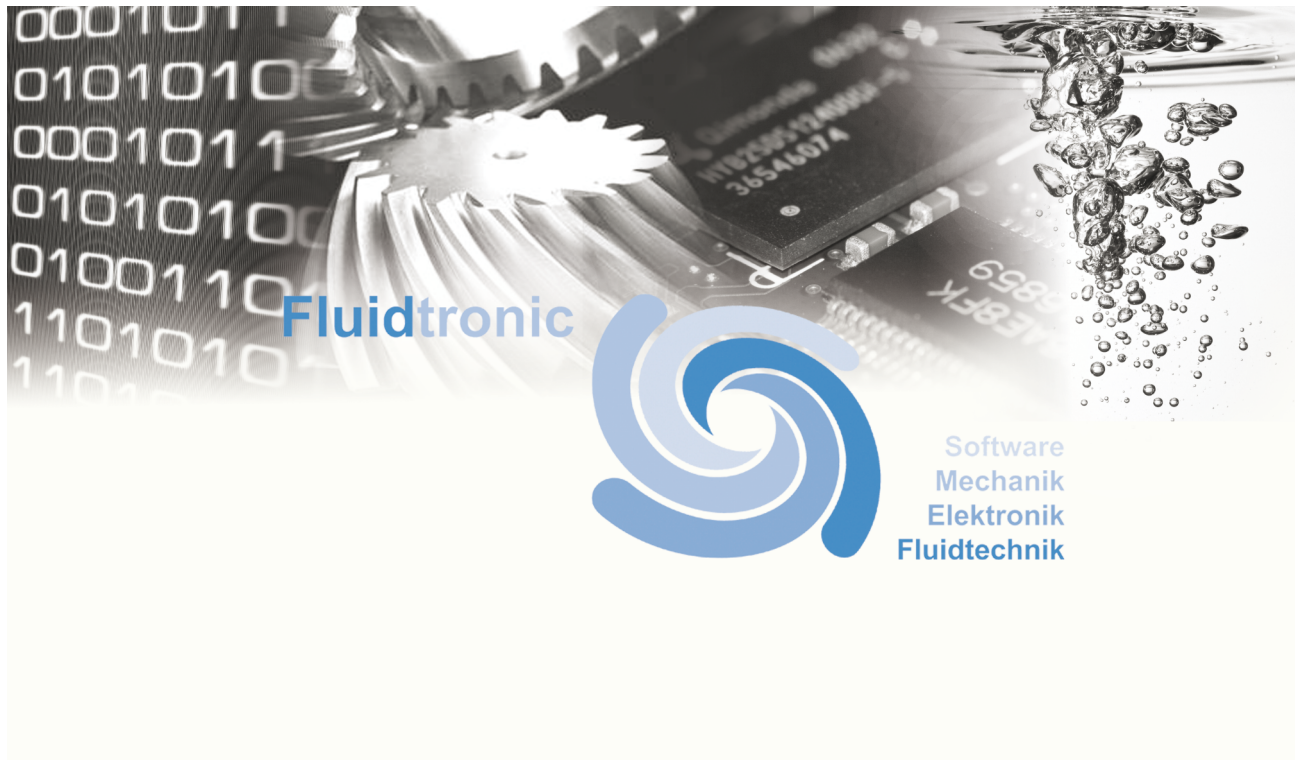


Leitfaden

Integrative Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme



IFAS Institut für
fluidtechnische
Antriebe und
Steuerungen

WZL
RWTHAACHEN

GEFÖRDERT VOM

 Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhalt

1. Einleitung	5
1.1. Motivation für den Leitfaden	5
1.2. Zielsetzung des Leitfadens	8
1.3. Vorstellung des BMBF-Verbundprojektes Fluidtronic	9
2. Defizite und Anforderungen einer fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklungsumgebung	12
2.1. Defizite der Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme in der Praxis	12
2.2. Anforderung und Nutzen einer Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme	18
3. Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme	21
3.1. Konzept der fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklungsumgebung	21
3.2. Integratives Prozessmodell	22
3.3. Disziplinübergreifender Systementwurf	47
3.4. Integratives Methodenmodell	56
3.5. Informationsmodell	93
3.6. Umsetzung der Entwicklungsumgebung im Product Lifecycle Management	101
4. Einführungsmethodik einer Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme	105
4.1. Prozessanalyse und Kalkulation des Nutzenpotenzials	105
4.2. Unternehmensspezifische Anpassung des Referenzprozesses	115
4.3. Prozessumsetzung	119
4.4. Unterstützung der Einführungsmethodik durch Workshops	120
4.5. Zusammenfassung der Einführungsmethodik	121
5. Vorstellung eines Fallbeispiels zur Darstellung des idealtypischen Entwicklungsablaufs	123
5.1. Durchgängiger Engineering Prozess und virtuelle Systemauslegung als Kerngedanken des Fallbeispiels	123
5.2. IT-Randbedingungen des Fallbeispiels	124
5.3. Rollen im Fallbeispiel	124
5.4. Ablauf des Fallbeispiels	124
6. Zusammenfassung und Ausblick	129
7. Ansprechpartner	130
8. Quellenverzeichnis	132

Autoren:

Schuh, G.; Lenders, M.; Maletz, L.; Uam, J.; Nussbaum, C.; Müller, J; Schiffer, M.;
v. Dombrowski, R.; Verkoyen, T.; Meuser, M.; Kamizuru, Y.

ISBN 10 3-926690-22-4

ISBN 13 978-3-926690-22-7

1.1 Motivation für den Leitfaden

Heutige technische Systeme zeichnen sich durch die Integration von Komponenten der verschiedenen Fachdisziplinen aus. Dies trifft aufgrund der hohen Anzahl zusammenhängender Elemente und der Beteiligung einer Vielzahl von verschiedenen Disziplinen in besonderem Maße auf mechatronische Produkte im Allgemeinen und fluidtechnisch-mechatronische Produkte im Speziellen zu. Vor allem der Elektronik- und Softwareanteil steigen ständig und liegen z.B. im Fahrzeugbau momentan wertmäßig bei ca. 40%, Tendenz steigend. Hinzu kommt eine gestiegene »multi-market«-fähige Systemvielfalt, die sich in einer Vielzahl von Varianten und Systemderivaten auf einer gemeinsamen Plattform ausdrückt. Aus der steigenden Interdisziplinarität und Variantenvielfalt ergibt sich in den letzten Jahren eine immer stärkere Zunahme der Systemkomplexität.¹

Dies hat besonders hohe Auswirkungen auf die Entwicklung. Früher wurden die Teilentwicklungsergebnisse der verschiedenen Disziplinen durch einige Iterationen an Prototypen integriert, was jedoch inzwischen aufgrund der immer kürzeren Anforderungen an die Time-to-Market unmöglich wird. So wird die Integration immer mehr in frühere Phasen des Entwicklungsprozesses verschoben.² Daher zeichnet sich der gesamte Entwicklungsprozess durch eine hohe Interdisziplinarität und Vernetzung der Einzelprozesse und Disziplinen auf allen Hierarchieebenen mit einer Vielzahl von Wechselwirkungen aus. Aufgrund dieser engen Vernetzung und der komplexen Strukturen kommen der Absicherung der Systemzuverlässigkeit und einer integrierten Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme eine entscheidende Bedeutung zu.

Nicht zuletzt durch die Konzentration auf die Kernkompetenzen und das zunehmend enger definierte Kerngeschäft können umfangreiche interdisziplinäre Entwicklungsprojekte kaum mehr vollständig in einem Unternehmen durchgeführt werden. Dies führt dazu, dass die interdisziplinäre Zusammenarbeit kooperieren-

der Unternehmen bei der Entwicklung innovativer Systeme immer mehr an Bedeutung gewinnt. Dadurch wird die Problematik noch verschärft, denn nun müssen nicht mehr nur Grenzen zwischen Disziplinen, sondern auch zwischen Unternehmen überwunden werden.³

1.1.1 Motivation aus Sicht der Praxis

Vor dem oben beschriebenen Hintergrund weist der Entwicklungsprozess für fluidtechnisch-mechatronische Systeme in der Praxis einige Schwachstellen auf (siehe Abbildung 1). So existiert in der Systementwicklung u.a. kein disziplinübergreifender Systementwurf, bei dem sich die Disziplinen gemeinsam auf ein Konzept für das zu entwickelnde System festlegen. Dies ist aber ein wichtiger Schritt, um die komplexen Wechselwirkungen einer durchgängigen Vernetzung von Mechanik, Elektrik, Software und Fluidtechnik zu beherrschen.

Die heutigen disziplinspezifischen Entwicklungsmethoden und -werkzeuge der Praxis erfüllen die besonders hohen Anforderungen des fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklungsprozesses vor diesem Hintergrund aber nur unzureichend. So wird die wichtige frühe Fehlervermeidung und Entwicklung fehlertoleranter Produkte kaum unterstützt, Wechselwirkungen werden nicht berücksichtigt und die Kundenanforderungen werden nur unvollständig in das Produkt übersetzt. Aufgrund dessen kommt es zu zahlreichen Iterationen im Entwicklungsprozess und Fehler werden erst anhand von Prototypen oder schlimmstenfalls beim Kunden erkannt.⁴ So steigt z.B. die Anzahl von Rückrufaktionen in der Kfz-Industrie trotz rückgängiger Neuzulassungen stetig an, was zu großen Teilen auf die Zunahme der genutzten mechatronischen (Sub-)Systeme bei nicht klar beherrschten und/ oder bekannten Wechselwirkungen zurück zu führen ist.⁵

Dort, wo Software zum Einsatz kommt, um den Entwicklungsprozess zu verbessern, werden fast ausschließlich disziplingebundene Werkzeuge eingesetzt. Die verschiedenen disziplingebundenen Werkzeuge besitzen den Nachteil, dass ein Datenaustausch zwischen einzelnen

¹ Vgl. Murrenhoff/von Dombrowski/Verkoyen (2009), Fluidtronic, S. 67, Eigner (2008), Mechatronik, S. 3 und VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, S. 4.

² Vgl. Jackson (2006), The Mechatronics System Design Benchmark Report. Coordinating Engineering Disciplines, S. 1.

³ Vgl. Feldmann/Goth/Kunze (2007), Interdisziplinäre Zusammenarbeit zur spezifischen Förderung der MID-Technologie, S. 558.

⁴ Vgl. Eigner (2008), Mechatronik, S. 3.

⁵ Vgl. Schlund/Riekhof/Winzer (2009), Probleme bei der Entwicklung mechatronischer Systeme, S. 54f.

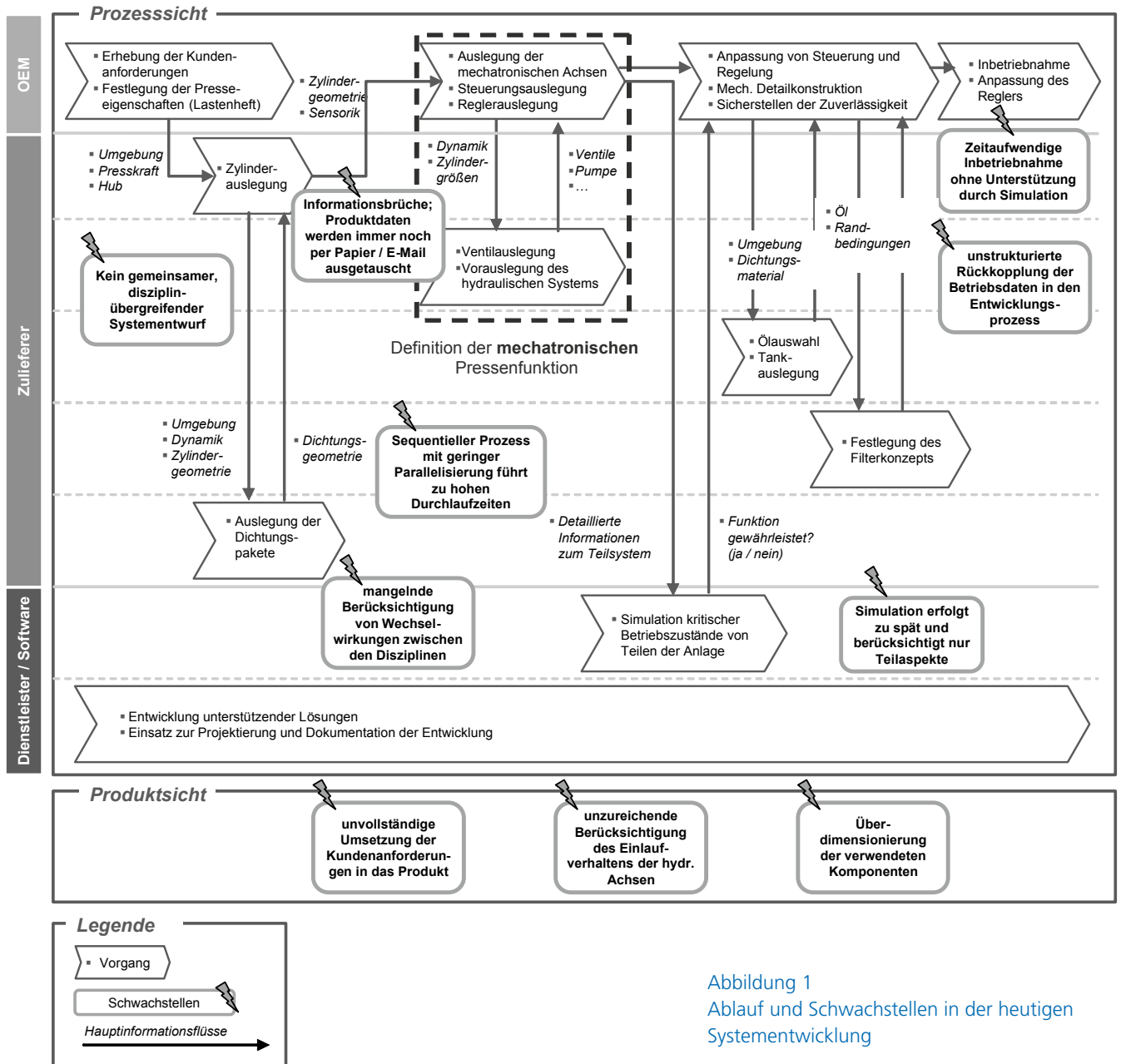


Abbildung 1
Ablauf und Schwachstellen in der heutigen Systementwicklung

Anwendungen nur unzureichend umgesetzt ist. Zwischen den zum Einsatz kommenden Softwarewerkzeugen bestehen Informationsbrüche, die es erfordern, Produktdaten manuell auszutauschen. So hat jede Disziplin ihre eigene Sichtweise auf den zu entwickelnden Teil des Systems und nutzt darüber hinaus eigene Entwicklungsstrukturen und -programme. Noch hinzu kommt der Umstand, dass die Werkzeuge im Verlauf der Entwicklung immer detaillierter und somit auch komplexer werden. Dementsprechend wird mit zunehmendem Entwicklungsfortschritt auch der Austausch zwischen den Disziplinen immer problematischer. Hierdurch kapseln sich die Disziplinen im Verlauf der

Entwicklung mehr und mehr voneinander ab und eine disziplinübergreifende Systementwicklung wird zunehmend erschwert.

Um die Zykluszeiten und Kosten des Entwicklungsprozesses zu senken, wurden die interdisziplinären Entwicklungsprozesse in letzter Zeit in vielen Unternehmen einem Re-Engineering unterzogen, wobei die unterschiedlichen Prozessketten identifiziert und optimiert wurden. Diese Optimierung wurde jedoch meist unabhängig von den Entwicklungsprozessen der anderen Disziplinen durchgeführt, ohne die starken Abhängigkeiten zu berücksichtigen. Entsprechend wird oft weiterhin getrennt in den involvierten Domänen entwickelt, die

durch eigene Denkweisen, Begriffswelten und Erfahrungen geprägt sind. So werden Wechselwirkungen und Schnittstellen vernachlässigt, weshalb der Gesamtentwicklungsprozess weiter mit vielen Schwachstellen behaftet ist.⁶ Dies wird zudem dadurch verstärkt, dass der Entwicklungsprozess in der industriellen Fluidtechnik heute noch stark durch die mechanische Disziplin geprägt ist und dadurch die zeitliche Einbindung der weiteren Disziplinen dem oben genannten Trend zum Trotz erst sehr spät erfolgt.

Die Systementwicklung in den Unternehmen ist aufgrund von gewachsenen Strukturen immer noch durch eine sequentielle Bearbeitung gekennzeichnet. Die sequentiell organisierten Entwicklungsprozesse hemmen den Informationsaustausch zwischen den beteiligten Fachleuten und die Interaktionen zwischen den Disziplinen.

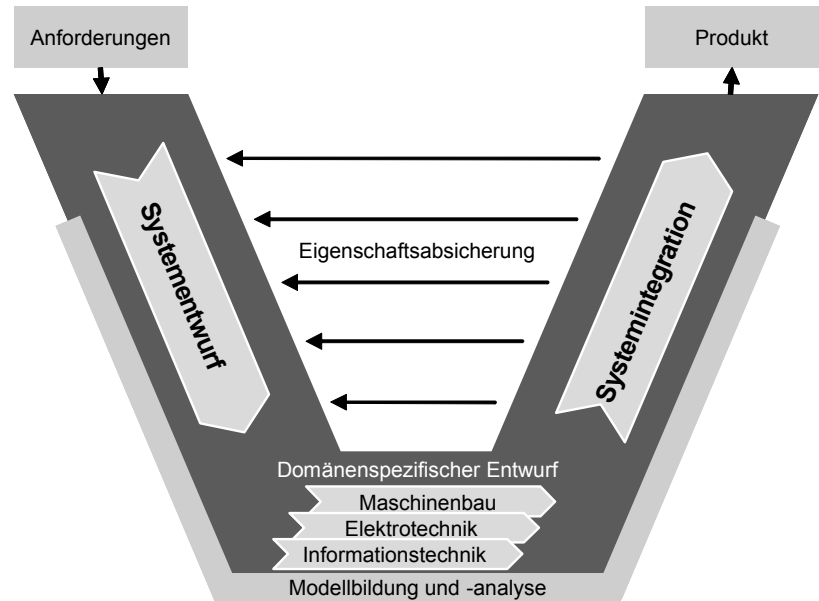
Weitere Schwachstellen sind die unzureichende Berücksichtigung des Einlaufverhaltens der hydraulischen Achsen, eine zeitaufwendige Inbetriebnahme sowie eine unstrukturierte Rückkopplung der Betriebsdaten in den Entwicklungsprozess. Die derzeitigen Simulationen berücksichtigen nur Teilaspekte eines fluidtechnisch-mechatronischen Systems und werden zudem nicht durchgängig eingesetzt. Da die Zuverlässigkeit des Systems so kaum über eine Simulation abgesichert werden kann, kommt es häufig zu einer Überdimensionierung von Komponenten, um die geforderte Zuverlässigkeit dennoch sicher zu erreichen.

1.1.2 Motivation aus Sicht der Forschung

Da die in der Praxis auftretenden Probleme gleichermaßen mit dem zunehmenden Anteil mechatronischer Systeme⁷ an Bedeutung gewinnen, befasst sich auch die Forschung immer stärker mit ihnen. So erschien in den letzten Jahren eine Vielzahl von Veröffentlichungen mit Vorgehensmodellen zur Entwicklung mechatronischer Systeme wie z.B.:

VDI-Richtlinie 2206⁸

Das Entwicklungsmodell der VDI-Richtlinie 2206 wurde speziell für mechatronische



Produkte aufgestellt und als Ergänzung und Zusammenführung der bereits zuvor beschriebenen Richtlinien 2221 und 2422 sowie anderer domänenspezifischer Entwurfsmethoden konzipiert. Es soll dem Anspruch gerecht werden, die Entwicklung eines modernen mechatronischen Systems ganzheitlich zu behandeln und die interdisziplinäre Zusammenarbeit und Kommunikation während der Entwicklung zu fördern.

Der Fokus dieses Entwicklungsmodells liegt auf den Vorgehensweisen, Methoden und Werkzeugen für die frühen Phasen des Entwicklungsprozesses. Hierbei wird ein besonderer Schwerpunkt auf den Systementwurf als ein abgesichertes Konzept für das mechanische Produkt gelegt.

Im Wesentlichen stützt sich das in der Richtlinie vorgeschlagene Prozessmodell auf drei Elemente⁹:

1. Einen allgemeinen *Problemlösungszyklus* auf der Mikroebene
2. Ein Vorgehen nach dem *V-Modell* (Abbildung 2) als Makrozyklus
3. *Vordefinierte Prozessbausteine* zur Bearbeitung wiederkehrender Arbeitsschritte bei der Entwicklung mechatronischer Systeme

Abbildung 2
Das V-Modell nach
VDI-Richtlinie 2206¹⁰

⁶ Vgl. VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, S. 4 und Negele et al. (1999), Modeling of Integrated Product Development Processes, S. 1253.

⁷ Hierbei handelt es sich um Systeme, die sich durch eine starke Integration der Disziplinen Mechanik, Elektronik und Software auszeichnen. Vgl. Heimann/Gerth/Popp (2007), Mechatronik, S. 13f.

⁸ Vgl. VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme.

⁹ Vgl. Schmitt/Rauchenberger (2007), Qualitätsmanagement bei der Entwicklung, S. 364.

¹⁰ Quelle: VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, S. 29.

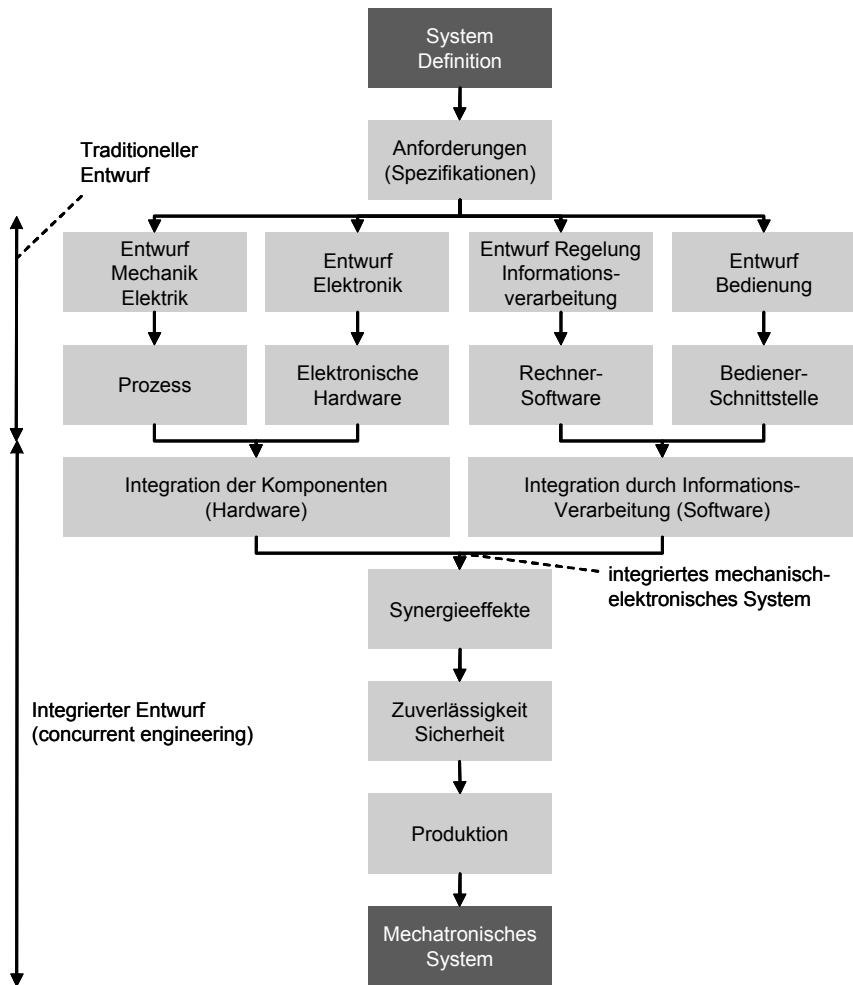


Abbildung 3
Der Entwurf mechatronischer
Systeme nach ISERMANN¹⁴

Entwicklung mechatronischer Systeme nach ISERMANN¹¹

Hierbei handelt es sich um ein sequentielles Vorgehensmodell zur Entwicklung mechatronischer Systeme (siehe Abbildung 3), welches um eine, auf dem V-Modell basierende, Darstellungsweise wichtiger Entwurfsschritte für die Entwicklung mechatronischer Systeme ergänzt wird.¹²

Hierbei wird nach Aufnahme der Kundenanforderungen und der Erstellung eines disziplinübergreifenden Systementwurfes das Gesamtsystem in einzelne Teilsysteme für die Disziplinen Mechanik und Elektrik, Elektronik, Regelung und Bedienung zerlegt. Nach der Entwicklung der einzelnen Teilsysteme werden

diese anschließend wieder zu einem integrierten Gesamtsystem zusammengeführt. In dem Modell von ISERMANN erfolgen die Prozessschritte der Entwicklung anfangs sequentiell. Eine Parallelisierung der Prozesse erfolgt wie bei der VDI-Richtlinie 2206 erst nach der Zerlegung des Gesamtsystems in Teilsysteme. Dabei erfolgt die Zerlegung in einen Hardware-orientierten und einen Software-orientierten Entwicklungsprozess. Die Wechselwirkungen der einzelnen Teilsysteme werden nach der Integration der Teilsysteme in das Gesamtsystem überprüft.¹³

Verbundprojekt »EUM-Entwicklungsumgebungen Mechatronik, Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung mechatronischer Systeme«¹⁵

Im Rahmen dieses Verbundprojekts entstanden verschiedene Entwicklungsumgebungen für mechatronische Systeme. Sie wurden beispielhaft an vier Klassen von ausgewählten Systementwicklungsaufgaben der Industriepartner aufgebaut und erprobt.

Trotz vieler Veröffentlichungen zu diesem Thema weisen jedoch weiterhin viele der Entwicklungsprozesse in der Praxis deutliche Schwächen auf. Ein Ansatz zur interdisziplinären Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme, welcher aufgrund des hohen Anteils fluidtechnischer Komponenten notwendig wird und sich von dem Vorgehen bei stark mechanisch geprägten mechatronischen Systemen unterscheiden muss, fehlt jedoch. Aufgrund der fachdisziplinspezifischen Vorgehensweisen und Methoden ist hierdurch eine effektive Koordination der Disziplinen Mechanik, Elektronik, Software und Fluidtechnik notwendig.

1.2 Zielsetzung des Leitfadens

Mit der Umsetzung und Etablierung einer integrativen Entwicklungsumgebung kann der Entwicklungsprozess fluidtechnisch-mechatronischer Systeme hinsichtlich seiner Effektivität und seiner Effizienz verbessert werden. Das Ziel des vorliegenden Leitfadens ist es daher, eine Handlungsanleitung für kleine und mittelständische Unternehmen des fluidtechnisch-mecha-

¹¹ Vgl. Isermann/Breuer/Hartnagel (2002), Mechatronische Systeme für den Maschinenbau und Isermann (2008), Mechatronische Systeme.

¹² Vgl. Isermann/Breuer/Hartnagel (2002), Mechatronische Systeme für den Maschinenbau, S. 9, Winzer et al. (2007), Ansatz zur Strukturierung, S. 8 und Isermann (2008), Mechatronische Systeme, S. 33ff.

¹³ Vgl. Isermann/Breuer/Hartnagel (2002), Mechatronische Systeme für den Maschinenbau, S. 9.

¹⁴ Quelle: Isermann/Breuer/Hartnagel (2002), Mechatronische Systeme für den Maschinenbau, S. 9.

¹⁵ Vgl. Gausemeier/Lückel (2000), Entwicklungsumgebungen Mechatronik.

tronischen Sektors für die Einführung einer solchen integrativen Entwicklungsumgebung zur Verfügung zu stellen. Um die Komplexität einer ganzheitlich betrachteten Entwicklungsumgebung zu reduzieren, wird innerhalb des Leitfadens die Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme dem Leser in Form von Beschreibungsmodellen vorgestellt. Dabei wird zuerst ein integriertes Prozessmodell präsentiert, welches Unternehmen erlaubt, bei der Definition eigener unternehmensspezifischer Entwicklungsprozesse bereits auf einem vordefinierten Level starten zu können und dadurch die ansonsten dafür erforderliche Grundlagenarbeit zur Erarbeitung einer Prozessstruktur zu minimieren. Das Prozessmodell umfasst hierfür insgesamt 16 Entwicklungsprozesselemente, welche sich wiederum in insgesamt 40 Teilprozesse aufteilen. Die 16 Prozesselemente sind dabei auf einem generischen Level so formuliert, dass sie den Unternehmen als allgemeingültige Basis für die Gestaltung einer Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme dienen können. Die vorliegende systemneutrale Beschreibung der Prozesselemente gewährleistet dabei auch eine Unabhängigkeit von Softwareanbietern.

Neben dem Prozessmodell bilden das darauf aufgebaute Funktionsmodell und das Informationsmodell die weiteren Bestandteile der integrativen Entwicklungsumgebung. Das Funktionsmodell beschreibt Methoden, Simulationsmodelle und Entwicklungswerkzeuge, welche innerhalb des Entwicklungsprozesses zum Einsatz kommen. Das Informationsmodell bildet daneben den Informationsaustausch und die Datenstruktur für die Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme ab und ermöglicht so die Ableitung einer durchgängigen Informationsbereitstellung.

Mit Hilfe der einzelnen Modelle soll eine ganzheitliche Sicht auf eine Entwicklungsumgebung im Sinne des Product Lifecycle Managements ermöglicht werden und so eine Basis zum Aufbau einer eigenen unternehmensspezifischen Entwicklungsumgebung bereitgestellt werden. Anhand der einzelnen Modelle wird abschließend eine Methodik zur Vorgehensweise bei der Umsetzung einer unternehmensspezifischen Entwicklungsumgebung vorgestellt. Diese befähigt Unternehmen dazu, eigenständig eine integrative Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme bei sich umzusetzen.

1.3. Vorstellung des BMBF-Verbundprojektes Fluidtronic

Fluidtechnisch-mechatronische Systeme zeichnen sich durch eine enge Vernetzung aller beteiligten Disziplinen aus. Aus diesem Grund kommt es zu komplexen Wechselwirkungen innerhalb der Entwicklungsdisziplinen. Aufgrund dieser engen Vernetzung der Entwicklungsdisziplinen sowie der daraus resultierenden komplexen Abläufe leidet häufig die Produktzuverlässigkeit.

Innerhalb des BMBF-Verbundprojektes Fluidtronic arbeitete daher ein Konsortium bestehend aus 9 Industrieunternehmen eng mit dem Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen (IFAS) und dem Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen zusammen. Die Mitglieder des Konsortiums setzen sich dabei aus OEMs und Zulieferunternehmen zusammen. Als OEM fungieren in diesem Verbundprojekt die Firma Dieffenbacher und die Firma SMS Meer. Die Firma Dieffenbacher ist eine international tätige Unternehmensgruppe, die Pressensysteme und Produktionsanlagen für die Holzplattenindustrie sowie für die Automobil- und Zulieferindustrie anbietet. Als Systemlieferant bietet das Unternehmen seinen Kunden speziell auf deren Bedürfnisse angepasste Komplettlösungen an. Alle prozessbestimmenden Komponenten werden dabei von Dieffenbacher selbst entwickelt. Die Firma SMS Meer ist ein führender Anlagenbauer für die Stahl-, Aluminium- und Kupferindustrie, der als leistungsstarker Anbieter von Rohranlagen, hydraulischen Pressen, Kupfer- und Aluminiumanlagen sowie Profilwalzwerken international angesehen ist.

Die in dem Verbundprojekt mitwirkenden Zulieferer sind die Unternehmen Argo-Hytos GmbH, Fuchs Europe Schmierstoffe GmbH, Merkel Freudenberg Fluidtechnik GmbH, Montanhydraulik GmbH, EPLAN GmbH und FLUIDON GmbH.

Argo-Hytos ist spezialisiert auf Systeme für die Hydraulikfiltration, sowie auf Steuer- und Regelungstechnik und gehört in diesen Bereichen zu den international marktführenden Unternehmen. Sie besitzt Kompetenzen in der Entwicklung von Sensoren zur Ölzustandsüberwachung und kann ihre langjährige Erfahrung in der Entwicklung von Filtrationssystemen und hydraulischen Komponenten in das Projekt einsteuern.

Fuchs entwickelt und produziert spezialisierte Schmierstoffe und verwandte Produkte

für alle Bereiche der Industrie. Insbesondere im Automobilbau und in der Zulieferindustrie werden Produkte von Fuchs, beispielsweise zur Erstbefüllung von Fahrzeugen oder als Druckflüssigkeit in Pressenanlagen, eingesetzt. Das Unternehmen zeichnet sich durch hohe Innovationsgeschwindigkeit und großen Spezialisierungsgrad aus, die auf einer besonders engen Zusammenarbeit mit den Kunden beruhen. Durch die hohe Flexibilität und die Unabhängigkeit von Großkonzernen ist Fuchs in der Lage, die jeweiligen Kundenwünsche in gezielt auf den jeweiligen Anwendungsbereich abgestimmte Produkte umzusetzen. Aus diesem Grund hat das Unternehmen im Bereich der Erstbefüllung von Fahrzeugen in Deutschland eine marktführende Position inne und nimmt auch auf dem internationalen Markt eine herausragende Stellung als Schmierstoffspezialist ein.

Merkel Freudenberg ist Entwickler und Produzent für Dichtsysteme bei hydraulischen und pneumatischen Zylinderanwendungen. Merkel Freudenberg erreicht es durch intensive Beratung seiner Kunden die Dichtungen an die Erfordernisse des jeweiligen Antriebs und die vorliegenden tribologischen Gegebenheiten anzupassen. Hierdurch können optimale Ergebnisse hinsichtlich der Dichtheit erzielt werden.

Montanhydraulik ist einer der führenden Hersteller von Hydraulikzylindern für mobile und stationäre Anwendungen. Das Unternehmen konzipiert, entwickelt und fertigt Spezialzylinder für Hütten- und Walzwerke sowie für Pressen.

EPLAN Software & Service fungiert als Software-Anbieter für globale Engineering-Lösungen im Industriekonsortium. Effiziente Workflows und Prozessunterstützung stehen im Zentrum aller Weiterentwicklung. Kunden werden praxisgerecht unterstützt durch das breite Dienstleistungsspektrum von Schulungen, Consulting und Customer Solutions. Die Produktplattform EPLAN des Monheimer Unternehmens ist seit 25 Jahren marktführend und behauptet sich auch erfolgreich im internationalen Wettbewerb.

FLUIDON ist ein Engineeringdienstleister für die Simulation und Projektierung hydraulischer, pneumatischer und mechatronischer Systeme im Maschinenbau und in der Automobilindustrie. Die FLUIDON ist Hersteller des Fluidodynamik-Simulationsprogramms DSHplus, welches speziell für die Berechnung pneumatischer und hydraulischer Systeme ausgelegt ist.

Als assoziierter Industriepartner stellte die

Parker Hannifin GmbH dem Verbundprojekt benötigte Hardware und den dafür erforderlichen Support zur Verfügung. Darüber hinaus beteiligte sich das Unternehmen mit seinem Know-how an der Umsetzung der Arbeitsschritte.

Die Firma selbst ist ein führender Anbieter verschiedener hydraulischer Komponenten. Die innerhalb der Unternehmensstruktur etablierte Hydraulic Controls Division ist zuständig für die Entwicklung und Realisierung von Komponenten für hydraulische Regelungen. Das Produktspektrum umfasst elektrohydraulische Proportional- und Servoventile, analoge und digitale Reglerbaugruppen sowie digitale Achsregler.

Die Parametric Technology Corporation (PTC) ist ein Hersteller von Software für Computer Aided Design (CAD) und Product Lifecycle Management (PLM) sowie für Management- und Dokumentationslösungen. Auf Basis der Software-Lösung Windchill wurde mit Hilfe von PTC ein PLM Demonstrator erstellt.

1.3.1 Projektziele von Fluidtronic

Immer wieder kommt es bei der Entwicklung komplexer, fluidtechnisch-mechatronischer Systeme zwischen den unterschiedlichen Disziplinen zu Problemen aufgrund von isolierten Begriffswelten sowie unterschiedlichen Vorgehensmodellen, Methoden und Werkzeugen. Daraus resultierende Missverständnisse sind beispielsweise unterschiedliche Bedeutungen für gleiche Begriffe. Die mangelnde Dokumentation der Anforderungen, eine unzureichende entwicklungsbegleitende Dokumentation und die fehlende Durchgängigkeit im Entwicklungsprozess treten zusätzlich als Schwachstellen auf. Diese Schwachstellen führen zu einer unvollständigen Umsetzung der Kundenanforderungen im Gesamtsystem.

Die Vernetzung zwischen den beteiligten Disziplinen führt darüber hinaus zu komplexen Wechselwirkungen und erfordert zur Absicherung der Produktzuverlässigkeit eine angepasste Entwicklungsumgebung. Material- und systembedingte Unverträglichkeiten können nicht frühzeitig erkannt werden und erfordern aufgrund ihres späten Auftretens im Prozess ein kostenintensives, iteratives Vorgehen zur Problembeseitigung. Fluidtechnische Simulationsprogramme werden nicht entwicklungsbegleitend eingesetzt, sondern kommen nur in Fällen zum Einsatz, in denen im Anschluss an eine erfahrungsbasierte Auslegung Komplikationen bei der Inbetriebnahme auftreten. Die Inbetriebnahme der Anlagen ist daher oft mit erheblichem Aufwand verbunden. Die

	Branche	Produkte	Umsatz	Anzahl Mitarbeiter
Argo-Hythos	Filtertechnik und Fluidmanagement Sensor- und Messtechnik Steuer- und Regelungstechnik	Filter, Partikelzähler, Sensoren zur Ölzustandsüberwachung, hydraulische Komponenten	ca. 180 Mio €	ca. 840
Dieffenbacher	hydraulische Pressenanlagen	Pressenanlagen für die Holzplatten- und Automobilindustrie	ca. 240 Mio €	ca. 900
Fluidon	Simulationssoftware Prüfstände für fluidtechnische Komponenten Komponenten- und Systementwicklung	Systemsimulationssoftware DSHplus	ca. 650.000 €	7
Fuchs	Schmierstoffentwicklung und -Herstellung	Schmierstoffe für Kfz und Arbeitsmaschinen Schmierstoffe für die Industrie Schmierstoffe für die Metallbearbeitung Reiniger und Korrosionsschutz	ca. 260 Mio €	566
Merkel Freudenberg	Dichtungstechnik	Dichtungselemente für hydraulische und pneumatische Komponenten Stopfbuchspackungen Spezialdichtungsprodukte	ca. 160 Mio €	ca. 740
Montanhydraulik	Spezialzylinder für den Schwermaschinenbau	Spezialzylinder Differenzialzylinder Teleskopzylinder hydraulische Schwenkmotoren	83 Mio €	ca. 550
SMS Meer	Stahl-, Aluminium- und Kupferindustrie	hydraulische Pressenanlagen Rohranlagen Profilwalzwerke	ca. 330 Mio €	> 1.000

unzureichende Integration fluidtechnischer Simulationswerkzeuge in den Entwicklungsprozess erschwert zusätzlich das Verständnis des Gesamtsystems.

Die Hauptzielsetzung des Verbundprojektes ist es daher, inhärente Systemrisiken frühzeitig zu erkennen, um dadurch eine zuverlässige Inbetriebnahme und Anlagenfunktion über der Produktlebensdauer zu gewährleisten. Dies ist nur möglich, wenn die Zusammenarbeit der beteiligten Fachdisziplinen und Unternehmen zur effizienten Produktentwicklung besser synchronisiert und integriert wird.

1.3.2 Zielgruppe

Moderne fluidtechnische Maschinen und Anlagen haben sich von gesteuerten mechanischen Systemen zu komplexen mechatronischen Produkten mit hydraulischen, pneumatischen, mechanischen und signalverarbeitenden Komponenten gewandelt. Die Kombination von hydraulischen Antrieben mit elektronischer Steuerungstechnik führt in vielen Fällen zu vorteilhaften Eigenschaften des Gesamtssystems. Voraussetzung für einen zuverlässigen Betrieb ist die richtige Abstimmung aller Komponenten und deren Eigenschaften. Fluidtechnische Anwendungen sind in allen Bereichen der Industrie vertreten und werden häufig als Einzellösung auf Basis von kundenspezifischen Anforderungen entwickelt.

Die Branche ist durch die Zusammenarbeit von Anlagenbauern und spezialisierten KMU als

Zulieferer geprägt. Das industrieseitige Konsortium innerhalb des Verbundprojektes spiegelt in seiner Breite eine typische Zusammensetzung von Unternehmen innerhalb eines Entwicklungsvorhabens von fluidtechnisch-mechatronischen Anlagen wider (Tabelle 1).

Fluidtechnisch-mechatronische Systeme stellen hohe Ansprüche an die Entwicklung, da sie neben den klassischen Disziplinen wie Mechanik, Elektronik und Software mit der Fluidtechnik eine weitere Disziplin beinhalten und die Entwicklung somit komplexer machen. Des Weiteren ist ein fluidtechnisch-mechatronischer Entwicklungsprozess durch eine dezentrale, kooperative Produktentwicklung in verschiedenen Disziplinen und mit verschiedenen Zulieferpartnern gekennzeichnet. Dieses Vorgehen bei der Entwicklung lässt sich auf den hohen Spezialisierungsgrad der einzelnen Projektpartner zurückführen. Aufgrund der hohen Komplexität eines fluidtechnisch-mechatronischen Systems arbeiten diese idealerweise im Verbund zusammen. Hierbei kommt es aufgrund dieser sowohl disziplinen- als auch unternehmensübergreifenden Entwicklung häufig zu Problemen innerhalb des Entwicklungsprozesses. Aus diesem Grund sollen sowohl der OEM als auch die Zulieferer durch eine einheitliche Entwicklungsumgebung unterstützt werden.

Tabelle 1
Eckdaten des Industrie-
konsortiums als Beispiel
für die Zielgruppe der Ent-
wicklungsumgebung

Defizite und Anforderungen einer fluid-technisch-mechatronischen Entwicklungsumgebung

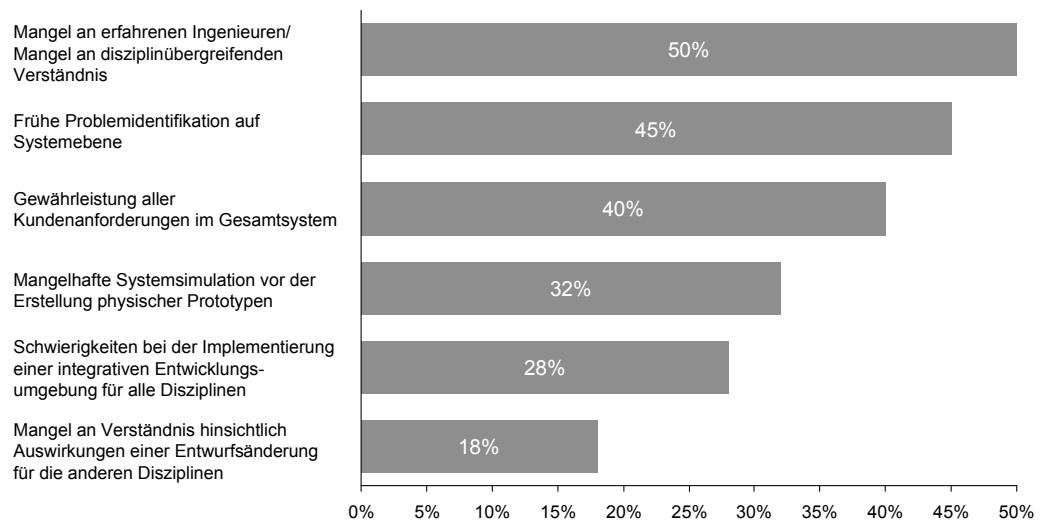
2.1 Defizite der Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme in der Praxis

Aufgrund der Eigenschaften fluidtechnisch-mechatronischer Systeme und ihrer Entwicklungsprozesse ergeben sich in der Praxis einige Probleme für die Entwicklung. Um diese Defizite berücksichtigen und Gegenmaßnahmen entwickeln zu können, werden sie in diesem Kapitel zunächst näher betrachtet.

Probleme liegen in der Früherkennung von Systemebenenproblemen, der Absicherung der Anforderungserfüllung und der Modellierung der Systemfunktionen vor der Prototypenfertigstellung.¹⁶

Ergänzend sollen noch die Ergebnisse einer Befragung im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 696 »Logistics on Demand« vorgestellt werden. Hier wurden Unternehmen unter anderem zu

Abbildung 4
Herausforderungen
der mechatronischen
Systementwicklung¹⁷



Einführend wird mit Abbildung 4 das Ergebnis einer Studie der ABERDEENGROUPE, einem wirtschaftsnahen Forschungsdienstleister, zum mechatronischen Entwicklungsprozess vorgestellt. Die Abbildung zeigt die sechs am häufigsten genannten Herausforderungen, denen sich Mechatronikfirmen im Rahmen der Entwicklung stellen müssen. Die größte Herausforderung stellt mit 50%-iger Nennung das Fehlen disziplinübergreifenden Wissens und erfahrener System-Ingenieure dar. Dieser Punkt ist besonders kritisch, wenn es um die Lösungsfindung für Designkonflikte geht, insbesondere, wenn diese Disziplingrenzen überschreiten. Eine weitere Herausforderung ist es, die Entwicklungsdaten der verschiedenen Disziplinen zu integrieren. Hier fehlen, wie später noch dargestellt wird, die entsprechenden Softwarelösungen. Damit einher geht die Schwierigkeit, Auswirkungen von Designänderungen über Disziplingrenzen hinweg abzuschätzen. Weitere

den Problemen bei der Entwicklung und Konstruktion mechatronischer Systeme befragt. 50% gaben dabei die mangelnde Kenntnis der Systemanforderungen als Problemstellung an. Diese war in der Anzahl der Nennungen dicht gefolgt von der fehlenden Prüfbarkeit des Gesamtsystems und einer fehlenden Berücksichtigung von Schnittstellen. Auch die weiteren Probleme, eine räumliche Distanz der beteiligten Partner, fehlende Kenntnis über Auswirkungen von Systemänderungen und eine unterschiedliche »Sprache« der Entwickler, decken sich mit den Erkenntnissen obiger Studie.¹⁸

Probleme der Anforderungserfassung

Die ersten Defizite ergeben sich häufig bereits ganz zu Beginn des Systementwicklungsprozesses in der sehr kritischen Phase der Anforderungserfassung. Zu

¹⁶ Vgl. Aberdeen Group (2008), System Design, S. 7f.

¹⁷ Quelle: Aberdeen Group (2008), System Design, S. 8.

¹⁸ Vgl. Schlund/Riekhof/Winzer (2009), Probleme bei der Entwicklung mechatronischer Systeme, S. 57.

diesem Zeitpunkt ist es erforderlich, die Wünsche des Kunden, womit nicht nur die Käufer des Produktes, sondern auch interne Stakeholder gemeint sind, zu erfassen. Zur Beherrschung der hohen Komplexität durch die vielen beteiligten Disziplinen muss der Grundstein für eine präzise Aufgabenstellung gelegt werden, die eine frühe Eingrenzung des Lösungsraumes ermöglicht bzw. fördert.¹⁹ Die Gründe für eine mangelnde Anforderungserfassung und -umsetzung sind, wie im Folgenden beschrieben wird, vielfältig.

Es werden selten alle Anforderungsquellen berücksichtigt, da es an der Integration der verschiedenen Entwicklungsdisziplinen mangelt. Gerade bei interdisziplinären Systemen ist es jedoch erfolgsentscheidend alle beteiligten Disziplinen und möglichst auch die Zulieferer bereits früh in der Phase der Anforderungserfassung zu involvieren. Nur so ist es möglich alle Anforderungsaspekte ganzheitlich zu erfassen.²⁰ Zusätzlich trägt eine unzureichende Berücksichtigung des Produktlebenszyklus zu einer mangelnden Kenntnis der Systemanforderungen bei.²¹

Eine unvollständige Erfassung kann jedoch auch andere Gründe haben. So fehlen häufig passende Beschreibungsmittel und die Anforderungen werden nur in Textform oder mit Handskizzen festgehalten. Da die Komplexität der disziplinübergreifenden Systeme jedoch bereits an dieser Stelle mit allen Abhängigkeiten von den Fachdisziplinen berücksichtigt werden muss, ist dies nicht ausreichend. Vielmehr birgt sich darin die Gefahr, dass wichtige Randbedingungen und Anforderungen unbeachtet bleiben und erst im Laufe des Projektes erfasst werden. Zudem wird dadurch die Verknüpfung der Anforderungen mit den Entwicklungsergebnissen und damit eine Rückverfolgbarkeit der Anforderungsumsetzung durch den Entwicklungsprozess erschwert. An dieser Stelle benötigen die Unternehmen neue Anforderungsmanagement-Systeme für die Entwicklung disziplinübergreifender Systeme, die eine ganzheitliche Sicht auf die Anforderungen ermöglichen.²²

Ein weiteres Defizit, das häufig im Rahmen

der Anforderungserfassung zu beobachten ist, ist eine mangelnde Aufdeckung und Priorisierung relevanter Zielkonflikte, die aufgrund konträrer Zielaussagen des Kunden häufig im Rahmen der Forschung und Entwicklung auftreten. So fordert der Kunde z.B. einen geringeren Energieverbrauch bei gleichzeitig gesteigerter Leistung und zwingt damit den Entwickler zu einem Kompromiss, der gegebenenfalls gar nicht in seinem Sinne ist und zu einer Mittelmäßigkeit des entwickelten Systems führt. Solche Zielkonflikte müssen daher früh aufgedeckt werden und der Kunde muss die Ziele klar zueinander priorisieren. Nur so kann der Entwickler wissen, auf welches der konträren Ziele er mehr Wert in der Entwicklung legen muss.²³

Zuletzt kann es sogar geschehen, dass bereits erfasste Anforderungen aufgrund unstrukturierter Informationsflüsse innerhalb des Unternehmens nicht im Produkt berücksichtigt werden. Einen Grund hierfür kann die Übermittlung der Anforderungen vom Vertrieb an die Entwicklungsabteilung darstellen, wenn dieser sie, z.B. aufgrund fehlender Fachkenntnisse, nicht vollständig vermitteln kann. Dadurch wird ein Ableiten von Anforderungen an einzelne Komponenten anhand der vorgegebenen Randbedingungen des Gesamtsystems nur mit Hilfe von Erfahrungen aus vorherigen Projekten möglich.²⁴

Sicher zu stellen, dass alle Anforderungen auch wirklich vom entwickelten System erfüllt werden, stellt nach der oben genannten Studie aufgrund all dieser Defizite eine der größten Herausforderungen bei der Entwicklung disziplinübergreifender Systeme dar. Somit wird das Entwickeln einer für den Kunden optimalen Systemlösung deutlich erschwert und es kommt zu aufwendigen nachträglichen Änderungen, wenn Anforderungen erst spät realisiert werden.

Unterbrechung des Informationsflusses

Der Informationsfluss während der Entwicklung ist häufig gekennzeichnet durch eine Vielzahl an Informations- und Medienbrüchen sowie einer unregelmäßigen Informationshaltung und -weitergabe.²⁵ Hierfür ist zum Teil die sequentielle Natur des Entwicklungsprozesses

¹⁹ Vgl. VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, S. 23.

²⁰ Vgl. Brecher/Karlberger (2009), Modellgestützte Entwicklung von Werkzeugmaschinen, S. 301.

²¹ Vgl. Schlund/Riekhof/Winzer (2009), Probleme bei der Entwicklung mechatronischer Systeme, S. 55.

²² Vgl. Schuh et al. (2008), Fluidtronic, S. 62, Brecher/Karlberger (2009), Modellgestützte Entwicklung von Werkzeugmaschinen, S. 300f und Hayka/Lüddemann/Stark (2008), Zuverlässigere Gestaltung mechatronischer Produktentstehung, S. 715.

²³ Vgl. Schuh/Lenders (2009), Komplexitätsreduktion im Innovationsprozess durch Lean Thinking, S. 48.

²⁴ Vgl. Murrenhoff/von Dombrowski/Verkoyen (2009), Fluidtronic, S. 67 und Ehrlenspiel (2009), Integrierte Produktentwicklung, S. 187.

²⁵ Vgl. Dohmen (2002), Interdisziplinäre Methoden, S. 52.

verantwortlich, die im Folgenden noch näher betrachtet wird. Es hemmt den Informationsaustausch zwischen den Fachleuten, wenn sie die Entwicklungsschritte nicht parallel mit gemeinsamem Informationsaustausch, sondern sequentiell mit einer reinen Ergebnisweitergabe ablaufen lässt.²⁶

Weitere Gründe für Unterbrechungen des Informationsflusses sind die isolierten Begriffswelten sowie unterschiedliche Vorgehensmodelle, Methoden und Werkzeuge, die von den einzelnen Disziplinen genutzt werden. Diese führen zu Missverständnissen aufgrund unterschiedlicher Bedeutungen von Fachbegriffen und zu Medienbrüchen, da die einzelnen Softwarewerkzeuge einen gemeinsamen Datenaustausch nur unzureichend unterstützen. So wird die Kommunikation vor allem in den frühen Phasen der Entwicklung beeinträchtigt. Zudem wird ein zeitaufwändiger und fehleranfälliger manueller Austausch der Systemdaten zwischen den Softwarewerkzeugen nötig.²⁷ Erschwerend kommt hinzu, dass die Disziplinen eigene Datenmanagement-Tools nutzen, wodurch keine gemeinsame Datenbasis, sondern einzelne Inseldatenbanken entstehen. Viele Daten werden daher redundant gehalten. Dies schränkt den Austausch der Informationen weiter ein und führt dazu, dass sie nicht an der Stelle, an der sie benötigt werden, zur Verfügung stehen oder gar ganz verloren gehen.²⁸ Besonders groß sind die Auswirkungen der disziplininternen Inseldatenbanken, wenn Änderungen auftreten. In diesem Falle ist keine Änderungstransparenz gegeben und die Änderungen, die eine Disziplin vornimmt, müssen manuell in die anderen Datenbanken überführt werden, was wiederum zu Medienbrüchen mit möglichem Informationsverlust führt. Noch schlimmer sind die Auswirkungen jedoch, wenn dieser Abgleich irrtümlich nicht vorgenommen wird und die Disziplinen mit unterschiedlichen Designversionen arbeiten.²⁹

Mangelnde Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen den Disziplinen

Einige der Hauptdefizite in der Entwicklung disziplinübergreifender Systeme ergeben sich aus den engen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen am Entwicklungsprozess beteiligten Domänen und einer nicht ausreichenden Berücksichtigung dieser komplexen Abhängigkeiten. Dies hat negative Auswirkungen auf die Systemzuverlässigkeit und kann zu kompletten Systemausfällen führen.³⁰

Aufgrund der verschiedenen Vorgehensweisen und disziplinspezifischen Softwarelösungen ergeben sich auch hier Probleme. So gestaltet es sich als besonders schwierig, die Entwicklungsschritte und die dabei erzielten Ergebnisse der verschiedenen Disziplinen zu synchronisieren und zu vernetzen. Dadurch kann es bei der Zusammenführung der unterschiedlichen Teilsysteme zu funktionalen Problemen kommen, die erst im späteren Verlauf des Entwicklungsprozesses erkannt werden.³¹ Häufig werden diese Unterschiede zwischen den Disziplinen durch ein starkes Abteilungsdenken noch weiter betont, was zu einer Optimierung der internen Abteilungsabläufe führt, die die Optimierung des Gesamtprozesses verdrängt. EHRENSPIEL spricht in diesem Zusammenhang von einem so genannten »Mauerdenken«. Folglich geht der Sinn für das Ganze verloren. Es zeigt sich, dass heute häufig noch abgeschottet in den einzelnen involvierten Domänen entwickelt wird.³² Dies führt dazu, dass eine dominante Disziplin – bei mechatronischen Systemen häufig die Mechanik – den Entwicklungsprozess besonders prägt und andere Disziplinen erst spät im Prozess eingebunden werden. Besonders die frühe Zusammenarbeit schon bei der Anforderungserfassung und in der Konzeptphase ist jedoch essentiell, um die Wechselwirkungen beherrschbar zu machen.³³ Geschieht dies nicht, kann es dazu kommen, dass, wie oben beschrieben, die Anforderungen

²⁶ Vgl. Schuh et al. (2008), Fluidtronic, S. 62.

²⁷ Vgl. Hayka/Lüddemann/Stark (2008), Zuverlässigere Gestaltung mechatronischer Produktentstehung, S. 715, Dohmen (2002), Interdisziplinäre Methoden, S. 52 und Schuh et al. (2008), Fluidtronic, S. 62.

²⁸ Vgl. Schuh et al. (2008), Fluidtronic, S. 62 und Aberdeen Group (2006), The Mechatronics System Design Benchmark Report, S. 2.

²⁹ Vgl. Lewald (2008), Gedanken zur Mechatronik aus der Sicht eines PLM Anbieters, S. 56.

³⁰ Vgl. Schlund/Riekhof/Winzer (2009), Probleme bei der Entwicklung mechatronischer Systeme, S. 54 und Winzer et al. (2007), Ansatz zur Strukturierung, S. 3.

³¹ Vgl. Aberdeen Group (2006), The Mechatronics System Design Benchmark Report, S. 4 und Baum/von Dombrowski/Engler (2009), Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme, S. 3.

³² Vgl. Ehrlenspiel (2009), Integrierte Produktentwicklung, S. 186 und VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, S. 4.

³³ Vgl. Schuh et al. (2008), Fluidtronic, S. 62, VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, S. 11 und Hayka/Lüddemann/Stark (2008), Zuverlässigere Gestaltung mechatronischer Produktentstehung, S. 715.

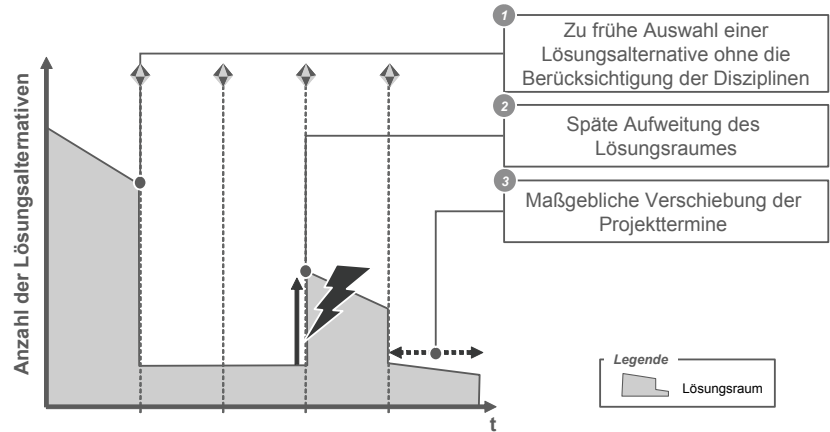
³⁴ Vgl. Brecher/Karlberger (2009), Modellgestützte Entwicklung von Werkzeugmaschinen, S. 301.

unvollständig erfasst werden.³⁴ Zudem wird ggf. bei der Festlegung der grundlegenden Funktionsprinzipien der Lösungsraum frühzeitig eingeschränkt. In letzterem Fall ist es möglich, dass der Lösungsraum, wie in Abbildung 5 dargestellt, aufgrund einer Suboptimalität der zu früh gewählten Lösung nachträglich wieder ausgeweitet werden muss. Damit versucht man durch eine späte Konzeptänderung unter Einbeziehung der Lösungsalternativen aller Disziplinen doch noch näher an das Optimum heran zu kommen. Dies verursacht jedoch erheblichen Mehraufwand und verschiebt den Liefertermin maßgeblich. Nur wenn alle Disziplinen in die Konzeptfestlegung eingebunden werden, kann das volle Potenzial zur Lösung des Problems ausgeschöpft werden.³⁵

Auch im späteren Verlauf des Entwicklungsprozesses kann es durch eine unzureichende Beherrschung der vielfältigen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Disziplinen zu Defiziten kommen. Vor allem bei Änderungen am aktuellen Konzept entstehen Schwierigkeiten. Hier wirkt es sich negativ aus, dass die aktuellen Entwicklungsprozesse nicht darauf ausgerichtet sind, dass Änderungen einer Teilfunktion häufig weit reichenden Einfluss auf die Arbeit in anderen Fachdisziplinen ausüben. Auch dadurch ergeben sich Iterationen und zeitintensive Entwicklungsprozesse sowie späte Änderungen und hohe Fehlerhäufigkeiten bei den Produkten.³⁶ Doch selbst wenn die Entwicklungsprozesse mehr hierauf ausgerichtet wären, ließen sich aufgrund der Komplexität der Wechselwirkungen die Auswirkungen von Änderungen bisher nur bedingt voraussagen. Dies hängt damit zusammen, dass das gegenseitige Verständnis unter den Disziplinen noch zu gering ist, und dass keine integrierte Softwarelösung für den interdisziplinären Entwicklungsprozess besteht.³⁷

Sequentielle Natur des Entwicklungsprozesses

Die Systementwicklung in den Unternehmen ist aufgrund gewachsener Strukturen heute immer noch durch eine sequentielle Bearbeitung geprägt. Die Funktionsweise eines Subsystems



wird z.B. nur innerhalb einer Disziplin entwickelt, bevor sie zur Weiterentwicklung an die nächste Disziplin weitergegeben wird. Erkennt diese erst dann Inkompatibilitäten, kommt es zu zeit- und kostenaufwendigen Iterationsschleifen. Solche Verzögerungen lassen sich in dem sequentiellen Prozess nicht mehr auffangen, da automatisch alle folgenden Aktivitäten nach hinten verschoben werden, wodurch zur Einhaltung des vereinbarten Liefertermins Testphasen nur noch unzureichend durchgeführt werden können. So geschieht es oftmals, dass Fehler erst nach dem Eintreffen der Anlage beim Kunden gefunden und zeitaufwendig behoben werden, was dem Firmenansehen beträchtlich schadet.³⁸

Insgesamt könnten durch einen integrierten parallelen Entwicklungsprozess im Sinne eines Concurrent Engineering Entwicklungszeit und Kosten gesenkt sowie die Qualität und die Zuverlässigkeit des entstehenden Systems erhöht werden.³⁹

Mangelnde Validierung

Ein weiteres bedeutendes Defizit bei der Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme stellt die mangelhafte Validierung während des Entwicklungsprozesses dar. Vor allem in der Disziplin Fluidtechnik werden die Simulationsprogramme nicht entwicklungsbegleitend eingesetzt, sondern kommen nur dann zum Einsatz, wenn die erfahrungsbasierte Auslegung an ihre Grenzen stößt. Dies erschwert das

Abbildung 5
Auswirkungen fehlender
Zusammenarbeit in der
Entwurfsphase

³⁵ Vgl. Anton/Lercher/Oertli (2002), Funktionsmodellierung und Dynamikoptimierung, S. 1-2 und Dohmen (2002), Interdisziplinäre Methoden, S. 52.

³⁶ Vgl. Hayka/Lüddemann/Stark (2008), Zuverlässigere Gestaltung mechatronischer Produktentstehung, S. 715.

³⁷ Vgl. Aberdeen Group (2008), System Design, S. 8, Dohmen (2002), Interdisziplinäre Methoden, S. 52 und Brecher/Karlberger (2009), Modellgestützte Entwicklung von Werkzeugmaschinen, S. 300.

³⁸ Vgl. Baudisch/Zäh/Lindworsky (2007), Integrativer Entwurf räumlicher elektronischer Schaltungsträger, S. 401 und Schuh et al. (2008), Fluidtronic, S. 62.

³⁹ Vgl. Möhringer (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, S. 23.

Verständnis des Gesamtsystems und gestaltet vor allem die Inbetriebnahme, bei der sich etwaige Fehler erfahrungsgemäß zeigen, zunehmend aufwändiger.⁴⁰

Fehlen eines integrativen Systementwurfes

Besonders schwer wiegt neben diesen Defiziten der Mangel eines disziplinübergreifenden gemeinsamen Konzepts zu Beginn des Prozesses. Dieses ist wie oben bereits erwähnt essentiell für eine erfolgreiche interdisziplinäre Entwicklung. Zum einen gewährleistet ein integrativer Systementwurf, dass alle Disziplinen ein gemeinsames Verständnis für das System haben, zum anderen kann er, wenn er disziplinübergreifend erarbeitet wird, für eine Berücksichtigung aller beteiligten Disziplinen bei der Lösungsfindung sorgen.⁴¹

Überdimensionierung von Komponenten

Ein weiteres Defizit ist die Überdimensionierung von Komponenten im Rahmen der Entwicklung. Da die Zuverlässigkeit eines fluidtechnisch-mechatronischen Systems wesentlich durch die Funktionsfähigkeit und Lebensdauer der Komponenten bestimmt wird, werden häufig überdimensionierte Komponenten gewählt, um diese in der Systemauslegung sicher zu erreichen. Dieser Ansatz ist nach Expertenmeinung in Bezug auf den Ressourcenverbrauch signifikant optimierbar. Wege dorthin könnten eine fundiertere Systemauslegung mittels Simulation und deren Erweiterung um Alterungsprozesse und Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Komponenten sein.

Mangelnde Berücksichtigung des Einlaufverhaltens

Ein nächster Punkt ist die mangelnde Berücksichtigung des Einlaufverhaltens der Systeme. Nach der Einlaufzeit können sich z.B. die Eigenschaften der hydraulischen Achsen, etwa aufgrund sinkender Dichtungsreibung, derart verändern, dass diese neu parametrisiert werden müssen, um die zugesicherten Anforderungen erfüllen zu können. Dieses Verhalten wird jedoch bisher bei der Systemauslegung nicht ausreichend berücksichtigt. Durch die Änderung der dynamischen Eigenschaften der Komponenten müssen die Parametersätze neu eingestellt werden. Sensoren, die den Ist-Zustand der dynamischen Änderung per

Condition Monitoring erfassen und daraufhin mit veränderten Parametersätzen direkt in der Anlagensteuerung reagieren, existieren bis jetzt noch nicht. Sie könnten jedoch in der Systemauslegung berücksichtigt werden, um den Prozess zu automatisieren.

Fehlen einer virtuellen Inbetriebnahme

In der Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme kommen selten physische Prototypen zum Einsatz. Aufgrund der Abmaße der Systeme können diese auch nicht am Fertigungsstandort erprobt und in Betrieb genommen werden, sondern erst beim Kunden. Diese Vorgehensweise erfordert aufgrund der komplexen Parametrierung eines fluidtechnisch-mechatronischen Systems eine zeitaufwendige Inbetriebnahme, die bislang nicht im Vorfeld simuliert wird. Mit Hilfe einer der realen Inbetriebnahme vorgelagerten virtuellen Inbetriebnahme könnte die Steuerung jedoch bereits an einem virtuellen Gesamtmodell des Systems richtig eingestellt werden. So müssten vor Ort nur noch letzte Anpassungen vorgenommen werden.

Unstrukturierte Rückkopplung von Betriebsdaten

Zuletzt sei noch die unstrukturierte Rückkopplung von Betriebsdaten als Defizit genannt. Die Konzeption einer neuen fluidtechnisch-mechatronischen Anlage basiert momentan in den frühen Phasen der Entwicklung auf dem Erfahrungswissen der Entwickler. Meist liegen hier nur Betriebsdaten aus Belastungstests für die der einzelnen Komponenten vor, nicht jedoch für das Zusammenspiel aller Komponenten in einem Gesamtsystem. Grund dafür ist vor allem der Umstand, dass bisher keine strukturierte Möglichkeit besteht, Betriebsdaten in den Entwicklungsprozess rückzukoppeln. Dies hat zur Folge, dass Erfahrungswerte basierend auf Betriebsdaten wie bspw. Lastkollektive nicht in den Entwicklungsprozess zur Auslegung neuer Systeme mit einfließen. Durch eine Rückkopplung von Betriebsdaten könnten fluidtechnisch-mechatronische Anlagen effizienter ausgelegt werden, da eine Überdimensionierung einzelner Komponenten nicht erforderlich wäre. Außerdem könnten so Verschleißerscheinungen während des Betriebs aufgenommen und in zukünftigen Entwicklungen berücksichtigt werden

⁴⁰ Vgl. Murrenhoff/von Dombrowski/Verkoyen (2009), Fluidtronic, S. 67f. Insbesondere hierzu werden in Kapitel 2.1.3 zwei Praxisbeispiele gegeben.

⁴¹ Vgl. Anton/Lercher/Oertli (2002), Funktionsmodellierung und Dynamikoptimierung, S.1-8.

(s.o.), was eine Steigerung der Zuverlässigkeit der Anlagen zu Folge hätte.

2.1.1 Praxisbeispiele

Die folgenden Praxisbeispiele behandeln zwei Entwicklungsprojekte fluidtechnisch-mechatronischer Systeme, in deren Verlauf aufgrund der oben beschriebenen Defizite ein unzulängliches System entstanden ist. Beide Beispiele wurden anonymisiert.

Praxisbeispiel 1 –

Entwicklung einer hydraulischen Presse

Das erste Praxisbeispiel beschäftigt sich mit der Anpassungsentwicklung einer hydraulischen Presse und stellt ein Problem dar, das in dieser Form bei der Entwicklung von Pressen bereits häufiger aufgetreten ist.

In diesem Fall hatte der Kunde beim Original Equipment Manufacturer (OEM) eine Presse in Auftrag gegeben. Die Hydraulikversorgung – also Tank und Pumpen – sollten aufgrund der hohen Geräuscentwicklung außerhalb der eigentlichen Maschinenhalle untergebracht werden. Nachdem der Vertrieb die Anforderungen aufgenommen hatte, wurde geprüft, ob ggf. eine schon vorhandene Lösung für die Anwendung besteht. In der Projektdatenbank wurde eine zuvor schon einmal verkaufte Presse gefunden, die bereits beim Kunden erfolgreich in Betrieb genommen wurde und die Anforderungen hinsichtlich Bauteilqualität und Stückzahl auch für den neuen Kunden erfüllen könnte. Nachdem dem Kunden die Lösung vorgestellt worden war und man sich auf einen Preis geeinigt hatte, wurde die Presse ein zweites Mal produziert und beim Kunden aufgebaut, um sie dort in Betrieb zu nehmen.

Im Gegensatz zum ersten Kunden jedoch musste eine deutlich längere Zuleitung von der Presse zur Hydraulikversorgung verlegt werden, um die oben genannten Randbedingungen zu erfüllen. Da diese Leitungen aus Metall hergestellt werden, um den hohen Drücken Stand zu halten, stellen die größeren Entfernungen normalerweise kein Problem dar. Aufgrund dieser Erfahrungen des Hydraulikkonstrukteurs wurden daher bei der Abänderung des ursprünglichen Layouts keine weiteren Berechnungen angestellt.

Bei der Inbetriebnahme vor Ort sollte nun die Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) eingestellt werden, um die Parameter an die Betriebsbedingungen und die Aufgabe anzupassen. Dies ist üblicherweise ein Standardvorgehen und vor allem bei dieser Art von Pressen

unproblematisch. Der Mitarbeiter konnte jedoch die angestrebte Hubfrequenz nicht verwirklichen, da ab einer bestimmten, unterhalb der vom Kunden gewünschten und vom OEM zugesicherten Frequenz, ein unvorhergesehenes Verhalten auftrat. An dieser Stelle musste die Inbetriebnahme abgebrochen werden, da eine Lösung mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nicht möglich war. Nun mussten sich die Konstrukteure mit diesem Problem beschäftigen. Man führte, nachdem die Ursache nicht gefunden werden konnte, eine Hydrauliksimulation durch. Dabei wurde festgestellt, dass sich aufgrund der stark erhöhten Zuleitungslänge dynamische Effekte im Fluid einstellen, die so bisher nicht aufgetreten waren. Aufgrund einer fehlenden Simulation während der Änderung des Systems wurde dieses Problem jedoch nicht rechtzeitig entdeckt und dem Kunden so eine Anlage geliefert, die seinen Anforderungen nicht entsprach. Diese musste nun mit einer geringeren Hubfrequenz betrieben werden, um sie nicht komplett austauschen zu müssen. Die daraus entstehende Vertragsverletzung führte für den OEM zu einer Konventionalstrafe und machte aus dem eigentlich ertragreichen am Ende sogar noch ein Verlustgeschäft.

Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass durch eine entwicklungsbegleitende Simulation auch bei Änderungsentwicklungen die Qualität und Funktionserfüllung der Anlage abgesichert werden sollte. Bei dem Versuch einer virtuellen Inbetriebnahme wären die Schwächen des abgeänderten Konzeptes aufgefallen. Man hätte noch vor der Auslieferung nach möglichen Anpassungsnotwendigkeiten und Verbesserungen suchen und somit die Konventionalstrafe vermeiden können.

Praxisbeispiel 2 –

Entwicklung einer Mahleinheit

Das zweite Beispiel ist der Entwicklung einer Mahleinheit zur Gesteinszerkleinerung entnommen. Diese stellt ebenfalls ein fluidtechnisch-mechatronisches Produkt dar, wobei die Steuerung hier nicht so komplex wie die einer Presse ist.

Ähnlich wie oben handelte es sich um eine Anpassungsentwicklung. In diesem Fall wünschte der Kunde ein bereits für einen anderen Kunden gebautes System in einer größeren Ausführung. Da das Konzept das gleiche bleiben sollte, nahm der Vertrieb nach Rücksprache mit der Mechanikkonstruktion den Auftrag an. Das Ziel war es, die bereits vorliegende Konstruktion größtenteils durch eine einfache

Hochskalierung der einzelnen Komponenten wiederzuverwenden. Die Anlage verfügt über eine Walze, die das Gestein zerschert. Damit die Walze die hierfür benötigten Kräfte aufbringen kann, wird sie durch einen Hydraulikzylinder belastet, der infolge der hohen Dynamik der Anlage beweglich gelagert ist. Aufgrund dessen können keine steifen Metallrohre, sondern nur elastische Schläuche für die Versorgung des Zylinders genutzt werden. Diese gibt es jedoch nur bis zu einer bestimmten Größe, wobei für die Neukonstruktion die größte verfügbare gewählt wurde.

Nachdem das System beim Kunden installiert war, fiel im Betrieb eine starke Schwankung in der Güte des zerkleinerten Gesteins auf, weshalb der Hersteller die Konstruktion nochmals überprüfen musste. Auch hier wurde nun im Nachhinein auf eine Simulation des gesamten Mechanik-Hydrauliksystems gesetzt. Diese zeigte zunächst, dass durch die Vergrößerung des genutzten Hydraulikzylinders das Volumen des verdrängten Öls so stark zunahm, dass die Strömung in den zu klein ausgelegten Schläuchen vom laminaren in den turbulenten Zustand wechselte. Dadurch erhöhte sich der Fließwiderstand schlagartig und der Zylinder konnte nicht mehr richtig versorgt werden. Die zweite Erkenntnis ergab sich, nachdem die Schwingungsfrequenz des Zylinders über verschiedene Steifigkeiten des zu zerschierenden Minerals simuliert wurde. Es zeigte sich, dass es im Betrieb zu kritischen Schwingungsspitzen kam, da die beim neuen Kunden zu zerkleinernden Mineralien eine andere Steifigkeit hatten als die in der ersten Anwendung der kleineren Mahleinheit. Beide Probleme konnten im Nachhinein behoben werden, wobei die Lösung des Strömungsproblems durch das Anbringen eines zweiten Versorgungsschlauches gelang.

Auch in diesem Beispiel hätte durch eine stärkere Einbeziehung der Hydraulikkonstruktion das Versorgungsproblem vermutlich schnell und früh in der Entwicklung erkannt und beseitigt werden können. Spätestens bei einer begleitenden Validierung mittels einer Gesamtsimulation wären beide Probleme erkannt worden. In diesem Fall wird zudem die Bedeutung einer gekoppelten Simulation zwischen mechanischen und hydraulischen Simulationsmodellen sichtbar. Wäre nur die Mechanik simuliert worden, so hätten zwar die Frequenzspitzen, nicht aber die Strömungsprobleme, die sich hieraus

ergeben, festgestellt werden können. Eine reine Hydrauliksimulation hingegen hätte aufgrund der unbekannten neuen Frequenzspitzen vermutlich keine Fehler aufgezeigt.

2.2 Anforderung und Nutzen einer Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme

2.2.1 Anforderungen an die Entwicklungsumgebung

Die Anforderungen an die Entwicklungsumgebung ergeben sich vor allem aus den beschriebenen Problemen beim aktuellen Entwicklungsprozess. Hersteller fluidtechnisch-mechatronischer Systeme sehen sich einem hochkomplexen und stark interdisziplinären Produkt gegenüber, das sie in immer kürzerer Zeit entwickeln sollen.⁴² Daher benötigen sie eine Entwicklungsumgebung, die es ihnen ermöglicht, die verschiedenen am Entwicklungsprozess beteiligten Disziplinen mit ihren individuellen Methoden und Werkzeugen in die Entwicklung zu integrieren. Hierzu müssen die Wechselwirkungen und Abstimmungsbedarfe früh erkannt und durch die nötige Kommunikation und Abstimmung unterstützt werden. Auf diese Weise kann in kurzer Zeit und bei weitgehender Vermeidung von Iterationen ein optimales, in der Zuverlässigkeit verbessertes Produkt entwickelt werden.

Vor diesem Hintergrund ist es eine Anforderung an die Entwicklungsumgebung, gut dokumentierte, konfigurierbare Prozessbausteine in Form eines interdisziplinären Prozessesmodells bereitzustellen, die eine verbesserte Strukturierbarkeit und Beherrschbarkeit des Entwicklungsprozesses sicherstellen.

Eine weitere wichtige Aufgabe der Entwicklungsumgebung ist es, den gesamten Prozess durch eine ständige Validierung der gewonnenen Ergebnisse zu unterstützen und hierfür einen durchgängigen Softwaresupport und eine Integration der disziplinspezifischen Lösungen, vor allem für die Simulation, zu gewährleisten.⁴³ Gleichzeitig muss der Austausch der Ergebnisse unter den verschiedenen Disziplinen und ggf. Entwicklungspartnern vereinfacht werden.

Da häufig eine konsequente Umsetzung der Anforderungen in Produkte fehlt, besteht ein weiterer Anspruch an die Entwicklungsumgebung darin, eine ganzheitliche Aufnahme und Übersetzung der Anforderungen in Produkte

⁴² Vgl. Murrenhoff/von Dombrowski/Verkoyen (2009), Fluidtronic, S. 67.

⁴³ Vgl. VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, S. 25.

zu gewährleisten. Hier müssen neben Kunden auch unternehmensinterne Interessensgruppen berücksichtigt werden.⁴⁴ Zudem muss sie die Entwickler bei der frühen Aufdeckung, Priorisierung und Auflösung relevanter Zielkonflikte unterstützen.

Da es aufgrund der unterschiedlichen beteiligten Disziplinen besonders wichtig ist, vor Beginn der Ausdetaillierung in der Entwicklung ein disziplinübergreifendes Konzept für das zu entwickelnde Produkt festzulegen, muss die Entwicklungsumgebung darüber hinaus einen frühen Systementwurf fördern. Das Ergebnis dieses Systementwurfes ist ein abgesichertes Konzept des fluidtechnisch-mechatronischen Systems.⁴⁵ An dieser Stelle ist es zudem bereits essentiell, dass die interdisziplinären Wechselwirkungen erkennbar werden, um von vornherein Abstimmungsbedarfe festzuhalten zu können.

Eine nächste Anforderung ist die Unterstützung der planerischen Tätigkeiten während des Projektes. Aufgrund der hohen Komplexität der Entwicklung wird ein umfassendes Projektmanagement für die Koordination, Terminplanung, Ressourcenverwaltung und Projektüberwachung benötigt.

Weiter ist es ein Ziel der Entwicklungsumgebung den Unternehmen ein durchgängiges Datenmanagement bereitzustellen, das den Austausch von Dokumenten erleichtert und beschleunigt. Dieses sollte zudem ein Änderungs- und Konfigurationsmanagement sowie eine Wissensdatenbank mit bereits vorhandenen Lösungen enthalten.

Damit ergeben sich zusammengefasst folgende Anforderungen an die fluidtechnisch-mechatronische Entwicklungsumgebung:

- Frühe Identifikation und Beachtung von Wechselwirkungen und Abstimmungsbedarfen
- Bereitstellung gut dokumentierter, konfigurierbarer Prozessbausteine
- Kontinuierliche Validierung der gewonnenen Ergebnisse
- Bereitstellung eines umfassenden Anforderungsmanagements
- Förderung eines frühen, disziplinübergreifenden Systementwurfes

- Bereitstellung eines umfassenden Projektmanagements
- Sicherstellung eines durchgängigen Datenmanagements

2.2.2 Nutzen einer Entwicklungsumgebung

Aus den zuvor beschriebenen Anforderungen lassen sich nun Schlüsse auf den Nutzen, den die Entwicklungsumgebung für die Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme hinsichtlich Effektivität und Effizienz bei Erfüllung der Anforderungen stiftet, ziehen. Diese werden im Folgenden kurz zusammengefasst.

2.2.2.1 Nutzen hinsichtlich Effektivität

Zunächst soll hier beschrieben werden, wie die Entwicklungsumgebung durch Erfüllung der inhaltlichen und formalen Anforderungen dazu beitragen kann, »die richtigen Dinge zu tun«. Damit kann der Zielerreichungsgrad als Verhältnis von erreichtem zu definiertem Ziel und so die Effektivität verbessert werden.⁴⁶

Das vermutlich größte Nutzenpotenzial birgt die frühe Erkennung und explizite Berücksichtigung von Wechselwirkungen zusammen mit der systematischen Steuerung der Zusammenarbeit der Disziplinen. Hierdurch werden Fehler aufgrund unbekannter Wechselwirkungen vermieden, indem die betroffenen Entwickler sich frühzeitig abstimmen und das Produkt bzw. die Teilprodukte entsprechend den Erkenntnissen gestalten. Dadurch wird die Produktzuverlässigkeit deutlich gesteigert.⁴⁷ Durch eine frühzeitige Absprache noch in der Konzeptionsphase, können zusätzlich aufgrund der stärkeren Integration der Disziplinen neue Lösungen gefunden und im Entwurf berücksichtigt werden. Auf diesem Wege lässt sich der Kundennutzen weiter steigern, indem beispielsweise eine noch bessere oder günstigere Lösung gefunden wird, die zugleich die Marktposition des entwickelnden Unternehmens stärkt.

Eine positive Wirkung auf die Systemqualität hat auch die durchgängige Validierung der gewonnenen Ergebnisse, z.B. durch eine Simulation bereits konstruierter Komponenten. So können die Systeme schon vor dem eigentlichen Bau des ersten Prototyps im Hinblick auf ihre Funktionserfüllung und Zuverlässigkeit getestet werden. Probleme werden früh erkannt

⁴⁴ Vgl. Dumitrescu (2008), Herausforderungen bei der Entwicklung mechatronischer Systeme und ihre Lösung, S. 232 und Schienmann (2002), Kontinuierliches Anforderungsmanagement, S. 152ff.

⁴⁵ Vgl. VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, S. 8.

⁴⁶ Vgl. Drucker (2007), The Effective Executive, S. 1 und Homburg (2009), Marketingmanagement, S. 1233.

⁴⁷ Vgl. Murrenhoff/von Dombrowski/Verkoyen (2009), Fluidtronic, S. 67.

und können behoben werden, wodurch die Qualität des ausgelieferten Systems und damit die Kundenzufriedenheit steigen.⁴⁸

Um die Anforderungen des Kunden zu erfüllen und damit das Entwicklungsziel zu erreichen, ist das Anforderungsmanagement ein sehr wichtiges Hilfsmittel. Durch gekonntes Anforderungsmanagement werden aus den Anforderungen an das Gesamtsystem gezielt die der Einzelkomponenten abgeleitet. So wird sichergestellt, dass alle Komponenten die Spezifikationen besitzen, die eine maximale Befriedigung der Kundenanforderungen bewirken.

