy to make a new MazeFactory by making a subclass and overriding the operations that need to change.

CreateMaze used the SetSide operation on rooms to specify their sides. If it creates rooms with a BombedMazeFactory, then the maze will be made up of RoomWithABomb objects with BombedWall sides. If RoomWithABomb had to access a subclass-specific member of BombedWall, then it would have to cast a reference to its walls from Wall * to BombedWall *. This downcasting is safe as long as the argument is in fact a BombedWall, which is guaranteed to be true if walls are built solely with a BombedMazeFactory.

Dynamically typed languages such as Smalltalk don't require downcasting, of course, but they might produce run-time errors if they encounter a Wall where they expect a subclass of Wall. Using Abstract Factory to build walls helps prevent these run-time errors by ensuring that only certain kinds of walls can be created. Let's consider a Smalltalk version of MazeFactory, one with a single make operation that takes the kind of object to make as a parameter. Moreover, the concrete factory stores the classes of the products it creates.

First, we'll write an equivalent of CreateMaze in Smalltalk:

```
createMaze: aFactory
  | room1 room2 aDoor |
  room1 = (aFactory make: #room) number: 1.
  room2 = (aFactory make: #room) number: 2.
  aDoor = (aFactory make: #door1 from: room1 to: room2.
  room1 atSide: #north put: {aFactory make: #wall}.
  room1 atSide: #east put: aDoor.
  room1 atSide: #south put: (aFactory make: #wall).
  room1 atSide: #west put: (aFactory make: #wall).
  room2 atSide: #north put: (aFactory make: #wall).
  room2 atSide: #east put: (aFactory make: #wall).
  room2 atSide: #south put: (aFactory make: #wall).
  room2 atSide: #west put: aDoor.
  ^ Maze new addRoom: r1; addRoom: r2; yourself
```

As we discussed in the Implementation section, MazeFactory needs only a single instance variable partCatalog to provide a dictionary whose key is the class of the component. Also recall how we implemented the make: method:

```
make: partName
  A (partCatalog at: partName) new
```

Now we can create a MazeFactory and use it to implement createMaze. We'll create the factory using a method createMazeFactory of class MazeGame.

```
createMazeFactory
  ^ (MazeFactory new
    addPart: Wall named: #wall;
```

```
addPart: Room named: #room;  
addPart: Door named: #door;  
yourself)
```

A BombedMazeFactory or EnchantedMazeFactory is created by associating different classes with the keys. For example, an EnchantedMazeFactory could be created like this:

```
createMazeFactory  
  ^ (MazeFactory new  
    addPart: Wall named: #wall;  
    addPart: EnchantedRoom named: #room;  
    addPart: DoorNeedingSpell named: #door;  
    yourself)
```

Known Uses: InterViews uses the "Kit" suffix to denote AbstractFactory classes. It defines WidgetKit and DialogKit abstract factories for generating look-and-feel specific user interface objects. InterViews also includes a LayoutKit that generates different composition objects depending on the layout desired. For example, a layout that is conceptually horizontal may require different composition objects depending on the document's orientation (portrait or landscape).

ET++ uses the Abstract Factory pattern to achieve portability across different window systems (X Windows and SunView, for example). The WindowSystem abstract base class defines the interface for creating objects that represent window system resources (MakeWindow, MakeFont, MakeColor, for example). Concrete subclasses implement the interfaces for a specific window system. At run-time, ET++ creates an instance of a concrete WindowSystem subclass that creates concrete system resource objects.

Related Patterns: AbstractFactory classes are often implemented with factory methods (Factory Method (107)), but they can also be implemented using Prototype (117). A concrete factory is often a singleton (Singleton (127)).

Anhang 4 Beispiel Produktentwicklungsmuster

Quelle: Salustri (2001)

Decoupled Variable Fluid/Powder Mixer

Problem: Given two available but separate fluid or powder ingredients, design a system to mix the ingredients such that both production rate of the mixture and the ratio of ingredients are separately controllable.

