

# **Methode zur Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung beim Einsatz von CAx-Technologien**

Von der Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik  
der Universität Stuttgart  
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Thomas Wolfgang Potinecke

aus Stuttgart

Hauptberichter:	Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger
Mitberichter:	Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper
Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. Hansgeorg Binz

Tag der Einreichung: 17. Dezember 2008

Tag der mündlichen Prüfung: 04. November 2009

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT  
der Universität Stuttgart

2009

# IPA-IAO Forschung und Praxis

Berichte aus dem  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und  
Automatisierung (IPA), Stuttgart,  
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und  
Organisation (IAO), Stuttgart,  
Institut für Industrielle Fertigung und  
Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart  
und Institut für Arbeitswissenschaft und  
Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper  
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger  
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dieter Spath



**I.A.T** Institut  
Arbeitswissenschaft und  
Technologiemanagement  
Universität Stuttgart



**Fraunhofer** Institut  
Arbeitswirtschaft und  
Organisation

Thomas Wolfgang Potinecke

# Methode zur Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung beim Einsatz von CAx-Technologien

Nr. 492

Dr.-Ing. Thomas Wolfgang Potinecke

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, München

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dieter Spath

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

D 93

ISBN (10) 3-939890-53-7, ISBN (13) 978-3-939890-53-9

Jost Jetter Verlag, Heimsheim

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Jost-Jetter Verlag, Heimsheim 2009.

Printed in Germany.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Druck: printsystem GmbH, Heimsheim

## Geleitwort der Herausgeber

Über den Erfolg und das Bestehen von Unternehmen in einer marktwirtschaftlichen Ordnung entscheidet letztendlich der Absatzmarkt. Das bedeutet, möglichst frühzeitig absatzmarktorientierte Anforderungen sowie deren Veränderungen zu erkennen und darauf zu reagieren.

Neue Technologien und Werkstoffe ermöglichen neue Produkte und eröffnen neue Märkte. Die neuen Produktions- und Informationstechnologien verwandeln signifikant und nachhaltig unsere industrielle Arbeitswelt. Politische und gesellschaftliche Veränderungen signalisieren und begleiten dabei einen Wertewandel, der auch in unseren Industriebetrieben deutlichen Niederschlag findet.

Die Aufgaben des Produktionsmanagements sind vielfältiger und anspruchsvoller geworden. Die Integration des europäischen Marktes, die Globalisierung vieler Industrien, die zunehmende Innovationsgeschwindigkeit, die Entwicklung zur Freizeitgesellschaft und die übergreifenden ökologischen und sozialen Probleme, zu deren Lösung die Wirtschaft ihren Beitrag leisten muss, erfordern von den Führungskräften erweiterte Perspektiven und Antworten, die über den Fokus traditionellen Produktionsmanagements deutlich hinausgehen.

Neue Formen der Arbeitsorganisation im indirekten und direkten Bereich sind heute schon feste Bestandteile innovativer Unternehmen. Die Entkopplung der Arbeitszeit von der Betriebszeit, integrierte Planungsansätze sowie der Aufbau dezentraler Strukturen sind nur einige der Konzepte, welche die aktuellen Entwicklungsrichtungen kennzeichnen. Erfreulich ist der Trend, immer mehr den Menschen in den Mittelpunkt der Arbeitsgestaltung zu stellen - die traditionell eher technokratisch akzentuierten Ansätze weichen einer stärkeren Human- und Organisationsorientierung. Qualifizierungsprogramme, Training und andere Formen der Mitarbeiterentwicklung gewinnen als Differenzierungsmerkmal und als Zukunftsinvestition in *Human Resources* an strategischer Bedeutung.

Von wissenschaftlicher Seite muss dieses Bemühen durch die Entwicklung von Methoden und Vorgehensweisen zur systematischen Analyse und Verbesserung des Systems Produktionsbetrieb einschließlich der erforderlichen Dienstleistungsfunktionen unterstützt werden. Die Ingenieure sind hier gefordert, in enger Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen, z. B. der Informatik, der Wirtschaftswissenschaften und der Arbeitswissenschaft, Lösungen zu erarbeiten, die den veränderten Randbedingungen Rechnung tragen.

Die von den Herausgebern langjährig geleiteten Institute, das

- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA),
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO),
- Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart,
- Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

arbeiten in grundlegender und angewandter Forschung intensiv an den oben aufgezeigten Entwicklungen mit. Die Ausstattung der Labors und die Qualifikation der Mitarbeiter haben bereits in der Vergangenheit zu Forschungsergebnissen geführt, die für die Praxis von großem Wert waren. Zur Umsetzung gewonnener Erkenntnisse wird die Schriftenreihe „IPA-IAO - Forschung und Praxis“ herausgegeben. Der vorliegende Band setzt diese Reihe fort. Eine Übersicht über bisher erschienene Titel wird am Schluss dieses Buches gegeben.

Dem Verfasser sei für die geleistete Arbeit gedankt, dem Jost Jetter Verlag für die Aufnahme dieser Schriftenreihe in seine Angebotspalette und der Druckerei für saubere und zügige Ausführung. Möge das Buch von der Fachwelt gut aufgenommen werden.

Engelbert Westkämper    Hans-Jörg Bullinger    Dieter Spath

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT, der Universität Stuttgart und dem Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Stuttgart.

Meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger, Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, ehemaliger Leiter des Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO und des Instituts für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart, danke ich ganz herzlich für die Annahme dieser Arbeit, die konstruktive Betreuung und die wohlwollende Förderung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper Leiter des Institutes für Industrielle Fertigung und Fabrikbetriebslehre IFF der Universität Stuttgart und Leiter des Fraunhofer-Institutes für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, danke ich für die Übernahme des Mitberichtes.

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Joachim Warschat, Institutsdirektor des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO für die Unterstützung bei der Themenfindung, die inhaltliche Begleitung und die Ermutigung zum wissenschaftlichen Arbeiten.

Besonders bedanken möchte ich mich bei meinen Kolleginnen, Kollegen, Diplomanten, wissenschaftlichen Hilfskräften und Freunden am Fraunhofer IAO, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Allen voran danke ich Herrn Dr.-Ing. Peter Ohlhausen und Herrn Dr.-Ing. Michael Diederich für die Unterstützung und das Gegenlesen meiner Arbeit. Frau Christina Edelmann, Frau Anne Spitzley, Herrn Michael Bucher, Herrn Thorsten Rogowski und Herrn Alexander Slama gilt mein Dank für die inspirierende Zusammenarbeit und die freundschaftliche Unterstützung während meiner Tätigkeit am Fraunhofer IAO und bei der Gestaltung dieser Arbeit.

Ohne den uneingeschränkten Rückhalt und das Verständnis meiner Eltern Jutta und Dr. rer. nat. Jürgen Potinecke wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen. Für die wohlwollenden Aufmunterungen und Unterstützung beim Erstellen der Arbeit möchte ich Euch ganz herzlichen danken.

Esslingen, im November 2009

Thomas Wolfgang Potinecke



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>13</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>15</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>17</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>19</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>21</b>
1.1 Situation der Systematisierung von Prozessen in der Produktentwicklung .....	21
1.2 Defizite bei der Systematisierung der Prozesse in der Produktentwicklung .....	23
<b>2 ZIELSETZUNG UND AUFBAU DER ARBEIT</b> .....	<b>24</b>
2.1 Zielsetzung .....	24
2.2 Aufbau der Arbeit.....	25
<b>3 PROZESSGESTALTUNG UND INFORMATIONSTECHNOLOGIE IN DER PRODUKTENTWICKLUNG</b> .....	<b>27</b>
3.1 Prozessgestaltung in der Produktentwicklung .....	27
3.1.1 Ziel und Bestandteile des Prozesses in der Produktentwicklung .....	27
3.1.2 Strukturierung und Gestaltung von Prozessen in der Produktentwicklung .....	28
3.1.2.1 Vorgehen zur Aufnahme und Strukturierung von Prozessen .....	29
3.1.2.2 Ansätze zur Gestaltung von Prozessen der Produktentwicklung .....	30
3.1.3 Methoden zur Modellierung von Prozessen der Produktentwicklung ...	32
3.1.4 Verfahren zur Bewertung von Prozessen der Produktentwicklung.....	33
3.1.4.1 Ermittlung der Prozessqualität .....	34
3.1.4.2 Reifegradmodelle in der Produktentwicklung .....	34
3.1.5 Methoden zur Optimierung der Leistung von Prozessen der Produktentwicklung .....	35
3.1.6 Zusammenfassung und Defizite .....	37
3.2 Informationstechnologie zur Unterstützung der Produktentwicklung .....	38
3.2.1 Abgrenzungen innerhalb der Informationstechnologie .....	38
3.2.2 Ansätze für eine integrierte und digitale Produktentstehung .....	39
3.2.3 Inhalt, Einführung und Sicherung der integrierten Produktentstehung ..	42
3.2.3.1 Konzepte und Inhalte für eine integrierte Produktentstehung.....	42
3.2.3.2 Konzepte zur Einführung von CAx-Technologien.....	44
3.2.3.3 Konzepte zur computerunterstützten Sicherung der Produktqualität...	46
3.2.4 Kennzahlensysteme zur Bewertung des Einsatzes von Informationstechnologien .....	46
3.2.5 Ansätze zur Interpretation von Veränderungen durch Informationstechnologien .....	48
3.2.6 Methoden zur Abschätzung der Folgen durch einen Einsatz von Informationstechnologien in der Produktentwicklung .....	49
3.2.7 Zusammenfassung und Defizite .....	50

3.3	Produktmodelle in der Produktentwicklung.....	51
3.3.1	Darstellung und Modellierung von Produktdaten.....	51
3.3.2	Modelle zur Bereitstellung von Produktdaten innerhalb einer Produktentwicklung .....	51
3.3.3	Konzepte zur Bereitstellung eines digitalen Produktmodells .....	53
3.3.4	Ermittlung der Produktqualität und des Produktreifegrades .....	54
3.3.5	Zusammenfassung und Defizite .....	54
3.4	Defizite der Prozessgestaltung und Bewertung von Entwicklungsprozessen mit einem Einsatz von CAX-Technologien.....	55
<b>4</b>	<b>ENTWICKLUNG EINES ANSATZES FÜR EINE METHODE ZUR SYSTEMATISIERUNG VON TEILPROZESSEN DER PRODUKTENTWICKLUNG BEIM EINSATZ VON CAX-TECHNOLOGIEN .....</b>	<b>58</b>
4.1	Struktur und Bestandteile der Methode .....	58
4.2	Anforderungen an die Methode .....	60
4.3	Zusammenfassung und Gewichtung der Anforderungen .....	62
<b>5</b>	<b>KONZEPTION DER METHODE ZUR SYSTEMATISIERUNG EINES TEILPROZESSES IN DER PRODUKTENTWICKLUNG BEIM EINSATZ VON CAX-TECHNOLOGIEN .....</b>	<b>63</b>
5.1	Phase I: Vorbereitung.....	63
5.1.1	Produkteigenschaften.....	63
5.1.2	Produktschnittstellen .....	63
5.1.3	Veränderung der Komplexität eines Produktes .....	64
5.1.4	Klassifizierung von Prozessschritten in der Produktentwicklung .....	65
5.1.5	Ergebnis .....	65
5.2	Phase II: Zustandsanalyse .....	66
5.2.1	Veränderung der Komplexität von Prozessen der Produktentwicklung .....	66
5.2.2	Schnittstellen von Prozessen der Produktentwicklung .....	67
5.2.3	Spezifizierung von CAX-Technologien für die Integration und die Bewertung des Einsatzes.....	68
5.2.4	Attribute und Schnittstellen von CAX-Technologien.....	70
5.2.5	Inhalte der Zustandsanalyse .....	71
5.2.6	Ergebnis .....	73
5.3	Phase III: Potenzialanalyse – Prozess der Produktentwicklung und CAX-Technologien.....	73
5.3.1	Größen zur Bewertung der Zeit- und Qualitätspotenziale .....	74
5.3.2	Kriterien zur Bewertung des Einsatzes von CAX-Technologien .....	77
5.3.3	Zielgrößenbildung zur Bewertung von Prozessveränderungen.....	79
5.3.4	Inhalte der Potenzialanalyse .....	80
5.3.5	Ergebnis .....	84
5.4	Phase IV: Gestaltung – Teilprozessbildung und Vernetzung.....	85
5.4.1	Zusammenwirken von Produkt, Prozess und CAX-Technologien in der Produktentwicklung .....	85
5.4.1.1	Zusammenhang von Produkt und Prozess der Produktentwicklung ....	85
5.4.1.2	Zusammenhang von Produkt und CAX-Technologien.....	86

5.4.1.3	Auswirkungen auf die Produktentwicklung durch eine Veränderung des Einsatzes von CAx-Technologien.....	87
5.4.2	Möglichkeiten zur Gestaltung von Prozessen der Produktentwicklung	91
5.4.3	Anordnung, Strukturierung, Vernetzung und Optimierung von Teilprozessen der Produktentwicklung.....	93
5.4.3.1	Veränderung von Prozessschritten durch eine Ausweitung des Einsatzes von CAx-Technologien.....	94
5.4.3.2	Anordnung: parallel versus sequenziell beim Einsatz von CAx-Technologien.....	96
5.4.3.3	Veränderungen der Teilprozessanordnung beim Einsatz von CAx-Technologien.....	98
5.4.3.4	Vernetzung von Teilprozessen durch informationstechnologische Unterstützung.....	99
5.4.3.5	Strukturierungsansatz eines Verbunds von CAx-Technologien .....	101
5.4.4	Inhalte der Gestaltung.....	103
5.4.4.1	Zielgrößenbildung: Idealtypischer Teilprozess nach CAx-Technologie-Gesichtspunkten.....	104
5.4.4.2	Veränderung der Prozessfunktionen und Gestaltung eines Teilprozesses .....	105
5.4.4.3	Vernetzung von Teilprozessen und Prozessfunktionen.....	106
5.4.4.4	Bewertung von Prozessveränderungen .....	109
5.4.5	Ergebnis.....	109
5.5	Zusammenfassung der Methode zur Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung beim Einsatz von CAx-Technologien.....	110
<b>6</b>	<b>PRAKTISCHE ANWENDUNG DER METHODE .....</b>	<b>114</b>
6.1	Umsetzung Phase I: Vorbereitung der Systematisierung .....	114
6.1.1	Projektdefinition digitale Produktentstehung .....	115
6.1.2	Festlegung der Zielsetzung .....	115
6.2	Umsetzung Phase II: Erhebung des Prozesses der Produktentwicklung und des CAx Einsatzes .....	116
6.3	Umsetzung Phase III: Potenzialermittlung und -analyse .....	118
6.4	Umsetzung Phase IV: Gestaltung und Bewertung eines Teilprozesses .....	122
6.5	Vorbereitungen zur Umsetzung des Sollzustandes.....	126
6.6	Ergebnisse der Anwendung der Methode für das Unternehmen.....	127
6.7	Bewertung der Anwendung der Methode bei den Unternehmen.....	128
<b>7</b>	<b>EVALUATION UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE AUS DER ANWENDUNG DER METHODE .....</b>	<b>129</b>
7.1	Evaluation.....	129
7.2	Diskussion .....	131
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>133</b>
8.1	Zusammenfassung.....	133
8.2	Ausblick.....	135

<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>136</b>
<b>10</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>151</b>
10.1	Ergänzende Begriffe.....	151
10.2	Konzepte zur Kommunikation in der Entwicklung und Planungsmethoden .....	156
10.3	Überblick über Modellierungsmethoden .....	158
10.4	Allgemeine Entwicklungstätigkeiten und Spezifikationen von Produkten .....	159
10.5	Nutzen durch CAx-Technologien und Potenzialen durch Digitalisierung des Prozesses.....	162
10.6	Zusammenhänge in Prozessen.....	163
10.7	Ergebnis: Ist- und Soll-Zustand des Teilprozesses .....	171
10.8	Ergebnis: Qualitatives Prozess-Bewertungsschema .....	175
10.9	Ergebnis: Quantitative Auswertung eines Teilprozesses.....	180
10.10	Fragebogen: Informationserhebung .....	182
10.11	Beispiele für Reifegradverläufe nach [Noh99] .....	183
10.12	Werkzeuge: Gestaltung und Bewertung von Teilprozessen.....	184

## Abkürzungsverzeichnis

a.	auch
ANX	Automotive Network Exchange
AR	Augmented Reality
B	Bidirektional
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAX	Computer Aided Varianten
CAE	Computer Aided Engineering
CAD	Computer Aided Design
CADI	Controller Autolocator Desktop Interface
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAP	Computer Aided Planning
CAPP	Computer Aided Process Planning
CAQ	Computer Aided Quality Assurance
CASE	Computer Aided Software Engineering
DET	Digital Enterprise Technology
CFD	Computer Function Development
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CIP	Computerintegrierte Produktionssysteme
CSCW	Computer Supported Cooperative Work System
DIN	Deutsches Institut für Normung
Diss.	Dissertation
DMS	Dokumenten-Management-System
DMU	Digital Mock Up
DoE	Design of Experiments
Doku.	Dokumentation
DV	Datenverarbeitung
DXF	Data eXchange Format
E	einseitig
EAI	Engineering Application Integration
EDM	Engineering Data Management
EFQM	European Foundation for Quality Management
EN	European Network
ENX	European Network Exchange
ERP	Engineering
etc.	et cetera
FEM	Finite Elemente Methode
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
FpMM	Fehler pro Million Möglichkeiten
FPY	First Pass Yield
FTA	Fault Tree Analysis
G	Gewichtung
GiPP	Geschäftsprozessgestaltung mit integrierten Prozess- und Produktmodellen
IAO	Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation
IDEF	Integrated Definition Methods
IDEF	Integrated Definition
IF	Integrationsfähigkeit
IF <sub>B</sub>	Integrationsfähigkeit – bidirektional
IF <sub>E</sub>	Integrationsfähigkeit – einseitig

IF <sub>k</sub>	keine Integrationsfähigkeit
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnologie
k	keine
KMUs	Klein- und Mittelstands-Unternehmen
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LAN	Local Area Network
max.	maximal
min.	minimal
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MKS	Mehrkörpersimulation
OMT	Object Modelling Technique
OOSE	Object Oriented Software Engineering
p.	page
PC	Personal Computer
PDDI	Product Definition Data Interface
PDM	Product Data Management
PLM	ProductLife-Cycle Management
PM	Projektmanagement
PMU	Physical Mock Up
PPS	Produktionsplanungssystem
PVI	Prozess-Vitalitäts-Indizes
QFD	Quality Function Deployment
QM	Qualitätsmanagement
RPD	Rapid Product Development
s.	siehe
SE	Simultaneous Engineering
SET	Standard d'Echange et de Transfert
sog.	sogenannte
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
TCT	Total Cycle Time
tech.	technisch
TQM	Total Quality Management
u. a.	unter anderem
UIUC	University of Illinois at Urbana-Champaign
UML	Unified Modelling Language
usw.	und so weiter
VDAFS	Verband der Deutschen Automobilindustrie – Flächenschnittstelle
VDAIS	Vereinigung Deutsche Automobilindustrie IGES Subset
VDI	Verein Deutscher Industrie
VE	Virtual Engineering
vgl.	vergleiche
VoIP	Voice over IP
VR	Virtual Reality
VRML	Virtual Reality Modelling Language
vs.	versus
WFMS	Workflow Management System
W-Lan	Wireless Local Area Network
x	Laufvariable
z. B.	zum Beispiel
zw.	zwischen

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Herausforderung und Erfolgskriterien des Produktentstehungsprozesses [War03a] .....	21
Abbildung 2: Zielsetzung und Vorgehensweise .....	25
Abbildung 3: Aufbau der vorliegenden Arbeit .....	26
Abbildung 4: Prozessschritt [DIN98; Awi00; Rat95, Gad08] .....	27
Abbildung 5: System- [Gau01a; Hai91] und Prozessstruktur [Sch08; Sch97a] .....	28
Abbildung 6: Konzept des digitalen Produktes nach Bongulielmi [Bon02; Awi00] .....	53
Abbildung 7: Phasen, Schritte und Bestandteile der Methode .....	59
Abbildung 8: Unmittelbare und mittelbare Entwicklungstätigkeiten .....	65
Abbildung 9: Typen von Informationstechnologien [Schw00] .....	68
Abbildung 10: Attribute von Informationstechnologien einer Prozessfunktion [Lang96] ...	71
Abbildung 11: Prozess-Konfigurationsmatrix (vgl. Abbildung 63 – Anhang) .....	72
Abbildung 12: Bewertung des Einsatzes von CAX-Technologien .....	74
Abbildung 13: Ausschnitt des Prozess-Bewertungsschema zur qualitativen Bewertung von Prozess und CAX-Technologien (vgl. Tabelle 40 - Anhang) .....	76
Abbildung 14: Prozess-Konfigurationsmatrix zur Quantitative Zustands- und Potenzialanalyse des Einsatzes einer CAX-Technologie .....	81
Abbildung 15: Technologieportfolio - Einordnung von CAX-Technologien .....	81
Abbildung 16: Integrationsmatrix – Durchgängigkeit .....	82
Abbildung 17: Verbund-Analyse-Schema zur qualitative Analyse und Bewertung eines Verbundes von CAX-Technologien und Informationstechnologie .....	83
Abbildung 18: Aggregation von Einzelergebnissen .....	84
Abbildung 19: Zusammenwirken von Produkt, Prozess und CAX-Technologien .....	85
Abbildung 20: Digitale Produktdaten und Informationstechnologien [Sch02a] .....	86
Abbildung 21: Digitaler Zusammenbau mit Iterationsschleife .....	89
Abbildung 22: Prozessveränderungen – allgemein .....	91
Abbildung 23: Anforderungen an CAX-Technologien durch Prozessfunktionen .....	93
Abbildung 24: Matrix der Prozessveränderung (Ausschnitt) .....	94
Abbildung 25: Prozessfunktionsanordnung: sequenziell und parallel .....	96
Abbildung 26: Prozessanordnungsmatrix und Prozessmodell .....	97
Abbildung 27: Zusammenhänge von Teilprozessen .....	98
Abbildung 28: Beispiele von Veränderungen der Prozessgestalt durch den Einsatz von CAX-Technologien und Informationstechnologie .....	99
Abbildung 29: Modulare Prozessstrukturierung .....	100
Abbildung 30: Zusammenhänge zwischen Produktmodell, CAX-Technologien und Informationstechnologien in der Produktentwicklung .....	101
Abbildung 31: Strukturmodell [War00; Jnd00, Bul05; Spa05a] .....	102
Abbildung 32: Idealtypische Prozessabschnitt mit digitalisierten Teilprozessen .....	105
Abbildung 33: Ausbildung eines Teilprozesses .....	105
Abbildung 34: Informationsgenerierung in einer Prozessfunktion .....	106
Abbildung 35: Idealtypischer Verlauf der Informationsgenerierung [Noh99] .....	106
Abbildung 36: Verhältnis der Reifegradverlaufsabschnitte zum Entwicklungszeitraum ..	107

Abbildung 37: Regelung des Informationsflusses anhand des Produktreifegrades .....	108
Abbildung 38: Funktionale Eintaktung von Prozessschritten in Teilprozesse .....	108
Abbildung 39: Integration von reifegradabhängigen und digitalisierten Teilprozessen ...	109
Abbildung 40: Gesamtübersicht der Methode .....	111
Abbildung 41: Ergebnis: Ist-Prozess, Bildung einer Prozessfunktion .....	117
Abbildung 42: Ergebnis Technologieportfolio: Einordnung des CAX-Einsatzes .....	118
Abbildung 43: Ergebnis: qualitative Bewertung von Prozess und CAX-Einsatz .....	119
Abbildung 44: Ergebnis: Erhebung des Ist-Zustands von CAX-Technologien – einzeln und im Verbund; Durchgängigkeit (Integrationsfähigkeit) .....	120
Abbildung 45: Ergebnis: Potenzialworkshop mit Priorisierung und Einordnung .....	121
Abbildung 46: Ergebnis: Grad der Unterstützung durch CAX-Technologien .....	121
Abbildung 47: Vorgehen zur Ausbildung und Bewertung eines Teilprozesses .....	122
Abbildung 48: Zusammenhang digitaler Prozessführung .....	123
Abbildung 49: Ausschnitt: Eintaktung Teilprozesse TP1 und TP2 der digitalen Konstruktion .....	125
Abbildung 50: Ergebnis Bewertung von Prozessveränderungen .....	126
Abbildung 51: integriertes Produktmodell .....	151
Abbildung 52: Einflüsse auf den Prozess der Produktentstehung [Ehr07 nach Ishikawa; Gau01a; Rup02] .....	153
Abbildung 53: Produktentstehung [Pot03; Zwi98] .....	154
Abbildung 54: Virtual Engineering und Digital Factory [War03a, Bul05, Spa05a] .....	155
Abbildung 55: zeitlich-logische Verkettung von Einzelelementen [Pat82] .....	155
Abbildung 56: Vorgehensplan und Vorgehenszyklus [VDI2221, VDI2222, Ehr07] .....	156
Abbildung 57: Beispiele an Potenzialen durch Digitalisierung des Prozesses .....	163
Abbildung 58: Beispielhafte Darstellung des Ist-Prozesses .....	171
Abbildung 59: Beispielhafte Darstellung eines veränderten Prozesses (Ausschnitt des 2. Unternehmen) .....	173
Abbildung 60: Beispielhafte Darstellung eines veränderten Prozesses (Ausschnitt des 1. Unternehmen) .....	174
Abbildung 61: Ergebnis: Analyse und Potenzialermittlung von Informationstechnologien eines IT-Verbundes für einen Prozessabschnitt (1) .....	178
Abbildung 62: Ergebnis: Analyse und Potenzialermittlung von Informationstechnologie eines IT-Verbundes für einen Prozessabschnitt (2) .....	179
Abbildung 63: Bildung und Analyse von Prozessfunktion bzgl. Zeit, Qualität und CAX ..	180
Abbildung 64: Beispiel: Integrations-System-Matrix von Teilprozessen bzgl. CAX-Technologien mit Einführungspfad .....	181
Abbildung 65: Beispiel eines Prozessberichtes .....	184
Abbildung 66: Bewertungsprotokoll mit Prozess-Veränderungs-Bericht .....	186
Abbildung 67: Schnittstellen-Gestaltungsberichte .....	187

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Klassen und Typen von Aktivitäten [DIN00; CIM96] .....	28
Tabelle 2:	Reifegradmodelle in der Produktentwicklung.....	35
Tabelle 3:	Vorgehen der Prozesserneuerung und -verbesserung.....	36
Tabelle 4:	Methoden des Business Redesign [Hes96b; Kri95].....	36
Tabelle 5:	Ansätze zum Strukturieren von Prozessen [Hes96b; Fra01; Wes97] .....	37
Tabelle 6:	CAX-Einführungsverfahren [Fre04] .....	45
Tabelle 7:	Kennzahlensysteme zur Bewertung des Einsatzes von Informationstechnologien.....	47
Tabelle 8:	Methoden der Abschätzung der Folgen durch Technologien [Lud95, Spa05b; VDI3780; Zin00] .....	49
Tabelle 9:	Vergleich der wichtigsten Ansätze zur Unterstützung der Systematisierung von Prozessen in der Produktentwicklung .....	57
Tabelle 10:	Vergleich von Kriterien und Anforderungen an die Methode .....	60
Tabelle 11:	Anforderungen an die Methode .....	62
Tabelle 12:	Veränderung der Komplexität des Prozesses.....	67
Tabelle 13:	Schnittstellen von Prozessen der Produktentwicklung.....	68
Tabelle 14:	Spezifizierung von Informationstechnologien .....	69
Tabelle 15:	Bewertungsgrößen .....	76
Tabelle 16:	Bewertungsmaßstäbe.....	77
Tabelle 17:	Fälle der Informationsweitergabe zwischen CAX-Technologien .....	78
Tabelle 18:	Ermittlung der Bewertungspunkte für eine Prozessveränderung.....	79
Tabelle 19:	Informationsdurchgängigkeit – Bewertungsgrößen.....	82
Tabelle 20:	Potenziale von CAX-Technologien und Informationstechnologien.....	88
Tabelle 21:	Potenziale von CAX-Technologien – virtuelle Prototypen .....	89
Tabelle 22:	Gestaltungs- und Modifizierungsmaßnahmen [Kick95; Awi00; Ehr07; Sch08; Sei98; War03a].....	92
Tabelle 23:	Prozessveränderung – allgemein .....	93
Tabelle 24:	Gründe einer Prozessveränderung durch Veränderung des Einsatzes von CAX-Technologien .....	95
Tabelle 25:	Abhängigkeiten der Elemente eines Prozessschrittes (Ausschnitt).....	97
Tabelle 26:	Zusammenhänge von Teilprozessen.....	100
Tabelle 27:	Charakterisierung der Anwender .....	114
Tabelle 28:	Anforderungen der Methode an ihren relativen Grad der Erfüllung .....	130
Tabelle 29:	Planungsmethodik nach Schuler [Sch92] .....	157
Tabelle 30:	Auswahl gängiger Modellierungsmethoden [Awi00; Bul01c; Noh99] .....	158
Tabelle 31:	Allgemeine Entwicklungstätigkeiten [VDI2210, Ehr07, Pah97, Lan97] ....	159
Tabelle 32:	Eigenschaften eines technischen Produktes [Ehr07; DIN 2330; Bon02] .	160
Tabelle 33:	Produktschnittstellen [Pul04; Ehr07].....	160
Tabelle 34:	Checkliste Produktspezifikation [Sei98].....	161
Tabelle 35:	Nutzen von CAX Systemen [Sch01].....	162
Tabelle 36:	Abhängigkeiten sequenzieller Anordnung .....	164
Tabelle 37:	Abhängigkeiten paralleler Anordnung.....	165

Tabelle 38:	Legende zu Tabelle 36, Tabelle 37 und Abbildung 24.....	169
Tabelle 39:	Beispiele der Ausprägungen und Abhängigkeiten von Prozessschritten.....	170
Tabelle 40:	Prozessbewertungskatalog (qualitativ).....	175
Tabelle 41:	Informationsflussbewertung (qualitativ).....	177
Tabelle 42:	Fragenkatalog (1) - Einzelaktivitäten.....	182
Tabelle 43:	Fragenkatalog (2) - Informationsfluss durch eine Einzelaktivität.....	182
Tabelle 44:	Fragenkatalog (3) - spezifische Merkmale einer Einzelaktivität.....	182
Tabelle 45:	Beispiele für Reifegradverläufe nach Nohe [Noh99].....	183
Tabelle 46:	Fragebogen mit Leitfragen zur Teilprozesserstellung.....	185

## Abstract

This thesis aims to set out a method for systemising product development sub-processes using CAx-technologies. The objectives are the following:

1. The development of a holistic method for sub-processes that enables them to be equipped with CAx-technologies for digital product development.
2. The method is intended to identify areas of potential and offer design approaches that could be implemented in a sub-process.
3. The method is also intended to support the evaluation of the current state and the effects of the use of CAx-technologies in the process of product development, and, alternatively, to support the developing of alternatives for process improvements.
4. The results of the evaluations should support the design and, therefore, the systematisation of sub-processes with regard to digital product development.