Durch eine Lösung, die Informationsbrüche zwischen den disziplinspezifischen Softwaretools und die damit verbundene manuelle Datenübertragung vermeidet, wird die Gefahr des Verlustes oder der Verfälschung von Informationen deutlich vermindert. Auf diesem Wege werden Qualitätsprobleme vermieden, die sonst aus diesen Fehlern entstehen können⁴⁹ und die Systemqualität und damit auch die Effektivität werden gesteigert.

2.2.2.2 Nutzen hinsichtlich Effizienz

Es ist jedoch nicht nur wichtig, ein möglichst gutes Ergebnis zu erarbeiten, sondern dies auch mit möglichst geringem Aufwand zu tun. Daher soll nun beschrieben werden, wie die Entwicklungsumgebung die Effizienz der Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme verbessern und dabei helfen kann, »die Dinge richtig zu tun«.⁵⁰

Auch für die Effizienz der Entwicklung hat die frühe Aufdeckung und gezielte Berücksichtigung von Wechselwirkungen einen großen Nutzen. In Kombination mit einer systematischen Koordination und Kommunikation der Disziplinen sowie der frühen Festlegung des Produktkonzeptes im Systementwurf kann sie Fehler und Missverständnisse, die zu Iterationen führen würden, verhindern und damit Zeitverluste und zusätzliche Kosten vermeiden.

Auch die kontinuierliche Validierung der Ergebnisse durch Simulation kann durch ein frühzeitiges Erkennen von Entwicklungsfehlern

zeitaufwendige Rücksprünge verhindern. Zusätzlich können durch virtuelle Testläufe bisher benötigte Prototypen überflüssig werden. Da in der Regel ein Test durch Simulation deutlich günstiger als ein Test an einem Prototyp ist, werden auf diesem Wege Kosten eingespart.⁵¹ Weiterhin werden durch Insellösungen bei den Entwicklungs- und Simulationstools die Entwicklungsgeschwindigkeit und die Entwicklungskosten erhöht. Daher kann der ergänzende vereinfachte Ergebnisaustausch zwischen den verschiedenen Entwicklungstools durch ein geeignetes Datenmanagement zu einer weiteren Zeit- und Kostenersparnis führen.⁵²

Das bisherige, nicht integrierte sondern sequentielle Vorgehen führt zu teiloptimierten Systemen mit teilweise inkompatiblen Schnittstellen, die zeit- und kostenaufwendige Iterationen nach sich ziehen.⁵³ Durch die integrierte und parallelisierte Konzeption des Entwicklungsprozesses im Sinne eines Concurrent Engineerings können damit große Zeit- und Kostenpotenziale gehoben und Prozessqualität und -beherrschung deutlich gesteigert werden.

⁴⁸ Vgl. Gausemeier/Frank (2006), Stand und Perspektiven der Entwicklung mechatronischer Systeme / Gausemeier (2006), Stand und Perspektiven der Entwicklung mechatronischer Systeme, S. 10.

⁴⁹ Vgl. Dohmen (2002), Interdisziplinäre Methoden, S. 3.

⁵⁰ Vgl. Drucker (2007), The Effective Executive, S. 2 und Homburg (2009), Marketingmanagement, S. 1233.

⁵¹ Vgl. VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, S. 47, Lenders/Treutlein/UAM (2008), Marktspiegel Business Software PLM/PDM 2008/2009, S. 10. und Murrenhoff/von Dombrowski/Verkoyen (2009), Fluidtronic, S. 67f.

⁵² Vgl. Dohmen (2002), Interdisziplinäre Methoden, S. 66 und 4.

⁵³ Vgl. VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, S. 22 und Gausemeier/Frank (2006), Stand und Perspektiven der Entwicklung mechatronischer Systeme / Gausemeier (2006), Stand und Perspektiven der Entwicklung mechatronischer Systeme, S. 10.

Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme

3.1. Konzept der fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklungsumgebung

Um die Anforderungen zu erfüllen und die Nutzenpotenziale auszuschöpfen, wird eine als unternehmensübergreifende Plattform ausgelegte Entwicklungsumgebung benötigt. Diese umfasst alle Disziplinen und Aktivitäten im Prozess der Produktentwicklung sowie die darin genutzten Methoden, Werkzeuge und IT-Systeme. Darüber hinaus beinhaltet sie sowohl die zugehörigen System- und Prozessinformationen vom Systementwurf bis zur Inbetriebnahme als auch die Rückkopplung der Betriebsdaten während des Systemlebenszyklus.

Da die Entwicklungsumgebung aus mehreren verschiedenen Komponenten und Modellen besteht, werden im Folgenden der Aufbau und das Zusammenspiel der einzelnen Teile näher erläutert.

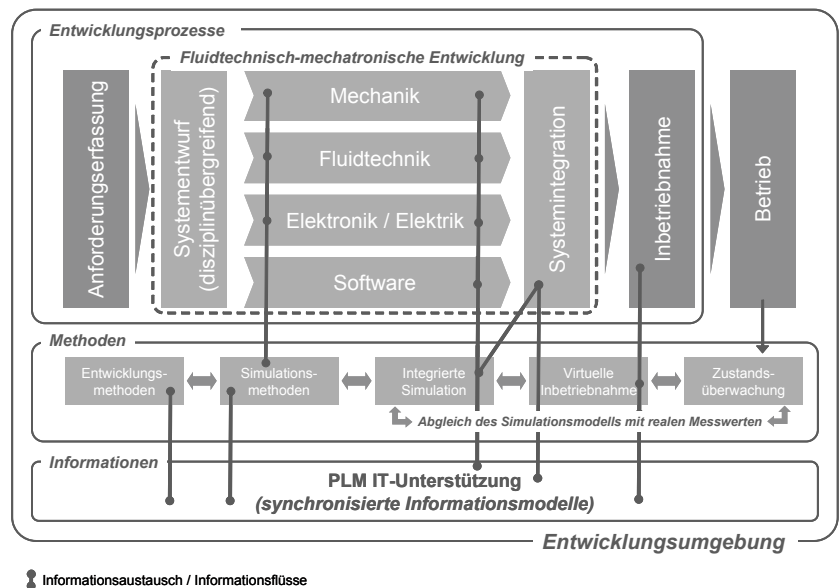
Abbildung 6 stellt die Struktur der Entwicklungsumgebung und die Wirkbeziehungen zwischen den in ihrer Gestaltung wesentlichen Elementen dar. Die Entwicklungsumgebung umfasst folgende Bereiche:

- Konfigurierbare Entwicklungsprozesse für die fluidtechnisch-mechatronische Entwicklung
- Methoden, die im Zuge der Entwicklung, Inbetriebnahme und im Betrieb verwendet werden
- Eine Informationshandhabung mittels einer PLM IT-Unterstützung

Die konfigurierbaren Entwicklungsprozesse repräsentieren das integrative Prozessmodell. Da die Anwendung starrer Standardprozesse in der Regel zu einem suboptimalen Ergebnis führt, ist die Ausgestaltung des Entwicklungsprozesses an den jeweiligen Projekttyp anpassbar. Die Entwicklungsprozesse berücksichtigen, wie Abbildung 6 zeigt, sowohl die Anforderungserfassung als auch einen disziplinübergreifenden Systementwurf zu Beginn des Entwicklungsprozesses. Im eigentlichen Konstruktionsprozess findet die Entwicklung parallel und mit einem permanenten Informationsaustausch zwischen den Disziplinen statt. Anschließend werden die Subsysteme zu einem Gesamtsystem integriert. Die Entwicklungsprozesse beschreiben jeweils die Aktivitäten, die in den einzelnen Elementen durchzuführen sind und geben zu jeder Aktivität die anzuwendenden

Methoden und Tools zur Entwicklungsunterstützung vor. Innerhalb der Entwicklungsumgebung werden sie in Form von Workflows abgebildet und dienen somit der Definition der Vorgehensweise in einem disziplinübergreifenden Entwicklungsprozess.

Der zweite wichtige Bestandteil sind die Methoden, die im Zuge der Entwicklung, der Inbetriebnahme und im Betrieb selbst verwendet werden. Diese sollen an den Entwicklungsprozess angepasst und in ihn integriert werden. Die einzelnen Methoden werden zu verschiedenen Zeitpunkten eingesetzt und unterstützen im Zusammenspiel durchgängig die gesamte Entwicklung. Die Methoden umfassen sowohl Entwicklungsmethoden wie beispielsweise Kreativitätstechniken, aber auch die unterschiedlichen Simulationswerkzeuge, die in der Entwicklung eingesetzt werden. Sie werden im Rahmen der Systemintegration zu einer integrierten Simulation zusammengeschlossen und in der virtuellen Inbetriebnahme genutzt. Wichtig dafür sind die Möglichkeit des Datenaustausches zwischen den Simulati-



onsumgebungen der einzelnen Disziplinen und die gemeinsame Datenbasis. Außerdem gilt es die einzelnen Simulationsmodelle anhand der Rückkopplungsdaten aus der Betriebsphase auf ihre Richtigkeit hin zu überprüfen.

Die Informationshandhabung mittels einer PLM IT-Unterstützung stellt den dritten und letzten Baustein der Entwicklungsumgebung dar. Diese PLM IT-Unterstützung übernimmt

Abbildung 6
Die integrierte fluidtechnisch-mechatronische Entwicklungsumgebung

die gerade genannten Funktionen zur gemeinsamen Datenhaltung und ermöglicht den Datenaustausch zwischen dem OEM und den Zulieferern. Sie stellt die Plattform dar, auf der die gesamte Entwicklungsumgebung IT-technisch realisiert und für den Anwender nutzbar gemacht wird. In der zugehörigen PLM IT-Lösung sind hierfür Modelle und Methoden zur effizienten Integration anfallender Produkt- und Prozessbeschreibungen hinterlegt. Die Güte dieser Produkt- und Prozessbeschreibungen obliegt der exakten Definition von Datenmodellen, z.B. für die Wechselwirkung zwischen Fluid und Werkstoff. In diesem Datenmodell werden sie in einem logischen Zusammenhang abgebildet. Die Datenmodelle bilden die theoretische Grundlage für Datenbanksysteme innerhalb der PLM IT-Lösung, z.B. für Projektierungsdaten bzw. Modulbibliotheken. Sie legen die Methode, mit der anfallende Daten gespeichert und bearbeitet werden können, fest und definieren somit die Infrastruktur der Datenbanksysteme. Mit Hilfe der PLM IT-Lösung sollen die derzeitigen Insellösungen innerhalb der heterogenen IT-Systeme verschiedener Entwicklungspartner vermieden und eine durchgängige Abbildung der Produktdaten über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg ermöglicht werden.

Aus diesem Aufbau der Entwicklungsumgebung lassen sich, wie Abbildung 7 darstellt, drei Partialmodelle – Prozessmodell, Methodenmodell und Informationsmodell – ableiten, die auf einer theoretischen Ebene aufzustellen sind, um die Entwicklungsumgebung zu verwirklichen.

Das Prozessmodell stellt den Bereich der Entwicklungsprozesse aus Abbildung 6 dar und wird in Kapitel 3.2 beschrieben. Das Methodenmodell enthält die verschiedenen Methoden und Werkzeuge, die im Rahmen der Entwicklung und der Zustandsüberwachung genutzt werden, um den Prozess hinsichtlich Effektivität und Effizienz zu verbessern. Es wird in Kapitel 3.4 näher erläutert. Zuletzt bildet das Informationsmodell den Informationsfluss ab, der hinter der gesamten Entwicklungsumgebung liegt. Es umfasst die Gesamtheit der produzierten und benötigten Informationen über den Prozess und ist Gegenstand von Kapitel 3.5.

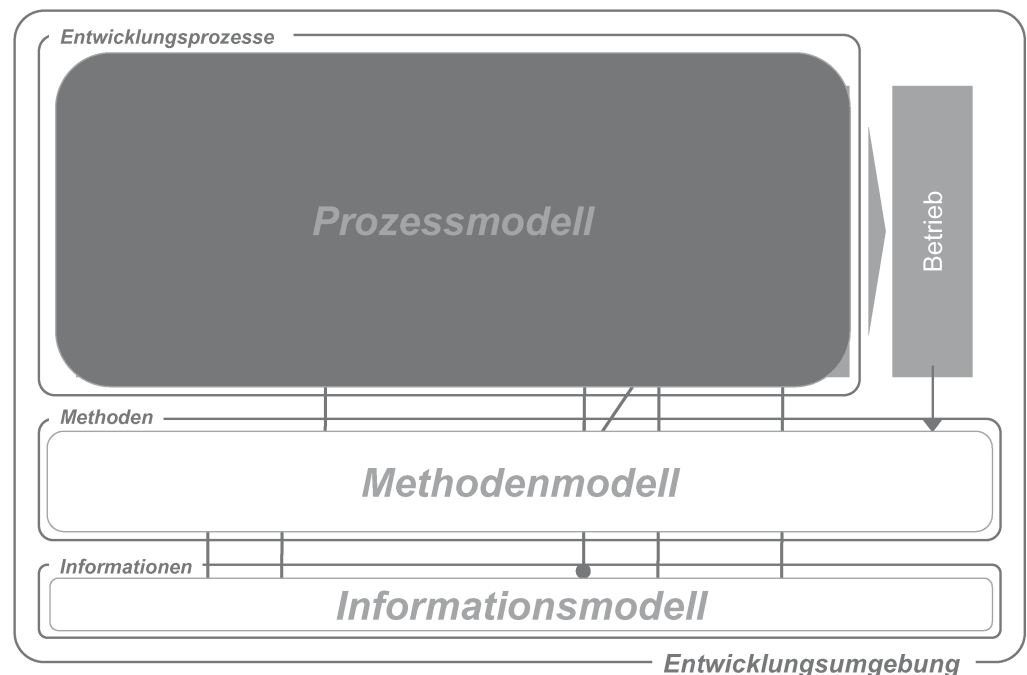
3.2 Integratives Prozessmodell

3.2.1 Anforderungen an ein integratives Prozessmodell

In Kapitel 2.1 wurden die Defizite des aktuellen Entwicklungsprozesses beschrieben und später in Abschnitt 2.2.1 darauf aufbauend die Anforderungen an die übergeordnete Entwicklungsumgebung abgeleitet. Da das Prozessmodell einen integrativen Bestandteil der Entwicklungsumgebung darstellt, leiten sich daraus wiederum im Sinne eines Anforderungsmanagements die Anforderungen für das Prozessmodell ab. Diese werden im Folgenden beschrieben.

Die wichtigste Anforderung an das integrative Prozessmodell ist, dass es eine durchgängige Unterstützung bei der Systementwicklung bietet. Durchgehend bedeutet in diesem Zusammenhang, dass sie, wie es Abbildung 8

Abbildung 7
Die Partialmodelle der
Entwicklungsumgebung



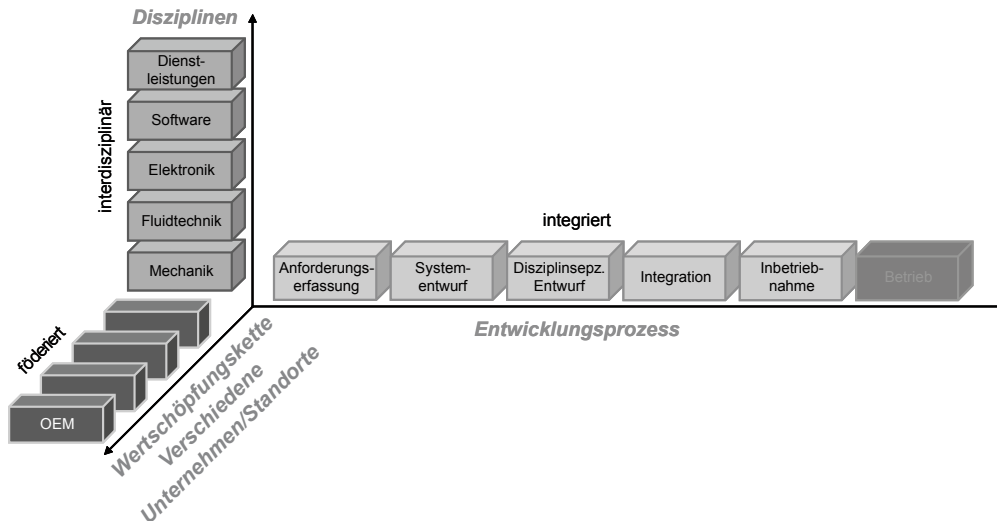


Abbildung 8
Vision einer durchgängigen
Entwicklungsumgebung⁵⁴

darstellt, integrativ, interdisziplinär und föderativ sein muss.

Da bislang die Elektronik- bzw. Software-Entwicklung als »Dienstleister« für eine Mechanik- und Fluidtechnik-Entwicklung galt, muss das Prozessmodell eine wirksame interdisziplinäre Prozesskoordination der Teilprozessketten hinsichtlich Mechanik, Fluidtechnik, Elektronik und Software bieten. Diese Teilprozesse dürfen dabei nicht sequentiell, sondern müssen parallel im Sinne eines Concurrent Engineerings stattfinden.⁵⁵ Dadurch werden die verschiedenen Disziplinen gleichberechtigt in den Prozess einbezogen. Die Forderung einer föderalen Gestaltung des Prozessmodells richtet sich an die zunehmend verteilte Entwicklung in der Entstehung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme. Da ein Großteil der Entwicklung und Wertschöpfung heutzutage nicht mehr direkt beim OEM sondern bei seinen Zulieferern stattfindet, ist die Einbeziehung aller am Entwicklungsprozess Beteiligten eine wichtige Aufgabe des Prozessmodells. Diese beiden Anforderungen sind integriert über den gesamten Entwicklungsprozess von der Anforderungserfassung bis hin zur Inbetriebnahme zu erfüllen.

Eine weitere Anforderung an das Prozessmodell, die sich direkt aus den Anforderungen an die Entwicklungsumgebung ableitet, ist die eines modularen Aufbaus in Form konfigurierbarer Prozessbausteine. Dadurch lässt sich

das Modell an die einzelnen Unternehmensspezifika anpassen und der Entwicklungsprozess kann flexibel nach Art des Kundenauftrags und entsprechend dem Neuigkeitsgrad des zu entwickelnden Produktes konfiguriert werden. So kann Mehraufwand vermieden werden, da Anpassungskonstruktionen nicht den gleichen Entwicklungsaufwand und damit Entwicklungsprozess wie Neukonstruktionen benötigen.⁵⁶ Da die einzelnen Prozesselemente jedoch wieder verwendbar sind, ist zudem eine Verbesserung des Standardisierungsgrades gegeben.⁵⁷

Auch die Berücksichtigung einer entwicklungsbegleitenden, rechner-/ simulationsgestützten Validierung im Entwicklungsprozessmodell lässt sich aus der korrespondierenden Anforderung an die Entwicklungsumgebung ableiten. Schon in frühen Phasen während der Systemkonzeption ist der Simulationseinsatz wichtig, da Simulationen anhand erster Systemmodelle dabei helfen, Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Subsystemen zu erkennen.⁵⁸ Gleiches gilt für die Anforderung zur Unterstützung der planerischen Tätigkeiten während des Projektes. Auch die Durchführung dieser Tätigkeiten ist zu berücksichtigen.

Im Hinblick auf die bereits oben genannte Unterstützung der interdisziplinären Zusammenarbeit ist es eine weitere wichtige Anforderung an das Prozessmodell, explizit die Erstellung eines Systementwurfes in den frühen

⁵⁴ Quelle: In Anlehnung an Eigner (2009), Innovationen effizient treiben, S. 3.

⁵⁵ Vgl. Dohmen (2002), Interdisziplinäre Methoden, S. 53.

⁵⁶ Vgl. Paulukuhn (2005), Typologisierung von Entwicklungsprojekten, S. 52 und VDI (1993), Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, S. 6.

⁵⁷ Vgl. Schuh (2007), Effizient, schnell und erfolgreich, S. 65.

⁵⁸ Vgl. Anton/Lercher/Oertli (2002), Funktionsmodellierung und Dynamikoptimierung, S. 1-2 und 1-8 sowie VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, S. 29f.

Prozessablauf einzubinden. Er gewährleistet, dass alle Disziplinen ein gemeinsames Verständnis für das System bekommen und fördert eine interdisziplinäre Lösungssuche.⁵⁹ Zudem wird so sicher gestellt, dass bei der Entwicklung erst nach einem top-down Designansatz vorgegangen wird, indem zunächst Kenntnisse über die Grobstruktur erlangt werden.⁶⁰

Zuletzt sollte das integrative Entwicklungsmodell eine virtuelle Inbetriebnahme, z.B. mittels einer Hardware-in-the-Loop (HiL) Simulation, berücksichtigen, durch die sich der Zeitaufwand der realen Inbetriebnahme deutlich verringern lässt.

3.2.2 Vorstellung des fluidtechnisch-mechatronischen Prozessmodells

Die Basis der Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme bildet das integrative Prozessmodell. Das Prozessmodell baut dabei auf bereits bestehenden Entwicklungsmodellen auf und unterstützt den idealtypischen disziplinübergreifenden Prozessverlauf bei der Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme.

Hinsichtlich des integrativen Prozessmodells stellt die VDI-Richtlinie 2206⁶¹ ein erstes Modell bereit, mit dessen Hilfe sich ganz allgemein die Entwicklung mechatronischer Systeme grob strukturieren lässt. Insbesondere berücksichtigt sie explizit die Erstellung eines Systementwurfes, wobei an dieser Stelle des Modells weiterer Entwicklungsbedarf dahingehend besteht, Wechselwirkungen, insbesondere aufgrund der Fluidtechnik als vierter ausdrücklich zu berücksichtigenden Disziplin, konkret aufzudecken. Ist der Systementwurf erstellt, teilt sich der Entwicklungsprozess in die einzelnen Disziplinen auf. Diese parallele Entwicklung in den unterschiedlichen Disziplinen im Sinne eines Concurrent Engineering ist auch für den Entwurf fluidtechnisch-mechatronischer Systeme besonders sinnvoll, da eine sequentielle Entwicklung zu teiloptimierten Systemen sowie zeit- und kostenintensiven Iterationen führen würde. In dieser Entwicklungsphase bietet sich eine Erweiterung des Modells um feste Abstimmungspunkte und eine gezieltere Kommunikation zwischen den Disziplinen an. Aufgrund der parallelen Entwick-

lung werden die Ergebnisse in einem nächsten Schritt gezielt zusammengeführt/integriert, um zu einer Gesamtlösung zu kommen. Neben diesen Entwicklungsschritten beinhaltet die Richtlinie einen Baustein Modellbildung und -analyse, welcher eine Unterstützung der Entwicklung durch Simulation beinhaltet. Aufgrund der Allgemeingültigkeit des Ansatzes für alle mechatronischen Systeme geht er jedoch nicht auf spezielle Entwicklungstools oder eine konkrete Lösung für den wichtigen Austausch von Ergebnissen ein. Die einzelnen Teilschritte in der Entwicklung können an die jeweilige Entwicklungsaufgabe angepasst an geordnet werden. Sie stellen also konfigurierbare Prozessbausteine dar, wie sie ein wesentlicher Bestandteil des Prozessmodells sind. Hier besteht zusätzlicher Entwicklungsbedarf, um den konfigurierbaren Prozessbausteinen eine Konfigurationslogik zur Seite zu stellen. Zusammenfassend bietet die VDI-Richtlinie 2206 eine generische Vorgehensweise, die so auf das integrative Prozessmodell übertragen wird. Aufgrund des höheren Detaillierungsgrades des hier angestrebten Prozessmodells wird sie jedoch weiter spezifiziert und erweitert. Im Rahmen der interdisziplinären Entwicklung nimmt die Koordination des Prozesses eine besonders wichtige Stellung ein. Hier bietet die VDI-Richtlinie (s.o.) noch Erweiterungsbedarf, der im integrativen Prozessmodell durch das Quality Gate Konzept gedeckt wird, welches auch im Rahmen des Systems Engineerings eingesetzt wird. Diese Methodik ermöglicht es, den Entwicklungsprozess in Projektphasen einzuteilen, Ergebnisse zu vereinbaren, die Aufgaben innerhalb eines Abschnittes festzulegen, den Fortschritt zu synchronisieren und die Entwicklungsqualität zu kontrollieren.⁶² Solche unterstützenden Methoden werden im integrativen Prozessmodell, wiederum in Anlehnung an das Systems Engineering, parallel zum eigentlichen Entwicklungsprozess unter den entwicklungsbegleitenden Prozessen zusammengefasst. Diese übernehmen im Gesamtprozess eine planende, überwachende, koordinierende und steuernde Funktion.⁶³

In dem Prozessmodell ist zudem ein Anforderungsmanagement, wie es z.B. als Baustein im V-Modell XT – einem Entwicklungsmodell

⁵⁹ Vgl. Anton/Lercher/Oertli (2002), Funktionsmodellierung und Dynamikoptimierung, S. 1-2 und 1-8 sowie VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, S. 29f.

⁶⁰ Vgl. VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, S.24.

⁶¹ Vgl. VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme

⁶² Vgl. Pfeifer/Schmidt (2003), Das Quality-Gate-Konzept, S. 23.

⁶³ Vgl. Haberfellner/Daenzer (2002), Systems engineering : Methodik und Praxis, S. 240.

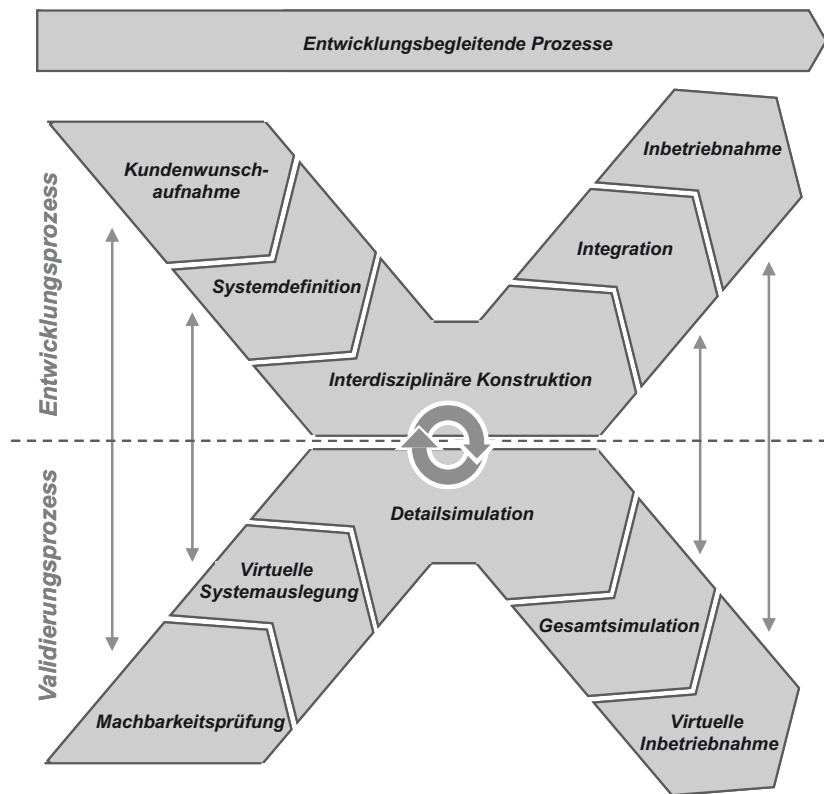
aus der Softwareentwicklung⁶⁴ – vorgesehen ist und auch im Systems Engineering genutzt wird, fest integriert. Hier wird zunächst sicher gestellt, dass alle Anforderungen systematisch erfasst werden, um sie in einem nächsten Schritt in den einzelnen Systemkomponenten abzubilden und so die Nachverfolgbarkeit der Umsetzung der einzelnen Anforderungen zu ermöglichen.

Die bei der Gestaltung des Prozessmodells betrachteten Entwicklungsmodelle haben gemeinsam, dass sie entweder eine Validierung der Ergebnisse erst nach der Entwicklung vorsehen oder eine begleitende Validierung anhand von Modellen zwar erwähnen, aber nur unzureichend berücksichtigen. Da jedoch durch eine begleitende Validierung insbesondere Iterationen im Entwicklungsprozess vermieden werden können, kommt diesem Aspekt in dem Prozessmodell eine besondere Bedeutung zu. Von Beginn an werden die Ergebnisse überprüft und die Entwicklungsschritte durch Modelle unterstützt. Weiterhin wird zur Beschleunigung und Vereinfachung der realen Inbetriebnahme, welche vor allem bei größeren Anlagen, wie z.B. einer Presse, einen nicht unerheblichen Zeit- und Kostenaufwand darstellt, eine virtuelle Inbetriebnahme genutzt. Hier wird z.B. die Hardware-in-the-Loop Simulation als Ansatz zur vereinfachten Reglerabstimmung mit dem Ziel einer beschleunigten Inbetriebnahme eingesetzt.

Insgesamt ergibt sich so eine dreigeteilte Struktur des Prozessmodells, wobei die eigentliche Entwicklung im Sinne der Problemlösung zusammen mit der Validierung im Zentrum steht. Diese beiden Prozessstränge ergänzen sich. Darüber stehen die entwicklungsbegleitenden Prozesse, welche eine planende, überwachende, koordinierende und steuernde Funktion einnehmen. Das entstehende Prozessmodell wird in Abbildung 9 veranschaulicht.

Das Prozessmodell wird dabei von links nach rechts durchschritten. Je weiter man sich nach rechts bewegt, desto mehr nimmt der Reifegrad des zu entwickelnden Systems zu.

Betrachtet man den Entwicklungsprozess, so beginnt er mit der Aufnahme der Anforderungen, welche mit dem Kunden und anderen Stakeholdern erarbeitet werden. Dann folgt die Systemdefinition, in deren Rahmen der Systementwurf stattfindet. Im Systementwurf stellen die verschiedenen am Entwicklungsprozess beteiligten Disziplinen gemeinsam ein



Gesamtlösungskonzept für das System auf. Ist dies geschehen, so findet der disziplinspezifische Entwurf statt und die Entwicklung teilt sich an dieser Stelle in eine fluidtechnische, eine mechanische, eine softwaretechnische und eine elektrische Entwicklung auf. Trotz dieser Aufteilung finden weiterhin ein regelmäßiger Ergebnisaustausch und feste Meetings zwischen den einzelnen Disziplinen statt. Liegen die Einzelergebnisse vor, so werden die Entwicklungsstränge wieder vereint und die Ergebnisse in ein Gesamtkonzept integriert. Zuletzt findet die Inbetriebnahme des Systems statt. Je näher die Prozesselemente der Entwicklung der Mittellinie kommen, desto höher wird der Synchronisationsbedarf. Dies wird deutlich, wenn man sich vor Augen führt, dass Grenzen zwischen den Disziplinen immer schärfer werden, je weiter man sich der Mitte nähert und immer mehr verschwimmen, desto weiter man sich von ihr entfernt. Dort wo die Grenzen kaum existent sind, arbeiten die verschiedenen Disziplinen sehr eng zusammen. Somit synchronisiert sich der Prozess an diesen Stellen fast eigenständig. Jedem der Entwicklungsprozesselemente steht im Validierungsprozess ein weiteres Prozesselement gegenüber, welches dieses absichert.

Abbildung 9
Das integrative Prozessmodell

⁶⁴ Vgl. Höhn/Höppner/Rausch (2008), Das V-Modell XT.

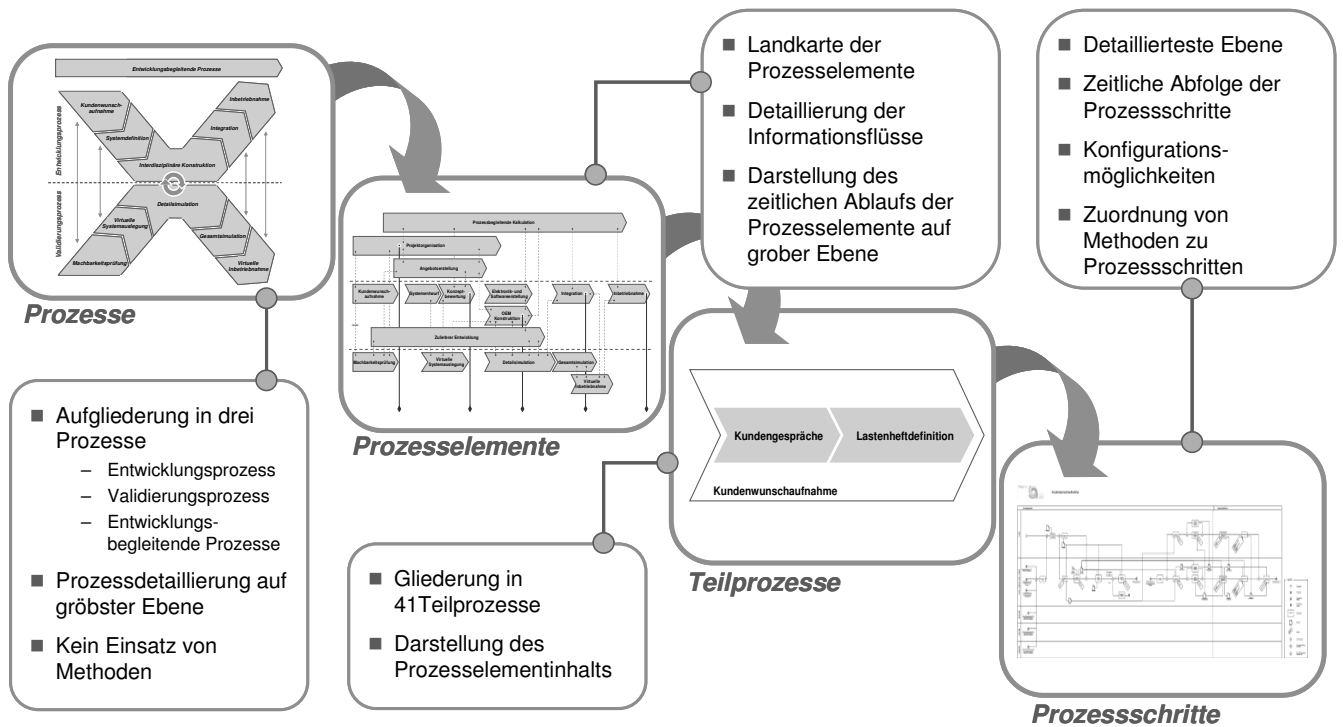


Abbildung 10
Die Detaillierungsebenen des integrativen Prozessmodells

Zunächst wird hier im Rahmen einer Machbarkeitsstudie, die generelle Umsetzbarkeit eines Entwicklungsvorhabens geprüft. Weiter wird zur Absicherung des Systementwurfes die Entwurfssimulation eingesetzt, wobei hier grobe Konzepte auf die Anforderungserfüllung und Machbarkeit hin untersucht werden. Dann folgt die Detailsimulation zur Unterstützung der disziplinspezifischen Entwürfe, welche vor allem in Tools der jeweiligen Fachdisziplin durchgeführt wird. Hier kommt es vor allem auf den Austausch der Simulationsergebnisse der Disziplinen an, weshalb aufgrund der vielen unterschiedlichen Tools hier der Übersetzungsbedarf der Ergebnisse besonders hoch ist. Wurden die Einzelentwicklungsergebnisse integriert, so findet eine Gesamtsimulation zur abschließenden Validierung des Gesamtentwicklungsergebnisses statt. Zuletzt soll, wie oben erwähnt, durch eine virtuelle Inbetriebnahme die reale unterstützt werden.

Die Pfeile zwischen den jeweiligen Elementen der Entwicklung und Validierung verdeutlichen, dass es zwischen diesen zu einer Iteration kommen kann. So kann die Entwicklung einen Entwurf simulieren, um daraufhin noch einmal Verbesserungen an diesem vorzunehmen, welche dann wiederum auf ihre Wirkung hin in der Simulation überprüft werden.

3.2.3 Beschreibung der Modellstruktur

Im Folgenden wird zunächst kurz die Modellstruktur des integrativen Prozessmodells dargestellt, bevor in Kapitel 3.2.4 detaillierter auf die einzelnen Elemente und ihre Abfolge eingegangen wird.

Das integrative Prozessmodell wird in vier verschiedene Detaillierungsebenen unterteilt, wie es Abbildung 10 darstellt. Auf der obersten Ebene befinden sich die stark generischen Prozesse, welche unter Kapitel 3.2.2 bereits eingeführt wurden. Hier unterscheidet man die unterstützenden, entwicklungsbegleitenden Prozess, die über den beiden Hauptprozessen der Entwicklung und Validierung liegen. Die Prozesse verlaufen, wie oben beschrieben, parallel. Sie bilden die grobe Struktur, in die alle weiteren Unterteilungen eingeordnet werden. Auf den weiteren Ebenen werden die generischen Referenzprozesse durch eine Identifikation von Successful Practice Elementen aus dem BMBF-Verbundprojekt »Fluidtronic« stärker detailliert und ausgestaltet. Diese Elemente gilt es zudem durch Anwendung der aktuellsten Erkenntnisse aus der Forschung zur Prozessgestaltung weiter zu verbessern. So wird sichergestellt, dass der »state-of-the-art« in den Referenzprozessen berücksichtigt wird.

Die zweite Ebene stellen konfigurierbare Prozesselemente dar. Hierbei handelt es sich um

die wichtigsten Abschnitte innerhalb der einzelnen Prozesse. Diese Prozesselemente können weiter herunter gebrochen werden und bestehen aus mehreren Teilprozessen, die gemäß den Anforderungen des jeweiligen Unternehmens zu unterschiedlichen Prozessvarianten verknüpft werden können. Sie stellen die dritte Detaillierungsebene dar. Die vierte Ebene hat die höchste Auflösung und umfasst die detaillierte Ausgestaltung dieser Teilprozesse. Sie bestehen aus einzelnen Prozessschritten, den Ablaufelementen im Prozess. Auf dieser Ebene wird jeder Prozessschritt mit der genauen Abfolge, den zur Unterstützung nutzbaren Methoden und den benötigten und generierten Informationen detailliert modelliert.

3.2.4 Elemente des integrativen Prozessmodells

In diesem Kapitel werden nun die einzelnen Prozesselemente mit ihren Teilprozessen und Prozessschritten für das integrative Prozessmodell anhand der Pressenentwicklung vorgestellt. Das Kapitel ist in einzelne Unterkapitel gemäß den verschiedenen Prozesselementen unterteilt. Zu jedem Prozesselement existiert eine Abbildung, die es mit seinen Teilprozessen, den wichtigsten Prozessschritten und dem Prozessverlauf kurz darstellt.

Um den Aufbau des Prozessmodells auf der Prozesselementebene besser verstehen zu können, stellt Abbildung 11 diesen detailliert

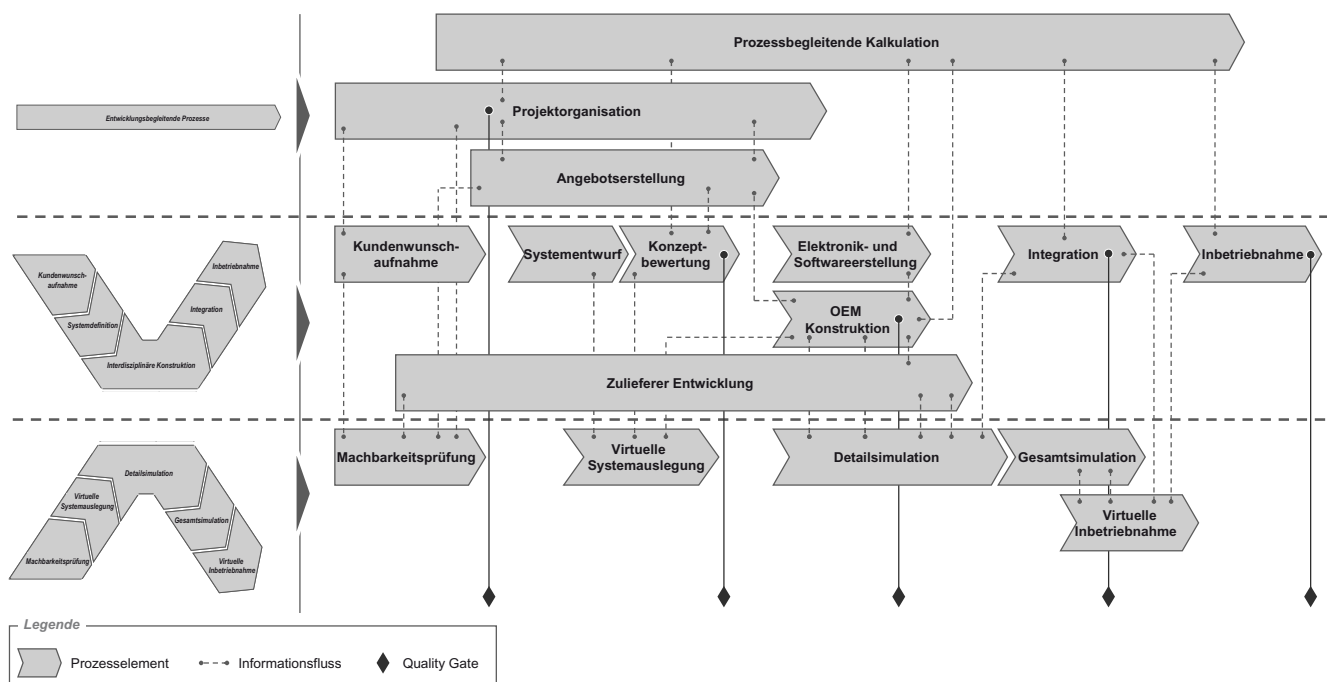
mit den einzelnen Verbindungen zwischen den Prozesselementen dar. Die Abbildung ist zudem eine Orientierungshilfe, um während der folgenden Beschreibung der Einzelemente den Verlauf des Gesamtprozesses und die Schnittstellen zwischen den Prozesselementen immer wieder nachvollziehen zu können.

Kundenwunschaufnahme

Die Kundenwunschaufnahme teilt sich, wie Abbildung 12 (siehe Seite 28) darstellt, in die Teilprozesse Kundengespräch und Lastenheftdefinition auf.

In dem gesamten Prozesselement arbeitet der Kunde sehr eng mit dem OEM, vertreten durch den technischen bzw. kaufmännischen Vertrieb sowie durch die Einkaufsabteilung, zusammen. Der Teilprozess Kundengespräche bildet den Beginn des Prozesses zur Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Produkte. Vor einem ersten gemeinsamen Treffen muss der Kunde sich über seine internen Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt im Klaren sein und diese zusammenführen. In einem anschließenden gemeinsamen Gespräch mit dem OEM werden die ersten groben Anforderungen in ein Lastenheft aufgenommen und diskutiert. Die Anforderungen aus dem Lastenheft müssen ausreichen, um die Anfrage seitens des OEM in sein vorhandenes Produktprogramm einzuordnen. Sollte die Anfrage des Kunden nicht in das Produktprogramm des

Abbildung 11
Das integrative Prozessmodell
auf Prozesselementebene



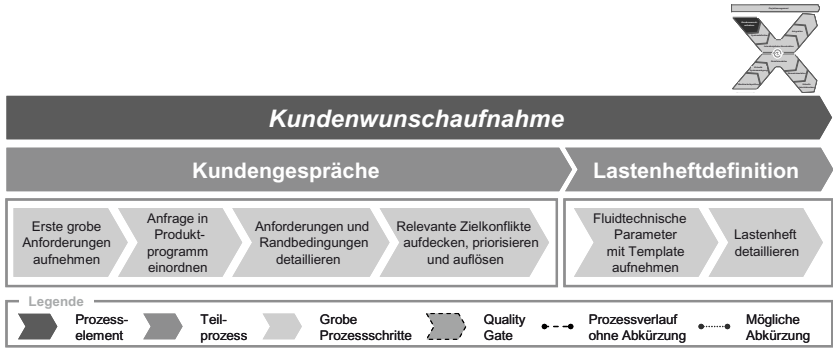
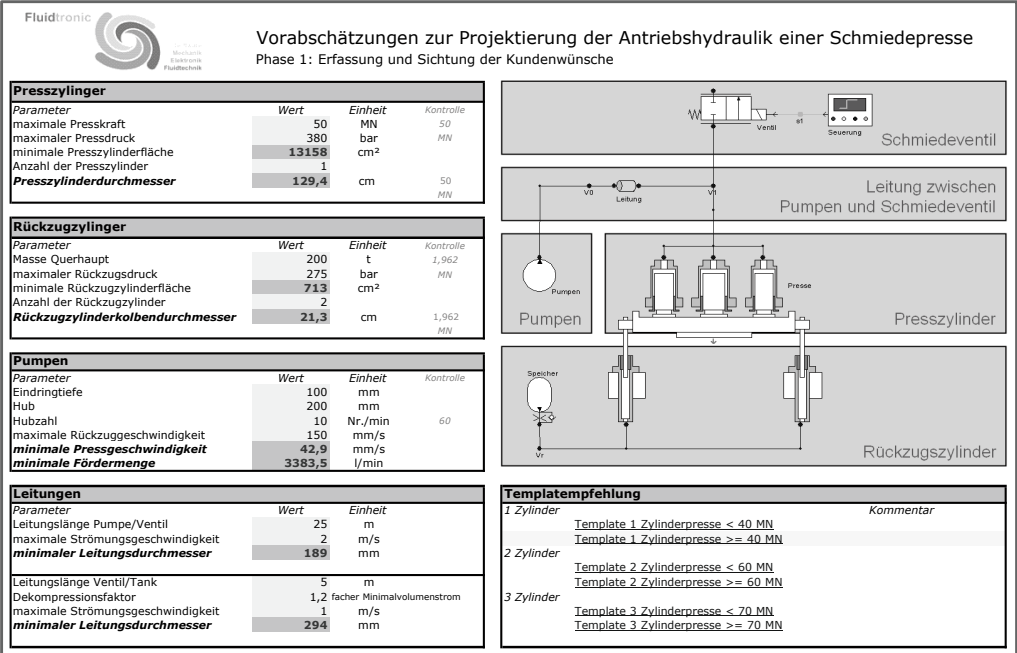


Abbildung 12
Die Kundenwunschaufnahme

OEM passen, muss er dem Auftraggeber eine Absage erteilen. Passt die Anfrage jedoch, wird in einem weiteren Schritt seine Bonität überprüft. Dies geschieht im Rahmen des Prozesselements Projektorganisation.⁶⁵ Sofern die Anforderungen der Projektorganisation ausreichend erfüllt sind, müssen in einem anschließenden Gespräch weitere Kundenanforderungen und weitergehend technisch physikalische Anforderungen sowie qualitative Informationen über die Randbedingungen erfasst werden. Neben der reinen Aufnahme der Anforderungen ist es an dieser Stelle auch wichtig erste Widersprüche zwischen verschiedenen Anforderungen zu identifizieren. Anschließend werden die Anforderungen gemäß ihrer Wichtigkeit priorisiert, um dadurch die Auflösung der Zielkonflikte zu

erleichtern. So lassen sich im späteren Verlauf der Entwicklung einfacher Entscheidung treffen, wenn die Auswahl zwischen mehreren Lösungsvarianten für ein Problem besteht. Darauf aufbauend können im nächsten Teilprozess, der Lastenheftdefinition, nun erste Parameter für die Machbarkeitsprüfung aufgenommen werden. Hierbei steht dem OEM ein IT-basiertes Tool zu Verfügung, mit dem er die ersten Anforderungen gleich in technische Parameter übersetzen, genauer erfassen und dazu nutzen kann, sie mit den Parametern bereits durchgeführter Projekte in einer Datenbank zu vergleichen. Die aufzunehmenden Parameter sind in diesem Vorabschätzungstemplate grob nach den hydraulischen Grundkomponenten eines fluidtechnisch-mechatronischen Systems aufgeteilt. Anhand einzelner, durch den Kunden festgelegte Werte sind weitere Parameter des Gesamtsystems abzuleiten. Das Dokumentierungstemplate zur Vorabschätzung wird in Abbildung 13 dargestellt. Die aufzunehmenden Parameter bei der Vorabschätzung sind in vier Kategorien – Presszylinder, Rückzugzylinder, Pumpen und Leitungen – aufgeteilt. Dadurch, dass einzelne dieser Parameter, welche vom Kunden festzulegen sind, aufgenommen werden, ist es im Anschluss möglich, weitere für die Auslegung einer Presse notwendige Größen herzuleiten.

Abbildung 13
IT-basiertes Template zur Vorabschätzung



⁶⁵ Verschiedene Prozessabschnitte liegen in den Verantwortlichkeiten verschiedener Prozesselemente, so dass innerhalb des Gesamtprozessablaufes immer wieder zwischen den verschiedenen Prozesselementen gewechselt wird. Die jeweiligen Vorgänge werden ausführlich unter den einzelnen Prozesselementen erläutert.

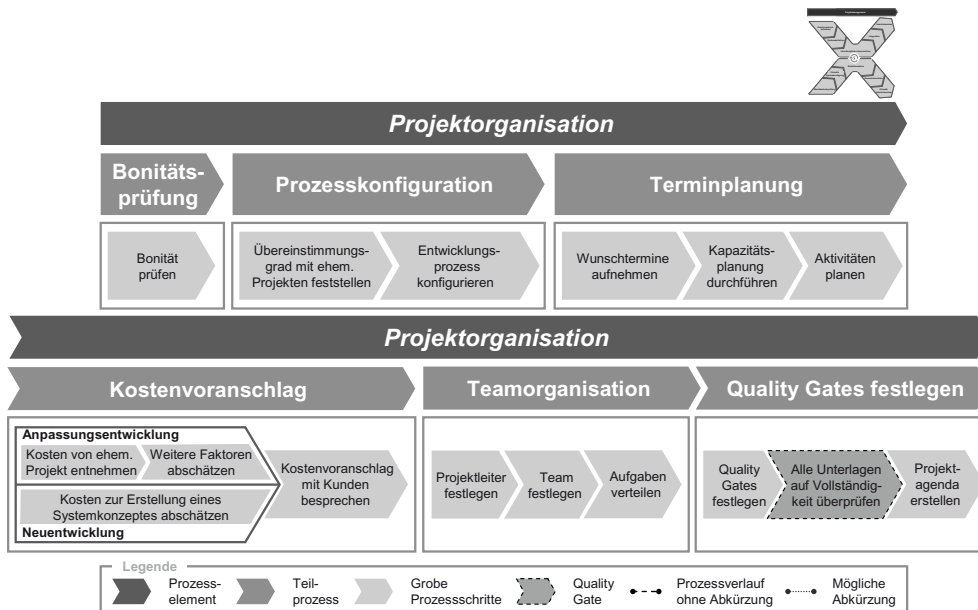


Abbildung 14
Die Projektorganisation

In der Kategorie Presszylinder wird neben der maximalen Presskraft und dem maximalen Pressdruck die Anzahl an Presszylindern eingetragen. Anhand dieser Parameter ergibt sich der minimale Presszylinderdurchmesser.

In der Kategorie Rückzugzylinder werden die Parameter Masse Querhaupt, maximaler Rückzugdruck und Anzahl der Rückzugzylinder abgefragt. Anhand dieser Parameter wird die minimale Rückzugzylinderfläche sowie der Rückzugzylinderkolbendurchmesser abgeleitet.

Die Kategorie Pumpen verlangt die Eingabe der Eindringtiefe sowie den Hub, die Hubzahl und die maximale Rückzuggeschwindigkeit, um anhand dieser Parameter die minimal benötigte Pressgeschwindigkeit und die daraus resultierende minimale Fördermenge bestimmen zu können.

In der vierten Kategorie Leitungen wird anhand der Eingabe der Leitungslänge zwischen Pumpe/Ventil und Ventil/Tank sowie der maximalen Strömungsgeschwindigkeit schließlich ein minimaler Leitungsdurchmesser abgeschätzt.

Nachdem mit Hilfe des Vorabschätzungstemplate genügend Informationen gesammelt wurden, kann im nächsten Schritt das Lastenheft weiter detailliert werden. Hierfür ist immer wieder eine Rücksprache mit dem Kunden notwendig. Dieser Schritt kann ebenfalls durch zahlreiche Methoden, wie z.B. Kundenzufriedenheitsanalysen oder die Anwendung des Kano Modells, unterstützt werden.

Sobald das Lastenheft schließlich in einer detaillierten Form vorliegt, ist die Kunden-

wunschaufnahme abgeschlossen. Der Entwicklungsprozess setzt sich darauf im Teilprozess Prozesskonfiguration des im Folgenden beschriebenen Prozesselements Projektorganisation fort.

Projektorganisation

Parallel zur Kundenwunschaufnahme und zur Machbarkeitsprüfung läuft die Projektorganisation seitens der entwicklungsbegleitenden Prozesse. Deren Ziel ist die Sicherstellung der Projektinfrastruktur. Unter der Projektorganisation sind daher verschiedene, mehr oder weniger unabhängige Teilprozesse zusammengefasst, die den Entwicklungsprozess organisatorisch unterstützen (siehe Abbildung 14). Es erfolgt darin, neben der Abstimmung des OEM mit dem Kunden über einen Kostenvoranschlag und der Zusammenstellung des Entwicklungsteams, auch die Festlegung der Quality Gates im Entwicklungsprozess.

Begonnen wird bereits bei der Kundenwunschaufnahme mit der *Bonitätsprüfung* des Kunden. Nur bei einer positiven Bonität kann das Projekt fortgesetzt werden.

Sind der Kundenwunsch aufgenommen und ein detailliertes Lastenheft erstellt worden, gilt es nun im Rahmen der *Prozesskonfiguration* die bisher gewonnenen Daten dazu zu nutzen, das neue Projekt mit bereits abgeschlossenen Projekten aus der Datenbank zu vergleichen. Besonders wichtig ist hier wiederum das Vorabschätzungstemplate (siehe Abbildung 13). Dieses ermöglicht nach der Eingabe aller notwendigen Parameter den Abgleich dieser Parameter mit denen bereits vorangegangener

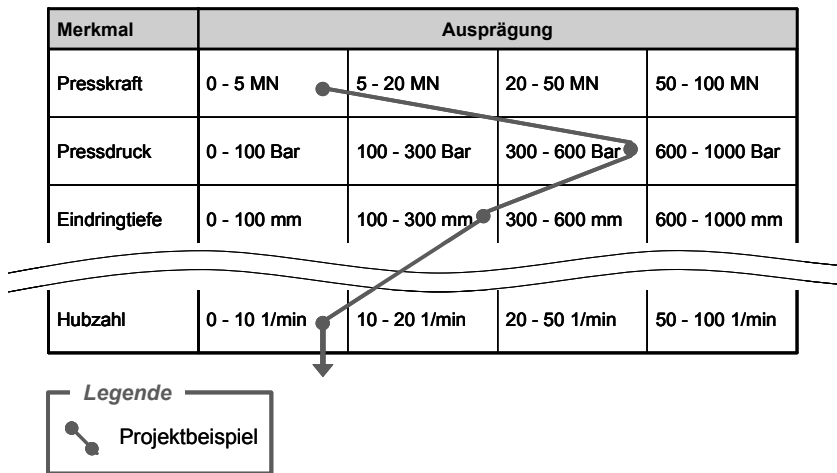


Abbildung 15
Strukturierung voran-
gegangener Projekte

Projekte innerhalb einer unternehmensinternen Datenbank. Die vorangegangenen Projekte des Unternehmens sind innerhalb der Datenbank anhand von Parameterbereichen abgelegt. Abbildung 15 zeigt exemplarisch die logische Strukturierung der vorangegangenen Projekte am Beispiel einer hydraulischen Presse. Der Pfeil in der Abbildung stellt eine beispielhafte Realisation dar.

Mittels eines Vergleichs mehrerer neu aufgenommener Parameter mit den Parametern bereits durchgeführter Projekte können Gemeinsamkeiten bezüglich der Anforderungen identifiziert werden. Nimmt man zusätzliche Informationen wie Hallendaten und Informationen über den Pressentyp hinzu, so kann aufgrund des Übereinstimmungsgrads nun geprüft werden, ob eine komplette Neuentwicklung oder lediglich eine Anpassungsentwicklung durchgeführt werden muss.

Entsprechend des Übereinstimmungsgrads wird der Entwicklungsprozess für fluidtechnisch-mechatronische Systeme entweder auf eine Neuentwicklung oder eine Anpassungsentwicklung hin konfiguriert. Hier muss vor allem basierend auf den Erkenntnissen über den Übereinstimmungsgrad entschieden werden, welche Prozesselemente und Teilprozesse in dem jeweiligen Entwicklungsprozess benötigt werden. Es findet also ein Customizing des Prozesses, basierend auf den aus Vorprojekten bekannten Informationen, statt. Falls ein hoher Übereinstimmungsgrad mit einem alten Projekt vorliegt, ist die Dokumentation hierfür aus der Datenbank zu entnehmen, um so die Informationen für die aktuelle Anpassungsentwicklung zugänglich zu machen. Anschließend wird dann das Prozesselement der Machbarkeitsprüfung gestartet.

Sobald die Machbarkeit des Projektes in einer groben Überprüfung zugesichert wurde und klar ist, um welchen Projekttyp (Neu- oder Anpassungsentwicklung) es sich handelt, kann auch der damit verbundene Aufwand besser abgeschätzt werden. Damit ist es nun möglich, eine Terminalschiene unter Berücksichtigung des Lastenheftes mit dem Kunden abzustimmen. Die Wunschterminalschiene muss intern geprüft werden, um festzustellen, ob ausreichende Kapazitäten im Unternehmen vorhanden sind. Da zu diesem Zeitpunkt jedoch noch kein genaues Projektteam zur Durchführung der Entwicklung feststeht, kann die Wunschterminalschiene nur grob festgelegt werden, um dem Kunden bereits einen Anhaltspunkt hinsichtlich der später festzulegenden genauen Zeitschiene zu geben. Sind zuletzt die Terminiabstände in der Datenbank abgelegt, beginnt der nächste Teilprozess, in dem ein Kostenvoranschlag erstellt wird.

Zu Beginn des Teilprozesses *Kostenvoranschlag* muss zunächst wieder unterschieden werden, ob es sich um eine Anpassungs- oder Neuentwicklung handelt. Im Falle einer Anpassungsentwicklung kann der Kostenvoranschlag für das gesamte Projekt abgegeben werden. Bei einer Neuentwicklung ist dies jedoch aufgrund der zu hohen Ungewissheit über die entstehenden Kosten nicht möglich. Hier muss an dieser Stelle eine grobe Abschätzung der Kosten für die Erstellung eines detaillierten Systemkonzeptes erfolgen. Dem Kunden werden also zunächst nur die Kosten für eine Vorstudie genannt. Sollte sich aus dieser ein umsetzbares Gesamtsystem ergeben, müssen hierfür die weiteren Entwicklungskosten detailliert abgeschätzt werden. Der Kunde kann sich daraufhin für oder gegen eine weitere Beauftragung entscheiden. In beiden Fällen – Anpassungs- und Neuentwicklung – wird jedoch abschließend der Kostenvoranschlag diskutiert und freigegeben, bevor er an den Kunden versandt wird.

Nimmt der Kunde den Kostenvoranschlag nicht an, sollte nach den Gründen hierfür geforscht werden, um ggf. noch Kostensenkungspotenziale zu nutzen und die Kostenaufstellung zu überarbeiten. So entsteht ein zweiter, verbesserter Kostenvoranschlag, der erneut an den Kunden übermittelt wird. Wird der Kostenvoranschlag angenommen, beginnt die Angebotserstellung als ein neues Prozesselement, auf das später noch detailliert eingegangen wird. Hier soll ein fester Vertrag entweder über die Erstellung eines System-

konzeptes – im Falle des Beginns der Neukonstruktion – oder über die Gesamtentwicklung und Realisation – im Falle der Anpassungskonstruktion oder nach der Erstellung des Systemkonzeptes in der Neuentwicklung – mit dem Kunden geschlossen werden. Ist dies erfolgreich geschehen, beginnt als nächster Teilprozess im Rahmen der Projektorganisation die *Teamorganisation*. An dieser Stelle findet die Zusammenstellung des Entwicklungsteams statt, was bei einer Anpassungsentwicklung nur einmal, bei der Neuentwicklung jedoch zweimal geschieht. Zunächst wird bei der Neuentwicklung ein Team nur für die Erstellung des Systemkonzeptes zusammen gestellt und, wenn es zu einer weiteren Ausdetaillierung kommt, ein weiteres für die Gesamtentwicklung bis zum fertigen Produkt. Bei der Teamzusammenstellung gilt es einen Teamleiter festzulegen sowie die Auslastung der Mitglieder des Entwicklungsteams zu prüfen. Anschließend wird ein erstes Meeting einberufen, in dem die Aufgaben besprochen und verteilt werden.

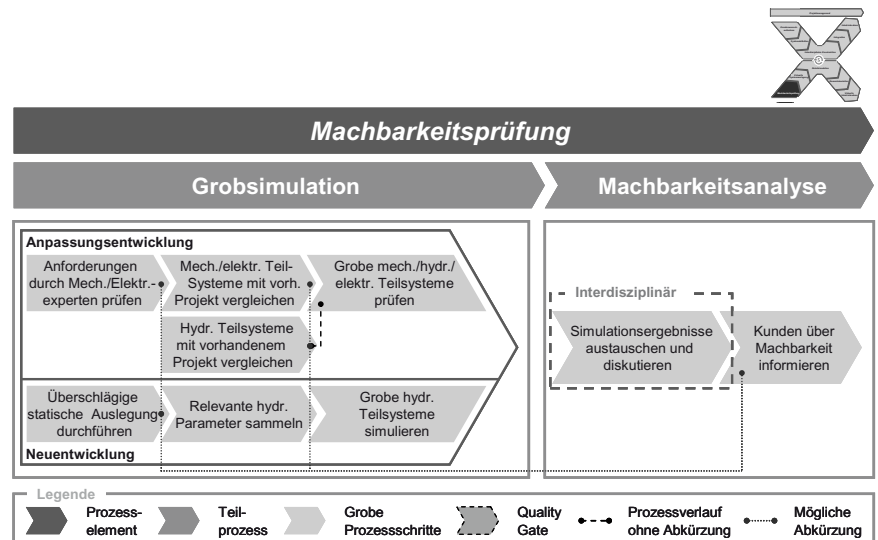
Zuletzt erfolgt die Definition von *Quality Gates* für den folgenden Entwicklungsprozess. Diese Gates müssen anhand der Zeitschiene auf Basis der erforderlichen Aktivitäten und der Auslastung der Teammitglieder in eine zeitliche und inhaltliche Abfolge gebracht und festgeschrieben werden. Hier ist besonders die Definition der vorzuzeigenden Inhalte kritisch. Darüber hinaus muss eine Projektagenda, in welcher die Planung der erforderlichen Aktivitäten enthalten ist, festgeschrieben werden.

Da es an dieser Stelle, kurz bevor es an die tatsächliche Ausarbeitung eines Lösungskonzeptes geht, besonders essentiell ist, dass alle Anforderungen erfasst wurden und alle Dokumente vorhanden sind, gibt es hier gleichzeitig auch das erste Quality Gate, um eben dieses Vorhandensein aller Unterlagen zu prüfen.⁶⁶ Anschließend beginnt der Systementwurf.

Machbarkeitsprüfung

Die Machbarkeitsprüfung stellt das erste Prozesselement des parallelen Validierungsprozesses (siehe Abbildung 9 und Abbildung 11) dar. Sie teilt sich, wie in Abbildung 16 dargestellt, in die Teilprozesse Grob-simulation und Machbarkeitsanalyse auf.

Zum Zeitpunkt der Machbarkeitsprüfung ist der Übersetzungsbedarf zwischen den Disziplinen noch sehr gering, weswegen bei einer



Machbarkeitsprüfung der Informationsaustausch zwischen den Disziplinen noch unkompliziert erfolgen kann.

Der erste Teilprozess der Machbarkeitsprüfung ist die *Grob-simulation*. Hier werden, falls nötig, erste grobe Simulationen in den Bereichen Mechanik, Hydraulik und Elektronik durchgeführt, um die prinzipielle Realisierbarkeit der Anforderungen zu prüfen. Die Software ist hier als vierte Disziplin der fluidtechnisch-mechatronischen Systeme nicht aufgeführt, da sie erst spät und spezifisch an die Lösungen in den anderen Bereichen angepasst, modelliert, bzw. erstellt werden kann. Im Falle eines Projektes mit hohem Übereinstimmungsgrad zu einem bereits durchgeführten Projekt kann in jedem dieser Bereiche aufgrund der bereits gesammelten Erfahrung eine tatsächliche Simulation umgangen werden. Sind jedoch trotz der Erfahrungen keine Aussagen möglich, z.B. aufgrund von Unterschieden in bestimmten Teilsystemen, muss zumindest dieses Teilsystem grob modelliert und simuliert werden oder im Fall eines Zukaufteils die Machbarkeit beim Zulieferer geprüft werden. Im Falle einer Neuentwicklung ist jedoch ohne Ausnahme eine überschlägige statische Grobauslegung im Bereich der Hydraulik notwendig. Bringt diese keine Sicherheit, müssen auch hier die einzelnen Teilsysteme simuliert werden. Die Mechanik und die Elektronik müssen an dieser Stelle noch nicht einbezogen werden, da bei den hier betrachteten Pressen die Machbarkeit zumeist an der Hydraulik scheitert. Im Fall der Anpas-

Abbildung 16
Die Machbarkeitsprüfung

⁶⁶ Die Quality Gates sind in den Übersichtsabbildungen jeweils mit einem gestrichelten Prozesspfeil gekennzeichnet, wie es in Abbildung 14 am Beispiel der Unterlagenprüfung zu erkennen ist.

sungskonstruktion liegen zu diesen Bereichen jedoch bereits Informationen vor, wodurch sich eine zusätzliche Machbarkeitsanalyse hier anbietet. Da die Anfragen und Anforderungen an fluidtechnisch-mechatronische Systeme allerdings häufig im Grenzbereich des physikalisch Möglichen liegen, reichen die verfügbaren Informationen oft nicht aus, um eine wirklich belastbare Aussage hinsichtlich der Machbarkeit geben zu können. Daher muss die Informationslage hinsichtlich der Parameter mittels mehrerer Iterationsschleifen zwischen dem technischen Vertrieb, dem Kunden und den Experten des Unternehmens weiter verbessert werden. Nur so können die Randbedingungen zielgenauer und detaillierter angepasst und eingestellt werden.⁶⁷

Kommt es zur Simulation im Bereich Hydraulik, werden die Parameter des zuvor eingesetzten Vorabschätzungstemplate in je ein Standardtemplate der hydraulischen Simulationssoftware sowie der Projektierungssoftware übertragen. Diese Standardtemplates stellen dabei zwei aufeinander abgestimmte Projektierungs- und Simulationsanteile dar und bilden gemeinsam das Entwicklungstemplate. Anschließend wird der simulatorische Anteil des Entwicklungstemplate mit Hilfe einer hydraulischen Simulationssoftware weiter detailliert. Hierbei wird das hydraulische Gesamtsystem

in seine Teilsysteme zerlegt, einzeln simuliert und untersucht. Auch in diesem Fall ist, falls vorhanden, ein Zugriff auf bereits in früheren Projekten durchgeführte Simulationen möglich. Die Simulationsprogramme fertigen nach der Simulation des Systemverhaltens mit unterschiedlichen Parametern Berechnungsergebnisse in Form von Diagrammen an. Diese Diagramme werden konsistent gespeichert, um sie für kommende Anfragen vorliegen zu haben.

Nun beginnt die *Machbarkeitsanalyse* und damit die Auswertung der gewonnenen Ergebnisse. Hier ist es zu Beginn bereits sehr wichtig, die Simulationsergebnisse disziplinenübergreifend auszutauschen und zu diskutieren. So können das Wissen und die Erfahrung der einzelnen Disziplinen gesammelt eingesetzt werden, um z.B. Probleme, die durch Wechselwirkungen auftreten können, zu erkennen. Zusätzlich wird früh ein gemeinsames Verständnis über die Projektlage geschaffen. Anschließend werden die Berichte und Aussagen bezüglich der einzelnen Teilsysteme an den technischen Vertrieb zurück gesendet und dort konsolidiert. Mit Hilfe dieser Berichte kann eine verbesserte Aussage hinsichtlich der Machbarkeit erreicht werden. Somit wird vermieden, dass Zusagen seitens des Vertriebs gegenüber dem Kunden gemacht werden, welche enorme Zusatzaufwände im späteren Verlauf der Entwicklung nach sich ziehen würden.

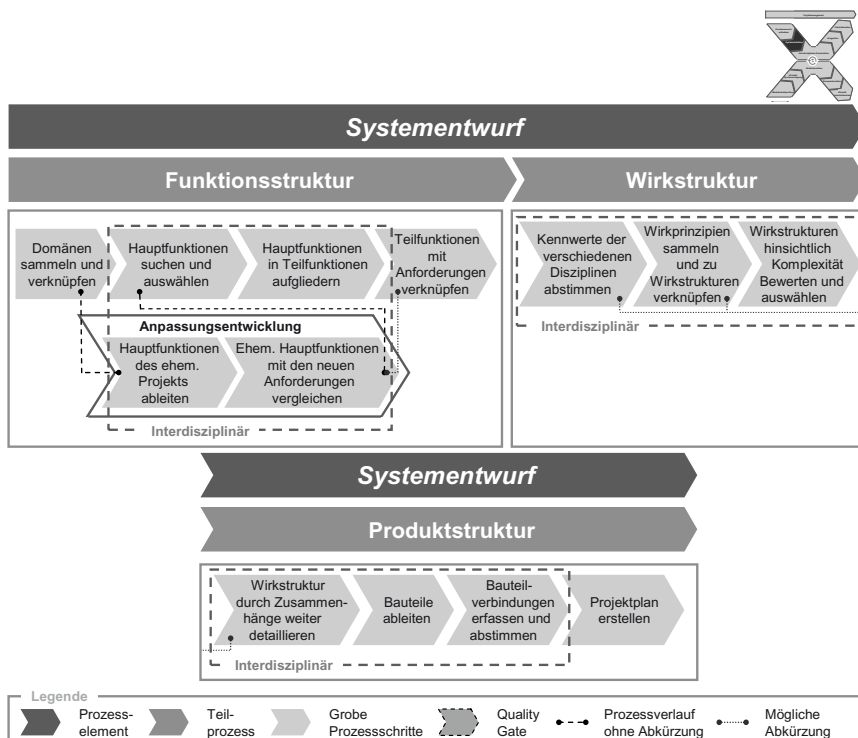
Ist das angeforderte System nicht realisierbar, gilt es die Anforderung des Kunden gemeinsam mit diesem zu prüfen und, falls möglich, soweit zu ändern, dass die Machbarkeit gegeben ist. Erscheint das Projekt jedoch machbar, führt der Prozess von hier aus unmittelbar zu der oben bereits beschriebenen Terminplanung.

Systementwurf

Der Systementwurf schließt sich als zweites Prozesselement des Entwicklungsprozesses an die Kundenwunschaufnahme an. Hier wird unterschieden zwischen den Teilprozessen Funktionsstruktur, Wirkstruktur und Produktstruktur (siehe Abbildung 17).

Mit dem Prozesselement der *Funktionsstruktur* beginnt die Erstellung des Systementwurfes. Ziel des Systementwurfes ist es, eine gemeinsame Grundlage zu schaffen, indem disziplinenübergreifend grobe Randbedingungen und Vernetzungen im Produkt festgelegt werden und diese von der Funktionsstruktur

Abbildung 17
Der Systementwurf



⁶⁷ Vgl. Baum/von Dombrowski/Engler (2009), Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme, S. 9.

über die Wirkstruktur bis hin zur Bauteilstruktur ausdetailliert werden. Dabei gilt es, das zu diesem Zeitpunkt noch abstrakte System immer weiter zu konkretisieren. Der Systementwurf dient als Grundlage für die nachfolgende Ausarbeitung des fluidtechnisch-mechatronischen Gesamtsystems.

Bei der Erstellung der Funktionsstruktur kommt es darauf an, eine hierarchische Ordnung der Funktionen zu erstellen. Das Vorgehen hierzu unterscheidet sich bei Weiter- bzw. Anpassungsentwicklungen deutlich vom Vorgehen bei der Entwicklung von Neuprodukten. Während bei der Entwicklung von Neuprodukten alle Anforderungen neu in Produktfunktionen überführt werden, ist bei der Weiter- bzw. Anpassungsentwicklung die bestehende Zuordnung von Anforderungen zu Funktionen des Vorgängerproduktes ausschlaggebend. Für Anforderungen, die nicht bereits über Funktionen abgedeckt sind, werden diese gegebenen Beziehungen um neue Funktionen erweitert. Im Falle neuer Funktionen für bereits bestehende Funktions-Anforderungs-Beziehungen gilt es, diese mit der neuen Funktion zu aktualisieren. So wird gewährleistet, dass jederzeit transparent ist, welche Funktionen welche Anforderungen erfüllen, womit ein durchgängiges Anforderungsmanagement ermöglicht ist. Für das detaillierte Vorgehen beim Erstellen einer Funktionsstruktur im Rahmen des Systementwurfes sei auf Kapitel 3.3.2.2 verwiesen.

Die Funktionsstruktur gilt es im darauffolgenden Teilprozess in die *Wirkstruktur* zu überführen. Hierfür müssen den einzelnen Teilfunktionen Wirkprinzipien zugeordnet werden. Besonderer Fokus liegt hierbei auf dem Zusammenspiel der Wirkprinzipien und sich evtl. ergebender Restriktionen bzgl. der Kombination von Funktionen. Bei einer Anpassungskonstruktion ist die Abweichung von den bereits vorliegenden Projektunterlagen meist gering. Dadurch ist man bei der Wahl der Wirkprinzipien hier eingeschränkter als bei einer kompletten Neukonstruktion. Eine genauere Beschreibung, wie die Funktions- in die Wirkstruktur überführt wird, gibt Kapitel 3.3.2.3.

Der Teilprozess *Produktstruktur* bildet den Abschluss des Systementwurfes. In diesem Prozesselement wird die Wirkstruktur in eine Produktstruktur überführt. Hierfür wird eine Bauteil-Wirkprinzip-Matrix aufgestellt, welche es ermöglicht, anhand der Wirkprinzipien mögliche Bauteile abzuleiten. Ist dies geschehen,

so können diese Informationen bereits parallel in die Virtuelle Systemauslegung weitergeleitet werden, wo dann die Validierung beginnt. Die Bauteile werden anschließend zur Produktstruktur verbunden, in der Bauteile einer Baugruppe als Cluster erkennbar sind. Mit Hilfe der daraus gewonnenen Informationen lassen sich die nötigen Schnittstellen zwischen den identifizierten Baugruppen gestalten und es erfolgt eine Hierarchisierung der Baugruppen. Zuletzt kann die optimale Entwicklungsreihenfolge ermittelt und darauf aufbauend eine Projektplanung erstellt werden. Eine ausführlichere Erklärung der in diesem Teilprozess benötigten Methoden geben die Kapitel 3.3.2.4 und 3.3.2.5.

Als Abschluss des Prozesselements Systementwurf geht der Prozess in die Konzeptbewertung über, welche parallel zu der bereits vorher begonnen virtuellen Systemauslegung verläuft.

Virtuelle Systemauslegung

Parallel zu dem Prozesselement des Systementwurfes und der Konzeptbewertung verläuft das Prozesselement der virtuellen Systemauslegung. In diesem Prozesselement werden die vorher genutzten Templates aus der Machbarkeitsprüfung, bestehend aus einer Projektierungsvorlage und dem Simulationsmodell, vom OEM weiter detailliert. Hierbei gilt es, die Komponenten aus dem Systementwurf so miteinander zu verknüpfen, dass die im Angebot bzw. Lastenheft zugesicherten Leistungen und Funktionen erfüllt werden. Dafür müssen zunächst die Bauteile im Rahmen des Teilprozesses der Bauteildimensionierung dimensioniert werden, um anschließend die Systemanalyse durchführen zu können (siehe Abbildung 18). An dieser Stelle muss das Entwicklungsteam noch nicht auf die Verfügbarkeit realer Bauteile achten.⁶⁸ Dies geschieht erst zu einem späteren Zeitpunkt im Entwicklungsprozess. Die Bauteile können dementsprechend z.B. über Leistungsdaten verfügen, die bisher noch nicht existieren. Ziel ist es, ein funktionierendes Gesamtsystem virtuell zu erschaffen.

Bei der Erstellung des virtuellen Systementwurfes darf der OEM nur die Parameter ändern, die nicht durch den Vertrag festgeschrieben sind und auf diese Weise das Systemverhalten des Gesamtsystems kontinuierlich verbessern. Im Zusammenhang mit der kontinuierlichen Optimierung des Systemverhaltens erfolgt ein erhöhter Austausch zwischen den Disziplinen

⁶⁸ Vgl. Baum/von Dombrowski/Engler (2009), Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme, S. 8.

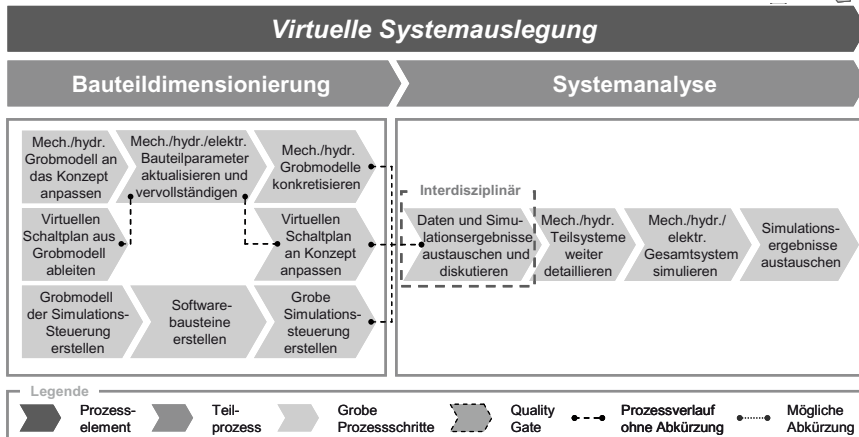


Abbildung 18
Die virtuelle Systemauslegung

der Mechanik und der Hydraulik. Dies wird notwendig, da die mechanischen und hydraulischen Rahmenbedingungen der Presse stetig eingegrenzt werden können und somit das Gesamtsystem immer weiter konkretisiert wird. In Abbildung 19 ist der projektierungsorientierte Anteil des Entwicklungstemplates dargestellt.

Die Parameter werden in der Projektierungssoftware den einzelnen Bauteilen hinterlegt. Dies geschieht durch Anklicken der einzelnen Symbole der jeweiligen Bauteile. Da dem Kunden nicht alle benötigten Parameter in dieser Phase des Projektes bekannt sind, müssen einzelne Parameter angenommen und den Bauteilen hinterlegt werden.⁷⁰ Die Ermittlung und das Eintragen der Bauteilparameter finden zum größten Teil in der Phase der Bauteildimensionierung statt. Am Ende dieses Teilprozesses sind die mechanischen und hydraulischen Grobmodelle deutlich weiter ausdetailliert und der virtuelle Schaltplan der Elektronik an die technischen Konzepte des Systementwurfes angepasst. Parallel zu diesen Prozessschritten wird in der Disziplin Software zunächst eine grobe Struktur für die Steuerung der Simulationsmodelle erstellt, die dann mit bereits bestehenden oder neu zu programmierenden Softwarebausteinen zu füllen ist. Das Ergebnis stellen Steuerungsprogramme dar, die in der folgenden Systemanalyse zur Steuerung der Modelle der einzelnen Disziplinen genutzt werden können.

Im nächsten Teilprozess, der Systemanalyse, erfolgt zunächst ein disziplinübergreifender

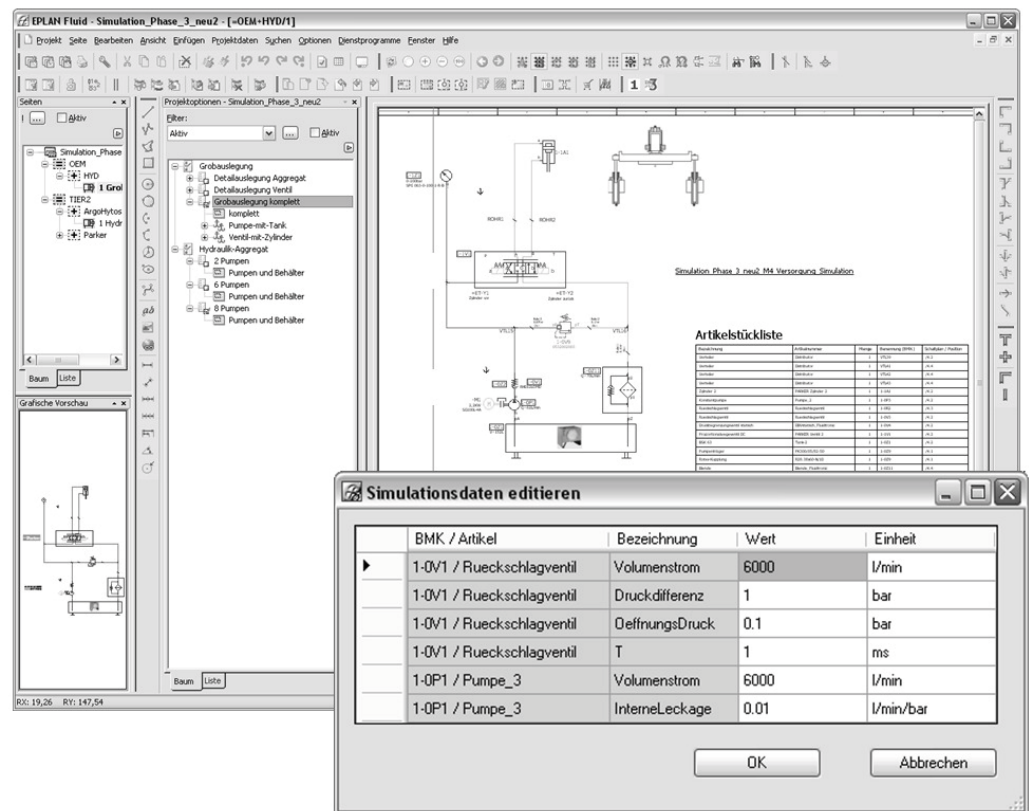


Abbildung 19
Projektierungsorientierter
Anteil des Entwicklungs-
templates⁶⁹

⁶⁹ Vgl. Baum/von Dombrowski (2009), Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme, S. 9.

⁷⁰ Vgl. Baum/von Dombrowski/Engler (2009), Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme, S. 8.

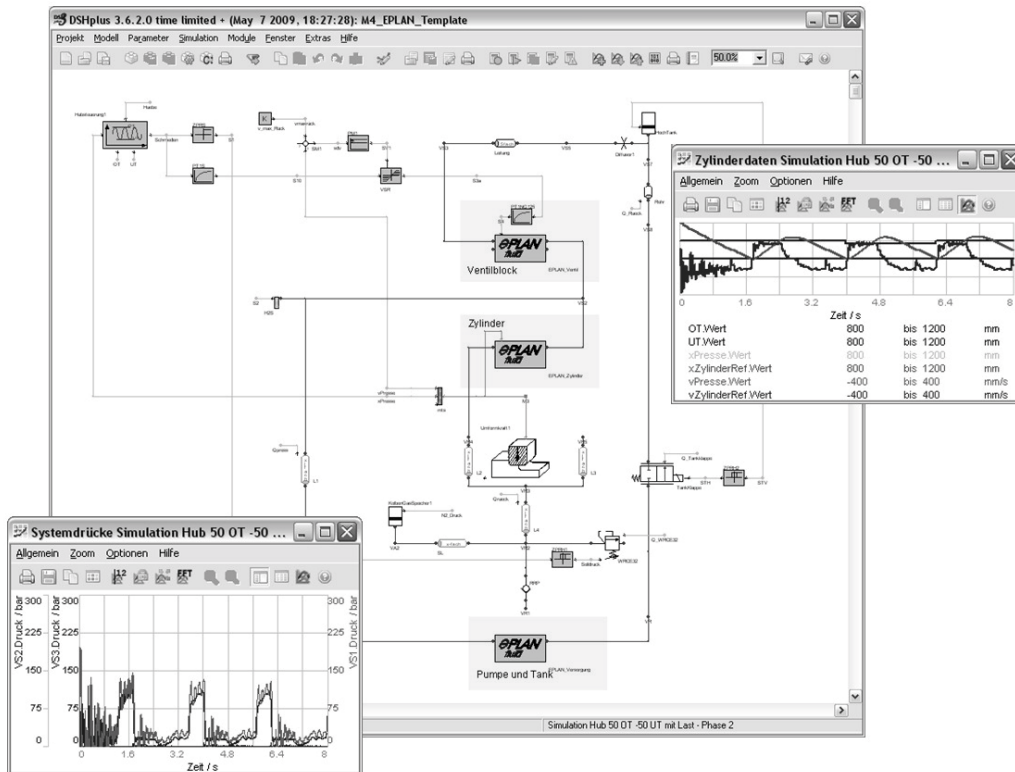


Abbildung 20
Simulationsorientierter
Anteil des Entwicklungs-
templates⁷¹

Austausch der bisherigen Dimensionierungen, bevor die Grobmodelle mit zusätzlichen virtuellen Bauteilen aus der Datenbank weiter detailliert werden. Baugruppen, die komplett extern bezogen werden, werden im Sinne der Black-Box-Logik nur durch ihre In- und Outputwerte simuliert. Sind die Teilsysteme komplettiert, werden sie zum Gesamtsystem zusammengefügt.