Context: In some industrial settings, the same equipment can be used to mix different ingredients at different mix ratios to produce different products. Examples include mixers for paints, for fertilizers, and for dry ingredients of baked foods. In such environments, even slight variations of mix ratio can adversely affect product quality (although such variations rarely affect productivity). Notions of modular design suggest there are advantages to duplicating the ingredient delivery system identically for each ingredient (for example, having a separately driven pump for each ingredient). However, variation in the relative rates of the pumps can cause variations in the mix ratio that are detrimental to product quality. The variation arises because the duplicate pumps, though structurally separate from one another, are *functionally* coupled: the mix ratio is determined by the simultaneous setting of all pump speeds.

Many environments in which this situation can occur are “dirty;” i.e. there are an assortment of contaminants in the operating environment that can hinder delicate control machinery or electronics.

Drivers:

- Fine control of mix ratio is required
- Delicate electronics should not be used
- The mix ratio must be adjustable over a wide range of values, but
- The mix ratio variability must be minimized once set
- Complex systems should be avoided
- Cost must be kept low

Solution: Design the system to be functionally independent. Assign one pump per ingredient, but use a single motor to drive all the pumps, and variable ratio gearboxes to vary the speeds of the pumps and, therefore, the mix ratio. Notice that structural coupling has been introduced by connecting the pumps to a single driving motor.

This solution supports Axiomatic Design. The functional requirements of this product are (a) it must produce the right amount of product and (b) it must mix the ingredients correctly.

If separate motors drive each pump, then the design parameters are the speed of each pump. This induces a fully coupled design, which is undesirable. Setting the speeds of the motors to achieve prescribed productivity and mix ratio values becomes an iterative process. Variation over time in the speeds of the motors requires active, dynamic control of the system.

However, if using a single motor and variable ratio gearboxes, the design parameters are the speed of the motor and the gearbox ratio; this design is decoupled, which is a preferred situation. Setting the motor speed and gear ratios is not an iterative process and does not require active, dynamic control. Selection of appropriate gears and careful calculation of maximum allowable tolerances can make variability of the gearboxes negligible between gears. Modularity can be salvaged to a degree by designing the shafts and structural elements to facilitate replacement of gearboxes, pumps, the motor, and other major subsystems.

Anhang 5 Beispielmuster aus der Mikrotechnik

Anspritzflächen

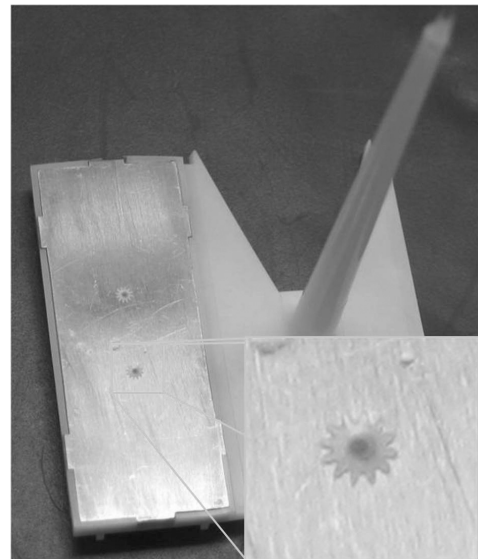
Alias: Anspritzpunkt

Situation

Mikrobauteile werden durch Spritzgießen hergestellt.

Problem

Beim Spritzgießprozess wird die Formmasse in die Kavität gepresst. Nach Erkalten und Erstarren der Formmasse wird das Bauteil entformt und vereinzelt. Dabei wird die noch mit dem Bauteil verbundene Verteilerstruktur mit Angusskanal vom Bauteil getrennt. Dies geschieht üblicherweise durch Öffnen des Formwerkzeugs, wobei die Bauteile gewaltsam vom Anguss abgerissen werden. Die Geometrie der Trennstelle ist nicht eindeutig definiert und daher im Betrieb unter Umständen als funktionsrelevante Wirkfläche ungeeignet.



Mikrozahnräder auf Gegenplatte und Anguss mit Verteilerstruktur im Hintergrund

Lösung

Trennung von während des Betriebs funktionsrelevanten Wirkflächen von Anspritzflächen (Wirkflächen während der Fertigung).