The literature provides different approaches to optimising process performance. The most common approaches are Business Process Reengineering, Total Cycle Time, KAIZEN/KVP and Six Sigma.

Existing methods were developed with an emphasis on management. They therefore do not consider sufficiently the integration of information technologies, which is important from the engineering standpoint. Analysis of existing approaches shows that processes are generally automated by the implementation of modern information technologies and thus have to be redesigned.

Numerous methods and tools are described in the literature concerning the configuration and modelling processes for product development. But there is no method that allows for process modification that simultaneously includes the special influence of information technologies (see chapter 3.1).

In order to improve product development an integrated product development approach is pursued. Existing approaches in literature that try to optimise product development by integrating information technologies are based on combining existing methods. But no method is to be found in the literature that deals extensively with the effects of information technologies on process design.

There are plenty of approaches in computer science to designing information technology structures with a view to cross linking. Key data are used to evaluate the application information technologies. Most ratio systems used in information technology are, however, suitable to a limited extent only. This is due to the quantity of key data and the inadequacy of their descriptions. Furthermore, there is no method for evaluating the use of information technologies within a process. In addition, there is no method for evaluating the status of a bond of information technologies (see chapter 3.2).

The analysis of products and product data showed that the growing volume of data on the supply of digital product data and models also poses a big challenge. Different approaches can be found in literature for data archiving, supply and release, as well as for the separation of useful from useless data by extensive data management.

However, the analysis also shows that there is no concept connecting and aligning the process of product development to the process of maturity of a digital product model, a tool that is essential for digital product development (see section 3.3).

The developed method differs from existing approaches by its systematic integration of possibilities of using CAx technologies to create more efficient sub-processes in product development.

The method offers specific tools to derive changes by CAx technologies. It also contains instructions for arranging, structuring and cross-linking sub-processes of product development through the adoption of CAx technologies. The method encompasses specifically developed evaluation procedures and evaluation tools, which contribute to identifying and analysing capabilities as well as to judging process changes by an extended use of CAx technologies. The method is structured as follows:

The inclusion of the relevant process of product development takes place during the preparatory phase, which is divided into sub-processes. Product data are collected at the same time. The status quo is analysed as part of the process analysis and weak points are identified. A localisation of the requirements for integrating process support tools and developing measures for process optimisation also takes place then.

The method captures and identifies the existing CAx technologies and brings them into alignment with the application of modern CAx technologies. Individual issues are raised in interviews and questionnaire actions, as well as in workshops, with help of the new tools.

In addition to the collection of the processes, a structured overview is compiled of the CAx technologies used. The current status of the frequency with which CAx technologies are used is evaluated and used to benchmark further steps in the method. The evaluation of the collected data and results is carried out by using fixed objectives and special valuation factors.

The results of the analysis are implemented at the design stage of a target process. New capabilities can be determined by eliminating insufficient CAx technologies and adding or renewing new CAx technologies. In addition, consideration is given to the results of an analysis of connections and effects caused by the changes between the information technology and the process.

No new convention of process modelling is developed for the adjustment, but references and tools were provided for a systematization of processes in terms of information technology. The effects of a reorientation can be estimated on the basis of target performance comparison.

Once basic information has been prepared and the determinations of all possibilities have been determined, the systematisation of a target sub-process can be accomplished. The systematisation of a sub-process takes place in a specified order. In conclusion, an evaluation is made of the generated changes based on the special valuation factors.

Applicability is shown within a practical application. The structured and systematic method provides overall protection and allows the complex extensive process interrelationships to be controlled. Evaluation and planning can thus be realised at a specific level with different degrees of abstraction, depending on application of the method.

The general applicability and flexibility of the method was underlined by practical implementation within medium-sized enterprises. The basis for an improvement of planning and estimating of the implementation of information technology was compiled by this method. The individual tools and additives used contributed to the collection, analysis, modification and evaluation of sub-processes and thus supported the systematisation of sub-processes with the help of CAx technologies.

# 1 Einleitung

## 1.1 Situation der Systematisierung von Prozessen in der Produktentwicklung

In einem internationalen Umfeld der Technikproduktion fordern Veränderungen des Marktes, des Kundenverhaltens oder neue Technologien von Unternehmen ein hohes Maß an Flexibilität und kurze Reaktionszeiten unter dem Druck einer ständigen Reduktion von Kosten. Nur durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung und Neuentwicklung von Produkten und Produktvarianten, die in immer kürzeren Abständen auf den Markt gebracht werden, können Unternehmen ihre Wettbewerbsposition halten und ausbauen. Parallel zu dieser Entwicklung entstehen komplexere Produkte mit neuen Technologien und erhöhten Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanforderungen [Ber07, Bul03a; Bon02; Spa06].

Um diesen Anforderungen zu genügen, muss die Produktentstehung nach den Erfolgskriterien aus Abbildung 1 optimiert werden. Der Bereich mit dem größten Optimierungspotenzial innerhalb der Produktentstehung ist die Produktentwicklung, denn die Entwicklung eines Produktes verursacht in der Regel ca. 70 % der Gesamtkosten eines Produktes [Ehr07, Bul03b; Zwi98].

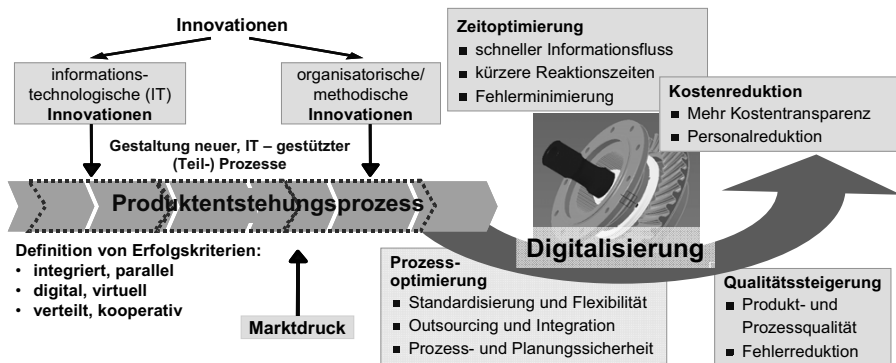


Abbildung 1: Herausforderung und Erfolgskriterien des Produktentstehungsprozesses [War03a]

Zur Umsetzung der Erfolgskriterien, insbesondere in der Produktentwicklung, wird das Prozessmanagement als grundlegendes und bewährtes Konzept angewendet [Sch08; Bon02; Pil98]. Das Prozessmanagement ermöglicht prinzipiell eine gesteuerte Entwicklung und Verbesserung der Qualität von Entwicklungen und dient zur Kosten- und Zeitreduktion [Ber07, Spa04b].

Zur Optimierung von Prozessen der Produktentwicklung kommen im Prozessmanagement verschiedene Methoden in Betracht, wie z. B. Total Cycle Time (TCT), KAIZEN, Six Sigma oder Business Prozess Reengineering [Kick95]; diese Methoden haben in den vergangenen Jahren zu einer Vielzahl von positiven Veränderungen geführt.

Nach einer Studie des Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) [War03b] kann das Prozessmanagement in Verbindung mit einer Digitalisierung, d. h. der Integration von Informationstechnologien, zu weiteren Verbesserungen führen. Die Digitalisierung verbessert nicht nur den Prozess der Produktentwicklung, sondern ist durch ihre Möglichkeiten auch maßgeblich für Produktinnovationen verantwortlich [War03b; Pot05; Pil98, Spu97].

Die Etablierung einer Digitalisierung bedingt eine durchgängige Vernetzung von Informationstechnologien und die Verbindung einzelner Teilprozesse, was wiederum bedeutet, dass alle Bereiche der Produktentwicklung zu berücksichtigen sind. Denn erst mit dem Aufbau eines Gesamtansatzes an komplementären Systemen und Infrastrukturmaßnahmen können sich die notwendigen Wirkungen durch eine Digitalisierung effektiv entfalten [Bon02, Pil98, Zwi98; Spu97].

Die Digitalisierung integriert in der Produktentwicklung bspw. einzelne oder mehrere CAx-Technologien wie z. B. Konstruktions- oder Simulationsprogramme und Visualisierungssysteme. Der Einsatz von CAx-Technologien erhöht dabei die Effektivität der Produktentwicklung und bietet ein wesentliches Rationalisierungspotenzial durch ein weiteres Verkürzen der Produktentwicklung, Verbessern der Qualität und Absichern der Produktentwicklung [Ber07, Bul04].

In dieser Arbeit werden der Einsatz und die Integration der CAx-Technologien zur Verbesserung der Produktentwicklung betrachtet. Durch die Integration von CAx-Technologien in den Prozess der Produktentwicklung wird die Produktentwicklung digitalisiert und dadurch beschleunigt und verkürzt. Hierfür müssen aber einzelne Teilprozesse der Produktentwicklung neu gestaltet werden [Ost99], denn die Integration verändert teilweise die Inhalte und Anordnung der Teilprozesse und die Art der Aufgabenerfüllung.

Es werden dabei nicht nur bestehende Arbeitsmethoden und -werkzeuge ersetzt oder unterstützt, sondern es werden auch „neue“ CAx-Technologien wie z. B. umfangreiche Simulationen integriert. Dadurch entstehen Wechselwirkungen zwischen neuen und alten Teilprozessen und CAx-Technologien, die bei einer Prozessgestaltung berücksichtigt werden müssen [War03a; Zwi05].

Vor diesem Hintergrund müssen neue CAx-gestützte Teilprozesse der Produktentwicklung, z. B. für die Bereiche Konstruktion, Simulation oder digitaler Prototypenbau, systematisch gestaltet werden [Ber07, Por00; Spa04b; Gau01a]. Existierende Vorgehen und Methoden zur Prozessgestaltung sind dafür nur bedingt geeignet, denn die Anwendungsmöglichkeiten und Auswirkungen durch CAx-Technologien in Verbindung mit einer Prozessveränderung werden darin nur ungenügend berücksichtigt und umgesetzt.

Es fehlt somit eine Methode, welche die Auswirkungen und die Veränderung von Prozessen der Produktentwicklung durch eine Integration von CAx-Technologien systematisch ermittelt, bewertet und bei der Prozessgestaltung berücksichtigt.

## 1.2 Defizite bei der Systematisierung der Prozesse in der Produktentwicklung

Den bestehenden Ansätzen der Unternehmensoptimierung fehlt die integrierte Systematisierung bezüglich des Einsatzes von CAx-Technologien. Bisherige Methoden der Prozessoptimierung, wie z. B. Total Cycle Time (TCT), KAIZEN, Six Sigma oder Business Prozess Reengineering [Kick95], sind nach betriebswirtschaftlichen Zielen ausgerichtet und berücksichtigen nur unzureichend den Einsatz von CAx-Technologien.

Die Systematisierung von Prozessen in der Produktentwicklung kann nicht nach bestehendem Vorgehen der Prozessgestaltung erfolgen. Denn bisher werden Prozesse in der Regel zuerst strukturiert und geordnet, dann standardisiert und organisiert und erst zum Schluss automatisiert und programmiert [Ehr07]. Auch Scheer [Sch98a] weist darauf hin, dass Prozesse erst auf Basis des Produktes und dann nach den Möglichkeiten der CAx-Technologie ausgerichtet werden.

Zur Erhebung, Zerlegung, Strukturierung und Gestaltung von Prozessen der Produktentwicklung gibt es verschiedene Einzelmethoden. Allerdings tragen diese Methoden nur unzureichend zur Systematisierung von Prozessen bei einem Einsatz von CAx-Technologien bei [Bon02].

Im Einzelnen sind für die Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung bei der Integration von CAx-Technologien folgende Defizite festzuhalten:

1. Es gibt eine Vielzahl an Erkenntnissen, dass die Informationstechnologie in der Produktentwicklung eine Verbesserung herbeiführen kann. Eine Methode zur Systematisierung von Teilprozessen der Produktentwicklung beim Einsatz von CAx-Technologien ist jedoch noch nicht entwickelt worden.
2. Ansätze zur Erhebung und Modellierung von Prozessen sind vorhanden, aber hinsichtlich der Systematisierung des Einsatzes der CAx-Technologien nicht geeignet.
3. Es fehlt an einer Methode zur Abschätzung der Auswirkungen eines veränderten Einsatzes von CAx-Technologien, im Speziellen hinsichtlich der Veränderungen von Prozessen in der Produktentwicklung.
4. Es fehlt an einer Methode, die Veränderungen eines Einsatzes von CAx-Technologien messbar ermittelt oder zumindest abschätzbar macht.
5. Es fehlt an einer Methode, die beschreibt, wie Prozesse der Produktentwicklung bei der Systematisierung mit CAx-Technologien auszurichten sind.
6. Es fehlt an Handlungsempfehlungen, die eine Einführung von CAx-Technologien und damit eine Systematisierung von Teilprozessen unterstützen.

Es fehlt somit eine Methode mit einer Analyse, Bewertung und Gestaltung, die zu einer Systematisierung von Teilprozessen mit CAx-Technologien in der Produktentwicklung beiträgt.

Die angeführten Defizite sind die Ausgangslage für diese Arbeit. Sie verdeutlichen die Notwendigkeit der Zielsetzung, für den zukünftigen Ansatz eines digitalisierten Teilprozesses der Produktentwicklung eine Methode festzulegen und Regeln zur Systematisierung mit CAx-Technologien bereitzustellen.

## 2 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

### 2.1 Zielsetzung

Die Digitalisierung der Produktentwicklung verspricht viele positive Veränderungen. Es wird eine weitere Beschleunigung der gesamten Produktentwicklung erwartet. Zusätzlich soll die Qualität der Produktentwicklung und damit der Produkte verbessert werden. In Verbindung mit einer Digitalisierung werden daher folgende allgemeine Ziele verfolgt:

- Erhöhung des Informationsgrades, schneller Informationsfluss und bessere Informationsfindung.
- Reduzierung von Schnittstellen zwischen Produktentwicklung, Produktion und Externen.
- Fundierte digital integrierte Prozessplanung.
- Durchgängiger, schneller, ortsungebundener und zeitnaher Datenzugriff und -transfer.
- Einfache und sichere Datenverwaltung (Versionsverwaltung, Änderungsmanagement, kein Datenverlust, aktuelle Daten, Datengleichheit).
- Qualitätsverbesserung und Minimierung der Fehlerquote und -fortpflanzung.
- Nutzung von Synergien und Abbau von Doppelarbeit.
- Standardisierung (Vereinfachung von Abläufen), Flexibilität und Dynamik.

Die vorliegende Arbeit verfolgt dabei folgende zentrale Aufgabenstellung:

#### 1. Praxisnahe Methode zur Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung beim Einsatz von CAx-Technologien:

Für eine erfolgreiche Systematisierung bestehender Prozesse muss eine ganzheitliche Methode entwickelt werden (vgl. Abbildung 2). Die Methode soll durch Bewertungs- und Entscheidungshilfen, Gestaltungsregeln und einzelne Vorgehen sowie praktikable Werkzeuge unterstützt werden.

#### 2. Ermittlung von Möglichkeiten und Bewertung der Auswirkungen bei einer Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung beim Einsatz von CAx-Technologien:

Die Methode soll eine einfache und strukturierte Ermittlung der Prozessumfänge sowie des Einsatzes von CAx-Technologien ermöglichen.

Es sind die Auswirkungen zu ermitteln, die durch eine Anwendung von Informationstechnologien, im Speziellen von CAx-Technologien, auf Prozesse entstehen. Dazu sind die entscheidenden Beziehungsfaktoren der einzelnen Wechselwirkungen zwischen Prozess, Informationstechnologien und Produkt zu ermitteln.

Sowohl für die Analyse und Abschätzung von Auswirkungen durch den Einsatz von CAx-Technologien auf den Prozess der Produktentwicklung als auch für die Systematisierung des CAx-Einsatzes müssen Bewertungskriterien und -methode abgeleitet und definiert werden. Die Größen sollen zusätzlich für die Bewertung der Lösungsalternativen einer Prozessoptimierung angewendet werden können.

#### 3. Informationsversorgung der Systematisierung von Teilprozessen beim Einsatz von CAx-Technologien:

Es sollen Potenziale generiert, der Soll-Zustand ermittelt sowie Lösungsalternativen abgeleitet werden. Die sich ergebenden Potenziale und Lösungsalternativen sollen in einem Teilprozess exemplarisch umgesetzt und einer Bewertung unterzogen werden.

Durch die Erkenntnisse sollen Entscheidungsgrundlagen gegeben und Handlungsanweisungen abgeleitet werden können, die für die Umsetzung der Systematisierung der Teilprozesse in der Produktentwicklung benötigt werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit können jedoch nicht alle Zielsetzungen der Digitalisierung umgesetzt werden. Zu den Einschränkungen und Defiziten bei der Verwendung von CAx-Technologien siehe Kapitel 3.

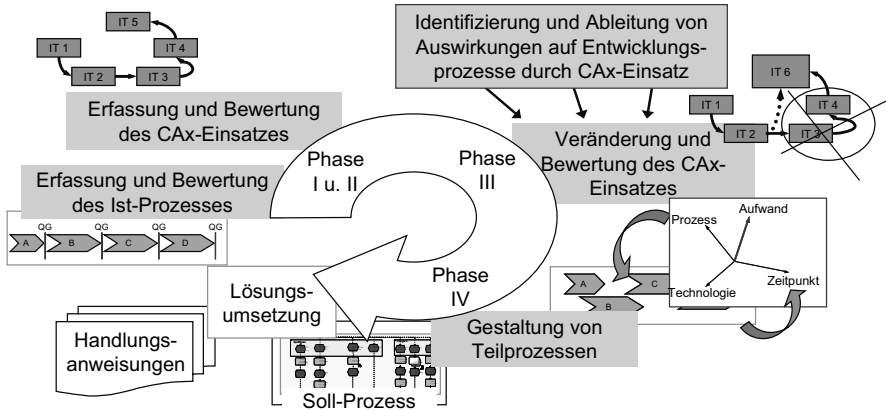


Abbildung 2: Zielsetzung und Vorgehensweise

## 2.2 Aufbau der Arbeit

Die Methode zur Systematisierung von Teilprozessen der Produktentwicklung mit dem Einsatz von CAx-Technologien wird entlang der in Abbildung 3 aufgeführten Kapitel systematisch entwickelt.

Nach der Einleitung mit der Betrachtung der Ausgangssituation, des Untersuchungsrahmens und der ersten Defizite werden in Kapitel 2 die Zielsetzung sowie ein erster Lösungsansatz dieser Arbeit formuliert.

In Kapitel 3 ist der aktuelle Stand des Wissens aufgeführt. Es werden die Bestandteile und Ansätze der für die Problematik zentralen Elemente betrachtet: das Produkt, der Produktentwicklungsprozess und die Informationstechnologie. Hierzu werden bekannte Lösungsansätze und Ergebnisse aufgeführt und diskutiert. Abschließend werden die Defizite der bestehenden Ansätze erörtert.

In Kapitel 4 werden der Handlungsbedarf und die Anforderungen, aufbauend auf den Erkenntnissen des 3. Kapitels, konkretisiert und spezifiziert. Daraus wird ein Ansatz abgeleitet, der in den folgenden Kapiteln erörtert, konzipiert und evaluiert wird.

In Kapitel 5 erfolgt eine Diskussion der Spezifika von Produkt, Prozess und CAx-Technologien. Zudem wird eine Untersuchung der Korrelationen zwischen diesen Elementen vorgenommen und daraus werden Bewertungsgrößen abgeleitet. Die so gewonnenen Erkenntnisse sind die Grundlagen für die erfolgreiche Ausbildung von einzelnen Elementen einer Methode. Diese sind für die Erhebung, Bewertung und Ausrichtung eines Entwicklungsprozessabschnitts mit CAx-Technologien notwendig. Im abschließenden Abschnitt dieses Kapitels werden die Erkenntnisse und Elemente in einer Methode vereint und der Gesamtprozess beschrieben.

Das Kapitel 6 veranschaulicht und beschreibt die praktische Anwendung und die Ergebnisse der Methode. Die Methode wurde in zwei mittelständischen produzierenden Unternehmen in gleicher Weise durchgeführt.

In beiden Fällen konnten die Teilprozesse erhoben und ausgebildet, Potenziale ermittelt und neue Teilprozesse gebildet werden. Die Umsetzung der Methode wurde an einer der beiden praktischen Anwendungen beschrieben. Allerdings wurden die Erkenntnisse aus den beiden praktischen Anwendungen in die abschließende Diskussion eingebracht.

Im 7. Kapitel werden die Ergebnisse der Anwendung der Arbeit einer kritischen Evaluation und Diskussion unterzogen. Die gesamte Arbeit wird abschließend in Kapitel 8 zusammengefasst und mögliche zukünftige Forschungsansätze werden in einem Ausblick angedeutet.

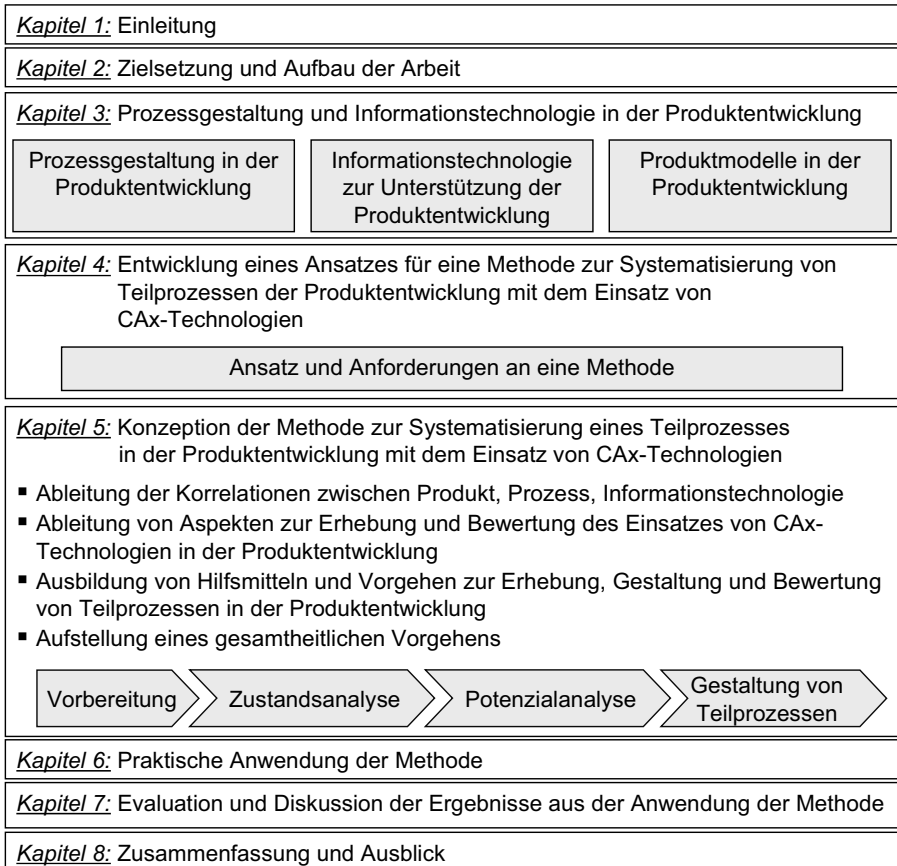


Abbildung 3: Aufbau der vorliegenden Arbeit

# 3 Prozessgestaltung und Informationstechnologie in der Produktentwicklung

## 3.1 Prozessgestaltung in der Produktentwicklung

### 3.1.1 Ziel und Bestandteile des Prozesses in der Produktentwicklung

Das Ziel eines Prozesses ist, durch die Abfolge von zusammengehörigen Aktivitäten unter Beteiligung von Ressourcen und Hilfsmitteln ein Ergebnis zu erstellen. Bei Awiszus [Awi00] dient der Prozess als Beschreibung der auszuführenden Aufgaben eines Planungsvorgangs, einer Tätigkeit oder einer Aktivität. Objekte werden erzeugt oder verändert und bewirken eine Änderung des Zustands der Aufgabe. Komplexe Prozesse können durch eine Zerlegung in Teilprozesse unterteilt und dadurch beherrschbarer sowie überschaubarer werden [DIN00].