Die Daten des Projektierungs-Schaltplans werden anschließend an das Template des Simulationsmodells übermittelt. Mit der Simulationssoftware kann dann anhand der Daten das Systemverhalten simuliert werden. Die Ergebnisse der Simulation werden in Form von Ergebnisdigrammen ausgegeben. Hierbei werden meist Soll- und Ist-Position bewegter Komponenten des Systems aufgetragen. Der simulationsorientierte Anteil des Entwicklungstemplates ist beispielhaft in Abbildung 20 dargestellt.

Die Parameter des Gesamtsystems müssen aufgrund der Ergebnisse der Simulation so weit verändert und angepasst werden, bis eine Erfüllung der angeforderten Funktionen möglich ist. Falls die Simulationsergebnisse aus allen Bereichen positiv sind, werden die Daten zuletzt konsolidiert und in der Datenbank abgelegt.

Die Ergebnisse fließen direkt in die Konzeptbewertung ein. Treten in Teilsystemen jedoch Probleme auf, muss geprüft werden, ob die Parameter für das Teilsystem nochmals verändert werden können oder ob es weitere Konzepte gibt, die ggf. eine bessere Eignung aufweisen. Ist aber auch dies nicht möglich, müssen die Kundenanforderungen neu verhandelt werden, um sie so anzupassen, dass die Umsetzung möglich wird.

Konzeptbewertung

Die Konzeptbewertung schließt sich an den Systementwurf an und verläuft wie dieser parallel zu der virtuellen Systemauslegung, die gerade beschrieben wurde. Im Rahmen der Konzeptbewertung werden häufig Ergebnisse aus diesem parallelen Prozesselement genutzt, um fundiertere Schlüsse, z.B. bezüglich des Risikos, ziehen zu können. Die Konzeptbewertung beginnt mit dem Teilprozess der Wertigkeitsanalyse, an welche sich die Risikoanalyse und die Konzeptfreigabe anschließen (siehe Abbildung 21). Ziel ist es, das beste Konzept auszuwählen und mit dem Kunden abzustimmen.

Zunächst wird im Rahmen der *Wertigkeitsanalyse* jedes der im Systementwurf erstellten

⁷¹ Vgl. Baum/von Dombrowski (2009), Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme, S. 10.

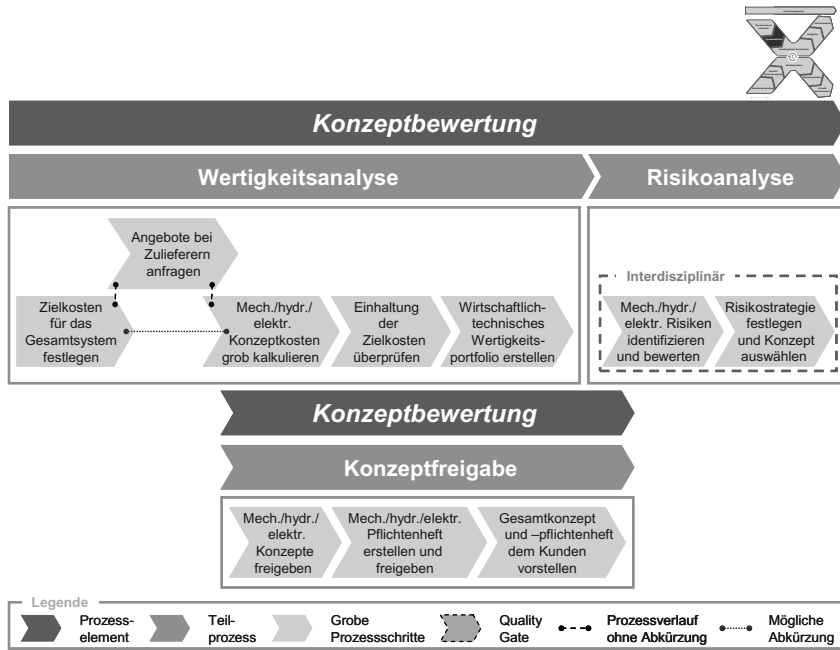


Abbildung 21
Die Konzeptbewertung

Konzepte auf seine wirtschaftlichen und technischen Vorteile hin untersucht. Dazu werden zu Beginn grobe Zielkosten für das Gesamtsystem mit Hilfe des Targetcosting und des Zielkostenmanagements festgelegt. Anschließend gilt es in den drei Bereichen Mechanik, Hydraulik und Elektronik die jeweiligen Konzepte zu konsolidieren und die Kosten für die einzelnen Bereiche abzuschätzen. Dabei kann auch die Hilfe des Einkaufs genutzt werden, zum Beispiel um Zuliefererpreise zu erfahren. Die Einzelkalkulationen werden dann an den Einkauf weitergeleitet, der sie auf ihre Übereinstimmung mit den Zielkosten hin prüft. Sind die errechneten Preise zu hoch, ergibt sich die Möglichkeit, das Konzept im Rahmen des Systementwurfes zu verbessern oder aber die Preise mit den Zulieferern neu zu verhandeln. Zuletzt wird der Gesamtpreis nochmals mit den Zielkosten verglichen und die Konzepte werden konsolidiert, um dann mit Hilfe der Ergebnisse aus der virtuellen Systemauslegung ein wirtschaftlich-technisches Wertigkeitsportfolio zu erstellen.

Die anschließende *Risikoanalyse* erfolgt ebenfalls teilweise aufbauend auf den Ergebnissen der virtuellen Systemauslegung. In dieser Analyse werden die Risiken der Konzepte der einzelnen Disziplinen analysiert. Ziel ist es, eine erhöhte Transparenz des Schadenpotenzials zu erreichen. Hierfür kommt auf Teilsystemebene die Methode der FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) zum Einsatz, bei der die potenziellen Schwachstellen und deren Auswirkungen für das Teilsystem ermittelt werden.

Nach Ermittlung der potenziellen Fehlermöglichkeiten sind für alle risikobehafteten Bauteile des Gesamtsystems Maßnahmen zur Vermeidung vorzusehen. Unterstützend werden hierfür die Simulationsergebnisse der virtuellen Systemauslegung hinzugezogen. Mögliche Schwachpunkte der Teilsysteme müssen im Team angesprochen und gemeinsam hinsichtlich des Schadenpotenzials analysiert werden. Anschließend gilt es ebenfalls disziplinübergreifend die Eintrittswahrscheinlichkeit eines möglichen Fehlverhaltens zu ermitteln und hierfür Risikostrategien festzulegen.

Schließlich müssen noch Zeitpunkte für eine projektbegleitende Risikoidentifikation festgelegt werden, um auch während des gesamten Projektverlaufes die Risiken kontrollieren zu können und in der Lage zu sein ggf. rechtzeitig einzugreifen. Zuletzt wird disziplinübergreifend das optimale Konzept für den Kunden ausgewählt, welches im nächsten Teilprozess freizugeben ist.

Nach einer erfolgreichen Wertigkeits- und Risikoanalyse werden die Konzepte der einzelnen Disziplinen schließlich zu Beginn der *Konzeptfreigabe* disziplinintern freigegeben. Anschließend werden die disziplinspezifischen Pflichtenhefte erstellt und die Konzepte der einzelnen Disziplinen in einem disziplinübergreifenden Workshop einander vorgestellt. Da zu diesem Zeitpunkt die Komplexität der disziplinspezifischen Konzepte bereits zugenommen hat, soll hiermit ein Verständnis für das Gesamtsystem aufgebaut werden. Hiernach müssen sowohl die Konzepte als auch die Pflichtenhefte eine interne Freigabe des OEM erhalten. Geschieht dies nicht, müssen Anpassungen am Systementwurf vorgenommen werden. Erhalten jedoch beide die interne Freigabe, werden anschließend die einzelnen Pflichtenhefte und Konzepte vom Vertrieb zu einem Gesamtpflichtenheft/-konzept konsolidiert und gemeinsam mit dem Kunden hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen überprüft. Gibt es von Seite des Kunden keine Änderungswünsche, beginnt im Falle einer Anpassungskonstruktion die Konstruktion beim OEM und im Falle der Neukonstruktion die Erstellung eines Angebotes für das Gesamtprojekt, da die Vorstudie nun abgeschlossen ist. Hat der Kunde jedoch noch Änderungswünsche, müssen diese u.a. unter Zuhilfenahme von Simulationsergebnissen aus der virtuellen Systemauslegung auf eine mögliche Aufnahme in das System hin geprüft werden.

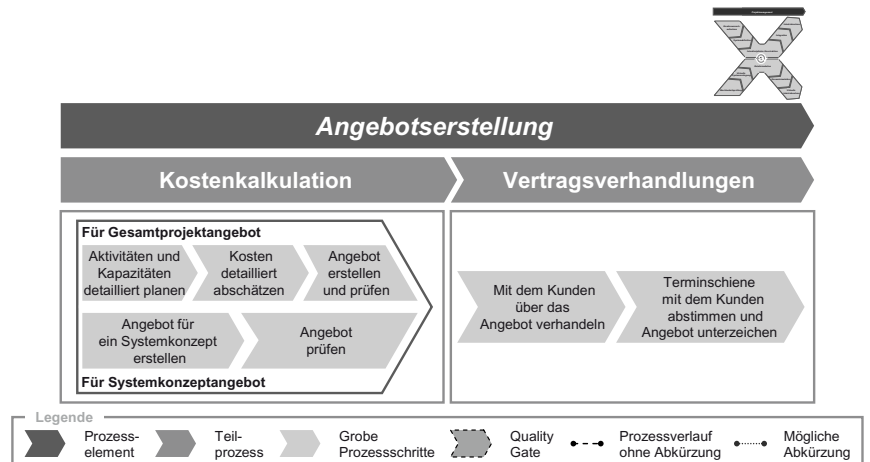
Angebotserstellung

Das Prozesselement der Angebotserstellung ist ein Teil der entwicklungsbeigleitenden Prozesse und gliedert sich in zwei Teilprozesse auf, wobei den eigentlichen Vertragsverhandlungen immer eine detaillierte *Kostenkalkulation* vorausgeht (siehe Abbildung 22). Hierbei arbeiten die einzelnen Disziplinen eng mit dem Einkauf des Unternehmens zusammen. Da bei einem fluidtechnisch-mechatronischen System die Hauptkosten seitens der Mechanik und der Fluidtechnik entstehen, werden die Preise für die Elektrik und die Software am Ende der Analyse als eine Pauschale auf die errechneten Kosten aufgeschlagen.

Bei einer Neuentwicklung umfasst das erste Angebot kurz nach der Machbarkeitsanalyse nur die Erstellung eines Systemkonzeptes (Systemkonzeptangebot). Wurde in vorherigen Projekten bereits einmal ein solches Systemkonzept erstellt, liegen erwartete Kosten vor. Hier wird die Kostenkalkulation daher sehr schnell durchlaufen. Zu dem Zeitpunkt der Angebotserstellung für das gesamte Projekt (Gesamtprojektangebot) liegen aufgrund der bereits abgeschlossenen virtuellen Systemauslegung und des bestehenden Systementwurfes schon sehr konkrete Planungen für das Produkt vor, an denen sich der OEM bei der Angebotskalkulation orientieren kann. Zu diesem Zeitpunkt fallen die Kalkulationen deutlich aufwändiger aus.

Im Falle der Angebotserstellung für das Gesamtprojekt wird mit der Detailplanung der erforderlichen Aktivitäten und des Kapazitätsbedarfes begonnen. Anschließend werden unter Einbeziehung der Materialpreise (bspw. Stahl) und einer Detailschätzung der Zuschlagsfaktoren durch den Einkauf und die Projektleitung die Prozesskosten abgeschätzt und ein Gesamtpreis festgelegt. Ist dieser überprüft worden, wird auf dieser Basis ein Angebot erstellt und nach einer weiteren Überprüfung an den Vertrieb weitergeleitet.

Nach der Kostenanalyse wird dem Kunden durch den Vertrieb im Rahmen der *Vertragsverhandlungen* ein Angebot für das Gesamtsystem unterbreitet. Dabei wird neben dem Systemkonzept die Terminalschiene für die Entwicklung des Systems diskutiert und vertraglich festgehalten. Am Ende der Angebotserstellung erfolgt die Unterschrift des Vertrags durch den Kunden. Nimmt der Kunde das Angebot zunächst nicht an, müssen die Gründe dafür gesucht und ggf. ein anderes Konzept gewählt



oder weitere Verhandlungen mit dem Kunden geführt werden. Ist der Vertrag unterzeichnet, wird das Projektteam festgelegt.

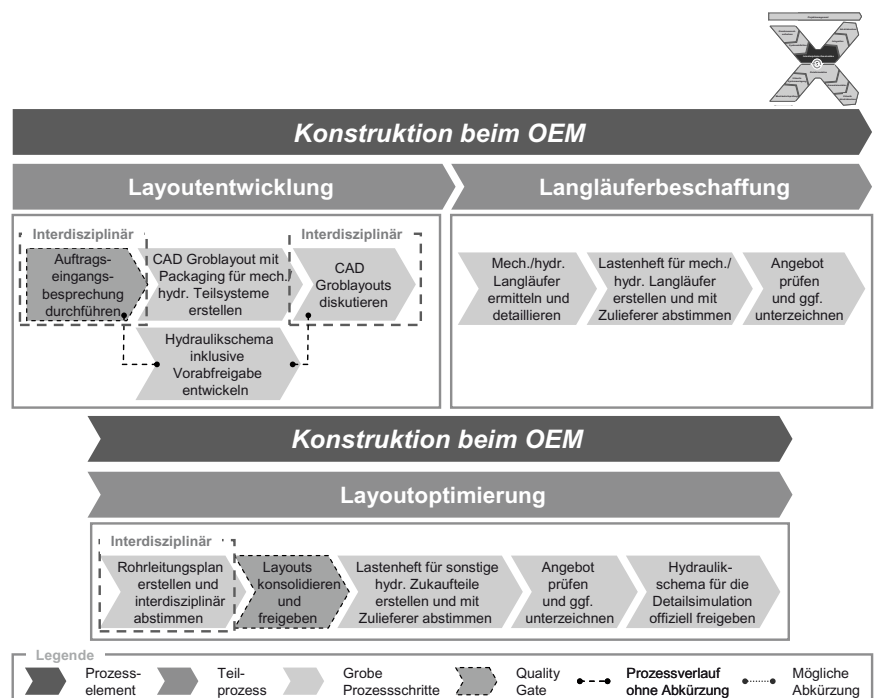
Abbildung 22
Die Angebotserstellung

Konstruktion beim OEM

Nach der Konzeptauswahl bzw. der Angebotserstellung kann mit der Konstruktion des Gesamtsystems begonnen werden. Dieses Prozesselement unterteilt sich in die Teilprozesse der Layouterstellung, Langläuferbeschaffung und Layoutoptimierung (siehe Abbildung 23).

Der Teilprozess der *Layouterstellung* beginnt mit der Auftragsingangsbesprechung aller Disziplinen. In dieser Besprechung werden alle Bedingungen und Inhalte des Vertrags mit allen Mitgliedern des Entwicklungsteams bespro-

Abbildung 23
Die Konstruktion beim OEM



chen. Da dieser Vorgang essentiell für den weiteren Verlauf ist, stellt er ein Quality Gate dar, mit dem die Erstellung des Systemkonzepts als erste große Entwicklungsphase abgeschlossen wird. Im Anschluss erfolgt die Erstellung des CAD Layouts der Teilsysteme in den Bereichen Mechanik und Hydraulik. In beiden Fällen dienen bisherige Entwicklungstemplates aus der Datenbank als Ausgangsbasis. Hierbei erfolgt eine enge Abstimmung zwischen den Disziplinen der Mechanik und der Hydraulik hinsichtlich einzelner physikalischer Größen wie Nenn- und Maximaldrücke sowie Zylinderdurchmesser und -geschwindigkeiten. Parallel hierzu wird ein Hydraulikschema mit einer Vorabfreigabe erstellt. Notwendige Eingangsparameter stellen hierbei Informationen, beispielsweise zu Rohrquerschnitten, Wandstärken, Abmessungen der Komponenten sowie die Definition der Schnittstellen dar. Wenn diese Layouts sowie das der Elektronik aus dem Prozesselement der Elektronik- und Softwareentwicklung beim OEM vorliegen, werden diese disziplinübergreifend diskutiert.

Nach Abstimmung des Entwurfs und des Rohrleitungsplans können schließlich die mechanischen und hydraulischen Baugruppen und Bauteile mit längerer Lieferfrist, sogenannte Langläufer wie beispielsweise Rohmaterialien, im Teilprozess der *Langläuferbeschaffung* ausgemacht und bestellt werden. Neben Informationen wie Werkstoffspezifikationen und Stückzahl sind hierbei die geometrischen Abmessungen notwendig. Nach einer Konsolidierung der Bestellungen durch den Einkauf werden wiederum Angebote verschiedener Zulieferer eingeholt. Hierbei müssen die Spezifikationen auf Basis des Pflichtenhefts mit den Zulieferern diskutiert werden. Sollten die Spezifikationen

durch den Zulieferer nicht vollständig eingehalten werden können, muss intern eine mögliche Änderung des Entwurfs besprochen werden.

Nach Bestellung der Langläufer gilt es, im Rahmen der *Layoutoptimierung* die mechanischen und hydraulischen Entwürfe entsprechend der während der Langläuferbestellung gesammelten Informationen weiter zu optimieren, um abschließend das Layout des Rohrleitungsplans festzulegen. Dieser Entwurf wird anschließend disziplinübergreifend mit dem hydraulischen und dem mechanischen Entwurf abgestimmt.

Sind die Layouts disziplinübergreifend angenommen worden, wird in einem Quality Gate das Gesamtlayout freigegeben. Daraufhin kann mit den Vorbereitungen für den Einkauf extern zu beziehender Baugruppen, die keine Langläufer sind, begonnen werden. Dazu werden die Anforderungen an sie festgehalten und mit möglichen Zulieferern abgesprochen. An dieser Stelle führt der Zulieferer den Teilprozess der Machbarkeitsanalyse durch. Bei positiver Rückmeldung werden die Verträge geschlossen. Nach der offiziellen Freigabe des Hydraulikschemas kann mit der Detailsimulation begonnen werden.

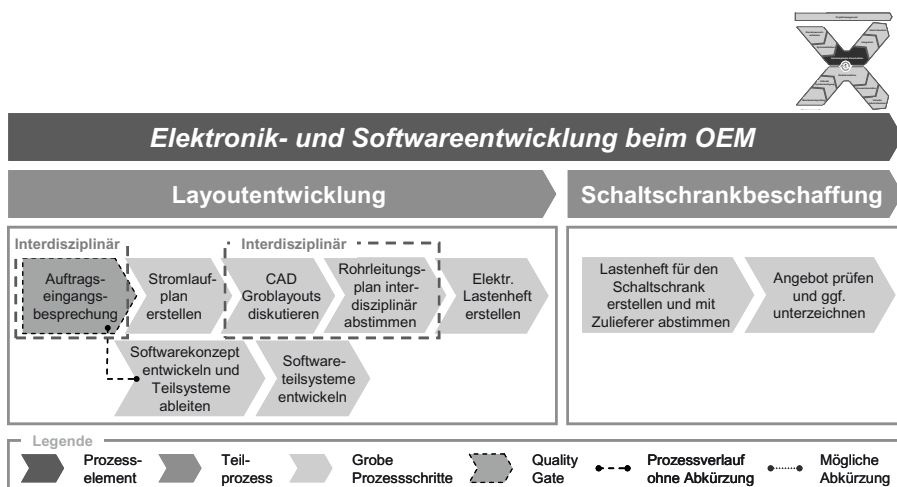
Elektronik- und Softwareentwicklung beim OEM

Der Elektronik- und Softwareentwicklungsprozess verläuft parallel zum Prozesselement der Konstruktion beim OEM. Ziel der Elektronik- und Softwareentwicklung ist neben der Entwicklung des Elektroniklayouts und der Software zur Steuerung des fluidtechnisch-mechatronischen Systems die Konstruktion des Schaltschranks. Daher werden hier, wie es Abbildung 24 darstellt, die Teilprozesse der Layouterstellung und der Schaltschrankbeschaffung unterschieden.

Der erste Schritt der *Layouterstellung* wird prozesselementübergreifend durchgeführt, um so die Software- und Elektronikentwickler im Rahmen der Auftragseingangsbesprechung auf denselben Stand wie die Mechanik- und Hydraulikentwickler zu bringen.

Bevor anschließend Softwaremodule erstellt werden können, muss der Softwareentwickler das Softwarekonzept aus dem Systementwurf an die neuesten Planungen anpassen und in Teilsysteme unterteilen. Zudem muss er nach ähnlichen, bereits vorhandenen Softwaremodulen in der Datenbank des Unternehmens suchen. Liegt ein ähnliches Softwaremodul

Abbildung 24
Die Elektronik- und
Softwareentwicklung
bei OEM



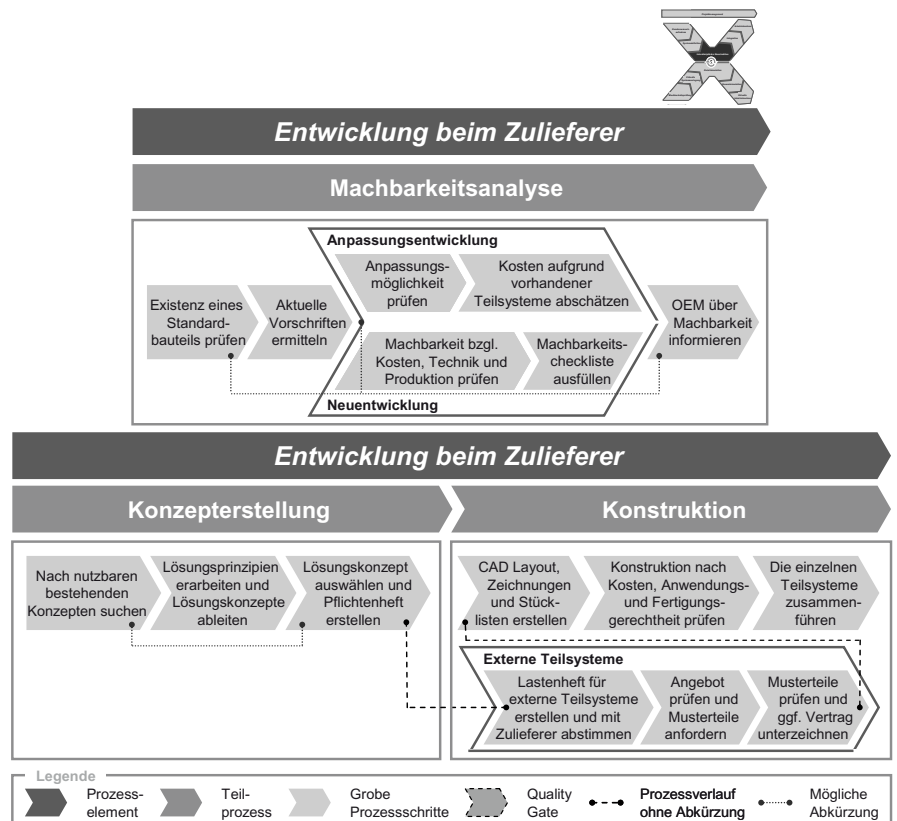
bereits vor, gilt es dieses aus der Datenbank herauszunehmen und anzupassen, bevor man mit der Erstellung der Software fortfährt. Sollte kein Modul vorliegen, wird direkt mit der Erstellung der Softwaremodule begonnen.

Neben der Entwicklung der Software gilt es in der Disziplin Elektronik die Schaltpläne und benötigten Leistungen abzuleiten sowie den Stromlaufplan zu erstellen. Anschließend werden wieder disziplinübergreifend mit der Mechanik und Hydraulik das CAD Groblayout und der Rohrleitungsplan abgestimmt. So können früh die Auswirkungen auf die geplanten Kabelverläufe festgestellt werden. Ist der Verlauf im Rohrleitungsplan gemeinsam definiert, werden die Layouts der verschiedenen Disziplinen in einem weiteren Quality Gate freigegeben. Anschließend können das detaillierte elektronische Lastenheft erstellt und die elektrischen Geräte im Schaltschrank festgelegt werden.

Wurde die Elektroniksimulation im Rahmen der Detailsimulation durchgeführt, startet der Teilprozess der *Schaltschrankbeschaffung*. Hier wird zunächst aus den Konstruktionsunterlagen bezüglich des Schaltschranks sowie der Stückliste der elektrischen Geräte ein Lastenheft für den Schaltschrank erstellt. Parallel hierzu werden alle Informationen im ERP-System des Unternehmens gelegt. Bestellvorschläge werden dann an den Einkauf weitergeleitet, welcher anschließend Zulieferer für eine Fremdfertigung des kompletten Schaltschranks ermittelt. Die Anforderungen seitens der Elektronik sowie der Projektorganisation, beispielsweise hinsichtlich der Terminschiene, gilt es in Gesprächen mit den Zulieferern zu klären und gegebenenfalls anzupassen. Angebote für die Erstellung des Schaltschranks werden intern hinsichtlich der technischen und der kostenseitigen Umsetzung geprüft. Sollten die Anforderungen des OEM erfüllt sein, kommt es zum Vertragsabschluss mit dem Zulieferer. Zum Schluss wird das Prozesselement der Integration gestartet.

Entwicklung beim Zulieferer

Nach Eingang der Anfrage des OEM beim Zulieferer hinsichtlich der Machbarkeit der zu entwickelnden Teilsysteme beginnt das externe Prozesselement des Zulieferers. Dieses setzt sich aus den Teilprozessen der Machbarkeitsanalyse, der Konzepterstellung sowie der Konstruktion zusammen (siehe Abbildung 25). Die Teilprozesse verlaufen parallel zur Detailsimulation



und enden mit dem Beginn des Prozesselements der Integration aller Teilsysteme durch den OEM.

Zu Beginn dieses Prozesselements steht die *Machbarkeitsanalyse* durch den Zulieferer. Hier wird zuerst geprüft, ob ein Standardbauteil zur Erfüllung der Anforderungen existiert. Ist dies der Fall, lässt sich eine Aussage zur Machbarkeit treffen. Im anderen Fall muss zunächst überprüft werden, ob für die Entwicklung ggf. neue Vorschriften, Normen oder Gesetze ermittelt werden müssen. Diese werden dann erfasst und es wird überprüft, ob sie erfüllbar sind. Nur wenn der Zulieferer diese Frage positiv beantworten kann, wird der Teilprozess der Machbarkeitsprüfung weiter durchlaufen.

Nun überprüft der Zulieferer, ob er die Anforderungen des OEM mittels einer Anpassungskonstruktion einer bestehenden Baugruppe erfüllen kann, auch wenn keine Standardlösung für den Fall vorhanden ist. Hierfür kann er anhand der ihm übertragenen Informationen einen ersten Abgleich mit bereits durchgeführten Projekten in seiner Datenbank durchführen.

Ist eine ähnliche Baugruppe vorhanden, muss zunächst deren Anpassbarkeit geprüft

Abbildung 25
Die Entwicklung
beim Zulieferer

und eine Kostenabschätzung durchgeführt werden, bevor eine endgültige Aussage über die Machbarkeit möglich ist. Existiert eine solche Lösung jedoch nicht, sondern handelt es sich um eine Neuentwicklung hinsichtlich des Teilsystems, so gilt es eine ausführlichere Machbarkeitsanalyse durchzuführen. Hier werden die Bereiche Produktion, Technik und Kosten der Neuentwicklung überprüft und eine Machbarkeitscheckliste ausgefüllt. Anschließend wird der OEM auch hier hinsichtlich der Machbarkeit informiert.

Zu Beginn der *Konzepterstellung* werden dem Zulieferer Entwicklungstemplates, bestehend aus einem projektierungsorientierten und dem simulatorischen Anteil, über eine internetbasierte Austauschplattform zur Verfügung gestellt. Mit Hilfe der Projektierungsinformationen wird zu Beginn in der Datenbank geprüft, ob ein bereits bestehendes Konzept zur Umsetzung der Anforderungen eingesetzt werden kann.

Sollte kein bereits durchgeführtes Projekt vorliegen, kommt es zur Erstellung eines neuen Konzeptes. Hier gilt es zunächst erste Lösungskonzepte zu erarbeiten, um diese anschließend zu bewerten und weiter zu detaillieren. Anhand der detaillierteren Lösungsprinzipien ist es anschließend möglich, verschiedene Lösungskonzepte abzuleiten. Die vorliegenden Konzepte werden abschließend bewertet und der Lösungsraum sukzessive eingegrenzt.

Anschließend gilt es die Herstellkosten der Einzelteile für die weiterfolgenden Konzepte zu ermitteln, die optimalen Lösungskonzepte auszuwählen und ein Pflichtenheft zu erstellen. Nach einer finalen Abstimmung mit dem OEM werden die Unterlagen in der Datenbank abgelegt.

Nach der Konzepterstellung erfolgt in einem nächsten Schritt die *Konstruktion* des jeweiligen Teilsystems. Diese beginnt damit, dass das bisherige Entwicklungstemplate der Datenbank entnommen wird. Direkt im Anschluss wird geprüft, ob das zu konstruierende Bauteil externe Teilsysteme enthält. Ist dies der Fall, so werden zunächst Anforderungen an das zu entwickelnde Bauteil aufgelistet, eine Anfrage an den Einkauf weitergeleitet und gemeinsam mögliche Lieferanten ermittelt. Nach Erhalt der Kostenvoranschläge verschiedener Zulieferer wird die anforderungsgerechteste Lösung ausgewählt und eine Make-or-Buy Entscheidung getroffen. Im Falle einer Vergabe der Entwicklungsaufgabe an einen Zulieferer wird zunächst die Machbarkeit der Aufgabe überprüft und

bei einer positiven Antwort gemeinsam mit ihm ein Lastenheft erstellt. Dann werden Muster- teile, deren technische Parameter sowie Daten zu deren Verhalten angefordert, die genau zu prüfen sind. Sind die Anforderungen seitens des Zulieferers erfüllt, wird nach einer Prüfung der Lieferkapazitäten ein Vertrag über die Entwicklung der Komponenten mit dem Zulieferer abgeschlossen.

Zuletzt müssen die Teilsysteme ausdetailliert werden, wobei zunächst ein CAD Layout angefertigt und Stücklisten sowie technische Zeichnungen erstellt werden. Anschließend wird die Gesamtkonstruktion noch einmal auf ihre Kosten und die Fertigungs- und Anwendungsgerechtigkeit hin überprüft. Ist das Urteil positiv und sind alle Teilsysteme auskonstruiert, werden sie zu einem Gesamtsystem zusammengefügt. Im nächsten Prozesselement, der Detailsimulation, kann dieses dann mittels der zuliefererspezifischen Simulationssoftware auf die Funktionalität und das Komponentenverhalten bei unterschiedlichen Randbedingungen hin analysiert und verifiziert werden.

Während der gesamten Konstruktion erfolgt die Dokumentation der Ergebnisse mit Hilfe des Projektierungsanteils des vom OEM übermittelten Entwicklungstemplates. Alle Informationen werden hierbei aufgenommen und konsistent in der Datenbank des Unternehmens gespeichert.

Detailsimulation

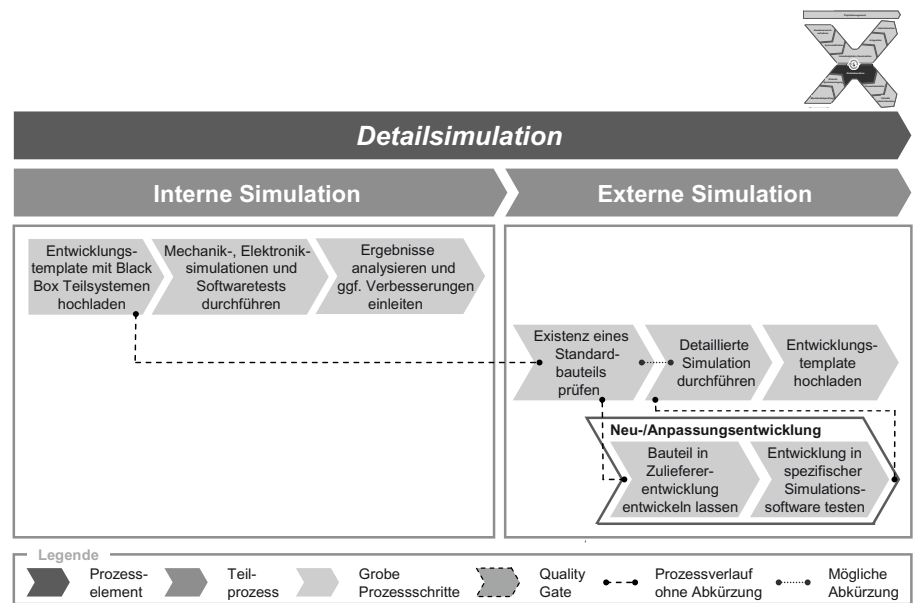
Bisher wurden die Systemkomponenten durch die Simulation anhand der immer detaillierteren Komponentenanforderungen stetig verbessert. Dabei wurden allerdings nicht nur Standardkomponenten oder Normteile, welche von den unterschiedlichen Zulieferern bezogen werden können, eingesetzt. Vielmehr wurden innerhalb der Simulation virtuelle Komponenten mit hydraulisch optimalen Parametern definiert und eingesetzt. Um nun zu einer real umsetzbaren Systemauslegung zu gelangen, müssen die ausgewählten Komponenten, unabhängig von ihrem Neuigkeitsgrad, detailliert getestet werden. Auf diesem Wege wird zudem der bisher nur in einer groben Form vorliegende Schaltplan, welcher von hoher Bedeutung für die Entwicklung einer Presse ist, weiter ausdetailliert. Um dies zu ermöglichen, verläuft die Detailsimulation, die sich in einen externen und einen internen Teilprozess aufteilt (siehe Abbildung 26), parallel zur Konstruktion beim OEM und Zulieferer.

Einzelne Symbole, wie bspw. die Pumpe oder die Ventile, stehen in dem derzeit vorlie-

genden Schaltplan noch für ganze Teilsysteme, deren genaue Struktur es noch zu definieren gilt. Darüber hinaus bestehen diese Teilsysteme aus mehreren Komponenten, deren Verhalten im Zusammenspiel noch ermittelt werden muss. Diese Teilsysteme und Komponenten gilt es nun teilweise von externen Zulieferern entwickeln zu lassen. Hierfür müssen zu Beginn der internen Simulation die während der Konstruktion entstandenen detaillierteren mechanischen und hydraulischen Simulationen für den Informationstransfer zwischen dem OEM und den Zulieferern angepasst werden. Dies geschieht mit Hilfe des eingesetzten Simulationsprogramms (bspw. DSHplus) und des Projektierungssystems (bspw. EPLAN). Dafür müssen zunächst die Systemgrenzen der zu entwickelnden Baugruppen und Bauteile definiert werden.

Die jeweiligen Zulieferer sollen hierbei dem OEM im Zuge der Entwicklung sowohl die simulationsrelevanten Parameter als auch die Projektierungsinformationen ihrer Teilsysteme in Form einer Datenbank zur Verfügung stellen. Um einen Know-how Schutz beim Austausch der Projektierungs- und Simulationsdaten zu gewährleisten, müssen die Systembestandteile, die von den jeweiligen Zulieferern nicht entwickelt werden sollen, uneinsehbar gemacht werden. Ein Weglassen der Daten ist allerdings nicht möglich, da eine Simulation des Verhaltens des Gesamtsystems sonst nicht mehr möglich wäre. Daher werden die Simulations- und damit auch die Projektierungsdaten für den jeweiligen Zulieferer mittels einer Black-Box-Logik gekapselt. Somit können zwar das Verhalten der anderen Teilsysteme als Eingangs- und Ausgangsgröße für das abgekapselte Teilsystem angegeben, die Projektierungsinformationen jedoch nicht eingesehen werden. Beide Bestandteile des Entwicklungstemplate werden dem Zulieferer über eine internet-basierte Austauschplattform (bspw. Windchill) zur Verfügung gestellt. Die Austauschplattform ist so aufgebaut, dass der jeweilige Zulieferer nur den für ihn vom OEM zur Verfügung gestellten Datenbereich auf der Plattform einsehen kann. Somit wird das Know-how der Zulieferer effektiv geschützt.

Im weiteren Verlauf der internen Simulation werden Bauteile, die selbst entwickelt werden, intern simuliert. In der Mechanik dienen Mehrkörpersimulationen und Finite-Elemente-Simulationen dazu, Vibrationen und Bewegungen der entwickelten Bauteile zu analysieren. Zudem werden die elektrischen Schaltungen simuliert und Softwaretests durchgeführt. In



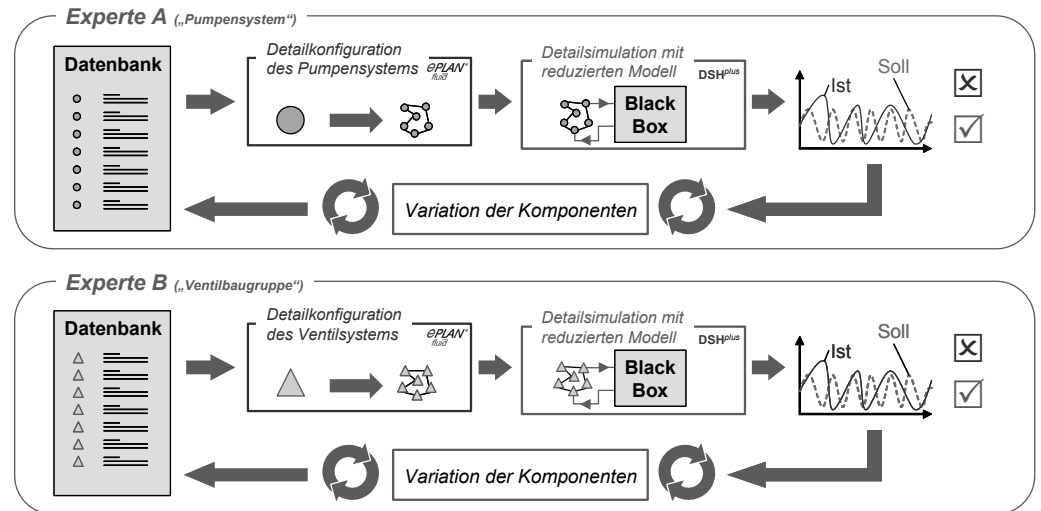
der Mechanik werden die erfolgreich durch die Simulation getesteten Bauteile im nächsten Prozessschritt, der Integration, mit den anderen Komponenten zu einem Gesamtsystem zusammengefügt. Die erfolgreich simulierte Elektronik dient der Schaltschrankbeschaffung (s.o.) als Eingang, sie fließt danach ebenfalls in den Prozessschritt der Integration ein. Die erfolgreich getestete Software wird erst im Rahmen der virtuellen Inbetriebnahme wieder in den Entwicklungsprozess einfließen.

Die Hydrauliksimulation ist intern nicht berücksichtigt, da die meisten Komponenten hier extern beschafft werden. Sie findet daher bei den Zulieferern im Teilprozess der *externen Simulation* statt. Der Zulieferer hat nach einer Verifikation per Login auf die für ihn bestimmten Daten auf der Plattform Zugriff und kann sich die Simulations- und Projektierungsdaten herunterladen. So liegen ihm alle relevanten Randbedingungen des Gesamtsystems und die Anforderungen an das zu detaillierende Teilsystem vor.

Im nächsten Schritt hängt das weitere Vorgehen davon ab, ob es sich bei dem angeforderten Bauteil um eine Neuentwicklung bzw. Anpassungsentwicklung handelt, oder ob ein Standardbauteil existiert, das den Anforderungen des OEM entspricht. Existiert eine Standardlösung, gilt es die Parameter dieses Bauteils in das Simulations- und Projektierungstemplate einzutragen. Ist dies zunächst nicht der Fall, bestehen für den Zulieferer zwei Möglichkeiten, um ggf. doch auf eine Standardlösung zurückgreifen zu können. Zum einen kann er dem

Abbildung 26
Die Detailsimulation

Abbildung 27
Detaillierung von
Teilsystemen durch
Zulieferer



OEM eine Veränderung des Systems vorschlagen, die den Einsatz einer bewährten Lösung ermöglicht, die Qualität des Gesamtsystems jedoch nicht schmälert. Zum anderen kann er die Systemgrenzen seines Bauteils verschieben, um ggf. mehr oder weniger Funktionen in seinen Erfüllungsbereich zu integrieren. Dies ist dann sinnvoll, wenn Standardlösungen existieren, die einen anderen als den gewünschten Funktionsumfang erfüllen, jedoch auch Teile oder die gesamten ursprünglich geforderten Funktionen einschließen. Führt beides nicht zum Erfolg, muss im Rahmen der Entwicklung beim Zulieferer ein neues Bauteil konstruiert werden.

Im Fall der Neu- bzw. Anpassungskonstruktion ist es Aufgabe des Zulieferers, das von ihm zu entwickelnde Teilsystem in tatsächlich realisierbare Komponenten weiter zu detaillieren. Hierfür gestaltet und detailliert er in der Projektierungssoftware das zunächst vereinfacht konzipierte Teilsystem. Dabei baut er, wie in Abbildung 27 skizziert, in der Projektierungssoftware die Verschaltungslogik seiner Einzelkomponenten zu einem Teilsystem auf.

An dieser Stelle kann sich der Zulieferer seiner unternehmensspezifischen Datenbank, in welcher die Einzelkomponenten inklusive der Projektierungs- und Simulationsdaten hinterlegt sind, bedienen. Darüber hinaus kommen die unternehmenseigenen, meist spezifischen Simulationsprogramme zum Einsatz, mit denen der Zulieferer die Eigenschaften seiner Einzelkomponenten noch einmal einzeln prüfen und verifizieren kann, um sie daraufhin zu einem funktionsfähigen Teilsystem zusammenzufügen. Anschließend werden auch hier die Parameter

der Lösung in das Gesamtsystem des OEM eingetragen.

Im Folgenden werden die Teilsysteme, unabhängig davon, ob sie neu konstruiert bzw. angepasst wurden oder eine Standardlösung sind, in dem mitgelieferten Simulationsmodell in Verbindung mit dem als Black-Box hinterlegten Gesamtsystem verifiziert. Hierfür überführt der Zulieferer den Projektierungs-Schaltplan der Projektierungssoftware in das mitgelieferte Simulationsmodell. Die Simulationsparameter werden dabei direkt aus der Projektierungssoftware ausgelesen. Der Zulieferer kann nun die direkten Auswirkungen des Einsatzes verschiedener Komponenten innerhalb der Gesamtsystemprojektierung zum derzeitigen Stand im Simulationsmodell prüfen und verifizieren. Da dieser Schritt von mehreren Zulieferern parallel ausgeführt wird, kann es zu Anpassungen der Gesamtprojektierung im späteren Verlauf des Entwicklungsprozesses kommen.

Sollte das in den vom OEM mitgelieferten Referenz-Graphen visualisierte Soll-Verhalten durch das Teilsystem nicht erreicht werden, muss es erneut das Prozesselement der Konstruktion beim OEM durchlaufen. Erreicht es jedoch das Soll-Verhalten, wird die Dokumentation um die Projektierungsinformationen ergänzt und dem OEM über die internetbasierte Austauschplattform zugespielt. Zudem werden die Simulationsergebnisse mit dem OEM diskutiert. Dieses Vorgehen wiederholt sich zwischen dem OEM und den Zulieferern aller zu entwickelnden Teilsysteme. Diese Teilsysteme gehen anschließend, genau wie die intern entwickelten, in das Prozesselement der Integration über.

Prozessbegleitende Kalkulation

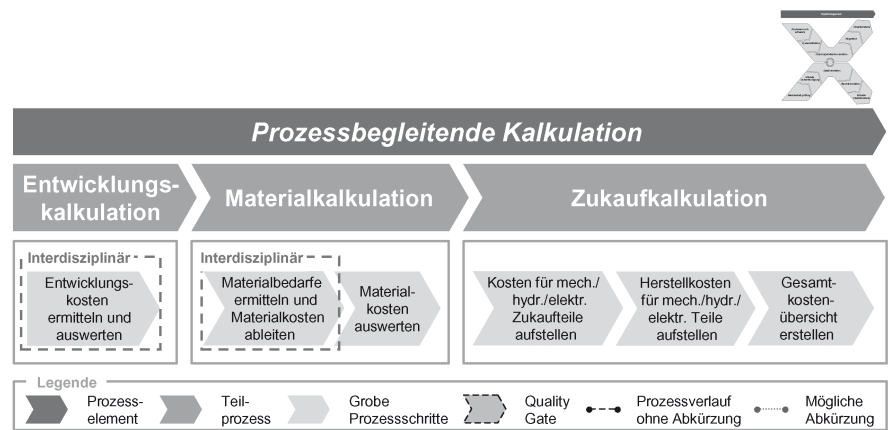
Die prozessbegleitende Kalkulation ist ein Prozesselement der entwicklungsbegleitenden Prozesse. Sie hat kein festes Vorgänger- oder Nachfolgerelement sondern kann an mehreren zuvor festgelegten Stellen innerhalb des Entwicklungsprozesses eingesetzt werden, um die Entwicklungskostensituation an der jeweiligen Stelle zu überprüfen. Ziel des Prozesselements ist damit die stetige Überwachung der Entwicklungskosten. Teilprozesse innerhalb des Prozesselements sind, wie es Abbildung 28 darstellt, die Entwicklungskalkulation, die Materialkalkulation und die Zukaufkalkulation.

In der *Entwicklungskalkulation* werden zunächst der Entwicklungsaufwand und die Entwicklungskosten aller Disziplinen ermittelt. Diese werden an das Controlling weitergeleitet und ausgewertet. Bei den weiteren zu erfassenden Kosten handelt es sich um Materialkosten (innerhalb der *Materialkalkulation*) sowie Kosten für Zukaufteile und – nach der Erstellung des Produktionsplans – die Herstellungskosten (in der *Zukaufkalkulation*). Alle Kosten gilt es zusammenzuführen, um eine Kostenübersicht erstellen zu können, welche in definierten Abständen an das Controlling weiterzuleiten ist. Die Kostenübersichten der einzelnen Disziplinen werden abschließend zu einer Gesamtkostenübersicht zusammengefasst. Anhand dieser Kostenübersicht können Handlungsempfehlungen und Maßnahmen abgeleitet werden, die einen direkten Einfluss auf die Konstruktion innerhalb der Disziplinen haben.

Gesamtsimulation

Nach Erhalt der Simulations- und Projektierungsdaten seitens der Zulieferer und dem Abschluss der internen Mechanik- und Elektrikerstellung kann mit der Gesamtsimulation begonnen werden. Hier werden, wie in Abbildung 29 dargestellt, die Gesamtsystemsimulation und die Maschinensimulation unterschieden. Das Prozesselement wird direkt zu Beginn der Integration gestartet, läuft parallel zu dieser im Validierungsprozess und versorgt sie mit Informationen.

Im ersten Teilprozess, der *Gesamtsystemsimulation*, werden zunächst innerhalb der einzelnen Disziplinen die ausdetaillierten Simulationsmodelle der Teilsysteme zusammengeführt. Ergebnis ist ein ausdetailliertes Gesamtsystem pro Disziplin, in dem das Zusammenspiel getestet werden kann. So wird das Ist-Verhalten



daraufhin geprüft, ob es mit dem Soll-Verhalten übereinstimmt. Zur Steuerung der Simulationen wird die bereits entwickelte Steuerungssoftware genutzt.

Verhalten sich die Gesamtsysteme entsprechend ihrer Spezifikationen, schließt der OEM in der *Maschinensimulation* die detaillierten Teilprojektierungsschaltpläne der Teilsysteme zu einem Gesamtschaltplan zusammen. In diesem Dokument sind bereits automatisch alle für die Simulation relevanten Parameter enthalten. Diesen ausdetaillierten Gesamtschaltplan überführt der OEM wiederum in ein Simulationsmodell, um das Zusammenspiel des Gesamtsystems mit den nun real verfügbaren Komponenten und Teilsystemen zu verifizieren. Zur Steuerung des Pressenmodells in der Simulation wird eine virtuelle Steuerung aus der Software-in-the-Loop Simulation eingesetzt, wodurch eine möglichst hohe Realitätsnähe geschaffen wird. Das Gesamtpressenmodell kann so an der virtuellen Steuerung und die virtuelle Steuerung am Gesamtpressenmodell getestet werden.

Abbildung 28
Die prozessbegleitende Kalkulation

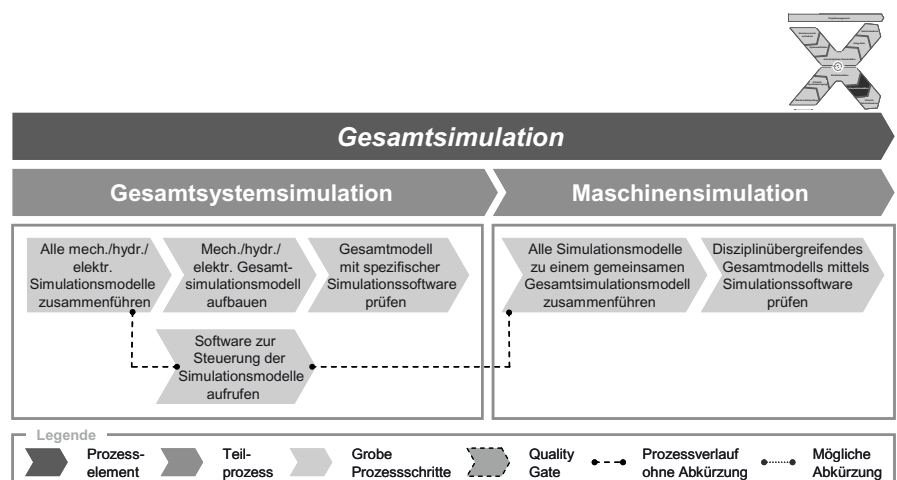


Abbildung 29
Die Gesamtsimulation

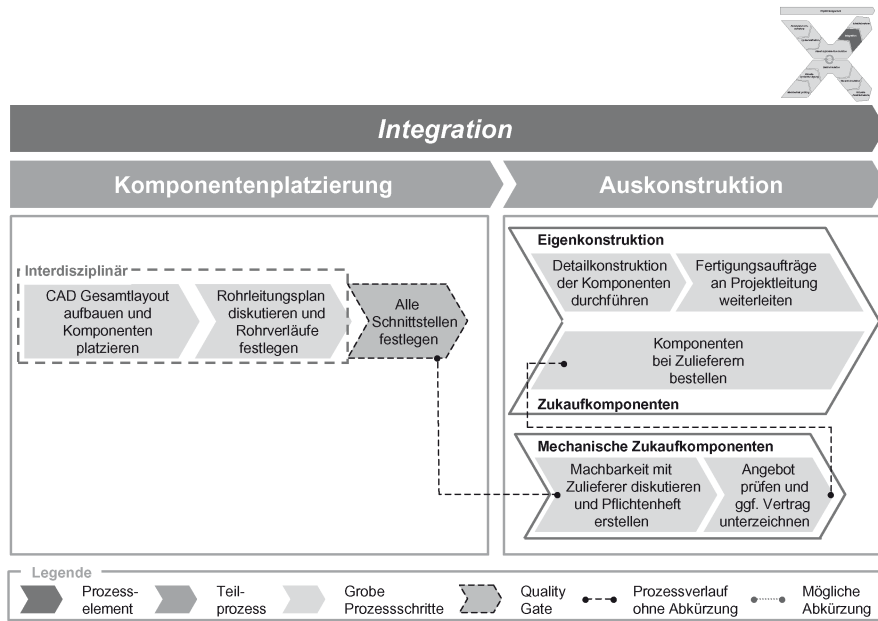


Abbildung 30
Die Integration

Sollte es entweder in diesem disziplinübergreifenden Gesamtsystem oder bereits zuvor in einem der disziplinspezifischen Systeme zu nicht vorhersehbaren Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen kommen, können diese durch den Einsatz der Detailsimulation frühzeitig im Entwicklungsprozess erkannt und entsprechende Gegenmaßnahmen diskutiert und ergriffen werden. In diesem Fall müssen die Fehlerursachen im fluidtechnisch-mechatronischen System gefunden und analysiert werden. Je nachdem, ob es sich um eine Eigenkonstruktion oder ein Zukaufteil handelt, gibt es einen Rücksprung in die Konstruktion beim OEM oder der OEM kontaktiert den jeweiligen Zulieferer, um entsprechende Änderungen am Teilsystem einzufordern. Hierfür werden dem betroffenen Zulieferer wieder die aktualisierten Anforderungen an das Teilsystem in Form von neu ermittelten Referenz-Graphen, Simulationsdaten und Projektierungsinformationen über die Austauschplattform zugespielt. Dem Zulieferer ist es nun möglich, sein Teilsystem anhand der aktualisierten Informationen besser an das Gesamtsystem anzupassen. Nach Erhalt der aktualisierten Simulations- und Projektierungsdaten vom Zulieferer und/oder den verbesserten Eigenkonstruktionen muss erneut eine Verifikation des Gesamtsystems durchgeführt werden, um Schwachstellen beim Zusammenspiel der einzelnen Teilsysteme ausschließen zu können. Somit ergibt sich eine iterative Ausdetaillierung

des Gesamtsystems. Durch diese direktere und effizientere Zusammenarbeit sowie auf Grund der mehrfachen Iterationsschleifen zwischen dem Kunden, dem OEM und den Zulieferern innerhalb der Simulationsumgebung ist es möglich, zuverlässigere und robustere Maschinen in kürzerer Zeit zu entwickeln.⁷²

Ist zuletzt das Ergebnis der Simulation des disziplinübergreifenden Gesamtsystems positiv, wird dies an das Prozesselement der Integration zurückgemeldet, um dort die endgültige Ausdetaillierung der Bauteile bzw. die Bestellung der Beschaffungsteile einzuleiten. Zudem wird der Prozess der Hardware-in-the-Loop Simulation gestartet.

Integration

Das Prozesselement der Integration beginnt nach der Detailsimulation und befindet sich im Entwicklungsprozess hinter der Konstruktion beim OEM bzw. Entwicklung beim Zulieferer. Die Integration verläuft parallel zur Gesamtsimulation und besitzt zwei Teilprozesse, die Komponentenplatzierung und die Auskonstruktion (siehe Abbildung 30).

Zu Beginn der *Komponentenplatzierung* werden die extern bezogenen Bauteile dem Entwicklungstemplate entnommen und die Hauptverbraucher des Rohrleitungsplanes werden festgelegt. Dann gilt es, disziplinübergreifend das CAD Gesamtlayout aufzubauen und die Komponenten im Rohrleitungsplan zu platzieren. Anschließend werden die Schnittstellen festgelegt. Treten hierbei Probleme auf, müssen die Gründe dafür gesammelt und mit den betroffenen Disziplinen besprochen werden. Daraus ergibt sich die für das Problem verantwortliche Disziplin, welche entweder kurzfristig Maßnahmen zur Lösung einleitet oder bei gravierenderen Änderungen wiederum in die Konstruktion beim OEM zurückspringt. Zuletzt werden die Rohrverläufe in Abstimmung zwischen Hydraulik und Mechanik festgelegt, bevor in einem Quality Gate, bei dem der Stand der Gesamtkonstruktion mit allen beteiligten Disziplinen gemeinsam analysiert wird, alle Schnittstellen festgelegt werden.

Im Anschluss beginnt die detaillierte *Auskonstruktion* des Gesamtsystems, wobei der Prozess zwischen Eigenkonstruktionen und Zukaufkomponenten unterscheidet. Im Falle einer Eigenkonstruktion werden die einzelnen Komponenten der Teilsysteme im weiteren Ver-

⁷² Vgl. Schuh et al. (2008), Fluidtronic / Schuh/Mueller/Nussbaum (2008), Fluidtronic - Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme, S. 77.



lauf des Prozesses auskonstruiert. Parallel hierzu werden alle Informationen stetig in das ERP-System des Unternehmens abgelegt, um sie so allen an der Entwicklung beteiligten Mitarbeitern zur Verfügung zu stellen. Sollte es aber zu einer Fremdfertigung kommen, wird bei Mechanikkomponenten eine Anfrage an verschiedene Zulieferer über den Einkauf gesendet. Hierbei werden dem Zulieferer die aktuellen Anforderungen an das Teilsystem in Form von Referenz-Graphen, Simulationsdaten und Projektierungsinformationen über die Austauschplattform zugespielt. Auch diese Simulations- und Projektierungsdaten sind vorher mittels einer Black-Box-Logik gekapselt worden. Nach Erhalt der Simulations- und Projektierungsinformationen des Teilsystems prüft der Zulieferer die Machbarkeit. Bei positivem Ausgang erstellt er gemeinsam mit dem OEM ein Pflichtenheft. Ist auch das Angebot zufriedenstellend, kann im Anschluss daran der Vertrag mit dem Zulieferer geschlossen werden.

Sind alle Bauteile ausdetailliert und die Verträge mit den Zulieferern geschlossen, werden für die Beschaffungsteile die Bestellvorschläge an den Einkauf weitergeleitet und für die selbst gefertigten Teile Fertigungsaufträge an die Projektleitung gesandt. Wenn alle Teile des fluidtechnisch-mechatronischen Systems vorhanden sind, kann mit dem zweiten Teil, der virtuellen Inbetriebnahme, begonnen werden.

Virtuelle Inbetriebnahme

Nachdem die Detailsimulation der Software, also der erste Teil der Gesamtsimulation, abgeschlossen ist, kommt es zur Durchführung der virtuellen Inbetriebnahme. In diesem Prozesselement gilt es mit Hilfe des virtuellen Gesamtsystems im Vorfeld der realen Inbetriebnahme eine virtuelle Inbetriebnahme durchzuführen. Dies ermöglicht eine Verkürzung der

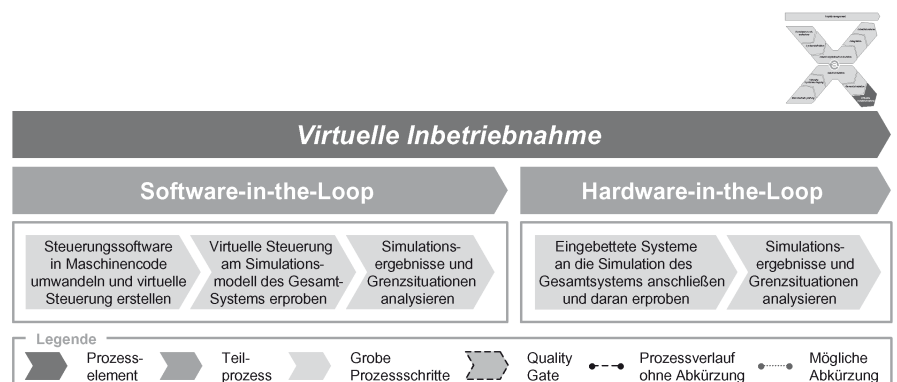
Entwicklungs- und Inbetriebnahmezeit, da die Steuerungshardware des fluidtechnisch-mechatronischen Systems bereits im Vorfeld mit einem minimalen Zeitaufwand sowie ohne die Gefahr einer Beschädigung der realen Anlage eingestellt werden kann. Abbildung 31 zeigt die im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes Fluidtronic aufgebaute Versuchspresse inklusive der Visualisierung auf der Display-Wand.

Die Virtuelle Inbetriebnahme gliedert sich, wie in Abbildung 32 dargestellt, in zwei Teilprozesse. Zum einen in die *Software-in-the-Loop* (SiL) Simulation und zum anderen in die *Hardware-in-the-Loop* (HiL) Simulation.

Zu Beginn wird die *SiL* Simulation durchgeführt. Sie basiert auf der in der Detailsimulation erprobten Software und kann daher schon früher als die *HiL* durchgeführt werden, da für diese die realen Bauteile benötigt werden, welche zuletzt in der Integration noch vollständig auskonstruiert werden mussten. Bei der *SiL* Simulation wird die reale Steuerungssoftware (SPS-Software) an das zuvor erstellte Simulationsmodell über SiL Schnittstellen angekoppelt. Ab diesem Zeitpunkt kann die Maschinensteuerung nicht mehr mit dem realen System kommunizieren, sondern erhält ihre Eingangsgrößen von dem virtuellen Modell der Anlage

Abbildung 31
Display-Wand und Versuchspresse des BMBF-Verbundprojektes Fluidtronic

Abbildung 32
Die virtuelle Inbetriebnahme



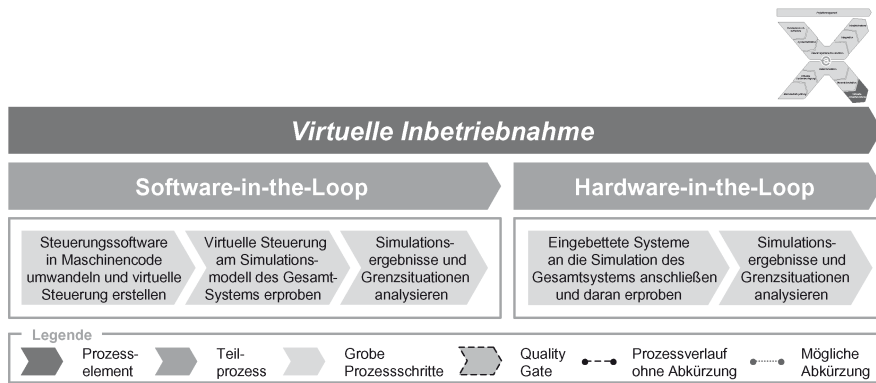


Abbildung 33
Die Inbetriebnahme

und steuert dieses mit den vorher berechneten Ausgangsgrößen an. Neben dem Ziel dieser Kopplung, die SPS-Software optimal einzustellen und in der Simulation zu testen, gilt es diese ggf. auch weiter zu entwickeln sowie eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den ausgeführten Antrieb zu gewährleisten. Anpassungs- und Optimierungsstrategien für mögliche Systemveränderungen können mit Hilfe der SiL bereits lange vor der realen Inbetriebnahme des fluidtechnisch-mechatronischen Systems erprobt und ggf. angepasst werden. Mit Hilfe dieser virtuellen Auslegung der Maschinensteuerung ist es darüber hinaus möglich, neue Steuer- und Regelstrategien zu entwickeln und zu erproben. Ergeben sich nach der Erprobung der Steuerungssoftware mit dem Gesamtsystem gute Simulationsergebnisse, kann die Gesamtsimulation fortgesetzt werden. Sind die Simulationsergebnisse jedoch nicht ausreichend, muss ggf. ein Teilsystem der Software nochmals überarbeitet oder die Codierung der Software neu durchgeführt werden.

Nach dem Abschluss der Gesamtsimulation kommt es zur *HiL* Simulation, wenn alle Bauteile aus der Integration vorliegen. Hierbei gilt es, durch eine Ankopplung der realen SPS-Hardware an die Systemsimulation diese ebenfalls bereits im Vorfeld optimal zu konditionieren. Hierbei wird von einem Host-PC ausgegangen, auf dem das Simulationsmodell berechnet wird. Dieser Host-PC wird über eine Feldbus-Karte mit den vorliegenden Ein- und Ausgabewandlern (Signalwandler) verknüpft. Die Signale des Modells werden bei einer Simulation in reale Signale umgewandelt und von der Reglerhardware eingelesen. Die Reglerhardware verarbeitet dabei die Signale und gibt sie anschließend als Stell- und Steuersignale an die Simulation zurück. Der Datenaustausch zwischen dem

Feldbuskoppler und dem Simulationsmodell wird hierbei von einem speziellen Softwaremodul übernommen. Mit Hilfe der virtuellen Inbetriebnahme der realen SPS-Hardware können so bereits im Vorfeld Verkabelungsfehler innerhalb der Schaltschränke aufgedeckt, Grenzwertabfragen kalibriert und verschiedene Betriebs- oder Fehlerszenarien durchgespielt werden.⁷³ Wenn die Simulationsergebnisse den Erwartungen entsprechen, kann die reale Inbetriebnahme durchgeführt werden. Ansonsten muss festgestellt werden, ob es sich um Fehler in den eingebetteten Systemen (der realen Steuerung oder realen angeschlossenen mechatronischen Komponenten) handelt oder ob das Simulationsmodell fehlerhaft ist. Abhängig davon werden unterschiedliche Abhilfemaßnahmen ergriffen.

Inbetriebnahme

Nach Durchführung der virtuellen Inbetriebnahme kommt es abschließend zur realen Inbetriebnahme durch den OEM. Hierbei werden zunächst im Rahmen des Teilprozesses Systemaufbau die einzelnen Hardwarekomponenten montiert und anschließend in der Funktionsprüfung die Funktionstests durchgeführt. Dazu werden die im vorherigen Prozesselement ermittelten Einstellungen der virtuellen Inbetriebnahme für die Reglerhardware übernommen und das fluidtechnisch-mechatronische System optimal eingestellt. Abbildung 33 veranschaulicht den Aufbau der Inbetriebnahme nochmals.

Zu Beginn des Systemaufbaus werden die benötigten Komponenten angefordert und disziplinübergreifend zusammengeführt. Anschließend werden die Baugruppen in die richtige Position gebracht und miteinander verbunden. Es folgt die Verlegung der Rohrleitungen und die elektronische Vernetzung der Baugruppen. Damit ist das System aufgebaut.

Nun kommt es zu der realen Funktionsprüfung. Tritt hier ein Fehlverhalten auf, kann dies von der Software oder der Hardware herrühren. Liegt das Fehlverhalten an der Hardware, sind die fehlerhafte Komponente zu ermitteln und die Projektleitung darüber zu unterrichten. Im Anschluss daran muss, falls es sich um ein Beschaffungsteil handelt, der Zulieferer der fehlerhaften Komponente informiert und das weitere Vorgehen mit ihm abgesprochen werden. Untersucht werden muss an dieser Stelle, ob die Komponente selbst oder ihr Umsetzungs-

⁷³ Vgl. Kett (2008), Virtuelle Inbetriebnahme von Reglern und Steuergeräten, S. 53.

konzept fehlerhaft ist. Sollte ein Schaden vorliegen, wird ermittelt, ob dieser repariert werden kann oder ob das fehlerhafte Teil ausgetauscht werden muss. Bei kompletten Baugruppen kann ein Austausch allerdings problematisch werden, da es zu massiven Verzögerungen in der Terminschiene des OEM kommen kann. Im Falle eines fehlerhaften Umsetzungskonzeptes wird ein neues Umsetzungskonzept entwickelt. Hierbei gilt es die dafür benötigten Prozess-elemente nochmals zu durchlaufen. Auch dadurch kann es zu massiven Verzögerungen in der Terminschiene kommen. Im Falle einer Eigenkonstruktion liegt es an der betroffenen Disziplin, das fehlerhafte Teilsystem zu verbessern.

Neben einem Fehlverhalten der Hardware kann es auch zu einem Fehlverhalten der Software kommen. Sollte ein Softwarefehler vorliegen, muss der Fehler seitens der Softwareentwicklung festgestellt und schnellstmöglich behoben werden.

Liegt kein Fehler in Hard- oder Software vor und die Funktionsprüfung fällt trotzdem negativ aus, muss der Zusammenbau auf Fehler hin überprüft werden.

Erst wenn kein Fehlverhalten des Systems mehr auftritt, kann mit der optimalen Einstellung fortgefahren werden. Die Einstellung des Systems wird parallel dokumentiert und für spätere Projekte in der internen Datenbank des Unternehmens hinterlegt. Nachdem das letzte Gate der Systemfreigabe passiert wurde, kann mit der Auslieferung begonnen werden.

3.3 Disziplinübergreifender Systementwurf

Der Systementwurf ist eine frühe Phase des Produktentwicklungsprozesses, welche Produktanforderungen und die beteiligten Disziplinen

aufnimmt und detaillierte Vorgaben für die Komponentenentwicklung und Abhängigkeiten zwischen den Komponenten herausarbeitet. Aufgabe des Systementwurfes ist es, die Verbindungen zwischen Entwicklungsaufgaben, relevanten Anforderungen und den beteiligten Disziplinen für eine interdisziplinäre Entwicklung aufzubauen. In den vier Phasen der Produktentwicklung nach PAHL/ BEITZ (Methodisches Klären und Präzisieren der Aufgabenstellung, Konzipieren, Entwickeln und Ausarbeiten)⁷⁴ ist der Systementwurf vorrangig in der Phase Konzipieren angesiedelt. Seine Hauptziele sind eine schnellere und effektivere Produktentwicklung, in der zuerst disziplinübergreifend grobe Randbedingungen und Vernetzungen im Produkt festgelegt werden, welche dann als Grundlage für die weitere Produktentwicklung dienen sollen. Die weitere Entwicklung kann je nach Vernetzungsgrad der Bauteile disziplinspezifisch oder disziplinübergreifend stattfinden. Nach der Entwicklung erfolgt die Integration der Bauteile zu einem Gesamtsystem. Aufgrund der hohen Komplexität und den interdisziplinären Wechselwirkungen ist es problematisch die Bauteile unabhängig voneinander zu entwickeln und danach zusammen zu setzen. In Abbildung 34 wird der Systementwurf mit seinen Eingangs- und Ausgangsgrößen dargestellt. Die Eingangsgrößen für eine Entwicklungsaufgabe sind die Anforderungen an das Produkt und die an der Entwicklung beteiligten Disziplinen. Der Systementwurf verarbeitet diese Eingangsinformationen und leitet mit Hilfe von Matrixmodellierungen über die Schritte Anforderungen, Funktionsstruktur, Wirkstruktur und Produktstruktur ein Informationsnetz für die spätere Entwicklung ab. Das Informationsnetz bildet hilfreiche Verbindungen

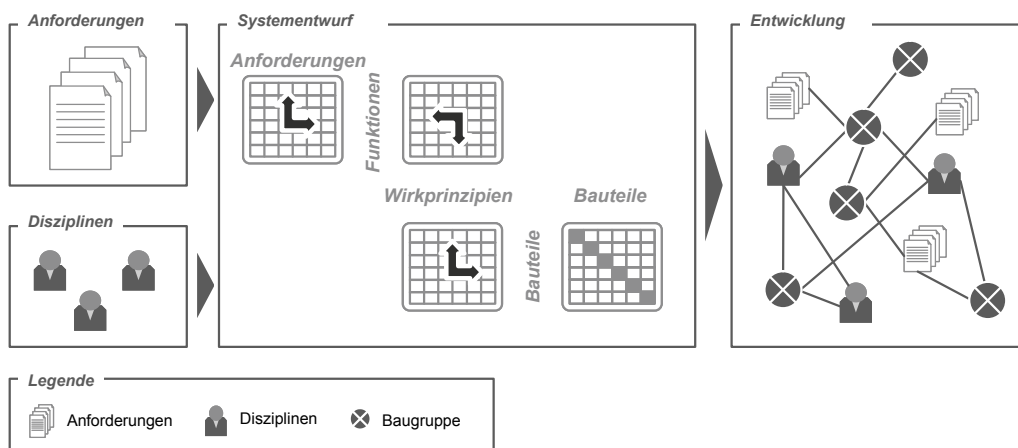


Abbildung 34
Einordnung des System-
entwurfes

⁷⁴ Vgl. Pahl et al. (2007), Konstruktionslehre, S.169

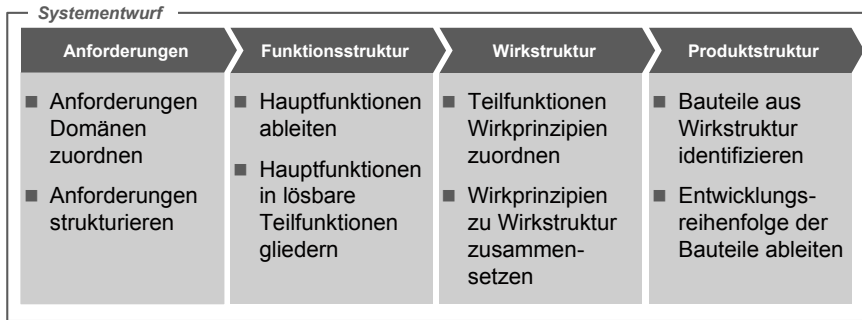


Abbildung 35
Phasen des Systementwurfes

zwischen den Anforderungen, beteiligten Disziplinen und Baugruppen des Produktes ab.

Schritt für Schritt bietet der Systementwurf eine Plattform, um von den Anforderungen über die Funktionen und Wirkprinzipien an Bauteile zu gelangen,⁷⁵ die mit den Informationen aus dem Systementwurf entworfen und ausgearbeitet werden können. Die Phasen des Systementwurfes sind in Abbildung 35 dargestellt und in den folgenden Kapiteln detailliert beschrieben. Erfahrungsgemäß sind der Großteil der Pressenentwicklungen Anpassungskonstruktionen, bei denen die Ausgangslage der Produktentwicklung nicht die Funktionsstruktur, sondern die Baustuktur ist. Zur Anpassung an die geänderten Anforderungen müssen meist Bauteile geändert werden, was schwer absehbare Auswirkungen auf andere zu identifizierende Bauteile haben kann. Der Systementwurf dient an dieser Stelle ebenfalls einem systematischen Vorgehen, wobei es für eine Anpassungskonstruktion ausreicht, ihn nur teilweise zu durchlaufen.

Zusätzlich bietet der Systementwurf eine Grundlage zur Projektierung des Entwicklungsprozesses. Auf Basis der Vernetzung und Disziplinzugehörigkeit der Bauteile können eine Entwicklungsreihenfolge, die Zusammenstellung der Entwicklungsteams und die nötigen Informationsschnittstellen abgeleitet werden. Generell soll der Systementwurf in der Lage sein, ein hohes Niveau an Komplexität des beschriebenen Systems zu bewältigen und dabei das System möglichst klar und disziplinübergreifend verständlich beschreiben. Disziplinspezifisch existieren sehr detaillierte Modellierungssprachen, um bereits entwickelte Systeme zu beschreiben. Diese sind aber nur mit erhöhtem Aufwand für Beteiligte aus anderen Disziplinen verständlich bzw. komfortabel zu

verwenden.

Zur Darstellung der Abhängigkeiten und Vernetzungen der unterschiedlichen Kategorien des Systementwurfes bieten sich Matrizen an. Es können Zusammenhänge von Kategorien gleicher Art (Design Structure Matrix (DSM))⁷⁶ oder Zusammenhänge von Kategorien unterschiedlicher Art (Design Modelling Matrix (DMM))⁷⁷ verwendet werden. Denkbare Kategorien könnten Bauteil, Termin, Person, Funktion und Dokument sein. Die Kategorien sind beliebig erweiterbar und mit Hilfe der Design Structure Matrix (DSM) und Design Modelling Matrix (DMM) können die Beziehungen zwischen den Elementen zweier beliebiger Kategorien hergestellt werden. Aufgrund der neutralen Darstellung der Verbindungen ist die Benutzung der Matrizen leicht zu erlernen und die Lesbarkeit ist für Personen aus verschiedenen Disziplinen möglich. Zur Übersicht über die verwendeten Kategorien und ihren Zusammenhang dient Abbildung 36.

Hinter jedem der Tabellenfelder in Abbildung 36 kann sich eine Matrix verbergen. Es werden dabei nur für das weitere Vorgehen relevante Zusammenhänge modelliert. Die modellierten Zusammenhänge sind in diesem Fall durch die Bezeichnung des Zusammenhanges gekennzeichnet, beispielsweise ist die Beschreibung »ist Teil« der Zusammenhang zwischen Bauteil und Disziplin. Der Zusammenhang welches Bauteil zu welcher Disziplin gehört lässt sich dann durch eine Design Modelling Matrix (DMM) darstellen. Die Zusammenhänge auf der Diagonale haben dieselbe aktive und passive Kategorie, folglich zeigen sie einen inneren Zusammenhang der Elemente einer Kategorie an. Beispielsweise wird die Beeinflussung der Wirkprinzipien untereinander durch eine Design Structure Matrix (DSM) dargestellt.

Ein wesentlicher Vorteil der Matrixdarstellung ist die einfache Informationsnutzung. Beispielsweise lassen sich zusätzliche Informationen aus Matrixmultiplikationen gewinnen. Aus zwei Matrizen (Zusammenhang A-B und B-C) lässt sich durch Multiplikation eine neue Matrix erstellen, die den Zusammenhang A-C darstellt. Einmal aufgestellte Zusammenhänge lassen sich also effektiv zu anderen Zusammenhängen weiterverarbeiten.

⁷⁵ Vgl. Pahl et al. (2007), Konstruktionslehre, S.204

⁷⁶ Vgl. Steward (1981), The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems, S.428

⁷⁷ Vgl. Danilovic/Börjesson (2001), Participatory Dependence Structure Matrix Approach, S.1

		Kategorien							
		Anforderung	Funktion	Wirkprinzip	Bauteil	Firma/ Person	Disziplin	Termin	Dokument
Kategorien	Anforderung								
	Funktion	erfüllt							
	Wirkprinzip	erfüllt		beeinflusst			ist Teil		
	Bauteil		erfüllt	setzt um	kann ändern		ist Teil	fertig gestellt zu	benötigt
	Firma/ Person				arbeitet an	bilden Team	gehört an		erstellt
	Disziplin								
	Termin								
	Dokument				beschreibt	wird benötigt		fertig gestellt zu	

Abbildung 36
Darstellung der Kategorie-
zusammenhänge⁷⁸

3.3.1 Anforderungen an einen disziplin- übergreifenden Systementwurf

Die Anforderungen an einen disziplinübergreifenden Systementwurf ergeben sich aus den gewünschten Funktionen des Systementwurfes und seinem disziplinübergreifenden Charakter. Aus den Funktionen, die eine schnelle und effiziente Produktentwicklung von komplexen, hochvernetzten Systemen ermöglichen sollen, ergeben sich die folgenden Anforderungen:

- Handhabbarkeit von Komplexität
- Leicht verständliche Modellierungssprache
- Richtiges Maß an Detailtiefe
- Schnell editierbar

Die steigende Komplexität von Produkten und nicht berücksichtigte Wechselwirkungen innerhalb eines Produktes sind Ursachen aufwendiger Iterationsschleifen bei der Entwicklung.⁷⁹ Die hohe Komplexität nimmt den Entwicklern den Überblick und Konsequenzen der Festlegungen von Randbedingungen oder Änderungen an einzelnen Komponenten sind dadurch nur schwer abzusehen. Deswegen sollten Zusammenhänge innerhalb des Produktes durch den Systementwurf einfach strukturiert und schnell auffassbar dargestellt werden.

Damit der Systementwurf einen Nutzen hat, muss seine Anwendung mehr Zeit in der Entwicklung einsparen, als sie erfordert. Für diese Forderung ist eine leicht verständliche Modellierungssprache notwendig, die schnell erlernt werden kann und dennoch genügend Möglichkeiten aufweist, um die gewünschten Objekte modellieren zu können.

Die Forderung nach dem richtigen Maß an Detailtiefe dient ebenfalls einer effizienten Modellierung. Eine zu grobe Modellierung wäre ungeeignet, um Schlussfolgerungen für die Komponentenentwicklung zu ziehen. Ein zu hoher Detailgrad würde die Modellierung erschweren und ist mit unvollständigem Wissen über alle Details des Produktes nicht erreichbar.

Die Forderung nach einer schnellen Editierbarkeit trägt dem Umstand Rechnung, dass der Systementwurf in einer Produktentwicklungsphase benutzt wird, in der viele Unbekannte vorhanden sind. Wenn im Verlauf der Produktentwicklung Parameter festgelegt oder sich auf Lösungsvarianten geeinigt wird, kann der Systementwurf angepasst werden und bietet dann ein verbessertes Modell des Gesamtsystems.

Der disziplinübergreifende Charakter des Systementwurfes verstärkt den Stellenwert der genannten Anforderungen, da eine multidisziplinäre Produktentwicklung noch stärker von Komplexität geprägt ist als beispielsweise ein rein mechanisches Produkt.

Die Modellierung des Systementwurfes soll hauptsächlich das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten abbilden und in der Lage sein Randbedingungen für einzelne Komponenten festzusetzen, mit denen sich dann disziplinspezifisch die Entwicklung der Komponente fortsetzen lässt.

3.3.2.1 Aufnahme der Anforderungen

Die Eingangsgrößen für den Systementwurf bilden die Anforderungen an das Produkt, die im Lasten- und Pflichtenheft bereits detailliert aufgenommen und priorisiert worden sind.

⁷⁸ Vgl. Danilovic/Börjesson (2001), Participatory Dependence Structure Matrix Approach, S. 3

⁷⁹ Vgl. Lindemann/Maurer/Braun (2009), Structural Complexity Management: An Approach for the Field of Product Design, S. 1

Diese wurden bereits für die spätere Entwicklung den Kategorien Forderung oder Wunsch zugeordnet und sind entsprechend entweder qualitativ oder quantitativ beschrieben.⁸⁰ In diesem Schritt des Systementwurfes werden die Anforderungen verschiedenen Kategorien des Systementwurfes, wie z.B. den Funktionen oder Wirkstrukturen zugeordnet, damit ein durchgängiger Informationsstand für die Entwicklung einzelner Baugruppen vorliegt. Sie sollten schon in einer technisch exakten Form vorliegen und für das Produkt relevant sein. Wichtige Anforderungen sind beispielsweise Betriebsmittelvorschriften, Leistungsdaten und bauliche Restriktionen. Durch die Nachvollziehbarkeit der Anforderungen für einzelne Baugruppen ist eine gesicherte Konstruktion und Auslegung möglich.

Bei der Erstellung des Systementwurfes kommen nicht nur die ursprünglichen Anforderungen zum Einsatz, sondern auch Anforderungen, die erst in der Systementwurfsphase entstehen. Wenn im Systementwurf über Funktionen, Wirkprinzipien bis zur Vernetzung von

Bauteilen mehr Informationen für die spätere Bauteilentwicklung zusammengetragen werden, so werden auch die Anforderungen an die späteren Bauteile konkreter. Auf diese Weise wird für die Bauteilentwicklung ein spezifischer Anforderungskatalog erstellt und verhindert, dass sich die Entwickler die relevanten Informationen aus der Menge aller Anforderungen herausuchen müssen. So wird ein zielgerichteteres Arbeiten möglich und sichergestellt, dass alle Anforderungen berücksichtigt werden.