Tragweite

Chancen:

- keine Funktionseinschränkung im Betrieb durch Anspritzpunkte

Risiken:

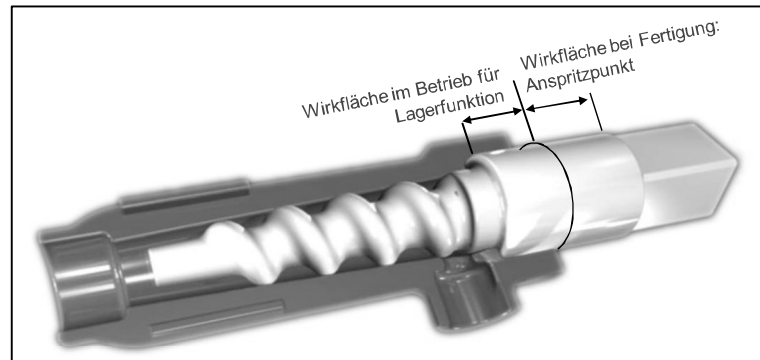
- zusätzliche Flächen (Fertigungswirkflächen), mehr Volumen und Masse
- reduziertes Miniaturisierungspotential

Konsequenz

Bauteil mit definierten Wirkflächen für den Betrieb und separaten Wirkflächen für die Produktion (Anspritzpunkte).

Beispiele

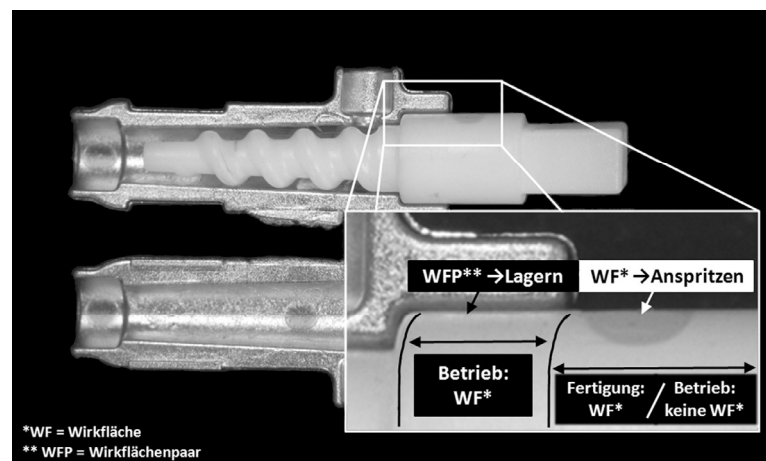
Der Anspritzpunkt wurde bei der Schnecke als separate Wirkfläche gestaltet. Die Wirkfläche für das Gleitlager bleibt unberührt. Erkennbar ist auch der zusätzlich notwendige Bauraum.



Trennung der Wirkflächen für Betrieb und Fertigung

Schnecke: Der Anspritzpunkt wurde bei der Schnecke als separate Wirkfläche gestaltet. Die Wirkfläche für das Gleitlager bleibt unberührt.

Gehäuse: die unbestimmte Geometrie der Anspritzfläche ist im mittleren Bereich des Gehäuseteils zu erkennen.



Anspritzpunkt bei Schnecke und Gehäuse (unten, mitte)

Verwandte Muster

- Auswerferflächen müssen gezielt eingebracht und von während des Betriebs relevanten Wirkflächen getrennt werden.
- Markerflächen müssen gezielt eingebracht und von während des Betriebs relevanten Wirkflächen getrennt werden.