**Aktivitäten** (oder mitunter synonyme Begriffe wie Aufgabe, Funktion, Tätigkeit, Unternehmensverrichtung, Vorgang, Aktion, Transition, Arbeitssystem) beschreiben das Ausführen von Aufgaben durch Agenten. Unter einer Funktion wird die „lösungsneutrale Formulierung des gewollten [...] Zwecks eines technischen Gebildes“ verstanden [Ehr07].

In einem Prozess wird die Aktivität als **Prozessschritt** (Abbildung 4) bezeichnet. Ein Prozessschritt kann Information (Input) empfangen, wenn diese für die Realisierung der **Prozessfunktion** des Prozessschrittes notwendig ist. Ein Prozessschritt liefert immer ein Ergebnis (Output). Ausgeführt wird der Prozessschritt durch einen Agenten (Organisationseinheit) und er wird durch eine Informationstechnologie unterstützt bzw. durchgeführt. Zusätzlich zum Daten- und Informationsfluss ist noch ein Wissensfluss an explizitem Wissen vorhanden [DIN98; Awi00; Rat95; Gad08].

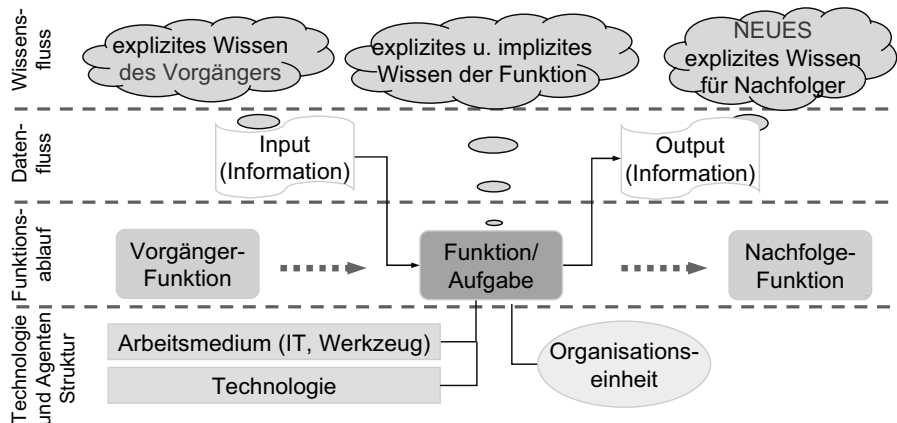


Abbildung 4: Prozessschritt [DIN98; Awi00; Rat95, Gad08]

Nach DIN [DIN00] können die **Agenten** eines Prozesses Menschen (Ressourcen), Maschinen oder Teams sein. Agenten können bestimmte Aufgaben oder Tätigkeiten zugewiesen oder entzogen werden.

Ein Ansatz zur Klassifizierung und Typisierung von Aktivitäten eines Prozesses wird durch CIMOSA [CIM96] bereitgestellt. Dort werden die drei Haupttypen von Aktivitäten mit management-, operation- und supportorientierten Aktivitäten beschrieben (s. Tabelle 1).

Hauptkategorie	Unterkategorie	Aktivitäten in der Praxis
management-orientiert	Planen	z. B. Analysieren, Definieren
	Steuern	z. B. Verfolgen, Entscheiden, ...
	Berichten	z. B. Display, Hard copy
operation-orientiert	Entwerfen	z. B. Simulieren, Qualifizieren
	Produzieren	z. B. Bearbeiten, Montieren
	Transportieren	z. B. Bewegen, Handhaben
	Lagern	z. B. Halten, Speichern
	Prüfen	z. B. Testen, Prüfen, Messen
support-orientiert	Verteilen	z. B. Markt, Akquirieren, Verkaufen
	Unterstützen	z. B. Installieren, Warten, Reparieren

Tabelle 1: Klassen und Typen von Aktivitäten [DIN00; CIM96]

### 3.1.2 Strukturierung und Gestaltung von Prozessen in der Produktentwicklung

In dieser Arbeit wird der **Prozess der Produktentwicklung** als ein Teil des **Geschäftsprozesses** betrachtet. Der Begriff Prozess bedeutet auch die Spezialisierung des Systembegriffes. Ein **System** besitzt eine Systemgrenze die sie von ihrer Umgebung unterscheidet. Innerhalb dieser Grenze besteht ein System aus mehreren einzelnen Elementen oder auch Teilsystemen, die in einer bestimmten Beziehung zueinander stehen und somit die Systemstruktur ausbilden [Ehr07; REF85; Hab02; Sch98a; Rup02].

Die Strukturierung der Inhalte von Systemen ist durch zwei Aspekte charakterisiert. Zum einen kann hierarchisch gegliedert werden wie in Abbildung 5 abgebildet. Zum anderen können Einzelelemente zeitlich-logische verkettet werden (Abbildung 55 - Anhang).

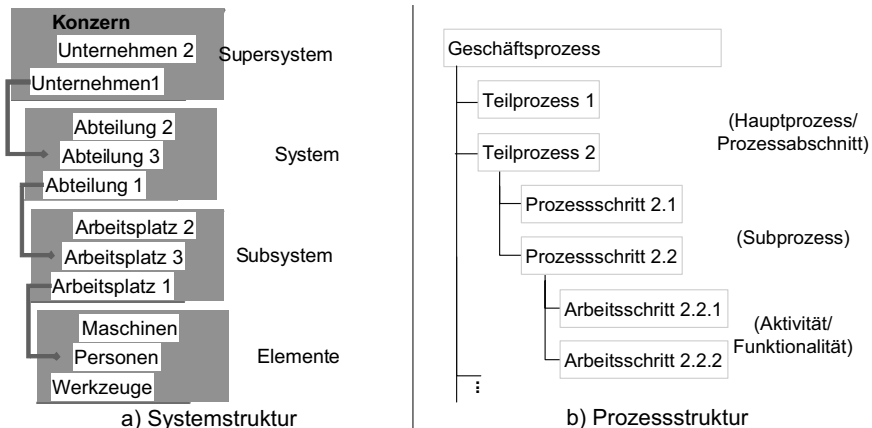


Abbildung 5: System- [Gau01a; Hai91] und Prozessstruktur [Sch08; Sch97a]

Zur Gestaltung von Systemen hält das System Engineering drei Prinzipien vor [Hab02]:

- Minimale Präjudizierung: Nur potenzielle Lösungsansätze werden betrachtet.
- Minimierung von Schnittstellen: Zwischen einzelnen Elementen des Lösungssystems sowie in der Beziehung zwischen Lösungssystem und Systemumwelt werden möglichst wenige und klar definierte Schnittstellen angestrebt.

- Modularer Aufbau: Gestaltung von Lösungsbausteinen, die mehrfach (auch in anderen Systemen) verwendbar sind oder die Verwendbarkeit von „Standardlösungen“ zulassen.

Die Strukturierung von Prozessen der Produktentwicklung erfolgt in der Literatur nach verschiedenen Ansätzen. Um die Komplexität der Prozesse der Produktentwicklung zu mindern und somit mehr Transparenz zu bekommen, bedient sich die Prozessorientierung zuerst einer hierarchischen Struktur. Die **Strukturierung** der Prozesse wird dann nach dem angestrebten Detaillierungsgrad (Zerlegungstiefe) vorgenommen [Hab02]. Die Zerlegungstiefe hängt zum einen von den zu erwartenden Verbesserungsmöglichkeiten und zum anderen vom Detaillierungsgrad der Arbeitsanweisungen ab [Oes95]. Meist reichen drei Strukturierungsstufen aus (s. Abbildung 5, Teil b). Der Prozess der Produktentwicklung wird dadurch in **Teilprozesse** (Hauptprozesse/Prozessabschnitte) unterteilt [Rat95]. Diese werden wiederum in Prozessschritte (Subprozesse) und die Prozessschritte auf die eigentlichen Arbeitsschritte (Aktivitäten/Funktionen) heruntergebrochen [DIN98].

Aus Sicht der Prozessgestaltung nennt Österle [Oes95], in Abhängigkeit der Aufgabenstellung, folgende Kriterien für die Unterteilung in Teilprozesse [Rat95; Sch08; Sch97a]:

- Alle Aktivitäten zur Erbringung einer Leistung oder eines Leistungsbündels und diejenigen, die während der gesamten Lebensdauer eines Geschäftsobjektes notwendig sind, müssen berücksichtigt werden.
- Der Teilprozess entspricht einem separierten Prozess, z. B. beim Kunden.
- Es werden **eine oder mehrere Funktionen** einer Prozesstypologie abgedeckt.
- Der Teilprozess befasst sich mit **einer Prozessvariante** für ein bestimmtes Segment.

Pro Teilprozess ist eine Beschreibung anzufertigen, die der Beschreibung von Geschäftsprozessen entspricht. Verschiedene Zerlegungskriterien können häufig zu gleichen Ergebnissen führen. Welches Zerlegungskriterium den effektivsten Ablauf hervorbringt, ist situativ zu entscheiden [Rat95]. Wichtig ist, dass es Alternativen gibt und der Prozessplaner diese auch miteinander vergleicht. Aus den verschiedenen Ansätzen der Literatur für die Zahl der Unterteilungen und deren Bezeichnungen wird für diese Arbeit die in Abbildung 5 aufgeführte Strukturierung festgelegt.

### 3.1.2.1 Vorgehen zur Aufnahme und Strukturierung von Prozessen

Die **Prozessidentifikation** hat die Frage zu beantworten, welche Geschäftsprozesse in einer Geschäftseinheit notwendig sind, um die erwartete Leistung zu erbringen [Sch08]. Die **Prozessanalyse** beinhaltet eine systematische Identifikation und Erhebung von Prozessdaten und deren Zusammenhänge. Dabei erfolgt zunächst eine Abgrenzung der organisatorischen Bereiche der Prozessgestaltung. Danach folgt die Unterteilung in Teilprozesse mithilfe der Kosiolischen Gliederungskriterien [Kos76], die Bestimmung des Prozessablaufs und abschließend eine Abschätzung und Bewertung der Prozesselemente bzw. Teilprozesse [DIN98; Jus98; Sch03; Gai94].

Für die Erhebung von Prozessdaten werden qualitative Methoden eingesetzt, die auf unterschiedliche Art und Weise kombiniert werden können. Dabei handelt es sich unter anderem um: schriftliche Umfragen, Interviews, Workshops, Funktionsanalysen [VDI2803], Dokumentenanalysen und DV-Analysen oder Beobachtungen [Bob01, Hoff89; Sei98].

Für die **organisatorische und informationstechnologische Prozessgestaltung** gibt es in der Literatur verschiedene Ansätze:

- Der **klassische Ansatz** nach Davenport [Dav93] und Harrington [Har91]: Er beginnt mit einer Zustandsaufnahme, darauf folgt eine Schwachstellenanalyse, die wiederum die Basis für die Prozessoptimierung ist. Bei diesem Ansatz handelt es sich um eine indivi-

duelle Einzelanfertigung mit einem hohen Aufwand, da der Prozess komplett neu und ohne ein methodisches Vorgehen entwickelt wird.

- Der **Referenzmodellansatz**: Er versucht ein allgemeingültiges Referenzmodell zu bilden, um die Methodenlücke des klassischen Ansatzes zu eliminieren. Ausgehend von einer Anforderungsanalyse werden Referenzmodelle ausgewählt und es erfolgt eine Anpassung der Referenzmodelle an das Unternehmen [Sch98a].
- Der **Skelettansatz**: Hierbei steht die Wiederverwendung von Softwarekomponenten im Vordergrund. Es wird ein hoher Gestaltungsspielraum gewährt, der einer zusätzlichen methodischen Unterstützung bedarf [Ber96].
- Der **Prozessbausteinansatz**: Dabei werden zur unternehmensindividuellen Prozesserstellung Prozessbausteine ausgewählt, gekoppelt und modifiziert [Bic01, Bic00]. Ein Prozessbaustein besteht aus Tätigkeiten, die dazu dienen, ein bestimmtes Ergebnis zu erreichen. Semantisch ähnliche Begriffe sind bspw. Teilablauf, Prozessabschnitt, Prozesskette, Aktivitätsfolge, Subprozess etc. [Lan97].

### Organisationsstrukturen von Prozessen der Produktentwicklung

Die Organisation von Prozessen der Produktentwicklung kann funktions- oder prozessorientiert sein [Sch98a]. Bisher wurde der Prozess der Produktentwicklung geometriebezogen ausgerichtet. Derzeit steht der funktionsorientierte Ansatz der Produktentwicklung im Mittelpunkt der Diskussionen. Eine Voraussetzung hierfür ist, neben einem integrierten Produktmodell, dass die Auslegung, Gestaltung und Absicherung mit der Modellierung und Detaillierung kombiniert werden [Amf01].

Eine **Funktionsorientierung** ist gekennzeichnet durch: vertikale Ausrichtung, starke Arbeitsteilung, Verrichtungsorientierung, tiefe Hierarchie, Abteilungsziele, Kosteneffizienz, zentrales Fremdcontrolling, Ratioprojekte, Ersatzprozesse, Redundanz, Komplexität und eine hohe Anzahl an Schnittstellen [Goe96; Sch08].

Nach Rupp [Rup02] wird bei der **Prozessorientierung** das gesamte betriebliche Handeln als Kombination von Prozessen betrachtet. Eine prozessorientierte Organisation richtet sich nach den Kundenwünschen aus und orientiert sich nicht wie die funktionale Organisation nach innen. Eine Prozessorientierung ist beschrieben durch: horizontale Ausrichtung, Arbeitsintegration, Objektbearbeitung, flache Hierarchie, Prozessziel, Kundenzufriedenheit, Produktivität, dezentrales Selbstcontrolling, kontinuierliche Verbesserung, Konzentration auf Wertschöpfung und Transparenz.

Nur durch eine prozessorientierte Aufbauorganisation kann sich die gewünschte Leistungsfähigkeit entwickeln sowie eine ablauforganisatorische Zusammenfassung von Aufgaben und eine funktionsübergreifende technische und organisatorische Integration stattfinden. Somit hat die Struktur den Prozessen zu folgen [Sch08].

#### 3.1.2.2 Ansätze zur Gestaltung von Prozessen der Produktentwicklung

Zur Gestaltung von Prozessen der Produktentwicklung müssen diese identifiziert und analysiert werden [Fos97]. Dazu sind Erhebungen und Modellierungen (Ist- und Soll-Modelle) notwendig [Hof98; Sch98c]. Die Identifizierung erfolgt mit verschiedenen am Prozess direkt oder indirekt beteiligten Personen eines Unternehmens.

Zur Steigerung der Effizienz eines Prozesses der Produktentwicklung ist ein optimaler Ablauf festzulegen. Dabei werden die Teilprozesse, Prozess- oder Arbeitsschritte so miteinander verbunden, dass Prozesszeiten und Ressourcen minimiert werden und die Prozessqualität optimiert wird. Die Reihenfolge ergibt sich durch die sachlogisch bestimmten Vorgangs-, Gleichzeitigkeits- und Nachrangbeziehungen [Rat95].

Die Anordnung von Entwicklungsaktivitäten und somit die Modellierung von Prozessen können nach einem **objekt- oder funktionsorientierten** sowie nach einem **mensch- oder technikzentrierten** Ansatz erfolgen.

- Eine **objektorientierte** Gestaltung erfolgt, wenn Teilprozesse, Prozessschritte oder Arbeitsschritte durch das Objekt (das Produkt) aufeinander aufbauen oder voneinander abhängen, die gegenseitig Nachrichten austauschen, sodass keine weitere Gestaltungsmöglichkeit in Betracht gezogen werden kann [Bic00; Sch98a; Lan97; Bul01c].
- Eine **funktionsorientierte** Gestaltung ist vertikal ausgerichtet und orientiert sich an der Aufbauorganisation. Sie hat eine hohe Arbeitsteiligkeit und eine hohe Anzahl an Schnittstellen durch die arbeitsteiligen Strukturen der einzelnen Abteilungen [Awi00].
- Nach Reichwald [Rei96] kann zur Gestaltung ein **menschzentrierter** oder aber ein **technikzentrierter** Ansatz verfolgt werden. Der menschzentrierte Ansatz beinhaltet das Zusammenwirken von Organisationsumgestaltung, Mitarbeitermotivation und -qualifizierung und einer sinnvollen Technikgestaltung, im Gegensatz zum technikzentrierten Ansatz, der eine Substitution menschlicher Arbeit durch Automation verfolgt.

Sinnvoll ist, die bisherigen Ansätze durch eine prozessorientierte (**ergebnisorientierte**) Ausrichtung zu ergänzen. Dies bedeutet eine funktionsübergreifende technische wie organisatorische Integration, eine ablauforganisatorische ganzheitliche Zusammenfassung von Aufgaben und eine horizontale Ausrichtung [Awi00; Eve01; Bul01c]. Eine Übersicht über Modellierungsformen ist in Abschnitt 3.1.3 aufgeführt.

Nach Schmelzer [Sch08] ist bei der Gestaltung von Prozessen Folgendes zu beachten:

- Jeder Prozess der Produktentwicklung hat einen Prozessverantwortlichen.
- In jedem Prozess der Produktentwicklung wird ein Objekt komplett bearbeitet, damit eine Messung der Prozessleistung ermöglicht werden kann.
- Nur potenzielle Prozesselemente, die einen Beitrag zur Wertschöpfung liefern, werden in Betracht gezogen, andere werden eliminiert.
- Jedem Prozess der Produktentwicklung ist eine zeit- und ressourcengünstige Ablaufstruktur zuzuordnen, dies ist durch einzelne Gestaltungsmaßnahmen bzgl. einzelner Aktivitäten zu bilden.
- Die Schnittstellen zu internen oder externen Bereichen sind festzulegen.

Werden diese Regeln befolgt, so mündet die Gestaltung in einer ausführlichen Prozessbeschreibung (z. B. Prozessmodell, Dokument, Aktivitätsbeschreibungsformular etc.).

In der Literatur sind folgende **Gestaltungs- und Modifizierungsmaßnahmen** zu finden [Sch08; War03a; Awi00; Ehr07]: Entfernen, Zusammenlegen, Zerteilen, Ergänzen, Parallelisieren, Überlappen, Auslagern. Des Weiteren sollten Schleifen und Rücksprünge sowie Änderungen der Reihenfolge vermieden werden.

Nach Krenzel [Kre95] sollte eine detaillierte Ausgestaltung der Arbeitsorganisation eines Teilsystems im weiteren Verlauf mittels einer Simulation (z. B. alternative Arbeitsstrukturen, Arbeitszeitplanung, Auslastungsplanung etc.) erfolgen.

Ein Ansatz zur **informations- und zeitbasierten Planung von Prozessen** ist innerhalb des Sfb 361 „Modelle und Methoden zur integrierten Produkt- und Prozessgestaltung“ [Eve01] erarbeitet worden. Dabei handelt es sich um ein Controlling-Konzept für die integrierte Konstruktions- und Arbeitsplanung. Darin sind spezifische Matrizen zur Generierung von Primäralternativen enthalten. Diese Matrizen befassen sich mit den Abhängigkeiten von Produktkomponenten, Aktivität zu Aktivität, Aktivitäten zu Abhängigkeiten und integrierten Methoden zu Aktivitäten. Zudem sind dem Ansatz ein Bewertungsverfahren und ein Berechnungsansatz für die zeitliche Selektion von Sekundäralternativen beigefügt.

Spath [Spa02] stellt einen Ansatz zur **Verteilten Modellierung, Simulation und Steuerung von Planungs- und Steuerungsprozessen** im Unternehmen mit generischen Petri-Netzen vor. Hierbei wird der Komplexitätsgrad beim Erstellen von Simulationen und der Modellierung reduziert, um das Optimum einer Verbesserung und Beschleunigung der Planungs- und Steuerungsprozesse zu erreichen.

Des Weiteren stellt Spath [Spa00] einen **Methodenbaukasten** bereit, der den einzelnen Prozesselementen die notwendigen und einzusetzenden Methoden zuordnet. Der Baukasten ist als Online-Tool, dem sog. „MAP Tool“ [IRP01] umgesetzt. Die Hauptfunktion des Baukastens besteht darin, die Suche und Auswahl der Methoden zu unterstützen und alle Informationen zum Einsatz dieser Methode im Unternehmen zur Verfügung zu stellen.

### 3.1.3 Methoden zur Modellierung von Prozessen der Produktentwicklung

Nach DIN [DIN00] beschreibt „ein **Modell** eine sprachlich verfasste Konstruktion eines oder mehrerer Modellierer, um einen oder mehrere Zwecke von Modellnutzen zu erfüllen“. Das Modell zur Modellierung von Prozessen der Produktentwicklung folgt der allgemeinen Modelldefinition von Stachowiak [Sta73], die durch drei Merkmale gekennzeichnet ist: das **Abbildungsmerkmal**, das die Systemtreue des Modellverhaltens kennzeichnet, das **Verkürzungsmerkmal**, das sich nur auf die relevanten Merkmale der repräsentierten Elemente und Relationen bezieht, sowie das **pragmatische Merkmal**, das für die Einfachheit, Verständlichkeit und Übertragbarkeit des Modells sorgt [DIN98].

Scholz-Reiter [Sch90b] beschreibt ein **Referenzmodell**, das ein konkretes vorgefertigtes Modell ist, welches eine exemplarische allgemeingültige Vorlage für die Modellierung bildet. Dagegen versteht Schütte [Sch98c] unter einem Referenzmodell ein Informationsmodell. Dies ist ein Modell, das ein Ergebnis einer Konstruktion ist, deklariert für Anwendungssystem- und Organisationsgestalter Informationen über allgemeingültige zu modellierende Elemente eines Systems, und zwar zu einem Zeitpunkt, mit einer Sprache. Dadurch wird ein Bezugspunkt für ein Informationssystem geschaffen.

Ein **Metamodell** beinhaltet nach DIN [DIN00] festgeschriebene Regeln zur Beschreibung der Elemente und bei der Modellierung die möglichen Beziehungen zueinander. Das planmäßige Vorgehen und Handeln zur Modellierung wird dabei als **Modellierungsmethode** bezeichnet. Der Vorgang der Erstellung von Modellen, z. B. das Modell eines Prozesses (**Prozessmodell**), wird als **Modellierung** bezeichnet [DIN00].

Awizius [AW100] zählt zum Begriff (Geschäfts-)Prozessmodellierung alle zur Analyse und Gestaltung von (Geschäfts-)Prozessen gehörenden Modelle, Methoden und Tätigkeiten. Dabei handelt sich aber nicht um die Modellierung von Fertigungsprozessen in Form von mathematischen oder physikalischen Modellen, die zur Simulation bspw. des Produktverhaltens verwendet werden.

Die Gestaltung von Prozessen der Produktentwicklung hängt von der Abstraktion und somit vom Komplexitätsgrad ab. Der **Komplexitätsgrad** hängt wiederum von den Anforderungen an die Prozessbeschreibung ab. Eine zu hohe oder zu niedrige Granularität bei der Beschreibung kann negative Auswirkungen (z. B. begrenzte Automatisierung, Weiterverarbeitung, Detaillierungstiefe) haben [Sch97a; Sch98a].

Die Modellierung von Prozessen der Produktentwicklung hat mehrere **Grundsätze für eine ordnungsgemäße Modellierung** einzuhalten [DIN00; Sch98a, Mar95]. Dazu gehört die Konstruktionsadäquanz, d. h., die Modellkonstruktion muss zur Bewertung eine nachvollziehbare Problemrepräsentation haben. Es ist festzulegen, was und wie modelliert werden soll. Die Relation zwischen Metamodell und der verwendeten Sprache, die Sprachadäquanz mit der Spracheignung und der Sprachrichtigkeit, muss vorhanden sein.

Zudem muss bei der Gestaltung die Steigerung der Wirtschaftlichkeit verfolgt werden. Wichtig sind die Klarheit, d. h. die Verständlichkeit und Eindeutigkeit, der systematische Aufbau zur Reduktion komplizierter Zusammenhänge und die Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Modellen oder Metamodellen [Awi00; Goe96; Hes96b; Rup02; Sch97a].

### Methoden und Werkzeuge der Prozessmodellierung

Die computergestützte Modellierung von Prozessen in Organisationen kann verschiedene Gründe haben: Neben der Schaffung von Transparenz soll mithilfe der Modellierung eine Analyse und Optimierung sowie Automatisierung von Prozessen verfolgt werden [Ros96].

Bei der Prozessmodellierung steht die Visualisierung und modellhafte Beschreibung von Abläufen innerhalb des Unternehmens im Vordergrund. Hierbei werden die realen Vorgänge des betrieblichen Prozesses anschaulich umgesetzt und in ein abstraktes Datenmodell transferiert. Bei der Darstellung der Prozesse ist der Grad der Abstraktion sowohl von der verwendeten Beschreibungssprache und dem gewählten Beschreibungsmodell, als auch von der Zielsetzung der Prozessuntersuchung abhängig. Grundsätzlich aber sollte das Modellierungswerkzeug folgenden Anforderungen genügen:

- Anschauliche grafische Darstellung der Prozesse.
- Möglichkeit der qualitativen und quantitativen Analyse der Prozesse.
- Für die Darstellung geeignete Objekte zur Verfügung stellen.
- Verknüpfung der Objekte muss unterstützt werden.
- Unterteilen von komplexen Vorgängen in Teilvorgänge bzw. Teilvorgänge vereinen.
- Schnelles und komfortables Modellieren der aufgenommenen Prozesse.
- Möglichst objektive Darstellung der Prozesse.

Durch eine einheitliche Modellersprache wird versucht, subjektiv geprägte Sichtweisen des Modellierers zu eliminieren. Es gibt eine Vielzahl verschiedener Modellierungswerkzeuge und –methoden mit unterschiedlichem Abstraktions- und Formalisierungsgrad. So gibt es objektorientierte Werkzeuge, Petri-Netze, Vorgangskettendiagramme, semantische Objektmodelle, Integrated Definition (IDEF) oder ereignisgesteuerte Prozessketten. Eine Übersicht der Methoden ist in Tabelle 30 (Anhang) aufgeführt.

### 3.1.4 Verfahren zur Bewertung von Prozessen der Produktentwicklung

Die Bewertung von Entwicklungsprozessen dient der Prozesskontrolle. Dabei erfolgen eine **periodische Prozessbeurteilung** und eine **laufende Leistungskontrolle**. Die periodische Prozessbeurteilung erfolgt vorwiegend zu Beginn des Prozessmanagements in Verbindung mit einer kritischen Selbstkontrolle.