3.3.2.2 Erstellung der Funktionsstruktur

Aus den aufgenommenen Anforderungen lässt sich im nächsten Schritt die Funktionsstruktur erstellen. Zur Erfüllung der Anforderungen an das Produkt und den eigentlichen Kaufgrund sind die Hauptfunktionen zuständig, diese lassen sich in weniger komplexe Teilfunktionen aufgliedern. Die Komplexität wird an dieser Stelle durch die inneren Zusammenhänge zwischen Ein- und Ausgang der Funktion, die Anzahl der nötigen physikalischen Effekte und die Menge der erwarteten Einzelteile der Baugruppe

Abbildung 37
Funktions-Anforderungs-
Matrix

Funktionen			Anforderungen															
Hauptfunktionen	Unterfunktionen		max. Pressenhöhe 10m	max. Pressenbreite 3m	max. Pressentiefe 2m	max. Hubfrequenz 5 Hz bei 10 kN	max. Hubfrequenz 1 Hz bei 100 N	max. Hubfrequenz 0,1 Hz bei 1000 kN	max. Hubhöhe 1m	max. Kraftezeugung 150000 N	max. Rückzugskraft 20 kN	max. Unterflurhöhe 3m	Senkgeschwindigkeit 250 mm/s	Rückzugsgeschwindigkeit 250 mm/s	Pressgeschwindigkeit bei Nennkraft 10 mm/s	max. Leitungsdruck 300 bar		
Pressen	Stempel heben	Stempel führen				1	1	1	1	1	1							
		Stempel beschleunigen				1	1	1	1	1	1							
		Stempel abbremesen				1	1	1	1	1	1							
	Stempel senken	Stempel führen				1	1	1	1	1	1							
		Stempel beschleunigen				1	1	1	1	1	1							
		Stempel abbremesen				1	1	1	1	1	1							
	Stempelkraft übertragen		1						1									
	Stempel steuern	Messwert aufnehmen				1	1	1	1	1	1			1	1	1		
		Steuerwert senden				1	1	1						1	1			
	Energie bereitstellen	Energie erzeugen								1						1		
		Energie leiten								1						1		
		Energie sichern								1						1		
Werkstück manipulieren		Werkstück heranzuführen	1	1	1													
		Werkstück fixieren		1	1													
		Werkstück verschieben		1	1													
		Werkstück rotieren		1	1													
		Werkstück entfernen		1	1													
		Pressenschwingung isolieren	1	1	1	1	1	1		1		1						
Frequenz verändern																		

⁸⁰ Vgl. Pahl et al. (2007), Konstruktionslehre, S.189

festgelegt.⁸¹ Ziel der Erstellung der Funktionsstruktur ist eine hierarchische Ordnung der Funktionen, welche die Funktionen soweit in Teilfunktionen aufgliedert, bis die Teilfunktionen auf der untersten Ebene so elementar sind, dass sie durch ein Wirkprinzip oder eine Kombination von Wirkprinzipien erfüllt werden können. Die Aufgliederung in Teilfunktionen dient der einfacheren Lösungssuche und der Aufteilung großer Entwicklungsaufgaben in kleinere Pakete. Als Teilfunktion sind verschiedene Arten von Stoff-, Energie- oder Signalflüssen, wie z.B. leiten, umwandeln oder speichern denkbar.⁸²

Zur Darstellung des Zusammenhanges aus Funktionen und Anforderungen werden diese in Form einer Design Modelling Matrix (DMM) wie in Abbildung 37 gegenüber gestellt und, wenn eine Anforderung einen Einfluss auf eine Teilfunktion ausübt, die entsprechende Stelle mit einer »1« markiert. Im Folgenden werden Zusammenhänge in der Design Modelling Matrix (DMM) und der Design Structure Matrix (DSM) immer mit einer »1« markiert, da dies für spätere Matrixmultiplikationen direkt die korrekten Matrizen liefert.

Die Erstellung der Funktions-Anforderungs-Matrix bietet eine übersichtliche Darstellung der verwendeten Funktionen und Anforderungen und ermöglicht es zu kontrollieren, ob alle Anforderungen in Funktionen einfließen und welche Funktion durch welche Anforderung beeinflusst wird. Zudem können über den erstellten Zusammenhang später den Bauteilen die relevanten Anforderungen zugeordnet werden und geben somit Vorgaben für deren Entwicklung.

Spiegeln Funktionen eine untergeordnete Rolle, weil beispielsweise die Erfüllung im Aufgabenbereich eines Zulieferers liegt, kann die entsprechende Zeile durch den Zulieferer bearbeitet werden.

3.3.2.3 Ermittlung der Wirkstruktur

Nachdem eine Funktionsstruktur erstellt wurde, besteht der nächste Schritt in der Auswahl der optimalen Wirkprinzipien für die Teilfunktionen. Ein Wirkprinzip ist ein physikalischer Effekt mit stofflichen oder geometrischen Merkmalen, die zur Erfüllung der zugeordneten Teilfunktion nötig sind. Die Verknüpfung der Wirkprinzipien wird als Wirkstruktur bezeichnet.⁸³ Nach KOLLER ist ein Wirkprinzip die technische Umsetzung eines physikalischen, chemischen oder biologischen Phänomens zur Realisierung einer Funktion des Produktes.⁸⁴ Die Wirkstruktur ist der Zwischenschritt von der Funktionsstruktur zur Produktstruktur und dient zur Aufweitung des Lösungsraumes, also dem Betrachten von denkbaren Lösungsalternativen. Für Teilfunktionen kommen teilweise verschiedene Wirkprinzipien oder eine Kombination aus Wirkprinzipien in Frage. Durch eine spätere Bewertung der Wirkprinzipien erfolgt die Auswahl eines Wirkprinzips, welches die Grundlage für die Produktstruktur bildet. An dieser Stelle des Entwicklungsprozesses ist es vorteilhaft sich noch nicht auf eine zu kleine Auswahl an Lösungen zu beschränken. Im Nachhinein könnte sich die vorschnell ausgewählte Lösung als nicht praktikabel oder zu teuer herausstellen und man ist gezwungen, von einer früheren Phase des Entwicklungsprozesses wieder zu starten. Die Auswahl an Lösungsalternativen wird als Lösungsraum bezeichnet. Bei einer zu frühzeitigen Einschränkung dieses Lösungsraumes geht die Möglichkeit die Vorteilhaftigkeit einer anderen Variante zu identifizieren verloren. Gerade in den ersten Phasen ist die Betrachtung und parallele Entwicklung von mehreren Varianten noch möglich, bereitet jedoch meist einen geringen Mehraufwand. Der Nutzen im späteren Verlauf auf eine bessere Variante umsteigen zu können sollte diesen Mehraufwand aber rechtfertigen.⁸⁵

Zur Erstellung der Wirkstruktur müssen erst mögliche Wirkprinzipien gefunden werden. Die Auswahl eines Wirkprinzips für eine Teilfunktion hat einen wesentlichen Einfluss auf die Gestalt des Produktes. Je nach Zweck der Produktentwicklung sind hier verschiedene Ziele denkbar. Für eine Anpassungskonstruktion oder eine

⁸¹ Vgl. Pahl et al. (2007), Konstruktionslehre, S.215

⁸² Vgl. Pahl et al. (2007), Konstruktionslehre, S.220

⁸³ Vgl. Pahl et al. (2007), Konstruktionslehre, S.227

⁸⁴ Vgl. Koller (1994), Konstruktionslehre für den Maschinenbau, S.99

⁸⁵ Vgl. Lindemann (2007), Methodische Entwicklung technischer Produkte Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden, S.121 ff.

Wirkprinzip		Priorisierung			
Funktion					
Stempel senken	Stempel führen	Gleitführung	Wälzführung	Federführung	
	Stempel beschleunigen	Hydraulik	Rotationsenergie	Getriebe	Elektrischer Linearmotor
	Stempel abbremesen	Hydraulik	Federung	Dämpfung	
	Stempelkraft übertragen	Direkte Verbindung	Getriebe		

Abbildung 38
Morphologischer Kasten zur
Wirkprinzipauswahl

Neukonstruktion, die eine geringe Abweichung zu dem bisherigen Produktspektrum hat, ist der Auswahl der Wirkprinzipien ein enger Rahmen gesetzt. Sucht man hingegen für eine Neukonstruktion nach einem ganz neuen Konzept, ist es sinnvoll, viele verschiedene Wirkprinzipien zu sammeln und alle denkbaren Wirkprinzipien auf ihre Realisierbarkeit zu prüfen.

Zur Sammlung der gefundenen Wirkprinzipien dient ein morphologischer Kasten, der den Teilfunktionen die denkbaren Wirkprinzipien zuordnet.⁸⁶ Jeder Teilfunktionen können hier mehrere denkbare Wirkprinzipien zugeordnet werden. Durch die Reihenfolge der Wirkprinzipien je Funktion besteht die Möglichkeit, eine Priorisierung vorzunehmen (siehe Abbildung 38).

Zur abschließenden Auswahl des gewünschten Wirkprinzips stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Steht aufgrund detaillierter Vorgaben oder der vorhandenen Kompetenzen nur ein Wirkprinzip zur Auswahl, erübrigt sich dieser Schritt. Ist ein Wirkprinzip erfahrungsgemäß das richtige zur Erfüllung einer Teilfunktion, so kann dieses auch direkt ausgewählt werden. Ist das Ziel der Produktentwicklung allerdings ein neues Lösungskonzept, ist es an dieser Stelle unumgänglich, nach weiteren Wirkprinzipien zu suchen, anstatt nur die bekannten zu verwenden.

Liegen mehrere mögliche Wirkprinzipien vor, bei denen eine einfache Auswahl nicht möglich ist, sollte eine Beurteilung durch einen fachkundigen Experten oder ein Team erfolgen. Aus Abbildung 39 erkennt man, dass die Informationen aus den zwei Design Modelling Matrizen (DMMs), Wirkprinzip-Disziplin-Matrix und Person-Disziplin-Matrix dazu dienen können, Teams für die Bewertung einzelner Wirkprinzipien zu bilden. Dazu wird die Wirkprinzip-Disziplin-Matrix mit der transponierten Person-Disziplin-Matrix multipliziert. Das Ergebnis ist die Wirkprinzip-Person-Matrix, in der klar erkennbar ist, für welches Wirkprinzip welche Person aufgrund ihrer Expertise in der jeweiligen Disziplin für eine Bewertung in Frage kommt.

Falls nach der Expertenbefragung noch mehrere Wirkprinzipien zur Auswahl stehen, dient eine Komplexitätsbeurteilung der finalen

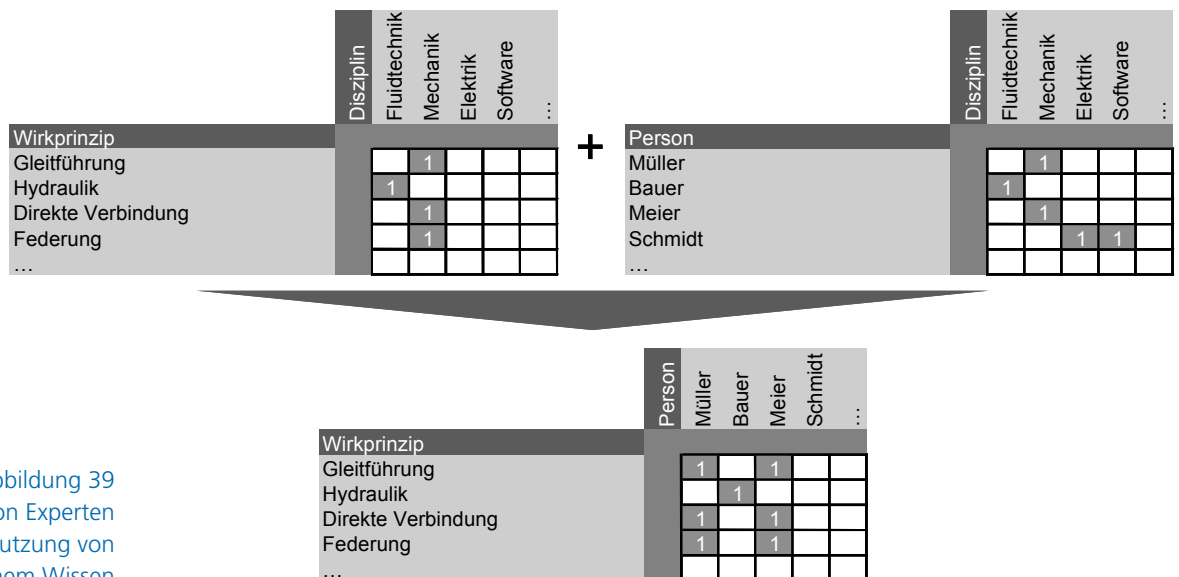


Abbildung 39
Ableitung von Experten
durch Nutzung von
vorhandenem Wissen

⁸⁶ Vgl. Pahl et al. (2007), Konstruktionslehre, S.228

Auswahl des Wirkprinzips zur Erfüllung einer Teilfunktion. Durch eine graphische Darstellung der zu einer Wirkstruktur verbundenen Wirkprinzipien lässt sich die Komplexität der jeweiligen Wirkstruktur bewerten. Ziel ist es eine möglichst einfache Wirkstruktur mit einem geringen Grad an Vernetzung zwischen den Wirkprinzipien zu realisieren, um die Entwicklung zu vereinfachen.

3.3.2.4 Aufbau der Produktstruktur

Nach der Auswahl der Wirkstruktur folgt der Aufbau der Produktstruktur, bei der einem oder mehreren Wirkprinzipien ein Bauteil oder eine Baugruppe zugeordnet werden. Dies geschieht mit Hilfe einer Bauteil-Wirkprinzip-Matrix. Zur Erarbeitung der Produktstruktur werden die Verbindungen zwischen den gewählten Bauteilen in Design Structure Matrizen (DSMs) modelliert. Als Verbindungsarten sind eine geometrische Verbindung und die drei Flussarten Stoff-, Energie- und Informationsfluss möglich. Durch die Darstellung aller vier Verbindungen zwischen Bauteilen in jeweils einer Design Structure Matrix (DSM) sind die Verbindungen in einer klaren und verständlichen Weise modelliert. Zusätzlich bietet diese Notationsart den Vorteil, dass sich mit ihr weitere Operationen durchführen lassen. Dazu gehört sowohl die Identifikation von aktiven und passiven Bauteilen als auch der Stärke von indirekten Verbindungen zwischen Bauteilen.

Durch die Modellierung der disziplinspezifischen Verbindungen zwischen den Bauteilen ist es möglich, einen interdisziplinären Überblick über das Gesamtprodukt zu erhalten. Mit diesem Überblick lassen sich dann die nötigen Entscheidungen zur Gestaltung der Bauteile und die Koordination der Entwicklung in disziplinspezifischen oder disziplinübergreifenden Teams planen. Durch die gewonnenen Informationen über das Zusammenspiel von mechanischen, elektrischen und fluidtechnischen Elementen können passende Schnittstellen gewählt werden und es lässt sich nachvollziehen, welchen Einfluss Änderungen an einem Bauteil auf andere Bauteile haben können.

Nachdem die vier Bauteil-Bauteil-Matrizen zu einer Gesamtmatrix zusammengefasst wurden, ist ein Überblick über alle Verbindungen zwischen den Bauteilen im Produkt möglich. Durch ein Umordnen der Reihenfolge der Bauteile lassen sich in den Design Structure Matrizen (DSMs) Gruppen von Bauteilen erkennen,

die untereinander stark verbunden sind, jedoch zu anderen Bauteilen wenige Verbindungen aufweisen. Solche Gruppen eignen sich als Baugruppen, die zusammen entwickelt werden. Aus den umgeordneten Design Structure Matrizen (DSMs) lassen sich auch die Bauteile und Verbindungsarten identifizieren mit denen die gewählten Gruppen verbunden sind, woraus sich im nächsten Schritt die Schnittstellen der Baugruppen festlegen lassen. Zur systematischen Umordnung der Bauteile in einer Design Structure Matrix (DSM) gibt es die Verfahren Triangulieren und Clustering.⁸⁷

Bei diesen Verfahren wird jeweils ein Bauteil an eine andere Position in der Reihenfolge der Matrixeinträge einsortiert und die Matrixfelder mit den Informationen über die Verbindungsarten entsprechend umsortiert. Ziel des Umsortierens ist es, Bauteile, die untereinander stark vernetzt sind, zu gruppieren, um später Baugruppen ableiten zu können. Mit jedem Sortiervorgang sollte die Strukturierung von stark vernetzten Baugruppen, deren Bauteile zu weiteren Bauteilen außerhalb ihrer Baugruppe nur wenige Schnittstellen besitzen, besser erkennbar sein.

Das Clustering eignet sich speziell zur Ableitung von Baugruppen, bei denen zuerst stark vernetzte Bauteile identifiziert werden müssen. Dazu wird wie in Abbildung 40 entlang der Matrixdiagonalen nach einer Häufung von Verbindungen zwischen zwei oder mehreren Bauteilen gesucht, die in der Bauteilreihenfolge der Matrix bereits nacheinander stehen. Im Anschluss daran müssen Baugruppen ermittelt werden.

Die ausgewählten Bauteile werden dann in eine der Ecken der Hauptdiagonalen verschoben, wobei die Informationen über die Verbindungen zu anderen Bauteilen in der Matrix an die geänderte Reihenfolge der Bauteile angepasst werden müssen. In dem Beispiel in Abbildung 47 werden zuerst die Bauteile 1 und 2 als eng vernetzt identifiziert. Im nächsten Schritt erkennt man, dass Bauteil 6 jeweils mit Bauteil 1 und 2 verbunden ist. Der Matrixeintrag Bauteil 6 wird dann, wie in der rechten Matrix zu sehen, hinter den Matrixeintrag Bauteil 2 verschoben und man erkennt eine stark vernetzte Gruppe, die eine Baugruppe bilden kann. Zusätzlich kann man an der rechten Matrix ablesen, dass die Baugruppe bestehend aus den Bauteilen 1, 2 und 6 nur eine Verbindung zu Bauteil 7 besitzt. Die Schnittstelle der Baugruppen

⁸⁷ Vgl. Lindemann/Maurer/Braun (2009), Structural Complexity Management: An Approach for the Field of Product Design, S.54

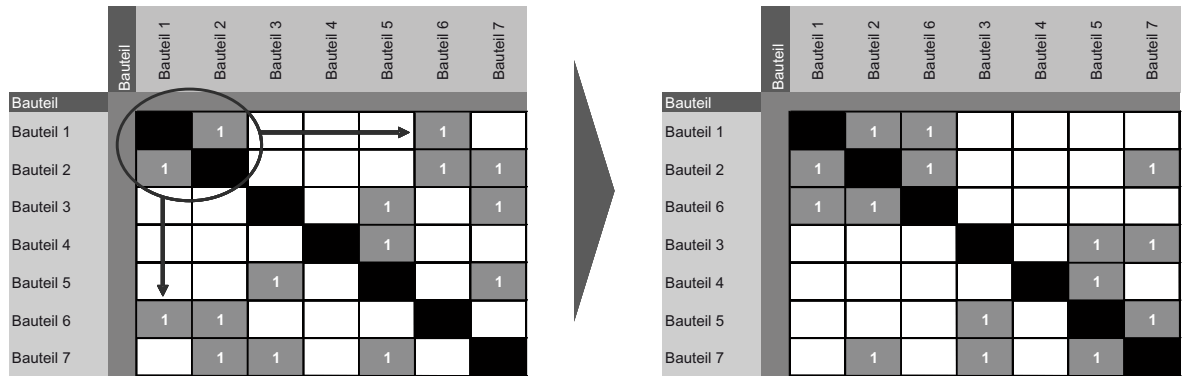


Abbildung 40
Clustering einer
Bauteil-Bauteil-Matrix

pe aus den Bauteilen 1, 2 und 6 bildet somit die Verbindung zwischen den Bauteilen 2 und 7.

Falls durch die neue Struktur der Matrix weitere Bauteile gefunden werden können, die stark mit der gebildeten Baugruppe verbunden sind, können diese zur Baugruppe hinzugefügt werden. Dazu müssen das entsprechende Bauteil, wie das Bauteil 6 in der ersten Änderung, zu den passenden Bauteilen verschoben und die Matrix angepasst werden. Sind nur noch wenige oder keine Verbindungen zwischen dem ersten Cluster und den restlichen Bauteilen identifizierbar, wiederholt sich der Vorgang und es wird probiert, ein neues Cluster bzw. eine weitere Baugruppe in der restlichen Matrix zu finden. In der rechten Matrix würden die Bauteile 5 und 7 einen neuen Start für die nächste Baugruppe bilden. Nach dem Clustering ist die Bauteil-Bauteil-Matrix so umsortiert, dass die Bauteile einer Baugruppe als Block erkennbar sind. Zusätzlich kann über die mitgeführten Informationen über die Verbindungsarten zwischen den Bauteilen abgelesen werden, welche Verbindungen zwischen den gebildeten Baugruppen herrschen. Mit Hilfe dieser gewonnenen Informationen lassen sich die nötigen Schnittstellen zwischen den identifizierten Baugruppen gestalten.

Der letzte Schritt der Produktstrukturierung ist eine Hierarchisierung der Baugruppen. Typischerweise besitzt ein Produkt eine übergeord-

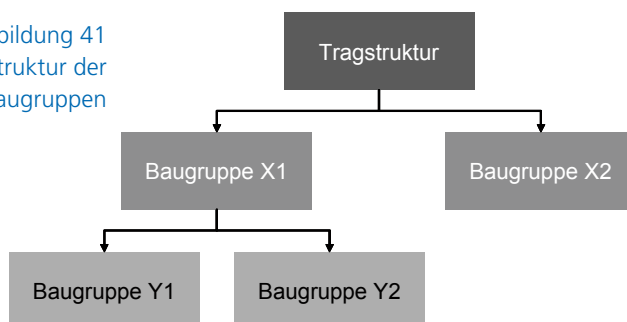
nete Tragstruktur und mehrere Ebenen an Baugruppen. Exemplarisch ist eine Produktstruktur in Abbildung 41 dargestellt.

Eine Baugruppe mit vielen Verbindungen zu anderen Baugruppen könnte sich als Tragstruktur für die restlichen Baugruppen eignen. Die nächste Ebene der Produktstruktur bilden die an die Tragstruktur angrenzenden Baugruppen (Baugruppe X1 und X2 in Abbildung 41). Unter diesen Baugruppen lassen sich noch Baugruppen einordnen, die nur Verbindungen zu der übergeordneten Baugruppe aufweisen und nicht zu der Baugruppe, die als Tragstruktur fungiert (Baugruppen Y1 und Y2 in Abbildung 41). Ausnahmen bilden hierbei aber Baugruppen, welche selber noch untergeordnete Baugruppen besitzen. An dieser Stelle sollte logisch mit Blick auf das ganze Produkt die Hierarchie der Baugruppen in der Produktstruktur abgeleitet werden. Auf diese Weise werden die identifizierten Baugruppen zu einem Gesamtsystem integriert.

3.3.2.5 Ableitung der Entwicklungsreihenfolge

Eine weitere Aufgabe des Systementwurfes ist die Ableitung einer Entwicklungsreihenfolge der Baugruppen. Bei hochgradig vernetzten und interdisziplinären Produkten ist die Koordination der Entwicklung und die Vermeidung von Korrekturschleifen eine wichtige Aufgabe. Durch die Erfassung der Produktstruktur können Baugruppen identifiziert werden, deren Auslegung möglichst früh geschehen sollte, da sie viele andere Baugruppen beeinflussen. Ziel ist die Erstellung einer Projektplanung, in der Termine und Zuständigkeiten für die Entwicklung aller Baugruppen festgelegt sind. Denkbar ist auch die Erfassung der nötigen Dokumente und Simulationsergebnisse, die zwischen den Entwicklungsteams ausgetauscht werden müssen.

Abbildung 41
Produktstruktur der
Baugruppen



Zur Identifikation der Bauteile, deren Entwicklung und Auslegung vor den anderen Bauteilen geschehen sollte, werden die Informationen aus den 4 Bauteil-Bauteil-Matrizen (Geometrie, Stoff-, Energie- und Informationsfluss) benötigt. Bis auf die Geometrie Bauteil-Bauteil-Matrix bilden die Matrizen gerichtete Verbindungen ab, es gibt also immer ein aktives Element, welches ein passives beeinflusst. Nach Berechnung der Aktiv- und Passivsumme für jedes Bauteil in jeder der 4 Matrizen erhält man einen Überblick, welche Bauteile eher aktiv oder passiv sind. Die Aktivsumme eines Bauteils berechnet sich aus der Summe der Einträge in einer Zeile der Bauteil-Bauteil-Matrix. Die Aktivsumme repräsentiert den Grad der Aktivität des Bauteils, welche beschreibt wie viele andere Bauteile von dem betrachteten beeinflusst werden. Ist die Aktivsumme eines Bauteils beispielsweise 3, dann beeinflusst dieses Bauteil drei andere Bauteile direkt. Die Passivsumme wird analog aus den Einträgen einer Spalte der Bauteil-Bauteil-Matrix berechnet.

Ebenfalls erkennbar sind dadurch kritische Elemente, die sich durch eine große Anzahl an Verbindungen zu anderen Bauteilen auszeichnen.⁸⁸ Diese Elemente sollten zuerst entwickelt werden, weil sie wichtige Vorgaben zur Entwicklung weiterer Elemente festlegen. Zur abschließenden Ableitung einer Entwicklungsreihenfolge müssen die errechneten Summen pro Bauteil aus den vier Matrizen zusammengefasst werden. Da die verschiedenen Verbindungsarten unterschiedliche Prioritäten bei der Entwicklung aufweisen, werden die Summen der Verbindungsarten mit Faktoren gewichtet. Beispielsweise beeinflusst eine geometrische Schnittstelle stärker das Bauteil als eine Schnittstelle zum Informationsaustausch. Eine sinnvolle Reihenfolge der Gewichtung von hoch zu niedrig ist geometrische Verbindung, Stofffluss, Energiefluss und dann Informationsfluss. Mit Hilfe einer gewählten Gewichtung kann für jedes Bauteil die Gesamtaktiv- und Gesamtpassivsumme kombiniert aus den vier Bauteil Design Structure Matrizen (DSMs) ausgerechnet werden. In einem Portfolio mit den Achsen Gesamtaktiv- und Gesamtpassivsumme werden nun die Bauteile eingetragen und in Gruppen unterschiedlicher Priorität eingeteilt. Elemente mit hoher Gesamtaktivsumme und niedriger Gesamtpassivsumme eignen sich besonders zum Start der Entwicklungsarbeit. Diese Bauteile liegen im Bereich rechts unten des Portfo-

	Bauteil	Bauteil 1	Bauteil 2	Bauteil 3	Bauteil 4	Bauteil 5	Aktivsumme
Bauteil							
Bauteil 1				1			1
Bauteil 2					1		1
Bauteil 3		1			1	1	3
Bauteil 4			1	1			2
Bauteil 5			1		1		2
Passivsumme		1	2	2	3	1	

lios. In Abbildung 43 erkennt man, wie durch die Abgrenzung mit Hilfe von Flächen eine Reihenfolge der Bauteilentwicklung abgeleitet werden kann. Liegen die Bauteile in derselben Fläche haben sie auch die selbe Priorität bei der Entwicklung.

Bevor die gesamte Entwicklungsreihenfolge festgelegt wird, wird auch berücksichtigt, dass Elemente über die Verbindung zu anderen Elementen weitere Elemente beeinflussen können. So kann sich die Reihenfolge verändern, weil beispielsweise ein Element, welches direkt nur ein Element beeinflusst, indirekt aber fünf, wichtiger ist, als ein Element, welches direkt zwei Elemente und indirekt kein Element beeinflusst. Die hierfür nötigen Informationen über die Verbindungen zwischen den Bauteilen sind schon in den vier Bauteil-Bauteil-Matrizen abgebildet. Durch eine Quadrierung jeder Matrix erhält man die Information, welches Bauteil über wie viele Verbindungen ein anderes indirekt beeinflusst. Durch die bereits erläuterte

Abbildung 42
Aktiv- und Passivsummen
der Bauteile

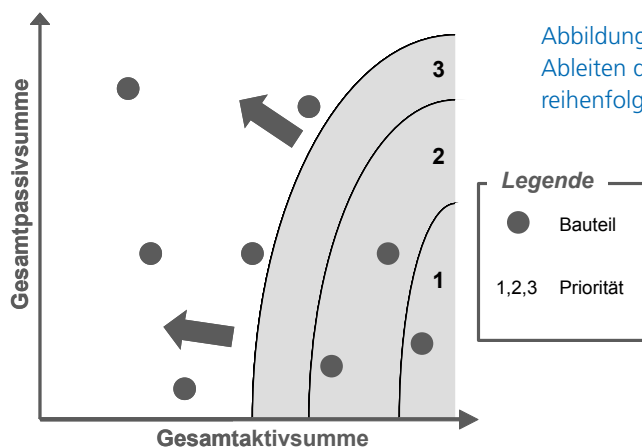


Abbildung 43
Ableiten der Entwicklungs-
reihenfolge

⁸⁸ Vgl. Ulrich/Eppinger (2008), Product Design and Development, S.42

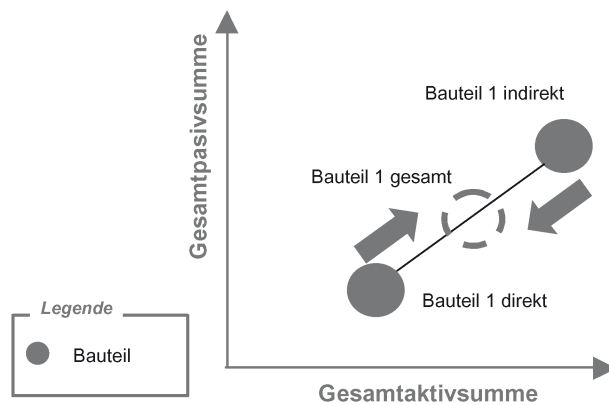


Abbildung 44
Mittlung der direkten und
indirekten Verbindungen

Gewichtung lassen sich diese Informationen auch wieder zu einem Portfolio zusammenfassen. Durch das Bilden des Durchschnittes der Gesamtaktiv- und Gesamtpassivsummen jedes Bauteils aus dem direkten und indirekten Portfolio, wie in Abbildung 44 dargestellt, können die Informationen zusammengefasst und schließlich die Entwicklungsreihenfolge abgeleitet werden.

Der disziplinübergreifende Systementwurf dient zur strukturierten Entwicklung und ermöglicht durch die Vernetzung von Informationen eine Hilfestellung bei der Entwicklung von komplexen fluidtechnisch-mechatronischen Produkten. Durch die Verknüpfung von Anforderungen mit Funktionen oder Baugruppen bzw. Baugruppen untereinander lassen sich wichtige Informationen für bestimmte Entwicklungssituationen generieren. Dadurch ist es trotz einer hohen Komplexität und Interdisziplinarität möglich, dem Entwickler auf seine Bearbeitungsaufgabe passend zugeschnittene Informationen, wie direkt und indirekt beeinflussende Baugruppen, Anforderung und beteiligte Personen, zu geben. Diese Informationen werden den Entwicklern einfach zugänglich gemacht und in einer geeigneten Weise aufbereitet. Denkbar ist ein zusammenfassender Steckbrief, der in einer einheitlichen Struktur die Informationen für eine ausgewählte Baugruppe präsentiert. Die vielfältigen Informationen, die aus den ausgefüllten Design Structure Matrizen (DSMs) und Design Modelling Matrizen (DMMs) abgeleitet werden können, laufen zentral im Informations-

modell zusammen. Für jedes Bauteil werden Merkmale wie Disziplin, Wirkprinzip, erfüllende Funktion, betreffende Anforderung und direkte Verbindungen zu anderen Bauteilen aufgelistet. Die generierten Informationen werden über das Informationsmodell verwaltet und den Entwicklern zu definierten Zeitpunkten im Entwicklungsprozess wieder zur Verfügung gestellt.

3.4 Integratives Methodenmodell

3.4.1 Anforderungen an ein integratives Methodenmodell

Methoden stellen ein planmäßiges Vorgehen zum Erreichen eines bestimmten Ziels dar. Sie können hierbei als Handlungsanweisungen mit Werkzeugcharakter verstanden werden, die ähnlich einem Prozess einen Input und einen erwarteten Output besitzen und die einen Prozess bzw. dessen effiziente Durchführung unterstützen.⁸⁹ Sie unterscheiden sich von Vorgehensmodellen durch die formalisierte Beschreibung sowie durch den operativen Charakter.⁹⁰ Im Gegensatz zu einem Vorgehensmodell, bei welchem die durchzuführenden Arbeitsschritte beschrieben werden, ist es die Aufgabe einer Methode die Art und Weise der Durchführung vorzustellen und dabei auf die zu erzielenden Ergebnisse einzugehen.

Um eine individuell angepasste und dementsprechend weitgehend vollständige und umfassende Methodenbereitstellung während des fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklungsprozesses gewährleisten zu können, trägt das Methodenmodell einigen wesentlichen Anforderungen Rechnung. Diese Anforderungen lassen sich in Anlehnung an das prozessorientierte Methodenmodell (PoMM)⁹¹ von BIRKHOFER einteilen in Flexibilität, Vollständigkeit, Einheitlichkeit und Auswahlmöglichkeit.⁹²

Hinsichtlich der Flexibilität gilt es ein integratives Methodenmodell sowohl den Bedürfnissen des Anwenders als auch der Situation optimal anzupassen. Einsatzbereiche der Methoden können dabei unterschiedliche Anwendungssituationen sowie verschiedene Nutzer und Entwicklungsteams innerhalb des Entwicklungsprozesses sein. Um die Vorteile der jeweils eingesetzten Methode in unterschied-

⁸⁹ Vgl. Berger (2004), Modularisierung von Wissen in der Produktentwicklung : ein Beitrag zur einheitlichen Aufbereitung und individuellen Nutzung in Lehre und Praxis, S. 170

⁹⁰ Vgl. Braun (2005), Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld, S. 171

⁹¹ Vgl. Birkhofer et al. (2001), Product development as a structured and interactive network of knowledge - a revolutionary approach, S. 457 - 464

⁹² Vgl. Berger (2004), Modularisierung von Wissen in der Produktentwicklung : ein Beitrag zur einheitlichen Aufbereitung und individuellen Nutzung in Lehre und Praxis, S. 173

lichen Situationen nutzen zu können müssen die Variabilität in der Zusammenstellung der Methoden, die Vollständigkeit und Ausführlichkeit deren Inhalte sowie eine dem Anwender verständliche Darstellung gewährleistet werden.

Dies bedeutet im Bezug auf die Vollständigkeit und Redundanz, dass die Methoden aufgrund ihrer Abhängigkeit von unterschiedlichen, den situativen Rahmenbedingungen entsprechenden, Vorgaben so zu beschreiben sind, dass eine daraus resultierende Variation der Methode über die initiale Methodenbeschreibung abgedeckt werden kann.

Der Fokus bei der Beschreibung der Methoden soll auf die Allgemeingültigkeit, Durchgängigkeit und Einheitlichkeit gelegt werden. Dies beinhaltet die Nutzung einheitlicher Beschreibungsmerkmale wie beispielsweise einer methodenübergreifenden Beschreibungsstruktur. Auf diese Weise können die zu nutzenden Methoden hinsichtlich ihrer Eignung direkt miteinander verglichen werden.

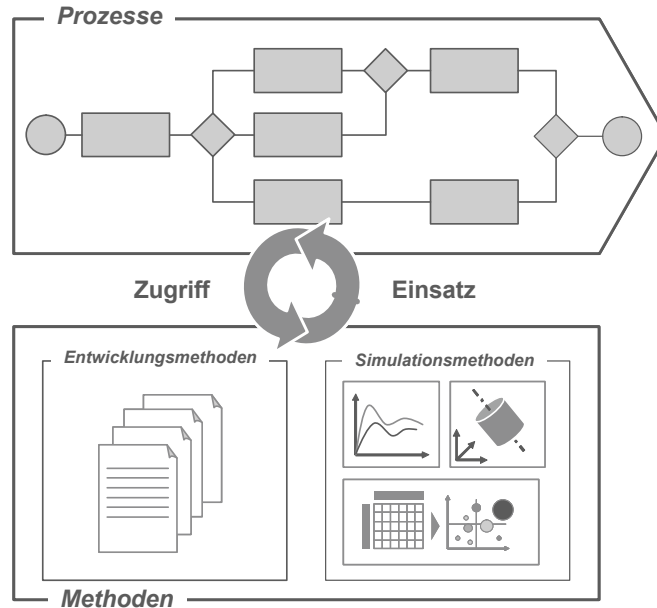
Dem Anwender muss darüber hinaus neben der Vergleichbarkeit der Methoden untereinander eine breite Auswahlmöglichkeit bei der Suche nach einer geeigneten Methode zur Unterstützung des Entwicklungsprozesses geboten werden. Hierbei muss die Auswahl der einzusetzenden Methode sowie der Zugriff auf die jeweilige Methodenbeschreibung vom Anwender aus direkt erfolgen können.

3.4.2 Ziele eines integrativen Methodenmodells

Die Aufgabe von Methoden ist es, komplexe Probleme während der Entwicklung in überschaubare Teilprobleme zu gliedern und so Anwender bei der Handhabung komplexer Systemzusammenhänge zu unterstützen. Dabei gilt es häufig Zielkonflikte und Handlungsschwerpunkte herauszuarbeiten sowie Kreativität zu fördern und Denkbarrieren zu überwinden.⁹³

Das Ziel eines integrativen Methodenmodells ist daher zunächst die Bereitstellung dieses methodischen Wissens in Form von Entwicklungs- und Simulationsmethoden zur Unterstützung des fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklungsprozesses (vgl. Abbildung 45).

Die Methoden werden dabei innerhalb des Entwicklungsprozess eingesetzt, um einzelne



Aufgabenstellungen zielgerichtet und effizient durchzuführen.⁹⁴

Eine Methode ist eine definierte, regelbasierte Vorgehensweise zur Unterstützung des Anwenders bei der Lösung einer Aufgabenstellung. Methoden sind zum Einen präskriptiv, also als Vorschrift bzw. als eine standardisierte Vorgehensweise zu verstehen und zum Anderen zielorientiert und damit auf die Lösung eines Problems oder einer Aufgabenstellung fokussiert.⁹⁵ Sie bilden neben Hilfestellungen für den Anwender auch eine Unterstützung bei der Dokumentation der entstehenden Arbeitsergebnisse.

Je nach Situation in der Entwicklung kommen unterschiedliche Methoden zum Einsatz. Eine genaue Abgrenzung zwischen den Methoden ist dabei nicht immer möglich, da eine Methode beispielsweise aus einigen wenigen Arbeitsschritten, wie beispielsweise beim Brainstorming, oder aus einer Kombination unterschiedlicher Einzelmethoden, wie beispielsweise das Quality Function Deployment (QFD), bestehen kann.⁹⁶

Oft stellen unterschiedliche Methoden auch Modifizierungen bereits bekannter Methoden dar. Aus diesem Grund ist eine eindeutige Zuordnung einer einzelnen Methode zu einer bestimmten Situation oft nicht möglich. Somit stellt die Beschreibung der Methoden in Form

Abbildung 45
Funktionsweise eines
integrativen Methoden-
modells

⁹³ Vgl. Lindemann (2007), Methodische Entwicklung technischer Produkte Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden, S. 57 f.

⁹⁴ Vgl. Lindemann (2007), Methodische Entwicklung technischer Produkte Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden, S. 56

⁹⁵ Vgl. Lindemann (2007), Methodische Entwicklung technischer Produkte Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden, S. 56

⁹⁶ Vgl. Lindemann (2007), Methodische Entwicklung technischer Produkte Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden, S. 57

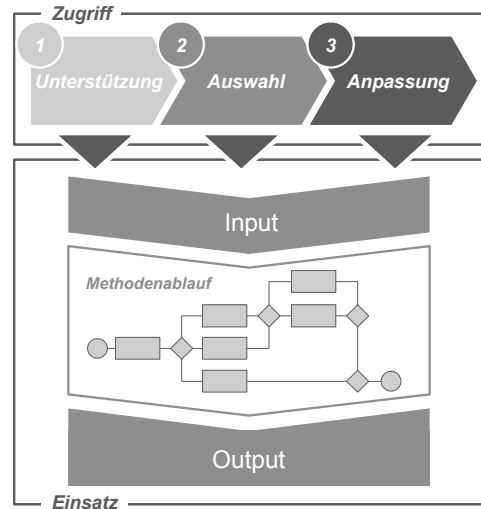


Abbildung 46
Module und Elemente
des integrativen Methoden-
modells

von unabhängigen Modulen ein weiteres Ziel des integrativen Methodenmodells dar. Erst dadurch kann nach Klärung einer möglichen Unterstützung eine flexible Auswahl und Anpassung der einzelnen Methoden erfolgen.

Derzeitige Entwicklungsprozesse für disziplinübergreifende Systeme vernachlässigen häufig die frühzeitige Einbindung von Simulationen im Entwicklungsprozess. Dies geht oft einher mit der Tatsache, dass ein Mangel an nutzbaren Beschreibungsmodellen für Simulationsmethoden vorliegt. Es ist daher ein weiteres Ziel, spezifisch angepasste fluidtechnisch-mechatronische Beschreibungsmodelle für neue Simulationsmethoden bereitzustellen. Der Einsatz solcher Simulationsmethoden verbessert die Kooperation zwischen allen Beteiligten im Entwicklungsprozess, da sie eine einfachere und anschaulichere Kommunikation zwischen den Disziplinen ermöglichen sowie als Hilfsmittel für die Koordination der Arbeitsabläufe dienen.

Das übergeordnete Ziel des Methodenmodells lässt sich zusammenfassen als die effiziente Bereitstellung von Entwicklungs- und Simulationsmethoden sowie deren modulare Beschreibung, um Anwender im Entwicklungsprozess optimal unterstützen zu können.

Vordefinierte Ziele gilt es dabei schneller mit Hilfe vordefinierter Arbeitsabläufe und durch den Einsatz definierter Dokumente, möglichst ohne Iterationsschleifen, zu erreichen. Der Einsatz des Methodenmodells fördert daher auch eine nachvollziehbare Dokumentation und

bietet so eine Verbesserung des disziplin- und unternehmensübergreifenden Informationsaustausches.⁹⁷

3.4.3 Elemente eines integrativen Methodenmodells

Das integrative Methodenmodell bildet die Basis für einen erfolgreichen Einsatz der Methoden im Entwicklungsprozess. Dabei gliedert sich das Modell, wie in Abbildung 46 grafisch dargestellt, in die zwei Module Zugriff und Einsatz, sowie in die Elemente Unterstützung, Auswahl und Anpassung.

Aus dem Entwicklungsprozess heraus kann ein Zugriff auf das Methodenmodell erfolgen, welches wiederum über den Einsatz einer Methode auf das Prozessmodell zurückschwenkt (vgl. Abbildung 45). Um eine Methode einsetzen zu können, müssen zuerst über das Zugriffsmodul die Aspekte einer möglichen Unterstützung der Auswahl sowie der Anpassung einer Methode adressiert werden. Diese Aspekte bilden die Elemente des Zugriffsmoduls. Dies orientiert sich dabei am Münchener Methodenmodell von LINDEMANN.⁹⁸ Ziel des Zugriffsmoduls ist es, dem Anwender für die jeweilige Aufgabenstellung im Prozess die optimale Methode zur Verfügung zu stellen. Da die Unterstützung, Auswahl und Anpassung der Methoden direkte Auswirkung auf den späteren Methodeinsatz haben, müssen bei einem Zugriff auf eine Methode vorher diese Schritte chronologisch durchlaufen werden.

3.4.3.1. Methodenunterstützung

Ausgangspunkt des Methodenzugriffs ist die Klärung einer möglichen Methodenunterstützung bei der Lösung einer definierten Aufgabenstellung mit gegebenen Randbedingungen. Da Defizite bei der Klärung der Methodenunterstützung den Einsatz suboptimaler Methoden zur Unterstützung einer vorliegenden Aufgabenstellung im Entwicklungsprozess zur Folge haben können und somit direkte Auswirkungen auf das zu entwickelnde Gesamtsystem haben, kommt diesem Schritt eine hohe Bedeutung zu.⁹⁹ Vier Faktoren haben dabei Einfluss auf die Klärung einer möglichen Methodeunterstützung. Zunächst gilt es, die eigentliche Aufgabenstellung zu klären, um auf dieser Grundlage die verfügbaren Eingangsinformationen

⁹⁷ Vgl. Lindemann (2007), Methodische Entwicklung technischer Produkte Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden, S. 58

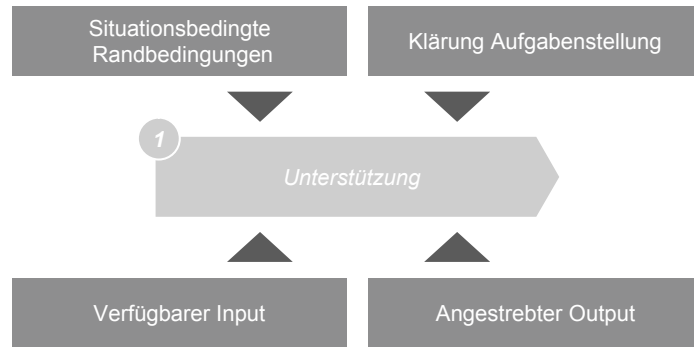
⁹⁸ Lindemann (2007), Methodische Entwicklung technischer Produkte Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden, S. 59

⁹⁹ Vgl. Braun (2005), Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld, S. 115

als Input sowie das angestrebte Ziel in Form des Outputs festzulegen.¹⁰⁰ Parallel dazu gilt es die situationsbedingten Randbedingungen zu ermitteln. Die Einflussfaktoren auf die Klärung einer möglichen Methodenunterstützung sind in Abbildung 47 dargestellt.

Zu Beginn wird die eigentliche Aufgabenstellung aus dem Entwicklungsprozess abgeleitet. Je nach Aufgabenstellung ist der Einsatz einer einzelnen Entwicklungsmethode oder einer Kombination mehrerer Entwicklungs- und Simulationsmethoden notwendig. Dies gilt es im Vorfeld zu klären bevor anschließend auf Basis dieser Aufgabenstellung die verfügbaren Eingangsinformationen zusammentragen sowie das angestrebte Ziel definiert werden kann. Parallel dazu werden die situationsbedingten Randbedingungen innerhalb des Entwicklungsprozesses geklärt. Diese Randbedingungen fallen je nach Unternehmen unterschiedlich prägnant aus. Sie beziehen sich direkt auf die vorliegende Aufgabenstellung im Prozessschritt und lassen sich laut BRAUN gliedern in vorhandene sach-, personal- und informationsbezogene Ressourcen sowie in aufgaben- und unternehmensbedingte Kriterien.¹⁰¹ In Abbildung 48 sind die klassifizierten situationsbedingten Randbedingungen, welche einen direkten Einfluss auf den Methodeneinsatz haben, grafisch dargestellt.

Die situationsbedingten Randbedingungen sind von den Anwendern qualitativ abzuschätzen und hinsichtlich ihres Einflusses auf eine



mögliche Methodenunterstützung zu gewichten. Die qualitativen Einschätzungen der Anwender dienen bei der anschließenden Methodenauswahl als Basis für die Identifikation einer optimalen Methode.

Abbildung 47
Einflussfaktoren auf die
Methodenunterstützung

3.4.3.2 Methodenauswahl

Zentraler Punkt des Zugriffsmoduls ist nach der Klärung einer möglichen Methodenunterstützung auf Basis der situationsbedingten Randbedingungen die Auswahl einer optimal geeigneten Methode für die vorliegende Aufgabenstellung. Eine falsche oder mangelhafte Auswahl einer Methode, verursacht durch einen ungenügenden Überblick über das vielfältige Methodenangebot, ist in jedem Fall zu vermeiden, denn nur eine für die Aufgabenstellung geeignete Methode ermöglicht eine effektive und effiziente Unterstützung bei der Handha-

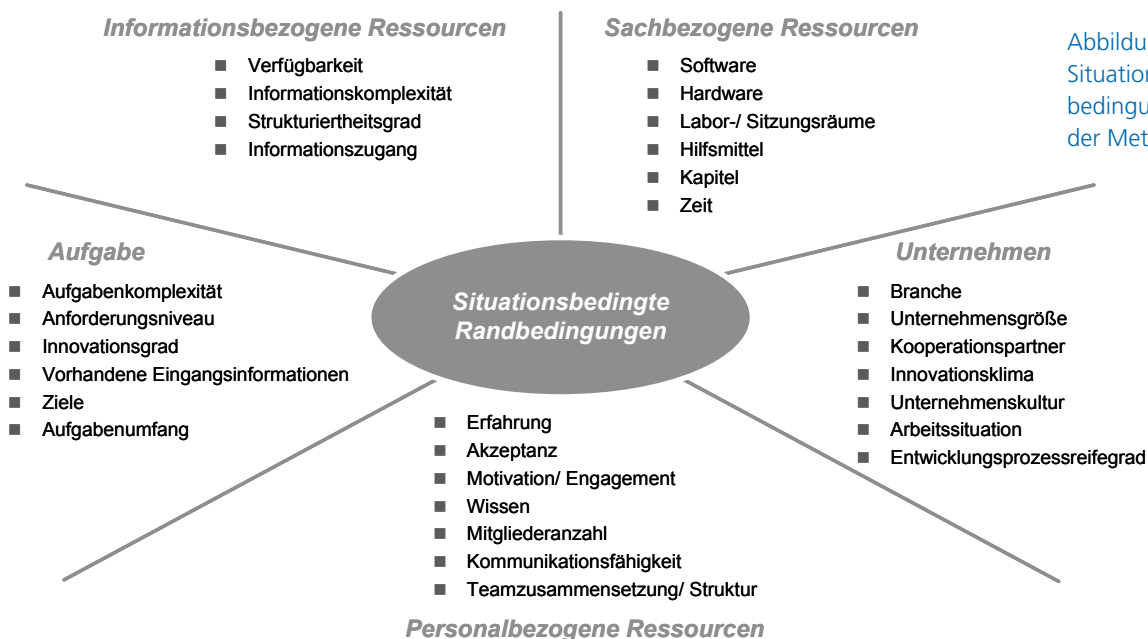
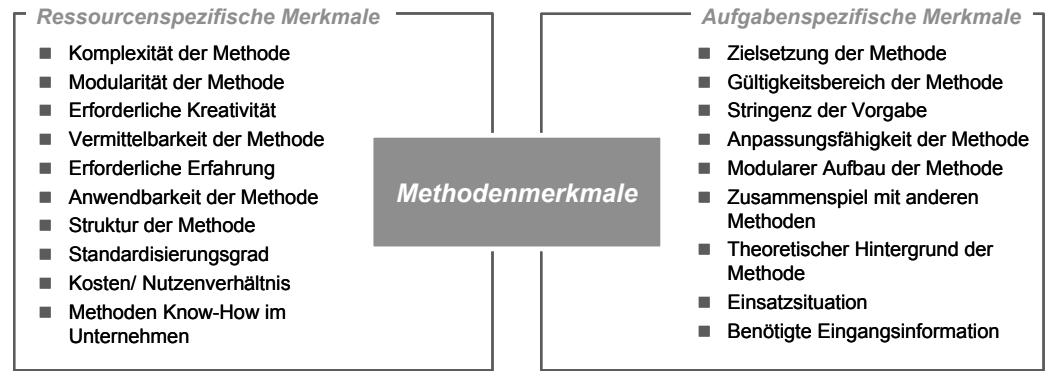


Abbildung 48
Situationsbedingte Rand-
bedingungen bei der Klärung
der Methodenunterstützung

¹⁰⁰ Vgl. Braun (2005), Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld, S. 116 f.

Abbildung 49
Methodenorientierte
Randbedingungen



bung komplexer Sachverhalte im Entwicklungsprozess.¹⁰²

Die Auswahl der optimalen Methode erfolgt nach Klärung der Methodenunterstützung über die Ermittlung der dafür erforderlichen Informationen sowie über die Klärung des tatsächlich erreichbaren Ziels. Hierbei existieren zwei unterschiedliche Auswahlmöglichkeiten. Zum Einen die Auswahlmethode auf Basis der Methodenmerkmale und zum Anderen die Auswahlmöglichkeit auf Basis eines Methodenbaukastens, bei der die Methoden festen Prozessschritten im Entwicklungsprozess zugeordnet werden. FRANKE spricht in diesem Zusammenhang von den Auswahlmethoden »by assignment to method attributes« und »by assignment to working steps of the design process«.¹⁰³

Um eine Methodenauswahl auf Basis der Methodenmerkmale durchführen zu können, werden die vorhandenen Methoden im Vorfeld anhand ihrer Merkmalausprägungen sortiert. Laut STEINMÜLLER ermöglicht dieser Ansatz bei der Methodenauswahl verbesserte Hinweise auf die »Passfähigkeit« von Methoden im Rahmen bestimmter Aufgabenstellungen.¹⁰⁴ Im Anschluss daran erfolgt die Methodenauswahl über einen qualitativen Abgleich der situationsbedingten Randbedingungen mit den Methodenmerkmalen. ZANKER spricht dabei von der Kongruenz¹⁰⁵ und DOBBERKAU von der Konsistenz¹⁰⁶ zwischen Aufgabe und Methode. Um einen Abgleich zu ermöglichen, sind die Methodenmerkmale aufgeteilt in ressourcenspezifische- und aufgabenspezifische

Merkmale. Zudem sind sie auf die situationsbedingten Randbedingungen abgestimmt. In Abbildung 49 ist eine Auswahl von Methodenmerkmalen dargestellt.

Die ressourcenspezifischen Merkmale charakterisieren die Methoden hinsichtlich des Einsatzaufwands, während die aufgabenspezifischen Merkmale die Methoden nach deren Einsatzspektrum einordnen. Bei einem Abgleich der situationsbedingten Randbedingungen mit den Methodenmerkmalen gilt es eine mögliche größte Übereinstimmung zu erreichen. Daher empfiehlt es sich, nach Möglichkeit die Aufgabenstellung anhand vergleichbarer Randbedingungen und Methodenmerkmale zu bewerten.

Voraussetzung für einen Abgleich ist die vorher bereits erwähnte Abstimmung der Merkmale auf die situationsbedingten Randbedingungen in Form einer vorherigen Klassifizierung. Nur so kann auf Basis einer bestimmten Aufgabenstellung im Entwicklungsprozess auf ein Set an Methoden zurückgegriffen werden, deren Merkmale mit den Anforderungen der jeweiligen Aufgabe übereinstimmen. Es existiert allerdings kein Standard für die Klassifizierung der Methodenmerkmale, da für unterschiedliche Aufgabenstellungen unterschiedliche situationsbedingte Randbedingungen von erhöhter Relevanz sind.¹⁰⁷ Als Folge können bei dieser Auswahlmethode einzelne Methoden aufgrund einer unzureichenden Klassifizierung versehentlich außer acht gelassen werden. Obwohl sich bereits Forschungsprojekte wie bspw.

¹⁰² Vgl. Linde/Hall/Herr (1999), The Integration of existing Tools and Techniques into a powerful and structured Innovation Strategy, S. 353

¹⁰³ Vgl. Franke/Deimel (2004), Selecting and Combining Methods for complex Problem Solving within the Design Process, S. 116

¹⁰⁴ Vgl. Steinmüller (1997), Grundlagen und Methoden der Zukunftsforschung: Szenarien, Delphi, Technikvorausschau, S. 36

¹⁰⁵ Vgl. Zanker (1999), Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden, S. 56

¹⁰⁶ Vgl. Dobberkau (2002), Aufgabenorientierte Methodenadaptation in der Produktentwicklung am Beispiel des Qualitätsmanagements, S. 39

¹⁰⁷ Vgl. Braun (2005), Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld, S. 127

BIRKHOFFER¹⁰⁸ mit dem »Prozessorientierten Methodenmodell« (PoMM) sowie REINICKE¹⁰⁹ und EHRENSPIEL¹¹⁰ mit dieser Problematik befasst haben, ist derzeit ein Einsatz der Auswahlmethode auf Basis der Methodenmerkmale aufgrund des ressourcenintensiven Aufwands nicht praktikabel und unwirtschaftlich.¹¹¹

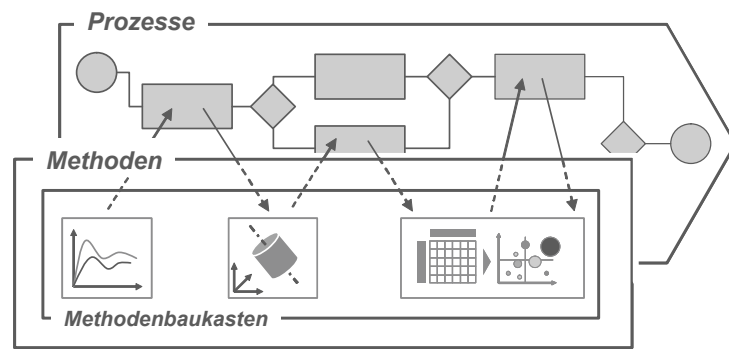
Wesentlich einfacher ist die Methodenauswahl auf Basis eines Methodenbaukastens. Unter einem Methodenbaukasten versteht man dabei die geordnete Sammlung von Methoden, die für bestimmte Arbeitsabschnitte eines Prozesses alternativ eingesetzt werden können und für deren Auswahl Hilfen angegeben sind.¹¹² Beispielhaft wird diese Zuordnung der Methoden zu einzelnen Prozessschritten in Abbildung 50 dargestellt.

Bisher scheiterte die Zuordnung einzelner Methoden aufgrund unterschiedlicher Sichtweisen auf die Aufgabenstellung im Entwicklungsprozess. Weitere Gründe für Probleme einer Zuordnung von Methoden stellen laut STEINMÜLLER¹¹³ die Folgenden dar:

- Vielfalt der Methoden
- Spezifische Terminologien
- Unscharfe Definition von Methoden, Verfahren und Vorgehensweisen
- Vielfalt der möglichen Einteilungskriterien
- Integration von Einzelmethode in komplexere Vorgehensweisen
- Kombinierbarkeit verschiedener Methoden

Um eine einheitliche Sichtweise auf die Methoden zu ermöglichen und somit eine Struktur in die Vielzahl an Methoden zu bekommen, wird daher der Methodenbaukasten eingesetzt.

Die Methoden werden dabei Prozessschritten sowie Aufgabenstellungen im Entwicklungsprozess zugeordnet, zu deren Bearbeitung sie als geeignet erscheinen.¹¹⁴ Der Vorteil dieser Methode bildet die dadurch entstandene Vermeidung der aufwändigen Methodenidentifikation. Durch die somit einheitliche, strukturierte Sortierung der Methoden wird laut



DOBBERKAU die Methodenauswahl erheblich erleichtert und die Hemmschwelle, neue Methoden einzusetzen, reduziert.¹¹⁵ Es kommt allerdings vor, dass unterschiedliche Methoden der gleichen Aufgabenstellung zugeteilt sind. In diesem Fall muss auch hier eine Auswahl auf Basis der Methodenmerkmale erfolgen.

Abbildung 50
Methodenbaukasten

3.4.3.3 Anpassung der Methoden

Da eine Methode oft nicht optimal auf eine vorliegende Aufgabenstellung zugeschnitten ist, kommt der Anpassung der Methode eine entscheidende Rolle zu. Auch die zunehmende Anforderung der Anwender an eine erhöhte Flexibilität hinsichtlich des Methodeneinsatzes hat einen Anstieg des Anpassungsbedarfs zur Folge, sollen die Methoden doch generisch und vielseitig einsetzbar sein. Ebendiese Vielseitigkeit bereitet jedoch im Bezug auf den Einsatz bei der Ausführung Schwierigkeiten, da sie ein erhöhtes Maß an Abstraktionsvermögen seitens der Anwender erfordert.¹¹⁶

Eine Methodenanpassung kann auf zwei grundlegende Arten erfolgen. Eine Möglichkeit ist die Anpassung der situationsbedingten Randbedingungen in Zusammenhang mit der vorliegenden Aufgabenstellung an die Merkmale der vorliegenden Methode. Eine andere Möglichkeit ist die Anpassung der Methodenmerkmale an die gegebenen, situationsbedingten Randbedingungen. Man spricht dabei

¹⁰⁸ Vgl. Birkhofer et al. (2001), Product development as a structured and interactive network of knowledge - a revolutionary approach, S. 457 - 464

¹⁰⁹ Vgl. Reinicke (2004), Möglichkeiten und Grenzen der Nutzerintegration in der Produktentwicklung, S. 106 f.

¹¹⁰ Vgl. Ehrlenspiel (2009), Integrierte Produktentwicklung, S. 145

¹¹¹ Vgl. Reinicke (2004), Möglichkeiten und Grenzen der Nutzerintegration in der Produktentwicklung, S. 132

¹¹² Vgl. Ehrlenspiel (2009), Integrierte Produktentwicklung, S. 344 f.

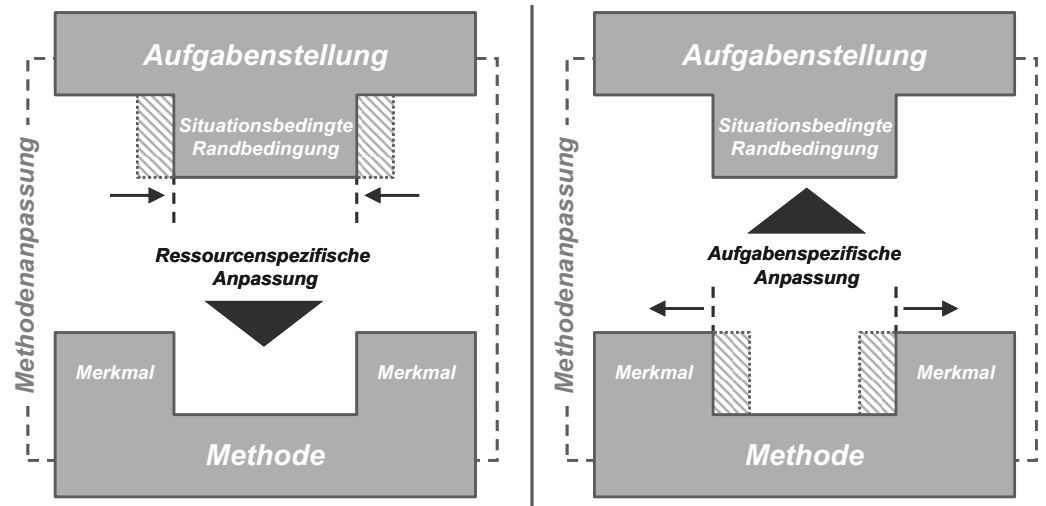
¹¹³ Vgl. Steinmüller (1997), Grundlagen und Methoden der Zukunftsforschung: Szenarien, Delphi, Technikvorausschau, S. 30 ff.

¹¹⁴ Vgl. Braun (2005), Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld, S. 124

¹¹⁵ Vgl. Dobberkau (2002), Aufgabenorientierte Methodenanpassung in der Produktentwicklung am Beispiel des Qualitätsmanagements, S. 29

¹¹⁶ Vgl. Reinicke (2004), Möglichkeiten und Grenzen der Nutzerintegration in der Produktentwicklung, S. 13

Abbildung 51
Möglichkeiten der
Methodenanpassung



in Anlehnung an BRAUN von der ressourcen- und der aufgabenspezifischen Anpassung.¹¹⁷ Dies wird grafisch in Abbildung 51 dargestellt.

Beide Anpassungsmöglichkeiten müssen immer im Zusammenhang mit der vorliegenden Aufgabenstellung betrachtet werden. Daher wird generell der im Vorfeld erstellte Abgleich der situationsbedingten Randbedingungen mit den Methodenmerkmalen als Ausgangspunkt herangezogen.

Darauf aufbauend erfolgt bei der ressourcenspezifischen Anpassung die Analyse der vorliegenden situationsbedingten Randbedingungen hinsichtlich der Aufgabenstellung. Dabei gilt es, den Aufwand einer Anpassung der situationsbedingten Randbedingungen zu klären. Im Gegensatz dazu wird bei einer aufgabenspezifischen Anpassung die Methode an die gegebenen situationsbedingten Randbedingungen hinsichtlich der Aufgabenstellung angepasst. Diese Anpassung wird im vorliegenden Methodenmodell eingesetzt, da eine Anpassung der situationsbedingten Randbedingungen und damit der durchzuführenden Prozessschritte im Entwicklungsprozess mit einem wesentlich höheren Bearbeitungsaufwand verbunden ist.¹¹⁸ Dabei werden alle Methodenmerkmale im Rahmen des Methodeneinsatzes einzeln analysiert und den situationsbedingten Randbedingungen hinsichtlich der Aufgaben-

stellung angepasst, mit dem Ziel die höchstmögliche Kongruenz zwischen Methode und Aufgabenstellung herzustellen.¹¹⁹

Die Anpassung einer Methode sollte laut REINICKE immer vor deren Einsatz erfolgen.¹²⁰ Dies ist nicht immer möglich, da oft auch während der Anwendung aufgrund dynamischer Randbedingungen die Methode kontinuierlich angepasst werden muss. Einen weiteren Grund für eine Anpassung der Methode während des Einsatzes stellen Kompromisse in Form von Abweichungen zwischen den vorliegenden situationsbedingten Randbedingungen und den von der Methode geforderten Bedingungen bei der vorherigen Methodenauswahl dar.¹²¹ Der Einsatz einer unangepassten Methode lässt allerdings laut DOBBERKAU deren Effizienzpotenziale ungenutzt und hat eine sinkende Akzeptanz und Einsatzhäufigkeit bei den Anwendern zur Folge.¹²² Eine fundierte Anpassung der Methode ist somit unabdingbar und hat im vorliegenden Methodenmodell immer vor deren Einsatz zu erfolgen.

3.4.3.4 Methodeneinsatz

Da sich der Einsatz einer Methode von einem rein algorithmischen Vorgang, bei dem Parameter automatisch eingestellt werden können, grundlegend unterscheidet, ist die Unterstützung des jeweiligen Anwenders bei der Methodenanwendung Voraussetzung für einen erfolg-

¹¹⁷ Vgl. Braun (2005), Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld, S. 140 f.

¹¹⁸ Vgl. Zanker (1999), Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden, S. 41

¹¹⁹ Vgl. Braun (2005), Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld, S. 140

¹²⁰ Vgl. Reinicke (2004), Möglichkeiten und Grenzen der Nutzerintegration in der Produktentwicklung, S. 127

¹²¹ Vgl. Braun (2005), Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld, S. 138

¹²² Vgl. Dobberkau (2002), Aufgabenorientierte Methodenanpassung in der Produktentwicklung am Beispiel des Qualitätsmanagements, S. 1

¹²³ Vgl. Zanker (1999), Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden, S. 97

reichen Methodeneinsatz.¹²³ Den wichtigsten Faktor stellt die Bereitstellung von Hilfsmitteln dar. Eines dieser Hilfsmittel bildet laut PULM eine »Bedienungsanleitung« für die Anwender, wodurch alle Methoden »einfach zu bedienen sein« sollten.¹²⁴ Eine Unterstützung erfolgt allerdings auf Basis mehrerer Hilfsmittel. Es handelt sich dabei neben der erwähnten einheitlichen und vollständigen Methodenbeschreibung in Form einer »Bedienungsanleitung« um Templates, unterstützende Simulationsmodelle und Softwaretools, Anwendungsbeispiele im Zusammenhang mit den Methoden und Einträge bereits durchgeführter Projekte in Wissensdatenbanken. Diese Hilfsmittel eines erfolgreichen Methodeneinsatzes werden in Unternehmen häufig vernachlässigt. Ein schlechtes Aufwand-/ Nutzenverhältnis ist beim Einsatz einer Methode daher oft der Fall.

Die Unterstützung des Anwenders bei einem Methodeneinsatz erfolgt im vorliegenden Fall durch eine anwenderorientierte Struktur der Methodenbeschreibung für den fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklungsprozess. Eingegangen wird bei allen Methoden auf das Ziel sowie auf das Vorgehen bei der Durchführung. Darüber hinaus werden die Einsatzphasen innerhalb des Entwicklungsprozesses aufgelistet. Zusätzlich zu den Entwicklungsmethoden sind Simulationsmethoden im Entwicklungsprozess integriert, die durch den Einsatz spezifischer Softwaretools ermöglicht werden.

3.4.4 Methoden der fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklung

In allen Phasen der Produktentwicklung kommen Methoden zum Einsatz um Entwicklungszeiten zu verkürzen und die Zuverlässigkeit der Produkte zu erhöhen. Bei einer Vielzahl vorhandener Methoden ist die Wahl der für einen Fall richtigen Methode nicht trivial. Dieser Abschnitt bietet eine Hilfestellung bei der Entscheidung, welche Methode in welcher Phase eingesetzt werden sollte. Hierfür werden im Folgenden ausgewählte Methoden der disziplinübergreifenden Entwicklung in alphabetischer Reihenfolge beschrieben. Dabei handelt es sich um:

- ABC-Analyse,
- Analogiebetrachtung,
- Anforderungsmanagement,

- Benchmarking,
- Black-Box-Logik,
- Brainstorming,
- Checklisten,
- Concurrent Engineering und Simultaneous Engineering,
- Conjoint-Analyse,
- Delphi-Methode,
- Design Structure Matrix und Design Modelling Matrix,
- Fehlerbaumanalyse,
- FMEA,
- Funktionsanalyse,
- Ideengenerierung,
- Innovation-Roadmap,
- Kano-Modell,
- Kapazitätsmodell,
- Kernkompetenzanalyse,
- Kreativitätstechniken,
- Kundenzufriedenheitsanalyse,
- Lösungsraum-Management,
- Morphologischer Kasten,
- Nutzwertanalyse,
- Primäre Marktforschung,
- Produkt-Robustheitsmodell,
- Prozesstaktung,
- QFD,
- Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung,
- SIL-Methode,
- Stage-Gate-Prozess,
- SWOT-Analyse,
- Szenariotechnik,
- Target Costing (Zielkostenmanagement),
- TRIZ sowie
- Visualisierung des Projektfortschritts.

Die Methoden werden mit ihren Zielen und ihrem Vorgehen beschrieben. Schließlich werden die von einer Methode unterstützten Phasen im Entwicklungsprozess genannt.

ABC-Analyse

Die ABC-Analyse oder Pareto-Analyse ist eine einfache und aussagekräftige Methode zur Strukturierung von zunächst undurchsichtigen Verhältnissen.¹²⁵ Mit dieser Methode kann eine Menge von Objekten durch Klassifikation transparent abgebildet werden. Die Klassifikation fasst gleiche bzw. ähnliche Objekte zusammen, so dass die Ist-Situation für weiterführende

¹²³ Vgl. Zanker (1999), Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden, S. 97

¹²⁴ Vgl. Pulm (2004), Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung, S. 117

¹²⁵ Vgl. Ehrlenspiel (2003), Integrierte Produktentwicklung

¹²⁶ Vgl. Lindemann (2007), Methodische Entwicklung technischer Produkte, S. 240

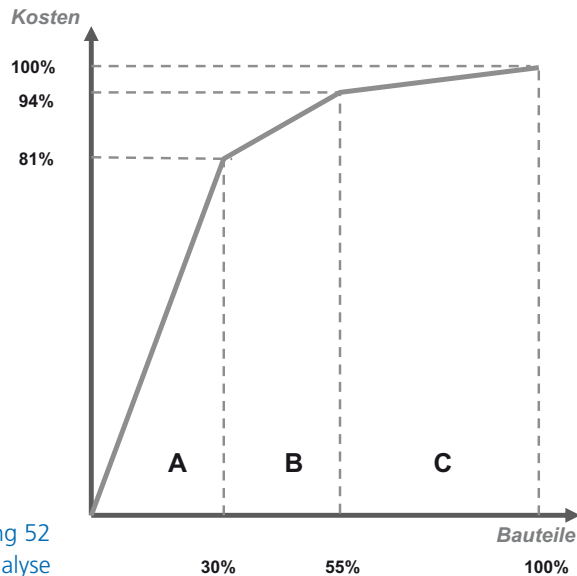


Abbildung 52
Beispiel für eine ABC-Analyse

Analysen abgebildet wird.¹²⁶

Eine typische Anwendung ist die Klassifizierung von Produkten anhand des Umsatzes oder Gewinns. So können beispielsweise diejenigen Produkte identifiziert werden, die zu einem Großteil des Gewinns bzw. Umsatzes beitragen. Mit dieser Kenntnis können Produkte aus dem Produktprogramm entfernt werden, die einen sehr geringen oder keinen Anteil am Umsatz haben.

In der Regel werden in solchen Analysen Produkte in die Klassen A, B und C eingeteilt. Jede dieser Klassen enthält Produkte mit einem ähnlichen Anteil am Umsatz des untersuchten Produktprogramms. Die Methode erstellt eine vereinfachte Übersicht der Produkt-Umsatz-Verteilung in der aktuellen Situation und kann als Basis für eine Entscheidung genutzt werden. Die ABC-Analyse ist als rein analytisch einzustufen, da aus dieser Methode keine direkten Handlungsempfehlungen resultieren (siehe Abbildung 52).

Die ABC-Analyse besteht aus mehreren Schritten. Initial muss für die einzelnen Produkte das zu analysierende Merkmal z.B. Kosten oder Umsatz bekannt sein.

In einem ersten Schritt werden die Produkte nach Umsatz oder Kosten sortiert und für jedes Produkt auf der X-Achse der Umsatz oder die Kosten auf der Y-Achse aufgetragen. Als Nächstes können die Produkte in Gruppen eingeteilt werden, indem bestimmte Entscheidungskriterien in Frageform angelegt werden.

Beispiele für häufige Fragestellung sind: Welche Produkte verursachen zusammen 80% der Kosten? Welche Produkte verursachen die letzten 10% der Kosten? Die Beantwortung der ersten Frage würde in diesem Beispiel die Gruppe A, die Antwort auf die zweite Frage die Gruppe C ergeben. Der restlichen Produkte gehören somit in die Gruppe B. Mit der Einteilung der Gruppen ist die ABC-Analyse abgeschlossen.

Diese Aufteilung eignet sich in der Praxis, da häufig etwa 20% der Teile 80% der Kosten verursachen. Auch eine Einteilung in mehr oder weniger als drei Gruppen ist möglich. Die genaue Einteilung der Gruppen ist durch die zu definierenden Auswahlkriterien für die Gruppen festgelegt. Diese sind frei wählbar und begründen die Subjektivität dieser Methode.

Anwendungsphase:

Produktprogrammplanung, Projektorganisation, Konzeptbewertung

Analogiebetrachtung

Die Analogiebetrachtung dient dem Lösen von technischen Problemen durch Untersuchung von Vorbildern aus fachfremden Gebieten. Diese Methode führt zu Zukunftsprojektionen, Ideen und Lösungsvorschlägen.¹²⁷

Bei der Analogiebetrachtung handelt es sich um eine Kreativitätstechnik für Gruppen.

Zunächst werden die gewünschten Eigenschaften und Funktionen des technischen Betrachtungsbereiches festgelegt. Anschließend werden Vorbilder gesucht, die ähnliche Eigenschaften bzw. Funktionen aufweisen. Das System, das diese Eigenschaften bzw. Funktionen erfüllt, wird untersucht, bevor schließlich die Übertragbarkeit der Wirkungsweise geprüft wird.

Anwendungsphase:

Systementwurf

Anforderungsmanagement

Ziel des Anforderungsmanagements ist es, die Erhebung, Steuerung und Kontrolle von Kundenanforderungen an das Produkt entlang des gesamten Produktentwicklungsprozesses zu organisieren.¹²⁸

Im Rahmen der Aufgabenklärung bezeichnet eine Anforderung eine knappe, aber präzise Formulierung eines geforderten Sachverhalts in der Sprache des Entwicklers. Eine Anforderung

¹²⁷ Vgl. Eversheim (2003), Innovationsmanagement für technische Produkte, S. 343

¹²⁸ Vgl. Jung (2006), Anforderungskklärung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung

besteht mindestens aus einer Bezeichnung, einem Merkmal, der gewünschten Ausprägung, Verantwortlichkeit und Datum der Festlegung. Die Dokumentation der Anforderung wird als Anforderungsliste oder Lastenheft bezeichnet. Mögliche Strukturierungsdimensionen sind Verantwortlichkeiten, Phasen im Lebenslauf, technisch-wirtschaftliche oder organisatorische Anforderungen sowie Wichtigkeit. Die Dokumentation der Anforderungen ist im weiteren Verlauf zudem Grundlage zur Beurteilung von Lösungsalternativen.

Das Anforderungsmanagement strebt die Durchgängigkeit von Anforderungen bis zu Produktkomponenten an (»Traceability«), damit bei einer Veränderung von Anforderung oder Produkt die jeweiligen Auswirkungen leicht verfolgbar sind.

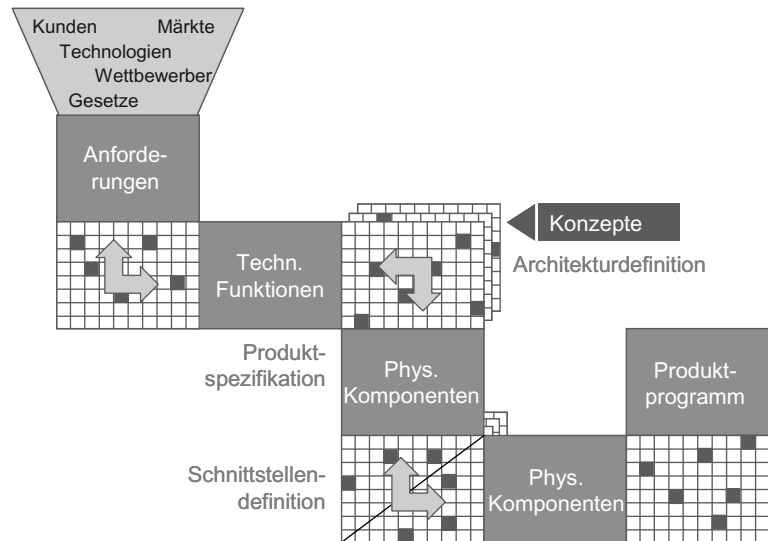
Voraussetzung für die Wirksamkeit des Anforderungsmanagement ist es, externe und interne Anforderungen an das Produkt in einem hohen Detaillierungsgrad aufzunehmen. Im Anschluss werden die Anforderungen den Produktfunktionen in einer Matrix gegenüber gestellt. Weiterhin können mit dem Anforderungsmanagement Zielkonflikte aufgelöst werden, die sich aus zwei gegenläufigen Anforderungen ergeben.

Da im Falle eines Zielkonfliktes nicht alle Anforderungen gleichermaßen erfüllt werden können, muss eine Priorisierung im Zeitverlauf durchgeführt werden.

Im ersten Schritt gilt es die Kundenanforderungen sowie die Ausprägung der Anforderungen zu ermitteln (z.B. Leistung, Ausprägung: 90KW). Dieser Schritt kann beispielsweise mit der Methode der Primären Marktforschung durchgeführt werden. Anschließend muss zur systematischen Bearbeitung eine Funktionsstruktur aufgebaut werden, die in einem Funktionsbaum oder Funktionsnetz die Interdependenz und Hierarchie der Produktfunktionen beschreibt. Im folgenden Schritt findet eine Zuordnung von Anforderung zu Funktionen statt. Dieser Schritt kann durch eine Matrix unterstützt werden (siehe Abbildung 53).

Können alle Anforderungen durch Funktionen erfüllt werden, muss anschließend eine Zuordnung der Funktion bzw. Funktionen zu physischen Bauteilen erfolgen. Somit kann sichergestellt werden, dass alle Anforderungen in der gewünschten Güte im Produkt umgesetzt werden bzw. wurden.

Das Anforderungsmanagement wird in



verschiedenen Phasen des Produktentstehungsprozesses verwendet. Insbesondere in den Tätigkeiten und Prozessen, die die Produktqualität im Hinblick auf die Anforderungserfüllung sicherstellen.

Anwendungsphasen:

Produktprogrammplanung, Wettbewerbsanalyse, Kundenwunschaufnahme, Konzeptbewertung, Entwicklung beim Zulieferer, Virtuelle Inbetriebnahme

Benchmarking

Das Ziel des Benchmarking besteht darin, aus dem Vergleich des eigenen Unternehmens und solchen, die eine Aktivität ausgezeichnet beherrschen, Zielvorgaben zu ermitteln und gleichzeitig Wege zur Erreichung dieser Ziele aufzuzeigen.¹²⁹

Benchmarkings sind ein kontinuierlicher und systematischer Prozess der Ermittlung von herausragenden Methoden und Aktivitäten durch Vergleich mit anderen Unternehmen. Benchmarkings bestehen aus der Überprüfung ausgewählter Eigenschaften einer Betrachtungseinheit in Bezug auf markt- oder anwendungsübliche Werte und Standards.

Wie in Abbildung 54 erkennbar, läuft Benchmarking in vier sich wiederholenden Phasen ab: Vergleichen, Lernen, Konzipieren und Optimieren. In der Vergleichsphase werden die Vergleichsmethodik aufgestellt und Kennzahlen festgelegt. Nach dieser Methodik werden verschiedene Produkte, Prozesse, Abteilungen

Abbildung 53
Übersetzungskette von
Anforderungen in
das Produkt

¹²⁹ Vgl. Eversheim (2003), Innovationsmanagement für technische Produkte, S. 345

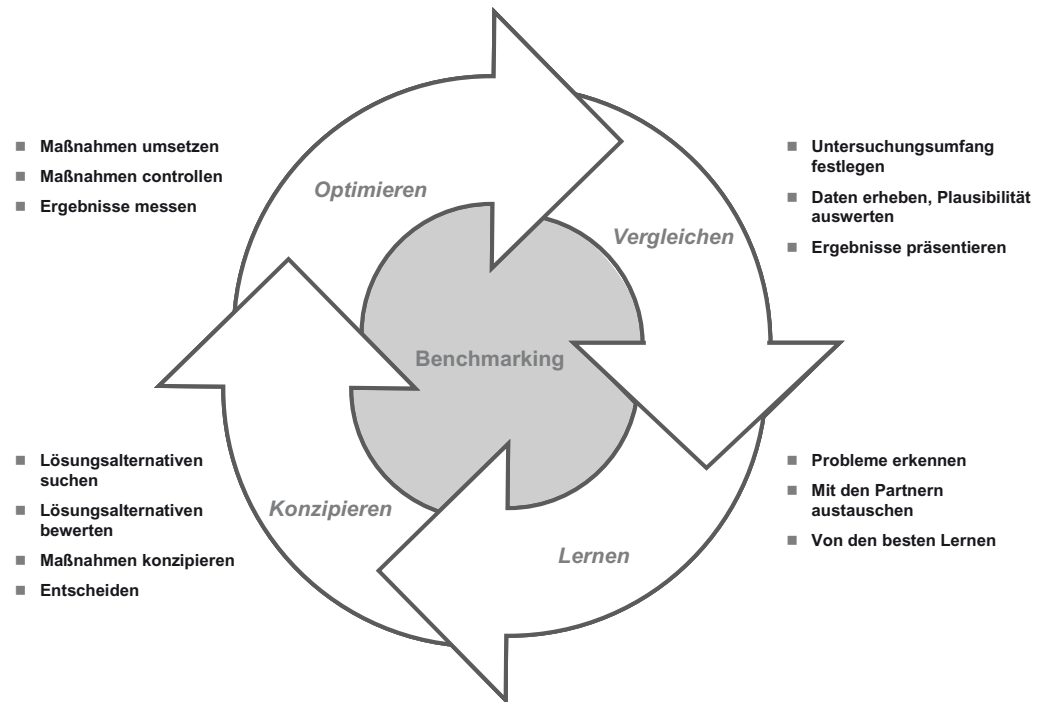


Abbildung 54
Vorgehensweise beim
Benchmarking

oder Unternehmen verglichen. Die »Sieger« der Bewertung werden oft in Form von „best practices“ oder »successful practices« genauer beschrieben, um als Vorbild dienen zu können. Das Wissen über den eigenen Stand im Vergleich zum Stand der Technik kann genutzt werden, um Lösungsalternativen auszuarbeiten und Maßnahmen zu konzipieren. Schließlich werden die Maßnahmen umgesetzt.

Anwendungsphasen:
Strategieprüfung, Wettbewerbsanalyse,
Angebotserstellung

Black-Box-Logik

Die Aufgabenklärung und Systemabgrenzung mittels Black-Box wird bei Konstruktionsproblemen mit Schwerpunkt auf der Konzepterstellung eingesetzt.¹³⁰

Eine Black-Box hat einen Input (Information, Energie und Stoff) und einen Output (ebenfalls Information, Energie und Stoff). Jede Black-Box kann in Teilsysteme zerlegt werden. Gleichzeitig kann jede Black-Box als Teilsystem eines größeren Systems angesehen werden.