Quellen

- Albers, A., Deigendesch, T. & Turki, T.: Design Patterns in Microtechnology. In: Design Society (Veranst.): Int. Conf. on Engineering Design ICED (Stanford 2009)

Metadaten

- Schlagworte: Anspritzzapfen
- Kategorien: Objektmuster
- Signifikanz: A
- Ersteller: T. Deigendesch

Anhang 6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Forschungsprozess und Aufbau der Arbeit.....	6
Abbildung 2: Arten neuer Produkte und deren Anteile.....	10
Abbildung 3: Innovationstypen in Abhängigkeit der Änderung von Zweck und Mittel	11
Abbildung 4: Selektionsprozess von der Idee zum Markterfolg	14
Abbildung 5: Lean Innovation-Leitlinien und Reifegradmodell	21
Abbildung 6: Technologiemanagement, F&E-Management und Innovationsmanagement.....	23
Abbildung 7: Zunahme an Erfahrung bewirkt zielgerichtete Handlungen und höhere Effektivität	26
Abbildung 8: Bewusstes Handeln und Problemsituationen.....	28
Abbildung 9: SPALTEN Problemlösungsprozess	31
Abbildung 10: Das System der Produktentstehung	34
Abbildung 11: Das integrierten Produktentstehungsmodell (iPeM): (A) Metamodell.....	35
Abbildung 12: Das integrierten Produktentstehungsmodell (iPeM): (B) Spezifisches Modell.....	36
Abbildung 13: Wissenstreppe	45
Abbildung 14: Komponentenmodell der Kreativität.....	65
Abbildung 15: Struktur des Geneptore-Modells (Generation – Exploration Model).....	66
Abbildung 16: Orte der Ideenfindung	67
Abbildung 17: Systemmodell der Kreativität.....	69
Abbildung 18: Abstrahiertes Systemmodell.....	90
Abbildung 19: Ebenenmodell der Kreativität	91
Abbildung 20: Alltagsbeispiel für ein Muster	104
Abbildung 21: Exemplarischer Auszug aus dem Muster „Fußgängerstraße“	107
Abbildung 22: Beziehung zwischen unterschiedlichen realen, mentalen und dokumentierten Mustern	110
Abbildung 23: Gedankenexperiment zur Kontextabhängigkeit	126
Abbildung 24: Mustersprache	131
Abbildung 25: Aktivitätenmodell des Musteransatzes	133
Abbildung 26: Demonstratorsysteme des Sonderforschungsbereichs 499 „Mikro-Urformen“	136
Abbildung 27: Musteridentifikation und -ableitung aus Entwicklungsaktivitäten und -ergebnissen	138
Abbildung 28: Musteridentifikation und -ableitung durch Systemanalyse mit C&CM.....	139
Abbildung 29: Beispiel Auswerfermarke	141
Abbildung 30: Beispiel Anspritzfläche.....	141
Abbildung 31: Beispielmuster: Anspritzflächen (Auszug)	143
Abbildung 32: Mustersprache für die Entwicklung beim „Mikro-Urformen“.....	144
Abbildung 33: Informationssystem MyBoK – Micro Book of Knowledge	148
Abbildung 34: Suchfunktionalitäten im Wiki-System.....	151

Abbildung 35: Assimilation beim Anwender	152
Abbildung 36: Muster im Kommunikationsprozess	154
Abbildung 37: Produktivitätspotential durch Musteranwendung.....	156

Anhang 7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unterschiede zwischen theoretischen und anwendungsorientierten Wissenschaften.....	4
Tabelle 2: Gegenüberstellung von Verbesserungs- und Durchbruchsinnovation	12
Tabelle 3: Ziele der Anwendung von Konstruktionsmethoden	39
Tabelle 4: Methodenproblematik	42
Tabelle 5: Kriterien des Kreativitätsmerkmals sowie deren Synonyme	56
Tabelle 6: Klassen kreativer Leistung aus psychologischer Sicht.....	57
Tabelle 7: Kreativitätsfördernde oder -begünstigende Persönlichkeitsmerkmale	58
Tabelle 8: Gegenüberstellung von geforderten Persönlichkeitsmerkmalen und zu starker Ausprägung.....	59
Tabelle 9: Phasenmodell des kreativen Prozesses	63
Tabelle 10: Heuristische Prinzipien und Kreativitätsmethoden	78
Tabelle 11: Gegenüberstellung der Kreativitätsdeterminanten in Psychologie und Produktentwicklung	92
Tabelle 12: Extremvergleich der Konzepte Primäre und Sekundäre Kreativität	95
Tabelle 13: Vergleich der natürlichen Sprache mit der architektonischen Mustersprache	109
Tabelle 14: Musterformate beispielhafter Autoren aus unterschiedlichen Domänen	122
Tabelle 15: Aktivitäten im Musteransatz	160