Der **Projektreifegrad** gibt Auskunft über die Qualität der Durchführung eines Projektes. Er fokussiert nicht auf die Inhalte der Projektarbeit (Produkt), sondern auf das Projektmanagement (Planung, Ressourcen, Infrastruktur etc.). Die Ermittlung des Reifegrades erfolgt durch Projektaudits in den Übergängen der Hauptphasen, um daraus ggf. Optimierungen im Projektmanagement für die folgende Phase abzuleiten.

Der **Entwicklungsreifegrad** macht eine Aussage über den Fortschritt in der Erreichung einzelner Arbeitsumfänge. Verknüpft mit Terminen und Budget können daraus Erkenntnisse über den Fortschritt eines Projektes gewonnen werden. Der Entwicklungsreifegrad wird eigenständig durch Teilprojekt-/Bauteilverantwortliche aufgezeigt und sorgt durch entsprechende Aggregation auf höheren (System-)Ebenen für Transparenz. Projekt- und Projektreifegrad stellen Momentaufnahmen dar, mit dem Ziel, konkrete Maßnahmen ableiten zu können. Sie sind in Bezug auf das gemessene Ergebnis eher reaktiv. Der Entwicklungsreifegrad ist eine kontinuierlich ermittelte Größe, die Fortschrittsaussagen über ein Projekt ermöglicht und eine aktive Projektsteuerung zulässt, bevor das Produkt-

ergebnis bekannt ist. Alle Reifegrade unterstützen den erfolgreichen Projektverlauf, der letztlich ein „Qualitätsprodukt“ als Ergebnis haben soll [Fre04]. Mit zunehmendem Reifegrad der Prozesse der Produktentwicklung wird dieser durch eine Leistungskontrolle abgelöst. Die periodische Prozesskontrolle beinhaltet verschiedene Methoden, nämlich die Selbstbewertung, das Audit [Pfe01] oder die Validierung. Innerhalb der Selbstbewertung werden alle wichtigen Aspekte und Erfolgsfaktoren des Managements von Prozessen der Produktentwicklung erhoben. Dies können z. B. die Struktur, die Organisation, das Controlling sowie das Verbessern der Prozesse sein.

Gerbroth [Ger01] führt in seiner Arbeit eine detaillierte Auflistung von **Prozesskennzahlen** an, die zu einer Prozessbewertung und -kontrolle einsetzbar sind und für ein Reifegradmodell dienen. Diese sind Bestandteil einer statistischen Prozessregelung administrativer Prozesse, um mit ihrer Hilfe allgemeingültige und universelle Instrumente zur Bewertung und Überwachung von Prozessen der Produktentwicklung zu schaffen.

Wörner [Wör99] liefert eine Methode zur Bewertung von Prozessen und zur Unterstützung der Auswahlprozedur. Dazu werden verschiedene Prozesskennzahlen definiert, um Dauer, Integration, Koordination, Risiko, Logik, Ressourcen und Spielraum zu bewerten.

Ein weiteres Verfahren zur Bewertung von Prozessen wurde von Nohe [Noh99] entwickelt. Er bewertet die Auswirkungen der Funktionen eines Produktes auf den Entwicklungsprozess und baut darauf eine Bewertungssystematik auf.

#### 3.1.4.1 Ermittlung der Prozessqualität

Eine hohe Produktqualität setzt eine hohe **Prozessqualität** voraus. Diese wird erreicht, wenn die Prozesse kontrolliert werden und keine Fehler durch die Prozesse entstehen.

Nach Seibert [Sei98] hat die Prozessqualität die sichere und zuverlässige Einhaltung von technischen Spezifikationen zum Ziel. Die Prozessqualität wird durch die Messung der Leistungsfähigkeit von Prozessen, d. h. der Effektivität von Prozessen, geprüft. Wichtige Parameter hierbei sind Kundenzufriedenheit, Prozesszeit, Termintreue, Prozessqualität und Prozesskosten. Die Prozessqualität ist [Sch08; Sch97b]:

$$\text{Gleichung 1: Prozessqualität} = \frac{\text{Anzahl der Ergebnisse ohne Nacharbeit}}{\text{Anzahl abgeschlossener Bearbeitungsobjekte}} \times 100 [\%].$$

Gängige Verfahren zur Ermittlung der verschiedenen Messgrößen sind Qualitätskosten, First Pass Yield (FPY) und Fehlerraten in Verbindung mit Six Sigma (vgl. Abschnitt 3.1.4.2) [Sch08]. Die Prozessqualität kann auch als Stand des Erledigungsgrades hinsichtlich der Optimierungsmaßnahmen verstanden werden [VDA96]. Zur Vermeidung von Fehlerfortpflanzungen bei der Gestaltung von Prozessen der Produktentwicklung kann ein Geschäftsprozess FMEA eingesetzt werden. Dieser hat zum Ziel, durch eine Robustheitsuntersuchung schon bei der Gestaltung Fehler und deren Fortpflanzungen zu vermeiden [Pfe01; DIN98; Sch96a; VDA96].

#### 3.1.4.2 Reifegradmodelle in der Produktentwicklung

Die Aussagefähigkeit von Selbstbewertungen hängt vom jeweiligen **Reifegradmodell**, dem Beurteiler, der Qualität der Checklisten, der Regelmäßigkeit der Bewertung, der Interpretation der Ergebnisse sowie von den Konsequenzen aus den Ergebnissen ab. Ein bekanntes **Reifegradmodell** ist das Modell der **European Foundation for Quality Management (EFQM)**, das an einem **Total Quality Management (TQM)** orientiert ist. Es ist ein branchenunabhängiges Bewertungsmodell für Business Excellence. Die Firma Siemens übernahm die Kriterien in ihr eigenes Reifegradmodell und erweiterte es um die Gestaltungsregeln für das Prozessmanagement [Sch08; Sch98b].

Ein weiteres bekanntes Modell ist von IBM. Hierbei erfolgte die Erweiterung um sogenannte **Prozess-Vitalitäts-Indizes** (PVI), die im Wesentlichen den **Prozesserfüllungsgrad** widerspiegeln [Det99]. Ein „einfaches und problemlos anzuwendendes“ Verfahren zur Ermittlung des Reifegrades beschreibt die ISO 9004:2000.

In der Literatur finden sich weitere **Reifegradmodelle** (s. Tabelle 2). Der Unterschied besteht im Anwendungsgebiet. Je nachdem ob das Management, die Produktentwicklung oder die Softwareentwicklung mit Reifestufen versehen werden sollen, sind dazu verschiedene Verfahren entwickelt worden.

Reifegradmodell	Beschreibung
<b>CMM</b> (Capability Maturity Model) [Sof02; Pau93a; Pau93b]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 5-stufiges Reifegradmodell</li> <li>▪ Softwareentwicklung</li> </ul>
<b>CMMI</b> (Capability Maturity Model – Integration) [Por02; Sof02; Ahe03]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 5-stufig; Reifegradmodell; Erweiterung von CMM</li> <li>▪ Vereinheitlicht und Integration von CM-Modellen</li> <li>▪ Für System und Software Engineering</li> </ul>
<b>SPICE</b> (Software Process Improvement & Capability dEtermination) [SPICE]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 6-stufiges Reifegradmodell; ISO 15504</li> <li>▪ Für System und Software Engineering</li> <li>▪ Möglichkeit zur Bewertung einzelner Prozesse</li> </ul>
<b>KPQM</b> (Knowledge Process Quality Model) [Saw04]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 5-stufig; SPICE - Reifegrade mit der Integration des Wissensprozesses in den Geschäftsprozess</li> </ul>
<b>PMMM</b> (Project Management Maturity Model) [Dov96a]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 5-stufig; Reifegrade für das Projektmanagement</li> <li>▪ Projekt- und Kostenkontrolle, kundengerecht</li> </ul>
<b>P3M3</b> (Portfolio, Programme & Project Management Maturity Model) [OGC06]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 5-stufig; Reifegrade für das Portfolio, Programme &amp; Projektmanagement</li> <li>▪ Erweiterung von CMMI</li> </ul>
<b>CPMM</b> (Change Proficiency Maturity Model) [Dov96b]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 5-stufiges Reifegradmodell</li> <li>▪ Für Agilität einer Organisation</li> </ul>
<b>ITIL</b> (IT Infrastructure Library) [VIC05, Dunk06]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Infrastrukturbibliothek bester Arbeitspraktiken</li> <li>▪ Managementansatz bei IT-Diensten</li> </ul>
<b>REPM</b> (Requirement Engineering Process Maturity) [Gor03]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 5-stufig; Modell für die Evaluation eines anforderungsgerechten Entwicklungsprozesses</li> </ul>

Tabelle 2: Reifegradmodelle in der Produktentwicklung

### 3.1.5 Methoden zur Optimierung der Leistung von Prozessen der Produktentwicklung

In vielen Unternehmen beruhen die Effektivitäts- und Effizienzprobleme in nicht beherrschten Prozessen der Produktentwicklung. Beeinflusst wird das Prozessmanagement dabei durch Informations- und Kommunikationstechnik. Diese hat wiederum Einfluss auf die Gestaltung, Steuerung und Optimierung von Prozessen der Produktentwicklung.

Für eine fehlerfreie Entwicklung ist ein beherrschbarer Prozess die Grundvoraussetzung. Dies lässt sich nur durch eine ständige Prozessoptimierung erreichen. Die **Prozessoptimierung** folgt einem ständigen Kreislauf (**Problemlösungskreislauf**). Dabei werden die Probleme identifiziert, analysiert, Ursachen beseitigt, Ergebnisse und Varianten verglichen und überprüft sowie die Lösung standardisiert [Sei98; Bic00; Sch98a].

Eine **Prozesserneuerung** (Synonyme: Redesign, Reengineering, Neukonstruktion etc.) bedeutet einen höheren Aufwand und größere Veränderungen. Deshalb wird eine Erneuerung nur in mehrjährigen Jahreszyklen durchgeführt. Die Prozesserneuerung wird durch unterschiedliche Methoden unterstützt (s. Tabelle 3).

Der von Hammer und Champy beschriebene Ansatz des **Business Process Reengineering (BPR)** ist der bekannteste und „radikalste“ Ansatz zur Erneuerung von Geschäftsprozessen und Strukturen [Dav93; Ham03; Kick95; Hes96b]. Der Ansatz ist gekennzeichnet durch eine Kundenfokussierung, ein komplettes Überdenken aller bestehenden Aufgaben/Funktionen, Abläufe, Strukturen, Verfahren sowie durch Nutzung der Informations- und Kommunikationstechnologie. Er hat das Ziel eines Quantensprungs der Prozessleistung bei Kundenzufriedenheit, Zeit, Qualität und Kosten. Der Ansatz ist durch seine „Radikalität“ der Veränderungen nicht immer erfolgreich, da Besitzstände, Machtpositionen, Traditionen, Strukturen und Abläufe grundsätzlich infrage gestellt werden.

Vorgehen	Objekte	Methode
Erneuerung	Geschäftsprozess	Business Process Reengineering [Dav93; Ham03; Kick95, McK03]
	Geschäftsprozess	Total Cycle Time [Thom90]
Verbesserung	Teilprozesse, Prozessschritte, Arbeitsschritte	KAIZEN/KVP [Ima94, Del99]
		Six Sigma [Har01, Mag04]

Tabelle 3: Vorgehen der Prozesserneuerung und -verbesserung

Tabelle 4 gibt einen Überblick über bekannte Methoden des Business Reengineering. Alle Methoden haben zum Ziel, den Prozess der Produktentwicklung abzubilden und zu verbessern sowie eine Optimierung der Organisation zu erreichen. Die Unterschiede zwischen den Methoden liegen in der Betrachtung und Einbeziehung von Informationssystemen, Leistung, Aufbau, Prozessführung und Organisationsstruktur, etc.

Autor	Ansatz	Informationstechnologie als Enabler
Action Inc	Action Methodology	●
BCG	Reengineering	●
CSC Ploenzke	Geschäftsprozessanalyse	●
Davenport	Process Innovation	●
Diebold	Geschäftsprozessoptimierung	●
Eversheim	Prozessanalyse und -gestaltung	●
Ferstl/Sinz	Semantisches Objektmodell	●
Hammer	Reengineering	●
Harrington	Business Process Improvement	●
IBM UBG	Continuous Flow Manufacturing	●
Johansson	Break Point Process Reengineering	○
Malone	Handbook of Organizational Processes	●
Manganelli/Klein	Rapid Re	●
McKinsey	Core Process Redesign	●
OSSAD	OSSAD	●
Österle	PROMET-BPR	●
Scheer	ARIS	●

Tabelle 4: Methoden des Business Redesign [Hes96b; Kri95]

Legende: ● voll zutreffend bis ○ nicht zutreffend

Die Ansätze des **Total Cycle Time (TCT)**, **KAIZEN**, **KVP** und **Six Sigma** dienen zur Verbesserung und Steigerung der Leistung von Prozessen. Bei allen Ansätzen steht die Ermittlung und Beseitigung von Problemen, Schwachstellen und Fehlern im Vordergrund, damit die Effektivität und Effizienz von Prozessen der Produktentwicklung verbessert werden. Die Bereiche, an denen die Ansätze angreifen, sind unterschiedlich. So steht bei TCT die Eliminierung nicht wertschöpfender Prozesse im Vordergrund. Bei KAIZEN

werden Aktivitäten eliminiert, die keinen Wertzuwachs liefern, und bei Six Sigma werden Verbesserungen durch eine Minimierung von Varianten angestrebt. Six Sigma ist eine Methode, die auf Daten beruht. Hier werden die Anzahl der Fehler (Fehlerrate FpMM) und die Abweichung vom Zielwert in einem Prozess ermittelt und durch eine Umrechnungstabelle in den Wert  $\sigma$  (Variation) umgerechnet [Sch08].

Zur Reorganisation von Prozessen gibt es Ansätze, die zum Ziel haben, wettbewerbsrelevante Prozesse zu erhalten. Um die verschiedenen Ansätze diskutieren zu können, sind die Klassifizierung und die Typisierung geeignet. Die **Klassifizierung** erfolgt, wenn über die Beschreibung eindeutige Gruppierungen entstehen. Es erfolgt eine vollständige eindimensionale Einordnung durch eine Gliederung nach formalen, quantitativen Kriterien. Bei der **Typisierung** erfolgt eine potenzialorientierte mehrdimensionale Einordnung durch eine Gliederung nach sachbezogenen, qualitativen Kriterien [Sch96c; Bea04].

Das aus dem BMBF-Projekt GIPP – Geschäftsprozessgestaltung mit integrierten Prozess- und Produktmodellen – [Wes00] entstandene **Typisierungsmodell** [DIN00] ist auf die Steigerung der Effizienz bei der Geschäftsprozessgestaltung mit integrierten Prozess- und Produktmodellen ausgerichtet. Der Ansatz verfolgt drei wesentliche Dimensionen. Die erste Dimension sind die **Kernprozesse** [Rat95], die direkt oder indirekt zur Wertschöpfung beitragen (z. B. direkt: Produkt- und Prozessentwicklung, Produktrealisierung; indirekt: Informations- und Qualitätsmanagement). Eine weitere Dimension ist der **Blickwinkel**, z. B. Organisation, Strategie, Information. Bei der dritten Dimension handelt es sich um **Deskriptoren**. Deskriptoren sind allgemeine, prozess-, unternehmens- und produktionsbezogene Merkmale. Diese Merkmale sind für die Modellerstellung und Bewertung von Modellierungsansätzen wichtige Parameter [DIN00; Sch08; Goe96].

Der Ansatz zum Strukturieren von Prozessen hat ein breites Anforderungsprofil. Dazu gehören Anwendungsbereich, Hierarchisierung, Vollständigkeit, Standardisierung, Verknüpfung zu Produktmodellen, Randbedingungen, Abstraktionsgrad sowie Anpassungs- und Entwicklungsfähigkeit. Bestehende Ansätze, die verschiedene, nutzbare Wissensbasen für spezifische Anwendungsfälle haben, sind in Tabelle 5 aufgelistet.

Ansätze	Beispiele in der Literatur
Optimierung Wertschöpfungskette	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die Wertkette von Porter [Por00]</li> <li>▪ Die modulare Fabrik nach Wildemann [Wil98]</li> </ul>
Prozesskostenrechnung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Prozessorientiertes Controlling nach Horváth [Hor08]</li> </ul>
Geschäftsprozessoptimierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geschäftsprozessstrukturierung nach Sommerlatte [Som93]</li> <li>▪ Klassifizierung der Geschäftsprozesse nach Nippa/Picot [Nip95]</li> <li>▪ Klassifizierung von Prozessen nach Hammer/Champpy [Ham03]</li> </ul>
Referenzmodelle für Geschäftsprozesse	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Klassifikation der IDEF-Struktur für Referenzmodelle [ICA78; ICA81]</li> <li>▪ Strukturierung von Referenzmodellen nach Scheer [Sch97a]</li> <li>▪ Prozessorientierte Modellierung mit CIMOSA [CIM96]</li> <li>▪ Individualisierung durch Referenzprozessbausteine [Rup02]</li> <li>▪ Kombinationsansatz von Prozessbausteinen [Lan97]</li> </ul>

Tabelle 5: Ansätze zum Strukturieren von Prozessen [Hes96b; Fra01; Wes97]

### 3.1.6 Zusammenfassung und Defizite

In der Literatur werden verschiedene Prozessarten und -formen beschrieben. Ziel eines Prozesses ist es, die Vernetzung von Prozesseigenschaften, Prozess- und Arbeitsschritten sowie die erforderlichen Methoden und Werkzeuge, zur Erreichung der geforderten

Prozessergebnisse darzustellen. In Unternehmen werden die für einzelne Bereiche erstellten Prozesse zu Geschäftsprozessen zusammengefasst.

In der Literatur gibt es eine Vielzahl an Methoden und Werkzeugen zur Abbildung von Prozessen. Sie unterscheiden sich in der Modellierungssprache bzw. der entsprechenden Notation und dem Vorgehen bzw. den Handlungsvorschriften zur Modellerstellung.

Zur Vernetzung von Teilprozessen gibt es den Ansatz der informellen Vernetzung und horizontalen Segmentierung. Dieser Ansatz hat in den vergangenen Jahren viele positive Veränderungen bewirkt. Besonders durch den Einsatz moderner Informationstechnologien werden Prozesse beschleunigt und nahezu automatisiert.

Ein Prozess der Produktentwicklung wird zu Beginn oder während des Betriebes einer Bewertung unterzogen, um ein optimales Entwicklungs- und Produktionsergebnis zu erhalten. Die Grundlage für die Bewertung liefert der Reifegrad eines Prozessfortschritts.

Für die Optimierung der Prozessleistung gibt es in der Literatur verschiedene Ansätze. Die bekanntesten Ansätze sind das Business Process Reengineering, Total Cycle Time, KAIZEN/KVP und Six Sigma. Diese unterscheiden sich vor allem in der Radikalität des Vorgehens. Die bisher entwickelten Methoden sind vor allem aus betriebswirtschaftlichen Überlegungen entstanden. Zeit, Qualität und Kosten sind dabei die Betrachtungsgrößen.

### **Defizite**

Folgende Defizite können aus der Betrachtung abgeleitet werden:

- Prozesse werden bisher nur durch die Produkthanforderungen und die Organisationsstrukturen und erst dann nach den Möglichkeiten der CAx-Technologien entwickelt.
- Den Ansätzen zur Prozessgestaltung fehlt eine genauere Betrachtung und Bewertung der Einflüsse und Auswirkungen durch einen Einsatz von CAx-Technologien.
- Nur unzureichende Handlungsempfehlungen und Methoden lassen sich finden, wie auf eine Veränderung durch einen Einsatz von CAx-Technologien reagiert werden sollte.
- Den Methoden zum Modellieren von Prozessen fehlt die Integration der Einflüsse durch CAx-Technologien.
- CAx-Technologien werden nur als Unterstützung im Prozess gesehen und daher nicht als treibende Größen für die Gestalt eines Prozesses wahrgenommen.
- Es fehlt an einem Ansatz, der eine Ausrichtung von Teilprozessen hinsichtlich des Produktreifegrades für die Eintaktung und Orientierung innerhalb eines Entwicklungsprozesses verfolgt. Für eine integrierte Produktentwicklung ist die Ausrichtung am Reifegrad eine unumgängliche Voraussetzung.

## **3.2 Informationstechnologie zur Unterstützung der Produktentwicklung**

### **3.2.1 Abgrenzungen innerhalb der Informationstechnologie**

Die Begriffe Technik, Technologie, technisches System, Information und Informationstechnologie sind zu unterscheiden. Die in der Literatur enthaltenen Angaben zu den einzelnen Begriffen sind im Folgenden aufgeführt.

Im heutigen Sprachgebrauch kommt es bei den Begriffen Technik und Technologie zu einer Überlappung des Bedeutungsinhaltes. „**Technik** ist die auf die Befriedigung menschlicher Bedürfnisse gerichtete Anwendung von Stoffen, Gesetzen und Prozessen der Natur, sowie die aus der Anwendung resultierenden Produkte, Werkzeuge, Maschinen und Anlagen“ [Sei98]. Der Technikbegriff befasst sich mit Entwicklungs- und Herstellungspro-

zessen, während der Technologiebegriff sich mit Forschungsprozessen beschäftigt [Bul94; Spa04a].

Nach Brodbeck [Bro99] und Seibert [Sei98] wird unter einer **Technologie** die Summe des zweckgerichteten, spezifischen, individuellen und kollektiven Wissens in expliziter oder impliziter Form zur produkt-, prozess- und systemorientierten Nutzung von natur-, sozial- und ingenieurwissenschaftlichen Erkenntnissen, das bei einer technischen Problemlösung angewandt wird, verstanden. Einzeltechnologien können in einer Abfolge zueinander eingesetzt werden und bilden eine **Technologiekette** [Ber04a].

Servatius [Ser85] führt in Bezug auf den allgemeinen Systembegriff (vgl. Kapitel 3.3.1) folgende Aspekte für eine Technologie auf.

- **Strukturaspekt**, d. h., eine Technologie ist ein geplantes bzw. realisiertes Subsystem von Produkten oder Betriebsmitteln.
- **Funktionsaspekt**, d. h., eine Technologie resultiert aus dem Zusammenwirken von Input-Output-Relationen des Systems.
- **Hierarchieaspekt**, d. h., die Subsysteme haben eine bestimmte Stellung innerhalb der naturwissenschaftlich-technischen Fachgebiete.

Die Grundlagen und der Einsatz von neuen Informationstechnologien werden im **Technologiemanagement** behandelt. Dies wird in vielen Arbeiten ausführlich dargestellt [Bul94; Bul02; VDI920; Wes03; Sei98; Ser85; Zah04]. Das Technologiemanagement bildet die Grundlage für die Einführung von neuen Systemen und liefert die notwendigen Informationen für den Bedarf und die strategische Planung des Einsatzes neuer Technologien.

Zahn [Zah95] definiert das Aufgabenspektrum des Technologiemanagements: „Wenn Technologien ein wesentlicher Faktor bei der Gewinnung und Verteidigung von Wettbewerbsvorteilen sind, dann bezieht sich Technologiemanagement nicht nur auf die Entwicklung neuer und die Verbesserung bestehender Technologien sowie ihre erfolgreiche Transformation in überlegene Problemlösungen, sondern auch auf die Ablösung nicht mehr benötigter Technologien“ [Spe96; Hun06; Spa04a].

Die „**Informationstechnologie** (IT) ist die Gesamtheit verfügbarer Verfahren und Werkzeuge zur Bereitstellung und Verarbeitung von Informationen“ [Hop92], s. auch [Kri95; Hef01; Rup02; Sta05]. Bei der Informationstechnologie handelt es sich um Software- und Hardwaresysteme, die Daten in digitaler Form erhalten, bearbeiten und weitergeben.

Mit **Digitalisierung** ist die Konversion eines analogen Informationsmediums in ein digital prozessierbares Informationsmedium gemeint, also die Umwandlung (Codierung) von Schrift, Bild, Ton oder jeder anderen Art analoger (stufenloser) Signale in digitale (schrittweise, ziffernmäßige) Formen. Derzeit wird im Allgemeinen unter der Digitalisierung zudem der Paradigmenwechsel, d. h. die Einführung von Computern zur Entwicklung und Bearbeitung von Produkten verstanden [Pot05; Spa05a; Bul05].

### 3.2.2 Ansätze für eine integrierte und digitale Produktentstehung

Der Prozess der Produktentwicklung ist nach folgenden Ansätzen zu gestalten: ein früher und verstärkter Einsatz von CAx-Technologien, die Optimierung der Abläufe durch Business Process Reengineering [Ost99, Spu97], die Parallelisierung von Entwicklungstätigkeiten durch Methoden wie Concurrent Design bzw. Simultaneous Engineering sowie die frühe Einbindung von Zulieferern in den Entwicklungsprozess durch Bildung unternehmensübergreifender Entwicklungsteams [Awi00, Spu97].

Nach Bullinger [Bul95; Bul97] sind der Aufbau und die Bereitstellung eines **integrierten Daten- und Informationsmanagements** wichtig für einen ungehinderten und schnellen Datenaustausch. Nur wenn alle Beteiligten durch einen integrierten Datenbestand auf

sämtliche für sie relevanten Informationen Zugriff haben, macht die Standardisierung Sinn und kann eine Parallelisierung erreicht werden. Der ungehinderte Austausch von Informationen und Daten in integrierten und digitalisierten Prozessketten (integrierter Workflow) ist entscheidend für die Realisierung der integrierten Produktentstehung.

Gaul [Gau01a] baut die **verteilte Produktentwicklung** [Gie01] auf der integrierten Produktentwicklung auf. Die **integrierte Produktentwicklung** baut wiederum auf dem System Engineering auf [Abr99, Hab02, Lin01].

Nach Lindemann [Lin97, Lin01] vereinigt und beinhaltet die integrierte Produktentstehung, je nach Situation, folgende Elemente und Einflussfaktoren: Strategie, Methode, Vorgehen, Werkzeuge, Produkte, Kunden, Innovation, Projektmanagement, Menschen und Gruppen, Unternehmen u. Organisation. Es geht nicht nur um die Integration von Disziplinen und Funktionen, sondern zugleich auch um die Integration der Datenerzeugung und -haltung.

Der Ansatz der **integrierten Produkterstellungsmethodik** (IPE-Methodik) nach Ehrlenpiel [Ehr07] beruht auf einer integrierten Denkweise. Hierbei wird nicht nur das vertikale Zusammenwirken einzelner Abteilungen gesehen, sondern auch die horizontale Festlegung und Abfolge aller Produkteigenschaften von der Fertigung über die Nutzung bis hin zur Entsorgung betrachtet. Die integrierte Produkterstellung geht von der Konstruktionsmethodik aus. Die Inhalte der Methode sind z. B. Vorgehen und Werkzeuge. Diese ergeben sich aus den Problemen und Problemlösungsmöglichkeiten aller an der Produkterstellung beteiligten Teilsysteme.