Die zuvor definierten Grenzen des zu lösenden Problems werden verschoben. Dadurch ändern sich auch die Randbedingungen der

Problemstellung. Durch die geänderte Formulierung der Frage öffnen sich neue Lösungsalternativen und Kreativitätsblockaden werden gelöst.

Anwendungsphasen:
Elektronik- und Softwareentwicklung beim
OEM, Detailsimulation, Gesamtsimulation

Brainstorming

Ziel der intuitiven Kreativitätstechnik Brainstorming ist es, in einer Gruppe viele kreative Ideen zu sammeln. Dabei sollen die Teilnehmer sich gegenseitig inspirieren und ungehemmt ihre Ideen der Gruppe mitteilen.¹³¹

Brainstorming ist eine Methode zur Problemlösung und Ideenfindung durch gegenseitige Anregung des intuitiven, kreativen Denkens im Rahmen einer Gruppe von fünf bis 15 Personen. Brainstorming eignet sich vor allem für klar definierte und weniger komplexe Probleme.¹³² Für die erfolgreiche Durchführung des Brainstormings gibt es vier Grundregeln. So darf an den vorgebrachten Ideen in der Gruppe keine sofortige Kritik geübt werden; eine Idee kann nicht ausgefallen genug sein, um nicht aufgenommen zu werden; je größer die Anzahl der Ideen, desto größer ist die Wahrschein-

¹³⁰ Vgl. Ehrlenspiel (2003), Integrierte Produktentwicklung, S. 353-355

¹³¹ Vgl. Eversheim (2003), Innovationsmanagement für technische Produkte, S. 347

¹³² Vgl. Ehrlenspiel (2003), Integrierte Produktentwicklung, S. 350

lichkeit der Aufnahme verwertbarer Ideen; die Gruppe sollte sich nicht mit den vorgebrachten Ideen zufrieden geben, sondern diese weiter entwickeln und kombinieren.¹³³

Eine Gruppe von 5-20 Leuten wird zusammengestellt. Dabei können Außenstehende einbezogen werden. Es ist darauf zu achten, keine kritischen Autoritätspersonen in die Gruppe aufzunehmen, da diese die anderen Teilnehmer in ihrer Offenheit einschränken könnten. Der Gruppe wird zu Beginn eine Fragestellung oder ein Problem präsentiert. Daraufhin sind die Gruppenmitglieder aufgefordert Lösungen vorzuschlagen. Es ist dabei ausdrücklich erwünscht, die Ideen anderer weiter auszubauen. Kritik oder Wertungen sind beim Brainstorming untersagt. Jeder Vorschlag wird vom Moderator für die Gruppe sichtbar aufgeschrieben (siehe Abbildung 55).

Anwendungsphasen:

Strategieprüfung, Produktprogrammplanung, Systementwurf, Entwicklung beim Zulieferer

Checklisten

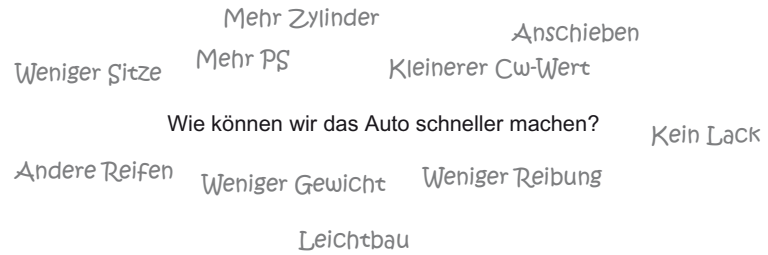
Checklisten und Entscheidungsmatrizen sind grundsätzliche Werkzeuge für die Standardisierung von Vorgängen zur Bewertung von Sachverhalten und technischen Ständen in der Produktentwicklung. Checklisten unterstützen die Kontrolle auf Vollständigkeit. Sie vermeiden das Vergessen von Schritten oder Einflüssen auf einen Prozess.¹³⁴

Checklisten bestehen aus mehreren Punkten, die alle für einen Prozess notwendigen Schritte umfassen. Beispiele für Checklisten sind z.B. standardisierte Review-Inhalte an Quality Gates, Prüfinhalte für Musterbauteile etc. In einer Entscheidungsmatrix werden die Alternativen einer Situation nach den relevanten Kriterien systematisch bewertet und die Beste gewählt.

Checklisten werden in der vorgegebenen Reihenfolge Punkt für Punkt abgearbeitet.

Anwendungsphasen:

Strategieprüfung, Produktprogrammplanung, Wettbewerbsanalyse, Kundenwunschaufnahme, Projektorganisation, Entwicklung beim Zulieferer, Inbetriebnahme



Concurrent Engineering und Simultaneous Engineering

Das Simultaneous Engineering (SE) zielt auf eine Verkürzung der Produktentstehung bzw. auf eine signifikante Reduzierung der Time-to-market. Weiterhin sollen mit dem SE die Produktqualität erhöht sowie die Herstellkosten gesenkt werden.¹³⁵

Im Rahmen des SE wird die gesamte Produktentstehung von der Produktidee bis zur Markteinführung betrachtet. Dabei wird durch eine frühzeitige horizontale Aufgabenintegration die Abstimmung der Aufgaben entlang der internen und unternehmensübergreifenden Prozessketten unterstützt.

Ziel der vertikalen Aufgabenintegration ist es, das Planungswissen in den indirekten Unternehmensbereichen durch Anwendungserfahrungen aus direkten Unternehmensbereichen zu ergänzen. Hierzu werden beispielsweise Facharbeiter in die Produkt- und Prozessgestaltung einbezogen. Beim SE stehen die Parallelisierung und verbesserte Abstimmung von Abläufen der Produktentstehung im Vordergrund.

Ähnlich verwendet wird der Begriff des Concurrent Engineering. In der ursprünglichen Bedeutung wird unter Concurrent Engineering die computerunterstützte, gleichzeitige Bearbeitung von Objekten durch mehrere Konstrukteure in identischen Konstruktionsräumen beschrieben; eine inhaltliche Unterscheidung der beiden Begriffe ist heute nicht mehr möglich.

Der SE-Ansatz umfasst die Bereiche Informationstechnologie, Organisation und Prozess. Alle drei Bereiche müssen aufeinander abgestimmt werden, um möglichst gleichzeitig, d.h. ohne signifikante Verzögerung zu agieren. Für SE existiert kein allgemeingültiges Vorgehen, vielmehr steht der Gedanke, Tätigkeiten parallel durchzuführen, im Vordergrund.

Das SE wird in allen Phasen des Produktentstehungsprozesses eingesetzt, wobei der

Abbildung 55
Beispiel für das Sammeln
von Lösungen durch
Brainstorming

¹³³ Vgl. Franke (1993), Risikobewusstes Projekt-Controlling

¹³⁴ Vgl. Ehrlenspiel (2003), Integrierte Produktentwicklung, S. 350-353

¹³⁵ Vgl. Specht/Beckmann/Amelingmeyer (2002), F&E-Management, S. 145 f

Einsatz in der Entwicklung immer noch eine große Herausforderung bildet. Da die Prozesse und Tätigkeiten von der Dauer her wenig deterministisch sind, ist eine parallele Durchführung von Tätigkeiten nur schwer planbar bzw. durchzuführen. Dennoch existieren Ansätze, um ebenfalls in diesem Bereich den SE-Ansatz zu realisieren.

Anwendungsphasen:

Machbarkeitsprüfung, Systementwurf, Virtuelle Systemauslegung, Konzeptbewertung, Konstruktion beim OEM, Elektronik- und Softwareentwicklung beim OEM, Entwicklung beim Zulieferer

Conjoint-Analyse

Die Conjoint-Analyse ist eine Methode der Marktforschung. Diese Methode erfasst die Relevanz, die ein Merkmal oder eine Merkmalsausprägung eines Produkts für den Kunden hat.¹³⁶

Der Begriff Conjoint-Analyse wird aus CONsidered JOINTly (»ganzheitlich betrachtet«) gebildet, da die Bedeutung der einzelnen Merkmale nicht explizit einzeln abgefragt wird, sondern der Kunde stets den Wert des gesamten Produkts beurteilt.

Der Kunde bekommt mehrmals zwei ähnliche Produktkonfigurationen mit Preisen zum Vergleich und entscheidet sich, welches Produkt er kaufen würde. Dieser Vorgang wiederholt sich mehrmals, um verschiedene Ausprägungskombinationen der Merkmale zu vergleichen. Anschließend werden mit statischen Methoden der Wert einer Ausprägung und die finanzielle Relevanz eines Merkmals bestimmt.

Ein Beispiel hierfür wäre bei einem PKW die Merkmalskombinationen Verbrauch (8; 9; 10 l/100km), Motorleistung (50, 75, 100 PS) und Farbe (rot; blau; schwarz), die vom Kunden beurteilt werden. Aus der Kundenumfrage kann dann berechnet werden, wie viel ein Kunde für ein rotes im Vergleich zu einem blauen gleichwertigen Auto zahlen würde, ohne den Kunden dies explizit zu fragen.

Die Conjoint-Analyse ist auch auf Kombinationen von Sach- und Dienstleistungen anwendbar. Im Ergebnis kann ein Gesamtnutzen eines Produktes (Sach- und Dienstleistungen) berechnet werden, indem Teilnutzenwerte der jeweiligen Leistungsmerkmale additiv

zusammengefasst werden. Dem Preis eines Produktbündels und dessen Ausprägungen wird ebenfalls ein Teilnutzenwert zugeordnet, so dass letztendlich für jede Konfiguration aus Sach- und Dienstleistungen auch Zahlungsbeurteilungen errechnet werden können.¹³⁷

Anwendungsphasen:

Konzeptbewertung, Angebotserstellung

Delphi-Methode

Ziel der Delphi-Methode ist es, basierend auf einem mehrstufigen schriftlichen Befragungsprozess von Experten verschiedener Fachbereiche das Wissen einer Gruppe zu sammeln, zu filtern und daraus abgeleitet heuristische Entscheidungen zu treffen. Gegenstand der Befragung sind z.B. die Beurteilung von Entwicklungstrends oder die Einschätzung möglicher zukünftiger Ereignisse. Daher ist die Delphi-Methode der Trendforschung zuzuordnen, Prognosegegenstände sind eher langfristige und komplex zu lösende Probleme (Prognosezeitraum von 10 oder mehr Jahren). Durch die Delphi-Methode erhaltene Beschreibungen können auch als Grundlage für die Bestimmung von Zukunftsszenarien mit Hilfe von Szenario-Analysen eingesetzt werden. Unter der Bezeichnung Ideen-Delphi wird diese Methode auch zur Ideengenerierung oder Ideenbewertung durch Experten eingesetzt.¹³⁸

Bei der Delphi-Methode wird einer Gruppe von Experten ein Fragen- bzw. Thesenkatalog einer bestimmten Themenstellung vorgelegt. Die Experten haben die Aufgabe, die Thesen in mehreren Befragungsrunden zu analysieren und einzuschätzen. Die in der ersten Befragungsrunde schriftlich erhaltenen Antworten und Einschätzungen werden aggregiert, mit Hilfe von Durchschnittswerten zusammengefasst und den Experten erneut für eine weitere Diskussion, Klärung und Optimierung der Einschätzungen als Feedback vorgelegt.

Das Feedback, in Form einer Auflistung der Antworten der ersten Befragungsrunde, erfolgt dabei anonym, um einer möglichen Gruppendynamik bei der Einschätzung der Thesen entgegenzuwirken. Dieser strukturierte Prozessablauf der Meinungsbildung erstreckt sich über mehrere Stufen. Das Endergebnis der Delphi-Methode ist eine Konsensstimmung hinsichtlich einer spezifischen Themenstellung, bestehend

¹³⁶ Vgl. Eversheim (2003), Innovationsmanagement für technische Produkte, S. 348

¹³⁷ Vgl. Schuh/Müller/Werners (2009), Systematische Entwicklung und Preisbildung für Sach- und Dienstleistungsbündel, S. 94

¹³⁸ Vgl. Eversheim (2003), Innovationsmanagement für technische Produkte, S. 350

aus verschiedenen Aussagen und Angaben über die Bandbreite vorhandener Meinungen. Die Vorgehensweise ist in Abbildung 56 noch einmal grafisch dargestellt.

Die Strategie der Delphi-Methode beruht auf der Konzentration auf das Wesentliche, einem mehrstufigen, teilweise rückgekoppelten Editierprozess sowie auf sicheren, umfassenden Aussagen durch Zulassen statistischer fuzzyartiger Ergebnisse.

Anwendungsphasen:

Strategieprüfung, Produktprogrammplanung

Design Structure Matrix und Design Modeling Matrix

Für die Zuordnung der Wirkprinzipien zu einzelnen Teilfunktionen werden Design Structure Matrizen (DSM) sowie Design Modeling Matrizen (DMM) eingesetzt. Es können Zusammenhänge von Kategorien gleicher Art (Design Structure Matrix)¹³⁹ oder Zusammenhänge von Kategorien unterschiedlicher Art (Design Modeling Matrix)¹⁴⁰ verwendet werden. Die Design Structure Matrix (DSM) ist eine Methode zur Identifikation, Modellierung, Analyse und Synthese der Vernetzung von Elementen eines Systems.¹⁴¹ In Abbildung 57 ist eine beispielhafte Vernetzung dargestellt.

Sowohl aus der Matrix wie aus dem Flussdiagramm ist erkennbar, dass z.B. Aufgabe 3 Einfluss auf Aufgabe 1 hat, aber eine umgekehrte Abhängigkeit nur indirekt über Aufgabe 1 und Aufgabe 2 vorliegt.

Die Abbildung 58 zeigt die Modellierung zweier Domänen und ihrer Beziehungen. Ein wesentlicher Vorteil der Matrixdarstellung ist die einfache Informationsnutzung. Beispielsweise lassen sich zusätzliche Informationen aus Matrixmultiplikationen gewinnen.

Aus zwei Matrizen (Zusammenhang A-B und B-C) lässt sich durch Multiplikation eine neue Matrix erstellen, die den Zusammenhang A-C darstellt. Einmal aufgestellte Zusammenhänge lassen sich also effektiv zu anderen Zusammenhängen weiterverarbeiten.

Zunächst wird eine Matrix aufgestellt und die Zeilen und Spalten mit einzelnen Elementen des Systems gefüllt. Anschließend werden systematisch alle Abhängigkeiten eingefügt.

Anwendungsphasen:

Systementwurf, Entwicklung beim Zulieferer

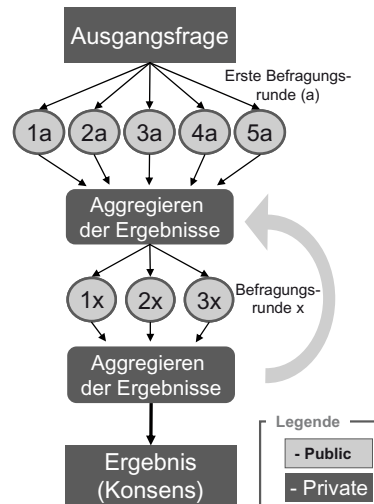
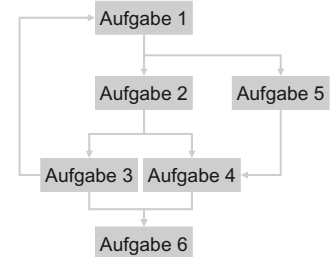


Abbildung 56
Vorgehensweise der Delphi-Methode

	Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Aufgabe 5	Aufgabe 6
Aufgabe 1		x			x	
Aufgabe 2			x	x		
Aufgabe 3	x			x		
Aufgabe 4						x
Aufgabe 5				x		
Aufgabe 6						

Abbildung 57
Beispiel für eine Design Structure Matrix (DSM)



	Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Aufgabe 5	Aufgabe 6
Person 1	x				x	
Person 2		x				
Person 3			x			x
Person 4				x		

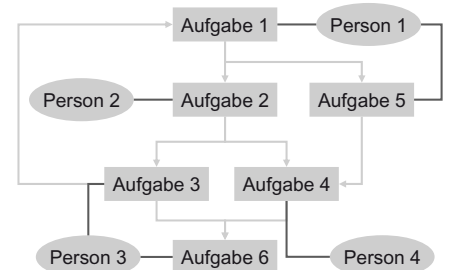


Abbildung 58
Beispiel für eine Design Modeling Matrix (DMM)

¹³⁹ Vgl. Steward (1981), The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems, S. 428

¹⁴⁰ Vgl. Danilovic/Börjesson (2001), Participatory Dependence Structure Matrix Approach, S. 1

¹⁴¹ Vgl. Lindemann/Maurer/Braun (2009), Structural Complexity Management: An Approach for the Field of Product Design, S. 52

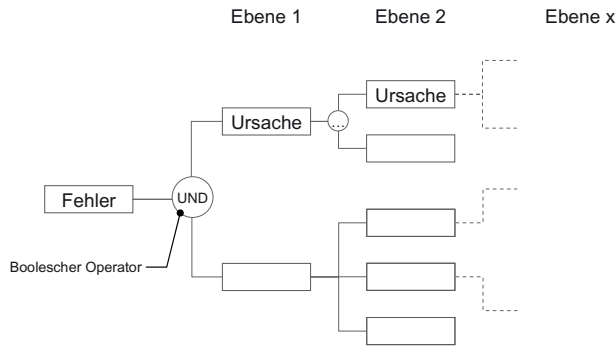


Abbildung 59
Schematische Abbildung
eines Fehlerbaums

Fehlerbaumanalyse

Die Fehlerbaumanalyse wird eingesetzt, um potenzielle Fehler in einem Produkt oder Prozess zu identifizieren bzw. aufgetretene Fehler auf ihre Ursache hin zu untersuchen.¹⁴²

Zuverlässigkeit ist eine der wichtigsten Eigenschaften eines Produktes oder Prozesses. Mit Zuverlässigkeit wird die Eigenschaft beschrieben in ex ante definierten Zuständen zu funktionieren. Kann ein Motor beispielsweise nicht das erwartete Drehmoment aufbringen, so liegt ein Fehler vor. Die Ursachen für diesen Fehler sind vielfältig. Mit Hilfe der Fehlerbaumanalyse wird eine Ursache-Wirkungskette, in Form eines Entscheidungsbaumes, für den Fehler erstellt, um die relevante Ursache für den Fehler top-down ermitteln zu können.

Liegt noch kein realer Fehler vor, so kann die Fehlerbaumanalyse dazu verwendet werden potenzielle Fehler bzw. Schwachstellen zu ermitteln. Erneut werden in einem Produkt Ursache-Wirkungsketten ermittelt und um die Wahrscheinlichkeit, mit der diese Ursache auftritt, ergänzt. So lässt sich aus den Wahrscheinlichkeiten ermitteln, wann ein Fehler mit

welcher Häufigkeit auftreten wird. Dies Aussagen können genutzt werden, um beispielsweise Wartungsintervalle festzulegen bzw. Bauteile hinsichtlich der Beständigkeit neu auszuwählen.

Ausgehend von einem Fehler wird die Ursache-Wirkungskette in Form eines Entscheidungsbaumes aufgezeichnet. Jede Verzweigung kann mit Hilfe der Booleschen Algebra (UND, ODER, ENTWEDER-ODER, NICHT, etc.) verknüpft werden. Die Abbildung 59 zeigt beispielhaft den Aufbau eines Fehlerbaums.

Sollen Fehlerwahrscheinlichkeiten ermittelt werden, so muss für jede Ursache bzw. für jeden Ast die Eintrittswahrscheinlichkeit jeder einzelnen Ursache ermittelt werden, um schließlich die Eintrittswahrscheinlichkeit des Fehlers ermitteln zu können.

Die Fehlerbaumanalyse kann sowohl in frühen als auch in späten Phasen des Produktentstehungsprozesses eingesetzt werden.

Anwendungsphasen:
Konzeptbewertung

FMEA

Die FMEA (Failure Mode and Effects Analysis oder auch deutsch: Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse oder kurz Auswirkungsanalyse) erlaubt potenzielle Fehler bei der Entwicklung eines Produktes bzw. bei (neuen) Fertigungsverfahren bereits während der Planung aufdecken und durch geeignete Maßnahmen vermeiden.^{143,144}

FMEA sowie FMECA (Failure Mode and Effects and Criticality Analysis) sind analytische Methoden der Zuverlässigkeitstechnik, um potenzielle Schwachstellen zu finden. Im Rahmen des Qualitätsmanagements bzw. Sicherheitsmanagements wird die FMEA zur Fehlervermeidung und Erhöhung der technischen Zuverlässigkeit vorbeugend eingesetzt. Das FMEA-Projekt-Team analysiert dabei das betreffende System und untersucht dieses auf mögliche Fehler. Ausgehend von der Fehlerart, den Fehlerauswirkungen und den Fehlerursachen findet eine Risikobewertung, anhand derer Maßnahmen zur Fehlervermeidung und Risikominimierung festgelegt werden, statt. Um den Erfolg der getroffenen Maßnahmen nachzuweisen wird der verbesserte Zustand hinsichtlich des zuvor gefundenen Fehlers bewertet

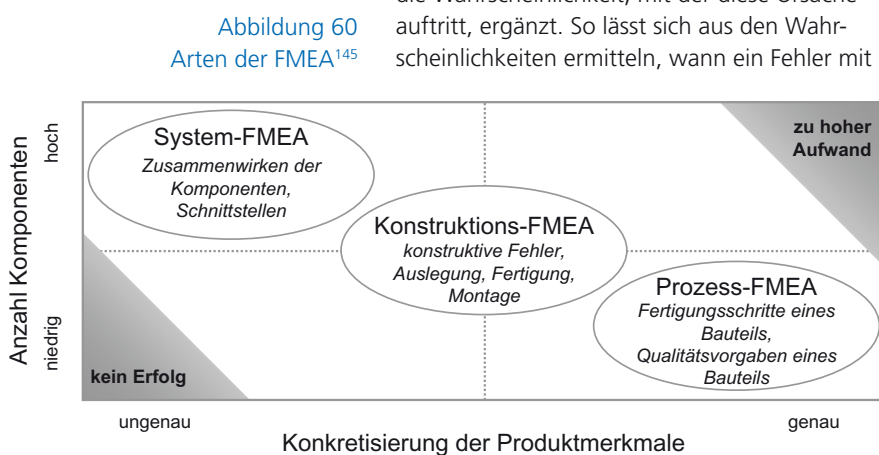


Abbildung 60
Arten der FMEA¹⁴⁵

¹⁴² Vgl. Ehrlenspiel (2003), Integrierte Produktentwicklung, S. 469

¹⁴³ Vgl. Pfeifer (2001), Qualitätsmanagement

¹⁴⁴ Vgl. Ehrlenspiel (2003), Integrierte Produktentwicklung, S. 468

¹⁴⁵ Vgl. Hering/Triemel/Blank (2003), Qualitätsmanagement für Ingenieure, S. 177

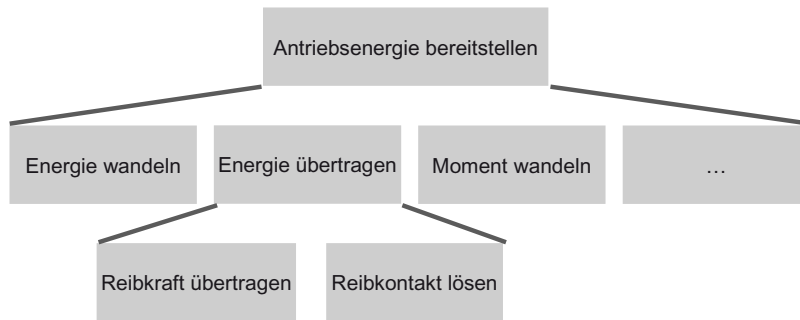


Abbildung 61
Beispiel für einen Funktionsbaum: Kupplungsscheibe¹⁴⁷

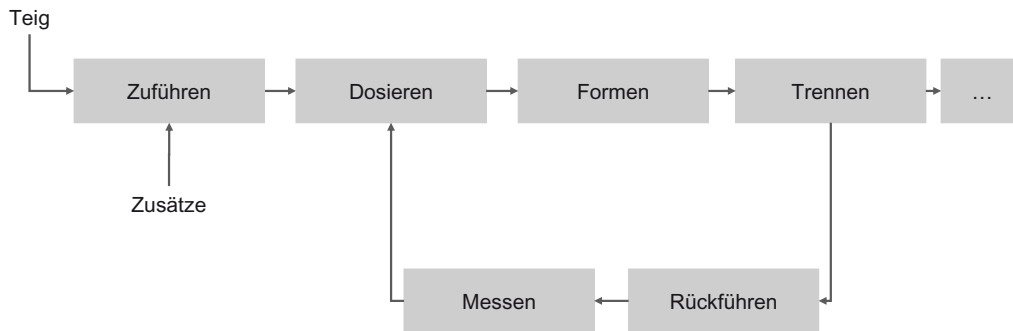


Abbildung 62
Beispiel für ein Funktionsnetz: Teigformmaschine¹⁴⁸

(siehe Abbildung 60).

Bei der Erstellung einer FMEA sind die folgenden aufeinander aufbauenden Schritte zu durchlaufen:

1. Organisatorische Vorbereitung der FMEA:

In dieser Phase sind die Teile bzw. Prozesse, die verantwortlichen Personen bzw. Teams, und die einzuhaltenden Termine zu bestimmen.

2. Inhaltliche Vorbereitung der FMEA:

Ziel dieser Phase ist eine eindeutige Beschreibung des Analysegegenstandes und der angestrebten Funktionalität sowie die Verteilung von Aufgaben im Team.

3. Durchführung der Analyse:

In diesem Schritt sind potenzielle Fehler, Fehlerfolgen und -ursachen zu bestimmen, vorgesehene Maßnahmen zu beschreiben und der derzeitige Zustand nach Bedeutung, Auftreten und Entdeckung zu bewerten.

4. Auswertung der Analyseergebnisse:

In dieser Phase geht es darum, geeignete Maßnahmen zur Risikominimierung bei den Schwachstellen und zu jeder Maßnahme Verantwortlichkeiten und Termine zu bestimmen.

5. Terminverfolgung und Erfolgskontrolle:

Abschließend werden in Phase fünf die geplanten Maßnahmen hinsichtlich des Termins und der Wirksamkeit überwacht und der verbesserte Zustand bewertet.

Anwendungsphasen:

Konzeptbewertung, Entwicklung beim Zulieferer

Funktionsanalyse

Die Funktionsanalyse ist ein strukturiertes Vorgehen zur Entwicklung neuer Produktideen und technischen Lösungsansätzen. Bei der Lösungssuche wird vom Bauteil-Konzept Abstand genommen und Produkte werden als reine Kombination von Funktionen betrachtet. Durch die Lösungsfindung auf abstrakter Ebene in Form von Produktfunktionen kann eine Vielzahl an technischen, zum Teil kontraintuitiven Lösungen generiert werden. Die gewählten Funktionen werden im Anschluss an die Funktionsanalyse in Form von Bauteilen realisiert.¹⁴⁶

Funktionsstrukturen helfen bei der abstrakten Lösungssuche und können auf verschiedene Weisen visualisiert werden wie in Abbildung 61 und Abbildung 62 zu sehen ist.

Zwei gebräuchliche Visualisierungen für das Zusammenspiel verschiedener Funktionen sind

¹⁴⁶ Vgl. Eversheim (2003), Innovationsmanagement für technische Produkte, S. 354

¹⁴⁷ Vgl. Lindemann (2007), Methodische Entwicklung technischer Produkte

¹⁴⁸ Vgl. Pahl/Beitz (1997), Konstruktionslehre

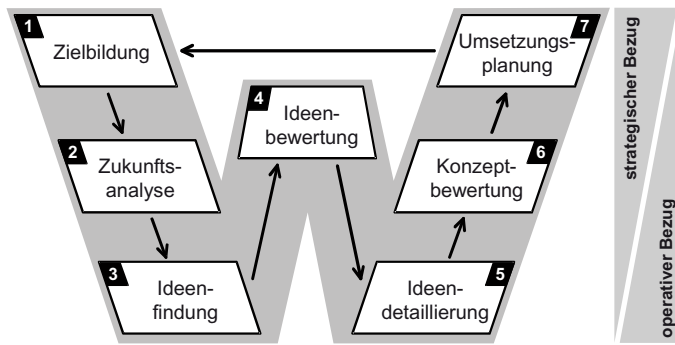


Abbildung 63
Das W-Modell
von EVERSHEIM¹⁵⁰

Funktionsbaum und Funktionsnetz. Der Funktionsbaum ist eine hierarchische Darstellung der Funktionen. Ausgehend von der Hauptfunktion des Systems werden dieser Teilfunktionen zugeordnet. Die Summe der Teilfunktionen bildet die Hauptfunktion ab. Der Vorteil des Funktionsbaums besteht in der Darstellung der Funktionalität eines Produktes.

Das Funktionsnetz ist eine Abbildung von Beziehungen zwischen Funktionen in einem Netz. Der Stoff- oder Informationsaustausch zwischen Funktionen wird darin abgebildet. Diese Relationsorientierung ist der Vorteil dieser Darstellungsform.

Die Funktionsanalyse kann sowohl individuell als auch in einem Team angewandt werden. Sie ist vergleichbar mit der Anwendung der morphologischen Matrix. In den Spalten einer Matrix werden nicht die möglichen Produktattribute sondern die Produktfunktionen aufgeführt. Zu jeder Funktion werden in einer Liste alternative Prinzipien angeboten, aus denen das für den Fall beste Funktionsprinzip auszuwählen ist.

Anwendungsphasen:
Systementwurf, Gesamtsimulation

Ideengenerierung

Diese Methode wird angewendet, um systematisch Kreativität zu nutzen.¹⁴⁹

Ideen werden in verschiedenen Situationen der Produktentwicklung benötigt. Eine Idee wird dabei als Information verstanden, die bisher nicht im vorliegenden Anwendungszusammenhang existiert. Zur Generierung von Ideen werden Kreativitätstechniken verwendet, die systematisch den Ideengenerierungsprozess unterstützen. Die Ideengenerierung ist somit als Sammlung von Kreativitätstechniken zu ver-

stehen, die entsprechend angewendet werden müssen.

Im ersten Schritt wird das Problem analysiert, für das eine Lösung bzw. eine Idee gefunden werden soll. Insbesondere gilt es das Umfeld sowie die Situation zu analysieren, die die Rahmenbedingungen des Ideengenerierungsprozesses definiert. So bestimmen die zur Verfügung stehende Zeit, die Anzahl und Qualifikation an Personen, die Komplexität der Aufgabe etc. die Restriktionen, die beachtet werden müssen. Mit diesen Informationen lässt sich schließlich die richtige Kreativitätstechnik bestimmen (vgl. Morphologischer Kasten, Brainstorming, Brainwriting, Methode 6-3-5 etc.).

Anwendungsphasen:
Systementwurf, Entwicklung beim Zulieferer

Innovation-Roadmap

Mit dieser Methode wird die Planung von Innovationsaufgaben und -aktivitäten unterstützt.

Die Innovation-Roadmap (IRM)-Methodik basiert auf einem strukturierten Fundament, dem W-Modell. Dieses ist durch sieben Phasen gekennzeichnet (siehe Abbildung 63). Innerhalb jeder Planungsphase sind wiederum Einzelschritte durchzuführen. Mit dem systematischen Vorgehen nach der IRM-Methodik werden erfolgreiche Produkte geplant, die zum Unternehmen passen.

In der *Zielbildung* werden strategische Leitlinien und Innovationsziele definiert bzw. aus der übergeordneten Unternehmensstrategie abgeleitet. Neben Unternehmenspotenzialen werden strategische Gestaltungsfelder des Unternehmens bestimmt, die für die anstehende Produktinnovationsplanung relevant sind.

In der *Zukunftsanalyse* werden Innovationspotenziale aufgedeckt und Innovationsaufgaben für das Unternehmen formuliert. Dazu werden Trends analysiert und Auswirkungen auf die Gestaltungsfelder bzw. das Unternehmen ermittelt. Darauf basierend werden Innovationspotenziale abgeleitet, die mit zukünftigen Markt- und/ oder Technologieentwicklungen korrespondieren.

In der *Ideenfindung* entsteht aufbauend auf den abgeleiteten Innovationspotenzialen eine große Breite an zukunftsgerechten Ideen.

Die *Ideenbewertung* hat das Ziel, die Erfolg versprechenden Produktideen zu identifizieren. Neben der Beurteilung markt- und technologie-

¹⁴⁹ Vgl. Specht/Beckmann/Amelingmeyer (2002), F&E-Management, S. 150 f.

¹⁵⁰ Vgl. Eversheim (2003), Innovationsmanagement für technische Produkte, S. 1 f.

seitiger Aspekte werden die strategische Konformität und der Unternehmensnutzen überprüft.

Bei der *Ideendetaillierung* werden zu ausgewählten Produktideen weitere Markt- und Technologieinformationen akquiriert. Ziel ist die Entwicklung von Produktkonzepten. Dazu werden die Produktanforderungen detailliert definiert und zu den daraus abgeleiteten, technischen Aufgabenstellungen Detaillösungen generiert. Das Ergebnis der Ideendetaillierung sind Konzeptvarianten zu einzelnen Produktideen, die nach Möglichkeit bereits durch erste Demonstratoren validiert wurden.

Zielsetzung der *Konzeptbewertung* ist die quantitative Bewertung der erarbeiteten Produktkonzepte. In Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen werden Kosten und Erlöse bzw. der potenzielle Aufwand dem erwarteten Nutzen gegenübergestellt.

Das Ziel der *Umsetzungsplanung* ist es, die unternehmensindividuellen Aktivitäten für die entwickelten Produktideen und -konzepte in der Innovation-Roadmap zusammenzustellen. Das Programm wird als eine Menge von Vorhaben verstanden, die in einem längerfristigen Zeitraum auf den Aufbau, die Nutzung und die Pflege technologischer Innovationspotenziale ausgerichtet sind. Dazu werden die in den vorausgegangenen Schritten erarbeiteten Einzelergebnisse in der Innovation-Roadmap aggregiert. Diese wird genutzt, um die kurz-, mittel- und langfristigen Wechselbeziehungen zwischen Umfeld- und Marktanforderungen

sowie technologischen Produktlösungen und deren Entwicklungen darzustellen.

Anwendungsphasen:
Produktprogrammplanung

Kano Modell

Die Kano-Methode dient der Gewichtung von Produktmerkmalen nach ihrer Kundenrelevanz.¹⁵¹

Das Kano-Modell basiert auf einer Klassifizierung der Merkmale eines Produktes in die drei Klassen Begeisterungsmerkmale, Leistungsmerkmale und Grundmerkmale.¹⁵² Diese Merkmalsklassen sind in Abbildung 64 mit ihren Auswirkungen auf die Kundenzufriedenheit dargestellt.

- **Begeisterungsmerkmale:**
Die Steigerung der Leistung in diesen Bereichen führt zu einem überproportionalen Anstieg der Kundenzufriedenheit. Begeisterungsmerkmale verlieren schnell an Kraft.
- **Leistungsmerkmale:**
Diese Merkmale lassen die Kundenzufriedenheit proportional zur Leistungssteigerung ansteigen.
- **Grundmerkmale:**
Wenn diese nicht ausgeprägt sind, ist der Kunde unzufrieden. Die Steigerung der Leistung vermeidet diese Unzufriedenheit, führt aber nicht zu einer hohen Kundenzufriedenheit.

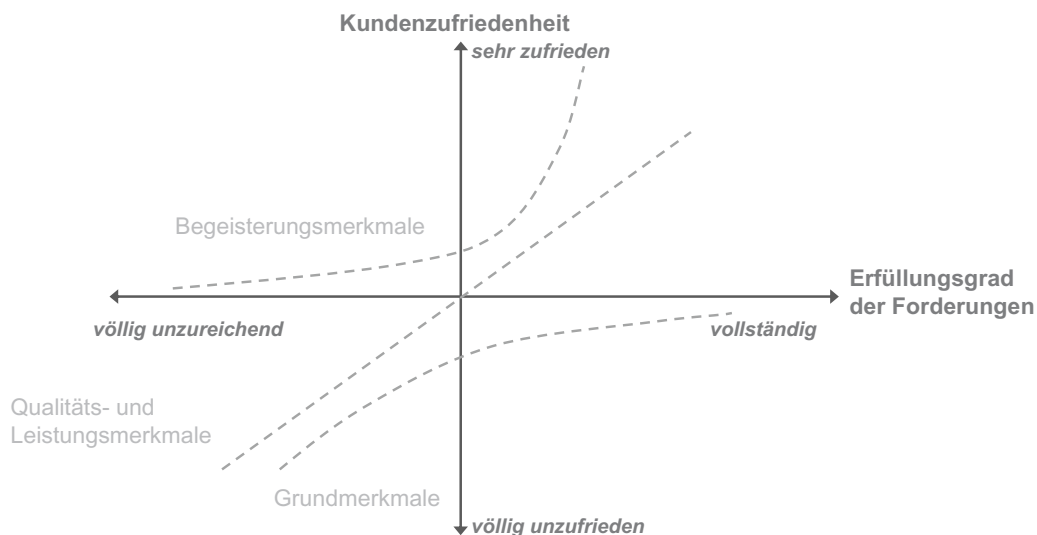


Abbildung 64
Kano-Modell

¹⁵¹ Vgl. Gausemeier/Ebbesmeyer/Kallmeyer (2001), Produktinnovation, S. 76

¹⁵² Vgl. Hinterhuber (2009), Kundenorientierte Unternehmensführung, S. 19-23

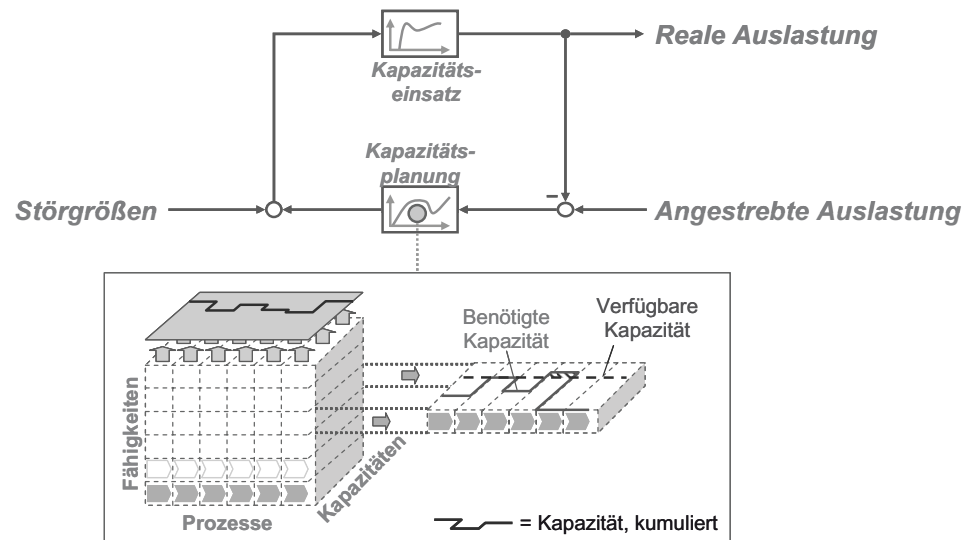


Abbildung 65
Das Kapazitätsmodell

Zunächst werden die Merkmale klassifiziert. Anschließend wird im Kano-Modell die Kundenzufriedenheit über die Leistung im Vergleich zu den Mitbewerbern aufgetragen. Je nach Merkmalsklasse ergeben sich verschiedene Kurvenverläufe.

Anwendungsphasen:

Produktprogrammplanung, Wettbewerbsanalyse, Kundenwunschaufnahme, Konzeptbewertung

Kapazitätsmodell

Das Kapazitätsmodell dient der Abbildung vorhandener Kapazitäten in der Entwicklung hinsichtlich Fähigkeiten und Verwendung. Das Kapazitätsmodell bildet vorhandene Kapazitäten in der Entwicklung hinsichtlich Fähigkeiten und Verwendung ab. Es ist die Grundlage, um eine flexible Zuteilung von Kapazitäten in der F&E gewährleisten zu können und so Warteschlangen oder Unterauslastung zu vermeiden (siehe Abbildung 65).

Mitarbeiter werden ihren Fähigkeiten entsprechenden in standardisierte Kategorien eingeordnet, um so einfache Transparenz über vorhandene oder (ggf. zu stark) limitierte Fähigkeiten zu erzielen. Diese Skill-Set Definition ist Grundlage für die Projektplanung und -steuerung sowie für die gezielte Entwicklung von Fähigkeiten.

In allen Prozessen, in denen die Kapazität an Fähigkeiten beschränkt ist, kann das Kapazitätsmodell eingesetzt werden, um den kontinuierlichen Ablauf der Prozesse zu gewährleisten.

Anwendungsphasen:

Projektorganisation, Angebotserstellung, Entwicklung beim Zulieferer, Prozessbegleitende Kalkulation

Kernkompetenzanalyse

Mit Hilfe dieser Methode werden die Kernkompetenzen eines Unternehmens ermittelt, um beispielsweise die Strategiefindung oder die Erstellung des Produktprogramms zu unterstützen.

Die Kernkompetenzanalyse ist ein Verfahren zur Analyse und Bewertung von Kenntnissen, Fähigkeiten und Technologien im eigenen Unternehmen, die eine hohe Wettbewerbsdifferenzierung erlauben. Kernkompetenzen entstehen langsam durch kollektives Lernen des Unternehmens und sind schwer von Wettbewerbern zu imitieren.

Mit der Kenntnis der Kernkompetenzen eines Unternehmens bietet sich die Möglichkeit, gezielt in solchen Bereichen nach neuen Anwendungen zu suchen, in denen das Unternehmen Wettbewerbsvorteile oder Alleinstellungsmerkmale aufweist. Ziel ist es, aufbauend auf der Analyse der Kernkompetenzen zusätzliche Nutzenpotenziale (z.B. neue Anwendungsfelder für eine technologische Kernkompetenz) zu erschließen. Dem Konzept der Kernkompetenzen liegt anders als beim Unternehmensportfolio keine Diversifikations-, sondern eine Konzentrationsstrategie auf die Stärken des Unternehmens zugrunde. Die Kernkompetenzanalyse beginnt mit der Ermittlung bzw. Analyse des Kernkompetenzbedarfs des Unternehmens (Soll-Situation). Anschließend erfolgt die Erhebung der vorhandenen Kern-

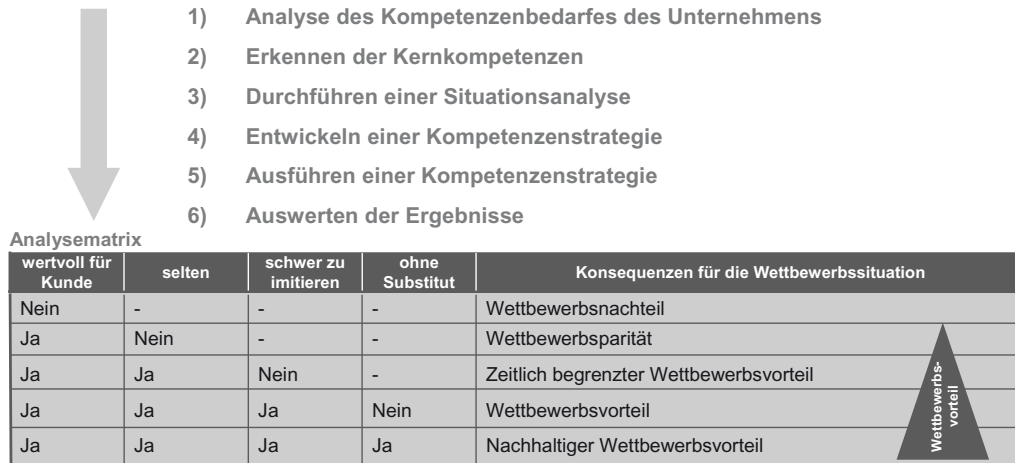


Abbildung 66
Matrix der Kernkompetenzanalyse

kompetenzen (Ist-Situation). Zur Analyse der eigenen Kernkompetenzen kann eine Matrix wie in Abbildung 66 verwendet werden. Dort werden die eigenen Kernkompetenzen hinsichtlich zuvor definierter Kriterien bewertet und die Konsequenz für die Wettbewerbssituation abgebildet. Im dritten Schritt erfolgt ein Soll-Ist-Abgleich, um den Unterschied an Kernkompetenzen abzubilden. In vielen Fällen liegen benötigte Kernkompetenzen nicht vor. Doch es kommt vor, dass Kernkompetenzen vorhanden sind, die jedoch nicht benötigt werden. Somit kann diese Methode ebenfalls dazu genutzt werden, um Kernkompetenzen ggf. abzubauen. Auf Basis der Soll-Ist-Auswertung wird im nächsten Schritt eine Strategie entwickelt, um die fehlenden Kernkompetenzen aufzubauen. Schließlich gilt es diese Strategie umzusetzen bzw. im Nachgang die Wirkung der Strategie zu überprüfen und ggf. anzupassen.

Diese Methode lässt sich überall dort anwenden, wo untersucht werden soll, ob das Unternehmen in der Lage ist, die geforderten Aufgaben zu erfüllen.

Anwendungsphasen:

Strategieprüfung, Produktprogrammplanung, Wettbewerbsanalyse

Kreativitätstechniken

Kreativitätstechniken beschleunigen und standardisieren die Lösungssuche. Sie unterstützen insbesondere die Lösungsfindung im Team, indem sie eine Anleitung zur intuitiven und/oder diskursiven Lösungssuche bieten.¹⁵³

Im Laufe des letzten Jahrhunderts wurden zahlreiche Kreativitätstechniken ausgearbeitet und in der Industrie etabliert. Es werden intuitive, diskursive sowie kombinierte Kreativitätstechniken unterschieden (siehe Abbildung 67).

Die wohl bekanntesten Kreativitätstechniken Brainstorming (intuitiv), Morphologische Analyse (diskursiv) und TRIZ (kombiniert) werden in diesem Kapitel gesondert vorgestellt.

Die Wahl der Kreativitätstechnik beeinflusst das Ergebnis maßgebend. Während manche Methoden eher zum besseren Verständnis und zur Inspiration beitragen, bringen andere konkrete Lösungen hervor. Bei der Wahl ist also zu beachten, wie konkret die Problemstellung gefasst ist.



Abbildung 67
Überblick über die Techniken der moderierten Ideen-generierung

¹⁵³ Vgl. Gausemeier/Ebbesmeyer/Kallmeyer (2001), Produktinnovation, S. 124 f.

Anwendungsphasen:

Systementwurf, Entwicklung beim Zulieferer

Kundenzufriedenheitsanalyse

Mit Hilfe einer Kundenzufriedenheitsanalyse kann aufgezeigt werden, ob und wie gut ein Produkt oder Dienstleistung die Erwartungen potenzieller Käufer trifft. Durch den Einsatz dieser Methode wird die Kundenzufriedenheit qualitativ bzw. quantitativ messbar, um Mängel am Produkt oder der Dienstleistung zu beseitigen bzw. den Erfüllungsgrad von Erwartungen an das Produkt zum Positiven hin zu verändern.

Jeder Kunde stellt Erwartungen an ein Produkt bzw. eine Dienstleistung. Werden die Erwartungen erfüllt, spiegelt sich das in der Zufriedenheit des Kunden wider.

Der Grad an Zufriedenheit bzw. Unzufriedenheit ist somit proportional zu der Erfüllung von Erwartungen durch das Produkt bzw. die Dienstleistung.

Der Grad an Zufriedenheit kann durch objektive sowie subjektive Verfahren erhoben werden. Objektive Verfahren werden in der Regel dann eingesetzt, wenn das Produkt bereits am Markt vertrieben wird. Messgrößen sind in diesem Zusammenhang beispielsweise der Umsatz oder die Absatzzahlen.

Subjektive Verfahren können sowohl vor als auch nach Verkaufsstart genutzt werden. Bei subjektiven Verfahren wird die empfundene Zufriedenheit jedes einzelnen Kunden betrachtet. Da nicht jeder einzelne Kunde hinsichtlich seiner Zufriedenheit mit dem Produkt befragt werden kann, beschränkt sich die Befragung in der Regel auf eine signifikante Anzahl von Kunden, so dass statistisch richtige Aussagen abgeleitet werden können.

In der gängigen Literatur sind verschiedene Ansätze zur Durchführung von Kundenzufriedenheitsanalysen zu finden.¹⁵⁴ Im Folgenden soll ein generisches Vorgehen beschrieben werden:

Im ersten Schritt werden diejenigen Kunden ausgewählt, deren Zufriedenheit mit dem Produkt (z.B. Auto) ermittelt werden soll. Anschließend erfolgt die Definition von Kundenerwartungen (z.B. Sportlichkeit) sowie deren Erfüllungsgrad (hohe Sportlichkeit) aus Sicht des Unternehmens. Aus den Kundenerwartungen werden im nächsten Schritt Kriterien (z.B. Beschleunigungsverhalten) bzw. Messgrößen (z.B. Leistung in PS) abgeleitet, um den Erfül-

lungsgrad jeder einzelnen Kundenerwartung beschreiben zu können. Die Kriterien bzw. Messgrößen können quantitative oder qualitative Eigenschaften aufweisen. Im Falle einer quantitativen Messgröße werden die Erwartungen der befragten Kunden mit einem festen Wert beschrieben (z.B. 200 PS). Qualitative Messgrößen geben mehr die Empfindung des Kunden wieder (mittlere bzw. hohe Beschleunigung). Nach der Definition von zu ermittelnden Kundenerwartungen wird die Methode festgelegt, mit der die ausgewählten Kunden hinsichtlich ihrer Erwartungen befragt werden sollen. Grundsätzlich lässt sich zwischen einem Fragebogen und Interview sowie Mischformen unterscheiden. Wurde eine Methode ausgewählt, erfolgt die Datenerhebung. Anschließend werden die Daten ausgewertet, analysiert und interpretiert. Die Datenauswertung gibt in Summe den Erfüllungsgrad an Kundenerwartungen wieder. Die Analyse zeigt den Unterschied zwischen Soll-Erfüllungsgrad und Ist-Erfüllungsgrad auf. Schließlich lassen sich im Rahmen der Analyse Maßnahmen ableiten, um die Soll-Ist-Abweichung im Sinne des Unternehmens zu reduzieren.

Die Soll-Ist-Abweichung kann negativ als auch positiv vorliegen. Im negativen Fall wurden die Erwartungen der Kunden nicht getroffen. Im positiven Fall übertrifft das Produkt die Erwartungen. Da eine Übererfüllung stets mit höheren Kosten verbunden ist, muss ebenfalls in diesem Fall geprüft werden, ob die Übererfüllung ökonomisch sinnvoll ist.

Die Kundenzufriedenheitsanalyse kann an verschiedenen Stellen im Produktentstehungsprozess eingesetzt werden. Schon während der Erstellung des Lastenheftes kann diese Methode helfen, die Kriterien bzw. Anforderungen an ein Produkt zu definieren. Im Entwicklungsprozess kann diese Methode eingesetzt werden, um bspw. mit Hilfe von Prototypen die Soll-Ist-Abweichung der Erfüllung von Erwartungen an das Produkt zu ermitteln. Schließlich sollte diese Methode verwendet werden, um die ersten, unter Serienbedingungen entstandenen, Produkte auf die Kundenwirkung hin zu analysieren, um letzte Mängel vor Verkaufsstart zu beseitigen.

Anwendungsphasen:

Strategieprüfung, Produktprogrammplanung, Wettbewerbsanalyse, Kundenwunschaufnahme

¹⁵⁴ Vgl. d'Alquen (2000), Kundenzufriedenheitsanalyse : Kundenzufriedenheit ist kein Zufall - mehr Erfolg durch zufriedene Kunden!

Lösungsraum-Management

»The manager's job is to prevent decisions from being made too quickly. But once a decision is made, we change it only if absolutely necessary.« So wird ein General Manager von Toyotas Karosserieentwicklung zitiert, der damit die Philosophie des »Set-Based Concurrent Engineering« beschreibt: Der Lösungsraum von Entwicklungsprojekten wird erst dann eingegrenzt, wenn dies auf Basis belastbarer Daten und Erkenntnisse möglich ist. Späte Iterationen und nachteilige Konzeptentscheidungen sollen so zugunsten der Effizienz von Produktentwicklungen weitgehend vermieden werden. Das Ziel des Lösungsraum-Managements besteht darin, Lösungsalternativen erst dann auszuwählen, wenn eine ausreichende Informationsbasis vorhanden ist (»Frontloading«).

Die Frage, wie intensiv der Lösungsraum als Gesamtheit möglicher Lösungsalternativen untersucht wird und zu welchem Zeitpunkt er eingegrenzt wird, stellt sich in jedem Produktentwicklungsprojekt. Je nach Detaillierungsgrad der in der Funktionsstruktur beschriebenen Hauptfunktionen ergibt sich eine Anzahl der Lösungsräume im Projekt. Je Hauptfunktionsträger wird ein Lösungsraum definiert, der über seine Freiheitsgrade beschrieben wird (siehe Abbildung 68). Je stärker die Freiheitsgrade je Hauptfunktion eingegrenzt werden, desto geringer ist der im Projekt zu untersuchende Lösungsraum. Wird zum Beispiel das Lösungsprinzip einer Funktion bereits vorgegeben, stellt dies bereits eine signifikante Eingrenzung des Lösungsraumes dar. Über die Festlegung der Lösungsraumgröße je Hauptfunktion

durch die Definition der zugelassenen Freiheitsgrade wird so gesteuert, an welchen Stellen im Produkt auf der einen Seite Funktionen mit hohen Synergieeffekten zu bereits bestehenden Lösungen ausgestaltet werden und wo auf der anderen Seite Lösungsräume zur Realisierung einer innovativen Lösung besonders intensiv zu untersuchen sind.

Um die Lösungsraumgrößen der einzelnen Produktfunktionen untereinander zu priorisieren und zu bestimmen, wird vor Beginn der Lösungsraumuntersuchung in der Planungsphase eine Lösungsraum-Strategie je Funktion festgelegt. Für die Lösungsraum-Strategie existieren einfache Kriteriengerüste, anhand derer diese bestimmt wird.¹⁵⁵

Anwendungsphasen:

Systementwurf, Virtuelle Systemauslegung, Konzeptbewertung, Konstruktion beim OEM, Entwicklung beim Zulieferer

Morphologischer Kasten

Die Morphologische Analyse dient der systematischen Methodenfindung. Ihre Einordnung in die Kreativitätstechniken ist umstritten. Diese Methode ergibt eine umfassende Aufzählung von Lösungsmöglichkeiten oder Kombinationen von Merkmalsausprägungen, den sogenannten Morphologischen Kasten.¹⁵⁶

Ein Morphologischer Kasten ist eine Tabelle. In der ersten Spalte steht in jeder Zeile ein Merkmal. In den folgenden Spalten sind die Ausprägungen dieses Merkmals aufgelistet.

Zunächst werden die Merkmale des Produkts (z.B. das Material) gesammelt und in die

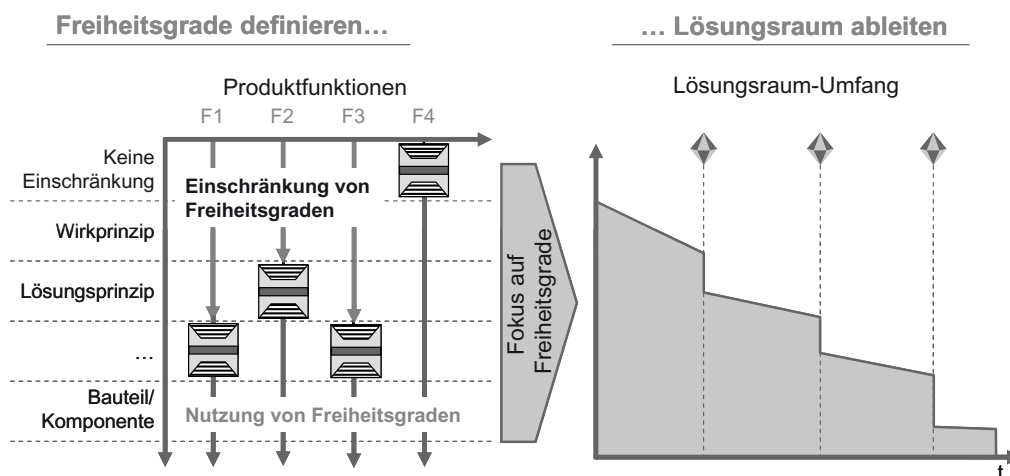


Abbildung 68
Ableitung des Lösungsraum-Umfangs aus den Freiheitsgraden je Produktfunktion

¹⁵⁵ Vgl. Lenders (2009), Beschleunigung der Produktentwicklung durch Lösungsraum-Management

¹⁵⁶ Vgl. Eversheim (2003), Innovationsmanagement für technische Produkte, S. 364

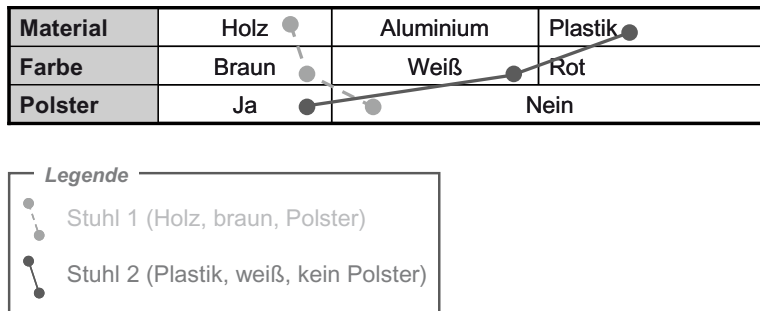


Abbildung 69
Beispiel für einen
Morphologischen Kasten

erste Spalte einer leeren Tabelle eingetragen. In einem zweiten Schritt wird die Tabelle um die Ausprägungen jedes Merkmal (z.B. Edelstahl, Aluminium) ergänzt. Schließlich kann man aus der Tabelle mögliche Merkmalskombinationen aussuchen, indem man verschiedene Merkmalsausprägungen verbindet. In Abbildung 69 wird dieses Vorgehen am Beispiel zweier Stühle beschrieben.

Abbildung 70
Nutzwertanalyse zum
Vergleich von zwei alternativen Akkumulatoren

Anwendungsphasen:
Systementwurf, Entwicklung beim Zulieferer

Nutzwertanalyse			Alternativen			
			Akku 1		Akku 2	
	Ziel	Zielgewichte	Zielertrag	Zielertrag x Gewichtung	Zielertrag	Zielertrag x Gewichtung
Ziele	Laufzeit	5	8	$5 \times 8 = 40$	5	$5 \times 5 = 25$
	Kosten	3	5	$3 \times 5 = 15$	10	$3 \times 5 = 30$
	Volumen	1	9	$1 \times 9 = 9$	10	$1 \times 10 = 10$
			Wertsynthese:	$40+15+9 = 64$	Wertsynthese:	$25+30+10 = 65$
			65 > 64, daher Empfehlung für Alternative 2			

Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse wird eingesetzt um zwischen mehreren Alternativen zu einer Entscheidung zu kommen. Beispielsweise wird diese Methode zur Ermittlung der Effektivität eines Projekts eingesetzt um den Gesamtbeitrag des Projekts zu gegebenen Zielen zu bewerten.

Die Nutzwertanalyse ist eine Planungsmethode zur systematischen Entscheidungsvorbereitung bei der Auswahl von Projekialternativen. Sie analysiert eine Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die einzelnen Alternativen entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines mehrdimensionalen Zielsystems zu ordnen.¹⁵⁷ Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 70 aufgeführt.

Die Vorgehensweise der Nutzwertanalyse ist in Abbildung 71 aufgezeigt. Dabei werden zunächst die Ziele bestimmt und priorisiert (Zielsystem). Die Priorisierung kann z.B. über paarweise Vergleiche erfolgen. Anschließend wird jedem Ziel ein Gewichtungsfaktor zugeordnet (Zielgewichte). Die Alternativen werden in den Zielkategorien bewertet und quantifiziert (Zielerträge). Eine Multiplikation der Zielerfüllungspunkte mit den Gewichtungsfaktoren ergibt den Nutzwert den eine Alternative in einer Kategorie besitzt. Die einzelnen Nutzwerte werden für jede Alternative addiert (Wertsynthese). Anhand der Summen der einzelnen Alternativen kann eine Alternative ausgewählt werden.

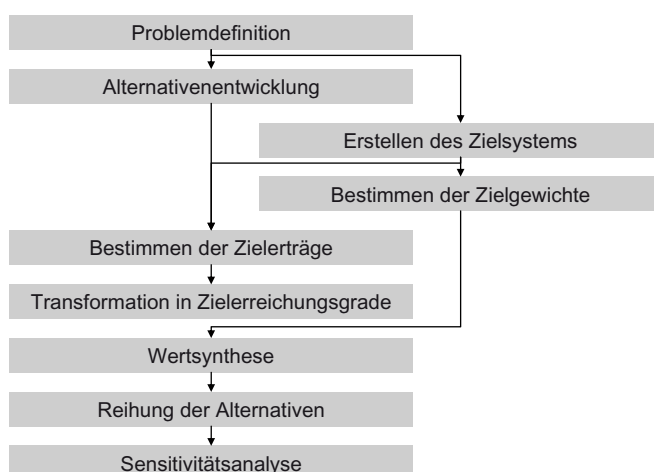
Anwendungsphase:
Konzeptbewertung

Primäre Marktforschung

Diese Methode wird eingesetzt, um eine möglichst fundierte und vernünftige Marketingentscheidungen treffen zu können.

Unter primärer Marktforschung versteht man die Informationsgewinnung über Erhebungen am Markt, d.h. die systematische Sammlung, Aufbereitung, Analyse und Interpretation von Daten über Kunden und Wettbewerber. Die Methoden der Primären Marktforschung sind in Abbildung 72 aufgeführt. Die Erhebung von Primärdaten (»Primäre Marktforschung«) ist stets aufwändiger als die Nutzung vorhandener Sekundärdaten (»Sekundäre

Abbildung 71
Ablauf
der Nutzwert-
analyse



¹⁵⁷Vgl. Zangenmeister (1976), Nutzwertanalyse in der Systemtechnik - Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projekialternativen, S. 45

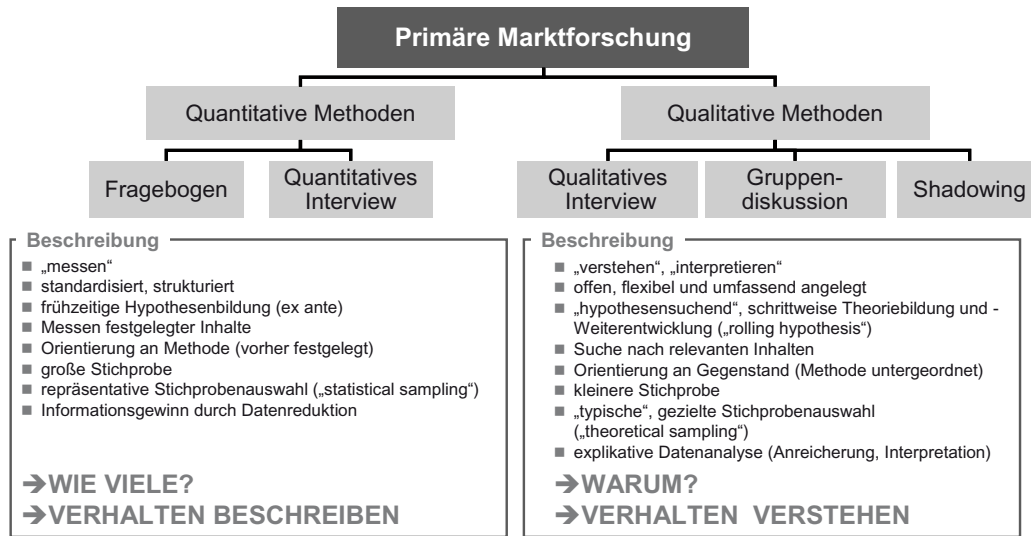


Abbildung 72
Methoden der Primären
Marktforschung

Marktforschung«). Grob wird dabei zwischen den eher qualitativen und den quantitativen Methoden unterschieden. Zu den qualitativen Marktforschungsmethoden gehören zum Beispiel Tiefeninterviews bzw. Leitfadeninterviews, Gruppendiskussionen (auch Fokusgruppe) und Workshops. Die qualitative Auswertung erfolgt auf Basis der Tonband- bzw. Videoaufnahmen oder anhand der Mitschriften. Von quantitativer Forschung spricht man, wenn größere Stichproben befragt werden und wenn diese quantitativ statistisch z. B. in Form von Tabellen ausgewertet werden. Die quantitativen Daten lassen sich mit verschiedenen statistischen Verfahren analysieren, die in spezieller Statistiksoftware wie SPSS oder SAS, aber teilweise auch in Programmen zur Tabellenkalkulation (etwa Microsoft

Excel) verfügbar sind.

Ein generisches Vorgehen für die Primäre Marktforschung wird in Abbildung 73 aufgezeigt. Es wird zwischen einem quantitativen sowie qualitativen Vorgehen unterschieden.

Anwendungsphasen:

Wettbewerbsanalyse, Entwicklung beim Zulieferer

Produkt-Robustheitsmodell

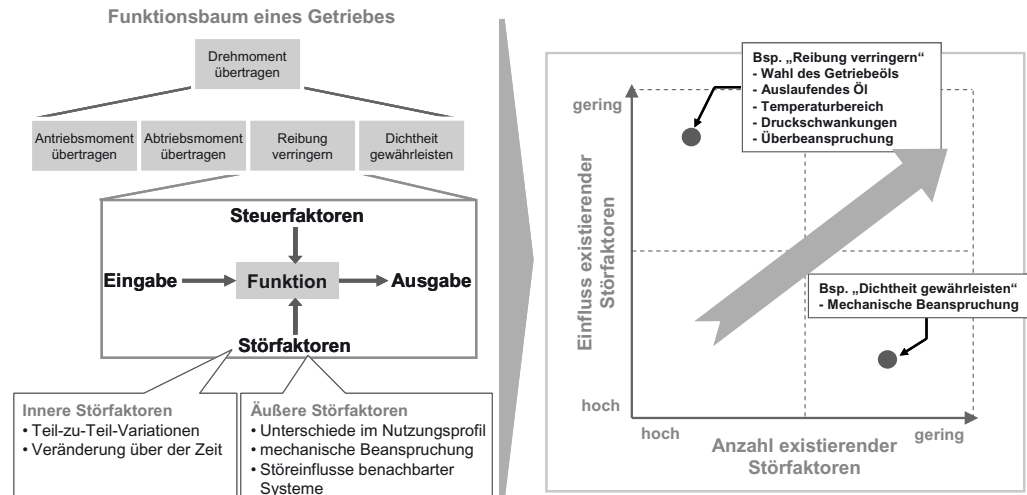
Ziel des Produkt-Robustheitsmodells ist es, Stör- und Steuerfaktoren zu identifizieren und auf Basis dessen, das Produkt in Summe robuster gegenüber Änderungen zu gestalten.

Die zunehmende Funktionsintegration hat in verschiedenen Branchen gezeigt, dass Instru-



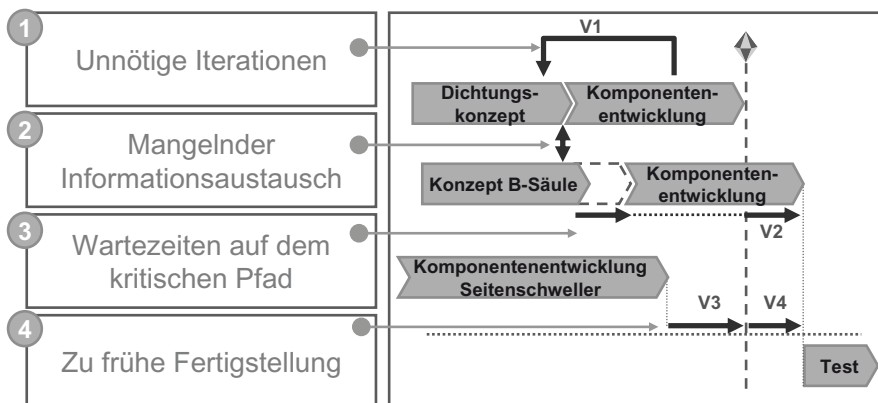
Abbildung 73
Durchführung quantitativer
und qualitativer Markt-
forschung

Abbildung 74
Funktionsbaum am Beispiel
eines Getriebes



mente zur Bewertung der Robustheit vielfach noch fehlen oder nur bedingt einsatzfähig sind. Ein transparentes Robustheitsmodell hilft dabei, verbleibenden Bedarf zur Perfektionierung insbesondere neu entwickelter Produktfunktionen zu erkennen und sicher umzusetzen. Das Robustheitsmodell dient der Identifikation von Stör- und Steuerfaktoren: Letztere haben einen regulierenden, ausgleichenden Einfluss auf die durch Störfaktoren beeinträchtigten Funktionen. Das Robustheitsmodell wird aus der Funktionsstruktur eines Produktes abgeleitet, wodurch erstens ein bauteilübergreifendes Optimierungspotenzial erschlossen wird und zweitens die Interdependenz zwischen Störfaktoren, Steuerfaktoren und Funktionen transparent bleibt. Die Analyse der Robustheit einer Funktion erfolgt durch die Beschreibung der konzeptionellen Eingabeleistung, der Funktionslogik und der Ausgabeleistung. Anschließend werden mögliche Störfaktoren, welche die Funktionslogik verändern können, identifiziert und ausgleichende Steuerfaktoren abgeleitet (siehe Abbildung 74).

Abbildung 75
Gründe für die Notwendigkeit eines Prozesstaktes



Im Mittelpunkt dieser Methode steht die Funktionsstruktur des Produktes. Diese gilt es für das Produkt im geforderten Detaillierungsgrad aufzubauen. Liegt das Funktionsmodell vor, so werden Steuer- und Störfaktoren für relevante bzw. kritische Funktionselemente ermittelt. Für ausgewählte Funktionen wird anschließend ein Portfolio erstellt, das den Einfluss und Anzahl von Steuer- und Störfaktoren transparent abbildet. Alle Steuer- und Störfaktoren im oberen rechten Quadranten sind als unkritisch einzustufen, während Steuer- und Störfaktoren im unteren linken Quadranten die Produktfunktion signifikant beeinflussen.

Werden für alle Funktionen solche Portfolios aufgebaut, liegt eine Zuordnung von Steuer- bzw. Störgröße und Funktion vor. So kann ex ante aufgezeigt werden, welche Störgrößen auf welche Funktionen wirken und ob die Wirkung die Funktion signifikant beeinflusst. Diese Übersicht hilft der Produktentwicklung auf bereits bekannte Steuer- bzw. Störgrößen einzugehen und Funktionen robust zu gestalten.

Diese Methode findet bei der Auslegung des Produktes Anwendung.

Anwendungsphasen:

Virtuelle Systemauslegung, Konzeptbewertung, Virtuelle Inbetriebnahme

Prozesstaktung

Mit Hilfe der Prozesstaktungs-Methode lässt sich die Synchronisation parallel laufender Prozesse für ein Projekt realisieren. Es wird ein für alle gültiger Takt vorgegeben, der als Orientierung dient. Die gleichmäßigen Takte können dabei als Etappenziele angesehen werden. So lassen sich die Voraussetzungen für

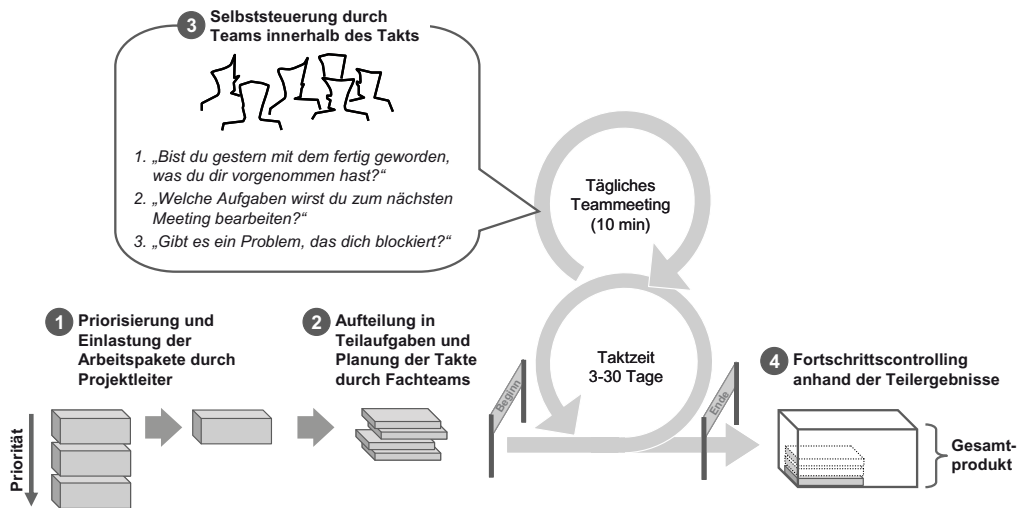


Abbildung 76
Prozesstaktung unter
Anwendung von SCRUM

eine bessere Auslastung von Ressourcen und eine Verkürzung der Entwicklungszeit schaffen, um Kostenoptimierungen zu realisieren. Um eine stabile Taktung zu erreichen, müssen die Einflüsse eliminiert werden, die der Taktung zuwider laufen, was insbesondere durch Standardisierung erreicht wird (siehe Prozessstandardisierung in der Produktentwicklung). Standardisierte Prozesse lassen sich gut takten und schließlich im Sinne eines kontinuierlichen Flusses anordnen.

Während Prozesstaktungen im vorwiegend deterministisch geprägten Wertschöpfungsstufen wie der Produktion bereits erfolgreich angewendet wird, sind in der Produktentwicklung bisher nur generische Ansätze zu finden. Die Abbildung 75 zeigt beispielhaft Gründe für die Notwendigkeit einer Prozesstaktung auf.

Das Vorgehen der Prozesstaktung soll in Anlehnung an die SCRUM Methode vorgestellt werden (siehe Abbildung 76). Der Begriff SCRUM stammt aus dem Englischen und bezeichnet einen Zustand, in dem Gedränge herrscht. Um das Gedränge zu beherrschen, müssen im ersten Schritt durch den Projektleiter Arbeitspakete definiert werden. Die Definition erfolgt nach verschiedenen unternehmensspezifischen Kriterien, wie beispielsweise Dringlichkeit oder Wichtigkeit. Im zweiten Schritt wird das Arbeitspaket in Teilarbeitspakete unterteilt und den jeweiligen ausführenden Ressourcen zugeordnet. Neben der Aufteilung wird ebenfalls ein Takt definiert, um den Fortschritt der einzelnen Teilarbeitspakete abzustimmen. Die Taktzeit kann drei bis dreißig Tage betragen.

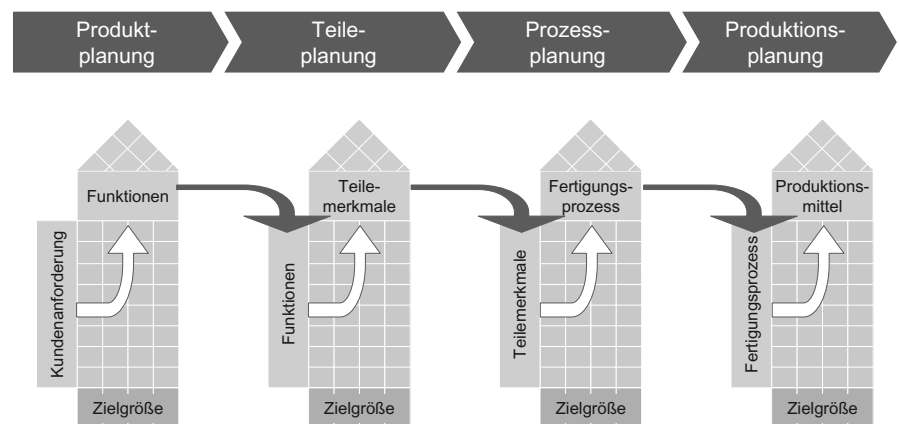
In selbstgesteuerten Teammeetings werden an die jeweiligen Teammitglieder drei Fragen gestellt (siehe Abbildung 76). Insbesondere die letzte Frage: »Gibt es ein Problem, das dich blockiert« gibt Hinweise, ob Tätigkeiten innerhalb eines Prozesses im geplanten Zeithorizont durchgeführt werden können. Selbst wenn Probleme auftreten, kann die Verzögerung der Aufgabenerfüllung in den Takt mit einbezogen werden. Schließlich findet ein Fortschrittscontrolling statt, um den Verlauf des gesamten Projektes transparent zu erschließen.

*Anwendungsphasen:
Projektorganisation*

QFD

Das Quality Function Deployment (QFD) ist eine Methode zur systematischen Gestaltung der gesamten Produktentstehungsphase mit maximaler Kundenorientierung (Siehe Abbildung 77).

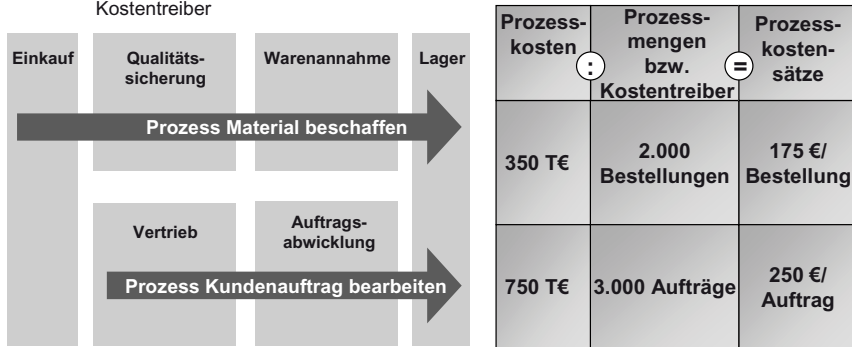
Abbildung 77
Phasen des Quality Function
Deployment ¹⁵⁸



¹⁵⁸ Vgl. Pfeifer (2001), Qualitätsmanagement, S. 44

¹⁵⁹ Vgl. Pfeifer (2001), Qualitätsmanagement, Akao (1990), Quality function deployment

1. Abbildung des Unternehmensgeschehens in Prozessen
2. Ermittlung der Prozesskostensätze
3. Verursachungsgerechte Verrechnung auf die Produkte nach Inanspruchnahme der Kostentreiber



1) RPK= Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung

Abbildung 78
Ressourcenorientierte
Prozesskostenrechnung

Bei der QFD-Methode gelten die Erwartungen des Kunden als Grundparameter für die Realisierungsvorstellungen der Ingenieure, die als Mittler zwischen Kundenanforderungen und dem technisch Machbaren fungieren.¹⁵⁹

Im Rahmen der QFD werden vier Phasen unterschieden. Zunächst werden in der Produktplanung die Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt aufgenommen. Dabei sind vor allem Kundenanforderungen aber auch externe und unternehmensinterne Richtlinien von Bedeutung. Die ermittelten Anforderungen werden entsprechend der Bedeutung gewichtet und in das House of Quality, dem matrixbasierten Werkzeug des QFD, eingetragen. Für jede Anforderung werden nun technische Funktionen ermittelt, die eine Realisierung der Erwartungen ermöglichen. Die technischen Funktionen werden mit den Anforderungen in Beziehung gesetzt, wobei zwischen starken (Faktor 9), mittelstarken (Faktor 3) und schwachen (Faktor 1) Beziehungen unterschieden wird. Nun werden die Gewichtungsfaktoren der gestellten Erwartungen mit den Faktoren der Beziehungen multipliziert und es entsteht somit eine Rangreihe der bedeutenden Funktionen des Produktes.

In der Komponentenplanung werden analog die zuvor ermittelten technischen Funktionen in einem House of Quality mit Spezifikationen der verschiedenen Produktkomponenten in Beziehung gesetzt. Danach wird in der Phase der Prozessplanung die Beziehungsmatrix zwischen Produktspezifikationen und Forderungen an die Bearbeitungsprozesse aufgestellt, bevor schließlich in der in der Produktionsplanung die Bearbeitungsprozesse den Fertigungs- und Prüfmitteln gegenübergestellt werden.

Die QFD-Methode wird nicht als einmaliger Vorgang in einem Projekt durchgeführt,

sondern ist als kontinuierlicher Prozess zu realisieren. Somit können sich ändernde Kundenanforderungen und in einer frühen Projektphase noch nicht ersichtliche Restriktionen auch während der Produktentwicklung registriert und entsprechend umgesetzt werden.

Anwendungsphasen:

Produktprogrammplanung, Kundenwunschaufnahme, Machbarkeitsprüfung

Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung

Die Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung dient der Verbesserung der Produktkalkulation und der konstruktionsbegleitenden Kosteninformationen.

Die Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung (RPK) bietet ein integriertes und prozessorientiertes Kostenrechnungssystem, mit dem eine vollständige und verursachungsgerechte Verrechnung von Kosten möglich ist. Die RPK verbindet Elemente aus mehreren bekannten Methoden der Kostenrechnung und ermittelt den Ressourcenverzehr in Abhängigkeit identifizierter Kostentreiber auf Teilprozessebene. Die RPK lässt sich für unterschiedliche Bewertungszwecke (z.B. Variantenkosten eines Prozesses) auslegen und ermöglicht so eine flexible Kombinierbarkeit. Diese Art der Prozesskostenrechnung orientiert sich an den eingesetzten Ressourcen (siehe Abbildung 78).

Im ersten Schritt gilt es zunächst alle relevanten Prozesse aufzunehmen und die darin verwendeten Ressourcen zu identifizieren. Anschließend erfolgt die Ermittlung des Aufwandes bzw. der Prozesskostenstätze, den die einzelnen Ressourcen in den jeweiligen Prozessschritten verursachen. In einem weiteren Schritt müssen die relevanten Kostentreiber identifiziert werden. Können die Kostentreiber mit Prozessschritten in Verbindung gebracht werden, so lässt sich ebenfalls ein Zusammenhang mit den eingesetzten Ressourcen sowie deren Aufwand abbilden. Auf diese Weise können Kosten ressourcenorientiert zugeteilt werden.

Anwendungsphasen:

Projektorganisation, Angebotserstellung, Prozessbegleitende Kalkulation

SIL-Methode

Die SIL-Methode (Systematische Integration von Lösungskomponenten) zielt auf die Zusammenführung von Einzellösungen zu einer Gesamtlösung. Aus dieser Methode resultieren

Zukunftsprojektionen, Potenziale, Innovationsaufgaben, Lösungskonzepte und Produktkonzepte.¹⁶⁰

Bei der SIL-Methode handelt es sich um eine Gruppen- und Kreativtechnik. Diese Methode ist nicht zu verwechseln mit SiL (Software-in-the-Loop).

Jedes Gruppenmitglied überlegt sich zu einem definierten Problem eine potenzielle Lösung. Zwei Gruppenmitglieder tragen ihre Lösungen vor, die dann von dem gesamten Team gemeinsam zu einer Gesamtlösung zusammengeführt werden. So wird mit jedem weiteren Lösungsvorschlag verfahren, bis in einer vorgegebenen Zeit eine Gesamtlösung für die vorgegebene Problemstellung entstanden ist.

Anwendungsphasen:

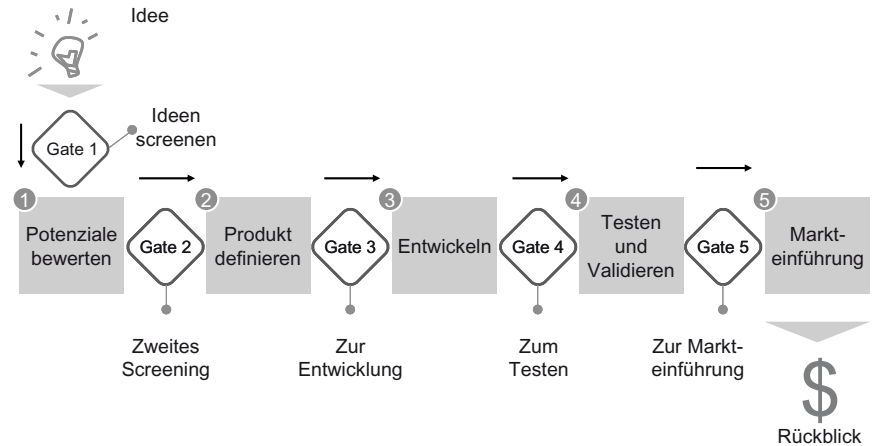
Systementwurf, Entwicklung beim Zulieferer

Stage-Gate®-Prozess

Ziel der Stage-Gate-Methode ist es, eine Prozessabfolge sowohl in der Effizienz als auch in der Effektivität zu verbessern.