Anhang 8 Abkürzungen und Akronyme

AL	Alternative Lösungen, Phase der SPALTEN-Methode
CAD	Computer Aided Design
CMS	Content Management System
CSCW	Computer-Supported Cooperative Work
C&CM	Contact & Channel Model
EU	Entscheiden & Umsetzen, Phase der SPALTEN-Methode
F&E	Forschung & Entwicklung
HTML	Hypertext Markup Language
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie(n)
IC	Informationscheck
IP	Intellectual Property
iPeM	integriertes Produktentstehungsmodell
IT	Information Technology / Informationstechnik
LA	Lösungsauswahl, Phase der SPALTEN-Methode
MINT	Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik
MyBoK	Micro Book of Knowledge
NL	Nacharbeiten und Lernen, Phase der SPALTEN-Methode
PE	Problemeingrenzung, Phase der SPALTEN-Methode
PLM	Product Lifecycle Management
PLT	Problemlösungsteam
SA	Situationsanalyse, Phase der SPALTEN-Methode
SFB	Sonderforschungsbereich
SPALTEN	Problemlösungsmethode: Situationsanalyse, Problemeingrenzung, Alternative Lösungen, Lösungsauswahl, Tragweitenanalyse, Entscheiden & Umsetzen, Nacharbeiten und Lernen
TA	Tragweitenanalyse, Phase der SPALTEN-Methode
TQM	Total Quality Management

Index

Abstraktion.....	76	Lean Innovation	20
Aktivitätenmodell für Muster	134	Methode	38
Aktivitätsmuster	132	Methodenanwender	40
Analogiebildung	75	Methodik.....	38
Assoziationspsych. Theorie.....	50	Mikrotechnik	134
Aufgabe	25	Muster	101, 129
Best Practice.....	19	Musterableitung	142
Chunk	71	Musterassimilation	152
Controlling	16	Musterbereitstellung.....	144
Domäne.....	68	Musteridentifikation	136
Durchbruchsinnovation	10	Musteroptimierung	158
Ebenenmodell.....	90	Mustersprache	130
Einstellungseffekt.....	73	Mustersuche	150
Emergency innovation.....	93	Mustervalidierung.....	157
Expertise	71	Neuheit	83
Feature	120	Notsituation.....	27
Feld	68	Objektmuster	132
Gebundenheit	73	Originalität	50
Generativität	111	Phasenmodell	62
Gestalttheorie	50	Planungssituation.....	27
Heuristik	63	Präinventive Struktur.....	65
Illumination	62	Präparation	62
Information.....	44	Problem	25
Informationscheck.....	30	Problemeingrenzung.....	149
Inkubation	62	Produktentstehung	25
Innovation	7	Produktentstehungsmodell.....	34
Innovationsmanagement	22	Produktentwicklung.....	25
Innovationsparadoxon.....	16	Produktionsblockierung.....	79
Intelligenz	59	Produktivitätsdilemma	18
Interoperabilität.....	144	Prozessmanagement	19
Kombination.....	76	Psychoanalytische Theorie	49
Kommunikation.....	153	Repräsentationsform.....	144
Komponentenmodell	63	Risiko.....	12
Konstruktion.....	37, 38	Schematheorie.....	75, 109
Konstruktionskatalog.....	119	Serendipidät	51
Kontiguität.....	51	Situationsanalyse.....	148
Kreative Kognition.....	51	Submuster	130
Kreativer Prozess.....	61	Supermuster	130
Kreativgesellschaft.....	48	Technologiemanagement.....	22
Kreativität.....	48, 93	Verbesserungsinnovation.....	10
primäre	94	Wissen.....	44
sekundäre.....	94	Wissensmanagement.....	46
Kreativitätstechnik.....	77	Zielmuster.....	132
Kryptomnesie.....	76		