Die Gestaltung einer **rechnerintegrierten Produktentwicklung** nach Zwicker [Zwi98] beinhaltet die technologische und organisatorische Integration von Informationstechnologien in ein Gesamtkonzept zur durchgängigen Informationsverarbeitung innerhalb aller Funktionsbereiche der Produktentstehung. Sie basiert auf der ausschließlich digitalen Bereitstellung, Weiterleitung und Verarbeitung von Produkt- und Produktionsdaten.

Maropoulos [Mar03] stellt den **Digital-Enterprise-Technology-Ansatz** (DET) vor. Hier werden der digitale Bereich mit Distributed und Collaborative Design; Prozessmodellierung und -planung sowie Advanced Factory Equipment and Layout Design and Modelling und der physische Bereich mit Physical-to-Digital Environment Integrators sowie Enterprise Integration Technologies beschrieben. DET kann als das Sammeln von Systemen und Methoden für das digitale Modellieren der ganzheitlichen Produktentwicklung und des Realisierungsprozesses im Kontext eines Lifecycle-Managements gesehen werden.

Im Sfb 336 [Rei00] wurde eine Methodik für ein **integriertes Vorgehen von Konstruktion und Montageplanung** erarbeitet. Im Teilprojekt I1 und I2 wurden unternehmens- und projektneutrale Prozessbausteine ausgearbeitet, die Konstruktions- und Montageplanungsumfänge beschreiben. Zudem wurden generelle Vernetzungsmöglichkeiten zur zeitlich-logischen Verknüpfung der Bausteine ermittelt. Des Weiteren wurden Strategien und Methoden zur Konfiguration von unternehmens- und projektspezifischen integrierten Entwicklungsprozessen erarbeitet und Methoden zur Durchführung, Überwachung und Steuerung realer Engineeringabläufe entwickelt. Die Methoden sind im Rechnerwerkzeug Process Design Tool PDT implementiert.

Im Sfb 346 [Sch02b] wurde ein **objektorientiertes integriertes Produkt- und Produktionsmodell** (PPM), auf Basis eines CORBA-Ansatzes, als zentrale (Daten-)Integrationskomponente entwickelt. Zudem wurde die Integration der am Produktentstehungsprozess direkt beteiligten Funktionsbereiche und aller damit verbundenen betrieblichen, organisatorischen und planerischen Funktionen realisiert. So wurden Produktlösungen und Planungsprozesse bei gleichzeitiger Verkürzung betrieblicher Abläufe verbessert.

Das BMBF-Projekt **Innovative Technologien und Systeme für die Virtuelle Produktentstehung** (iViP) [Kra02] beschäftigte sich mit der Erarbeitung infrastruktureller Grundla-

gen für eine System- und Datenintegration innerhalb des Gesamtprojekts iViP. Zudem wurden branchen- und unternehmensübergreifende Anwendungen – „Innovative Gestaltungswerkzeuge“, „Aufbau und Validierung virtueller Produkte“ und „Werkzeuge für die Virtuelle Fertigungserprobung“ – entwickelt. Diese Anwendungen bilden das entstehende Produkt im gesamten Produktlebenszyklus durchgängig und digital ab. Zur Veranschaulichung der Ergebnisse wurde ein **Demonstrationszentrum Virtuelle Produkt- und Produktionsentstehung** (DZ-ViPro) [Dem08] etabliert.

### **Paradigmentransfer der integrierten und digitalen Produktentwicklung**

Wird der Ansatz der integrierten und digitalen Produktentwicklung um die Elemente „verteilt“ und „virtuell“ erweitert, dann handelt es sich um die Methode des **Virtual Engineering** [War03a; Bul05, Kre98, Män97]. Darin werden Methoden des simultanen Arbeitens, des kooperativen Arbeitens und der Visualisierungstechnik vereint. Mit der Erweiterung und der Übertragung der Ansätze und Methoden wird die gesamte Produktentstehung, sowohl Produktentwicklung als auch Produktionsplanung, eingeschlossen. Im Bereich der Produktion und Produktionsplanung wird dafür der Begriff **Digitale Fabrik (Digital Manufacturing)** verwendet [Bul05; Pot05; Spa05a; Wes01, Wes06a, Wes06b] (vgl. Abbildung 54).

Nach Lehmann [Leh00] umfasst die Methode des Virtual Engineering drei Gestaltungselemente: 1) die konsequente Digitalisierung von Prozessen unter Einsatz virtueller Prototypen, 2) die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologie, neuen Prozessen und Organisationsstrukturen sowie 3) die Gestaltung kooperativer, verteilter IT- und Arbeitsumgebungen. Die integrierte Produktentwicklung wird im Produktlebenszyklus um das virtuelle Produktmodell angeordnet. Dadurch entstehen viele einzelne und gemeinsame Möglichkeiten zur Unterstützung der Produktentstehung. Ziel ist es, den Produktionsdurchlauf des digitalen Produktes in der Fabrik entlang der Strukturebenen [Gau01a] (Konzern, Unternehmen, Werk, Bereich, Teilbereich, Arbeitsplatz) digital abzubilden. Dabei wird der Gesamtbereich der Produktentstehung mit den zwei Hauptbereichen Produktentwicklung und Produktionsplanung abgebildet.

Die „digitale“ Schnittstelle ist durch die digitalen Modelle **DMU** (Digital Mock Up) und **DFM** (Digitales Fabrikmodell) gegeben. Ein DMU entsteht in der Produktentwicklung und ist die digitale Abbildung des Produktes. Ein DFM wird in der Produktionsplanung gebildet und stellt die Produktion in einem digitalen Modell dar [Bul05; Spa05a].

Zhai [Zha02] stellt die Struktur und Architektur einer **Integrierten Simulationsmethode** (ISM) vor, deren Ziel es ist, die Anforderungen der virtuellen Fabriktechnik **Virtual Factory Engineering** (VFE) zu ermitteln. Indem CAD, VR und getrennte Fallsimulationstechniken kombiniert werden, stellt das ISM die statischen und dynamischen Simulationsfunktionen für die Implementierung von VFE vom Design bis zum Service zur Verfügung.

Da Unternehmen auf den zunehmenden Einsatz von Informationstechnologien angewiesen sind, wächst die Notwendigkeit der optimalen Integration von Anwendungen. Ein Ansatz dafür stellt die **Enterprise Application Integration** (EAI) dar [Joh00]. Unter EAI wird das uneingeschränkte Teilen der Daten- und Geschäftsprozesse unter allen möglichen verbundenen Anwendungen und Datenquellen im Unternehmen verstanden. EAI verfolgt viele Ziele, von denen die Wichtigste die Prozessorientierung ist [Lin00].

Ein weiterer Ansatz, der sich in der Literatur im Zusammenhang mit der integrierten Produktentstehung findet, ist das **Integrated Product/Process Development** (IPPD) [Mav97; Schr99]. Es ist eine Kombination verschiedener Ansätze und besteht aus vier Hauptelementen: die Methoden des **System Engineering** (SE), die Methoden und Werkzeuge des **Quality Engineering** (QE), ein **Top Down Design Decision Support** (TDS3S) und ein **Computer Integrated Environment** (CIE). Die SE-Methoden und -Werkzeuge

werden vom Konzept des Produkts und seinen Bestandteilen bestimmt, während die QE-Methoden und -Werkzeuge durch das Prozessdesign und die Produktoptimierung beeinflusst werden. Die Methoden und Werkzeuge des SE und QE fließen in den TDS3S-Prozess ein.

### 3.2.3 Inhalt, Einführung und Sicherung der integrierten Produktentstehung

Für die Erzeugung, Bereitstellung und Verarbeitung von Informationen und Daten gibt es verschiedene Informationstechnologien. Diese werden in dem ganzheitlichen Konzept **Computer Integrated Manufacturing** (CIM) in zwei wesentliche Bereiche eingeteilt [Sch90a; DIN93; Hef01; DIN98; Grö92]. Einerseits sind dies die betriebswirtschaftlichen Applikationen, die unter dem Oberbegriff **Produktionsplanung und -steuerung** (PPS) zusammengefasst werden. Der andere Bereich befasst sich mit der technischen Seite, den **CAX-Tools**, welche die datentechnische Unterstützung vom Produktentwurf bis hin zur rechnerbasierten Qualitätssicherung übernehmen [Die02]. Im folgenden Abschnitt werden einzelne Informationstechnologien aufgeführt, um zu verdeutlichen, mit wie vielen verschiedenen Arten und damit mit welchem Komplexitätsgrad eine informationstechnologische Gesamtausrichtung verbunden ist.

#### 3.2.3.1 Konzepte und Inhalte für eine integrierte Produktentstehung

Zur Generierung und Verarbeitung von Daten gibt es heutzutage eine Vielzahl an rechnerbasierten Informationssystemen. Es sind Anwendungssysteme, die eine Leistungserbringung unterstützen oder automatisieren, und Unterstützungssysteme, die zusätzlich zu den Anwendungssystemen partiell unterstützend einwirken [Lang96, Spu97].

#### Konzepte und Inhalte zur rechnergestützten Produktentstehung

Die Erzeugung von Daten erfolgt in jedem rechnerbasierten System, z. B. CAD, CAE, CAM oder Office. Innerhalb der Produktentwicklung werden **CAD-Systeme** für die Konstruktion eingesetzt. Wird aus einzelnen Modellen ein vollständiges digitales Gesamtmodell erstellt, dann ist dies ein **Digital Mock Up (DMU)**. Der DMU oder Virtuelle Prototyp [Bul99] ist entweder das Produkt des **Virtual Engineering** im Bereich der Produktentwicklung oder des **Digital Manufacturing** im Bereich der Produktion [Zub00]. Er ermöglicht, unterschiedliche Bauteile oder Maschinen digital zusammenzuführen, um dieses Gesamtgebilde in Bezug auf unterschiedliche Parameter innerhalb weiterer Software-Anwendungen zu testen und zu optimieren [Ber07, War03a; Gau01b; Klö00; Fre04].

Für den Einsatz von Applikationen sind die Leistungsfähigkeit und Integrationsfähigkeit wichtige Größen. Integriert werden die Applikationen mit einer spezifischen Prozessunterstützung und der Möglichkeit der Vernetzung durch Bereitstellung geeigneter Datenschnittstellen. Ein weiterer Punkt bei der Verknüpfung von Systemen im Sinne des Netzwerkgedankens ist die Integration von Features (vgl. Abschnitt 3.3.2). Ein funktionaler Entwurf wird mit heutigen CAD-Systemen nur in ersten Ansätzen unterstützt. Funktionale Anwendungen der Featuretechnologie in heutigen CAD-Systemen stellen eine Erweiterung der reinen Geometriebeschreibung dar, und zwar durch eine Kopplung der Geometrieelemente mit Semantik. Ebenso kann die Featuretechnik zur Beschreibung funktionaler Aspekte genutzt werden [Lee05, Gup95].

Nach VDI 1411 [VDI1411] und VDI 2218 [VDI2218] werden zur Berechnung von physikalischen Strukturen oder der Analyse von Modellen Berechnungssysteme wie z. B. Simulations- und Mathematikprogramme eingesetzt. Um dynamische und logische Zusammenhänge zu untersuchen, werden **CAE-Systeme** (Simulationssysteme) auf Basis der Mehrkörpersimulation (MKS), der **Finite-Elemente-Methode** (FEM) oder der **Computational Fluid Dynamics** (CFD) eingesetzt.

Simulation wird in nahezu allen Bereichen eines Unternehmens eingesetzt, z. B. in der Konstruktion, Fertigung, Logistik, Organisationsgestaltung, Schulung und im Training [Gad08; Die02]. Die Einsatzgebiete haben sich durch die Erhöhungen der Rechnerleistungen in den letzten Jahren ausgeweitet. Somit können komplexe Zusammenhänge durch diese Systeme berechnet werden. Einsatzgebiete sind z. B. Lärm, Topologie, Strömung, Thermodynamik, Vibration, Crash, Elektrik/Elektronik, Zusammenbau etc. [War03b].

Gerade bei der Modellerstellung werden die Vorteile von CAE-Prozessen mit **Computer-Aided-Software-Engineering**-Systemen (CASE-Systemen) [Ca197] gegenüber der Hardware-Erprobung deutlich. Der Zeitaufwand für den Aufbau eines physischen Prototyps ist größer als der für die Erstellung eines Simulationsmodells. Weitere Potenziale bestehen bei der CAE-Auslegung für die Minimierung der Gesamtzeit durch eine Berechnung. Diese Potenziale liegen im Wesentlichen in der Modellerstellung [Gös01; Hef01].

**Computer-Aided-Planning**-Systemen (CAP-Systemen) ist die rechnergestützte Arbeitsplanung. Diese besteht aus der Planung der Inhalte und Abfolge der Arbeitsschritte, der Auswahl von Produktionsverfahren und Betriebsmitteln sowie Programmierung der Steuerungen der Produktion [Goer92; Die02]. Zudem werden Fertigungsvorschriften des Produktes erstellt, die eine Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktion definieren.

Das **Computer-Aided-Process-Planning** (CAPP) ist ein Ansatz, der auf einer Technologie für einzelne Hersteller mit einer großen Anzahl von Produkten und Prozessschritten beruht [Dar05, Mar03]. Es werden schnelle Fortschritte gebildet, damit generative Planungsfähigkeiten entwickelt und in eine computerintegrierte Herstellungsarchitektur überführt werden können. Die Prozessplanung erfolgt in fünf Stadien [Cro06]:

- Stadium I – Manual classification; standardized process plans
- Stadium II – Computer maintained process plans
- Stadium III – Variant CAPP
- Stadium IV – Generative CAPP
- Stadium V – Dynamic, generative CAPP

**Computer-Aided-Manufacturing** (CAM) wird zur technischen Steuerung und Überwachung der Betriebsmittel bei der eigentlichen Herstellung der Objekte im Fertigungsprozess eingesetzt. CAM umfasst somit die Funktionen Fertigen, Handhaben, Transportieren und Lagern [Gau01b; Goer92; McL93].

Zur Konstruktion, Arbeitsvorbereitung, Fertigung, Montage und Steuerung von Materialflüssen im Rahmen einer flexiblen Automation der Produktion kommen **Computerintegrierte Produktionssysteme** (CIP) zum Einsatz [Ser85].

Um die Werkzeuge nutzbringend einzusetzen, ist nicht nur ein reibungsloser Zugriff von verschiedenen Personen, sondern auch von verschiedenen Anwendungen aus notwendig. Die Datenaustauschbarkeit und -kompatibilität ist ein wesentlicher Faktor, damit die verschiedenen Applikationen wie CAX-Technologien, Simulations- und Rapid-Prototyping-Werkzeuge auf die gleiche Datenbasis zugreifen können [Spu97]. Hierzu ist zum einen auf eine homogene Hard- und Software-Landschaft zu achten und zum anderen sind Schnittstellen zu integrieren und dem Mitarbeiter integrierte Engineering Werkzeuge bereitzustellen wie z. B. eine RPD-Middleware entstanden im SFB 374 [Ber07, Bur00; Dal05, Ber04b].

### **Konzepte und Inhalte zur Datenverarbeitung für eine integrierte Produktentstehung**

Da durch den Einsatz von Softwaresystemen eine große Menge an Daten entsteht und die Menge an Informationen ständig wächst, werden **Daten- oder Informationsmanagement-Systeme** eingesetzt. Es handelt sich dabei um ein strukturiertes (Rechner-) System aus Geräten (Hardware), Programmen (Software) und Methoden zur Erfassung,

Speicherung, Übertragung und Bereitstellung von Informationen [VDI2219]. Durch die Zunahme der Datenflut sind die organisch gewachsenen EDV-Systeme längst an ihre Grenzen gekommen. Die Ansätze des Data- und vor allem des Information-Warehouse, versuchen die vorhandenen Daten miteinander zu verknüpfen und so zu strukturieren, dass aus Daten Informationen entstehen, die den Geschäftsablauf abbilden und in dieser Eigenschaft als Hilfsmittel zu adäquatem Handeln dienen [War03b]. **Dokumenten-Management-Systeme** (DMS) verwalten durch eine Strukturierung alle beliebigen Dokumente. Sie sind eine Zwischenstufe zwischen einem Informations- und einem PDM-System. Mit einem **Product-Data-Management-System** (PDM-System) werden unterschiedliche Informationen eines Produktes oder Bauteils zugeordnet oder verwaltet [Spa99, Hof03]. Ein PDM-System ist die integrative Unterstützung des Objekt- und Objektstrukturmanagements sowie des Prozessmanagements entlang der technischen Prozesskette [Zwick98]. Zudem werden entsprechende Abfragemöglichkeiten zum Auffinden der Daten bereitgestellt. Ein **Engineering-Data-Management-System** (EDM-System) wird als Synonym für ein PDM gesehen. Es handelt sich um ein übergreifendes System, das auch die Organisation und Steuerung der Prozesse der Datenerzeugung und -Verwaltung einbezieht [VDI2218]. EDM- oder PDM-Systeme integrieren die Informationsflüsse und Abläufe in allen Geschäftsprozessen über den gesamten Lebenszyklus der Produkte [Spa99]. Sie greifen stets auf alle relevanten, aktuellen Daten und Dokumente über alle Applikationen, Abteilungen und Standorte hinweg zu [War03b].

### **Konzepte und Inhalte zur Visualisierung von Produktdaten für eine integrierte Produktentstehung**

Neben den erwähnten Informationstechnologien ist die Art der Visualisierung für die Bearbeitung und Wahrnehmung der Daten ein wichtiger Faktor [Die02]. Neben den Ausgabegeräten, wie z. B. Monitor oder Projektor, ist die Art der Darstellung und damit die Art der Wahrnehmung entscheidend für den Einsatz im Produktentstehungsprozess.

Bei der Darstellungsart werden zwei- bzw. dreidimensionale und virtuelle Darstellungen unterschieden. **Zwei- und dreidimensionale Darstellungen** unterscheiden sich durch die Erweiterung der Dimension. Bei dreidimensionalen und virtuellen Darstellungen besteht der Unterschied in der Realisierung der räumlichen Wahrnehmung. Die Begriffe virtuell und digital werden als Synonym angesehen. Es gibt allerdings einen Unterschied, der in der zukünftigen Nutzung der Daten begründet liegt: Virtuelle Bauteile werden als Hilfsgeometrien angesehen, die nicht real verbaut werden, während digitale Teile tatsächlich hergestellt werden [Sch02a]. **Virtual Reality (VR) - Systeme** [Wes06c] benötigen dreidimensionale CAD-Modelle mit einem entsprechenden **VR-Datenformat** wie z. B. VRML. Hierbei erfolgt eine Umwandlung der Volumenmodelle in Flächenmodelle. Durch eine Polygonalisierung gehen jedoch exakte Informationen teilweise verloren. Die Wahrnehmung derartiger Modelle erfolgt mit Schutterbrillen. Diese Brillen bedienen sich der stereoskopischen Display-Technik: Den beiden Brillengläsern werden Bilder geliefert, die um einen bestimmten Betrachtungswinkel zueinander verschoben sind und durch das menschliche Gehirn wieder zu einem Bild vereint werden [Sym00].

Eine Kombination aus digitalem Modell und der Realität bilden **Augmented-Reality-Systeme** [Ahl94, Azu97, Spa07]. Diese Systeme überlagern das digitale Modell und die Realität mittels einer Spezialbrille. Die Herausforderung bei einem derartigen System ist es, die Realitätspunkte mit den Bildpunkten des Modells zur Deckungsgleichheit zu bringen.

#### **3.2.3.2 Konzepte zur Einführung von CAx-Technologien**

Zur **Einführung von CAx-Technologien** gibt es eine Reihe von Ansätzen in der Literatur. Eine Auflistung der bekanntesten Verfahren ist in Tabelle 6 aufgeführt.

	Ablauf	A	B	C	D	E
Eigner/ Maier [Eig82]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Machbarkeitsuntersuchung</li> <li>▪ Systemanalyse</li> <li>▪ Systembewertung und Auswahl</li> <li>▪ Systemvorbereitung</li> <li>▪ Systemeinführung und Systemeinsatz</li> </ul>	o	o	+	+	o
Erb [Erb96]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zielsetzung</li> <li>▪ Abgrenzung der Aufgabe</li> <li>▪ Entwickeln einer idealen Lösung</li> <li>▪ Ermittlung praktischer Lösungen</li> <li>▪ Auswahl optimierter Lösungen</li> <li>▪ Einführung der optimalen Lösung</li> </ul>	o	+	+	+	o
Evers- heim/ Dahl/ Spenrath [Eve89a]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analyse des Ist-Zustandes</li> <li>▪ Erstellen eines Systemkonzeptes</li> <li>▪ Grobauswahl</li> <li>▪ Feinauswahl</li> <li>▪ Einführungs- und Nutzungsorganisation</li> </ul>	++	+	+	+	o
Müller [Mül92]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Realisierungsphase</li> <li>▪ Planungsphase</li> <li>▪ Definitionsphase</li> </ul>	o	+	+	+	o
Schäfer [Sch90]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zielsuche</li> <li>▪ Lösungssuche</li> <li>▪ Auswahl</li> </ul>	o	++	+	+	o
Müller [Mül93]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Planungsphasen</li> <li>▪ Analysephase</li> <li>▪ Gestaltungsphase</li> <li>▪ Entscheidungsphase</li> <li>▪ Realisierungsphase</li> <li>▪ Kontrollphase</li> </ul>	o	++	+	+	o
Schuler [Sch92]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Strategische Planungsebene</li> <li>▪ Gesamtplanungsebene</li> <li>▪ Operative Planungsebene</li> </ul>	o	++	+	+	o
Spur/ Krause [Spu97]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analyse Ist-Zustand, CAx, Prozesskonzepte</li> <li>▪ Integriertes Sollkonzept</li> <li>▪ Anforderungen an: Prozesse, Systeme</li> <li>▪ Prozessgestaltung, technische Systemauswahl</li> <li>▪ Benchmarking/Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</li> <li>▪ Einführungs- und Umsetzungsvorbereitungen</li> <li>▪ Prozessverbesserung Erweiterung von CAx</li> </ul>	+	++	+	+	+
Wilde- mann [Wil90]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analyse des Ausgangszustandes</li> <li>▪ Beschreibung der Defizite, Zielbildung</li> <li>▪ Technische Rahmenkonzeption</li> <li>▪ Art der Einführung</li> <li>▪ Erreichen der Einsatzfähigkeit</li> </ul>	o	+	+	+	o
Zimmer- mann [ZIM85]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Problemdefinition und Zielformulierung</li> <li>▪ Grobkonzept für das Gesamtkonzept</li> <li>▪ Einführungsstrategie</li> <li>▪ Grobkonzept für die Ausbaustufe</li> <li>▪ Realisierung der Ausbaustufe</li> <li>▪ Feinkonzept für die Ausbaustufe</li> </ul>	o	++	+	+	o

Tabelle 6: CAx-Einführungsverfahren [Fre04]

Legende zu Tabelle 6: O nicht vorhanden; + teilweise vorhanden, ++ integriert  
A: Systematik, Standardisierung, Objektivität und Transparenz  
B: Ganzheitlichkeit  
C: Integration der Kundenanforderungen  
D: Erfolgsparameter  
E: Prozessveränderungen

Tabelle 6 zeigt auf, dass die Ansätze ganzheitlich sind, Kundenanforderungen integrieren und Erfolgsparameter beinhalten. Jedoch ist nahezu keine Standardisierung und Systematik erkennbar. Zudem werden Prozessveränderungen durch die CAD-Einführung nicht berücksichtigt und bewertet. Spur/Krause [Spu97] stellen ein Konzept zur Einführung von CAx-Technologien vor. Die Abhängigkeiten und Anforderungen an Prozesse und Systeme werden in einem integrierten Sollkonzept erstellt. Es gibt aber keine Handlungsanweisung zur Gestaltung von Prozessen. Lediglich eine radikale Erneuerung gemäß dem Ansatz des Business Process Reengineering wird angedacht.

Schuler [Sch92] verbindet bei seiner Vorgehensweise eine komplette Planungsmethode, Simulationsmethode und Bewertungsmethode für die Einführung von Datenverarbeitungssystemen (s. Tabelle 29 im Anhang).

Freund [Fre04] stellt in Verbindung zur Einführung von CAD Systemen ein methodisches Vorgehen zur Einführung von Digital-Mock-Up-Techniken in den Prozess der Produktentwicklung vor. Das Verfahren beruht zu großen Teilen auf dem Ansatz des **Quality-Function-Deployment** (QFD) [Aka97, San93]. Es verwendet zusätzliche QM-Methoden wie „Design Review“, „Benchmarking“, „Q7-Werkzeuge“ und „M7-Werkzeuge“. Besonders daran ist, dass für das Einführungsverfahren gezielt QM-Techniken Verwendung finden.

### 3.2.3.3 Konzepte zur computerunterstützten Sicherung der Produktqualität

Zur Qualitätssicherung [Spu97] einer rechnergestützten Planung werden gemäß der Literatur **Computer-Aided-Quality-Assurance**-Systeme (CAQ-Systeme) eingesetzt [Gör92; Sch96a]. In den Unternehmen werden alle Planungen und Aktivitäten zur computerunterstützten Qualitätssicherung durch ein CAQ-System realisiert. CAQ bedeutet die computergesteuerte maschinelle Qualitätsüberprüfung von fertigen Produkten; sie beinhaltet den Vergleich von Soll- und Ist-Maßen sowie die Analyse der Differenzen. Auf Basis von Konstruktionsdaten werden Mess- und Prüfpläne erstellt. Diese bilden die Grundlage für rechnergestützte Prüfprogramme. In der Produktentwicklung helfen derartige Systeme, frühzeitig qualitätsrelevante Anforderungen in die Produktentwicklung einzubeziehen. Das CAQ-System fungiert als Informationsschnittstelle zwischen den einzelnen Produktentstehungsphasen und auch später in der Fertigung. Methoden, die das CAQ-System unterstützen, sind die **Failure-Mode-and-Effects-Analysis** (FMEA) [Kme99, Cha01], die **Design-of-Experiments** (DoE) und die **Fault-Tree-Analysis** (FTA) [Lee85].

### 3.2.4 Kennzahlensysteme zur Bewertung des Einsatzes von Informationstechnologien

**Kennzahlen** sind notwendige Größen zur Ermittlung von Sachverhalten, die wiederum die Möglichkeit für einen Vergleich (ins Verhältnis gesetzt) mit anderen Zustand- oder Zielgrößen erlaubt. Kennzahlen bilden ein Kennzahlensystem. **Kennzahlensysteme** werden in der Praxis zur Beurteilung des Betriebes von Informationstechnologien und -systemen, zur Bereitstellung von Lösungen oder für eine übergreifende Steuerung eingesetzt. In Tabelle 7 sind Ansätze und Vorschläge aufgeführt.

Technische Systeme können nach ihrer Komplexität klassifiziert werden, so z. B. technische Anlagen (hohe Komplexität) über Aggregate, Maschinen, Baugruppen, Maschinenelemente etc. bis zu Punkten [Kol98].