Der Stage-Gate-Prozess geht auf COOPER zurück und führt ein Projekt für ein neues Produkt von der Idee bis zur Markteinführung. Er unterteilt ein Entwicklungsprojekt in verschiedene kleinere Abschnitte und sogenannte »Gates«. Bevor ein Abschnitt begonnen werden kann muss jeweils ein Gate passiert werden. Diese Gates kontrollieren den Prozess und dienen als Qualitätskontrolle und KO-Kriterien. Jede Stufe ist dafür vorgesehen, die für den weiteren Fortschritt des Projekts zum nächsten Gate oder zum nächsten Entscheidungspunkt benötigten Informationen zu sammeln. Die Stufen sind dabei keinesfalls funktionspezifisch, sondern umfassen mehrere Funktionen wie Marketing oder F&E (siehe Abbildung 79).

Für die Anwendung der Stage-Gate-Methode muss der Entwicklungsprozess bereits definiert sein. Für den unternehmensspezifischen Entwicklungsprozess gilt es anschließend Gates zu definieren, die die Prozessabfolge in logisch zusammenhängende Prozessblöcke strukturiert. Im nächsten Schritt werden für jedes Gate Kriterien definiert, um zum einen den Projektfortschritt sicher zu stellen und zum anderen die Ergebnisqualität zu überprüfen. Der Projektfortschritt lässt sich durch einfache Checklisten überprüfen. Erst wenn alle zum Zeitpunkt



erforderlichen Daten und Informationen vorliegen, soll die Prozessfolge zum nächsten Gate fortgesetzt werden. Die Checklisteninhalte sind entsprechen den Prozessblöcken zu erstellen.

Die Ergebnisqualität soll ebenfalls an den Gates überprüft werden. Mit dieser Maßnahme soll das Projekt schon sehr früh hinsichtlich beispielsweise Machbarkeit, Aufwand bzw. Kosten oder Akzeptanz beim Kunden überprüft werden. Übersteigen die tatsächlichen Kosten die Plankosten oder verändern sich Kundenanforderungen, so gilt es das Projekt selbst in Frage zu stellen und die Projektziele ggf. anzupassen.

Die Stage-Gate-Methodik wird bisher vor allem in der Produktentwicklung eingesetzt, wobei sich dieses systematische Vorgehen ebenfalls zur Organisation und zum Management anderer Prozesse einsetzen lässt.

Anwendungsphasen:

Projektorganisation

SWOT-Analyse

Die SWOT-Analyse (Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats-Analyse) dient der Ermittlung von Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken.¹⁶²

Diese Methode ist ein Werkzeug des strategischen Managements und unterstützt die Kernkompetenz-Analyse. In Gruppenworkshops werden alle vier Felder (Chancen, Risiken, Stärken, Schwächen) der Reihe nach beleuchtet und zu jedem Feld Inhalte gesammelt. Die Ermittlung von Chancen und Risiken wird als externe Analyse bezeichnet. Interne Analyse beschreibt die Bestimmung von Stärken und Schwächen (siehe Abbildung 80).

Abbildung 79
Der Stage-Gate-Prozess
nach COOPER¹⁶¹

¹⁶⁰ Vgl. Eversheim (2003), Innovationsmanagement für technische Produkte, S. 372

¹⁶¹ Vgl. Cooper (2002), Top oder Flop in der Produktentwicklung, S. 146

¹⁶² Vgl. Gausemeier/Ebbesmeyer/Kallmeyer (2001), Produktinnovation, S. 109

SWOT-Analyse		Interne Analyse	
		Strengths (Stärken)	Weaknesses (Schwächen)
Externe Analyse	Opportunities (Chancen)	Nutzen von neuen Chancen, die gut zu den Stärken des Unternehmens passen	Schwächen eliminieren, um neue Chancen zu nutzen
	Threats (Gefahren)	Stärken nutzen, um Bedrohungen abzuwenden	Verteidigungsstrategien entwickeln, um vorhandene Schwächen nicht zum Angriffspunkt von Bedrohungen werden zu lassen

Abbildung 80
SWOT-Analyse

Anschließend werden die Wechselwirkungen zwischen je zwei Feldern untersucht (z.B. »Wie können wir unsere Stärken einsetzen um unsere Chancen zu nutzen?«). So werden die Stärken und Schwächen, Chancen und Risiken und mögliche Wechselwirkungen bekannt und die aktuelle Situation sowie zukünftige Entwicklungen transparenter.

Anwendungsphasen:
Konzeptbewertung

Szenariotechnik

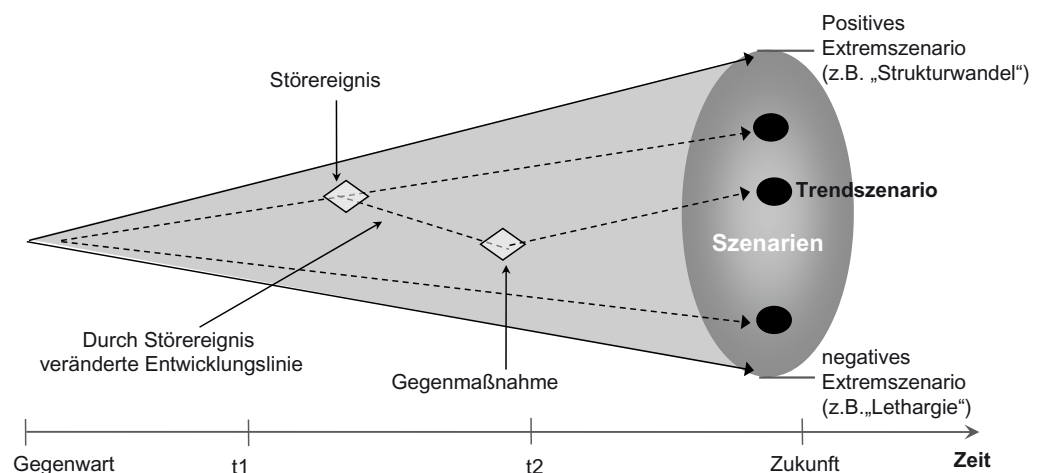
Die Szenariotechnik dient der Abschätzung von möglichen Entwicklungen in der Zukunft, damit Produkte für ein zukünftiges Anwendungsumfeld frühzeitig entwickelt werden können. Die Methode dient also der strategischen Festlegung zukünftiger Handlungsfelder.¹⁶³

Aufbauend auf den Ansätzen »Vernetztes Denken« und »Multiple Zukunft« werden mehrere Zukunftsvisionen, also Szenarien, ausgearbeitet. Diese ergeben sich aus prognostizierten Entwicklungen von zuvor ausgewählten Schlüsselfaktoren.

In einem ersten Schritt werden zu Handlungsfeldern (z.B. Politik, Gesellschaft, Technologie, Branchenumfeld, etc) Einflussfaktoren gesammelt. In intensiver Recherche werden Daten zur momentanen Entwicklung der Einflussfaktoren gesammelt. Diese Einflussfaktoren werden in einem sogenannten active-passive-grid angeordnet. Dafür wird ausgewertet, welche Einflussfaktoren eher beeinflussend und welche Einflussfaktoren eher beeinflusst sind. Die Summe der active- und passive-Punkte ergibt die Positionierung der Einflussfaktoren im active-passive-grid. Anhand dieser Aufstellung wählt das Projektteam wichtige Einflussfaktoren aus. Diese relevanten Einflussfaktoren werden im Weiteren als Schlüsselfaktoren bezeichnet. Für jeden der Schlüsselfaktoren werden drei mögliche Entwicklungen aufgestellt. Durch die Betrachtung verschiedener Entwicklungen anstelle einer einzigen Prognose ergibt sich ein Szenariotrichter wie er in Abbildung 81 zu sehen ist. In einer Matrix werden nun alle drei Ausprägungen aller Schlüsselfaktoren sich gegenüber gestellt und auf ihre Konsistenz hin bewertet. Wenn sich Entwicklungen zweier Schlüsselfaktoren eher ausschließen, wird dies mit einer niedrigen Punktezahl bewertet. Sich gegenseitig verstärkende Punktzahlen erhalten eine hohe Wertung. Aus den eingetragenen Punktzahlen lassen sich Cluster von verschiedenen sich ergänzenden Prognosen bilden. Für diese Cluster werden dann detaillierte Beschreibungen angefertigt. Zusätzlich können die Ergebnisse in einer anderen Form z.B als »Moodmaps« oder in Filmen ausdrucksstark aufbereitet werden.

Anwendungsphasen:
Strategieprüfung

Abbildung 81
Szenario-Trichter
als Denkmodell



¹⁶³ Vgl. Gausemeier/Ebbesmeyer/Kallmeyer (2001), Produktinnovation, S. 78 ff.

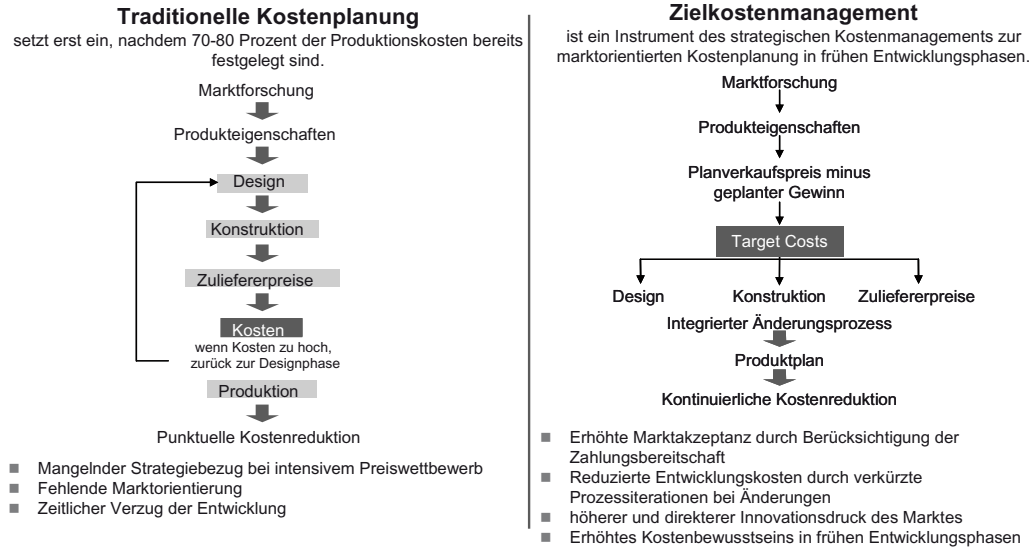


Abbildung 82
Traditionelle Kostenplanung
und Zielkostenmanagement
im Vergleich

Target Costing (Zielkostenmanagement)

Das Ziel des Zielkostenmanagements besteht darin, die Rentabilität der Produkte zu steigern.¹⁶⁴

Während früher zumeist aus den Kosten der Preis bestimmt wurde, sollen nun aus dem am Markt erzielbaren Preis zuzüglich des angestrebten Gewinnes, die Produkt- und Komponentenkosten abgeleitet werden. Dabei wird nicht das Ziel einer defensiven Beschränkung bestehender Produktfunktionen verfolgt, sondern Mitarbeiter werden motiviert, ein den Anforderungen des Marktes entsprechendes Funktionsbündel zu finden, zu konstruieren und optimal zu platzieren. Die Durchführung des Zielkostenmanagements sollte sowohl auf unternehmensinternen als auch auf -externen Eingangsinformationen beruhen. So werden die Anforderungen der Kunden mit dem

Fach-Know-how der Spezialisten optimal abgeglichen. Es ist jedoch darauf zu achten, dass den Kundenforderungen entsprechend dem Ansatzes des »Market into Company« deutlich höhere Gewichtung beigemessen wird. Nachteile der traditionellen Kostenplanung sowie Vorteile der Zielkostenplanung werden in Abbildung 82 aufgezeigt.

Das Vorgehen zur Erreichung eines Zielkostenmanagements wird in Abbildung 83 aufgezeigt.

Im ersten Schritt gilt es das Produkt auszuwählen. Anschließend müssen die potenziellen Kundenanforderungen gesammelt und bewertet werden. Die Bewertung erfolgt in der Regel nach bekannten Kriterien aus dem Marketing. Im Bereich des Produktes selbst, gilt es alle relevanten Produktkomponenten sowie Produktfunktionen zu identifizieren. Produkt-

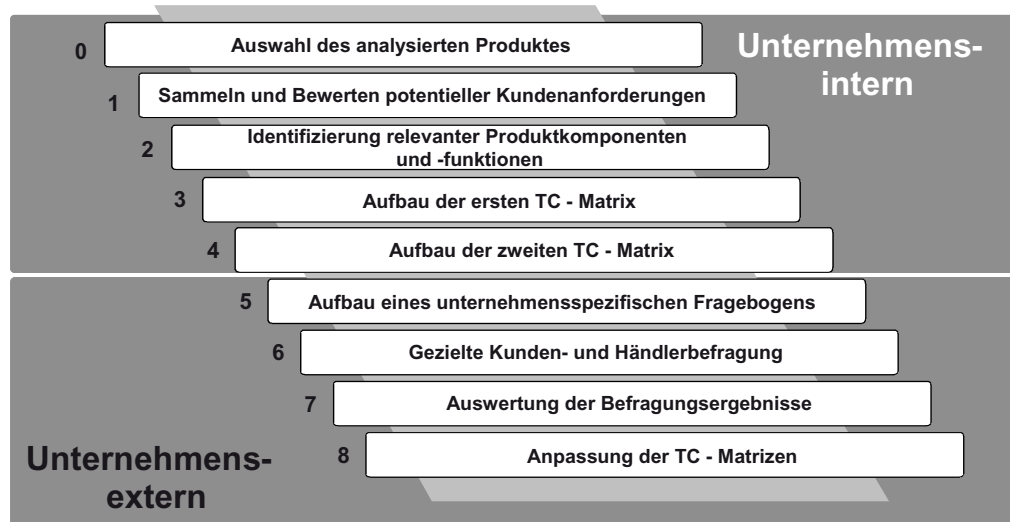


Abbildung 83
Schritte des Target Costing

Legende: TC = Target Costing

¹⁶⁴ Vgl. Eversheim (2003), Innovationsmanagement für technische Produkte, S. 375

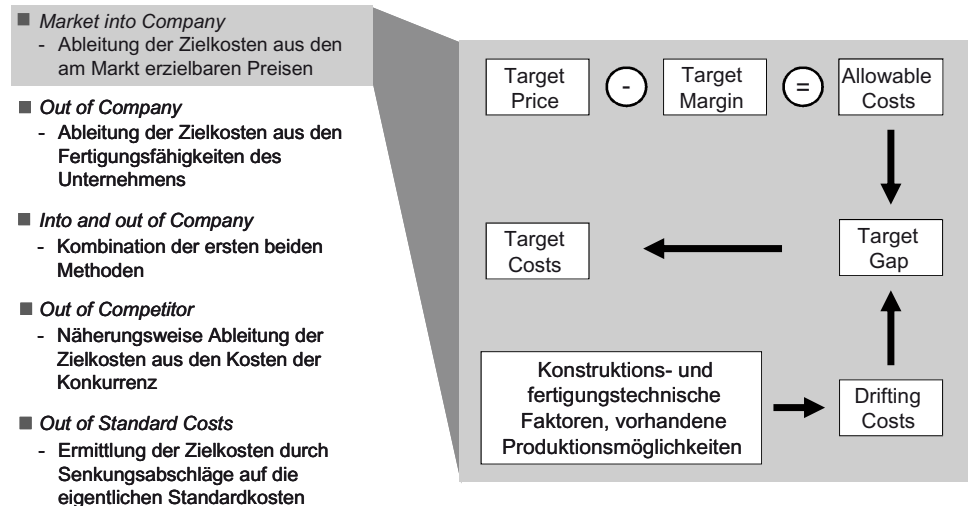


Abbildung 84
Arten von Target Costing

komponenten bzw. -funktionen sind dann relevant, wenn diese beispielsweise signifikant zur Befriedigung von Kundenanforderungen dienen oder hohe Kosten in der Herstellung verursachen. Im nächsten Schritt wird eine Target Costing (TC)-Matrix erstellt. Die erste TC-Matrix gibt die am Markt ermittelten Preise für Produktfunktionen wieder. Auf dieser Basis wird in einer zweiten Matrix der Zielpreis für die jeweiligen Komponenten ermittelt. Die Ermittlung der Preise sowie Kundenanforderungen wird in Form von Fragebögen durchgeführt und ausgewählten Adressaten vorgestellt. Die Auswertung der Befragung liefert weitere

Daten, die zur Vervollständigung der TC-Matrix beitragen und somit den finalen Zielpreis für Komponenten definieren. In Abbildung 84 werden die unterschiedlichen Arten von Target Costing noch einmal visualisiert.

Anwendungsphasen:

Projektorganisation, Konzeptbewertung, Angebotserstellung, Elektronik- und Softwareentwicklung beim OEM, Prozessbegleitende Kalkulation

TRIZ

Die TRIZ (Theorie des erfinderischen Problemlösens) erlaubt es Problemlösungen zu entwickeln. TRIZ zählt dabei zu den Kreativitätstechniken, die intuitives und diskursives Vorgehen kombinieren.¹⁶⁵

Die TRIZ-Methodik unterstützt das systematische Erfinden bei technischen Problemstellungen. Dabei werden durch die abstrahierte Darstellung eines technischen Problems und die anschließende Lösungssuche mit Hilfe einer Vielzahl verschiedener Werkzeuge Problemlösungen entwickelt. Im Rahmen der Anwendung wird die technische Problemstellung mittels Abstraktion als Standardproblem formuliert und hierfür Standardlösungen abgeleitet. In einem kreativen Prozess werden diese Standardlösungen dann auf das Ausgangsproblem angewandt. TRIZ umfasst eine Vielzahl an Hilfsmitteln, die die einzelnen Schritte der TRIZ-Methodik unterstützen.

Die Vorgehensweise der TRIZ Methodik folgt den vier TRIZ-Philosophien:

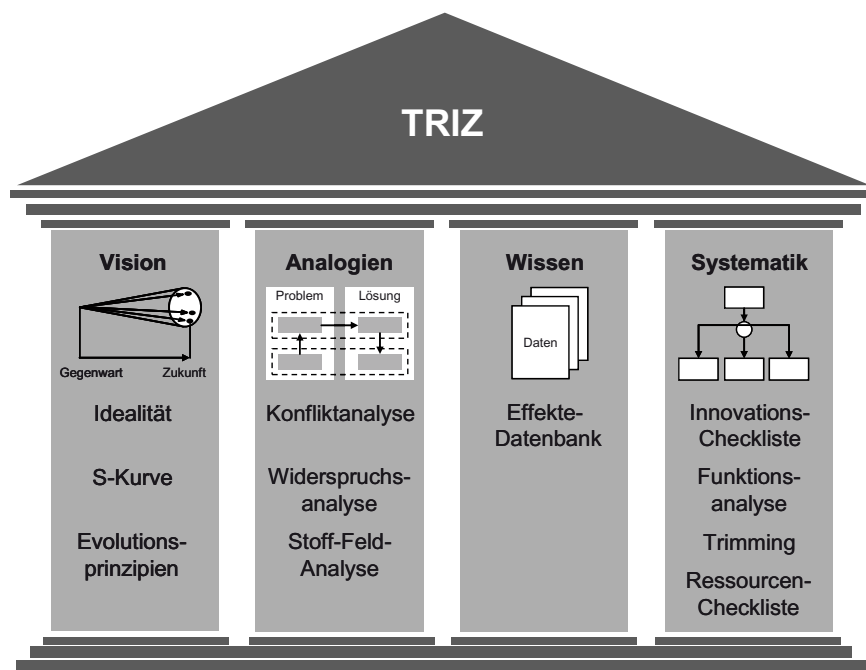


Abbildung 85
Die 4 Säulen
der TRIZ-Methodik

¹⁶⁵ Vgl. Gausemeier/Ebbesmeier/Kallmeyer (2001), Produktinnovation, S. 132-140



Abbildung 86
Möglichkeiten zur
Visualisierung des Projekt-
fortschritts

1. Technische Evolution strebt Idealität an
2. Innovative Ideen lösen Widersprüche auf
3. Wissen aus anderen Bereichen nutzen
4. Lösungen systematisch erarbeiten

In Abbildung 85 ist das systematische Vorgehen der TRIZ-Methodik noch einmal grafisch dargestellt.

Anwendungsphasen:

Produktprogrammplanung, Entwicklung beim Zulieferer

Visualisierung des Projektfortschritts

Die Visualisierung des Projektfortschritts kann die Synchronisation von Entwicklungsprojekten durch transparente grafische Abbildung der Ist-Situation unterstützen. Nach Abbildung 86 existieren verschiedenen Möglichkeiten zur Visualisierung des Prozessfortschritts. Das bekannteste Beispiel ist das Andon-Board, das in der Regel in der Produktion eingesetzt wird und die aktuell produzierte sowie die geforderte Anzahl von Produkten anzeigt. Aus der Differenz ist ersichtlich, ob sich ein Prozess innerhalb oder außerhalb eines Taktes befindet.

Im Unterschied zur Produktion ist der Sachfortschritt eines Entwicklungsprojektes nicht einfach erkennbar und nur durch Spezialisten zu beurteilen. Dadurch wird die Synchronisation von Projekten mangels Transparenz maßgeblich erschwert. Die Idee des Andon-Boards lässt sich jedoch auf andere Bereiche übertragen. So können beispielsweise standardisierte Arbeitsblätter helfen Daten und Informationen zu ordnen und transparent abzubilden. Je nachdem, wie viele Daten und Informationen in den Arbeitsblättern vorliegen, lässt sich ein Rückschluss auf durch-

geführte Tätigkeiten ziehen.

Zur Realisierung einer Bewertungssystematik müssen drei Objekte definiert werden: das Messobjekt, das Messsubjekt und ein geeigneter Indikator (siehe Abbildung 87). Das Messobjekt gibt in diesem Zusammenhang das Betrachtungsobjekt vor und damit Antwort auf die Frage, was betrachtet werden soll. Mit dem Messsubjekt wird diejenige Person oder Einrichtung definiert, die die Messung durchführen soll. Schließlich muss mit dem Indikator festgelegt werden, welches Merkmal des Messobjektes gemessen werden soll.

Die Visualisierung des Projektfortschritts kann in nahezu allen Bereichen eingesetzt werden, in denen Tätigkeiten voneinander abhängen. Dabei ist zu entscheiden, in welcher Form der Projektfortschritt visualisiert werden soll. Nicht immer ist eine digitale Visualisierung notwendig bzw. nicht immer rechtfertigt der Aufwand den Nutzen.

Abbildung 87
Elemente einer Messlogik
zur Visualisierung
des Prozessfortschritts

Messobjekt

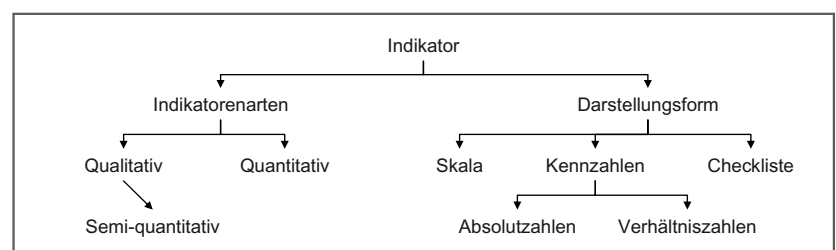
- Betrachtungsobjekt, dessen Veränderung abgebildet werden soll

Messsubjekt

- Organisatorische Einheit oder Person, die die Messung durchführt

Indikator

- Merkmale zur Beschreibung des Messobjektes



Anwendungsphasen:

Angebotsstellung, Konstruktion beim OEM, Elektronik- und Softwareentwicklung beim OEM, Entwicklung beim Zulieferer, Prozessbegleitende Kalkulation

3.4.5. Simulationswerkzeuge einer fluid-technisch-mechatronischen Entwicklung

Simulationswerkzeuge innerhalb einer fluid-technisch-mechatronischen Entwicklung lassen sich in drei Hauptgruppen klassifizieren:

- Programme der Finiten-Elemente-Methode (FEM-Programme),
- Strömungssimulationsprogramme (CFD-Programme)
- Systemsimulationsprogramme.

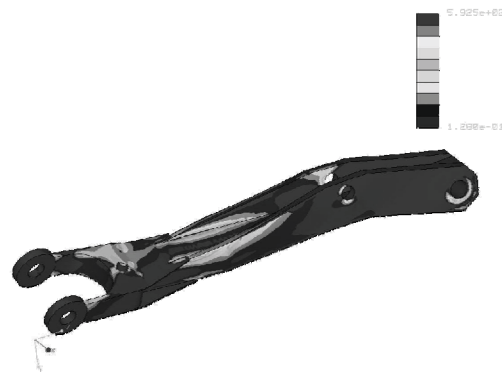


Abbildung 88
Beispiel einer FEM-Simulation

FEM-Programme unterteilen Geometrien in finite Elemente mit vordefinierbarer Grundstruktur und ermöglichen so die Berechnung von Spannungen, Deformationen oder Temperaturverteilungen in Bauteilen. Die Einsatzmöglichkeiten der FEM-Programme liegen vor allem in der Dauerfestigkeitsauslegung von Rahmen und Gestellen, in der Bestimmung der mechanischen Sicherheit gegen Innendruck, zum Beispiel bei Ventilsteuerblöcken, sowie in der Berechnung von dynamischen Strukturverformungen.

CFD-Programme ermöglichen mittels numerischer Strömungssimulation die Berechnung von Strömungsverläufen und Druckverteilungen in Komponenten. Sie können Anwendung finden bei der Strömungskraftkompensation von Ventilschiebern, bei der Steuerkantenauslegung sowie bei der Optimierung von fluidführenden Kanälen.

Im Gegensatz zu den beiden zuvor aufgeführten Simulationswerkzeugen, die sich auf die Optimierung einzelner Komponenten oder sogar nur einzelner Teileffekte in Komponenten

beschränken, gilt das Interesse der System-simulationsprogramme der Interaktion einzelner Komponenten oder den Effekten im Gesamtsystem. Das betrachtete Gesamtsystem kann dabei, je nach Abstraktionsgrad, sowohl eine einzelne Komponente, zum Beispiel ein Ventil, als auch ein komplexes Gesamtmodell einer Presse sein. Im Falle der Einzelkomponente Ventil würde sich das Modell beispielsweise aus Steuerkanten, Schiebermasse oder elektrischer Ansteuerung zusammensetzen, während sich ein Gesamtmodell einer Presse aus Pumpen, Ventilen oder Zylindern aufbauen lässt. Zum Modellaufbau können die jeweiligen Komponenten aus unterschiedlichen Bibliotheken ausgewählt und miteinander verschaltet werden. Hierbei stellen Systemsimulationsprogramme verschiedene physikalische Domänen, wie Hydraulik, Pneumatik, Mechanik oder Regelungstechnik zur Verfügung. Die Systemsimulationsprogramme ermöglichen so die Analyse des dynamischen Gesamtsystemverhaltens und aller internen Zustandsgrößen. Die Einsatzmöglichkeiten liegen in der Gesamtsystem- und Komponentenauslegung, der Identifizierung von Problemstellen und der Optimierung des Gesamtsystemverhaltens.

Am Markt existieren verschiedene System-simulationsprogramme, wie z.B. DSHplus, Sim-Hydraulics, SimulationX, AMESim, 20-Sim oder AutomationStudio. Sie alle sind multidisziplinär aufgebaut und bieten dem Benutzer verschiedene physikalische Bibliotheken zum Modell-aufbau an. Die interessierenden Bibliotheken der Hydraulik, Mechanik und Regelungstechnik werden von sämtlichen Programmen angeboten. Abgrenzungen untereinander finden durch zusätzliche Bibliotheken, wie Pneumatik, Elektrik, Magnetik, Thermohydraulik oder Antriebstechnik statt. Je nach Stärke bzw. Schwerpunkt des jeweiligen Simulationswerkzeuges stehen unterschiedliche Anzahlen und Detaillierungsgrade von vordefinierten Modellen in den jeweiligen Bibliotheken zur Verfügung. In allen Programmen sind die Bibliotheken und Komponenten jedoch benutzerdefiniert anpass- und erweiterbar. Alle Programme sind konzentriert parametrisch aufgebaut, da sie die zu- und abfließenden Volumenströme in konzentrierten Volumenknöten bilanzieren und diese zu Drücken integrieren. Unterschiede finden sich in der zur Modellbeschreibung verwendeten Programmiersprache und in den angebotenen Integrationsverfahren zur numerischen Lösung der Modellgleichungen. Weitere Unterschiede zwischen den vorhandenen Systemsimulations-

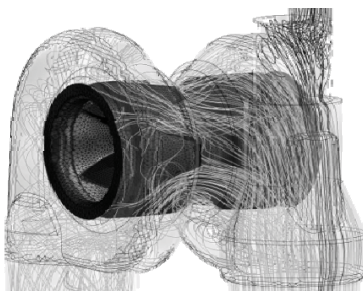


Abbildung 89
Beispiel einer CFD-Simulation

programmen liegen in den zur Verfügung gestellten Schnittstellen zum Modellim- und export sowie zur Co-Simulation mit anderen Simulationsprogrammen. Alle Programme stellen jedoch mindestens eine Schnittstelle zum weit verbreiteten Programmierwerkzeug MATLAB bereit über welches wiederum Schnittstellen zu den meisten anderen Simulationsprogrammen verwendet werden können. Die Modellierung der Reibkraft erfolgt bei allen Programmen geschwindigkeitsabhängig auf Basis der Stribeck-Kurve. Dies vernachlässigt allerdings wichtige Einflussgrößen, wie zum Beispiel die Drücke im System. Weiterhin stehen keine verlässlichen Parameter zur Spezifizierung des Reibkraftmodells zur Verfügung, was selbst die Abbildung einer realen, rein geschwindigkeitsabhängigen Reibung unmöglich macht und den Anwender zu einer sehr groben Abschätzung der Reibung im System zwingt. Alle Simulationsprogramme sind nicht auf Langzeit- oder Lebensdaueruntersuchungen ausgelegt, sondern nur für die Analyse von kurzzeitigen dynamischen Effekten im Bereich von maximal einigen Minuten. Die Modellierung von Ölalterung, Komponentenverschleiß oder Partikelverteilung im System wird daher von keinem Programm angeboten.

3.4.6 Simulationsmodelle einer fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklung

3.4.6.1 Modell zur Berechnung der Reibkraft in hydraulischen Zylindern

Bestehende Simulationsprogramme sind derzeit nicht in der Lage, den dominanten Einfluss der Dichtungsreibung in Zylindern ausreichend genau abzubilden. Die innere Reibung hat jedoch einen erheblichen Einfluss auf das Systemverhalten und wird gerade für eine exakte Auslegung der Regelung mit Hilfe von Softwareunterstützung benötigt. Bisher finden sich in den am Markt verfügbaren Systemsimulationsprogrammen meist nur sehr ungenaue Beschreibungsformen der Zylinderreibung. Oft wird lediglich eine statische Offsetkraft über den gesamten analysierten Betriebsbereich angenommen, die im Bereich von 2 % bis 10 % der maximal auftretenden Zylinderkraft liegt. Detailliertere Modelle bilden die Reibung nach der Stribeck-Kurve (Vgl. Abbildung 91) ab und berücksichtigen damit zumindest den Einfluss der Verfahrgeschwindigkeit auf die Dichtungsreibung.

Das Stribeck-Modell wird mit Hilfe von kennzeichnenden Größen aus den Bereichen

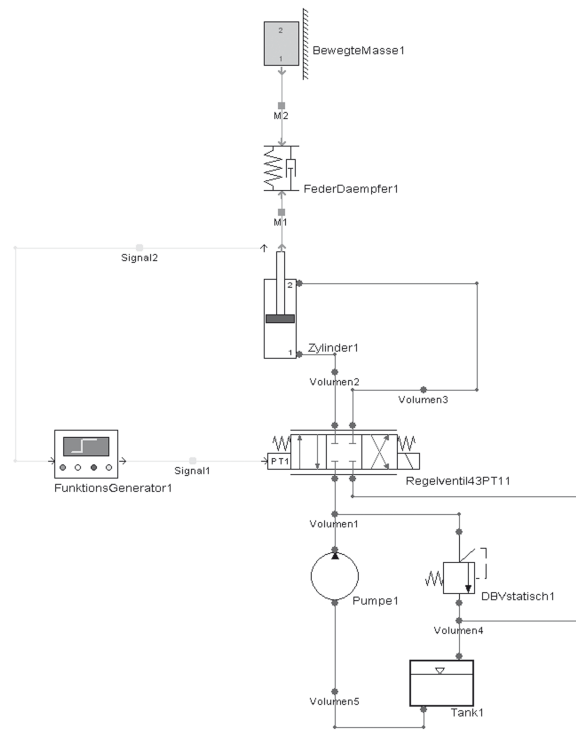


Abbildung 90
Beispiel einer System-
simulation für eine
hydraulische Presse

Haftreibung, Geschwindigkeitsmischreibung und Gleitreibung parametrisiert. Das Ermitteln dieser Parameter ist nicht trivial und selbst mit Hilfe eines Versuchsaufbaus nur näherungsweise möglich. Eine Abschätzung nur auf Basis von bekannten geometrischen Größen und physikalischen Eigenschaften ist nahezu unmöglich. Des Weiteren werden reibungsbeeinflussende Betriebsparameter wie die Zylinderdrücke gänzlich vernachlässigt. Dies führt bei der Simulation von Zylinderantrieben zu großen Ungenauigkeiten im simulierten Systemverhalten. Das Konzept des vorliegenden Reibkraftmodells, basiert daher auf der Grundidee, dem Anwender ein leistungsfähiges und vor allem

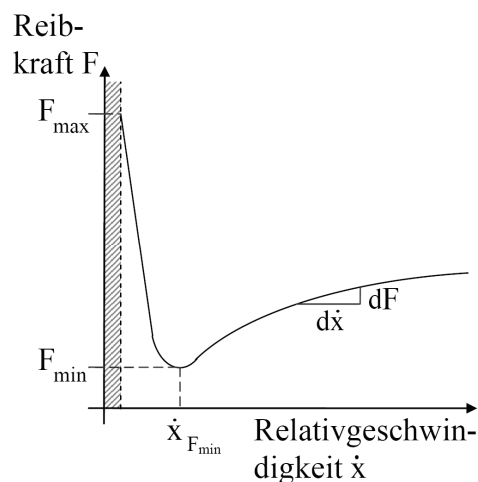


Abbildung 91
Die Stribeck-Kurve

einfach zu parametrierendes Modell an die Hand zu geben. Um eine exaktere Beschreibung der Reibkraft zu erzielen, fließen neben der Verfahrgeschwindigkeit weitere wesentliche Zustandsgrößen in die Modellbeschreibung ein. Zum einen sind hier die Drücke in den Zylinderkammern zu nennen. Diese haben einen maßgeblichen Einfluss auf die Anpresskraft der Dichtungen und somit auf die innere Reibung. Zum anderen wird die Verfahrrichtung in Betracht gezogen, da beim Ein- und Ausfahren des Zylinders aufgrund des komplexen Aufbaus moderner Dichtsysteme unterschiedliche Reibkräfte auftreten. Aber auch die Fluideigenschaften und vor allem die Viskosität des eingesetzten Fluids haben Auswirkungen auf die Reibung innerhalb hydraulischer Zylinder. Diese Zustandsgrößen werden von den Zylindermodellen in heutigen Systemsimulationsprogrammen automatisch berechnet und stehen dem Reibkraftmodell somit direkt als Eingangsgrößen zur Verfügung. Zur weiteren Spezifizierung des Modells müssen lediglich Parameter eingegeben werden, die dem Anwender bereits aus der Konstruktion oder konzeptionellen Ideen vorliegen. So sind nur bauartbedingte Daten wie Kolben- und Stangendurchmesser oder die Art des verwendeten Dichtsystems als weitere Eingangsgrößen des Modells notwendig. Die unpraktikable und versuchsdatenbasierte Parametrierung der Beschreibungsmodelle sowie die damit verbundenen breitbandigen Annahmen der Reibung innerhalb hydraulischer Zylinder entfallen.

3.4.6.2 Modell zur Berechnung des Einflusses der Ölalterung

Die Alterung von mineralölbasierten Fluiden findet bisher noch keine systematische Berücksichtigung in der Entwicklung von Industrieanlagen. Eine Sensibilisierung des Bewusstseins für die Ressourcenschonung, gestiegene Rohstoffkosten und die Anforderungen an angepasste Instandhaltungsmaßnahmen führen dazu, dass im Bereich der mineralölbasierten Fluide das Interesse für die Alterungsvorhersage steigt. Um das Alterungsverhalten von Mineralölen zu bestimmen, wird in erster Linie die Betriebstemperatur als entscheidender Alterungsparameter herangezogen. Jedoch sind bei hydraulischen Anlagen, die bei weitestgehend konstanten Temperaturbedingungen betrieben

werden, darüber hinaus auch noch andere Alterungsparameter von Bedeutung. Zu nennen sind beispielsweise die Scherung des Öls in Pumpen, Motoren und Ventilen, das im Kreislauf vorhandene Ölvolumen und der Kontakt zu einer Sauerstoffatmosphäre.

Aufbauend auf Untersuchungen von KEMPERMANN¹⁶⁶ und WERNER¹⁶⁷ sind für eine überschlägige Abschätzung der Ölstandzeit Belastungskennzahlen für verschiedene alterungsbeschleunigenden Einflüsse entwickelt und mit Hilfe von Messungen an Alterungsprüfständen und realen Anlagen verifiziert worden. Die daraus resultierenden Kennzahlen zur Bewertung der Einflüsse von Temperatur, Scherung, Druckauf- und -abbau sowie Belastungsdauer und -häufigkeit einzelner Volumenelemente konnten anschließend zu einer Gesamtbelastungskennzahl zusammengefasst werden. Angewendet und berechnet werden diese Kennzahlen mit Hilfe einer Systemsimulation. Somit besteht bereits anhand des virtuellen Systems die Möglichkeit einer überschlägigen Abschätzung der Ölstandzeit. Neben dem Erfahrungswissen steht dem Konstrukteur damit ein weiteres Hilfsmittel zur Auslegung von Tankvolumina sowie Kühl- und Filterkreisläufen zur Verfügung, da durch die ermittelten Belastungskennzahlen ein direkter Zusammenhang zwischen der Hydraulikkonstruktion und der Ölstandzeit besteht.

3.4.6.3 Modell zur Berechnung des Einflusses von Komponentenverschleiß auf das Systemverhalten

Bestimmte fluidtechnische Komponenten im fluidtechnisch-mechatronischen Gesamtsystem erzeugen einen Volumenstrom des Druckmediums (beispielsweise Pumpen) oder sind diesem Volumenstrom ausgesetzt (etwa Ventile). In beiden Fällen kann das Fluid selbst beziehungsweise die im Fluid enthaltenen Festkörper (Partikel) zu einem abrasiven Verschleiß der Komponenten führen; das zieht eine weitere Kontamination des Fluids nach sich. Der abrasive Verschleiß von Komponenten führt zu einem veränderten dynamischen Verhalten der hydraulischen Komponenten. Um die Zuverlässigkeit eines fluidtechnisch-mechatronischen Systems über dessen Lebensdauer gewährleisten zu können, soll die Simulation unterschiedlicher Alterungsgrade von Komponenten

¹⁶⁶ Vgl. Kempermann (1999), Ausgewählte Maßnahmen zu Verbesserung der Einsatzbedingungen umweltschonender Druckübertragungsmedien, S. 94 ff.

¹⁶⁷ Vgl. Rosemann/Schwegmann/Delfmann (2008), Vorbereitung der Prozessmodellierung, S. 46 ff.

ermöglicht werden. Hierzu wird untersucht, wie der Verschleiß von Komponenten deren dynamisches Verhalten beeinflusst. Hierfür werden verschiedene Verschleißzustände der Komponenten für das Simulationsmodell aufbereitet, indem deren veränderte Eigenschaften in einer Datenbank erfasst wurden. Diese stehen dann dem Anwender zur Verfügung und erlauben eine Beschreibung des Verschleißzustands des Gesamtsystems in zeitdiskreten Stufen.

3.4.6.4 Modell zur Simulation von Schmutzverteilungen

Die geeignete Filtration eines hydraulischen Systems kann die Funktion des verwendeten Druckmediums über lange Zeit ermöglichen. Um den Anwender bei der Auslegung der Filtration für neue hydraulische Systeme zu unterstützen, wird das Expertenwissen der Konsortiumspartner des BMBF-Verbundprojektes Fluidtronic zusammengefasst, in ein Beschreibungsmodell überführt und als Partikelsimulation in ein übergeordnetes Simulationsprogramm integriert. Das Grundkonzept der Partikelsimulation baut auf Untersuchungen von MAGER¹⁶⁸ auf und beschreibt die Partikelverteilungen in hydraulischen Systemen auf der Basis von Partikelquellen, Partikelsenken und Übertragungsgliedern. Partikelquellen verursachen dabei einen Partikeleintrag in das hydraulische System während Partikelsenken für eine Abnahme der Partikelkonzentration im System sorgen. Partikelquellen können einerseits Schmutz aus der Umgebung in das System einbringen, andererseits aber auch aufgrund von internem Verschleiß Partikel emittieren. Beispiele für Komponenten mit externem Partikeleintrag sind BelüftungsfILTER oder Zylinder. Eine interne Partikelgenerierung kann durch die tribologischen Kontakte in Pumpen oder Ventilen hervorgerufen werden. Übertragungselemente, wie Leitungen, haben einen Einfluss auf das Zeitverhalten der Partikelströme und die Volumenverteilung im System. Die gesonderte Implementierung dieser Übertragungsdynamik im Simulationsmodell ist notwendig, da die Partikel sich zum Beispiel bei Volumenstrompulsationen relativ zum Fluid bewegen oder sich durch ungünstige Volumenverteilungen an einigen Stellen des Systems vermehrt ablagern können. Ziel der Partikelsimulation ist die Modellierung, Analyse und Optimierung von Hydraulik- und Filtrationskonzepten. Dies ermöglicht individuelle, systemspezifische Filtra-

tionskonzepte und vermittelt dem Anwender ein besseres Verständnis der Wirkzusammenhänge innerhalb der Anlage. In Analogie zur konzentriert parametrischen Hydrauliksimulation werden die Bauteile, die für Partikelquellen oder -senken stehen, durch Partikelknoten verbunden. Diese bilanzieren die zu- und abfließenden Partikelströme und integrieren sie zu Partikelkonzentrationen auf. Mit Hilfe von Sensorbauteilen lassen sich dann die Schmutzverteilungen an verschiedenen Stellen des virtuellen Systems analysieren.

3.4.7 Simulationsmethoden einer fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklung

Neben den zuvor beschriebenen Simulationsmodellen welche den Aufbau eines verlässlichen virtuellen Modells des Gesamtsystems und somit eine virtuelle Inbetriebnahme ermöglichen, sind Methoden notwendig, die auf dem virtuellen Modell aufbauend für weitere Planungssicherheit bei der Systemintegration sorgen.

3.4.7.1 Software-in-the-Loop

Die Funktionalität von Antrieben wird zunehmend häufig über spezielle Programmierstandards wie bspw. »CoDeSys« oder »Step 7« realisiert. In komplexen Systemen sind neben dem eigentlichen Betrieb umfangreiche Fehlerreaktionen und Adaptionstrategien für die Betriebssicherheit erforderlich. Die Funktionalität der erstellten Maschinensoftware und deren Wechselwirkungen mit dem fluidtechnisch-mechatronischen System können jedoch wegen fehlender Simulationsmöglichkeiten oft erst an der Maschine selbst getestet werden. Um die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit des fluidtechnisch-mechatronischen Systems zu erhöhen, ist die Einbeziehung eines spezifischen Programmierstandards für Maschinensteuerungen, etwa dem einfach zugänglichen »CoDeSys«, in die Systemsimulation notwendig. Auf diesem Wege wird die direkte Kommunikation über definierte Software-Schnittstellen von der Simulation bis zur Maschinensteuerung gewährleistet. Im der vorliegenden Simulationsmethode ist eine standardisierte Software-Schnittstelle definiert und entwickelt, die eine »Software-in-the-Loop (SiL)«-Simulation von realer Steuerungssoftware und Simulationswerkzeug ermöglicht. Das mit Hilfe einer Applikationssoftware, bspw. CoDeSys, erstellte SPS-Programm wird, wie in Abbildung 92 dar-

¹⁶⁸ Vgl. Mager (1999), Untersuchung der Feststoffpartikelkontamination in hydraulischen Systemen, S. 134 ff.

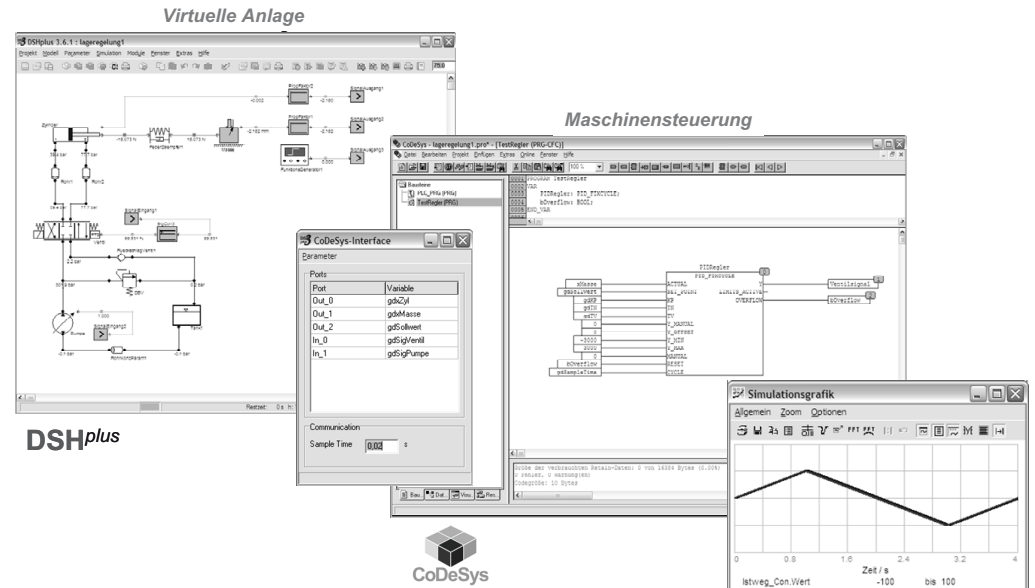


Abbildung 92
Beispiel für eine »Software-in-the-Loop (SiL)«- Simulation unter DSHplus und CoDeSys

gestellt, über die Schnittstelle mit der Simulation des fluidtechnisch-mechatronischen Systems gekoppelt.

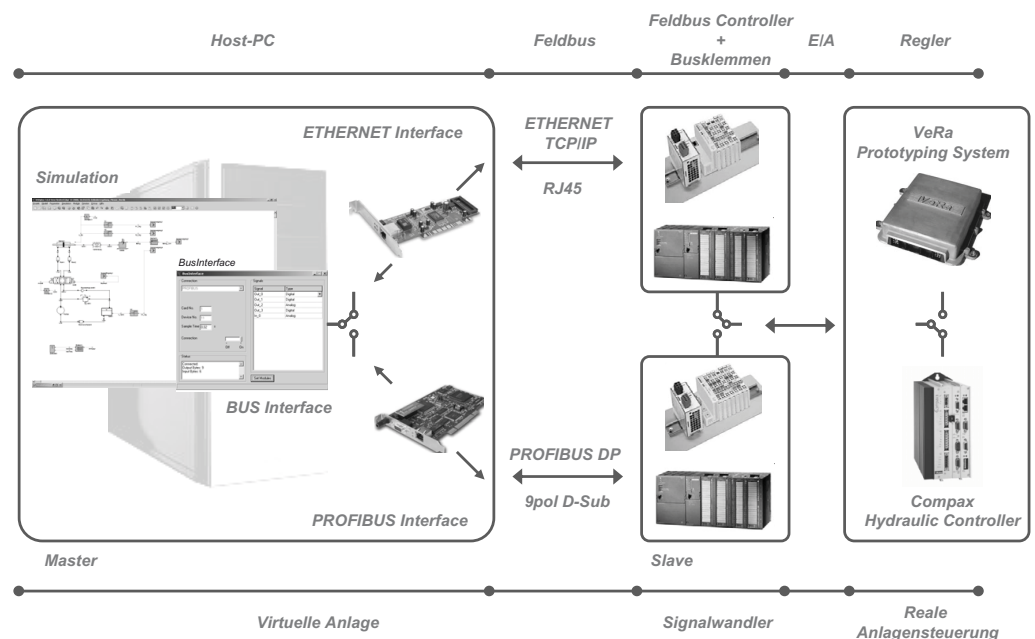
Somit kommuniziert die Maschinensteuerung nicht mehr mit der realen Anlage, sondern erhält ihre Eingangsgrößen von dem virtuellen Modell der Anlage und steuert dieses mit den berechneten Ausgangsgrößen an. Ziel dieser Kopplung ist es, die SPS-Software nicht nur in der Simulation zu testen, sondern gegebenenfalls auch weiter zu entwickeln sowie eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den ausgeführten Antrieb gewährleisten zu können. Adaptionsstrategien auf mögliche Systemver-

änderungen lassen sich somit bereits lange vor der realen Inbetriebnahme des fluidtechnisch-mechatronischen Systems erproben und gegebenenfalls anpassen. Mit Hilfe dieser virtuellen Auslegung der Maschinensteuerung können neue Steuer- und Regelstrategien mit einem minimalen Zeitaufwand ohne die Gefahr einer Beschädigung der realen Anlage entwickelt und analysiert werden.

3.4.7.2 Hardware-in-the-Loop

Im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus wird die erste Inbetriebnahme eines neuen Produkts in den meisten Fällen erst beim Kunden

Abbildung 93
»Hardware-in-the-Loop (HiL)«- Konzept



durchgeführt, da die großen Abmessungen der Produkte eine Montage auf dem eigenen Gelände häufig nicht erlauben. Während dieser Zeit bekommt der Kunde jede Unstimmigkeit bei der Abwicklung direkt mit, so dass ein möglichst reibungsloser Ablauf gewünscht ist. Mit Hilfe der zuvor beschriebenen virtuellen Auslegung der Maschinensteuerung kann nun eine Vorauslegung des Regelungssystems bereits beim OEM erfolgen und muss nicht erst beim Kunden stattfinden. Die Entwicklungs- und Inbetriebnahmezeit weiter verkürzen kann die »Hardware-in-the-Loop (HiL)«-Simulation. Über eine Ankopplung der realen SPS-Hardware an die Systemsimulation lässt sich die reale Steuerungshardware bereits im Vorfeld optimal konditionieren. Einen schematischen Überblick der Kopplung von virtueller Anlage mit der realen Anlagensteuerung zeigt Abbildung 93.

Ausgehend von einem Host-PC, auf dem das Simulationsmodell gerechnet wird, erfolgt die Verknüpfung über eine Interfacekarte mit den Ein- und Ausgabemodulen (Signalwandler). Die Signale vom Modell werden in reale Signale umgewandelt und von der Reglerhardware eingelesen, verarbeitet und anschließend als Stell- und Steuersignale an die Simulation zurückgegeben. Ein spezielles Softwaremodul übernimmt dabei den Datenaustausch zwischen dem Feldbuskoppler und dem Simulationsmodell.¹⁶⁹ Mit Hilfe einer virtuellen Inbetriebnahme der Maschinensteuerung lassen sich so bereits im Vorfeld Verkabelungsfehler in Schaltschränken aufdecken, Grenzwertabfragen kalibrieren und verschiedene Betriebs- oder Fehlerszenarien durchspielen.

3.5 Informationsmodell

Die fluidtechnisch-mechatronische Entwicklungsumgebung zeichnet sich dadurch aus, dass neben den mechatronischen Komponenten ebenfalls die Fluidtechnik betrachtet werden muss. Das komplexe Zusammenspiel von Mechanik, Elektrik/ Elektronik und Software wird mit einem zusätzlichen Komplexitätstreiber behaftet. Umso mehr müssen Daten und Informationen in einer integrierenden Entwicklungsumgebung definiert und vor allem der Informationsfluss standardisiert, systematisiert und insbesondere automatisiert werden, um eine effiziente Produktentwicklung zu ermöglichen. Im Folgenden soll das Informations-

modell vorgestellt werden, das als Ordnungsrahmen der Daten- und Informationsgestaltung zu verstehen ist. Das Modell selbst wird auf einer generischen Ebene beschrieben, so dass es an die individuellen Anforderungen, entsprechend der konfigurierbaren Prozesselemente, angepasst werden kann. Zunächst sollen die Anforderungen an das Informationsmodell kurz aufgezeigt werden. Aus diesen Anforderungen lässt sich das Ziel bzw. das Zielbild ableiten, das mit dem Informationsmodell erreicht werden soll. Anschließend werden die Elemente des Informationsmodells beschrieben.

3.5.1 Anforderungen an ein disziplinübergreifendes Informationsmodell

Insgesamt werden folgende vier Anforderungen an das Modell gestellt:

- Richtigkeit
- Klarheit
- Relevanz
- Handhabbarkeit

Richtigkeit liegt dann vor, wenn der Aufbau und der Einsatz des Modells innerhalb des Anwendungsbereichs angemessen ist bzw. dort Gültigkeit beweist.¹⁷⁰ Vor diesem Hintergrund müssen die Ergebnisse, die durch Anwendung des Modells entstehen, vor allem reproduzierbar sein. Neben der Richtigkeit ist die Klarheit des Modells eine weitere wichtige Anforderung. Mit Klarheit werden ein systematischer Aufbau sowie die Nachvollziehbarkeit gefordert. Insbesondere die Nachvollziehbarkeit soll gewährleisten, dass das Modell vollständig ist und keine inhaltlichen Lücken aufweist.

Im Hinblick auf die Anwendung des Modells muss Relevanz vorliegen. Ein Modell ist dann relevant, wenn es inhaltlich und formal richtige Ergebnisse liefert und zielorientiert ist. Schließlich wird mit der Handhabbarkeit gefordert, dass das Modell praxistauglich und leicht anwendbar ist. Insbesondere die Ergebnisse sollen leicht interpretierbar sein, um schnell Nutzen daraus ziehen zu können. Erst wenn diese Anforderungen durch das Modell erfüllt werden, lässt sich das Modell im Sinne des Anwenders produktiv einsetzen. Im Folgenden sollen die Ziel des Informationsmodells vorgestellt werden, um den Anwendungsbereich sowie den Nutzen näher hervorzuheben.

Im Rahmen dieses Kapitels werden Daten

¹⁶⁹ Vgl. Kett (2008), Virtuelle Inbetriebnahme von Reglern und Steuergeräten, S. 105 ff.

¹⁷⁰ Vgl. Krüger (1992), Organisationsmethodik, S. 1573 f.

bzw. Informationen synonym verwendet. So lässt sich das Informationsmodell ebenfalls auf Daten anwenden. Da Informationen auf Daten basieren, die um eine Struktur ergänzt werden, ist die Zusammenfassung aus Sicht der Autoren zulässig.

3.5.2 Ziele des Informationsmodells

Im Zuge der fluidtechnisch-mechatronischen Produktentwicklung werden die Verwaltung und das Management von Daten und Informationen immer wichtiger. Dabei liegt der Fokus weniger in der Abspeicherung von Daten, sondern vielmehr in der Realisierung von Beziehungswissen zwischen den Daten und Informationen bzw. in der Daten- und Informationsverbreitung. Insgesamt werden mit dem Informationsmodell folgende drei Bereiche beschrieben:

- Klassifikation von Daten und Informationen
- Transparente Abbildung des Informationsflusses auf Prozessbasis
- Beschreibung grundlegender IT-Architekturen zur konsistenten Datenverwaltung

Diese Bereiche lassen sich folgendermaßen detaillieren:

Mit der Klassifikation von Daten und Informationen wird aufgezeigt, welche Art von Daten existiert. Dafür wird ein Beschreibungsmodell vorgestellt, das mit Hilfe von Merkmalen sowie Merkmalsausprägungen, die Beschreibung von Daten ermöglicht. Vor diesem Hintergrund lassen sich Daten- bzw. Informationsklassen definieren, die als Basis dienen, um Prozessabläufe zu steuern sowie IT-Architekturen zu errichten.

In einem weiteren Modell wird auf Basis der Referenzprozesse ein Vorgehen aufgezeigt, um die Datenflüsse in der Entwicklung besser zu verstehen. In jedem Prozess werden Daten und Informationen verarbeitet und generiert. In Analogie zur Elektrotechnik kann ein Prozess somit als Funktion wahrgenommen werden,

der Input- in Outputgrößen verarbeitet. Auf Basis dieser Beziehungen lässt sich ein Modell aufbauen, um Prozesse chronologisch zu organisieren.

Zur operativen Umsetzung der Datenströme werden verschiedene IT-Architekturen beschrieben, um eine Datenkonsistenz zu ermöglichen. Dabei handelt es sich weniger um ein Modell, sondern vielmehr um eine Übersicht, die die grundlegende Struktur im Umgang mit Daten abbildet.

3.5.3 Elemente des Informationsmodells

3.5.3.1 Klassifikation von Daten- und Informationen

In der Entwicklung fluidtechnisch-mechatronischer Systeme werden im Entwicklungsverlauf eine Vielzahl von Daten und Informationen benötigt bzw. es fällt eine Vielzahl von Daten und Informationen an. So werden beispielsweise im Prozess Produktprogrammplanung vom Marketing Bewertungskriterien definiert, um das aktuelle Produktprogramm zu evaluieren. Es werden verschiedenste Methoden angewendet, um brauchbare Daten und Informationen zu generieren, die in Summe nicht für jeden gleich relevant sind. Vielmehr kann eine Unterscheidung zwischen denjenigen Daten und Informationen getroffen werden, die beispielsweise zur Dokumentation verwendet und für die Durchführung anderer Tätigkeiten nicht genutzt werden. So wird bei der Durchführung der Delphi-Methode ein Fragebogen erstellt, der für nachfolgende Tätigkeiten nicht relevant ist. Im Gegensatz dazu, sind die Ergebnisse der Fragebogenauswertung sehr wohl für nachfolgende Tätigkeiten und Prozesse relevant. Schließlich lassen sich Daten und Informationen identifizieren, die zum Produkt gehören und mit dem Produkt dem Kunden übergeben werden. Im Folgenden soll ein Modell vorgestellt werden, um diese und weitere Daten- und Informationstypen zu beschreiben bzw. zu klassifizieren (siehe Abbildung 94).

Abbildung 94
Merkmale und Ausprägungen des Beschreibungsmodells für Daten und Informationen

Merkmal	Ausprägung	
Informationsursprung	intern	extern
Gültigkeitsbereich	in einem einzigen Prozesselement	in verschiedenen Prozesselementen
Dokumentation	wird dokumentiert	wird nicht dokumentiert
Änderbarkeit	veränderbar	nicht veränderbar

Die Klassifikation von Daten hat zum Ziel, eine Menge von Daten zu identifizieren, an die ähnliche Anforderungen gestellt werden. Dafür sollen zunächst Kriterien vorgestellt werden, nach denen Daten klassifiziert werden sollen. Anschließend werden für jede Datenklasse die Anforderungen näher erläutert. Der Klassifikation liegt ein Beschreibungsmodell zu Grunde, das auf den Daten und Informationen basiert, die in den verschiedenen Prozesselementen verwendet werden. Obwohl ein Unterschied zwischen den Begriffen Daten und Informationen existiert (siehe Kapitel 3.5.1), sollen beide Begriffe im Folgenden synonym verwendet werden.

Die in diesem Beschreibungsmodell verwendete Methode des Morphologischen Kastens basiert auf einer systematischen Kombination von Merkmalen bzw. deren Ausprägungen.¹⁷¹ So können Daten bzw. Informationen entsprechend ihres Ursprungs unterschieden werden. Der Begriff Informationsursprung beschreibt ein Merkmal, das in den Ausprägungen intern und extern vorkommen kann. Für die Beschreibung von Daten wurden vier Merkmale definiert, die jeweils in zwei Ausprägungen vorliegen können. Im Folgenden sollen die vier Merkmale näher beschrieben werden.

Mit dem Merkmal Informationsursprung werden Informationen hinsichtlich ihres Ursprungs beschrieben. Informationen können sowohl innerhalb, als auch außerhalb des Unternehmens entstehen. Informationen, die außerhalb des Unternehmens entstehen sind beispielsweise Kundenanforderungen, Normen oder Gesetze. Die durch Aktivitäten innerhalb der Unternehmung geschaffenen Informationen werden als intern bezeichnet.

In einem weiteren Merkmal wird der Gültigkeitsbereich der Information beschrieben. Werden Informationen nur in einem einzigen Prozesselement verwendet oder dienen diese Informationen ebenfalls als Eingangsgrößen in anderen Prozesselementen. Je nach Gültigkeitsbereich ergeben sich andere Anforderungen an deren Management. So sollte beispielsweise das Format von Informationen sowie der Informationsgehalt standardisiert werden, um Konsistenz zwischen IT-Systemen zu schaffen. Die Standardisierung ist beispielsweise eine notwendige Bedingung, um Informationen automatisiert verbreiten und nutzen zu können. Ist der Zugang von Informationen innerhalb eines einzigen Prozesselementes nur einem

oder wenigen Anwendern nützlich, so kann der Grad an Standardisierung gering gehalten werden.

Ein weiteres Beschreibungsmerkmal bildet die Dokumentation von Informationen. Unter Dokumentation wird in diesem Zusammenhang sowohl das Abbilden von Informationen bzw. Verfügbarmachen von Informationen sowie deren Archivierung verstanden. Einige Informationen werden aktiv abgebildet bzw. dokumentiert, andere Informationen liegen nur zeitweise vor und werden nicht für einen späteren Zeitpunkt festgehalten. Im Falle einer Dokumentation von Daten werden erhebliche Anforderungen an die Daten und Informationen gestellt. So müssen beispielsweise alle sicherheitsrelevanten Teile in der Luftfahrtindustrie mindestens 100 Jahre verfügbar sein. Dies stellt Anforderungen an die Technik sowie an die Dokumentationsmethode. Immer mehr liegen Daten und Informationen in digitaler Form vor. Doch bei allen bekannten Archivierungsmedien kann keine verlässliche Aussage darüber getroffen werden, ob die Daten nach 100 Jahren noch lesbar sind. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass die digitale Archivierungstechnologie noch keine 100 Jahre existiert, ganz im Gegensatz zum heute verwendeten Mikrofilm.

Schließlich lassen sich Daten hinsichtlich der Änderbarkeit beschreiben. Die Änderbarkeit bezieht sich in diesem Fall auf die Grenzen innerhalb des Unternehmens sowie auf den Zeitbereich der Produktentwicklung. Können Daten innerhalb des Unternehmens verändert werden, so ist zu erfragen, ob die verschiedenen Änderungszustände von Relevanz sind. In der Produktentwicklung werden ständig Bauteile verändert, wobei die Änderung Auswirkungen auf benachbarte Bauteile haben können. Daher werden in der Entwicklung Änderungen akribisch dokumentiert und diejenigen Tätigkeiten, die zur Änderung notwendig sind aufwendig standardisiert bzw. dokumentiert.

In den nachfolgenden Abschnitten sollen drei Daten- bzw. Informationsklassen vorgestellt werden, die im Rahmen eines Entwicklungsprozesses unterschiedenen werden sollten. Jede Klasse hat Eigenheiten, die im Datenmanagement beachten werden müssen, um einen effizienten und effektiven Umgang zu gewährleisten. Die erste Klasse von Daten bildet die Klasse Archivdaten.

¹⁷¹ Vgl. Pahl et al. (2007), Konstruktionslehre : Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung ; Methoden und Anwendung, S. 147

Merkmal	Ausprägung	
	intern	extern
Informationsursprung	intern	extern
Gültigkeitsbereich	in einem einzigen Prozesselement	in verschiedenen Prozesselementen
Dokumentation	wird dokumentiert	wird nicht dokumentiert
Änderbarkeit	veränderbar	nicht veränderbar

Abbildung 95
Merkmale und
Ausprägungen von
Archivdaten

Archivdaten

Archivdaten (siehe Abbildung 95 Seite 96) sind Daten, die innerhalb des Unternehmens anfallen, dokumentiert werden und nicht veränderbar sind. Dabei spielt es keine Rolle, ob diese Klasse von Daten in einem einzigen Prozesselement oder in verschiedenen Prozesselementen verwendet wird.

Da die Daten dieser Klasse vom Unternehmen selbst generiert werden und eine Veränderung dieser Daten über den Zeitverlauf nicht stattfindet, steht insbesondere die Archivierung der Daten im Fokus. Je nachdem, ob die Daten in einem Prozesselement oder in mehreren Prozesselementen verwendet werden, gilt es mehr oder weniger strenge Anforderungen an die Dokumentation bzw. Archivierung zu stellen.

Abbildung 96
Merkmale und
Ausprägungen von Urdaten

Merkmal	Ausprägung	
	intern	extern
Informationsursprung	intern	extern
Gültigkeitsbereich	in einem einzigen Prozesselement	in verschiedenen Prozesselementen
Dokumentation	wird dokumentiert	wird nicht dokumentiert
Änderbarkeit	veränderbar	nicht veränderbar

Merkmal	Ausprägung	
	intern	extern
Informationsursprung	intern	extern
Gültigkeitsbereich	in einem einzigen Prozesselement	in verschiedenen Prozesselementen
Dokumentation	wird dokumentiert	wird nicht dokumentiert
Änderbarkeit	veränderbar	nicht veränderbar

Abbildung 97
Merkmale und Ausprägungen
der Bewegungsdaten

Zu dieser Klasse von Daten gehören beispielsweise Anträge, Simulationsergebnisse oder Steckbriefe. In der Regel sind Archivdaten nicht unabhängig, sondern lassen sich anderen Daten zuordnen. In Falle von Simulationsergebnissen beruhen diese Daten auf einem CAD-Modell.

So muss neben der Archivierung ebenfalls ein Beziehungswissen aufgebaut werden, um den Mehrwert dieser Daten zu realisieren.

Werden Daten dieser Klasse in verschiedenen Prozesselementen verwendet, muss eine Standardisierung in den Bereichen Datenformat, Dateninhalt sowie Datenverbreitung vorgenommen werden. Das Datenformat legt die Schnittstelle zum IT-System fest. In diesem Zusammenhang sollten bevorzugt offene, standardisierte Schnittstellen, wie beispielsweise XML verwendet werden, um den Zugang zu diesen Daten mit verschiedenen IT-Systemen zu ermöglichen. Für viele proprietäre (lizenzpflichtige Datenformate), wie beispielsweise das Microsoft *.doc-Format, existieren zwar Schnittstellen, doch nicht immer kann sichergestellt werden, dass alle Informationen innerhalb der Daten übertragen werden. Weiterhin sind Schnittstellen zu proprietären Datenformaten oftmals mit hohen Anschaffungskosten verbunden. Schließlich muss der Prozess der Datenverbreitung standardisiert werden. Mit der Standardisierung der Datenverbreitung bzw. des Datenzugangs wird sichergestellt, dass die Daten auch für jeden relevanten Adressaten zugänglich sind.

Urdaten

Eine weitere Klasse von Daten bilden Urdaten (siehe Abbildung 96). Die Daten dieser Klasse entstehen außerhalb des Unternehmens und werden in verschiedenen Prozesselementen verwendet. Diese Daten werden dokumentiert und sollen allen Personen frei zugänglich vorliegen. Da diese Daten nicht vom Unternehmen selbst verändert werden können, bleiben die Daten in der Regel für den Entwicklungsprozess in der Urform erhalten. Zu diesen Daten gehören beispielsweise Normen, allgemeingültige Standards oder Werkstoffspezifikationen.

Da diese Datenklasse in verschiedenen Prozesselementen vorliegt, gilt es einen Standard hinsichtlich der Datenaufbereitung (Datenformat) sowie dem Datenzugang zu definieren. Da keine Veränderung der Daten vorgesehen ist, muss lediglich der Zugriff auf die Daten standardisiert und eine Veränderung der Daten verhindert werden.

Während der Konstruktion werden häufig Normen und Normteile verwendet. Die Suche nach diesen Daten stellt Konstrukteure in manchen Fällen vor eine große Herausforderung. Insbesondere die Suche nach Normteilen kann aufgrund mangelnder Beschreibung zu hohen

Suchzeiten führen. Daher sollten diese Art der Daten auf einer Metaebene detailliert beschrieben werden, um Suchzeiten zu reduzieren.

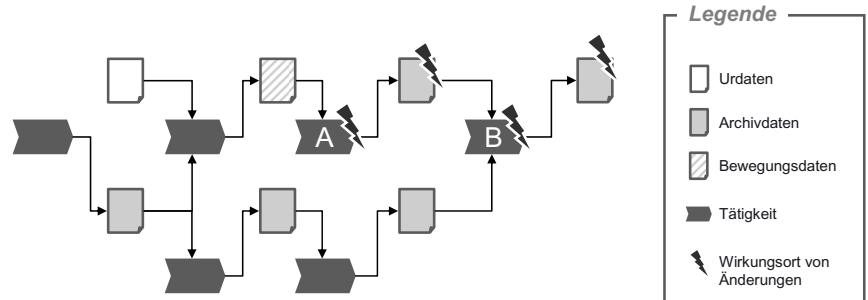
Bewegungsdaten

Bewegungsdaten sind dadurch gekennzeichnet, dass die Daten innerhalb des Unternehmens entstehen, verschiedene Prozesselemente diese Daten als Eingangsgröße benötigen, eine Dokumentation stattfindet sowie eine Veränderung der Daten im Entwicklungsverlauf durchgeführt wird (siehe Abbildung 97). Diese Klasse von Daten bildet die größte Datenklasse. CAD-Modelle, Hydraulik schemata oder das Lastenheft sind in diesem Zusammenhang zu nennen.

Wie alle Daten, die in verschiedenen Prozesselementen verwendet werden, müssen diese Daten ebenfalls hinsichtlich des Datenformates, des Informationsgehaltes sowie der Informationsverbreitung standardisiert werden. Im Gegensatz zu Daten der Archivdaten-Klasse, werden Daten in dieser Klasse im Entwicklungsverlauf stetig verändert. Zu dieser Klasse von Daten gehören beispielsweise CAD-Modelle, Simulationsdaten, Roadmaps, Kapazitätspläne, Expertenschätzungen etc. Vor diesem Hintergrund muss ebenfalls die Version der Daten abgebildet und aufgezeichnet werden.

Viele Daten und Informationen entstehen erst im Entwicklungsprozess selbst. Innerhalb eines Prozesselementes, eines Teilprozesses oder einer Tätigkeit kann zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen unterschieden werden. In Analogie zu einer Funktion $f(x) = y$, kann das Prozesselement, der Teilprozess sowie eine Tätigkeit als Funktion verstanden werden, die einer Eingangsgröße eine Ausgangsgröße zuordnet. In Abhängigkeit der Eingangsgröße wird eine Ausgangsgröße generiert. Für den Fall, dass sich die Funktion bzw. die Tätigkeit nicht verändert, wird bei gleicher Eingangsgröße die gleiche Ausgangsgröße vorliegen. Dienen Daten der Klasse Archivdaten sowie Urdaten als Eingangsgröße, so wird immer dieselbe Ausgangsgröße resultieren, da Daten beider Klassen sich nicht verändern.

Innerhalb einer Prozesskette bzw. Tätigkeitsabfolge dienen Ausgangsgrößen eines Prozesses als Eingangsgrößen eines oder mehrerer nachfolgender Prozesse (siehe Abbildung 98). Der Nachfolgende Prozess generiert ebenfalls Ergebnisse, die wiederum anderen Prozessen und Tätigkeiten als Eingangsgröße dienen. Für den Fall, dass immer Daten der Klasse Archivdaten sowie Urdaten verwendet werden bzw.



als Ergebnis anfallen, werden sich wie zuvor beschrieben die Ergebnisdaten der einzelnen Prozesse und Tätigkeiten nicht verändern. Werden jedoch Bewegungsdaten als Eingangsgröße verwendet und wird diese Größe im Entwicklungsverlauf verändert, müssen alle Tätigkeiten, die sich auf diese Eingangsgröße beziehen, überprüft werden. Die Abbildung 98 zeigt beispielhaft eine Tätigkeitsabfolge, wobei Daten aller drei Klassen verwendet werden. In Falle einer Änderung von Bewegungsdaten, müssen alle Prozesse, die direkt oder indirekt von Bewegungsdaten abhängen, über die Wirkung bzw. Folge dieser Änderung überprüft werden. So müssen in Abbildung 98 sowohl Tätigkeit A, als auch Tätigkeit B als direkt bzw. indirekt beeinflusste Tätigkeiten in die Betrachtung mit einbezogen werden, während Prozesse im unteren Teil der Abbildung unberührt bleiben.

Es ist leicht vorstellbar, dass Änderungen an Bewegungsdaten zu Beginn des Entwicklungsprozesses weit weniger Folgen zeigen, als Änderungen, die zum Ende einer Produktentwicklung anfallen. Im ersten Fall sind nur wenige Tätigkeiten durchgeführt bzw. Daten generiert worden. Im zweiten Fall müssen weit mehr Daten überprüft bzw. Tätigkeiten erneut durchgeführt werden.

Um eine Änderung von Daten verfolgen zu können, muss zunächst die Abhängigkeit von Daten bzw. Informationen zu Prozesselementen aufgebaut werden, in denen Daten und Informationen verwendet werden bzw. entstehen. Dafür soll im Folgenden eine Informationsstrukturmatrix vorgestellt werden.

3.5.3.2 Informationsflussmatrix

Die Informationsflussmatrix gibt den Zusammenhang zwischen Informationen und Prozessen wieder (siehe Abbildung 99). Jeder Prozess benötigt Informationen bzw. im Prozessverlauf entstehen Informationen. In machen Fällen ist es eine notwendige Voraussetzung, dass Informationen vorliegen, damit ein Prozess

Abbildung 98
Wirkung von
Bewegungsdaten

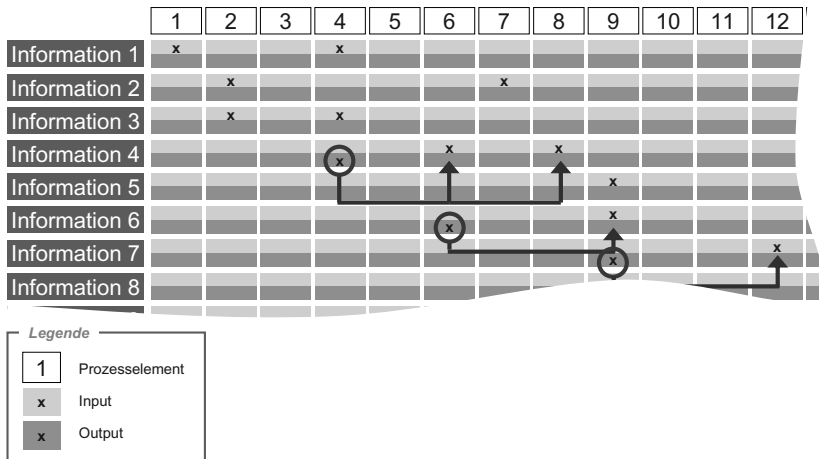


Abbildung 99
Schema einer Informations-
flussmatrix

durchgeführt werden kann. Um die Prozessabfolge chronologisch ordnen zu können, soll die Informationsmatrix den Zusammenhang zwischen Prozessen auf Basis von Informationen transparent abbilden.

Zum Aufbau dieser Matrix werden alle Daten und Informationen innerhalb der einzelnen Prozesselemente gesammelt und entsprechend zugeordnet. Es wird eine Unterscheidung vorgenommen, ob Daten als Eingangs- oder Ausgangsgrößen vorliegen. In Prozesselement 4 wird beispielsweise Information 4 als Ausgangsgröße generiert. In Prozesselement 6 und 8 dient Informationen 4 als Eingangsgröße. In den Prozesselementen 6 und 8 werden wiederum Daten und Informationen generiert, die erneut in anderen Prozesselementen benötigt werden. Die Informationsflussmatrix wird in diesem Leitfaden nur schematisch abgebildet, da lediglich das Vorgehen sowie die Nutzung aufgezeigt werden soll.

Für die Erstellung der Matrix wurde keine

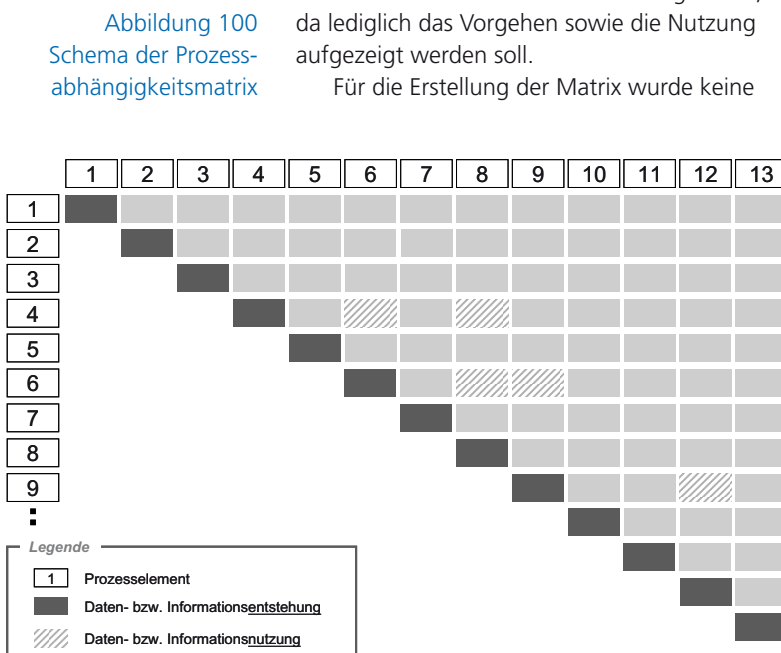
Unterscheidung nach Datenklassen vorgenommen, um im ersten Schritt eine grundsätzliche Abhängigkeit von Prozesselementen zu identifizieren. Schließlich lässt sich mit Hilfe der Informationsflussmatrix eine Prozessabhängigkeitsmatrix erstellen, die im Folgenden näher erläutert werden soll.

Die Prozessabhängigkeitsmatrix gibt die Beziehungen zwischen den einzelnen Prozesselementen wieder. In Abbildung 100 wird schematisch eine Prozessabhängigkeitsmatrix abgebildet. Auf beiden Achsen der Matrix werden die jeweiligen Prozesselemente aufgetragen. In Falle einer Abhängigkeit, werden die jeweiligen Matrixfelder farblich hervorgehoben. Im vorangegangenen Beispiel konnte aus der Informationsflussmatrix eine Abhängigkeit der Prozesselemente 4, 6 und 8 identifiziert werden, wobei Prozesselement 4 Ersteller und Prozesselemente 6 und 8 Empfänger der Daten und Informationen sind. In der Prozessabhängigkeitsmatrix werden diese Beziehungen ebenfalls abgebildet. Prozesselement 4, als Erzeuger der Daten und Informationen ist in einer dunklen Farbe gekennzeichnet, während die Daten- bzw. Informationsempfänger schraffiert abgebildet sind.

Aus dem Beziehungsgeflecht der Prozesselemente kann neben der Beziehung selbst, die Abfolge von Prozesselementen abgeleitet werden. So müssen beispielsweise zu Beginn von Prozesselement 6 die Ergebnisse von Prozesselement 4 vorliegen. Analog gilt es vor Beginn des achten Prozesselementes die Prozesselemente 4 und 6 abzuschließen. Es zeigt sich, dass Prozesselemente nicht sequentiell, sondern vielmehr parallel durchgeführt werden können, wobei die Abhängigkeit der Prozesselemente durch die Daten und Informationsflüsse bestimmt werden.

Auf diese Weise kann eine Kaskade aufgebaut werden, die abbildet, welche Prozesselemente in welcher Reihenfolge starten können. Für die in Kapitel 3.2.4 vorgestellten 16 Prozesselemente ergibt sich folgende Informationsflussmatrix (siehe Abbildung 101).

Sind die Beziehungen zwischen den Prozesselementen identifiziert worden, so wird im zweiten Schritt eine Detaillierung der Beziehungen vorgenommen. Dies erfolgt auf Basis des zuvor beschriebenen Beschreibungsmodells von Daten bzw. Informationen. So müssen zunächst alle Bewegungsdaten und Archivdaten identifiziert werden. Nur diese Klasse von Daten ist für die Prozessabfolge relevant. Während mit der Prozessabhängigkeitsmatrix lediglich die



Prozesselemente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	E	N	N		N											
2		E	N		N		N		N	N						
3			E	N		N	N		N							
4				E						N						
5					E	N		N	N		N				N	N
6						E	N	N								
7							E	N	N	N				N		
8								E	N	N	N			N		
9									E	N			N			
10										E	N	N				N
11											E		N		N	N
12												E				
13													E		N	N
14														E		N
15															E	
16																E

Legende

E Informationserstellung
N Informationsnutzung

- Prozesselemente**
- 1 Kundenwunschaufnahme
 - 2 Machbarkeitsprüfung
 - 3 Projektorganisation
 - 4 Systementwurf
 - 5 Virtuelle Systemauslegung
 - 6 Konzeptbewertung
 - 7 Angebotserstellung
 - 8 Konstruktion beim OEM
 - 9 Elektronik- und Softwareentwicklung beim OEM
 - 10 Entwicklung beim Zulieferer
 - 11 Detailsimulation
 - 12 Prozessbegleitende Kalkulation
 - 13 Gesamtsimulation
 - 14 Integration
 - 15 Virtuelle Inbetriebnahme
 - 16 Inbetriebnahme

Abfolge an Prozesselementen bekannt ist, kann mit Hilfe der Detaillierung festgestellt werden, ob ein Prozesselement vollständig abgeschlossen werden muss oder an welcher Stelle eine Parallelisierung stattfinden kann.

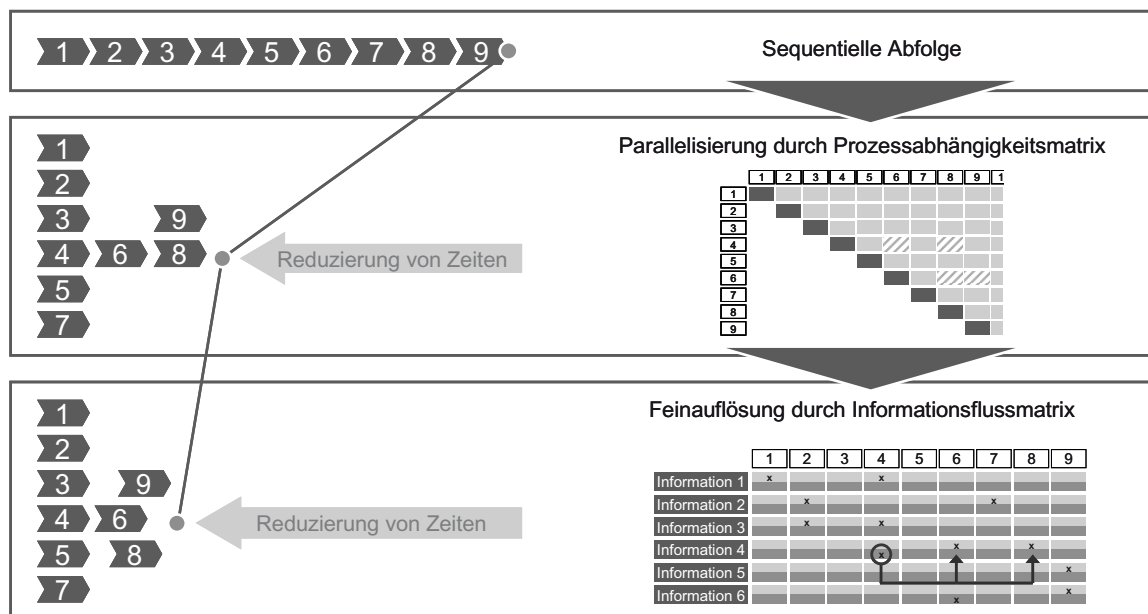
Auf diese Weise lassen sich Zeiten in der Entwicklung nochmals reduzieren und vor allem die Koordination der Datenverbreitung systematisieren bzw. automatisieren (siehe Abbildung 102). Schließlich gilt es die Abhängigkeiten sowie Prozessfolgen in einem geeigneten Datenmodell bzw. IT-System zu implementieren. Im Folgenden soll der grundsätzliche Umgang mit Daten sowie die Bedeutung von IT-Architekturen vorgestellt werden.