<b>Kennzahlensysteme</b>
<b>SVD 1980 [Sch81]</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gliederung in die Kennzahlengruppen: Kosten, Leistung, Nutzen und Sonstige</li> <li>▪ Adressierung an Management, Benutzer, IT-Ebene (Entwicklung und Betrieb)</li> <li>▪ Finanz- und Prozessperspektive</li> </ul>
<b>Diebold 1984 [Die84]</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ebenen: Spitzenkennzahl, Kennzahlenbereiche, Kennzahlengruppen</li> <li>▪ IT-Einsatz bzgl. des Gesamtunternehmens und seiner Hauptfunktionsbereiche</li> <li>▪ Prozessperspektive mit betriebswirtschaftlicher Betrachtung der IT</li> </ul>
<b>Lippold 1985 [Lip85]</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Struktur: Kosten, Struktur, Leistung, Nutzen</li> <li>▪ Individuelle Datenverarbeitung ist nicht einbezogen.</li> <li>▪ Prozess- und Finanzkennzahlen</li> </ul>
<b>Zilahi-Szabó 1988 [Zil88]</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Struktur: Kapazität (Input), Einsatz (Leistungserstellung), erbrachte Leistungen</li> <li>▪ Ergebnisorientiertes System; Ausrichtung am Leistungserstellungsprozess</li> </ul>
<b>Kargl 1996 [Kar96]</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Felder: Strategische IT-Planung, Management von IT-Projekten, Wirtschaftlichkeit, Anwendungsbetrieb und IT-Infrastruktur, Verrechnung von Kosten und Leistungen</li> <li>▪ Kennzahlensystematik zum Aufbau eines Kennzahlensystems</li> <li>▪ Kennzahlen sind an das IT-Management gerichtet.</li> </ul>
<b>Brogli 1996 [Bro96]</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kernprozesse: HW/SW-Management, Skill-Management, Technologiemanagement, Führung, Entwicklung, Betrieb, Beratung, Ausbildung</li> <li>▪ Prozessorientiertes Modell für die IT-Organisation</li> <li>▪ Vollständiges Kennzahlensystem für die IT-Organisation</li> </ul>
<b>Baumöl/Reichmann 1996 [Bau96]</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Struktur: IT-Effizienz, technische Infrastruktur, Software und Systemstruktur (Applikationen), IT-Personal</li> <li>▪ Ordnungssystem ohne arithmetische Verknüpfung von Kennzahlen</li> <li>▪ Prozess- und Finanzperspektive</li> <li>▪ Nutzenbewertung der Effektivität</li> <li>▪ Kennzahlengestütztes Controllingsystem mit Integration der IT</li> </ul>
<b>Wies/Lohmann/Picot 1997 [Wie97]</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Struktur: Erfolg, Wirtschaftlichkeit, Rentabilität, Produktivität, Qualität, Flexibilität</li> <li>▪ Berechnungsformeln für Nutzungsdauer, -intensität, Verfügbarkeitsgrad</li> <li>▪ Kennzahlen werden aus bestehenden Systemen entnommen.</li> <li>▪ Prozessorientierung</li> </ul>
<b>Augustin 1998 [Aug98]</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Struktur: Zeit, Kosten, Qualität</li> <li>▪ Technische Wertschöpfungskette: Forschung und Entwicklung; Abwicklung, Service</li> <li>▪ Integrierte Methode für situative Priorisierung von organisatorischen Verbesserungsmaßnahmen und IKT-Investitionen</li> </ul>
<b>Cobit 2000 [Cob06]</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Struktur: Management, Akquisition und Realisierung, Betrieb u. Support, Monitoring</li> <li>▪ Kennzahlen mit subjektiver Bewertung müssen erst detailliert werden.</li> <li>▪ Kein konkretes Steuersystem, sondern es wird eine Steuersystematik bereitgestellt.</li> <li>▪ Prozess-, aber auch lieferantenorientiert</li> </ul>

Tabelle 7: Kennzahlensysteme zur Bewertung des Einsatzes von Informationstechnologien

Es ist anzumerken, dass die meisten Kennzahlensysteme nicht direkt umgesetzt werden können. Dies liegt an der Fülle der Kennzahlen und an deren mangelhafter Beschreibung. Kennzahlensysteme werden zur Beherrschung von verschiedenen Bereichen erstellt, etwa für das Kunden-, Prozess-, Lieferanten-, Mitarbeiter-, Finanz- oder Innovationsmanagement [Bin05a; Bin05b; Rei06]. Innerhalb des Controllings sowie des Managements von Informationstechnologien sind in den letzten Jahren verschiedene Ansätze entstanden. Wie die Vergangenheit gezeigt hat und derzeitige Diskussionen zeigen, ist kein endgültiges Kennzahlensystem in Sicht [Küt03; Hab02].

### 3.2.5 Ansätze zur Interpretation von Veränderungen durch Informationstechnologien

Eine Technologie verläuft entlang eines idealtypischen Entwicklungsverlaufes, des **Technologielebenszyklus**. Er repräsentiert die vorhandene Technologie in einem Unternehmen und positioniert sie im Kontext der Unternehmensstrategie. Die bekannteste Beschreibung eines Technologielebenszyklus ist das Modell der Unternehmensberatung Arthur D. Little [Ser85]. Erweitert wurde der Ansatz durch die Unternehmensberatung McKinsey [Ser85]. Darin wird der Entwicklungsverlauf der Leistungsfähigkeit einer Technologie bis hin zu ihrer technischen Leistungsgrenze in Abhängigkeit vom kumulierten Forschungs- und Entwicklungsaufwand beschrieben [Sei98].

Zur Organisation der frühzeitigen und zuverlässigen Anwendung neuer technologischer Erkenntnisse zur Unterstützung der Ziele und Strategien wird ein systematisches **Technologiemangement** betrieben [Nov03]. Neben der ganzheitlichen Unternehmensstrategie werden Teilstrategien für die Produktion, die Produktentwicklung sowie für das Marketing und den Vertrieb aufgestellt, um die technischen Erfolgspotenziale, insbesondere die Festlegung und Realisierung von Forschungs-, Entwicklungs- und Investitionsprogrammen aufzubauen [Wes03; Sei98; Ser85; Zah04; Zin00].

Umfangreiche Untersuchungen zur **Technologieermittlung, -bewertung, -auswahl und -potenzialermittlung** wurden im Sfb 361 – Modelle und Methoden zur integrierten Produkt- und Prozessgestaltung – [Eve01] durchgeführt und Lösungen entwickelt. Die Lösungen zeichnen sich durch eine spezifische Betrachtung und Realisierung gemäß den einzelnen Problemstellungen aus. Den einzelnen Ansätzen fehlt die Betrachtung der durch die Informationstechnologie hervorgerufenen Prozessveränderungen.

**Technology-Assessment** (TA) ist die Bewertung von Technologie. Zum ersten Mal wurden diese Begriffe in einem Bericht des US-Repräsentantenhauses im Jahr 1966 verwendet. 1972 wurde das Technology Assessment vom US-Senat folgendermaßen definiert: "Technology Assessment is a term, used to identify a process for generating accurate, comprehensive and objective information about technology to facilitate its effective social management by political decision makers. Specifically, technology assessment is the thorough and balanced analysis of all significant primary, secondary, indirect and delayed consequences or impacts, present and foreseen of a technological innovation on society, the environment or the economy" [USS72].

Mavis [Mav99] stellt zur Identifikation, Evaluation und Auswahl die Methode **Technology Identifikation, Evaluation and Selection** (TIES) bereit. Diese stellt eine ganzheitliche, strukturierte und standardisierte Methode für die Entscheidungsfindung oder für die Optimierung in den frühen Phasen der Entwicklung eines neuen Systems dar.

Augustin [Aug98] stellt eine Methode vor, die eine Priorisierung der Verbesserungen in produzierenden Unternehmen durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologie erlaubt. Die Methode hat einen zielbezogenen und ganzheitlichen Ansatz, mit objektiven, überprüfbaren und strategischen Kennzahlen. Es werden sowohl technische als auch organisatorische Stellhebel in Betracht gezogen.

### 3.2.6 Methoden zur Abschätzung der Folgen durch einen Einsatz von Informationstechnologien in der Produktentwicklung

Zur Abschätzung der Folgen einer Informationstechnologie gibt es in der Literatur keine speziellen Ansätze. Möglichkeiten, um Folgen von Technologien abzuschätzen, bieten die Methoden der Technologiefolgeabschätzung, wie in Tabelle 8 aufgeführt. Sie tragen unterschiedlich zur Analyse, Prognose, Bewertung und Entscheidung bei.

Methoden	A	P	B	E	QI	Qn
Brainstorming	x	x	x	x	x	
Checklisten	x	x	x	x		x
Delphi-Methode	x	x	x	x	x	x
Dynamische Optimierung		x				x
Entscheidungsbaum		x	x		x	x
Entscheidungstheorie		x		x	x	x
Historische Analogiebildung	x	x			x	
Input-Output-Analyse		x	x			x
Interview		x			x	
Kosten-Nutzen-Analyse	x	x	x	x		x
Lineare Optimierung		x				x
Morphologie	x	x	x		x	
Netzplantechnik			x	x		x
Nutzwertanalyse		x	x	x	x	x
Ökonomische Modellbildung	x	x				x
Petri-Netze	x	x			x	x
Planungszelle	x	x	x	x	x	
Regression/Korrelation	x	x				x
Relevanzbaum-Analyse	x	x	x			x
Risiko-Analyse		x		x		x
Simulation		x		x	x	x
Synektik		x	x		x	
Szenariotechnik	x	x	x	x	x	
Trendextrapolation	x	x		x		x
Verflechtungsmatrix		x	x	x	x	x
Wertanalyse		x			x	

Tabelle 8: Methoden der Abschätzung der Folgen durch Technologien [Lud95, Spa05b; VDI3780; Zin00]

Legende: ANWENDUNG: A...Analyse; P...Prognose; B...Bewertung; E....Entscheidung;  
ART: QI...Qualitativ; Qn...Quantitativ

Die **Technologiefolgeabschätzung (Technology Assessment)** [Sch03a] wurde in der VDI-Richtlinie 3780 [VDI3780] zusammengefasst [Spa05b]. Die Richtlinie liefert die Grundlagen, mit denen ein gemeinsames Problembewusstsein und das Verständnis für Begriffe, Methoden und Werte für eine Bewertung vermittelt werden kann. Es werden vier Arten der Technologiefolgeabschätzung unterschieden, nämlich die innovative, die reaktive, die problemspezifische und die technikinduzierte Bewertung [Spa05b].

Ein Vorgehen zur szenariobasierten Frühnavigation im **strategischen Technologiemanagement** wird bei Zinser [Zin00] vorgestellt. Im Gegensatz zur isolierten Nutzung einzelner Instrumente des strategischen Technologiemanagements wird bei diesem Vorgehen ein effizienter und effektiver Einsatz ermöglicht.

Abele [Abe06] stellt ein Verfahren für das **Technologie-Roadmapping** zur Unterstützung des strategischen Technologiemanagements vor. Es handelt sich um ein kooperationsfähiges Verfahren zur Unterstützung des strategischen Technologiemanagements.

Das Massachusetts Institute of Technology (MIT) & University of Illinois at Urbana-Champaign (UIUC) hat zur Analyse und Abschätzung des Systemeinsatzes eine **Design-Structure-Matrix** (DSM) des realisiert [Rog96; DSM06]. Es handelt sich um ein Systemanalysenwerkzeug, das eine kompakte und freie Darstellung, ein komplexes System und eine Sicherungsmethode für die Abhängigkeiten, die Interaktion und die Schnittstellen zwischen Systemelementen zur Verfügung stellt.

Zur Bewertung der Nutzen von neuen Technologien in der Produktentwicklung stellt Schabacker [Sch01] ein Vorgehen vor. Er ermittelt den weit gestreuten Nutzen von neuen Technologien und teilt diesen Nutzen in Nutzenklassen für eine einheitliche Nutzenbewertung nach der VDI 2216 [VDI2216]. Mit diesen Nutzenklassen erstellt er eine **Benefit Asset Pricing Model (BAPM)-Portfolio** zur Bewertung des Nutzens neuer Technologien.

### 3.2.7 Zusammenfassung und Defizite

In der Literatur wird eine Vielzahl verschiedener Arten und Varianten von Informationstechnologien beschrieben. Informationstechnologien sind für die Erzeugung, Bereitstellung, Verarbeitung, Dokumentation und Visualisierung von digitalen Informationen und Daten verantwortlich. Zudem unterstützen sie die Kommunikation und Koordination.

Um die Produktentwicklung zu verbessern, wird meistens der Ansatz der integrierten Produktentstehung verfolgt. Die Ansätze in der Literatur beruhen auf der Zusammensetzung von bestehenden Methoden in Verbindung mit der Integration von Informationstechnologien. Dadurch wird die Integration von separierten Teilprozessen zu einem Gesamtprozessfluss angestrebt.

Der Einsatz von CAx-Technologien innerhalb eines Entwicklungsprozesses richtet sich nach den Möglichkeiten und dem Nutzen durch eine CAx-Technologie. Demgegenüber stehen die Kosten für Anschaffung, Integration und Betreuung. Die CAx-Technologien verändern sich mit den Jahren. Innerhalb von bestimmten Zyklen wird die Rechnerleistung vergrößert und Hardware entsprechend günstiger. Die Entwicklungen, Veränderungen, zukünftigen Visionen und Strategien von CAx-Technologien sind Themen, mit denen sich ein Technologiemanagement befasst.

Zur Gestaltung von Strukturen von CAx-Technologien hinsichtlich der Vernetzung gibt es in der Informatik genügend Ansätze. Die Bewertung des Einsatzes von CAx-Technologien und Informationstechnologien erfolgt anhand von Kennzahlen, die den Zustand ausweisen oder als Zielgrößen hinzugezogen werden.

#### Defizite

- In der Literatur lässt sich keine Methode finden, die sich ausführlich mit den Auswirkungen von CAx-Technologien hinsichtlich der Prozessgestaltung auseinandersetzt. Lediglich vage Aussagen, dass eine Veränderung zu erwarten ist, werden getroffen. Es wird keine Methode aufgeführt, wie mit dieser Erkenntnis umgegangen werden kann.
- Es sind keine Ansätze vorhanden, die eine Bewertung des Einsatzes von CAx-Technologien innerhalb eines Prozesses ermöglichen.
- Der Mangel an Daten über die Effektivität einer CAx-Technologie macht eine Bewertung des Einsatzes von CAx-Technologien schwierig. Anders ist es z. B. bei der Arbeitsplatzgestaltung, bei der nach REFA (Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung) der Einsatz des Menschen bewerten werden kann.

- Die meisten Kennzahlensysteme zur Bewertung des Einsatzes von Informationstechnologien können nicht direkt umgesetzt werden. Dies liegt an der Fülle der Kennzahlen und an deren ungenügender Beschreibung.
- Es ist keine Methode bekannt, die eine Analyse und Bewertung eines integrierten Ansatzes mit mehreren CAx-Technologien, etwa in Form eines Verbundes, unterstützt. Es gibt einzelne Ansätze, die sich aber nur mit Spezialbereichen auseinandersetzen.

### 3.3 Produktmodelle in der Produktentwicklung

Während der Produktentstehung müssen die Produktdaten erzeugt, gespeichert, archiviert und angewendet werden. Im folgenden Abschnitt werden Ansätze zur Strukturierung, Modellierung und Ermittlung der Reife eines Produktes für eine integrierte digitale Produktentstehung untersucht.

#### 3.3.1 Darstellung und Modellierung von Produktdaten

Nach Schichtel [Sch02a] entsteht ein Produkt auf Basis von **Produktdaten**. Diese entstehen in einem Kontext von Prozessen. Produkte werden erdacht, konzipiert, geplant, auskonstruiert und zur Produktreife gebracht. Sie folgen einem Lebenszyklus, bestehend aus mehreren Phasen. Aus Sicht des Herstellers ergibt sich folgender **Produkt-Lebenszyklus**: Produktentstehung, Produktherstellung, Kundendienst und Service sowie Produktrecycling. Parallel zur Herstellersicht erfolgt aus Sicht des Kunden eine Mitwirkung bei der Produktentstehung. Danach folgen der Produkterwerb, die Produktnutzung und schließlich die Produktrückgabe [Zwi98; Ehr07]. Ein Werkzeug zur Ermittlung von Kundenanforderungen und damit der Produktdefinition ist die Methode des QFD [San93]. Sie hilft die Kundenanforderungen direkt in die technischen Lösungen umzusetzen.

Die DIN 199 [DIN199-1] liefert für die Darstellung des Produktes die **Produktstruktur**, welche die Gesamtheit der nach bestimmten Gesichtspunkten (z. B. Fertigung, Montage, Funktion, Disposition, Kalkulation) festgelegten Beziehungen zwischen Baugruppen und Einzelteilen eines Produktes beschreibt. Die **Produktkomplexität** hängt dabei vom Produktumfang ab [Gra02]. Die Anzahl und Unterschiedlichkeit der Elemente (Varianten) sowie die Anzahl und Vielfalt der Relationen zwischen den Elementen bilden die Komplexität eines Produktes. Die Komplexität ist messbar und kann berechnet werden [Ehr07].

Pulm [Pul04] definiert: „Komplexität liegt vor, wenn aufgrund bestimmter Beschränkungen nicht mehr alle Elemente untereinander verknüpft werden können und die Gesamtheit somit nicht kontrolliert werden kann.“ Mittels einer klaren Produktstrukturierung, d. h. einer Anordnung der Baugruppen, soll eine Produktarchitektur einer Produktfamilie gewählt werden, die Standardisierungsaspekte sowie heutige und in der Zukunft auftretende Anforderungen berücksichtigt. Die Definition der Produktarchitektur erfolgt in den frühen Phasen des Entwicklungsprozesses und berücksichtigt Umweltfaktoren [Bon02].

#### 3.3.2 Modelle zur Bereitstellung von Produktdaten innerhalb einer Produktentwicklung

Ein **Produktmodell** ist das Modell, das alle relevanten Informationen, die für die Produkterstellung, -nutzung und -entsorgung nötig sind, in hinreichender Vollständigkeit enthält. Zudem beinhaltet ein Produktmodell alle geordneten Informationen, die zur Auftragsabwicklung für ein Produkt notwendig sind [Ber07, Ehr07; Gen95, VDI2219, Spu97].

Das Produktmodell bezieht sich nicht auf ein spezielles Produkt, sondern gibt an, welche Produktdaten zu einer ganzheitlichen Produktbeschreibung gehören. Die Repräsentation von Produktmodellen wird unterschiedlich beschrieben. Nach Awiszus [Awi00] gibt es den

Ansatz der Modelltypen mit der anwendungsbezogenen Einteilung: struktur-, geometrie-, featureorientiert, wissensbasiert und integriert. Andererseits gibt es den Ansatz der **Partialmodelle**, die durch eine entwicklungs-, produktions- und logistikrelevante Einteilung in Teile-, Tätigkeits-, Geometrie- [Sch02a; Dier36], Funktions- und Logistikmodelle unterschieden werden [Noh99]. Je nach Anwendungsbereich gibt es verschiedene Sichtweisen, die den Anwender unterstützen [Gra93]. Die einzelnen Typen sind:

### **Typ 1: Struktur- oder teileorientierte Produktmodelle**

Struktur- oder teileorientierte Produktmodelle sind Modelle, deren Kern in der Orientierung bzgl. der Struktur liegt. Das zu modellierende Gesamtprodukt wird strukturiert und hierarchisch bis auf die Einzelteile beschrieben. Zur Beschreibung der Produktstruktur werden verschiedene Hilfsmittel verwendet. Dies sind z. B. Stücklisten, Klassifikationsschemata, Aufbauübersichten, Erzeugungsgliederungen, Baugruppenstrukturen sowie Strukturen zur Beschreibung von Versionen und Varianten [Noh99, Gra93].

### **Typ 2: Topologisch-geometrische Produktmodelle**

Topologisch-geometrische Produktmodelle sind die mathematischen, repräsentativen Beschreibungen der geometrischen Umgebung eines Produktes. Formen der Darstellung sind: Draht-, Oberflächen-, Volumen- oder Hybridmodelle [Awi00; Gra93; Sch97a].

### **Typ 3: Feature- oder funktionsorientierte Produktmodelle**

Die Erweiterung der geometrischen Modelle sind die sog. **featureorientierten oder funktionsorientierten Produktmodelle**. Geometrische Modelle erzeugen eine geometrische Darstellung, während featureorientierten Modelle eine Reihe an Zusatzinformationen über technische Eigenschaften des Produktes sowie deren Zusammenhänge enthalten. Dies können bspw. mechanische und elektrische Funktionen sein [Noh99; Kra94; Zwi98]. Das featureorientierte Produktmodell ist ein technisches Element, das Informationen über die Geometrie und anwendungsspezifische Angaben von technischer Bedeutung beinhaltet. Bei diesen informationstechnologischen Elementen handelt es sich um:

- geometrische Eigenschaften (z. B. Position, Durchmesser, Anzahl von Bohrungen, ...)
- technologische Eigenschaften (z. B. Toleranzen, Passungen, Oberflächenqualität, ...)
- funktionale Eigenschaften (z. B. Kräfte, Momente, Einbaubedingungen, ...)

Die Featureorientierung beruht auf der Beschreibung der geometrischen und zusätzlichen Eigenschaften von Produkten, Baugruppen, Einzelteilen und Gestaltungszonen durch bereitgestellte Formen oder Objekte. Ein Ingenieur wird dadurch in die Lage versetzt, bestimmte Produkteigenschaften oder Attribute zur Erstellung eines Produktes nutzbringend zu koppeln [VDI2218; Ehr07; Awi00; Kra94].

### **Typ 4: Tätigkeitsorientierte Produktmodelle**

Ein tätigkeitsorientiertes Produktmodell beinhaltet alle notwendigen Informationen über die Tätigkeiten, einschließlich der Arbeitsbedingungen, die zur Ausführung der Aufgabe und somit zur Erstellung des Produktes benötigt werden [Noh99].

### **Typ 5: Integrierte Produktmodelle**

Heutige Produkte sind sehr komplex. D. h., ein Produkt wird nicht nur durch seine Geometrie sonder durch funktionale Aspekte beschrieben, wie z. B. elektrische, elektronische, mechanische, hydraulische, pneumatische, mechatronische, softwaretechnische, akustische, optische etc. Aspekte. Zudem sind Informationen des Prozesses der Produktentstehung integriert. Ein Ansatz, der die gesamten Aspekte berücksichtigt, führt zu einem **integrierten Produktmodell** (s. Abbildung 51) [Eve01; Sch02a; Gra93; Gro02].

Die Daten sollen das Produkt über die gesamten Lebensphasen, z. B. die Produktplanung, -entwicklung, -konstruktion, -herstellung, -vertrieb, -betrieb und -beseitigung, ausreichend beschreiben und den verschiedenen Funktionsbereichen eines Unternehmens nutzen. Zusätzlich zu den geometrischen und funktionalen Aspekten kann ein integriertes Produktmodell durch folgende Kriterien identifiziert werden: Funktion (z. B. Hauptfunktion, Nebenfunktion), Gestalt (z. B. Form/Lage, Toleranzen, Oberflächengüte u. -härte etc.), Montage (z. B. Einbauraum, Zugänglichkeit etc.), Berechnung (z. B. Festigkeit, Lebensdauer etc.), Qualitätssicherung (Wartung, Ersatzteile etc.), Kosten (z. B. Preis), Disposition (z. B. Verfügbarkeit, Lieferzeiten etc.) [Gra93; Zwi98].

Zwicker [Zwi98] fordert, dass die Produktdaten, die von verschiedenen Disziplinen erzeugt bzw. benötigt werden, in unterschiedlichen Sichtweisen hinsichtlich des Anwendungsgebietes bereitgestellt werden. Dies ist notwendig, um die Zusammenhänge der Produktdaten und die Methoden der Datenerstellung sowie -verarbeitung zu berücksichtigen.

### 3.3.3 Konzepte zur Bereitstellung eines digitalen Produktmodells

Nach Leonhardt [Leo01] besteht das **digitale Produktmodell** aus allen Daten des Produktes, die während des Entwicklungsprozesses (oder Innovationsprozesses) primär oder sekundär erzeugt, konsistent verwaltet und über den Lebenszyklus laufend ergänzt werden (s. Abbildung 6). Das reale Produkt wird hinreichend genau repräsentiert, sodass es in den Unternehmensprozessen genutzt werden kann. Die Unternehmensprozesse erweitern, modifizieren und nutzen das digitale Produkt unter Verwendung von spezifischen Informationstechnologien [Zwi05].

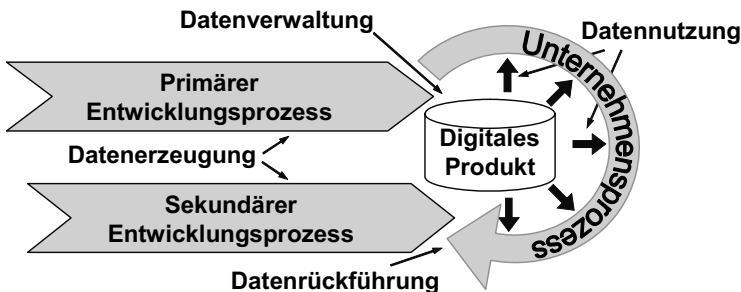


Abbildung 6: Konzept des digitalen Produktes nach Bongulielmi [Bon02; Awi00]

Das Konzept des digitalen Produktes nach Bongulielmi [Bon02], wird durch eine klare Struktur des Produktes, der Unternehmensprozesse und leistungsfähiger Informationstechnologien definiert. Nur ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen diesen Faktoren ergibt eine nachhaltige Effizienz, Qualitätssteigerung und Zeitverkürzung.

Nach VDI 1569 [VDI1569] soll durch ein digitales Modell eine umfassende Absicherung von Geometrie, Funktionen, Eigenschaften, Herstell- und Montierbarkeit für alle relevanten Alternativen und Varianten erfolgen, bevor ein physisches Modell erstellt wird.

Schichtel [Sch02a] nennt die verbesserte Aussagegüte über ein digitales Modell eine wesentliche Anforderung an **Computer-Aided-Engineering**-Abläufe (CAE-Abläufe). Durch die Simulation des digitalen Modells mittels CAE-Systemen soll es möglich sein, während aller Projektphasen sichere Aussagen über die momentane konstruktive Reife zu erhalten. Die versuchstechnische Absicherung soll dadurch auf einen einzigen Bestätigungsversuch reduziert werden [Gös01].

### 3.3.4 Ermittlung der Produktqualität und des Produktreifegrades

Die **Produktqualität** ist für das Qualitätsmanagement eine entscheidende Größe. Sie dient der Kontrolle, Steuerung und Absicherung der Produktentstehung. Die Produktqualität kann als Qualität des Produktes verstanden werden und wird gebildet aus dem Verhältnis zwischen realer ausgewerteter und idealer Qualität [Ehr07; VDA05; Sch97b].

Gemäß dem Ansatz nach Fillip [Fil97] und Brüning [Bru98] beschreibt die Produktqualität, wie ein Produkt beschaffen ist. Hierbei besteht die Produktbeschaffenheit als Gesamtheit der Qualitätsmerkmale, unter der die Qualitätsdimension verstanden wird. Merkmale sind dabei dichotomen Komponenten. Die Dimensionen sind dagegen Komponenten, die bei allen Produkten einer Produktkategorie vorhanden sind und beständige Werte annehmen.