3.5.3.3 IT-Architekturen für Datenkonsistenz

Die operative Umsetzung von Daten- und Informationsflüssen findet durch die Informationstechnologie (IT) statt. Seit der Computerrevolution hat der verstärkte Rechnereinsatz zu Effizienzschüben geführt und ist in der heutigen Unternehmenswelt nicht mehr wegzudenken. Mit der Industrialisierung der Chipherstellung können immer leistungsfähigere und gleichzeitig günstigere Chips hergestellt werden. Computer werden daher immer günstiger in der Anschaffung und sind in der Lage komplexe Rechenoperationen durchzuführen. Mit der Hardware ist ebenfalls die Software immer

Abbildung 101
Informationsflussmatrix für die 16 Prozesselemente

Abbildung 102
Parallelisierung von Prozesselementen



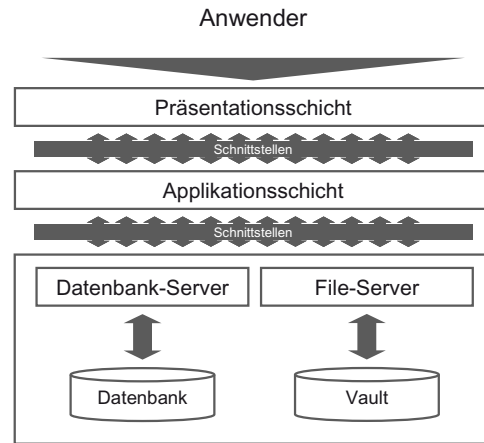


Abbildung 103
IT-Systemarchitekturen¹⁷⁷

komplexer geworden. CAD-Systeme gehen weit über die eigentliche Zeichnungserstellung hinaus. Heute können nicht nur 3D-Volumenkörper oder Freiflächenkörper erstellt, sondern ebenfalls der Bewegungsablauf verschiedener Volumenkörper miteinander simuliert werden.

Je komplexer die Software, umso komplexere Probleme konnten gelöst werden. Für viele Probleme wurden spezielle Softwarelösungen entwickelt, so dass heute viele verschiedene Softwarelösungen am Markt angeboten werden, um ein Problem zu lösen bzw. eine Funktion zu erfüllen. Die Vielzahl an Softwarelösungen in einem Unternehmen ist häufig für Daten und Informationsbrüche verantwortlich. So muss ein Anwender nicht mehr nur ein Programm beherrschen um Daten bzw. Informationen zu generieren, sondern vielmehr verschiedene IT-Systeme bedienen, um die geforderten Daten und Informationen zur Aufgabenerfüllung zu organisieren. So müssen in einer fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklungsumgebung beispielsweise Ergebnisse aus der Fluidsimulation für die FEM-Simulation genutzt werden und diese Ergebnisse müssen wiederum in die Bauteilkonstruktion mit einfließen. Jedes Mal muss der Anwender die Daten manuell eingeben, was zum einen längere Zeit in Anspruch nimmt, zum anderen können Fehler bei der Dateneingabe auftreten. Eine Integration von Daten bzw. eine unternehmensweite Datenkonsistenz kann diesen Zustand vermeiden.¹⁷²

In der Produktentwicklung existieren verschiedene IT-Lösungen.¹⁷³ Dort agieren

beispielsweise leistungsfähige Produktdatenmanagement (PDM)-Systeme auf Basis komplexer Datenmodelle, die aus Objekten, Relationen und Methoden besteht und die Verwaltung von CAD-Modellen sowie deren Beziehungen untereinander ermöglichen.¹⁷⁴

Um in der heterogenen Hard- und Softwareumgebung unternehmensweit eingesetzt werden zu können, verfügen PDM-Systeme über eine flexible Systemarchitektur. Software und Daten lassen sich auf diesem Wege in einem Rechnernetzwerk beliebig verteilen und ermöglichen damit vor allem den Datenzugriff. Der Schlüssel liegt in einer plattformunabhängigen IT-Infrastruktur. So besteht beispielsweise eine Client-Server-Architektur aus zwei selbstständigen Komponenten (einem Client und einem Server). Der Client bildet das Front-end und beinhaltet den Teil der Software, die als Schnittstelle zur Interaktion mit dem Anwender agiert. Der Server ist das Back-end und stellt dem Anwender den eigentlichen Dienst bzw. die eigentliche Funktion zur Verfügung.¹⁷⁵

Heutige leistungsfähige IT-Architekturen besitzen eine 3-Ebenen-Gliederung (siehe Abbildung 103): eine Präsentationsschicht, eine Applikationsschicht sowie eine Datenhaltungsschicht. Als IT-Architektur wird die logische und informationstechnische Verknüpfung dieser drei Schichten verstanden.

Die Verknüpfung aller drei Schichten erfolgt über Schnittstellen. Auf unterster Ebene, der Datenhaltungsschicht, liegen die Werkzeuge zur Ablage und dem Management von Daten. Zum einen werden die Metadaten, zum anderen die Datenobjekte selbst abgespeichert. Metadaten werden über einen Datenbank-Server adressiert. Datenobjekte selbst werden in einem eigenen System sowie mit speziellen Programmen (den Fileservern) verwaltet, die direkt auf die Massenspeicher zugreifen können.¹⁷⁶ Diese Trennung ist notwendig, da Datenobjekte und Metadaten unabhängig voneinander gestaltet werden können bzw. müssen.

Die eigentliche Geschäftslogik zum Management der Daten und Informationen erfolgt in der Applikationsschicht. In dieser Schicht laufen die einzelnen Programme ab und bedienen sich je nach Anwendungsfall der Datenschicht.

¹⁷² Schöttner (1999), Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie : Prinzip, Konzepte, Strategien, S. 105

¹⁷³ Vgl. Feldhusen/Gebhardt (2007), Product Lifecycle Management für die Praxis

¹⁷⁴ Vgl. Schächli/Schächli/Kirchgeorg (2005), Handbuch Produktentwicklung, S. 431

¹⁷⁵ Schöttner (1999), Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie: Prinzip, Konzepte, Strategien, S. 109f

¹⁷⁶ Eigner/Stelzer (2001), Produktdatenmanagement-Systeme, S. 225f

¹⁷⁷ In Anlehnung an Eigner/Stelzer (2001), Produktdatenmanagement-Systeme, S. 225

¹⁷⁸ Eigner/Stelzer (2001), Produktdatenmanagement-Systeme, S. 226

Schließlich bildet die Präsentationsschicht die Schnittstelle zum Anwender. Der Vorteil dieser Dreiteilung liegt darin, dass die Anbindung zum Anwender individuell gestaltet werden kann. So muss es nicht unbedingt ein Rechner sein, mit dem die Daten abgerufen werden. Da die Software zum Abrufen von Daten viel weniger Rechenressourcen in Anspruch nimmt, können ebenfalls Geräte mit weniger Rechenleistung (Mobiltelefon, PDA) zum Datenempfang genutzt werden.¹⁷⁸

Die IT ermöglicht vor diesem Hintergrund eine neue Orientierung zur Gestaltung von Prozessen. Zum einen kann das Produkt virtualisiert werden. Zum anderen lässt sich heute teilweise die Prozesskette virtualisieren, so dass jederzeit Informationen zu einem Prozess transparent abgerufen werden können. Weiterhin ermöglicht es die heutige IT, Prozesse automatisiert ablaufen zu lassen. Der limitierende Faktor Mensch kann dann ersetzt werden, wenn Entscheidungen nach festen Regeln getroffen werden können. Damit lässt sich der Entwicklungsprozess nicht nur effizienter, sondern vor allem effektiver und weniger fehleranfällig gestalten. Die Vorteile einer konsistenten IT sollen an dieser Stelle nicht weiter erläutert werden. Schließlich lässt sich festhalten, dass die IT-Architektur im Rahmen dieses Leitfadens nicht vollumfänglich beschrieben werden kann. Vielmehr sollte in diesem Kapitel gezeigt werden, dass sie einen wesentlichen Faktor zur Integration von Prozessen bildet und eine fluidtechnisch-mechatronische Entwicklungsumgebung nicht ohne leistungsfähige IT zu realisieren ist.

3.5.3.4 Zusammenfassung

Das Informationsmodell besteht aus drei grundlegenden Elementen. Ein Modell zur Beschreibung von Daten und Informationen. Matrizen zur Abbildung von Daten bzw. Informationen zu Prozesselementen. Ein Modell zur Erklärung von Anforderungen an eine konsistente Datenumgebung. In Summe wurde aufgezeigt, dass die Daten und Informationen die Basis für eine integrative Zusammenarbeit der Disziplinen bilden. Je schneller Daten und Informationen ausgetauscht werden können und je transparenter sich die Beziehungen zwischen den Daten und Informationen abbilden lassen, umso enger kann die Zusammenarbeit gestaltet werden. In diesem Zusammenhang spielen IT-Systeme eine große Rolle. Diese Hilfsmittel ermöglichen letztlich eine einfache Standardisierung, Systeme-

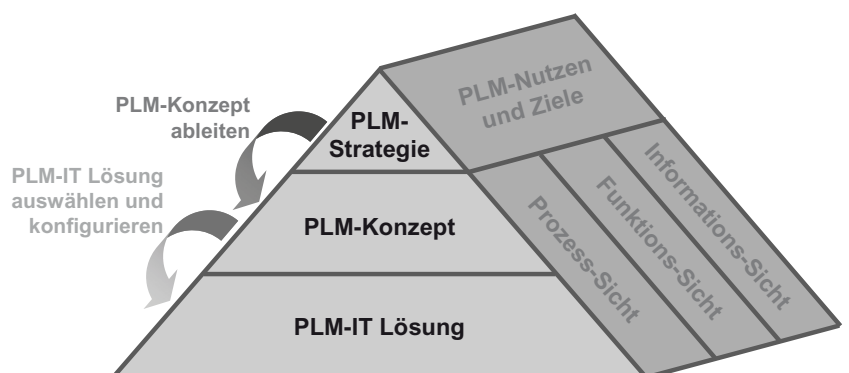
matisierung und letztlich Automatisierung des Daten- und Informationsmanagements, um fluidtechnisch-mechatronische Produkte effizienter und effektiver entwickeln zu können.

3.6. Umsetzung der Entwicklungsumgebung im Product Lifecycle Management

Beim Product Lifecycle Management (PLM) handelt es sich um einen Ansatz zur ganzheitlichen, unternehmensweiten Verwaltung und Steuerung aller Produktdaten und Prozesse des gesamten Lebenszyklus entlang der erweiterten Logistikkette – von der Entwicklung und Produktion über den Vertrieb bis hin zur Wartung. Ziel dabei ist es, den Produktentstehungsprozess ganzheitlich durch konsistente Methoden, Modelle und Werkzeuge zu unterstützen sowie die Produktivität dieses Prozesses in seiner Gesamtheit zu erhöhen. Zur Unterstützung dieses Ansatzes existieren IT-basierte PLM-Lösungen, die mit ihren Funktionen die Umsetzung des PLM-Ansatzes in der Praxis ermöglichen. Eine Funktion unterstützt die Durchführung von Tätigkeiten im Entwicklungsprozess. Im Rahmen der fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklungsumgebung wird dabei auf ein Methodenmodell zur Realisierung der Funktion zurückgegriffen.

Ein wesentlicher Aspekt von PLM ist es, Daten und Informationen am richtigen Ort, zur richtigen Zeit, in bedarfsgerechter Qualität und Quantität bereitzustellen. Weiter soll ein durchgängiger digitaler, transparenter Informationsfluss entlang des gesamten Produktlebenszyklus geschaffen und somit die einzelnen Wertschöpfungsstufen effizienter bzw. effektiver gestaltet werden.¹⁷⁹ PLM erschließt zusätzlich diejenigen Nutzenpotenziale, die sich erst durch die Integration von Unternehmensbereichen realisieren lassen.

Abbildung 104
Ordnungsrahmen zur
Konzeption und Umsetzung
von PLM



¹⁷⁹ Vgl. Berliner Kreis/Wissenschaftliche Gesellschaft Produktionstechnik (2002), Product Lifecycle Management, S. 2

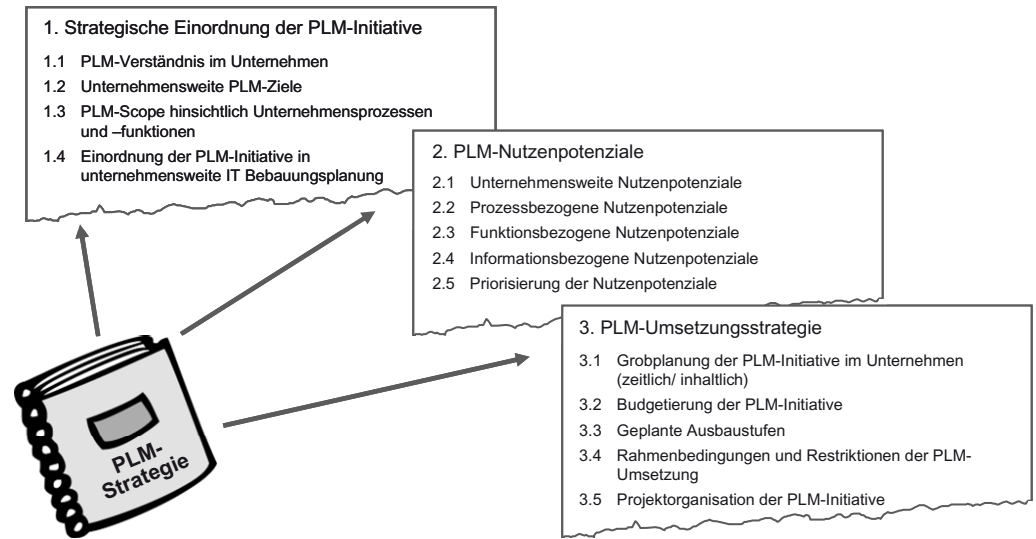


Abbildung 105
Elemente einer PLM-Strategie

Zur Umsetzung des PLM-Ansatzes gilt es zunächst eine PLM-Strategie, dann ein PLM-Konzept sowie eine darauf aufbauende PLM-IT-Lösung zu entwickeln und umzusetzen (siehe Abbildung 104). Die PLM-Strategie gibt den Nutzen und die Ziele vor, die durch PLM realisiert werden sollen. Von der PLM-Strategie wird das PLM-Konzept abgeleitet, in dem die Prozesse, Funktionen, Informationen von PLM sowie deren Integration definiert werden. Schließlich findet mit der PLM-IT-Lösung die operative Umsetzung des PLM-Konzeptes statt. Erneut müssen bei der Auswahl und Umsetzung einer geeigneten PLM-IT-Lösung die Elemente Prozess, Funktion sowie Information adressiert werden.

Die Umsetzung einer durchgängigen, fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklungsumgebung bedingt ein geeignetes Product Lifecycle Management im Unternehmen. Nur mit einer konsistent aufgebauten PLM-Lösung ist es möglich, die komplexen Wechselwirkungen im integrierten Entwicklungsprozess von Mechanik, Elektrik/ Elektronik, Software und Fluidtechnik zu beherrschen.

Im Bereich der PLM-Strategie müssen vom Führungskreis verschiedene Elemente definiert werden, bevor das PLM konzeptionell und operativ umgesetzt werden kann (siehe Abbildung 105). Dafür findet im Rahmen der PLM-Strategiefindung eine strategische Einordnung von PLM im Rahmen der Unternehmensstrategie statt. Vor diesem Hintergrund wird festgelegt, welche Nutzenpotenziale durch den PLM-Ansatz realisiert werden sollen und welche Nutzenpotenziale anderweitig realisiert werden. Als Grundlage muss zunächst ein einheitliches

PLM-Verständnis festgeschrieben werden. Da bisher keine einheitliche Definition des Begriffes PLM existiert, muss diese vor allen anderen Punkten festgelegt werden, um ein einheitliches Verständnis im Unternehmen zu verankern und PLM in die bestehenden Initiativen aus IT- und Prozesssicht einzuordnen.

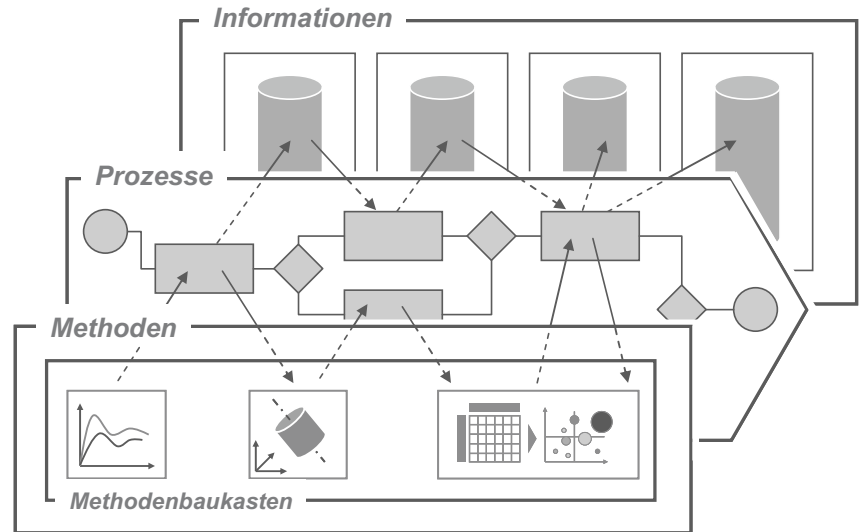
Ein weiterer Punkt in der strategischen Einordnung bildet die Definition von PLM-Zielen. Hier werden diejenigen Ziele definiert, die direkt im Zusammenhang mit PLM stehen. Für die fluidtechnisch-mechatronische Entwicklungsumgebung wurde beispielsweise die Erstellung eines disziplinübergreifenden Systementwurfs als ein Ziel definiert. Damit wird der PLM-Fokus zunächst auf die Produktentwicklung als Teil der Produktentstehung gerichtet. Innerhalb der Produktentwicklung lässt sich der Objektbereich von PLM weiter eingrenzen. Im Rahmen der fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklungsumgebung wurden insgesamt 16 Prozesselemente definiert, die es im PLM umzusetzen und mit PLM-Funktionen zu unterstützen gilt.

Neben der strategischen Einordnung ist die klare Definition von PLM-Nutzenpotenzialen entscheidend für den Aufbau des PLM-Konzeptes. Allerdings lassen sich mit PLM nur diejenigen Nutzenpotenziale erreichen, die durch eine unternehmensweite Verwaltung und Steuerung aller Produktdaten und Prozesse des gesamten Lebenszyklus realisiert werden können. Vor diesem Hintergrund liegen die zu erreichenden Nutzenpotenziale insbesondere im Bereich Entwicklungsdauer (z.B. Reduzierung der time-to-market) oder der Produktqualität (z.B. Verbesserung der Zuverlässigkeit). Diese Nutzenpotenziale werden weiter untergliedert

und den Elementen Prozess, Funktion sowie Information zugeordnet. Schließlich werden die Ziele priorisiert, um Konflikte bei der Zielerreichung zu vermeiden. Bezogen auf die fluidtechnisch-mechatronische Entwicklungsumgebung bedeutet dies, dass je nach Entwicklungsfortschritt die Ziele anderer Disziplinen (z.B. Mechanik, Software, etc.) relevanter werden.

Auf Basis der PLM-Strategie wird das PLM-Konzept abgeleitet. Das Konzept gliedert sich in die Elemente Prozess, Funktion und Information (siehe Abbildung 104). Prozesse ordnen Tätigkeiten und bringen diese in eine logische chronologische Abfolge. Diese Tätigkeiten werden durch eine oder mehrere Funktionen unterstützt. Innerhalb einer Funktion können dabei verschiedene Methoden zum Einsatz kommen. Bei der Nutzung von Funktionen zur Durchführung von Tätigkeiten entstehen Informationen, die im Verlauf des Prozesses weiter genutzt bzw. verändert werden. Es gilt daher die Prozesse, Funktionen und Informationen diesbezüglich zu definieren, zu priorisieren und entsprechend der Nutzenpotenziale aus der PLM-Strategie anforderungsgerecht zu gestalten. Die fluidtechnisch-mechatronische Entwicklungsumgebung stellt in diesem Zusammenhang Referenzprozesse zur Verfügung, die einen logischen Ablauf von Tätigkeiten unter Nutzung von Methoden und Informationen abbilden (siehe Abbildung 106). Diese werden bei einer Umsetzung im Unternehmen entsprechend der jeweiligen PLM-Strategie angepasst.

Schließlich gilt es das PLM-Konzept mit Hilfe einer bedarfsgerechten IT-Lösung umzusetzen. Im Mittelpunkt von PLM steht ein integriertes Produktmodell. Nach VDI 2219 ist das integrierte Produktmodell die Beschreibung aller Informationen zu einem Produkt über alle Phasen des Produktlebenszyklus hinweg in einem Modell. Vor diesem Hintergrund ist das integrierte Produktmodell eine zentrale informationstechnische Sammlung aller relevanten Daten und Informationen über ein Produkt, die über den Lebenszyklus hinweg anfallen.¹⁸⁰ Für fluidtechnisch-mechatronische Systeme bedeutet dies, dass sowohl die Daten und Informationen zu Elektrik/ Elektronik, Mechanik, Software sowie Fluidtechnik in einem integralen Modell abgebildet werden. Dabei liegt die Leistung von PLM und den sich dahinter verbergenden Prozessen, Organisationsstrukturen und IT-unterstützenden Lösungen nicht in der Verwaltung der jeweiligen Daten, sondern vielmehr in der Realisie-



rung von Beziehungsstrukturen. Leistungsfähige Produktdatenmanagement (PDM)-Lösungen sind heute in der Lage, die Umsetzung des PLM-Ansatzes weitgehend zu unterstützen.

Wird beispielsweise ein neues Entwicklungsprojekt eröffnet, so muss der Projektleiter verschiedene Prozesse durchführen. Eine Tätigkeit innerhalb des Prozesses ist in diesem Fall beispielsweise das Einladen der am Projekt beteiligten Personen. Dabei müssen die jeweiligen Personen nicht nur über den Projektstart informiert werden, sondern der Projektleiter muss ebenfalls das Aufgabenspektrum der jeweiligen Personen abgrenzen bzw. definieren. Diese Tätigkeit lässt sich durch Funktionen unterstützen. Im Vorliegenden Fall bietet sich eine Workflowfunktion an, die unterschiedliche Tätigkeiten unter Nutzung einer PLM-unterstützten IT-Lösung automatisiert durchführt. Im Falle der Informationsverbreitung werden automatisiert Nachrichten an die jeweiligen neuen Projektmitglieder versendet. Diese Nachrichten beinhalten sowohl Informationen zum Projekt, als auch Informationen zu dem Aufgabenspektrum der jeweiligen Person. Die Zuteilung von Aufgaben zu Personen erfolgt durch den Projektleiter. Anstatt bei jedem Projektstart erneut eine Zuordnung von Aufgaben zu Personen durchzuführen, lässt sich die Funktion der Rollenverwaltung nutzen. Mit Hilfe dieser Funktion lassen sich fiktive Personen definieren, die als Rolle bezeichnet werden. Jeder Rolle lassen sich Aufgaben zuordnen. Schließlich muss der Projektleiter nur noch eine Zuteilung von Rolle zu Person vornehmen, ohne auf jede einzelne

Abbildung 106
PLM-Konzept der fluid-
technisch-mechatronischen
Entwicklungsumgebung

¹⁸⁰ Vgl. Arnold (2005), Product Lifecycle Management beherrschen, S. 32

Aufgabe eingehen zu müssen.

Wird nun ein neues Entwicklungsprojekt eröffnet, so wählt der Projektleiter die Teammitglieder aus und teilt diesen eine Rolle zu. Die PLM-unterstützende IT-Lösung sendet den jeweiligen Teammitgliedern daraufhin eine spezifische Nachricht (z.B. via Email) zu. Diese Nachricht enthält nicht nur Informationen über das neue Projekt, sondern ebenfalls Informationen zu den Aufgaben, die das jeweilige Teammitglied zu erfüllen hat. In Kapitel 5.4 wird auf die hier beschriebene Workflowfunktion noch einmal detailliert eingegangen.

Einführungsmethodik einer Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme

Die Umsetzung einer integrativen Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme erfolgt auf Basis der für das Unternehmen individuell erforderlichen Entwicklungsprozesse. In diesem Kapitel wird daher eine Methodik zur potenzialbasierten Bewertung und Auswahl der Referenzprozesse vorgestellt. Sie stellt die erste Phase der in Abbildung 107 dargestellten drei Phasen einer Referenzprozessimplementierung dar.

In der ersten Phase, der Prozessanalyse und Kalkulation des Nutzenpotenzials, werden die Prozessaufgaben, -grenzen und -schnittstellen festgelegt. Hierbei werden auch eine Zieldefinition, das Optimierungspotenzial und eine Umsetzungsstrategie abgeleitet. In der folgenden Phase erfolgt die Prozessgestaltung. Dabei wird der Referenzprozess ausgewählt, an die Bedürfnisse des Unternehmens angepasst und eine Prozessdokumentation erstellt. In der dritten Phase wird schließlich der individuelle Prozess im Unternehmen umgesetzt und die Zielerreichung des neuen Prozesses überprüft. Anschließend erfolgt eine kontinuierliche Verbesserung des Prozesses und weitere Verbesserungspotenziale werden erschlossen.

Durch die methodische Hilfestellung des im Folgenden vorgestellten Leitfadens wird die erste Phase der Prozesskette zur Auswahl und Einführung von Referenzprozessen mit Hilfe der hier vorgestellten Methodik abgedeckt. Die Methodik nimmt die Prozessbedeutung und den Reifegrad des Ist-Prozesses auf. Anschließend werden das Nutzenpotenzial und der Aufwand

durch den Referenzprozess abgeschätzt. Nach Aufwands- und Nutzenabschätzung werden diese verglichen und eine Einführungsstrategie abgeleitet. Durch die methodische Hilfestellung des Leitfadens werden die zielsichere Auswahl eines geeigneten Referenzprozesses und die Prüfung der Anwendbarkeit gewährleistet.

4.1 Prozessanalyse und Kalkulation des Nutzenpotenzials

Zielsetzung der Phase Prozessanalyse und Kalkulation des Nutzenpotenzials ist der systematische Abgleich von Nutzenpotenzial und Aufwand, die mit der Implementierung eines Referenzprozesses im Unternehmen einhergehen. Außerdem erfolgt eine Priorisierung verschiedener Referenzprozesse hinsichtlich der Reihenfolge der Einführung.

Zur Erreichung der beschriebenen Zielsetzung sieht die Methodik die in Abbildung 108 dargestellten sechs Teilschritte vor. Diese sechs Schritte konzentrieren sich auf die Bewertung und Auswahl von Referenzprozessen und ordnen sich dementsprechend in die erste Prozessphase aus Abbildung 107, in der das unternehmensspezifische Nutzenpotenzial analysiert wird, ein. Im ersten Schritt wird mit einer Einordnung des zukünftigen Prozesses in ein Effizienz-Effektivitäts-Portfolio begonnen, um die Prozessbedeutung zu bewerten. Anschließend wird der Ist-Prozess anhand von Effizienz- und Effektivitätskriterien detailliert eingeordnet und diese Kriterien anhand eines an dem CMMI

Prozessphase	Prozessanalyse und Kalkulation des Nutzenpotenzials	Unternehmensspezifische Anpassung des Referenzprozesses	Prozessumsetzung
Beschreibung der Prozessphase	■ Bewertung der Prozessbedeutung ■ Bewertung des Ist-Prozesses ■ Bewertung des Nutzenpotenzials durch den Referenzprozess ■ Aufwandsabschätzung der Referenzprozessimplementierung ■ Vergleich von Aufwand und Nutzen der Referenzprozessimplementierung ■ Ableiten von Einführungsstrategien	■ Projekttypologisierung anhand von projektspezifischen Merkmalen und Ausprägungen ■ Ableitung eines Soll-Prozesses	■ Ableitung von Maßnahmen zur Umsetzung ■ Roll-Out des Soll-Prozesses

Abbildung 107
Prozesskette zur Auswahl und Einführung eines Referenzprozesses¹⁸¹

¹⁸¹ Vgl. Schuh (2006), Change Management - Prozesse strategiekonform gestalten, S. 13

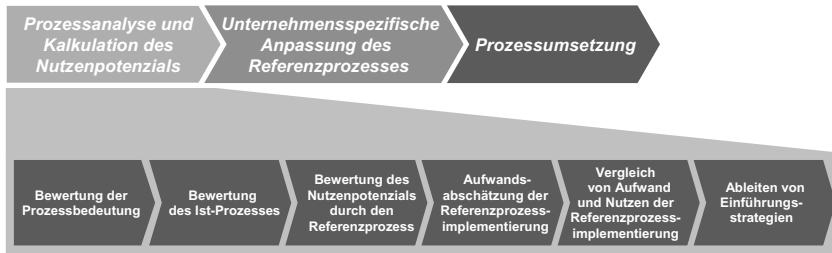
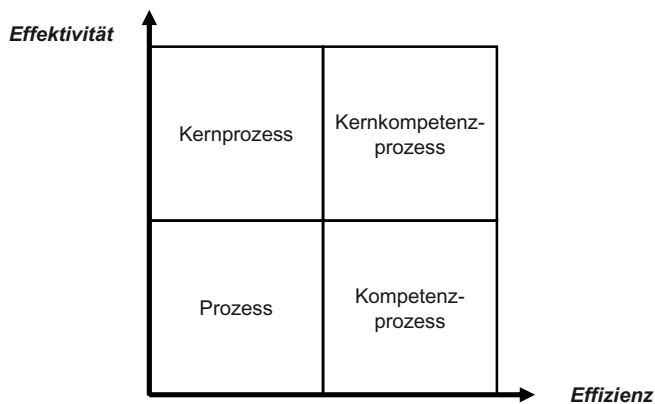


Abbildung 108
Vorgehen der Methodik zur
Auswahl von fluidtechnisch-
mechatronischen
Entwicklungsprozessen

orientierten Reifegradmodells bewertet.¹⁸² Aus den Ergebnissen beider Schritte erfolgt in dem dritten Schritt der Vergleich des Ist-Prozesses mit dem Referenzprozess unter Berücksichtigung des vom Unternehmen geforderten Soll-Profiles zur Bewertung des erreichbaren Nutzenpotenzials. In dem folgenden vierten Schritt wird ein Verfahren zur qualitativen Bestimmung des Aufwands beschrieben, der durch eine Referenzprozessimplementierung entsteht. Aus dem Nutzenvergleich des Schrittes drei und der Abschätzung des Aufwands aus Schritt vier wird eine Bewertung des Aufwand-Nutzen-Verhältnisses der Referenzprozessimplementierung im fünften Schritt abgeleitet. Dabei wird jeder Prozess in ein Nutzen-Aufwand-Portfolio eingetragen und hinsichtlich des zu erwartenden Nutzens für das Unternehmen bewertet. Fällt der unternehmensspezifische Nutzen größer aus als der Aufwand, so ist die Referenzprozessimplementierung sinnvoll. Aus den für eine Implementierung als sinnvoll erachteten Prozessen werden im letzten Schritt anhand der Abhängigkeiten der Prozesse untereinander eine Priorisierung und eine zeitliche Roadmap der Einführung erstellt.

Abbildung 109
Bewertung der Prozessbe-
deutung nach Effektivität
und Effizienz¹⁸³



Im Folgenden werden die einzelnen, zu durchlaufenden Schritte ausführlich vorgestellt.

4.1.1 Bewertung der Prozessbedeutung

Unternehmensprozesse werden hinsichtlich der Kriterien Effizienz und Effektivität optimiert. Effizienz und Effektivität sind in der Regel nicht für jeden Prozess gleich bedeutsam. Die Einteilung des Nutzens von Referenzprozessen erfolgt in dieser Methodik auch anhand dieser beiden Kriterien. Im Vordergrund der Einteilung steht der Gedanke nach der Leistung des jeweiligen Prozesses, wie oft er ausgeführt wird und welcher Kundennutzen entsteht.

Sog. Kernprozesse, wie beispielsweise die Erstellung des Systementwurfes, zeichnen sich durch hohe Effektivitätsziele und sog. Kompetenzprozesse, wie z.B. die Inbetriebnahme, durch eine hohe angestrebte Effizienz aus. Effizient bedeutet »etwas richtig tun«, während effektiv »das Richtige tun« bedeutet. Effiziente Prozesse zeichnen sich aus durch einen geringen Zeitbedarf (z. B. Durchlaufzeit, Zykluszeit, Termintreue), geringe Kosten und eine hohe, interne Prozessqualität (z. B. geringe Fehlerrate, geringe Nacharbeit). Dementsprechend werden effiziente Prozesse für häufig ablaufende Standardaufgaben verwendet. Effektive Prozesse dagegen verfügen über einen großen Einfluss auf den Kundennutzen und zeichnen sich durch den Grad der Zielerreichung aus. Dabei steht nicht, wie bei der Effizienz, der Weg im Vordergrund, sondern das zu erreichende Ziel. Sind Effektivität und Effizienz gleichermaßen wichtig, handelt es sich um einen Kernkompetenzprozess. Zusätzlich fließen Kriterien des Prozessmanagements in dieser Methodik mit in die Bewertung ein.

In dem ersten Schritt der potenzialbasierten Bewertungsmethode zur Prozessauswahl erfolgt eine Zieldefinition mit Hilfe einer Abschätzung der Prozessbedeutung. In dieser Abschätzung werden grob die Anforderungen für den Prozess hinsichtlich Prozesseffektivität und -effizienz festgelegt und ein Zielbild erstellt. Dies erfolgt mit dem in Abbildung 109 dargestellten Geschäftsprozess-Portfolio. In diesem Portfolio sind die beiden Dimensionen Effizienz und Effektivität aufgetragen und vier Bereiche abgegrenzt. Die abgegrenzten Bereiche sind „normale“ Prozesse, Kernprozesse, Kompetenzprozesse und Kernkompetenzprozesse.

4.1.2 Bewertung des Ist-Prozesses

Jeder Prozessbewertung liegt ein Reifegradmo-

¹⁸² Reifegradmodelle werden zur Prozessbewertung genutzt. Das Capability Maturity Model Integration (CMMI) ist ein von dem Software Engineering Institut (SEI) der Carnegie Mellon University entwickeltes Reifegradmodell für Softwareentwicklungsprozesse.

¹⁸³ Vgl. Eversheim/Schuh (1999), Produktion und Management, S. 5 ff.

dell zugrunde. Reifegradmodelle formulieren eine endliche Anzahl von Stufen (Reifegrade). Höhere Reife bedeutet, dass die Voraussetzungen für höhere Prozesseffektivität und -effizienz besser erfüllt sind. Die Reifegrade werden üblicherweise in diskreten Stufen beschrieben. Reifegradmodelle haben zahlreiche Einsatzgebiete im Unternehmen. Sie bilden Ist-Zustände ab und vergleichen diese miteinander. Anhand des Vergleiches werden Verbesserungspotenziale identifiziert und konkrete Handlungsanweisungen aufgezeigt.¹⁸⁴

Für zahlreiche Unternehmensaufgaben bestehen Reifegradmodelle zur Bewertung von Prozessen. Bekannte Reifegradmodelle sind das GPM-Reifegradmodell, das CMM (Capability Maturity Model, u. a. für Softwareentwicklungsprozesse), das SPICE-Modell (Software Process Improvement and Capability Determination), das ISO-Reifegradmodell nach ISO 9000:2000, das PMMA-Reifegradmodell (Process Management Maturity Model) der Siemens AG oder das IBM-Reifegradmodell.¹⁸⁵

Im Kontext des BMBF-Verbundprojektes Fluidtronic wurde der Ordnungsrahmen zur Einordnung von Referenzprozessen an das CMMI-Reifegradmodell angelehnt. Der Nutzen dieses Modells liegt in der Möglichkeit, anhand von konkreten Faktoren den Reifegrad eines Prozesses zu bewerten. In diesem Modell ist der Reifegrad der Stufe eins der geringste Reifegrad. Auf dieser Stufe wird der Prozess chaotisch und unorganisiert ausgeführt. Die

Stufe fünf besitzt die höchste Prozessreife. Diese Stufe zeichnet sich durch präventive, fehlervermeidende Maßnahmen und einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess aus.

Die Bewertung des Ist-Prozesses erfolgt gemäß der in Abbildung 110 dargestellten Fragestellungen. Die Effektivität des Prozesses wird anhand seines Einflusses auf den Kundennutzen, die Marktziele und die Produktqualität bewertet. Die Bewertung der Effizienz erfolgt anhand der Prozessbeherrschung, der Wirtschaftlichkeit des Prozesses, der Prozessqualität und der Zeit.

Neben Effektivität und Effizienz wird der Ist-Prozess in diesem Schritt nach seinen Eigenschaften in der Kategorie Prozessmanagement bewertet (siehe Abbildung 110). Diese Kategorie ist aus der Reifegradbewertung des CMMI abgeleitet. Besitzt ein Prozess ein gutes Prozessmanagement und befindet sich die Erfolgsmessung auf einem hohen Reifegrad, so besitzt der Prozess eine hohe Stabilität, Effizienz und Effektivität. Auch eine kontinuierliche Verbesserung des Prozesses wird durch einen hohen Reifegrad unterstützt.

Im Folgenden werden die in Abbildung 110 dargestellten Fragestellungen in ein Reifegradmodell eingeordnet. Die Fragestellungen spiegeln jeweils ein Reifegradkriterium wieder. Jedes Reifegradkriterium wird mit einem Reifegrad von eins bis fünf bewertet. Für die beiden Kriterien der Kategorie Effektivität und die Kategorie Prozessmanagement sind die Rei-

Effektivität	Effizienz	Prozessmanagement
Kundennutzen und Marktziele Mit welchem Reifegrad beeinflusst der Prozess Kundennutzen und Marktziele des Unternehmens?	Prozessbeherrschung Mit welchem Reifegrad wird die Prozessbeherrschung des Prozesses optimiert?	Prozessmanagement und Erfolgsmessung Welchen Reifegrad besitzen das Prozessmanagement und die Erfolgsmessung des Prozesses?
Produktqualität Mit welchem Reifegrad beeinflusst der Prozess die Produktqualität des Unternehmens?	Wirtschaftlichkeit Mit welchem Reifegrad wird die Wirtschaftlichkeit des Prozesses optimiert?	
	Prozessqualität Mit welchem Reifegrad wird die Prozessqualität optimiert?	
	Zeit Mit welchem Reifegrad wird die Durchlaufzeit und die Termintreue des Prozesses optimiert?	

Abbildung 110
Fragestellungen für die
Bewertung des Ist-Prozesses

¹⁸⁴ Vgl. Schmelzer/Sesselmann (2008), Geschäftsprozessmanagement in der Praxis, S. 314f.

¹⁸⁵ Vgl. Schmelzer/Sesselmann (2008), Geschäftsprozessmanagement in der Praxis, S. 315

fegrade und die dazugehörigen Eigenschaften der Kriterien in Tabelle 2 aufgeführt.

Unter dem Kriterium Kundennutzen und Marktziele wird der von einem Kunden tatsächlich wahrgenommene Nutzen während einer Kaufentscheidung verstanden. Da ein Kunde sich immer für das Produkt entscheiden wird, welches ihm den höchsten wahrgenommenen Nutzen verspricht, ist dies eine wichtige Orientierung für entsprechende Unternehmensprozesse. Zusätzlich werden bei diesem Kriterium die Marktziele berücksichtigt. Zu den Marktzielen eines Unternehmens zählen der Marktanteil, die Entwicklung alter und neuer Märkte bzw. Kundengruppen sowie die Leistungsentwicklung, d. h. das Produktangebot und die Diversifikation von Produkten und Kunden.¹⁸⁶

Die Produktqualität ist die Gesamtheit der Produkteigenschaften, die die Eignung für den jeweils beabsichtigten Einsatzzweck ausmachen. Beispiele hierfür sind die Funktionstüchtigkeit, die Sicherheit, die Lebensdauer und die Wirtschaftlichkeit.

Unter Prozessmanagement und Erfolgsmessung wird die Gestaltung, Dokumentation und Verbesserung von Prozessen verstanden. Dieses Kriterium trägt maßgeblich zur Verbesserung und Steuerung von Effizienz und Effektivität

von Prozessen bei. Dazu gehören bspw. die Aufnahme von Prozesskennzahlen, die Dokumentation und die Verbesserung des Prozesses.

Neben den Fragestellungen der Kategorien Effektivität und Prozessmanagement werden für die Bewertung des Ist-Prozesses außerdem die in Tabelle 3 aufgeführten Effizienzkriterien benötigt. Die Effizienzkriterien sind die Wirtschaftlichkeit, die Prozessqualität und die Zeit.

Die Wirtschaftlichkeit ist ein Maß für den rationalen Umgang mit knappen Ressourcen. Sie wird allgemein als das Verhältnis zwischen erreichtem Ergebnis (Ertrag) und dafür benötigtem Mitteleinsatz (Aufwand) definiert. Wirtschaftlich ist ein Prozess dann, wenn die für ihn benötigten Ressourcen geringer als der Ertrag sind. Für diese Methodik zeichnet sich ein Prozess geringer Wirtschaftlichkeit dadurch aus, dass die Wirtschaftlichkeit des Prozesses nicht überwacht und gesteuert wird. Prozesse, die einen Reifegrad in der Kategorie Wirtschaftlichkeit der Stufe fünf besitzen, werden auf Basis prozessspezifischer Ziele kontinuierlich in ihrer Wirtschaftlichkeit verbessert.

Die Prozessqualität beschreibt die Qualität der Entstehungsprozesse für ein Produkt. Die Beherrschung eines Prozesses erfordert, dass ein Prozess immer in gleich guter Qualität und

Tabelle 2
Bewertung des Ist-Prozesses
nach Effektivität und
Prozessmanagement

Reifegrad	Effektivität		Prozessmanagement und Erfolgsmessung
	Kundennutzen und Marktziele	Produktqualität	
1	Der Einfluss des Ist-Prozesses auf Kundennutzen und Marktziele des Unternehmens ist nicht definiert.	Der Einfluss des Ist-Prozesses auf die Produktqualität ist nicht definiert.	Der Prozessablauf ist chaotisch und wenige Personen sind am Prozess beteiligt.
2	Der Einfluss des Ist-Prozesses auf den Kundennutzen und die Erreichung der Marktziele des Unternehmens ist definiert.	Der Einfluss des Ist-Prozesses auf die Produktqualität ist definiert.	Die wiederholbare Ausführung des Prozesses wird beherrscht. Der Prozessablauf ist klar definiert.
3	Der Einfluss des Ist-Prozesses auf den Kundennutzen und die Erreichung der Marktziele des Unternehmens wird gemessen.	Der Einfluss des Prozesses auf die Produktqualität wird gemessen.	Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortungen für die am Prozess beteiligten Rollen sind klar definiert, dokumentiert und werden gelebt.
4	Es werden regelmäßig prozessspezifische Ziele für die Verbesserung des Kundennutzens und die Erreichung von Marktzielen definiert.	Es werden regelmäßig prozessspezifische Ziele für die Verbesserung des Einflusses des Prozesses auf die Produktqualität definiert.	Zur Prozessbewertung werden einheitliche Kennzahlen verwendet. Die Kennzahlen werden zur Planung und Steuerung des Prozesses genutzt.
5	Der Kundennutzen und die Erreichung von Marktzielen durch den Ist-Prozess werden auf Basis der definierten Ziele kontinuierlich erfolgreich verbessert.	Der Einfluss des Ist-Prozesses auf die Produktqualität wird auf Basis der definierten Ziele kontinuierlich erfolgreich verbessert.	Der Prozess wird erfolgreich kontinuierlich verbessert. Für die Verbesserung des Prozesses existiert ein zuständiger Prozessmanager. Eine Ursachen- und Fehleranalyse führt zu einer präventiven Vermeidung von Fehlern.

¹⁸⁶ Vgl. Bullinger (1999), Effizientes Informationsmanagement in dezentralen Organisationsstrukturen, S. 179, Berndt/Fantapie Altobelli/Sander (2005) und Internationales Marketingmanagement, S. 100

Reife- grad	Effizienz			
	Prozess- beherrschung	Wirtschaftlichkeit	Prozessqualität	Zeit
1	Die Prozessbeherrschung im Ist-Prozess wird nicht überwacht und gesteuert.	Die Wirtschaftlichkeit des Ist-Prozesses wird nicht überwacht und gesteuert.	Die Prozessqualität im Ist-Prozess wird nicht überwacht und gesteuert.	Durchlaufzeit u. Termintreue im Ist-Prozess werden nicht überwacht und gesteuert.
2	Die Prozessbeherrschung im Ist-Prozess wird anhand standardisierter Werte gemessen.	Die Wirtschaftlichkeit des Ist-Prozesses wird anhand standardisierter Werte gemessen.	Die Prozessqualität im Ist-Prozess wird anhand standardisierter Werte gemessen.	Durchlaufzeit und Termintreue im Ist-Prozess werden anhand standardisierter Werte gemessen.
3	Auf Basis des Ist-Zustandes werden regelmäßig prozessspezifische Ziele für die Prozessbeherrschung definiert.	Auf Basis des Ist-Zustandes werden regelmäßig prozessspezifische Ziele für die Wirtschaftlichkeit des Prozesses definiert.	Auf Basis des Ist-Zustandes werden regelmäßig prozessspezifische Ziele für die Prozessqualität definiert.	Auf Basis des Ist-Zustandes werden regelmäßig prozessspezifische Ziele für Durchlaufzeit und Termintreue definiert.
4	Die Erreichung der prozessspezifischen Ziele bezüglich der Prozessbeherrschung wird regelmäßig erhoben und ist Teil des Berichtswesens.	Die Erreichung der prozessspezifischen Ziele bezüglich der Wirtschaftlichkeit des Ist-Prozesses wird regelmäßig erhoben und ist Teil des Berichtswesens.	Die Erreichung der prozessspezifischen Ziele bezüglich der Prozessqualität wird regelmäßig erhoben und ist Teil des Berichtswesens.	Die Erreichung der prozessspezifischen Ziele bezüglich Durchlaufzeit und Termintreue wird regelmäßig erhoben und ist Teil des Berichtswesens.
5	Die Prozessbeherrschung wird auf Basis prozessspezifischer Ziele kontinuierlich erfolgreich verbessert.	Die Wirtschaftlichkeit des Prozesses wird auf Basis prozessspezifischer Ziele kontinuierlich erfolgreich verbessert.	Die Prozessqualität wird auf Basis prozessspezifischer Ziele kontinuierlich erfolgreich verbessert.	Durchlaufzeit und Termintreue wird auf Basis prozessspezifischer Ziele kontinuierlich erfolgreich verbessert.

Tabelle 3
Bewertung des Ist-Prozesses
nach Effizienz

ohne Störungen abläuft. Dies kann durch Analyse von Abläufen und Ablaufkontrollen erreicht werden.

Das Kriterium Zeit befasst sich mit für den Prozess wichtigen temporären Kennzahlen. Für diese Methodik sind die Durchlaufzeit und die Termintreue wichtige Kenngrößen. Die Durchlaufzeit gibt an, wie lange eine Einheit benötigt, um den gesamten Prozess zu durchlaufen. Die Termintreue ist ein Maß für die pünktliche Fertigstellung des Prozessoutputs.

4.1.3 Bewertung des unternehmensspezifischen Nutzenpotenzials

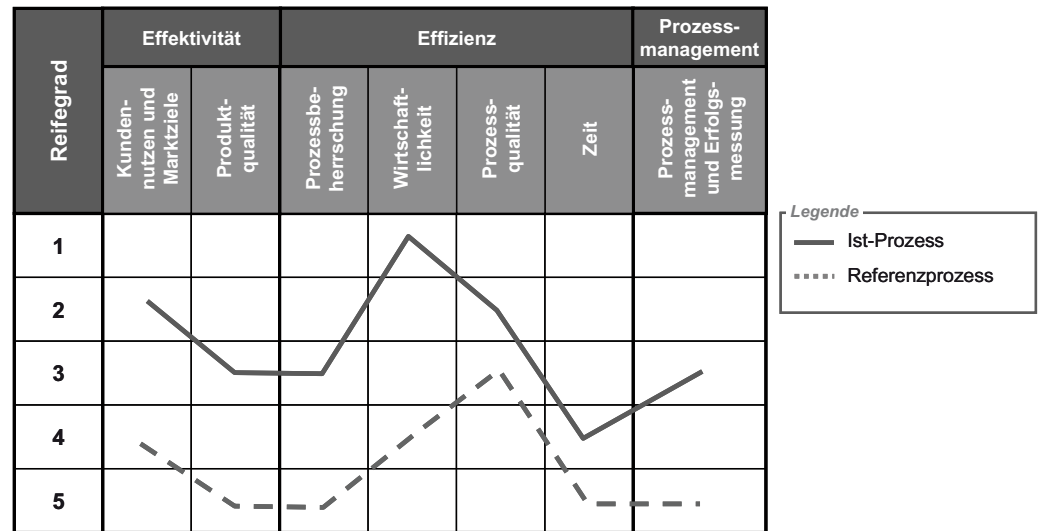
Im zweiten Schritt wurde der Ist-Prozess bewertet. Zur Berechnung des unternehmensspezifischen Nutzenpotenzials des jeweiligen Referenzprozesses ist es notwendig, das referenzprozessspezifische Optimum dem derzeitigen Ist-Prozess gegenüberzustellen. Das referenzprozessspezifische Optimum ist ein Maß für das Verbesserungspotenzial des individuellen Prozesses. Dafür wird eine Bewertungsmatrix wie in Abbildung 111 verwendet. In dieser Bewertungsmatrix sind die Kategorien und deren Kriterien zur Prozessbewertung auf der horizontalen Achse und der Reifegrad auf der vertikalen Achse aufgetragen. Die Einordnung des Ist-Prozesses erfolgt anhand der Bewer-

tungen aus Tabelle 2 und Tabelle 3. Die Einordnung des Referenzprozesses ist eine vordefinierte Bewertung.

Besitzt der Ist-Prozess für ein Kriterium oder mehrere Kriterien einen höheren Reifegrad als der Referenzprozess so ist von einer Implementierung generell abzuraten. Besitzt der Referenzprozess jedoch einen höheren Reifegrad für alle Kriterien, so ist in einem nächsten Schritt der gewünschte Soll-Prozess in die Bewertungsmatrix einzutragen und dem jeweiligen Referenzprozess gegenüberzustellen. Dieser unternehmensspezifische Soll-Prozess ist mit Hilfe der Einordnung der Prozessbedeutung für das Unternehmen aus Abbildung 109, in die Bewertungsmatrix, wie in Abbildung 112 dargestellt, einzutragen.

Wie in Abbildung 112 beispielhaft dargestellt, divergiert der unternehmensspezifische Soll-Prozess häufig von dem vorgestellten Referenzprozess, da er die Bedürfnisse des Unternehmens genauer berücksichtigt. Man erkennt anhand der Divergenz zwischen Soll- und Referenzprozess, dass eine Verbesserung aller Kategorien Effektivität, Effizienz und Prozessmanagement gleichermaßen oft nicht gefordert ist. Vielmehr besteht durch das Soll-Profil in der Regel ein Fokus auf die Verbesserung einzelner Kriterien. Wird der Reifegrad dieser Kriterien

Abbildung 111
Bewertung des Nutzenpotenzials durch den Referenzprozess



zusätzlich auf Grund der Referenzprozessimplementierung verbessert, so erhöht sich der Aufwand, ohne einen direkten Mehrwert für ein Unternehmen zu generieren. Dies wirkt sich negativ auf das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen aus. Um das genaue Nutzenpotenzial für das jeweilige Unternehmen zu ermitteln, wird daher eine Gegenüberstellung des referenzprozessspezifischen Optimums und des derzeitigen Ist-Prozesses benötigt. Das referenzprozessspezifische Optimum wird mit Hilfe beider eingetragenen Kurven (Soll-Prozess und Referenzprozess) aus Abbildung 112 ermittelt. Besitzt der Soll-Prozess für ein Kriterium einen höheren Reifegrad als der Referenzprozess, so begrenzt der Reifegrad des Referenzprozesses das referenzprozessspezifische Optimum für dieses Kriterium. Besitzt jedoch der Referenzprozess einen höheren Reifegrad als der Soll-Prozess, so legt wiederum der Soll-Prozess das unternehmensspezifische Optimum für das

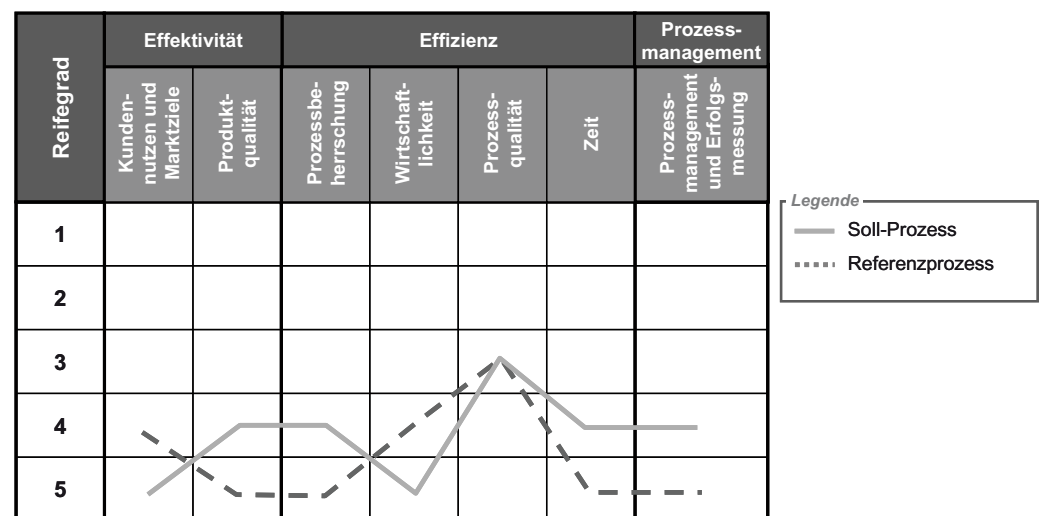
jeweilige Kriterium fest. Als Ergebnis ergibt sich abschließend das referenzprozessspezifische Optimum, welches beispielhaft in Abbildung 113 dargestellt wird.

Mit Hilfe dieses referenzprozessspezifischen Optimums kann nun abschließend das unternehmensspezifische Nutzenpotenzial einer Referenzprozessimplementierung ermittelt werden. Das unternehmensspezifische Nutzenpotenzial stellt die Differenz zwischen dem Ist-Prozess und dem referenzprozessspezifischen Optimum dar.

4.1.4 Aufwandsabschätzung der Referenzprozessimplementierung

Neben der Bewertung des unternehmensspezifischen Nutzenpotenzials der Referenzprozessimplementierung ist es erforderlich, eine Abschätzung des Aufwands durchzuführen. Der Aufwand der Referenzprozessimplementierung

Abbildung 112
Bewertungsmatrix mit Soll-/Referenzprozess Vergleich



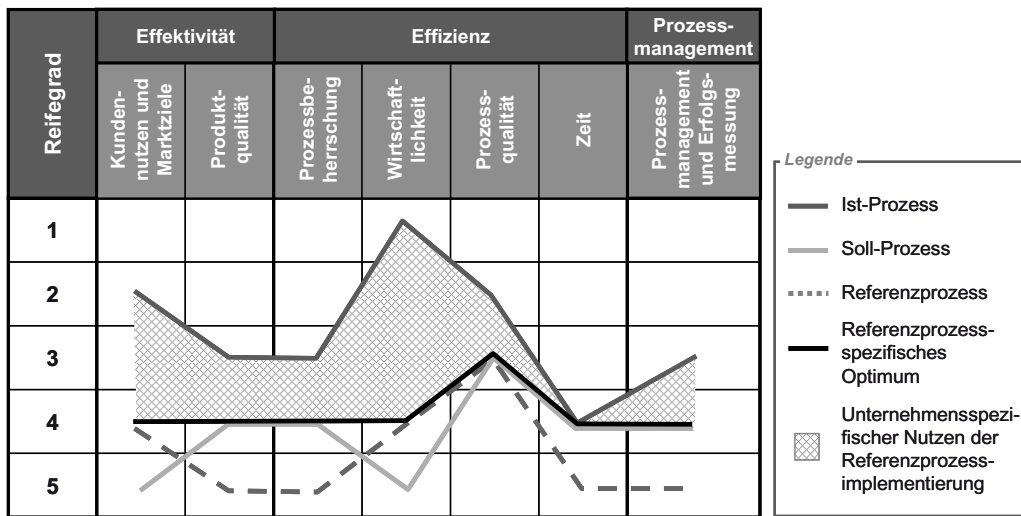


Abbildung 113
Ermittlung des unternehmensspezifischen Nutzens der Referenzprozessimplementierung

fällt entsprechend der drei Phasen der Referenzprozessimplementierung an. In Abbildung 114 ist der zeitliche Ablauf der drei Phasen dargestellt. Unter jeder der drei Phasen befindet sich

sowohl die Beschreibung der Phase, als auch der Aufwand innerhalb dieser Phase.

Der Aufwand der ersten Phase der Prozessanalyse und Kalkulation des Nutzenpotenzials

Prozessphase	Prozessanalyse und Kalkulation des Nutzenpotenzials	Unternehmensspezifische Anpassung des Referenzprozesses	Prozessumsetzung
Beschreibung der Prozessphase	■ Bewertung der Prozessbedeutung ■ Bewertung des Ist-Prozesses ■ Bewertung des Nutzenpotenzials durch den Referenzprozess ■ Aufwandsabschätzung der Referenzprozessimplementierung ■ Vergleich von Aufwand und Nutzen der Referenzprozessimplementierung ■ Ableiten von Einführungsstrategien	■ Projekttypologisierung anhand von projektspezifischen Merkmalen und Ausprägungen ■ Ableitung eines Soll-Prozesses	■ Ableitung von Maßnahmen zur Umsetzung ■ Roll-Out des Soll-Prozesses
Aufwands-treiber in der Prozessphase	■ Mitarbeiterbefragung zum Ablauf des Prozesses ■ Aufnahme der Ist-Prozessschritte ■ Mitarbeiterbefragung zum Auffinden von Schwachstellen des Prozesses ■ Beschreibung der Schwachstellen des Ist-Prozesses ■ Beschreibung der Ziele des neuen Prozesses ■ Aufnahme der Leistung des alten Prozesses ■ Quantifizierung der Ziele des neuen Prozesses ■ Entwicklung eines Konzepts zur Einführung des neuen Prozesses	■ Typologisierung der vorliegenden Entwicklungsprojekte ■ Auswahl eines geeigneten Referenzprozesses ■ Mitarbeiterbefragung zu Lösungsansätzen zur Behebung der Schwachstellen ■ Erstellung von Lösungsansätzen zur Behebung der Schwachstellen ■ Integration der Lösungsansätze zur Behebung der Schwachstellen in den neuen Soll-Prozess ■ Optimierung des neuen Soll-Prozesses ■ Erstellen der Dokumentation für den neuen Soll-Prozess	■ Erstellung einer Maßnahmenliste zur Umsetzung ■ Motivation der Mitarbeiter für den neuen Prozess ■ Beschaffung von Hard- und Software für den neuen Prozess ■ Schulung der Mitarbeiter ■ Veränderung der Unternehmensorganisation ■ Einführung des neuen Soll-Prozesses ■ Aufnahme der Leistung des neuen Prozesses ■ Vergleich der Zielerreichung zwischen altem und neuem Prozess ■ Motivation der Mitarbeiter für eine kontinuierliche Verbesserung

Abbildung 114
Prozesskette und Aufwand bei der Auswahl und Einführung von Referenzprozessen

Tabelle 4
Aufwand der Prozessanalyse
und Kalkulation
des Nutzenpotenzials

Phase	Schritt	Tätigkeit	Durchführungsaufwand [€]
Prozessanalyse und Kalkulation des Nutzenpotenzials	Bewertung der Prozessbedeutung	Mitarbeiterbefragung zum Ablauf des Prozesses	
		Aufnahme der Ist-Prozessschritte	
	Bewertung des Ist-Prozesses	Mitarbeiterbefragung zum Auffinden von Schwachstellen des Prozesses	
	Bewertung des Nutzenpotenzials durch den Referenzprozess	Beschreibung der Schwachstellen des Ist-Prozesses	
		Beschreibung der Ziele des neuen Prozesses	
	Aufwandsabschätzung der Referenzprozessimplementierung	Aufnahme der Leistung des alten Prozesses	
	Vergleich von Aufwand und Nutzen der Referenzprozessimplementierung	Quantifizierung der Ziele des neuen Prozesses	
	Ableiten von Einführungsstrategien	Entwicklung eines Konzepts zur Einführung des neuen Prozesses	

ist in Tabelle 4 dargestellt. Die Phase besteht aus sechs Teilschritten und insgesamt acht Tätigkeiten. In der rechten Spalte werden die mit der Tätigkeit verbunden Kosten des Durchführungsaufwands abgeschätzt.

Ein identisches Vorgehen wird für die zweite Phase der unternehmerischen Prozessanpassung zur Abschätzung des Durchfüh-

rungsaufwands verwendet. Dies ist in Tabelle 5 dargestellt. In dieser Phase sind sieben Tätigkeiten zu bewerten.

Auch für die dritte Phase wird das beschriebene Vorgehen zur Abschätzung des Durchführungsaufwands der zehn Tätigkeiten in der Phase Prozessumsetzung entsprechend Tabelle 6 benutzt.

Tabelle 5
Aufwand der unternehmensspezifischen Anpassung des Referenzprozesses

Phase	Schritt	Tätigkeit	Durchführungsaufwand [€]
Unternehmensspezifische Anpassung des Referenzprozesses	Projekttypologisierung anhand von projektspezifischen Merkmalen und Ausprägungen	Typologisierung der vorliegenden Entwicklungsprojekte	
		Auswahl eines geeigneten Referenzprozesses	
		Mitarbeiterbefragung zu Lösungsansätzen zur Behebung der Schwachstellen	
		Erstellung von Lösungsansätzen zur Behebung der Schwachstellen	
		Integration der Lösungsansätze zur Behebung der Schwachstellen ins neue Prozessmodell	
	Ableitung eines Soll-Prozesses	Optimierung des neuen Soll-Prozesses	
		Erstellen der Prozessdokumentation für den neuen Soll-Prozess	

Tabelle 6
Aufwand der Prozessumsetzung

Phase	Schritt	Tätigkeit	Durchführungsaufwand [€]
Prozessumsetzung	Ableitung von Maßnahmen zur Umsetzung	Erstellung einer Maßnahmenliste zur Umsetzung	
		Motivation der Mitarbeiter für den neuen Prozess	
		Beschaffung von Hard- und Software für den neuen Prozess	
		Schulung der Mitarbeiter	
		Veränderung der Unternehmensorganisation	
	Roll-Out des Soll-Prozesses	Einführung des Soll-Prozesses	
		Aufnahme der Leistung des neuen Prozesses	
		Vergleich der Zielerreichung zwischen altem und neuem Prozess	
		Entwicklung eines Konzepts für eine kontinuierliche Verbesserung	
		Motivation der Mitarbeiter für eine kontinuierliche Verbesserung	

4.1.5 Vergleich Aufwand und Nutzen der Entwicklungsprozessimplementierung

In den vorherigen Kapiteln wurde für die potenzialbasierte Bewertungsmethodik die Bewertung des unternehmensspezifischen Nutzenpotenzials der Referenzprozessimplementierung (vgl. Kap. 4.1.3) und die Bestimmung des Aufwands (vgl. Kap. 4.1.4) beschrieben. In Schritt 5 werden die Kennzahlen zusammengeführt und verglichen. Dies erfolgt in dem Portfolio aus Abbildung 116. Auf der vertikalen Achse des Portfolios wird das unternehmensspezifische Nutzenpotenzial, auf der horizontalen Achse der Aufwand aufgetragen.

Um das unternehmensspezifische Nutzenpotenzial zu bestimmen wird anhand von Abbildung 115 abgelesen, welche Reifegrade für die jeweiligen Kriterien der Kategorien Effektivität, Effizienz und Prozessmanagement erreicht werden sollen. Der bereits vorhandene Reifegrad des Ist-Prozesses spielt hierbei eine wichtige Rolle. Je geringer der Reifegrad des Ist-Prozesses, desto höher ist der unternehmensspezifische Nutzen bei einer Erhöhung durch die Implementierung eines Referenzprozesses. Die Berechnung erfolgt daher mit Hilfe eines Nutzenfaktors, der bei zunehmendem bereits vorhandenem Reifegrad kleiner wird. Die Staffelung des Nutzenfaktors kann Abbildung 116 entnommen werden.

Besitzt beispielsweise der Ist-Prozess für das Kriterium Prozessqualität (Kategorie Effizienz) einen Reifegrad der Stufe 2 und soll auf die Reifegradstufe 3 erhöht werden, so beträgt der Nutzenfaktor für die Berechnung des unternehmensspezifischen Nutzenpotenzials den Wert 3. Soll für bestimmte Kriterien eine Erhöhung über mehrere Reifegrade hinweg erfolgen, so werden die jeweiligen Nutzenfaktoren addiert. Das unternehmensspezifische Nutzenpotenzial bildet sich schließlich aus dem arithmetischen Mittel der kumulierten Nutzenfaktoren aller Kriterien. Der Aufwand ist die monetäre Summe aller im vierten Schritt abgeschätzten Durchführungsaufwände der Tabelle 4, 5 und 6. Beide Werte sind in ein Portfolio, wie in Abbildung 116 dargestellt, einzutragen.

Da der absolute Aufwand in Abhängigkeit der Unternehmensgröße unterschiedlich hoch ist, ist es sinnvoll den Aufwand in Abbildung 116 nicht absolut, sondern in Abhängigkeit des Unternehmensumsatzes aufzutragen. Falls der absolute Aufwand nur einen geringen Anteil am Unternehmensumsatz besitzt, ist der relative Aufwand auch gering. Umgekehrt stellt ein hoher Anteil des Aufwands am Unternehmensumsatz

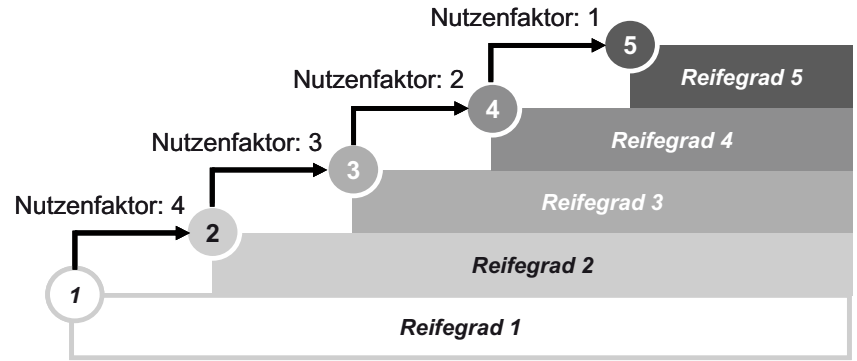


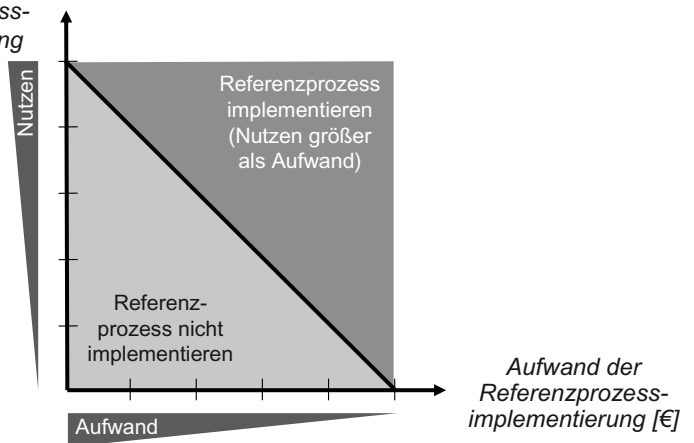
Abbildung 115
Nutzenfaktoren der unterschiedlichen Reifegrade

einen hohen relativen Aufwand dar. Dies sollte bei der Anwendung dieser Methodik geprüft werden, um den Achsenabschnitt auf der Aufwandsachse in Abbildung 116 genau bestimmen zu können. Eine solch differenzierte Betrachtung ist notwendig, da ein Aufwand ab einer bestimmten Höhe für ein Unternehmen eine hohe Belastung darstellen kann, während für ein anderes Unternehmen ein Aufwands in dieser Höhe keine Bedeutung besitzt. Die Gruppe der KMU als Zielgruppe dieser Methodik ist sehr heterogen und besitzt von Unternehmen zu Unternehmen eine unterschiedlich gute Kapitalausstattung.

Der Schnittpunkt der Achsenabschnitte von unternehmensspezifischem Nutzenpotenzial und Aufwand charakterisiert den Unternehmensprozess. Ist der unternehmensspezifische Nutzen größer als der Aufwand, so ist eine Implementierung sinnvoll und lohnend. Dies ist der Fall, wenn der Schnittpunkt von unternehmensspezifischem Nutzen und Aufwand im oberen rechten Dreieck des Portfolios liegt (Nutzen > Aufwand). Befindet sich der Schnittpunkt auf der eingezeichneten Diagonalen, die von links oben nach rechts unten verläuft, so sind Aufwand und Nutzen gleich groß (Aufwand = Nutzen). Liegt der Punkt unterhalb

Abbildung 116
Portfolio zum Vergleich von Aufwand und Nutzen der Referenzprozessimplementierung

Nutzenpotenzial der Referenzprozessimplementierung



dieser Diagonalen, so ist der Aufwand größer als der Nutzen der Implementierung (Aufwand > Nutzen). In diesem Fall ist eine Referenzprozessimplementierung nicht lohnend.

4.1.6 Ableiten von Einführungsstrategien

Empfiehl sich gemäß dem Portfolio aus Abbildung 116 die Implementierung mehrerer Prozesse ist eine Priorisierung der Prozesse notwendig. Aufgrund der Komplexität und des Aufwands ist es nicht sinnvoll, alle Prozesse zeitgleich zu implementieren. Daher wird mittels Priorisierung eine zu empfehlenden Reihenfolge für die Implementierung von mehreren Prozessen festgelegt.

Die Reihenfolge der Implementierung sollte sich nach dem unternehmensspezifischen Nutzenpotenzial der Prozesse und nach den Abhängigkeiten der zu implementierenden Prozesse richten. Grundsätzlich zu Beginn sollten die Prozesse, die das höchste unternehmensspezifische Nutzenpotenzial bieten und sowohl den größten Einfluss auf andere Prozesse nehmen, als auch am wenigsten von anderen Prozessen beeinflusst werden, implementiert werden. Prozesse, die nachhaltig durch andere Prozesse beeinflusst werden, sollten erst nach der Implementierung dieser stark beeinflussen den Prozesse umgesetzt werden. Demnach ist die Bestimmung der Beeinflussbarkeit und der Einflussnahme notwendig, um die Abhängigkeiten der Prozesse zu bestimmen. Exemplarisch ist die Visualisierung für fünf der in diesem Leitfaden vorgestellten Prozesse in Abbildung 117 durch ein Einflussportfolio dargestellt. In Anlehnung an ihre Abhängigkeiten werden die Prozesse in vier Kategorien in dem Einflussport-

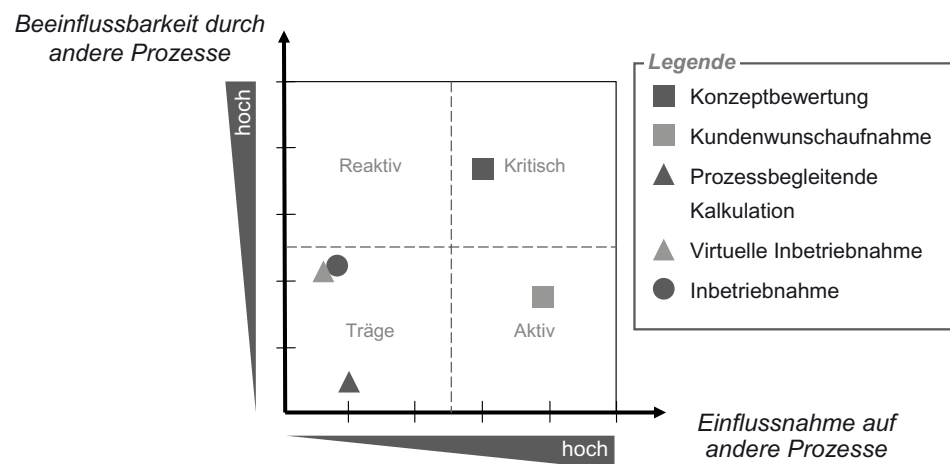
folio einsortiert. Prozesse, welche Andere stark beeinflussen, selbst aber von Anderen wenig beeinflusst werden, sind aktiv. Die Prozesse, die Andere schwach beeinflussen und auch nur schwach von Anderen beeinflusst werden, sind träge. Reaktive Prozesse beeinflussen andere Prozesse schwach, werden jedoch von anderen Prozessen stark beeinflusst.^{187, 188}

Nachdem die zu implementierenden Prozesse ausgewählt und ihre Abhängigkeiten untereinander geklärt wurden, wird der zeitliche Verlauf der Implementierung erstellt und durch eine Roadmap, wie in Abbildung 118 dargestellt, visualisiert. Die Roadmap besitzt auf der horizontalen Achse die Dimension Zeit. Auf dieser sind im zeitlichen Verlauf der Implementierung mehrere Prozesse nacheinander angeordnet. Die Bestimmung der Dauer einer Prozessimplementierung kann entweder durch eine Abschätzung oder einer Orientierung an der Größe der monetären Aufwände aus Schritt vier bestimmt werden.

4.1.7 Zusammenfassung zur Bewertung und Auswahl von Referenzprozessen

In diesem Kapitel wurde ein Leitfaden zur Bewertung und Auswahl von Referenzprozessen vorgestellt. Dieser gliedert sich in sechs Schritte. Der erste Schritt bewertet die Prozessbedeutung für das Unternehmen. In dem zweiten Schritt wird der Ist-Prozess mit Hilfe mehrerer Kriterien hinsichtlich seiner Effizienz, Effektivität und dem Prozessmanagement bewertet. Der dritte Schritt ermittelt das unternehmensspezifische Nutzenpotenzial bei der Implementierung des Referenzprozesses durch einen Vergleich des Referenzprozesses mit dem Ist-Prozess unter

Abbildung 117
Einflussportfolio mit
Abhängigkeiten der Prozesse



¹⁸⁷ Vgl. Probst/Gomez (1993), Vernetztes Denken : Ganzheitliches Führen in der Praxis, S. 13

¹⁸⁸ Vgl. Gomez/Probst (1999), Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens: Vernetzt denken – Unternehmerisch handeln – Persönlich überzeugen, S. 88

Berücksichtigung des vom Unternehmen geforderten Soll-Prozesses. Eine Bestimmung des Aufwands der Referenzprozessimplementierung erfolgt im vierten Schritt. Hierfür wird der Aufwand in den drei Phasen der Referenzprozessimplementierung monetär anhand der in der jeweiligen Phase anfallenden Tätigkeiten abgeschätzt.

Nach der Bewertung von Aufwand und unternehmensspezifischem Nutzenpotenzial bei einer Implementierung werden im fünften Schritt beide Größen in ein gemeinsames Portfolio übertragen. Durch einen Vergleich beider Kennzahlen im Portfolio wird die mögliche Notwendigkeit einer Referenzprozessimplementierung visualisiert. Im letzten Schritt des Vorgehens werden die zu implementierenden Prozesse schließlich priorisiert und der zeitliche Verlauf der Prozessimplementierung in einer Roadmap visualisiert.

4.2 Unternehmensspezifische Anpassung des Referenzprozesses

Die unternehmensspezifische Anpassung des Referenzprozesses folgt der Prozessanalyse und Kalkulation des Nutzenpotentials. Sie bildet die Grundlage für die Prozessumsetzung.

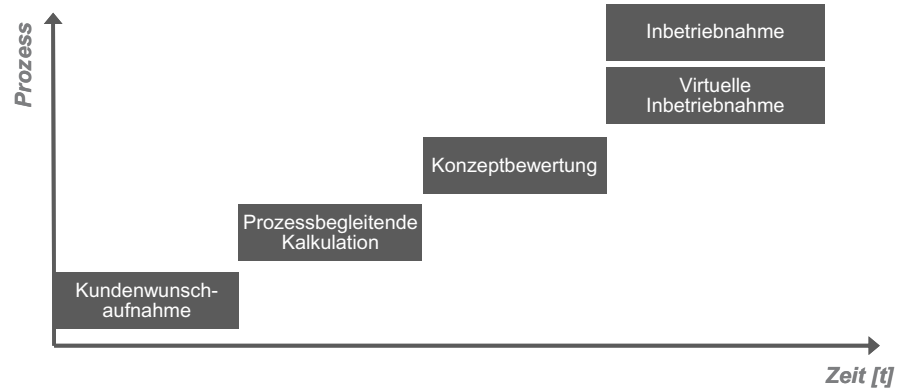
4.2.1 Ziele der unternehmensspezifischen Anpassung des Referenzprozesses

Ziel der unternehmensspezifischen Anpassung ist die Überführung des vorliegenden Referenzprozesses in einen Soll-Prozess auf Basis unterschiedlicher Projekttypen und die Befähigung der KMU zu dessen Umsetzung. Die Anpassung stellt somit den Kern der Einführungsmethodik dar. Dabei wird speziell auf die Bedürfnisse von KMU eingegangen, indem schrittweise die Referenzprozesse auf das individuelle Entwicklungssystem der Unternehmen übertragen werden.

Die unternehmensspezifische Anpassung des Referenzprozesses setzt sich zusammen aus der Projekttypologisierung und der Ableitung eines Soll-Prozesses (Vgl. Abbildung 119).

4.2.2 Typologisierung von Entwicklungsprojekten

Für eine unternehmensspezifische Anpassung der idealen fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklungsprozesse im Unternehmen müssen



die Besonderheiten unterschiedlicher Typen von Entwicklungsprojekten bekannt sein, da die Prozessschritte projekttypabhängig sind. Zum Beispiel ist bei einer Ventilentwicklung für die Großserie die montagegerechte Produktgestaltung besonders relevant. Daher ist eine intensive Zusammenarbeit der Produktentwicklung mit der Fertigungsplanung notwendig.¹⁸⁹

Im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes Fluidtronic wurde ein Regelwerk zur Projekttypologisierung erarbeitet, das es erlaubt, ein Projektvorhaben systematisch einem von sechs möglichen Projekttypen zuzuordnen (Vgl. Abbildung 120).

Die Typologisierung basiert auf den Forschungsergebnissen von SCHMELZER¹⁹⁰ und PAULUKUHN¹⁹¹. Zur Projekttypologisierung wird der in Abbildung 121 abgebildete Entscheidungsbaum herangezogen. Die Beantwortung von Fragen hinsichtlich Konstruktionsaufwand, Stückzahl und Kundenstruktur des Projektvorhabens ermöglichen die eindeutige Zuordnung zu einem der sechs definierten Projekttypen. Der Hintergrund dieser Einteilung wird im Folgenden beschrieben und die resultierenden Projekttypen anhand von Beispielen erklärt.

Abbildung 118
Roadmap der Implementierungsabfolge der Prozesse

Abbildung 119
Vorgehen zur unternehmensspezifischen Anpassung des Referenzprozesses



¹⁸⁹ Vgl. Lindemann (2007), Methodische Entwicklung technischer Produkte, S. 18

¹⁹⁰ Vgl. Schmelzer (1992), Organisation und Controlling von Produktentwicklungen, S. 13 ff.

¹⁹¹ Vgl. Paulukuhn (2005), Typologisierung von Entwicklungsprojekten im Maschinenbau, S. 132 ff.

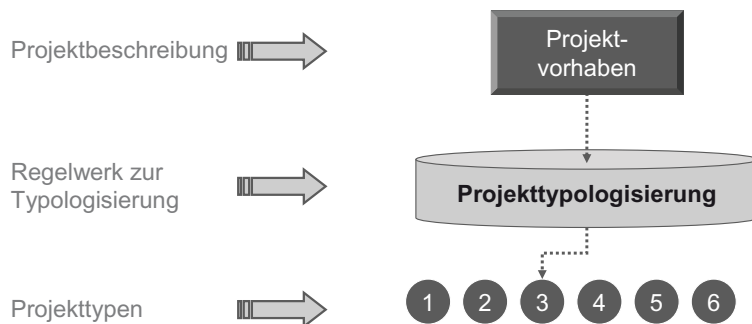


Abbildung 120
Ermittlung des Projekttyps

4.2.2.1 Projektbeschreibung anhand von Merkmalen und Ausprägungen

In Tabelle 7 sind in Form eines Morphologischen Kastens die wichtigsten Merkmale und Ausprägungen zur Beschreibung von Entwicklungsprojekten festgehalten.

Entwicklungsprojekte können anhand der Merkmale Entwicklungsaufwand, Absatzgröße und Auftragsart unterschieden werden. Durch die Kombination verschiedener Merkmale lässt sich der Entwicklungstyp eines Projektvorhabens bestimmen. Nachfolgend sind die drei Merkmale und deren mögliche Ausprägungen beschrieben.

Absatzgröße

Ein weiteres Kriterium, das bei der Planung von Entwicklungsprojekten beachtet werden muss, ist die Absatzgröße, also die zu fertigende Stückzahl. Bei Entwicklungen für Serienprodukte spielt z.B. die einfache und günstige Produzierbarkeit eine größere Rolle als bei der Entwicklung von Einzelfertigungen. Die Fertigung eines einzelnen Stücks oder einer sehr kleinen Stückzahl eines Produkts wird als Einzelfertigung bezeichnet. Serienprodukte hingegen werden in großer Stückzahl produziert.

Auftragsart

Schließlich ist auch die Auftragsart des Produktes entscheidend für den Ablauf eines Entwicklungsprojekts. Liegt ein Kundenauftrag vor, muss das entsprechende Produkt die geforderten Funktionen erfüllen. Es handelt sich also um eine Auftragsentwicklung. Im Falle einer Zielgruppen-Entwicklung liegt noch keine explizite Kundenanfrage vor. Eine Marktabschätzung dient zur Bestimmung der Anforderungen, d.h. die Entwicklung ist auf eine bestimmte Kundengruppe fixiert.