Seibert [Sei98] führt an, dass die Produktqualität einerseits für die Bewertung des Endproduktes angeführt werden kann, andererseits aber auch für die Steuerung des Prozesses der Produktentwicklung dient. Sie ist eine wichtige Entscheidungsgröße. Besonders im Zusammenhang von komplexen Produkten mit einer großen Teilezahl ist die Qualität der Einzelteile eine entscheidende Größe für Integration des Gesamtproduktes.

Um ein Produkt mit einer hohen Qualität zu erhalten, ist eine Verfolgung seines Reifegrades notwendig. So soll vermieden werden, dass unreife Produkte auf den Markt gebracht werden. Eine regelmäßige Verfolgung des Reifegrades wirkt damit präventiv.

Der **Produktreifegrad** [Düc05] ist eine Angabe über den Zustand eines Produktes, das im Rahmen eines Projekts erstellt wird. Er zielt auf das erreichte Ergebnis am Produkt, nicht aber auf dessen Entstehung ab. Er wird durch unabhängige Audits mit Prototypen ermittelt, die bereits in der frühen Phase aus Kundensicht durchgeführt werden. Um die Ziele des Qualitätsmanagements zu verwirklichen, kann für die Prozessorientierung das Modell des **prozessorientierten Qualitätsmanagements** angewandt werden [Sch08; Sch98a].

### 3.3.5 Zusammenfassung und Defizite

Die Umfänge eines Produktes (z. B. Automobil) haben sich über die Jahre stark erweitert. Neben mechanischen Eigenschaften wurden mehr und mehr elektrische und softwaretechnische Funktionalitäten hinzugefügt, sodass heute mehr und mehr mechatronische Produkte entstehen. Zur Minimierung der dabei entstehenden Komplexität wird eine Strukturierung der Produkte verfolgt.

Ein Produkt kann durch ein reales oder digitales Produktmodell dargestellt werden. Je nach Orientierung der Strukturierung werden verschiedene Modelle unterschieden. Das umfangreichste und alle Arten und Sichten vernetzende Modell ist ein integriertes Produktmodell. Ein solches integriertes Produktmodell ist im Zusammenhang mit den erweiterten Umfängen und den dabei entstehenden Wechselwirkungen unumgänglich. Eine weitere Notwendigkeit für diese Modellart ist die Digitalisierung. Dabei wird es zu einem digitalisierten und integrierenden Produktmodell erweitert.

Die immer größer werdende Datenmenge der Produktmodelle, mit der Problematik der strukturiert und sinnvoll aufbereiteten Datenarchivierung, der Bereitstellung und Freigabe der Daten sowie der Trennung von nützlichen und überflüssigen Daten, stellt im Kontext der Bereitstellung von digitalen Produktdaten ein Risiko und eine große Herausforderung dar. Dieser kann nur durch ein umfassendes Datenmanagement begegnet werden.

Da die Digitalisierung der Produktentstehung das Ziel hat, eine optimale Produktqualität zu sichern, ist die Integration eines digitalen Produktmodells notwendig. Dafür muss eine Systematisierung der gesamten Prozesse an den Produktreifegrad vorgenommen werden.

## **Defizite**

Folgende Defizite können konstatiert werden:

- In der Literatur lassen sich keine Konzepte finden, die den Produktentstehungsprozess an den Reifegradverlauf eines digitalen Produktmodells koppeln.
- Es fehlt an einer Methode, mit der ein digitales Produktmodell in den Produktentstehungsprozess optimal integriert werden kann.

### **3.4 Defizite der Prozessgestaltung und Bewertung von Entwicklungsprozessen mit einem Einsatz von CAx-Technologien**

Die Abschnitte 3.1 bis 3.3 haben gezeigt, dass die Anforderungen an die Produktentwicklung durch immer umfangreichere und komplexere Produkte zunehmen. Eine Lösung ist die Digitalisierung der Produktentwicklung. Es zeigt sich, dass sich mit dem Einsatz von CAx-Technologien neue und unbekannte Handlungsfelder eröffnen [Bul05; Pot05; Spa05a].

Effizienz und Effektivität können aber nur erzielt werden, wenn CAx-Technologien optimal eingesetzt werden und der Entwicklungsprozess und die CAx-Technologien aufeinander abgestimmt sind. Die Betrachtung der Ansätze in der Literatur hat gezeigt, dass Prozesse der Produktentwicklung primär nach strategischen und organisatorischen Gesichtspunkten erstellt werden und erst danach CAx-Technologien integriert werden [Awi00; Eve01; Bul01c]. Diese Reihenfolge ist aber für einen optimalen integrierten Ansatz unzureichend.

Um die Produktentstehung zu verkürzen und zu verbessern, wird der Ansatz der integrierten Produktentstehung verfolgt [Ehr07, Mar03, Hab02]. Die verschiedenen Ansätze bedienen sich meistens der Zusammensetzung von bestehenden Methoden in Verbindung mit der Integration von CAx-Technologien und Informationstechnologien. Eine ausgiebige Prozessbetrachtung findet dabei allerdings nicht statt.

Die Bewertung des Einsatzes von Informationstechnologien erfolgt anhand von Kennzahlen (vgl. Abschnitt 3.2.4), die den Zustand ausweisen oder als Zielgrößen hinzugezogen werden. Diese Kennzahlen sind aber nicht für eine Bewertung der Prozessveränderungen durch einen CAx-Einsatz geeignet. Möglichkeiten, um Folgen von Technologien abzuschätzen, bieten die Methoden der Technologiefolgeabschätzung (vgl. Abschnitt 3.2.6). Zur Ermittlung der Folgen durch CAx-Technologien sind diese Methoden jedoch nur bedingt geeignet.

Für die Gestaltung von Prozessen in der Produktentwicklung bedeutet die Einführung von CAx-Technologien nicht nur die Unterstützung einer bestehenden Arbeitstätigkeit, sondern auch eine Veränderung oder Einführung von Entwicklungsschritten. Dies wiederum beinhaltet die Initialisierung neuer Prozessabläufe [Por00; Spa04b; Gau01a].

Für die Optimierung der Prozessleistung gibt es in der Literatur verschiedene Ansätze. Die bekanntesten Ansätze sind das Business Process Reengineering [Dav93; Ham03; Kick95, McK03], Total Cycle Time [Thom90], KAIZEN/KVP [Ima94, Del99] und Six Sigma [Har01, Mag04]. Diese Ansätze sind zum Teil sehr umfangreich, berücksichtigen aber die Veränderung durch einen möglichen Einsatz von CAx-Technologien nicht.

In der Literatur werden verschiedene Prozessarten und -formen beschrieben. Mittlerweile gibt es auch eine große Auswahl an Methoden und Werkzeugen zur Modellierung von Prozessen [Awi00; Bul01c; Noh99]. Diese beziehen aber nur unzureichend die Veränderungen durch einen Einsatz von CAx-Technologien ein.

In der Literatur werden Ansätze für ein integriertes und digitales Produktmodell beschrieben [Eve01; Sch02a; Gra93; Gro02]. Das integrierte und digitale Produktmodell wird zu einem integrierenden Element, das durch die Integration auch hilft, lokale informationstechnologische Lösungen zu einem Gesamtsystem zu vereinen. Es entsteht ein integriertes Konstrukt aus Produktmodell und Informationstechnologien. In der Literatur lassen sich allerdings keine Konzepte finden, die den Produktentstehungsprozess an den Reifegradverlauf eines digitalen Produktmodells koppeln.

### **Zusammenfassung der Defizite**

Die Betrachtung des aktuellen Stand des Wissens hat gezeigt, dass sich keine Methode oder Vorgehen finden lässt, das sich mit der Systematisierung von Teilprozessen beim Einsatz von CAX-Technologien ausführlich befasst. Im Einzelnen handelt es sich um folgende Defizite:

- Den Ansätzen zur Prozessgestaltung fehlt eine stärkere Betrachtung der Einflüsse und Auswirkungen durch CAX-Technologien und Möglichkeiten bzw. Vorgehen, wie die Veränderungen umgesetzt werden können.
- CAX-Technologien werden bisher nur als ein Mittel zum Zweck erachtet und daher werden sie erst nach der Erstellung eines Prozesses ohne Auswirkungen auf den bestehenden Prozess eingesetzt.
- Es gibt keine Methode, die den Zustand hinsichtlich eines Verbundes an CAX-Technologien bewertet, obwohl schon von einigen Wissenschaftlern erkannt wurde, dass nur durch eine vernetzte (ganzheitliche) Betrachtung die Potenziale der CAX-Technologien ausgeschöpft werden können.
- Ein weiteres Defizit, das sich innerhalb der Prozessbetrachtung gezeigt hat, ist, dass eine Systematisierung hinsichtlich des Produktreifegrades für die Eintaktung und eine Systematisierung innerhalb eines Entwicklungsprozesses nicht stattfindet. Dies ist aber eine unumgängliche Voraussetzung für eine integrierte Produktentwicklung. Besonders wichtig werden Effektivität und Effizienz eines Prozesses, wenn eine Digitalisierung und Integration angestrebt wird.
- Produktdaten werden digital erfasst oder gebildet und in einem digitalen Produktmodell gespeichert. Es ist aber kein Konzept vorhanden, das die Systematisierung und damit die Bindung an den Reifegradverlauf eines digitalen Produktes berücksichtigt.
- Es ist keine Methode vorhanden, mit deren Hilfe ein digitales Produkt in den Produktentstehungsprozess optimal integriert werden kann.

### **Ableitung zentraler Kriterien für einen Ansatz**

Aus den in Kapitel 2.1 formulierten Zielen der Arbeit und den Erkenntnissen des aktuellen Standes des Wissens leiten sich für den Ansatz folgende zentrale Kriterien ab:

#### **1. Ermöglichung einer systematischen und zielgerichteten Analyse**

Der Ansatz muss eine einfache und strukturierte Ermittlung der Prozessumfänge und eine Analyse des Einsatzes von CAX-Technologien ermöglichen.

#### **2. Integrierte Bewertung von Prozessveränderungen beim Einsatz von CAX-Technologien**

Durch die Bewertung müssen die Beziehungsfaktoren zwischen Prozess, Informationstechnologien und Produkt ermittelt sowie die Auswirkungen durch CAX-Technologien auf Prozesse der Produktentwicklung abgeleitet werden können. Der Ansatz muss dazu Bewertungskriterien und eine Methode bereitstellen, um eine Bewertung der Lösungsalternativen einer Prozessoptimierung zu ermöglichen.

### 3. Anwendbarkeit des Verfahrens

Der Ansatz muss mit vertretbarem Aufwand eine effiziente Anwendung der Methode ermöglichen, damit eine Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung erfolgen kann. Der Ansatz soll Entscheidungsgrundlagen liefern, um im Weiteren Handlungsanweisungen ableiten zu können.

Im Vergleich der verschiedenen Ansätze in Tabelle 9 zeigt sich, dass keiner der Ansätze zur Unterstützung der Systematisierung von Prozessen in der Produktentwicklung alle vorgegebenen Kriterien erfüllt. Die deutlichsten Defizite der Ansätze sind im Bereich der Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung und den Bewertungskriterien und -methode beim Einsatz von CAx-Technologien zu sehen.

Kriterien der Bewertung  Ansätze zur Systematisierung von Teilprozessen der Produktentwicklung	Einfache und strukturierte Ermittlung der Prozessumfänge	Analyse des Einsatzes von CAx-Technologien	Beziehungsfaktoren von Prozess, Informationstechnologien und Produkt	Auswirkungen durch CAx-Technologien auf Prozesse der Produktentwicklung	Bewertungskriterien und -methode beim Einsatz von CAx-Technologien	Bewertung der Lösungsalternativen einer Prozessoptimierung	Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung	Bildung von Entscheidungsgrundlagen und Handlungsanweisungen
Gestaltung und Modellierung von Prozessen der Produktentwicklung	●	○	○	○	○	○	○	○
Bewertung von Prozessen der Produktentwicklung	○	○	○	○	○	○	○	○
Optimierung der Leistung von Prozessen der Produktentwicklung	●	●	○	○	○	○	○	○
Ansätze für eine integrierte und digitale Produktentstehung	○	○	○	○	○	○	○	○
Einführung von CAx-Technologien	○	○	○	○	○	○	○	○
Kennzahlensysteme zur Bewertung des Einsatzes von Informationstechnologien	○	○	○	○	○	○	○	○
Interpretation von Veränderungen durch Informationstechnologien	○	○	○	○	○	○	○	○
Bereitstellung eines digitalen Produktmodells	○	○	○	○	○	○	○	○

Tabelle 9: Vergleich der wichtigsten Ansätze zur Unterstützung der Systematisierung von Prozessen in der Produktentwicklung

Legende: ● größtenteils erfüllt bis ○ größtenteils nicht erfüllt

Die ermittelten Defizite sowie die Zielstellung aus Kap. 2.1 bilden im folgenden Kapitel die Basis für die Entwicklung einer Methode zur Systematisierung von Teilprozessen der Produktentwicklung mit dem Einsatz von CAx-Technologien sowie die Ableitung von Anforderungen an den Ansatz einer Methode.

## 4 Entwicklung eines Ansatzes für eine Methode zur Systematisierung von Teilprozessen der Produktentwicklung beim Einsatz von CAx-Technologien

Wie aus Kapitel 0 und 3 hervorgeht, machen die Anforderungen an Unternehmen eine Optimierung ihrer Entwicklungsprozesse nötig. Denn je komplexer ein Produkt ist, desto umfangreicher ist die Anzahl der Teile und damit verbunden die Anzahl der Entwicklungsaktivitäten.

Die Steigerung der Entwicklungsaktivitäten erhöht wiederum die Komplexität der Prozesse, in denen die Entwicklungsaktivitäten in logischen Verläufen zusammengefügt werden. Um der enormen Komplexitätssteigerung und den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen gerecht werden zu können und um die benötigten Informationen in kürzerer Zeit gewinnen und verarbeiten zu können, muss ein verstärkter durchgängiger Einsatz von Informationstechnologien erfolgen. Trotz der enormen Vorteile der Digitalisierung birgt dies aber auch ein Risiko. So können erforderliche Software- und Hardware-Anschaffungen an den lokalen Investitionskosten und dem Risiko des erhofften Nutzens scheitern.

Der in Kapitel 3 referierte aktuelle Stand des Wissens zeigt, dass CAx-Technologien bisher für die Systematisierung der Prozesse der Produktentwicklung nicht als mögliches treibendes Element angesehen werden. Damit werden die Möglichkeiten und die Besonderheiten von CAx-Technologien erst zu einem späteren Zeitpunkt in Betracht gezogen, wenn nahezu der gesamte Prozess der Produktentwicklung schon festgeschrieben ist. Eine Veränderung aufgrund des Einsatzes von CAx-Technologien wird daher nicht mehr berücksichtigt.

Da es bisher für eine Planung und Abschätzung des Einsatzes von CAx-Technologien keinen Ansatz gibt, werden in dieser Arbeit einzelne Werkzeuge und Hilfsmittel zur Erhebung, Analyse, Veränderung und Bewertung von Teilprozessen für eine Systematisierung mit CAx-Technologien entwickelt.

### 4.1 Struktur und Bestandteile der Methode

Damit eine systematische Einführung von CAx-Technologien erfolgen kann, ist ein definiertes und reproduzierbares Methodenmodell zu entwickeln. Das Methodenmodell soll aus verschiedenen aufeinander aufbauenden und vernetzten Bestandteilen bestehen (vgl. Abbildung 7). Der Ablauf orientiert sich an einem Problemlösungskreislauf. Die einzelnen Phasen sind nicht als streng lineares Schema zu verstehen. Bei Bedarf erfolgen Schleifen und Rückkopplungen zwischen den einzelnen Phasen. Die Hauptphasen sollen sein:

#### **I. Vorbereitung - II. Zustandsanalyse - III. Potenzialanalyse - IV. Gestaltung.**

In der **Phase I „Vorbereitung“**, müssen die grundlegenden Produktdaten in Verbindung mit den Entwicklungsaktivitäten gebracht werden. Die Bildung von Teilprozessen muss ermöglicht werden, damit der Betrachtungshorizont eingegrenzt werden kann und eine Komplexitätsminderung des gesamten Prozesses der Produktentwicklung möglich wird. Aus den Produktdaten und standardisierten Prozessaktivitäten sind im Weiteren Prozessfunktionen zu bilden, um die Basis für eine einheitliche Prozesssprache zu schaffen.

In der **Phase II „Zustandsanalyse“** sollen gezielt Informationen über den Einsatz von CAx-Technologien in den Teilprozessen der Produktentwicklung erhoben werden. Dazu müssen eine quantitative und qualitative Analyse der Häufigkeit von CAx-Technologien im Prozess und eine Bewertung der potenziellen Prozessfunktionen stattfinden. Dies wird an einem Teilprozess für eine einzelne und für mehrere CAx-Technologien durchgeführt. Die

CAX-Technologien sind zu definieren und anhand von Klassifikationsmerkmalen zu differenzieren.

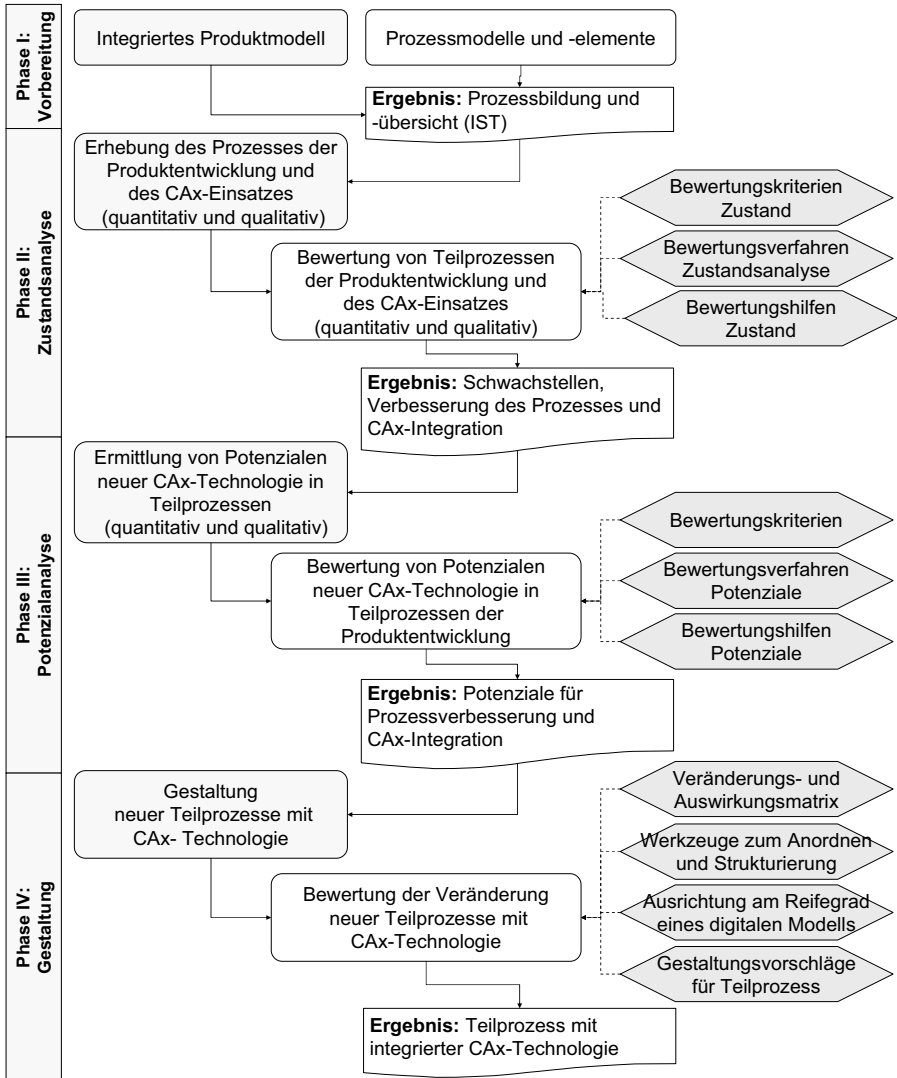


Abbildung 7: Phasen, Schritte und Bestandteile der Methode

In der **Phase III „Potenzialanalyse“** sind qualitative und quantitative Potenziale hinsichtlich der Ist-Situation zu erheben und zu definieren. In dieser Phase müssen Klassifizierungsmerkmale von CAX-Technologien sowie zeit- und kostenrelevante Bewertungskriterien bereitgestellt werden. Es müssen gezielt die Ursachen des mangelnden Einsatzes von CAX-Technologien ermittelt werden, damit im Weiteren die Optimierung des Teilprozesses ermöglicht wird. Aus den Ergebnissen sollen Handlungsempfehlungen für

die Auswahl von CAx-Technologien, die Eintaktung und die Vernetzung der einzelnen Prozesselemente abgeleitet werden.

Nach den Analysen zur Ist-Situation muss innerhalb **Phase IV „Gestaltung“** die Anwendung von spezifischen Gestaltungs- und Bewertungsverfahren auf den Ist-Prozess erfolgen. Hierzu müssen spezielle Gestaltungsansätze und Bewertungsschlüssel aufgestellt werden. Diese sollen neue Bewertungskriterien in Verbindung mit einem speziellen Bewertungskatalog beinhalten, damit beim Einsatz von CAx-Technologien die Auswirkungen einer Veränderung auf Prozessfunktionsebene ermittelt werden können. Die Ermittlung der potenziellen Ansatzpunkte dient dazu, eine zielgerichtete Veränderung in Form einer Rangliste vornehmen zu können. Daraus sollen sich die notwendigen Handlungsanweisungen für eine Soll-Prozessgestaltung ergeben.

Zur Bewertung des Einsatzes von CAx-Technologien, der Durchgängigkeit und den sich ergebenden möglichen Prozessveränderungen muss der Ist- und Sollzustand bei einem Einsatz von einer oder mehreren CAx-Technologien erfolgen. Hierzu sind wie auf der Elementebene Bewertungskriterien für einen Bewertungskatalog zu definieren. Nach der Ermittlung der Potenziale, der Entscheidung über eine Veränderung des Einsatzes von CAx-Technologien sowie der Erstellung eines neuen Soll-Prozesses muss die Überführung in ein Umsetzungskonzept erfolgen.

## 4.2 Anforderungen an die Methode

Aufbauend auf dem aktuellen Stand des Wissens und seiner Defizite (Abschnitt 3.4) werden im Folgenden die Anforderungen (s. Tabelle 10) für die Methode zur Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung beim Einsatz von CAx-Technologien entwickelt.

Aus Zielsetzung abgeleitete Kriterien	Anforderungen an die Methode
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einfache und strukturierte Ermittlung der Prozessumfänge</li> <li>▪ Analyse des Einsatzes von CAx-Technologien</li> </ul>	Anforderungen an die systematische und zielgerichtete Analyse
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beziehungsfaktoren zwischen Prozess, Informationstechnologien und Produkt</li> <li>▪ Auswirkungen durch CAx-Technologien auf Prozesse der Produktentwicklung</li> <li>▪ Bewertungskriterien und -methode beim Einsatz von CAx-Technologien</li> <li>▪ Bewertung der Lösungsalternativen einer Prozessoptimierung</li> <li>▪ Effiziente Anwendung der Methode</li> </ul>	Anforderungen an die integrierte Bewertung von Prozessveränderungen beim Einsatz von CAx-Technologien
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung</li> <li>▪ Bildung von Entscheidungsgrundlagen und Handlungsanweisungen</li> </ul>	Anforderungen an die Anwendbarkeit der Methode

Tabelle 10: Vergleich von Kriterien und Anforderungen an die Methode

Die Anforderungen an die Methode setzen sich wie folgt zusammen:

- **Anforderungen an die systematische und zielgerichtete Analyse**

Vor dem Hintergrund, dass die systematische und zielgerichtete Einführung von CAx-Technologien mit einem hohen Aufwand verbunden und durch viele Einflussfaktoren

risikobehaftet ist, werden folgende Anforderungen an eine systematische und zielgerichtete Analyse gestellt:

### **Realitätsnähe**

Mit der Methode sollen reale Teilprozesse in der Produktentwicklung analysiert und optimiert werden. Die Teilprozesse sollen möglichst realitätsnah sein um wirklichkeitsnahe Erkenntnisse zu bekommen.

### **Komplexitätsminderung**

Durch eine systematische Strukturierung des Produktentwicklungsprozesses in Teilprozesse sollen überschaubare und beherrschbare Betrachtungsbereiche gebildet und transparent gemacht werden.

### **Strukturierung**

Durch eine hierarchische Strukturierung soll nicht nur der Prozess der Produktentwicklung in Teilprozesse, sondern auch die Möglichkeit der Generierung eines Gesamtergebnisses aus Teilergebnissen bei der Bewertung gewährleistet werden.

### **Detaillierung**

Die Methode soll einen Prozess in seinen Details betrachten, damit die Systematisierung von Teilprozessen mit einem effektiven und effizienten Einsatz von CAx-Technologien gewährleistet werden kann.

## **• Anforderungen an die integrierte Bewertung von Prozessveränderungen beim Einsatz von CAx-Technologien**

Für eine systematische und zielgerichtete Analyse und integrierte Bewertung von Prozessveränderungen durch einen Einsatz von CAx-Technologien in Teilprozesse der Produktentwicklung sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

### **Ermittlung von Wechselwirkungen**

Eine der wichtigen Aufgaben besteht in der Ermittlung der grundlegenden Wechselwirkungen zwischen den Prozessen der Produktentwicklung, den Informationstechnologien, im Speziellen den CAx-Technologien, und dem Produkt.

### **Ganzheitliche Bewertung**

Die Methode soll den Zustand hinsichtlich einer CAx-Technologie und eines Verbundes an CAx-Technologien bewerten. Eine ganzheitliche Bewertung ist notwendig, da nur so die gesamten Potenziale der CAx-Technologien ermittelt werden können.

### **Einsatz von Werkzeugen**

Durch den Einsatz von Bewertungs- und Gestaltungswerkzeugen soll eine Vereinfachung der Anwendung und eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gewährleistet werden.

## **• Anforderungen an die Anwendbarkeit der Methode**

Die Anwendbarkeit der Methode soll in der Praxis gewährleistet werden. Daher werden bezüglich der uneingeschränkten und effizienten Nutzung folgende Anforderungen an die Methode gestellt:

### **Flexibilität**

Die zu entwickelnde Methode soll flexibel einsetzbar sein und in der gesamten Produktentwicklung verschiedener Branchen angewendet werden können.

**Effizienz**

Die Methode soll mit geringem Aufwand durchführbar sein.

**Anwendbarkeit**

Die Methode muss von Praktikern in produzierenden Unternehmen reproduzierbar angewendet werden können.

**Durchgängigkeit**

Es dürfen keine Brüche im Methodenmodell vorhanden sein, die zu unnötigem Verzug oder Aufwand führen.

**Strategische Ausrichtung**

Durch die Ergebnisse sollen strategische Entscheidungsgrundlagen für die Einführung von CAx-Technologien gegeben werden.

**4.3 Zusammenfassung und Gewichtung der Anforderungen**

Die genannten Anforderungen an die Methode beziehen sich auf die Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung beim Einsatz von CAx-Technologien. Die zentralen Bestandteile der Methode werden die Vorbereitung, Zustandsanalyse, Potenzialanalyse und Gestaltung sein. Die Anforderungen werden hinsichtlich der Notwendigkeit bewertet und dienen als Vergleichsgrößen in der abschließenden Evaluation im Kapitel 7.