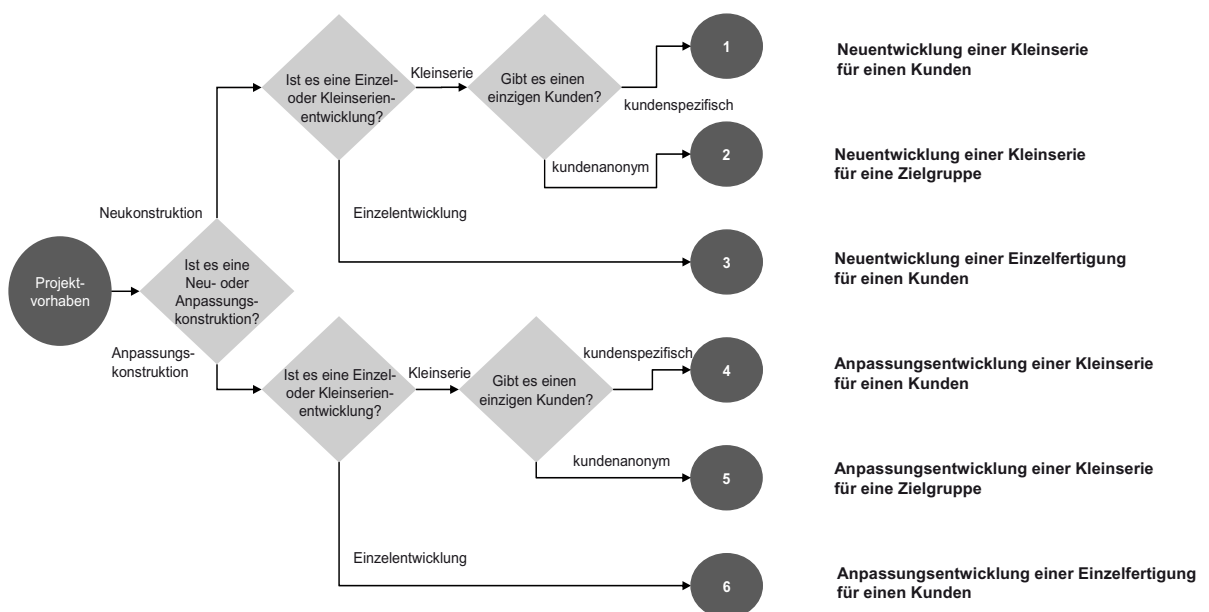
Entwicklungsaufwand

Grundsätzlich werden zwei Arten von Entwicklungsprojekten entsprechend ihres Entwicklungsaufwandes unterschieden: Neukonstruktion und Anpassungskonstruktion. Bei einer Neukonstruktion wird ein grundsätzlich neues Produkt entwickelt, welches nicht auf einem Vorgängerprodukt aufbaut. Bei einer Anpassungskonstruktion wird ein bestehendes Produkt angepasst, um die neuen Anforderungen zu erfüllen.

4.2.2.2 Ableitung verschiedener Projekttypen

Aus den oben genannten Kriterien ergeben sich die sechs im Folgenden aufgezählten Typen von Entwicklungsprojekten. Rechnerisch wären acht Typen möglich, jedoch die nicht praxisrelevanten werden hier nicht aufgeführt.

Abbildung 121
Vorgehen bei der Projekttypologisierung



1. Neuentwicklung einer Kleinserie für einen Kunden

Bei diesem Typ handelt es sich zum Beispiel um die Entwicklung eines speziellen Ventils, von dem ein Kunde eine größere Anzahl angefordert hat. Da es kein ähnliches Ventil gibt, handelt es sich um eine Neukonstruktion.

2. Neuentwicklung einer Kleinserie für eine Zielgruppe

Ein Beispiel für diesen Typ ist die Entwicklung eines speziellen Ventils, das an mehrere Kunden verkauft werden wird. Wie bei 1. gibt es kein ähnliches Ventil und somit handelt es sich um eine Neukonstruktion.

3. Neuentwicklung einer Einzelfertigung für einen Kunden

In diesen Bereich fällt beispielsweise ein Entwicklungsprojekt für eine spezielle Presse, die nur ein oder zweimal gebaut werden wird. Da keine bereits entwickelte Presse die Kundenanforderungen ausreichend erfüllt, muss eine gänzlich neue entwickelt werden.

4. Anpassungsentwicklung einer Kleinserie für einen Kunden

Hierbei handelt es sich zum Beispiel um ein Entwicklungsprojekt für einen Zylinder, der mehrfach gebaut werden wird. Der Zylinder verfügt über ein ähnliches Vorgängermodell, welches nur angepasst werden muss.

5. Anpassungsentwicklung einer Kleinserie für eine Zielgruppe

Die Entwicklung eines Ventils, das an mehrere Kunden verkauft werden wird, fällt in diese Kategorie, wenn das Ventil über ein ähnliches Vorgängermodell, welches an die neuen Anforderungen angepasst werden kann, verfügt.

6. Anpassungsentwicklung einer Einzelfertigung für einen Kunden

Ein Entwicklungsprojekt für eine Presse, die nur ein oder zweimal gebaut werden wird, ist hierfür ein klassisches Beispiel. Bei vielen Pressenherstellern besteht das Kerngeschäft in Anpassungskonstruktionen für einen Kunden, auch wenn einzelne Baugruppen in Kleinserien, produziert werden.

4.2.3 Ableitung des Soll-Prozesses

Der Referenzprozess beinhaltet mehrere alternative Abfolgen von Prozessschritten. Abgebildet ist diese Komplexität in verschiedenen möglichen Pfaden im Referenzprozess. (Vgl. Ka-

Merkmal	Ausprägungsalternativen	
	Neukonstruktion	Anpassungskonstruktion
Entwicklungsaufwand		
Absatzgröße	Entwicklung für (Klein-)Serie	Entwicklung für Einzelfertigung
Auftragsart	Auftragsentwicklung	Zielgruppen-Entwicklung

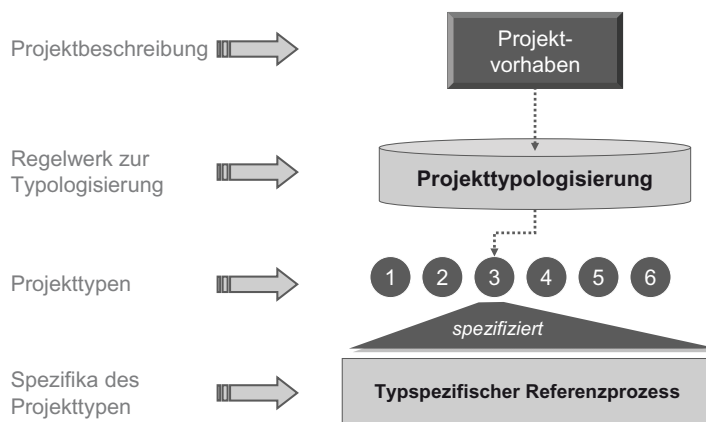
pitel 3.2.4) Dabei sind je nach Entwicklungstyp unterschiedliche Prozessschritte in einem Entwicklungsprojekt zu durchlaufen. Diese Varianz findet in den typspezifischen Referenzprozessen Ausdruck. Ob ein Prozessschritt weggelassen werden kann, hängt dabei davon ab, ob es sich z. B. um eine Anpassungsentwicklung handelt oder nicht.

Die Beschränkung auf einen Projekttyp erhöht die Übersichtlichkeit und Verständlichkeit, da der Referenzprozess von für diesen Typ irrelevanten Schleifen und Prozessschritten bereinigt wird. Diese Anpassung auf einen Projekttyp erleichtert die Umsetzung des Referenzprozesses in einen Soll-Prozess im Unternehmen. Anhand der Projekttypologisierung können sechs verschiedene typspezifische Referenzprozesse unterschieden werden. Dies wird grafisch in Abbildung 122 dargestellt.

Bei der Anpassung des Referenzprozesses in typspezifische Referenzprozesse bleiben sämtliche Prozesselemente und ihre Teilprozesse erhalten. Nur auf Prozessschritzebene sind Unterschiede erkennbar. Ausgehend von einem Referenzprozess können je nach Projekttyp bestimmte Prozessschritte ausgelassen oder ergänzt werden. Die ist in Abbildung 123 schematisch dargestellt. Die resultierenden idealen fluidtechnisch-mechatronischen Entwicklungsprozesse werden als typspezifische Referenzprozesse (TRP) bezeichnet.

Tabelle 7
Morphologischer Kasten zu Merkmalen und Ausprägungen von Entwicklungsprojekten

Abbildung 122
Ermittlung des typspezifischen Referenzprozesses



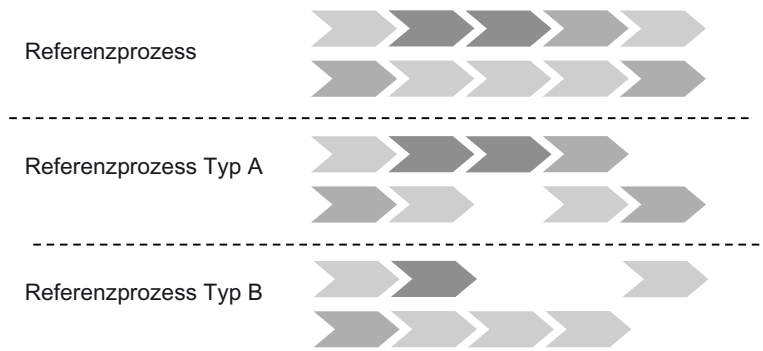


Abbildung 123
Referenzprozess und typ-
spezifische Referenzprozesse

4.2.3.1 Bestimmung der Defizite

Die Defizite werden zu Beginn aus dem aufgenommenen Ist-Prozess ermittelt. Der ausgewählte TRP und der Ist-Prozess werden an diesen Defiziten nun noch einmal gemessen. Ziel ist es wesentliche Unterschiede zwischen dem Ist-Prozess und dem TRP zu identifizieren und zu verstehen, wie die bestehenden Defizite durch Einsatz des TRP vermieden werden können.

Häufige Schwachstellen in den Ist-Prozessen sind:

■ *Fehlende Vorgaben bzw. Verantwortlichkeiten*

Es mangelt an institutionalisierten und dokumentierten Prozessen bzw. an der klaren Vorgabe standardisierter Prozesse.

■ *Kommunikations- bzw. Koordinationsdefizite*

Hierbei handelt es sich um unternehmens-

interne bzw. zwischen Unternehmen und Kunden existierende Abstimmungsschwierigkeiten bzgl. Informationen und Terminen.

■ *Informationsdefizite*

Die Verfügbarkeit bzw. Zugänglichkeit benötigter Informationen ist unzureichend.

■ *Technische Schnittstellenprobleme*

Der Datenaustausch erfolgt über uneinheitliche Datenformate. Inkompatibilität von Informationen bzw. Medienbrüche sind die Folge.

■ *Unzureichende Datenverwaltung*

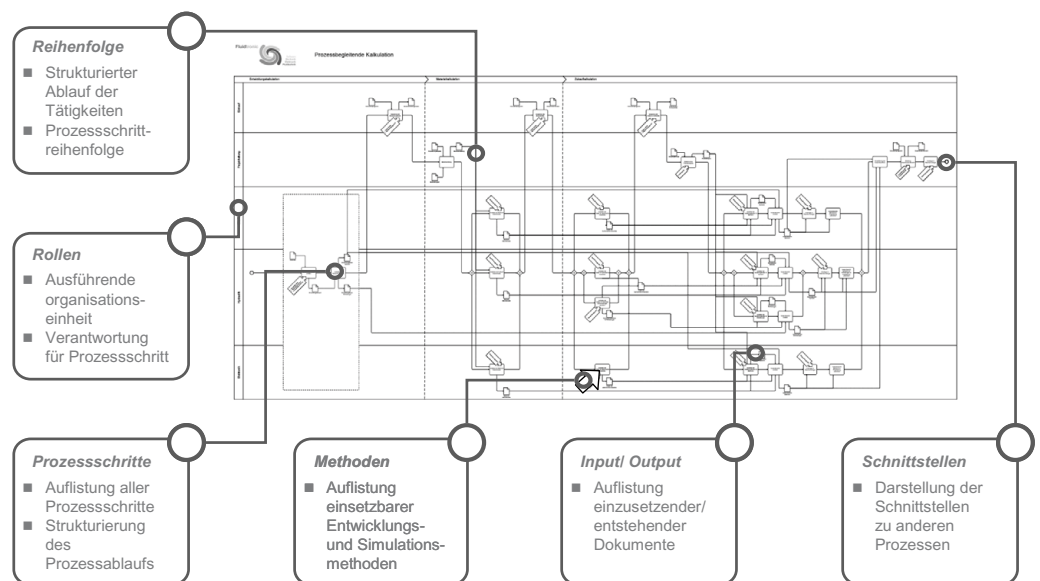
Die Möglichkeit zur Speicherung, Aufbereitung und Bereitstellung vorhandener Informationen über Datenbanken ist oft nicht gegeben

4.2.3.2 Überführung des Referenzprozesses in einen Soll-Prozess

Die Anpassung des Referenzprozesses erfolgt in internen Unternehmensworkshops. So kann eine Optimierung der Prozesse gemeinsam mit den zuständigen Experten und den Mitarbeiter erfolgen. Dadurch werden die Mitarbeiter direkt in den Optimierungsprozess mit einbezogen und darüber hinaus eine Konsensstimmung geschaffen, die die Umsetzung des Soll-Prozesses in die betriebliche Praxis später erleichtert.

Das zu optimierende Prozesselement im TRP wird dabei in Flussrichtung analysiert und an die Randbedingungen im Unternehmen angepasst. Wie in Abbildung 124 erkennbar enthält ein Prozesselement die folgenden sechs Merkmale:

Abbildung 124
Merkmale des Referenz-
prozesses



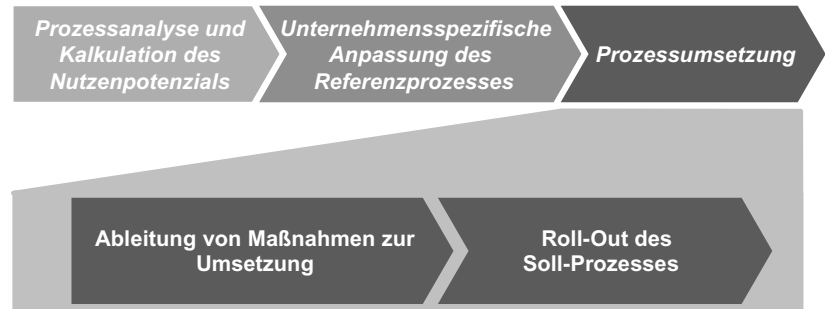
1. die jeweiligen Prozessschritte,
2. die nutzbaren Funktionen und Methoden zur Durchführung der Prozessschritte,
3. die ausführenden Organisationseinheiten (»Rollen«),
4. Schnittstellen zu anderen Prozessen und Prozessschritten,
5. die zeitliche Reihenfolge, sowie
6. die Eingangs- und Ausgangsinformationen.

Alle sechs Merkmale müssen an das Unternehmen angepasst werden. Dies geschieht sowohl auf Ebene der Prozesselemente als auch auf der Ebene der Prozessschritte.

Auf der Ebene der Prozesselemente werden die »Rollen« bestimmt. Mögliche Rollen sind in diesem Zusammenhang die Entwicklung des OEM; die Entwicklung des Zulieferers, die Projektplanung etc. Zusätzlich werden die Schnittstellen der Prozesselemente zu anderen Prozessen und Prozessschritten definiert und diskutiert.

Die restlichen Merkmale liegen von ihrem Detaillierungsgrad auf der Ebene der Prozessschritte. Für jeden Prozessschritt werden daher die folgenden Prüfungen durchgeführt und die Ergebnisse eingezeichnet:

- Prüfung jedes Prozessschrittes auf Notwendigkeit
 - Diese Prüfung bietet ein hohes Einspar- und Risikopotenzial. Daher darf die Entscheidung für oder gegen einen Prozessschritt nicht leichtfertig getroffen werden.
 - Es sind insbesondere die folgenden Fragen zu beantworten:
 1. Ist der Prozess an dieser Stelle wirklich notwendig?
 2. Kann dieser Prozessschritt nicht früher oder später durchgeführt werden?
Was wären die Vor- und Nachteile?
 - Schließlich muss stets überprüft werden, ob nicht noch weitere Prozessschritte notwendig sind, da die Referenzprozesse nicht alle Eventualitäten abdecken können.
- Prüfung, ob alle Eingangs- und Ausgangsinformationen vorhanden sind
 - Jeder Prozess bekommt Eingangsinformationen und erzeugt Ausgangsinformationen, die weitergegeben oder zu Dokumentationszwecken abgelegt werden. Hierbei ist zu prüfen ob die nötigen Informationen zu diesem Zeitpunkt schon erzeugt sein werden und wie die betroffene



Rolle mit ihnen versorgt wird. Ebenfalls ist zu klären, an wen und wie die erzeugten Informationen weitergeleitet werden müssen.

Abbildung 125
Prozessumsetzung

- Prüfung, ob die IT-Unterstützung ausreichend ist
 - Viele Unternehmen haben bei dem Einsatz von IT-Unterstützung zur Unterstützung von Workflows noch Verbesserungspotenzial. Ebenfalls können frühe rechnerische Simulationen die Entwicklungszeiten verkürzen. Auch hier bieten die Einführungsworkshops eine Gelegenheit die IT-Unterstützung zu optimieren.
- Prüfung welche Methoden genutzt werden können
 - Methodisches Vorgehen reduziert die Fehlerquellen und führt zu zuverlässigeren Produkten. Der Referenzprozess schlägt für jeden Prozessschritt mögliche Methoden vor. (Vgl. Kapitel 3.4.4)

Der aufgestellte Soll-Prozess wird dokumentiert und von allen Beteiligten sorgfältig auf Logik und Vollständigkeit geprüft.

4.3 Prozessumsetzung

Die Prozessumsetzung ist der finale Schritt der Einführungsmethodik. Aufbauend auf der Anpassung des Referenzprozesses werden Maßnahmen verabschiedet und umgesetzt.

4.3.1 Ziele der Prozessumsetzung

Die Prozessumsetzung bildet die Brücke zur Anwendung des Soll-Prozesses im Unternehmen. In dieser Phase werden Maßnahmen abgeleitet und ein Vorgehensplan erstellt. Schließlich wird der Soll-Prozess im Unternehmen eingeführt. Die Prozessumsetzung setzt sich aus der Ableitung von Maßnahmen zur Umsetzung und dem Roll-Out des Soll-Prozesses zusammen. In Abbildung 125 sind diese zwei Aspekte aufgezeigt.

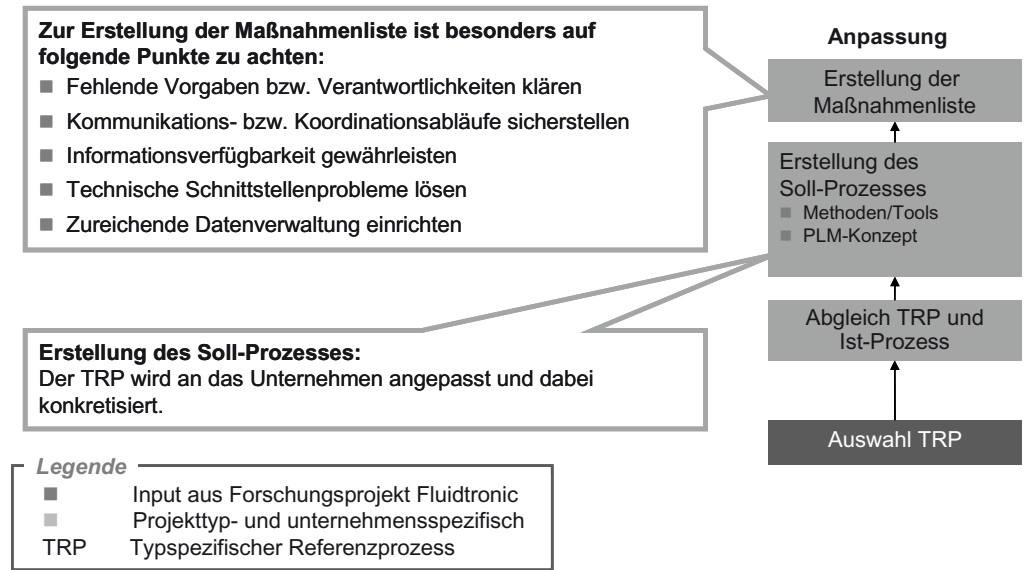


Abbildung 126
Projektspezifische Anpassung und Ausarbeitung der Maßnahmen

4.3.2 Ableitung von Maßnahmen zur Umsetzung

Nach der Dokumentation des Soll-Prozesses werden Maßnahmen zur Umsetzung festgelegt. Hierzu wird zunächst eine Auflistung aller Maßnahmen erstellt und diese nach ihrem Einfluss auf Qualität, Kosten und Zeit bewertet. Besonders wichtige Aspekte für die Erstellung der Maßnahmenliste sind in Abbildung 126 aufgeführt. Aus den priorisierten Maßnahmen wird im Anschluss gemeinsam ein Umsetzungsplan abgeleitet.

4.3.3 Roll-Out des Soll-Prozesses

Bei der Umsetzung des Soll-Prozesses muss die Änderung des Entwicklungsprozesses durch Change Management begleitet werden. MUELLER-STEWENS beschreibt die in Abbildung 127 dargestellten fünf Phasen der Kommunikation von Veränderung.

Bei der Sensibilisierung wird der Wandel vorbereitet. Dabei werden die wichtigsten Stakeholder überzeugt und ein Grobkonzept entwickelt. Der Auftakt bildet den Einstieg in den Veränderungsprozess. In der Einführungsphase muss eine aktive Auseinandersetzung mit Ablehnung stattfinden und ein konstruktiver Dialog ermöglicht werden. Anschließend werden die Änderungen umgesetzt und der Erfolg

beurteilt. Schließlich wird wieder ein eingeschwungener Zustand erreicht.¹⁹³

In Abbildung 128 sind die Phasen des Wandels dargestellt. Grundsätzlich ist bei Veränderungen mit initialem Widerstand zu rechnen. Die Ankündigung einer Veränderung ist zunächst ein Schock, dem mit Ablehnung begegnet wird. Erst später sind die Mitarbeiter bereit die Veränderungen zu akzeptieren und zu unterstützen. In diesen Phasen brauchen die Mitarbeiter intensive und offene Begleitung. Nur wenn die Mitarbeiter überzeugt sind, kann der Soll-Prozess erfolgreich umgesetzt und die Produktentwicklung dadurch zuverlässiger gestaltet werden.

4.4 Unterstützung der Einführungsmethodik durch Workshops

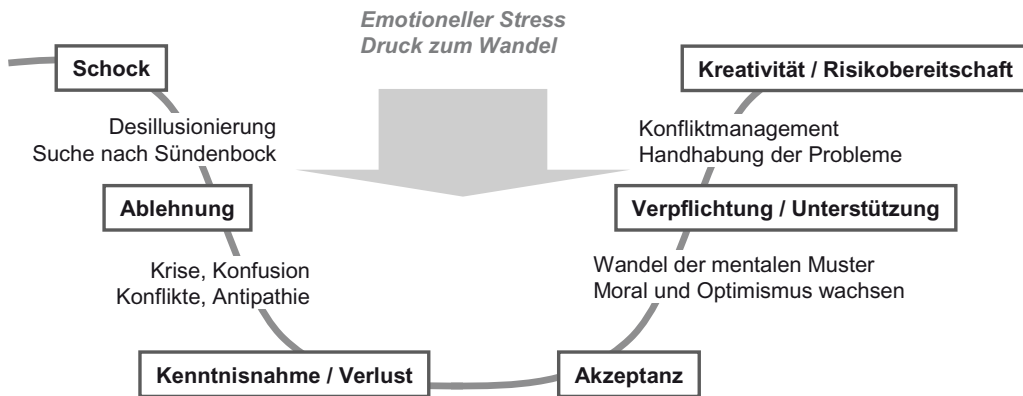
Die Einführungsmethodik kann auch mit Unterstützung externer Mitarbeiter erfolgen. Dabei wird in Einführungsworkshops die beschriebene Einführungsmethodik vor Ort durchgeführt. Darin werden Unternehmen bei der Auswahl, Anpassung und Überführung des typspezifischen Referenzprozesses (TRP) unterstützt. Neben einer Referenzprozessauswahl werden dabei Lösungsmöglichkeiten für Defizite im Entwicklungsprozess ausgearbeitet. Zusätzlich

Abbildung 127
Kommunikation von Veränderung¹⁹²



¹⁹² Vgl. Müller-Stewens/Lechner (2005), General Management Navigator, S. 610 ff.

¹⁹³ Vgl. Müller-Stewens/Lechner (2005), General Management Navigator, S. 610 ff.

Abbildung 128
Phasen des Wandels¹⁹⁴

wird der Bedarf des Unternehmens an PLM IT-Unterstützung für einen zuverlässigeren Entwicklungsprozess geklärt.

Zu Beginn der Workshops werden zu optimierende Entwicklungsprozesse über die Prozessanalyse identifiziert. Im Anschluss erfolgt die Projekttypologisierung. Dabei werden gemeinsam mit dem Unternehmen die für das Unternehmen relevanten Projekttypen ausgewählt (Vgl. Kapitel 4.1). Die Bestimmung des richtigen Projekttyps ist für die Prozessoptimierung entscheidend, da davon die Auswahl des TRP abhängig ist. Der TRP wird anschließend mit Hilfe der Anpassungsmethodik in einen Soll-Prozess überführt.

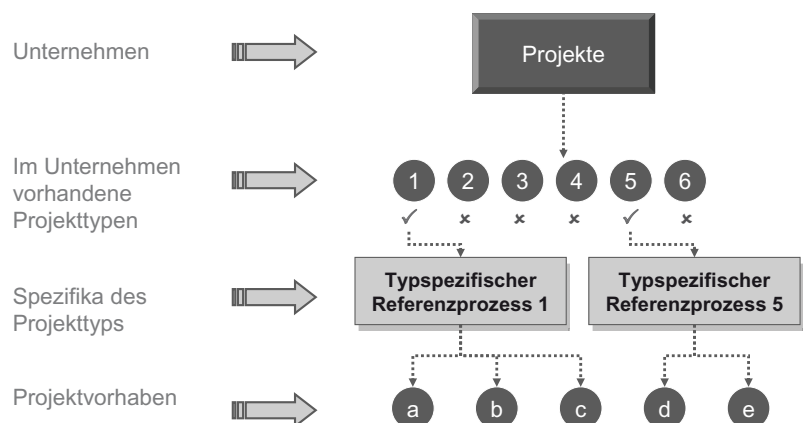
TRP können an Unternehmen angepasst und somit in der Praxis verwendet werden. Für jeden im Unternehmen vorkommenden Prozessstyp wird ein unternehmens- und typspezifischer Soll-Prozess abgeleitet. Für neue Projektvorhaben wird anschließend der Projekttyp bestimmt und der unternehmens- und typspezifische Referenzprozess als Grundlage zur Planung des Entwicklungsprozesses benutzt (Vgl. Abbildung 129).

Eine Voraussetzung für die erfolgreiche Übertragung des typspezifischen Referenzprozesses in Workshops, besteht darin, dass allen Beteiligten der typspezifische Referenzprozess in dem zu adaptierenden Abschnitt bekannt ist. Auch die im Ist-Entwicklungsprozess bestehenden Defizite sollen im Vorfeld der Workshops allen Teilnehmern bekannt sein.

4.5 Zusammenfassung der Einführungsmethodik

Die Einführungsmethodik ermöglicht die Umsetzung der in der Entwicklungsumgebung enthaltenen Referenzprozesse in Unternehmen.

Zunächst wird bestimmt welche Referenzprozesse eingeführt werden sollen. Dieser Entscheidungsprozess erfolgt anhand einer systematischen Vorgehensweise zur Prozessanalyse und Kalkulation des Nutzenpotenzials. Neben der Analyse und Bewertung der Ist-Prozesse wird das Nutzenpotenzial einer Referenzprozessimplementierung ermittelt. Nach Auswahl der notwendigen Referenzprozesse müssen diese unternehmensspezifisch angepasst werden. Hierfür muss zunächst eine Projekttypologisierung der vorliegenden Entwicklungsprojekte anhand von projektspezifischen Merkmalen und Ausprägungen durchgeführt werden. Erst anhand des vorliegenden Entwicklungsprojekttyps

Abbildung 129
Ableitung der Soll-Prozesse für einzelne Projekte

¹⁹² Vgl. Müller-Stewens/Lechner (2005), General Management Navigator, S. 610 ff.

¹⁹³ Vgl. Müller-Stewens/Lechner (2005), General Management Navigator, S. 610 ff.

¹⁹⁴ Vgl. Schulungsunterlagen Executive MBA für Technologiemanager der RWTH Aachen und der Universität St. Gallen

können unternehmensspezifische Soll-Prozesse abgeleitet werden. Die Soll-Prozesse werden anschließend in der Phase der Prozessumsetzung in das Unternehmen implementiert. Hierfür werden zunächst geeignete Umsetzungsmaßnahmen in gemeinsamen Workshops definiert bevor anschließend mit dem Roll-Out der Soll-Prozesse begonnen wird. Bei der Einführung der Soll-Prozesse im Unternehmen müssen neben dem Prozess auch die Mitarbeiter im Mittelpunkt stehen. Das Change-Management bietet hierfür Ansätze. Darüber hinaus sollte die Durchführung der Entwicklungsmethodik in gemeinsamen Workshops erfolgen. Dies bietet den Vorteil, dass Mitarbeiter direkt einbezogen werden und somit nicht nur die Qualität der Ergebnisse, sondern auch die Akzeptanz der Soll-Prozesse steigt.

Vorstellung eines Fallbeispiels zur Darstellung des idealtypischen Entwicklungsablaufs

Die erarbeiteten Ergebnisse des Verbundprojekts wurden in einem Fallbeispiel exemplarisch aufbereitet, um die Nutzenpotenziale anhand eines praktischen Beispiels zu verdeutlichen. Im Speziellen wird im Fallbeispiel auf das Zusammenspiel von Pressenhersteller und Zulieferer bei der Auslegung und Detaillierung einer hydraulischen Presse eingegangen, um die Vorteile einer PLM-IT Umgebung in Kombination mit einer Kopplung von Simulations- und Projektierungsdaten anhand eines expliziten Beispiels aufzuzeigen.

5.1 Durchgängiger Engineering Prozess und virtuelle Systemauslegung als Kerngedanken des Fallbeispiels

Wie einleitend erwähnt, sollen Ergebnisse und Erkenntnisse, die aus dem Verbundprojekt resultieren, in einem konkreten Anwendungsfall verdeutlicht werden. Zwei zentrale Kerngedanken werden in dem Fallbeispiel v.a. adressiert:

- Kopplung von Simulations- und Projektierungsdaten für einen durchgängigen Engineering Prozess
- Gewährleistung einer virtuellen Inbetriebnahme im Anschluss an die virtuelle Systemauslegung

Diese beiden Kerngedanken werden im Nachfolgenden detaillierter beschrieben.

5.1.1 Kopplung von Simulations- und Projektierungsdaten für einen durchgängigen Engineering Prozess

Moderne Dokumentations-Programme können die immer noch verbreiteten rein zeichnerisch ausgelegten Programme zur Erstellung von Schaltplänen ersetzen und bieten integrierte Möglichkeiten zur Projektierung neuer Anlagen. Per »Drag and Drop« platziert und dimensioniert der Anwender die Komponenten seines Systems symbolbasiert und ISO-Norm-konform auf dem Schaltplan. Die Verbindungen der Bauteile untereinander wiederum lassen sich mit spezifischen Eigenschaften versehen und auswerten.

Zeitgleich mit der Zeichnung entstehen automatisch auch die Stück- und Bestelllisten mit allen Bauteilkennzeichen, Bauteilgrößen und Artikelnummern. Aber auch Auswertungsseiten, wie Wartungslisten, Schmierlisten oder

Rohrverbindungslisten werden aus den erstellten Schaltplänen sofort ermittelt. Alle diese zur Projektierung und Dokumentation benötigten Dokumente sind dynamisch miteinander verlinkt, so dass eine einheitliche Datenbasis bereitgestellt wird und Fehler sowie Inkonsistenzen vermieden werden können.

An dieser Stelle hörte die Durchgängigkeit der Entwicklungskette aber bisher auf. Denn wie sah es mit der Möglichkeit aus, die projektierten Systeme auf ihre Plausibilität zu untersuchen oder sie sogar in Hinblick auf Leistungs- oder Effizienzsteigerung zu optimieren?

Im klassischen Entwicklungsprozess fand – wenn überhaupt – eine statische Systemauslegung per Hand oder eine rein auf Erfahrungswerten beruhende Dimensionierung der Bauteile statt. Nur wenn es im laufenden Betrieb der Anlagen zu extremen Druckpulsationen oder Schwingungsproblemen kam und dies eine Funktionsbeeinträchtigung oder gar einen Stillstand der Anlage zur Folge hatte, wurde auf die dynamische Simulation zurückgegriffen, um der Sache Herr zu werden und geeignete Abhilfen zu konzipieren. Durch den konsequenten Einsatz von Simulationen können zukünftig einerseits Schwachstellen des Systems bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt im Entwicklungsprozess vermieden werden, andererseits können durch den durchgängigen Software-Einsatz weitere Optimierungspotenziale, wie Kosten- oder Zeiteinsparungen, aber auch Effizienz- und Leistungssteigerungen, erschlossen werden.

Die Kopplung von Dokumentation und Simulation stellt das bisher fehlende Bindeglied dar. Die hydraulischen Schemata werden anwenderfreundlich per Knopfdruck aus der Projektierung in die Systemsimulation überführt. Neben dem System-Schaltplan oder der gewünschten Subsystem-Struktur übernimmt die Simulation durch eine Anbindung an die Komponenten-Datenbanken aus der Projektierungsstruktur automatisch alle Parameter der projektierten Bauteile bei einer Änderung in der Dokumentation wird durch die dynamische Verlinkung der beiden Entwicklungs-Tools die Änderung ohne weiteres Zutun sofort ins Simulationsmodell übernommen. Durch die Verknüpfung von Dokumentation und Simulation wird somit eine einheitliche Datenbasis sichergestellt und den Simulationsmodellen stehen stets die aktuellen Komponenten-Informationen als Parametereingänge zur Verfügung.

5.1.2 Gewährleistung einer virtuellen Inbetriebnahme im Anschluss an die virtuelle Systemauslegung

Im Bereich Anlagenbau wird die erste Inbetriebnahme eines neuen Produkts oft erst beim Auftraggeber durchgeführt, da die großen Abmessungen der Produkte eine Montage auf dem eigenen Gelände häufig nicht erlauben. Während dieser Zeit bekommt der Auftraggeber jede Unstimmigkeit bei der Abwicklung direkt mit, sodass ein möglichst reibungsloser Ablauf gewünscht ist. Die Entwicklungs- und Inbetriebnahmezeit weiter verkürzen kann die »Hardware-in-the-Loop (HiL)«-Simulation. Über eine Ankopplung der realen SPS-Hardware an die Systemsimulation lässt sich die reale Steuerungshardware bereits im Vorfeld optimal konditionieren. Die Signale vom Modell werden in reale Signale umgewandelt und von der Reglerhardware eingelesen, verarbeitet und anschließend als Stell- und Steuersignale an die Simulation zurückgegeben. Mit Hilfe einer virtuellen Inbetriebnahme der Maschinensteuerung lassen sich so bereits im Vorfeld Verkabelungsfehler in Schaltschränken aufdecken, Grenzwertabfragen kalibrieren und verschiedene Betriebs- oder Fehlerszenarien durchspielen.

In dem Fallbeispiel werden der Aufbau und die Nutzung eines Simulationsmodells zur Validierung von Entwicklungsergebnissen in den Vordergrund gestellt. Ein hinreichend detailliertes Simulationsmodell, das im Zuge der Entwicklung erstellt wird, bildet im weiteren Verlauf der Entwicklung die Grundlage für die virtuelle Inbetriebnahme eines fluidtechnisch-mechatronischen Systems.

5.2 IT-Randbedingungen des Fallbeispiels

Das Fallbeispiel wurde mit Hilfe der Software von Konsortiumsmitgliedern, namentlich EPLAN, FLUIDON und PTC, aufgebaut. Im Speziellen werden dafür folgende Programme zur Hilfe genommen:

- EPLAN Fluid
- DSHplus (FLUIDON)
- Windchill (PTC)

EPLAN Fluid ist ein Programm zur Planung und Projektierung von fluidtechnischen Systemen und wird in dem Fallbeispiel stellvertretend als durchgängiger Informationsträger der Entwicklungsinformationen genutzt. DSHplus ist ein Simulationsprogramm, das speziell für die dynamische und nichtlineare Simulation komplexer

hydraulischer Systeme und Komponenten entwickelt wurde. Der frühe Einsatz der virtuellen Produktentwicklung wird beispielhaft anhand der Simulationssoftware DSHplus aufgezeigt. Die parallele Dokumentation von Simulationsergebnissen und Projektierungsergebnissen wird beispielhaft mit der Software EPLAN Fluid aufgezeigt, für die im Zuge des BMBF-Verbundprojektes Fluidtronic eine Kopplung mit DSHplus programmiert worden ist. Die Möglichkeiten einer PLM-IT Lösung werden anhand des Programms Windchill von PTC dargestellt. Das Fallbeispiel wird zwar anhand spezifischer Softwarelösungen durchgeführt, soll jedoch nicht als Softwareempfehlung missinterpretiert werden.

5.3 Rollen im Fallbeispiel

Für das Fallbeispiel wurden vier Rollen definiert, aus deren unterschiedlichen Perspektiven der gewählte Auszug aus dem Entwicklungsprozess exemplarisch durchgeführt wird:

- OEM Projektleiter
- OEM Entwickler
- Aggregatebaugruppe Entwickler (Zulieferer)
- Ventilbaugruppe Entwickler (Zulieferer)

Für die einzelnen Rollen wurden für die Nutzung der PLM-IT Lösung in Windchill unterschiedliche Arbeitsbereiche in Form von Ordnerzugriffsrechten in der Projektoberfläche definiert. Der OEM Projektleiter hat sämtliche Zugriffsrechte auf die Ordnerstrukturen im Fallbeispiel. Der OEM Entwickler hat spezifische Zugriffsrechte auf den fluidtechnischen Arbeitsbereich für den Pressenhersteller sowie auf den der Zulieferer. Die beiden Entwickler Aggregatebaugruppe bzw. Ventilbaugruppe haben wiederum eingeschränkte Zugriffsrechte im Arbeitsbereich der PLM-IT Lösung.

5.4 Ablauf des Fallbeispiels

Der Ablauf des Fallbeispiels wurde in Zusammenarbeit zwischen EPLAN, FLUIDON und dem WZL im Detail konzipiert. Der Fokus des Fallbeispiels liegt dabei auf der interdisziplinären Konstruktion/ Detailsimulation und der sich daran anschließenden Integration der Detailsimulationen zu einem Gesamtsystem Presse und deren virtuelle Validierung mittels einer Gesamtsystems simulation (siehe Abbildung 130).

Das Fallbeispiel unterteilt sich in die folgenden Phasen:

1. Der OEM Projektleiter bereitet die interne und externe Abwicklung des Projektes vor
2. Der OEM Entwickler dimensioniert die Presse und bereitet die Auslegungsanfrage an die Zulieferer vor
- 3a. Der Entwickler der Aggregatebaugruppe detailliert sein Subsystem und verifiziert dessen Funktionstüchtigkeit
- 3b. Der Entwickler der Ventilbaugruppe detailliert sein Subsystem und verifiziert dessen Funktionstüchtigkeit
4. Der OEM Entwickler integriert die Subsysteme und verifiziert das detaillierte Gesamtsystem Presse

Der Ablauf des Fallbeispiels mit den entsprechenden Rollen ist in Abbildung 131 vereinfacht dargestellt. Nachfolgend werden die Abläufe in den einzelnen Phasen in Kürze erläutert.

Der Projektleiter Pressenhersteller bereitet die interne und externe Abwicklung des Projektes vor

Der Projektleiter für die Entwicklung einer Presse legt in der PLM-IT Lösung ein neues Entwicklungsprojekt an. Dabei wird zwischen einem Bereich für die unternehmensinterne Datenhaltung und die unternehmensübergreifende Datenhaltung unterschieden. Des Weiteren lädt der Projektleiter die weiteren im Projekt beteiligten Personen mit ihren jeweiligen Zugriffsrechten ein. Abschließend initiiert der Projektleiter einen Workflow zur hydraulischen Auslegung einer Presse und übergibt somit die Verantwortung für die hydraulische Auslegung an den OEM Entwickler. In Abbildung 132 ist beispielhaft eine Ansicht der PLM-IT Lösung des Fallbeispiels dargestellt, in der eine beispielhafte Produktstruktur einer hydraulischen Presse hinterlegt ist.

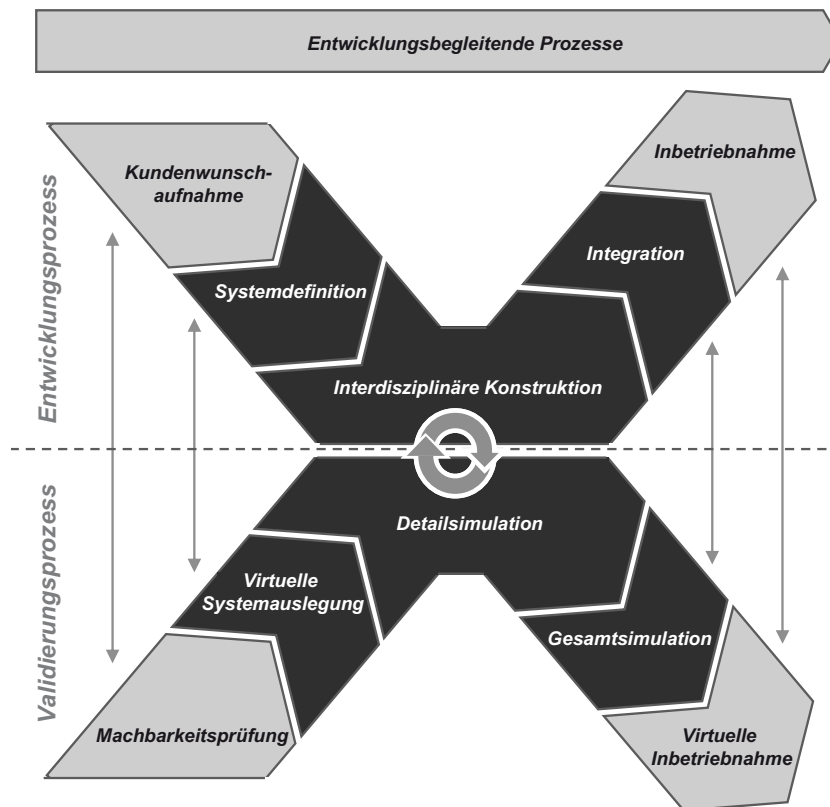


Abbildung 130
Fokus des Fallbeispiels

Der OEM Entwickler dimensioniert die Presse und bereitet die Auslegungsanfrage an die Zulieferer vor

Der OEM Entwickler findet in seinem Arbeitsbereich der PLM-IT Lösung den Auftrag vor, den der Projektleiter mittels des erwähnten Workflows initiiert hat. Er greift auf ein standardisiertes Template für die hydraulische Auslegung einer Presse zurück, das in Form einer EPLAN Fluid Datei hinterlegt ist. Entsprechend des Auftrags konfiguriert der OEM Entwickler in EPLAN Fluid eine Presse und legt diese nach hydrau-

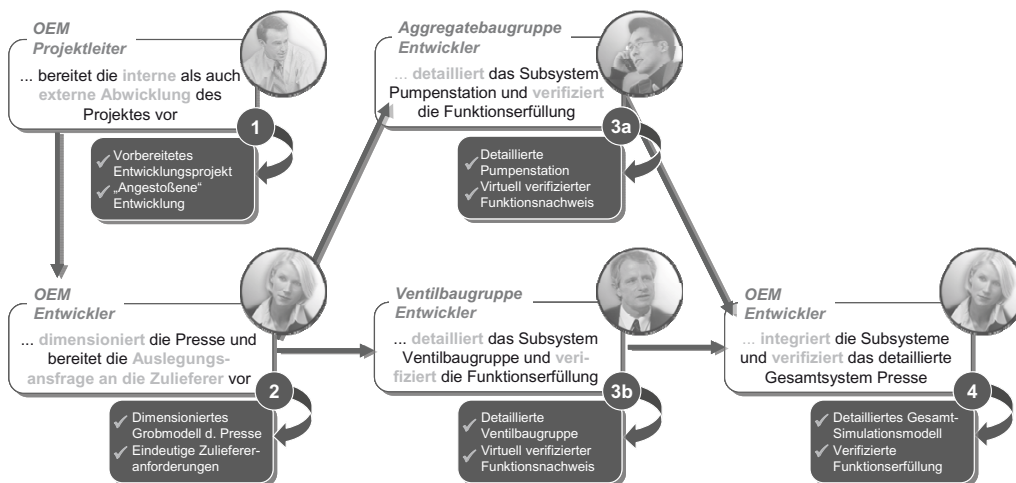


Abbildung 131
Rollen und Ablauf des Fallbeispiels

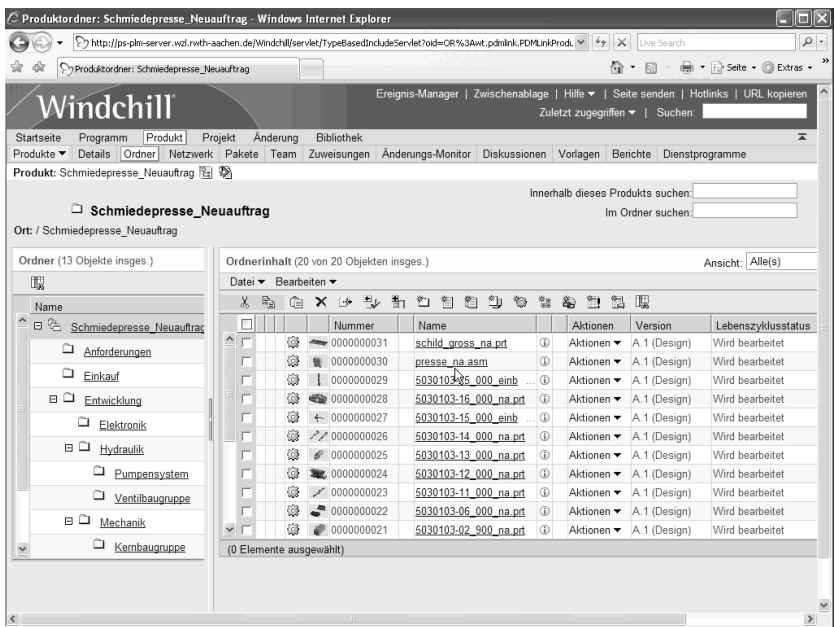


Abbildung 132
Beispielansicht der PLM-IT
Lösung im Fallbeispiel

lichen Gesichtspunkten aus, indem er sowohl die Aggregatebaugruppe als auch die Ventilbaugruppe grob auslegt.

Auf Basis dieser Konfiguration wird automatisiert ein Simulationsmodell in DSHplus abgeleitet, anhand dessen die Anforderungserfüllung des zunächst grob erstellten virtuellen Modells der Presse getestet werden kann. Auf Basis der Simulation werden Referenzkurven (siehe Abbildung 133) der wichtigsten Pressenparameter dokumentiert, die im weiteren Verlauf der Entwicklung als Anforderungen für

die Entwickler der Aggregate- bzw. Ventilbaugruppe dienen.

Diese Konfiguration wird zu Dokumentationszwecken in der Arbeitsumgebung der PLM-IT Lösung abgelegt und als Arbeitsstand gesichert.

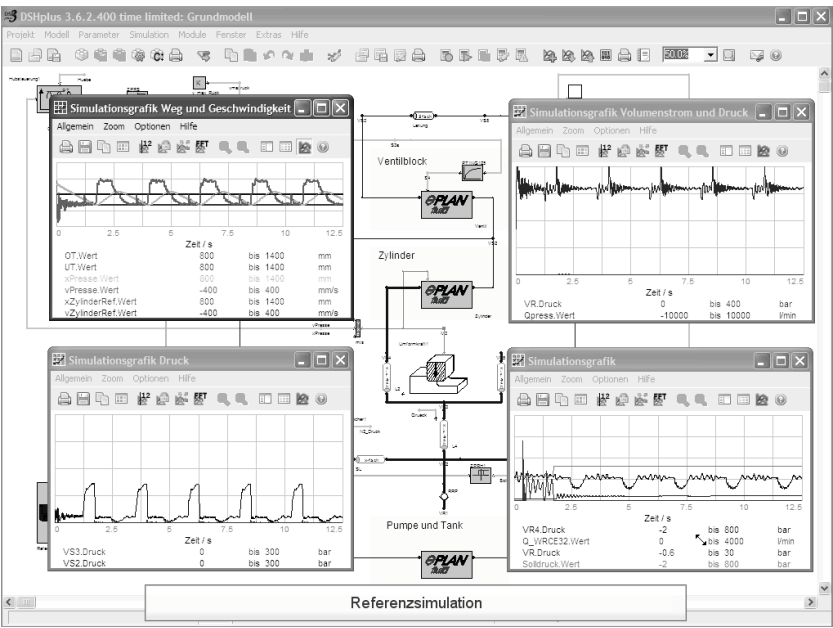
In einem nächsten Arbeitsschritt bereitet der OEM Entwickler die Entwicklungsanfrage für die beiden Zulieferer vor. In der zuvor erstellten Grobkonfiguration der gesamten Presse werden Platzhalter für die zu detaillierende Aggregate- und Ventilbaugruppe innerhalb von EPLAN Fluid vorbereitet (Abbildung 134).

In diesen vorbereiteten Projektierungsvorlagen werden die beiden Zulieferer ihre Baugruppen ausdetaillieren. Der OEM Entwickler legt die vorbereiteten Projektierungsdateien und das zugehörige Simulationsmodell der Grobauslegung der Presse in den jeweiligen Arbeitsbereichen der Zulieferer innerhalb der PLM-IT Lösung ab und initiiert jeweils einen Workflow bei den Zulieferern.

Der Entwickler der Aggregate- bzw. Ventilbaugruppe detailliert sein Subsystem und verifiziert dessen Funktionstüchtigkeit Beide Entwickler für die Aggregate- bzw. Ventilbaugruppen finden in ihrem Arbeitsbereich der PLM-IT Lösung die Aufgabe und die entsprechenden Dateien zur Ausdetaillierung ihrer Baugruppen vor.

Die Ausdetaillierung der Aggregatebaugruppe erfolgt in dem Fallbeispiel dadurch, dass bereits vorhandene Baugruppenkonfigu-

Abbildung 133
Referenzgraphen resultierend
aus der hydraulischen
Grobbauslegung



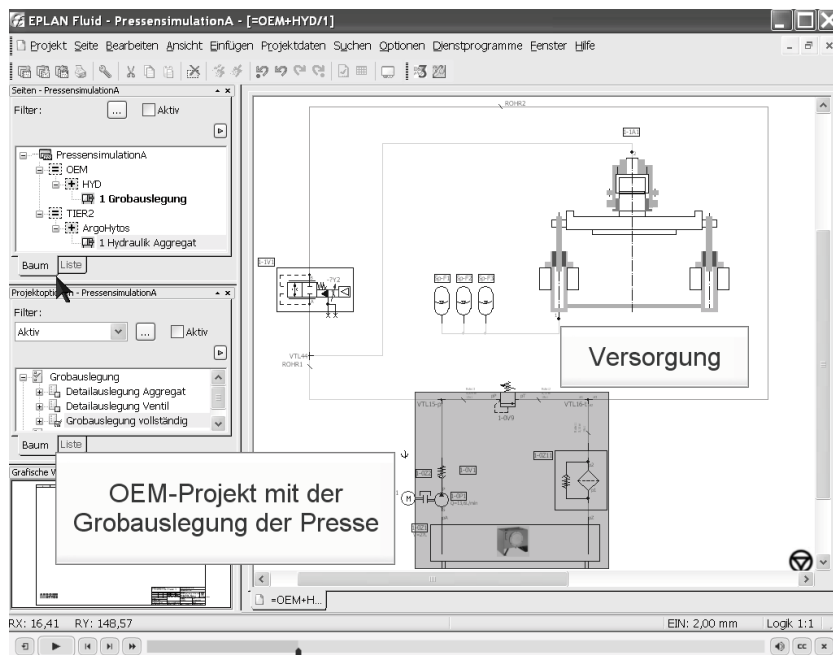


Abbildung 134
Aufbereitung der Teilschaltpläne für die Zulieferer

rationen in die Projektierungsvorlage geladen werden und daraus direkt ein Simulationsmodell automatisiert abgeleitet wird. Unterschiedliche Konfigurationen können auf diese Weise hinsichtlich deren Funktionserfüllung virtuell getestet werden. Dabei kann der Zulieferer direkt Soll- und Ist-Verläufe der wichtigsten Parameter der gesamten Presse abgleichen (siehe Abbildung 135).

Die Auswirkungen unterschiedlicher Konfigurationen des Zulieferers auf die gesamte Presse können auf diese Weise direkt analysiert

werden. Die Projektierungs- und Simulationsparameter der detaillierten Baugruppe werden in dem Projektierungstemplate von EPLAN Fluid hinterlegt und in den Arbeitsbereich der PLM-IT Lösung des Zulieferers der Aggregatebaugruppe hochgeladen. Anschließend wird der Abschluss des Workflows bestätigt.

Die Ausdetaillierung der Ventilbaugruppe erfolgt in dem Fallbeispiel in ähnlicher Art und Weise. Der Zulieferer findet das entsprechende Projektierungstemplate in Form einer EPLAN Fluid Datei mit der zugehörigen Simulationsdatei

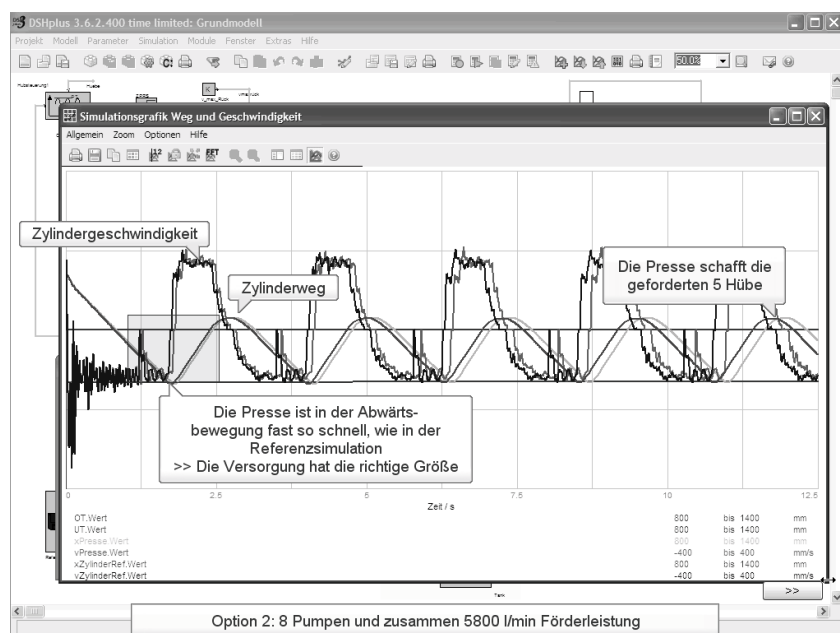


Abbildung 135
Abgleich von Soll- und Ist-Verläufen bei der Aggregatedetaillierung

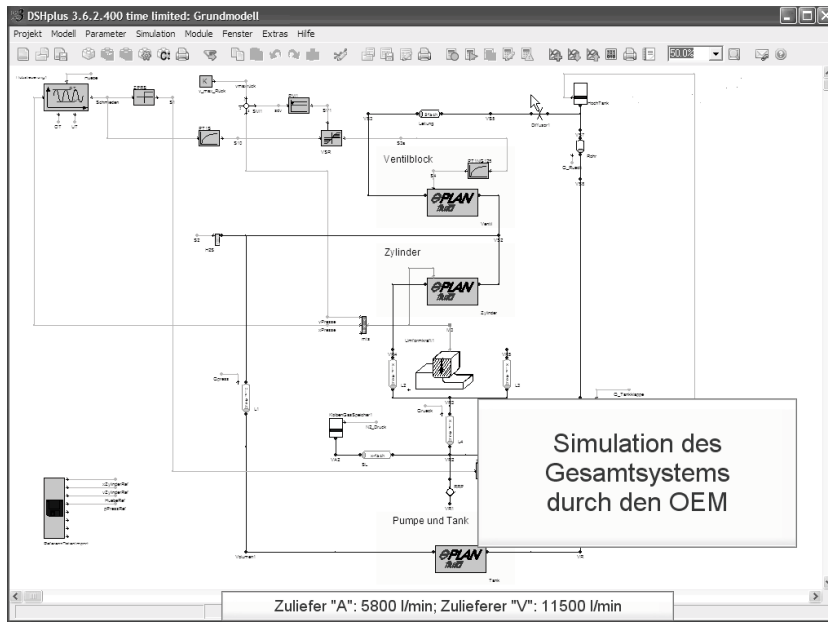


Abbildung 136
Simulation des integrierten
Gesamtsystems

der grob konfigurierten Presse in seinem Arbeitsbereich der PLM-IT Lösung vor. Der Ventiltriefere simuliert das Verhalten der gesamten Presse für unterschiedliche Ventilvarianten und kann Soll- und Ist-Kurvenverläufe der wichtigsten Pressenparameter direkt abgleichen. Nach Erfüllung der gestellten Anforderungen lädt der Ventiltriefere seine detaillierte EPLAN Fluid Datei in seinen Arbeitsbereich der PLM-IT Lösung hoch und bestätigt den Abschluss seines Workflows.

Der OEM Entwickler integriert die Subsysteme und verifiziert das detaillierte Gesamtsystem Presse

Der OEM Entwickler findet in seinem Arbeitsbereich der PLM-IT Umgebung die Nachricht vor, dass beide Zulieferer ihre Detaillierung der Baugruppen abgeschlossen haben. Die hochgeladenen Projektierungsdaten der Zulieferer lädt der OEM Entwickler wiederum aus dem Arbeitsbereich der PLM-IT Lösung herunter. Die detaillierten Teilschaltpläne der Zulieferer werden in die zu Beginn erstellte Grobkonfiguration der Presse integriert, um die Funktionsfähigkeit der gesamten Presse zu validieren. Etwaige Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen der Presse können so frühzeitig im Entwicklungsprozess aufgedeckt werden. Der Aufbau der Gesamtsimulation, der aus dem integrierten Gesamtschaltplan abgeleitet wird, ist Abbildung 136 zu entnehmen.

Das Gesamtssystem erfüllt nach Integration der detaillierten Baugruppen die Anforderungen und der OEM Entwickler kann seinerseits

seinen Workflow abschließen, der vom OEM Projektleiter initiiert wurde.

Die Vorteile einer Verknüpfung von Simulations- und Projektierungsdaten über den gesamten Entwicklungsprozess wurden in dem Fallbeispiel deutlich gemacht. Des Weiteren wurde aufgezeigt, wie ein vereinfachter Austausch von Simulationsdaten zwischen unternehmensübergreifenden Entwicklungspartnern eine frühzeitige, dynamische Simulation des Gesamtsystems unterstützt und Auslegungsfehlern vorbeugen kann. Darüber hinaus wurde demonstriert, wie eine PLM-IT Lösung die Synchronisation sowohl der internen als auch der externen Entwickler mittels definierter Workflows fördern kann.

Das vorgestellte Fallbeispiel kann als Video auf der CD oder auf der Internetpräsenz des BMBF-Verbundprojektes FLUIDTRONIC unter www.fluidtronic.de eingesehen werden.

Die fortschreitende Integration der Disziplinen Mechanik, Fluidtechnik, Elektronik und Informationstechnik hat die Komplexität fluidtechnisch-mechatronischer Systeme in den letzten Jahren erheblich gesteigert. Im gleichen Maße stiegen die Herausforderungen im Rahmen der Systementstehung. Dies äußert sich in einer erhöhten Anzahl von Defiziten in der Entwicklung und einer Unzuverlässigkeit der entwickelten Systeme.

Da die steigende Interdisziplinarität neue Möglichkeiten sowohl bei den realisierbaren Funktionen als auch bei der Miniaturisierung der Bauteile schafft, besteht »Einigkeit [...] darüber, dass eine Abgrenzung zwischen den einzelnen Fachdisziplinen nicht mehr möglich ist und die sich bietenden Potenziale nur durch einen domänenübergreifenden Entwicklungsansatz erschlossen werden können.«¹⁹⁵ Demnach ist es von großer Bedeutung, die bestehenden Entwicklungsmethoden durch ein durchgängiges interdisziplinäres Denken zu erneuern und sich so der neuen Situation anzupassen.

In diesem Zusammenhang sind konfigurierbare Referenzprozesse für die Entwicklung eine wichtige Unterstützung. Sie ermöglichen es, die Zusammenarbeit der Disziplinen zu koordinieren und zu steuern und helfen den Unternehmen Schwachstellen in den eigenen Prozessen aufzudecken. Zudem bieten sie durch konfigurierbare Prozessbausteine eine gewisse Standardisierung bei gleichzeitig erhaltener Prozessflexibilität. Das Prozessmodell wurde hier beispielhaft anhand der Pressenentwicklung ausdetailliert, es besteht jedoch der Bedarf an weiteren Prozessmodulen für andere Systemkategorien. Zudem besteht ein Forschungsbedarf hinsichtlich einer Einführungsmethodik, mit der die Referenzprozesse möglichst kontrolliert in die Unternehmensprozesse integriert werden können.¹⁹⁶

Auf dem Weg hin zu einem domänenübergreifenden Entwicklungsansatz müssen zudem die Bestrebungen zu einer Kopplung der disziplinspezifischen Simulationsprogramme weiter forciert werden, um den Entwicklern eine

Simulation der Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Subsystemen zu ermöglichen. Nur so kann das volle Potenzial der virtuellen Systementwicklung genutzt werden. Derartige Bestrebungen existieren für mechatronische Anwendungen bereits in größerer Anzahl, was die Aktualität dieses Themas verdeutlicht.¹⁹⁷ Fluidtechnisch-mechatronische Systeme jedoch benötigen ein weiteres Simulationsmodul, das die Abbildung hydraulischer und pneumatischer Subsysteme ermöglicht. Gerade auf diesem Gebiet ist weitere Forschung notwendig.

Neben diesen neuen Anforderungen an die Prozesse und die IT-Unterstützung haben sich auch die Anforderungen an den Entwickler selber, die immer noch der bedeutendste Faktor in der Entwicklung sind, geändert. Die Bereitschaft und die Fähigkeit, Wissen und Verständnis für die Möglichkeiten der anderen Fachgebiete zu entwickeln, ist eine der wichtigsten Anforderungen an die Entwickler disziplinübergreifender Systeme geworden.¹⁹⁸ In der Praxis jedoch mangelt es den Entwicklern häufig noch an einer interdisziplinären, grenzüberschreitenden Denkweise.¹⁹⁹ An dieser Stelle gilt es Konzepte zu erarbeiten, durch die die disziplingebundene Denkweise aufgelöst werden kann. Neue interdisziplinäre Studiengänge stellen hierbei einen ersten Schritt dazu dar, dass die Entwickler von morgen sich bei der Gestaltung neuer, innovativer Systeme weniger durch die Grenzen einer einzelnen Disziplin einschränken lassen.

¹⁹⁵ Vgl. Winzer et al. (2007), Ansatz zur Strukturierung, S. 102.

¹⁹⁶ Vgl. Schmitt/Rauchenberger (2007), Qualitätsmanagement bei der Entwicklung, S. 875.

¹⁹⁷ Siehe z.B. das Teilprojekt M4 des Sonderforschungsbereiches 588 Humanoide Roboter.

¹⁹⁸ Vgl. VDI (2004), Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, S. 23.

¹⁹⁹ Vgl. Aberdeen Group (2008), System Design, S. 8.

Ansprechpartner

Für nähere Informationen zu den Ergebnissen sowie für persönlichen Austausch stehen wir Ihnen sehr gerne zur Verfügung.

Weitere Informationen und Veröffentlichungen zum Themenbereich Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme finden sie ebenfalls unter: www.fluidtronic.de



■ **Dr.-Ing. Michael Lenders**

Abteilungsleiter Innovationsmanagement, Lehrstuhl für Produktionssystematik, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, Steinbachstraße 19, D-52074 Aachen
Telefon +49 (0)241 80-27436, Mobil +49 (0)173 520-9489, Fax +49 (0)241 80-6 27436
E-Mail m.lenders@wzl.rwth-aachen.de, www.wzl.rwth-aachen.de



■ **Dipl.-Ing. Lucia Maletz**

Abteilung Innovationsmanagement, Lehrstuhl für Produktionssystematik, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, Steinbachstraße 53b, D-52074 Aachen
Telefon +49 (0)241 80-27593, Fax +49 (0)241 80- 22293
E-Mail l.maletz@wzl.rwth-aachen.de, www.wzl.rwth-aachen.de



■ **Dipl.-Ing. Jochen Müller**

Abteilung Innovationsmanagement, Lehrstuhl für Produktionssystematik, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, Steinbachstraße 53b, D-52074 Aachen
Telefon +49 (0) 241 80-27591, Fax +49 (0) 241 80-627591
E-Mail j.mueller@wzl.rwth-aachen.de, www.wzl.rwth-aachen.de



■ **Dipl.-Ing. Christopher Nussbaum**

Abteilung Innovationsmanagement, Lehrstuhl für Produktionssystematik, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, Steinbachstr. 53b, D-52074 Aachen
Telefon +49 (0) 241 80-28201, Fax +49 (0) 241 80-628201
E-Mail c.nussbaum@wzl.rwth-aachen.de, www.wzl.rwth-aachen.de



■ **Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. Ju-Young Uam**

Abteilung Innovationsmanagement, Lehrstuhl für Produktionssystematik, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, Steinbachstr. 53b, D-52074 Aachen
Telefon +49 (0) 241 80-28390, Fax +49 (0) 241 80-628390
E-Mail j.uam@wzl.rwth-aachen.de, www.wzl.rwth-aachen.de

■ **Dipl.-Ing. Marcell Meuser**

Oberingenieur, IFAS – Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen der RWTH Aachen
Steinbachstraße 53, D-52074 Aachen
Telefon +49 (0) 241 80-27514, Fax +49 (0) 241 80-22194
E-Mail marcell.meuser@ifas.rwth-aachen.de, www.ifas.rwth-aachen.de



■ **Dr.-Ing. Torsten Verkoyen**

IFAS – Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen der RWTH Aachen
Steinbachstraße 53, D-52074 Aachen
Telefon +49 (0) 241 80-27526, Fax +49 (0) 241 80-22194
E-Mail torsten.verkoyen@ifas.rwth-aachen.de, www.ifas.rwth-aachen.de



■ **Dipl.-Ing. René von Dombrowski**

IFAS – Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen der RWTH Aachen
Steinbachstraße 53, D-52074 Aachen
Telefon +49 (0) 241 80-27524, Fax +49 (0) 241 80-22194
E-Mail rene.von.dombrowski@ifas.rwth-aachen.de, www.ifas.rwth-aachen.de



■ **Dipl.-Ing. Yukio Kamizuru**

IFAS – Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen der RWTH Aachen
Steinbachstraße 53, D-52074 Aachen
Telefon +49 (0) 241 80-27519, Fax +49 (0) 241 80-22194
E-Mail yukio.kamizuru@ifas.rwth-aachen.de, www.ifas.rwth-aachen.de



Quellenverzeichnis

■ **Aberdeen Group:**

The Mechatronics System Design Benchmark Report. Coordinating Engineering Disciplines, 2006.

■ **Aberdeen Group:**

System Design: New Product Development for Mechatronics, 2008.

■ **Akao, Y. D.:**

Quality function deployment: Integrating customer requirements into product design, Cambridge, Mass.: Productivity Press 1990.

■ **Anton, O., Lercher, B., Oertli, T.:**

Funktionsmodellierung und Dynamikoptimierung beim mechatronischen Systementwurf, in: Reinhardt, G. (Hrsg.): Mechatronische Produktionssysteme: Genauigkeit gezielt entwickeln, Utz: München, 2002, S. 1-1-1-17.

■ **Arnold, V. D., H.; Engel, T.; Karcher, A.:**

Product Lifecycle Management beherrschen:
Ein Anwenderhandbuch für den Mittelstand, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag 2005.

■ **Baudisch, T., Zäh, M., Lindworsky, A.:**

Entwicklungsumgebung zum Automatisierungengineering. Ein Werkzeug zur integrierten Virtuellen Inbetriebnahme von Produktionsanlagen, in: 5. Paderborner Workshop Entwurf Mechatronischer Systeme, Paderborn, 22. und 23. März, S. 399-409.

■ **Baum, H., von Dombrowski, R.,
Engler, F.:**

Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme, in: FVA Kongress zur Simulation im Produktentstehungsprozess (SIMPEP), Veitshöchheim, 18-19 Juni.

■ **Berger, B.:**

Modularisierung von Wissen in der Produktentwicklung : ein Beitrag zur einheitlichen Aufbereitung und individuellen Nutzung in Lehre und Praxis, Als Ms. gedr. Aufl., Düsseldorf: VDI-Verl. 2004.

■ **Berliner Kreis:**

Wissenschaftliche Gesellschaft Produktionstechnik, Product Lifecycle Management, in: Technology monitoring, 2002, Nr. .

■ **Berndt, R., Fantapie Altobelli, C.,
Sander, M.:**

Internationales Marketingmanagement,
3. Auflage Aufl., Berlin, Heidelberg, New York: Springer 2005.

■ **Birkhofer, H. et al.:**

Product development as a structured and interactive network of knowledge – a revolutionary approach, in: Culley, S., Duffy, A., McMahon, C., Wallace, K. (Eds.): Proceedings of the 13th Intern. Conference on Engineering Design 2001, Glasgow, S. 457-464.

■ **Braun, T.:**

Methodische Unterstützung der strategischen Produktplanung in einem mittelständisch geprägten Umfeld, München 2005.

■ **Brecher, C., Karlberger, A.:**

Modellgestützte Entwicklung von Werkzeugmaschinen. Zunehmende Komplexität von Werkzeugmaschinen erfordert neue Ansätze im Engineering, in: wt Werkstattstechnik online, 99. Jg., 2009, Nr. 5, S. 300-303.

■ **Bullinger, H.-J.:**

Effizientes Informationsmanagement in dezentralen Organisationsstrukturen, Berlin: Springer 1999.

■ **Cooper, R. G.:**

Top oder Flop in der Produktentwicklung. Erfolgsstrategien: Von der Idee zum Launch, Weinheim [u.a.]: Wiley-VCH 2002.

■ **d'Alquen, K.:**

Kundenzufriedenheitsanalyse : Kundenzufriedenheit ist kein Zufall – mehr Erfolg durch zufriedene Kunden!, 3. Aufl., Eschborn: Rkw 2000.

■ **Danilovic, M., Börjesson, H.:**

Participatory Dependence Structure Matrix Approach, in: Proc. of the 3rd Dependence Structure Matrix (DSM) International Workshop 2001.

■ **Dobberkau, K.:**

Aufgabenorientierte Methoden Anpassung in der Produktentwicklung am Beispiel des Qualitätsmanagements, Kaiserslautern: 2002.
Dohmen, W., Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme, München: Utz 2002.

■ **Drucker, P. F.:**

The Effective Executive, 2. Aufl., Amsterdam: Butterworth-Heinemann 2007.

■ **Dumitrescu, R.:**

Herausforderungen bei der Entwicklung mechatronischer Systeme und ihre Lösung, in: Eigner, M. (Hrsg.): Mechatronik – Die Herausforderung an Integration im Produktentstehungsprozess, Techn. Univ., Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung: Kaiserslautern, 2008, S. 227-245.

■ **Ehrlenspiel, K.:**

Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit, 4. Aufl., München [u.a.]: Hanser 2009.

■ **Eigner, M.:**

Mechatronik. Die Herausforderung an Integration im Produktentstehungsprozess, Kaiserslautern: Techn. Univ., Lehrstuhl für Virtuelle Produktentwicklung 2008.

■ **Eigner, M.:**

Innovationen effizient treiben auf Basis durchgängiger Produkt- und Prozessdaten (Tagungsvortrag), in: 3. Innovation Leadership Summit der RWTH Aachen, Aachen, 17.-19. Juni.

■ **Eigner, M., Stelzer, R.:**

Produktdatenmanagement-Systeme – Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management, Berlin: Springer 2001.

■ **Eversheim, W.:**

Innovationsmanagement für technische Produkte, Berlin [u.a.]: Springer 2003.

- **Eversheim, W., Schuh, G.:**
Produktion und Management, Berlin [u.a.]: Springer 1999.
- **Feldhusen, J., Gebhardt, B.:**
Product Lifecycle Management für die Praxis – Ein Leitfaden zur modularen Einführung, Umsetzung und Anwendung, Berlin, Heidelberg: Springer 2007.
- **Feldmann, K., Goth, C., Kunze, A.:**
Interdisziplinäre Zusammenarbeit zur spezifischen Förderung der MID-Technologie, in: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 102. Jg., 2007, Nr. 9, S. 558-562.
- **Franke, A.:**
Risikobewusstes Projekt-Controlling, Köln: Verl. TÜV Rheinland 1993.
- **Franke, H.-J., Deimel, M.:**
Selecting and Combining Methods for complex Problem Solving within the Design Process, in: Marjanovic, D. (Ed.): Proceedings of the 8th International Design Conference 2004, Dubrovnik.
- **Gausemeier, J., Ebbesmeyer, P., Kallmeyer, F.:**
Produktinnovation: strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen, München [u.a.]: Hanser 2001.
- **Gausemeier, J., Frank, U.:**
Stand und Perspektiven der Entwicklung mechatronischer Systeme, in: 4. Paderborner Workshop Entwurf Mechatronischer Systeme, Paderborn, 30. und 31. März.
- **Gausemeier, J., Lückel, J.:**
Entwicklungsumgebungen Mechatronik. Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung mechatronischer Systeme, Paderborn: HNI 2000.
- **Gomez, P., Probst, G. J. B.:**
Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens: Vernetzt denken – Unternehmerisch handeln – Persönlich überzeugen, in, 3. Auflage Aufl., Haupt, 1999.
- **Haberfellner, R., Daenzer, W. F.:**
Systems engineering : Methodik und Praxis, 11., durchges. Aufl. Aufl., Zürich: Verl. Industrielle Organisation 2002.
- **Hayka, H., Lüddemann, J., Stark, R.:**
Zuverlässigere Gestaltung mechatronischer Produktentstehung. Mechatronik-Kooperationsplattform für anforderungsgesteuerte Prüfung und Diagnose – MIKADO, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb : ZWF, 103. Jg., 2008, Nr. 10, S. 714-719.
- **Heimann, B., Gerth, W., Popp, K.:**
Mechatronik. Komponenten – Methoden – Beispiele, 3. Aufl., München [u.a.]: Fachbuchverlag Leipzig 2007.
- **Hering, E., Triemel, J., Blank, H.-P.:**
Qualitätsmanagement für Ingenieure, Springer- Verlag Berlin Heidelberg New York 2003.
- **Hinterhuber, H., Kurt:**
Kundenorientierte Unternehmensführung, 6. Aufl., Wiesbaden: Gabler 2009.
- **Höhn, R., Höppner, S., Rausch, A.:**
Das V-Modell XT. Anwendungen, Werkzeuge, Standards, Berlin [u.a.]: Springer 2008.

- **Homburg, C.:**
Marketingmanagement. Strategie – Instrumente – Umsetzung – Unternehmensführung, 3. Aufl., Wiesbaden: Gabler 2009.
- **Isermann, R.:**
Mechatronische Systeme. Grundlagen, 2. Aufl., Berlin [u.a.]: Springer 2008.
- **Isermann, R., Breuer, B., Hartnagel, H. L.:**
Mechatronische Systeme für den Maschinenbau. Ergebnisse aus dem Sonderforschungsbereich 241 „Integrierte Mechanisch-elektronische Systeme für den Maschinenbau (IMES)“, Weinheim [u.a.]: Wiley-VCH-Verl. 2002.
- **Jackson, C. K.:**
The Mechatronics System Design Benchmark Report. Coordinating Engineering Disciplines, 2006.
- **Jung, C.:**
Anforderungskklärung in interdisziplinärer Entwicklungsumgebung, Technischen Universität München 2006.
- **Kempermann, C.:**
Ausgewählte Maßnahmen zu Verbesserung der Einsatzbedingungen umweltschonender Druckübertragungsmedien, Aachen: 1999.
- **Kett, R.:**
Virtuelle Inbetriebnahme von Reglern und Steuergeräten, in: 5. Kolloquium Mobilhydraulik, Karlsruhe.
- **Koller, R.:**
Konstruktionslehre für den Maschinenbau, München: 1994.
- **Krüger, W.:**
Organisationsmethodik, in: Grochla, E. (Hrsg.): HAndwörterbuch der Organisation, Schäffer-Pöschel: Stuttgart, 1992, S. 1572-1588.
- **Lenders, M.:**
Beschleunigung der Produktentwicklung durch Lösungsraum-Management, RWTH-Aachen Aachen 2009.
- **Lenders, M., Treutlein, P., UAM, J.-Y.:**
Marktspiegel Business Software PLM/PDM 2008/2009, hrsg. v. Schuh, G., Lenders, M., 2. Aufl., Aachen: Trovarit 2008.
- **Lewald, A.:**
Gedanken zur Mechatronik aus der Sicht eines PLM Anbieters, in: Jahrestagung 2008 – Berliner Kreis. Mechatronik – die Herausforderung an Integration im Produktentstehungsprozess, München, 14.–15. November, S. 43-73.
- **Linde, H. J., Hall, D. M., Herr, G. H.:**
The Integration of existing Tools and Techniques into a powerful and structured Innovation Strategy, in: Lindemann, U. et al. (Ed.): Proceedings of ICED 1999, München, S. 353 - 356.
- **Lindemann, U.:**
Methodische Entwicklung technischer Produkte: Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden, 2 Aufl., Berlin [u.a.]: Springer 2007.

- **Lindemann, U., Maurer, M., Braun, T.:**
Structural Complexity Management: An Approach for the Field of Product Design, Berlin: Springer 2009.
- **Mager, M.:**
Untersuchung der Feststoffpartikelkontamination in hydraulischen Systemen, Aachen: 1999.
- **Möhringer, S.:**
Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, Habil.-Schr. Universität Paderborn Paderborn 2004.
- **Müller-Stewens, G., Lechner, C.:**
Strategisches Management: wie strategische Initiativen zum Wandel führen; der St. Galler General Management Navigator, Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2005.
- **Murrenhoff, H., von Dombrowski, R., Verkoyen, T.:**
Fluidtronic. Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme, in: wt Werkstattstechnik online, 99. Jg., 2009, Nr. 1/2, S. 67-75.
- **Negele, H. et al.:**
Modeling of Integrated Product Development Processes, in, UK, S. 1253-1261.
- **Pahl, G. et al.:**
Konstruktionslehre : Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung ; Methoden und Anwendung, 7. Auflage. Aufl., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007.
- **Paulukuhn, L.:**
Typologisierung von Entwicklungsprojekten im Maschinenbau, Diss. Shaker Aachen 2005.
- **Pfeifer, T.:**
Qualitätsmanagement: Strategien, Methoden, Techniken, 3., völlig überarb. und erw. Aufl., München [u.a.]: Hanser 2001.
- **Pfeifer, T., Schmidt, R.:**
Das Quality-Gate-Konzept. Entwicklungsprojekte softwareintensiver Systeme verlässlich planen, synchronisieren und absichern, in: Industrie Management, 2003, Nr. 5, S. 21-24.
- **Probst, G. J. B., Gomez, P.:**
Vernetztes Denken: Ganzheitliches Führen in der Praxis, 2., erw. Aufl., Wiesbaden: Gabler 1993.
- **Pulm, U.:**
Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung, Dissertation Technische Universität München 2004.
- **Reinicke, T.:**
Möglichkeiten und Grenzen der Nutzerintegration in der Produktentwicklung, München: 2004.
- **Rosemann, M., Schwegmann, A., Delfmann, P.:**
Vorbereitung der Prozessmodellierung, hrsg. v. Becker, J., Kugeler, M., Rosemann, M., Berlin: Springer 2008.
- **Schäppi, B., Schäppi, A., Kirchgeorg, R.:**
Handbuch Produktentwicklung, München [u.a.]: Hanser 2005.

■ **Schienmann, B.:**

Kontinuierliches Anforderungsmanagement. Prozesse, Techniken, Werkzeuge, München [u.a.]: Addison-Wesley 2002.

■ **Schlund, S., Riekhof, F., Winzer, P.:**

Probleme bei der Entwicklung mechatronischer Systeme, in: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 104. Jg., 2009, Nr. 1-2, S. 54-59.

■ **Schmelzer, H. J.:**

Organisation und Controlling von Produktentwicklungen: Praxis des wettbewerbsorientierten Entwicklungsmanagement, Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1992.

■ **Schmelzer, H. J., Sesselmann, W.:**

Geschäftsprozessmanagement in der Praxis. Kunden zufrieden stellen, Produktivität steigern, Wert erhöhen, 6. Aufl., München: Hanser 2008.

■ **Schmitt, R., Rauchenberger, J.:**

Qualitätsmanagement bei der Entwicklung software-intensiver technischer Produkte, in: Masing, W., Pfeifer, T., Schmitt, R. (Hrsg.): Masing Handbuch Qualitätsmanagement, 5. Aufl., Hanser: München, 2007, S. 847-940.

■ **Schöttner, J.:**

Produktdatenmanagement in der Fertigungsindustrie : Prinzip, Konzepte, Strategien, München [u.a.]: Hanser 1999.

■ **Schuh, G.:**

Change Management – Prozesse strategiekonform gestalten, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.

■ **Schuh, G.:**

Effizient, schnell und erfolgreich. Strategien im Maschinen- und Anlagenbau, Frankfurt, M.: VDMA-Verl. 2007.

■ **Schuh, G., Lenders, M.:**

Komplexitätsreduktion im Innovationsprozess durch Lean Thinking, in: index, 2009, Nr. 1, S. 46-49.

■ **Schuh, G. et al.:**

Fluidtronic. Entwicklungsumgebung für fluidtechnisch-mechatronische Systeme, in: 6. Gemeinsames Kolloquium Konstruktionstechnik 2008. Nachhaltige und effiziente Produktentwicklung, Aachen, 9.-10. Oktober 2008, S. 59-72.

■ **Schuh, G., Müller, S., Werners, B.:**

Systematische Entwicklung und Preisbildung für Sach- und Dienstleistungsbündel, Frankfurt: VDMA Verlag 2009.

■ **Specht, G., Beckmann, C., Amelingmeyer, J.:**

F&E-Management : Kompetenz im Innovationsmanagement, 2., überarb. und erw. Aufl., Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2002.

■ **Steinmüller, K.:**

Grundlagen und Methoden der Zukunftsforschung: Szenarien, Delphi, Technikvorausschau, Gelsenkirchen: SFZ 1997.

■ **Steward, D.:**

The Design Structure System: A Method for Managing the Design of Complex Systems, in: IEEE Transactions on Engineering Management 48, 1981.

■ **Ulrich, K. T., Eppinger, S. D.:**

Product Design and Development, 4. Aufl., Singapore: Mc Graw Hill 2008.

■ **VDI:**

Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte, VDI Verl. 1993.

■ **VDI:**

Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, Beuth 2004.

■ **Winzer, P. et al.:**

Ansatz zur Strukturierung verschiedener Konstruktions- und Entwicklungsprozesse für mechatronische Systeme, in: Crostack, H.-A., Ten Hompel, M. (Hrsg.): 1. Kolloquium des SFB-696: Förderungsgerechte Auslegung von intralogistischen Systemen - Logistics on Demand Nr. 1, Verl. Praxiswissen: Dortmund, 2007, S. 99-119.

■ **Zangenmeister, C.:**

Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen, 1976.

■ **Zanker, W.:**

Situative Anpassung und Neukombination von Entwicklungsmethoden, Aachen: Shaker 1999.

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept »Forschung für die Produktion von morgen« gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

BETREUT VOM



PTKA
Projektträger Karlsruhe
im Karlsruher Institut für Technologie

Weitere Informationen erhalten Sie unter:
www.fluidtronic.de

Werkzeugmaschinenlabor WZL
der RWTH Aachen
Lehrstuhl für Produktionssystematik
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing
Günther Schuh
Ansprechpartner
Dr.-Ing. Michael Lenders
Abteilungsleiter Innovationsmanagement
Steinbachstraße 19
D-52074 Aachen
Telefon +49 (0)241-80-274 36
Telefax +49 (0)241-80-6274 36
E-Mail m.lenders@wzl.rwth-aachen.de
www.wzl.rwth-aachen.de