Die einzelnen Hauptanforderungen sind in Tabelle 11 zusammengefasst und hinsichtlich ihrer Notwendigkeit gewichtet.

Kriterien		Anforderung
Systematische und zielgerichtete Analyse	Realitätsnähe	●
	Komplexitätsminderung	●
	Strukturierung	◐
	Detaillierung	◐
Integrierte Bewertung von Prozessveränderungen beim Einsatz von CAx-Technologien	Ermittlung von Wechselwirkungen	●
	Ganzheitliche Bewertung	●
	Einsatz von Werkzeugen	●
Anwendbarkeit der Methode	Flexibilität	◐
	Effizienz	◐
	Anwendbarkeit	●
	Durchgängigkeit	●
	Strategische Ausrichtung	◐

Tabelle 11: Anforderungen an die Methode

Legende: ● sehr wichtig bis ○ unwichtig

## 5 Konzeption der Methode zur Systematisierung eines Teilprozesses in der Produktentwicklung beim Einsatz von CAX-Technologien

Basierend auf dem Ansatz und den Anforderungen, die in Kapitel 4 beschrieben sind, werden im Folgenden die einzelnen Phasen der Methode im Detail konzipiert. Dabei werden Hilfsmittel und Abläufe für die Systematisierung eines Teilprozesses in der Produktentwicklung beim Einsatz von CAX-Technologien entwickelt.

Die Methode verfolgt einen systematischen und modularen Aufbau und besteht aus vier aufeinander aufbauenden Phasen. Im Abschnitt 5.5 wird die Methode zusammengefasst.

### 5.1 Phase I: Vorbereitung

In der Phase I werden die Analyseziele und der Gestaltungsrahmen festgelegt. Die hierfür erforderlichen Kenntnisse und Kriterien werden in den Abschnitten 5.1.1 bis 5.1.4 ermittelt. Der Gestaltungsrahmen beinhaltet die Kenntnis der Eigenschaften des Produktes und seiner Bestandteile. Zudem wird der Prozess der Produktentwicklung eingegrenzt, und für die Prozessanalyse, die in der Phase II erfolgt, wird der Ist-Zustand vorbereitet.

#### 5.1.1 Produkteigenschaften

Um die Einflüsse zwischen Produkt und Entwicklungsprozess beim Einsatz von CAX-Technologien herausstellen zu können, bedarf es der Kenntnis der Ausprägungen, der Eigenschaften und der Spezifika des Produktes. Zudem müssen die strukturellen und funktionalen Zusammenhänge der unterschiedlichen Bestandteile eines Produktes in die Betrachtung einbezogen werden, denn diese Zusammenhänge sind in einer integrierten Produktentwicklung wichtig für die Bildung und Anwendung eines integrierten Produktmodells (s. Abschnitt 3.3) und eines integrierten Produktentwicklungsprozesses.

Die Produkteigenschaften können in drei Produktmerkmalsbereiche – die Beschaffenheit, die Funktion und deren Relation – untergegliedert werden. Die Beschaffenheit wird meist unmittelbar festgelegt, während die Funktionen und Relationen mittelbar festgelegt werden, obwohl sie unmittelbar gefordert werden. Je mehr Ausprägungen die Produktmerkmale haben desto umfangreicher wird das Produkt. Alle drei Produktmerkmale sind direkt oder indirekt miteinander verbunden. Je nachdem, aus welcher „Richtung“ die Produkteigenschaften festgelegt werden, ergeben sich Forderungen an die anderen Eigenschaften.

In Tabelle 32 (im Anhang) sind geometrische, stoffliche und funktionale Produkteigenschaften aufgeführt. Wirtschaftlich relevante Eigenschaften werden aufgrund der Fokussierung der Arbeit außer Acht gelassen. Zu Beginn der Gestaltung von Prozessen müssen die Produkteigenschaften festgelegt sein. Der Einsatz von Informationstechnologien kann die Festlegung der Produkteigenschaften zusätzlich unterstützen.

#### 5.1.2 Produktschnittstellen

Einzelteile oder Module des Produktes sind über **Produktschnittstellen** verbunden. Die Produktschnittstellen sind Merkmale sowohl für die Struktur des Gesamtproduktes, als auch für den Entstehungsprozess und sind innerhalb eines Prozesses zu entwickeln.

Die Produktschnittstellen stehen in Verbindung zu den Produkteigenschaften und werden durch funktionale, strukturelle und geometrische Merkmale beschrieben (vgl. Tabelle 33 - Anhang). Sie beschreiben statische oder dynamische funktionale Zusammenhänge.

Statische Zusammenhänge sind durch Betrachtung, Messung und Analyse zu beurteilen. Dynamische Zusammenhänge (Dämpfung, Fluss, ...) können nur durch einen realen Versuch/Test oder durch eine Berechnung mit CAx-Technologie analysiert werden.

Zur Verdeutlichung des Einflusses von CAx-Technologien auf Produktschnittstellen und damit auf den Entwicklungsprozess kann folgendes Beispiel angeführt werden:

Bei einem Einsatz von Zeichnungen oder 2-D-Darstellungen wird immer ein zeit- und kostenintensiver Prototyp realisiert und unter identischen Testbedingungen untersucht. Zudem kann nur durch aufwendige Untersuchungen das Innere der Prototypenteile nach einem Testverlauf untersucht werden. Mit dem Einsatz von CAx-Technologien, wie z. B. 3-D CAD, Simulation, oder VR, entstehen weiterreichende Möglichkeiten [Wes06c]. So können z. B. beim Konstruieren die Schnittstellen zu anderen Bauteilen am Rechner untersucht werden. Zudem kann mittels Simulation nicht nur das einzelne Bauteil, sondern auch das Gesamtprodukt digital getestet werden. Da die Versuchsbedingungen immer die gleichen sind, ist der Zeitgewinn hoch, und damit können die realen Versuche und die physischen Prototypen reduziert werden.

Eine weitere Möglichkeit bietet z. B. eine FEM-Simulation. Hierbei werden Erkenntnisse über die innere Struktur der Bauteile gewonnen. Dies ist sonst nur durch aufwendige Versuche und Messungen möglich. Wenn dem Entwickler allerdings diese CAx-Technologie zur Verfügung steht, gewinnt er wesentlich umfangreichere Erkenntnisse, denn es besteht die Möglichkeit, mehrere Iterationszyklen in kurzer Zeit durchzuführen.

Durch die CAx-Technologien entstehen somit neue Prozessschritte, z. B. durch eine FEM-Simulation oder Untersuchung der Produktschnittstellen. Für Produktschnittstellen bedeutet es in diesem Fall, dass ein Prototyp schneller und einfacher untersucht werden kann und die Schnittstellen besser aufeinander abgestimmt werden können. Dies wiederum bewirkt eine Prozessveränderung, da Prozessschritte, die mit den Produktschnittstellen gleichzusetzen sind, entweder eliminiert oder erweitert werden.

### 5.1.3 Veränderung der Komplexität eines Produktes

Die **Komplexität eines Produktes** entsteht durch das Produktspektrum (Teile und Varianten) sowie durch die Anzahl der daraus resultierenden strukturellen und funktionalen Produkteigenschaften in Verbindung mit den Relationen [Gra02]. Je mehr Eigenschaften vorhanden sind, desto größer wird die Komplexität. Dies zeigt sich bei mechatronischen Produkten, die aus mechanischen und elektronischen Eigenschaften bestehen und zusätzlich die Integration von Software beinhalten.

Durch die Zunahme der Produkteigenschaften wird auch das Produktmodell komplexer. Um aber die komplexen Zusammenhänge transparent darstellen und die Komplexität vermindern zu können wird ein **integriertes und digitales Produktmodell** eingesetzt. Die Basis dieses Modells bildet eine integrierte, generische Produktstruktur, die sehr eng mit dem Prozess der integrierten Produktentstehung verbunden ist. Die Einführung und Betreuung dieses Ansatzes wird durch das **Komplexitätsmanagement** unterstützt. Es hat das Ziel eine möglichst vollständige Erfassung der „Komplexität“, d. h. aller Möglichkeiten des Produktspektrums, zu erhalten. Zur **Komplexitätsverarbeitung** erfolgt eine klare Trennung von Strukturierung und Spezifikation. Es muss eine Berücksichtigung von Freiheitsgraden, Systemen etc. stattfinden, wobei eine möglichst geringe Unabhängigkeit der einzelnen Freiheitsgrade oder Produktumfänge voneinander angestrebt wird.

Das integrierte und digitale Produktmodell ist zudem ein integrierendes Element, das lokale informationstechnologische Insellösungen zu einem Gesamtsystem vereint. Es entsteht ein integriertes Konstrukt aus Produktmodell und Informationstechnologien. Die

komplexen Zusammenhänge können dabei durch den Einsatz spezieller Informationstechnologien, z. B. Daten-Management-Systeme, leichter gemanagt werden.

### 5.1.4 Klassifizierung von Prozessschritten in der Produktentwicklung

Die Produktentwicklung findet nach gerichteten Tätigkeiten, Schritten oder Aktivitäten statt, die innerhalb eines Entwicklungszyklus nahezu immer wieder vorkommen. Eine Aktivität bildet mit einem Objekt eine Prozessfunktion. Bei den Objekten handelt es sich um Elemente des Produktes (s. hierzu die Abschnitte 3.1.1 und 3.3.2). Es werden unmittelbare und mittelbare Entwicklungstätigkeiten unterschieden.

Eine grundlegende Anordnung der einzelnen Aktivitäten ist in Abbildung 8 aufgeführt. Abgebildet sind übergreifende (unmittelbare) Aktivitäten, die Querschnittsfunktionen, und direkte (mittelbare) Aktivitäten, die spezifischen Funktionen. Arbeitsschritte werden daher auch als Prozessfunktionen (Funktionen des Prozesses) bezeichnet.

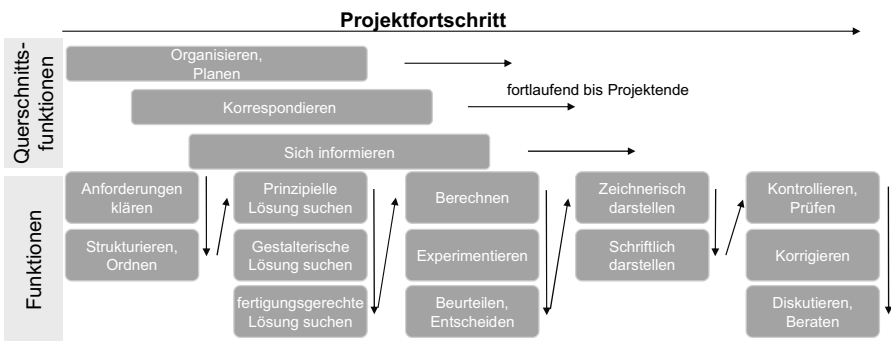


Abbildung 8: Unmittelbare und mittelbare Entwicklungstätigkeiten

Die Prozessfunktionen müssen einheitlich definiert werden. Standardisierte Begriffe liefern eine klare Beschreibung, denn z. B. in Bereichen der Produktentwicklung werden oftmals andere Begriffe als in der Produktion oder -planung verwendet. Um eine Standardisierung der Beschreibung von Entwicklungsprozessen zu gewährleisten, ist eine einheitliche Beschreibung für alle Bereiche, Prozessaktivitäten oder Funktionalitäten von CAX-Technologien notwendig.

Für die Bildung der Prozessfunktionen werden Begriffe der allgemeinen Entwicklungstätigkeiten verwendet. Die wesentlichsten Begriffe sind in Tabelle 31 (im Anhang) aufgeführt. Eine Erweiterung kann vorgenommen werden. Die Entwicklungstätigkeiten werden in Grundtätigkeiten und begleitende Tätigkeiten eingeteilt. Die Grundtätigkeiten sind wiederum in die Bereiche Lösungssuche und Lösungsauswahl unterteilt. Innerhalb dieser Bereiche finden die eigentlichen Entwicklungstätigkeiten statt (z. B. das Bauteilvolumen berechnen und prüfen; Fehler am Bauteil analysieren; diesbezügliche Entscheidungen treffen und Korrekturen vornehmen).

### 5.1.5 Ergebnis

Für die Phase I der Vorbereitung sind folgende Ergebnisse relevant:

Das Produkt mit seinen Eigenschaften ist das elementare Objekt eines Produktentwicklungsprozesses. Je komplexer, d. h. je umfangreicher seine Bestandteile, Produktfunktio-

nen und Zusammenhänge sind, desto umfangreicher (komplexer) ist auch der dazugehörige Entwicklungsprozess.

Der Einsatz von CAX-Technologien und Informationstechnologien vereinfacht und beschleunigt die Entwicklung der Produkteigenschaften und die Untersuchung von Produktschnittstellen. Damit kommt es zu einer Veränderung der Entwicklungsprozesse.

Die Komplexität des Produktes und des Prozesses kann durch eine Strukturierung und den Einsatz von Informationstechnologien reduziert werden. Eine umfassende Transparenz über das Produkt und den Entwicklungsprozess erleichtert den Umgang und die Kontrolle der Komplexität. Nur auf diese Art können mögliche Fehlerfortpflanzungen oder negative Wechselwirkungen innerhalb der Produktentwicklung und ihrer Prozesse erkannt und vermieden werden.

## **5.2 Phase II: Zustandsanalyse**

In der Zustandsanalyse erfolgt eine detaillierte Analyse des Ist-Zustandes. Der Prozess der Produktentwicklung wird zuerst in Teilprozesse unterteilt. Damit wird eine erste Reduzierung der Komplexität vorgenommen. Die Teilprozesse werden detailliert ausgebildet und Angaben zu verwendeten bzw. möglichen CAX-Technologien erhoben. Darüber hinaus wird eine Auswertung der Entwicklungsschritte hinsichtlich der Häufigkeit und der Möglichkeiten zur Unterstützung der Funktionen durch den Einsatz von CAX-Technologien vorgenommen. Dabei können gezielt Schwachstellen im Prozess und Möglichkeiten der Systematisierung lokalisiert werden. Die Lokalisierung liefert zudem die Anforderungen für eine Integration von prozessunterstützenden CAX-Technologien.

Die für die Zustandsanalyse erforderlichen Kenntnisse, Kriterien und Hilfsmittel werden in den Abschnitten 5.2.1 bis 5.2.5 ermittelt, entwickelt und beschrieben.

### **5.2.1 Veränderung der Komplexität von Prozessen der Produktentwicklung**

Der Prozess der Produktentstehung ist unterschiedlichen unternehmensinternen und externen Einflüssen ausgesetzt [Ber07] (s. Abbildung 52 im Anhang). Seine Komplexität wird z. B. durch die Unternehmensstruktur und -strategie beeinflusst. Bei einer Verlagerung, bspw. von Prozessanteilen auf externe Partner, erfolgt eine Ausweitung von Entwicklungsprojekten und damit eine Komplexitätszunahme. Dadurch entstehen weitere Schnittstellen für den Prozess und die CAX-Technologien, die berücksichtigt werden müssen. Werden ferner mehrere Produktvarianten und Modelle parallel entwickelt, so nimmt die Komplexität der integrierten Entwicklungsprozesse ebenfalls zu.

Die Komplexität eines Entwicklungsprozesses hängt von einzelnen Merkmalen ab, die wiederum Auswirkungen auf die ganzheitliche Gestalt eines Entwicklungsprozesses haben. In Tabelle 12 werden diese Merkmale und ihre Ausprägungen aufgeführt und deren Relevanz für eine Beeinflussung der Prozessgestaltung ausgewiesen.

Wenn z. B. im konstruktionstechnischen Bereich, durch die steigende Produktvielfalt/-ausprägung der Umfang des Entwicklungsprozesses erhöht wird, beeinflusst er alle Tätigkeiten, vom Entwurf und der Ausarbeitung neuer Erzeugnisse bis zur Verwaltung, Pflege und Modifikation von bestehenden Varianten. Der Umfang und die Schnittstellen des Produktes sind somit für die Komplexität eines Prozesses der Produktentwicklung genauso verantwortlich wie die Anordnung der Arbeitsschritte und der Einsatz der CAX-Technologien.

Durch den Einsatz von Informationstechnologien können Informationen, die bisher nur in einzelnen Abteilungen erzeugt wurden und vorhanden sind, zentral gespeichert werden.

Sie sind dadurch jederzeit im Entwicklungsprozess zugänglich. Weitere Informationstechnologien bieten zudem die Möglichkeit, verschiedene Bereiche ortsunabhängig zu integrieren und erlauben eine Vernetzung von Unternehmensstandorten.

<b>Merkmale</b>	<b>Ausprägungen</b>	<b>R</b>
▪ Anzahl Arbeitsschritte	Produktbeschaffenheit / Produktfunktion / Produktrelation	+
▪ Anordnung Arbeitsschritte	Sequenziell / parallel / Mischform	+
▪ Abhängigkeiten / Rückkoppelung Teilaufgaben	Abhängig / unabhängig	+
▪ Rollen der Mitarbeiter	Spezialist / Sachbearbeiter / Hilfsarbeiter	-
▪ Anzahl an Ressourcen	Eine / mehrere	-
▪ Abhängigkeit der Aufgabenerfüllung von der Rolle	Abhängig / nützlich / unabhängig	-
▪ Veränderlichkeit	- Wiederholung ohne Veränderung der Struktur	-
	- Planbarkeit der Kommunikation während der Informationsbeschaffung	-
	- Offenheit des Prozessergebnisses	-
	- Änderungsanfall, bedingt durch organisationsinterne oder -externe Anforderungen	-
▪ Vernetzung	- Schnittstellen zu anderen Prozessen	+
	- Datennutzung mit anderen Prozessen (Vernetzung von CAx-Technologien)	+
	- Prozesshierarchie (Beitrag zu über-, unter- oder nebengeordneten Prozessen)	+
▪ Zusammenarbeit	Integriert / lose verknüpft	+
▪ Produkt	Teil / Komponente / Variante	+
▪ Aufgabenverteilung	Ja / nein	-

Tabelle 12: Veränderung der Komplexität des Prozesses

Legende: Einfluss auf Prozessgestaltung bzgl. der Systematisierung hinsichtlich des Einsatzes von Informationstechnologien: Relevanz (R): - : indirekt +: direkt

### 5.2.2 Schnittstellen von Prozessen der Produktentwicklung

Die Transparenz der Prozesse der Produktentwicklung ist wichtig, damit sie kontrolliert und gesteuert werden können. Durch mangelhaft abgestimmte Prozesse entstehen im Prozess meist Fehler und Folgefehler, die zulasten der Produktqualität gehen und zusätzliche Aufwände und Kosten verursachen.

Der gesamte Prozess der Produktentwicklung wird zur Minderung der Komplexität in Teilprozesse unterteilt, wobei die Unterteilung vom Anteil der Wertschöpfung abhängt. Die Teilprozesse werden in Prozessschritte unterteilt und diese wiederum bestehen aus Prozessfunktionen (s. Abschnitt 3.1.2).

Wertschöpfende Teilprozesse sind [Oes95; Rüe00]:

- unmittelbar (sog. Kernprozesse)
- mittelbar (sog. Führungsprozesse, Unterstützungsprozesse oder Querschnittsprozesse)
- nicht wertschöpfend (sog. Verwaltungsprozesse)

Um Teilprozesse zu vernetzen und zu kontrollieren, müssen die Schnittstellen definiert und im Prozess der Produktentwicklung etabliert werden. Diese sind auch besonders beim Einsatz von CAx-Technologien notwendig, da bei der Integration von CAx-Technologien ein durchgängiger Einsatz realisiert werden soll.

Denn bei der Integration von CAX-Technologien ist der Informationsfluss eine wichtige Größe zur Systematisierung und Strukturierung von Teilprozessen. Da an den Schnittstellen uneingeschränkt Daten und Informationen ausgetauscht werden müssen. Die uneingeschränkte Kommunikation und Kooperation an den Schnittstellen ist somit zu gewährleisten. Allerdings wird nur eine **selektive Vererbung** benötigt: d. h., nur die Informationen werden weitergegeben, die für die unter-, neben- oder übergeordneten Komponenten relevant sind.

In Tabelle 13 sind einzelne Merkmale der Schnittstellen aufgeführt. Die Schnittstellen innerhalb eines Teilprozesses werden aus den Abhängigkeiten innerhalb der Abfolge zwischen den einzelnen Arbeitsschritten gebildet. Die Schnittstellen sind hinsichtlich ihrer Flexibilität direkt oder indirekt ausgeprägt. Eine **direkte Schnittstelle** ist für den Fortgang des Prozesses unumgänglich, während eine **indirekte Schnittstelle** anderen Prozessbereichen die Möglichkeit z. B. der Einsichtnahme bietet. Die indirekte Schnittstelle nimmt mit dem Einsatz von CAX-Technologien und der integrierten Digitalisierung an Bedeutung zu und muss stärker berücksichtigt werden.

Merkmal	Ausprägung
▪ Aufbau	Teilprozess / Prozessschritt / Arbeitsschritt
▪ Information	Input / Output
▪ Funktion des Arbeitsschrittes	Eigenständig / als Treiber / als Vorderer
▪ Organisationseinheit	Gleich / ungleich
▪ Wissen	Nötig / unnötig
▪ Technologie	Selbstständig / Nachfolger / Vorgänger
▪ Anordnung	Autark / verzahnt
▪ Einfluss	Treiber / Getriebener / Vorderer
▪ Flexibilität	Direkt / indirekt

Tabelle 13: Schnittstellen von Prozessen der Produktentwicklung

### 5.2.3 Spezifizierung von CAX-Technologien für die Integration und die Bewertung des Einsatzes

Um über die Vielzahl der Informationstechnologien respektive der CAX-Technologien einen Überblick zu bekommen, müssen diese nach Typen und Klassen unterteilt werden.

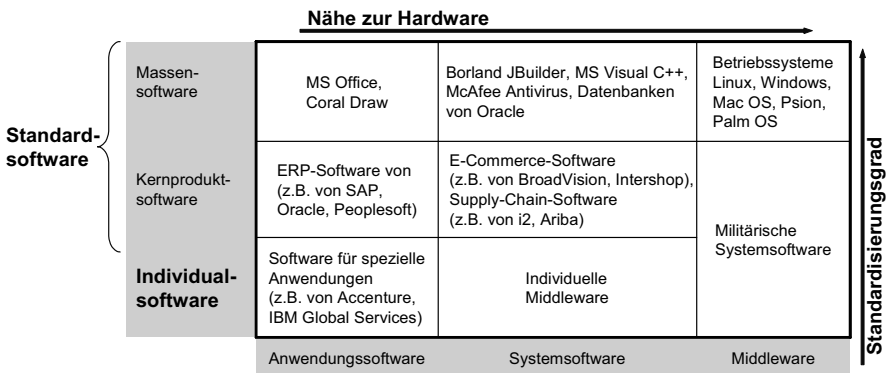


Abbildung 9: Typen von Informationstechnologien [Schw00]

Bei den Informationstechnologien handelt es sich um Typen aus dem Bereich Standard- und Individualsoftware. Die Standardsoftware kann in Massen- und Kernproduktsoftware unterteilt werden. Der Standardisierungsgrad ist bei der Massensoftware im Gegensatz zur Individualsoftware am höchsten (s. Abbildung 9).

Die Spezifizierung von CAx-Technologien ist für die Ermittlung der Häufigkeit von CAx-Technologien im Prozess, die Bewertung des Einsatzes und für die zu erwartende Qualität des Ergebnisses notwendig. Zudem liefert die Spezifizierung Merkmale und Größen für eine Bewertung der einzelnen CAx-Technologien hinsichtlich der Integration in einen Verbund von CAx-Technologien.

Dies ist umso wichtiger, als bei einer ganzheitlichen Digitalisierung und ihrer geforderten Durchgängigkeit verschiedene CAx-Technologien in einen Produktentwicklungsprozess mit einer hohen Effizienz integriert werden können. Jede Soft- oder Hardware ist für eine spezielle Anwendung konzipiert. In Tabelle 14 sind Merkmale aufgeführt, nach denen CAx-Technologien unterschieden oder eingeteilt werden können.

<b>Merkmal</b>	<b>Ausprägung</b>
▪ Umfang, Varianz	Standard / modular / parametrisch
▪ Einsatzzeitpunkt	Entwicklung / Fertigung / Montage / Auslieferung / Nutzung / ...
▪ Einsatz (Sicht): Prozessbereich / Funktionsbereich	- Konstruktion / Zusammenbau / Test / Visualisierung - Kontrolle / Steuerung / Berechnung / Änderung / ...
▪ Funktionalitätsbereich	- Visualisierung / Kommunikation / Koordination / Kooperation - Planung / Anwendung / Datenmanagement / Datenhaltung und Erzeugung
▪ Strukturierung	Strukturiert / unstrukturiert
▪ Einsatzart	Unterstützend / treibend (automatisch) / kontrollierend
▪ Disziplin	Mechanik / Elektronik / Software / Chemie
▪ Funktionalität (Technik)	- Statisch / dynamisch - Beschaffenheit (geometrisch, stofflich) - Funktion (Drehzahl, Drehmoment etc.) - Relationen (Herstellkosten, Schwingungen, Temperatur etc.)
▪ Datenaustausch	- Programmschnittstelle (direkt) / synchron - Dateischnittstelle (indirekt) / asynchron
▪ Datenfluss	Import / Export / Standard / speziell
▪ Datenart	Statisch / dynamisch
▪ Konvertierung	Daten-Reduktion / Ausbesserung / Daten-Erweiterung
▪ Systemart	Daten- o. funktionsorientiert / ereignis- o. nachrichtenorientiert
▪ Benutzer	Experte / Sachbearbeiter / Mechaniker / Elektroniker
▪ Betriebssystem	Windows / DOS / Unix / Linux / ...
▪ Datenbank-anbindung	Konsistente Datenverwaltung / redundanzfreie Datenablage / automatisches Änderungswesen / ...
▪ Aktualität	Echtzeitfähigkeit / reaktives Verhalten
▪ Interaktion	Sichtweisen / Anpassung (benutzerspezifische Masken)
▪ Funktionen	Prinzipiell / individuell
▪ Anpassung (Maske, Funktionen)	- Lernfähig / flexibel einstellbar / starr - Manuell / automatisch

Tabelle 14: Spezifizierung von Informationstechnologien

Legende:  Relevante Merkmale für den Zusammenhang von CAx, Prozess und Produkt  
 Relevante Merkmale für die Prozessgestaltung in der Produktentwicklung

Diese Merkmale sind wichtige Angaben für die Integration und Bewertung von CAX-Technologien beim Einsatz innerhalb eines Prozesses. Die wichtigsten Merkmale und Ausprägungen von CAX-Technologien für die Prozessgestaltung sind:

- Zuordnung der CAX-Technologiefunktionen zu den Prozessfunktionen.
- Beeinflussung der Flexibilität eines Prozesses.
- Grad an Automatisierung und Standardisierung.
- Durchgängiger Daten- und Systemzugriff.
- Vernetzung (Datenformat, synchron und asynchron etc.).
- Interaktionsfähigkeit (Sichtweisen, Anpassung (benutzerspezifische Masken)).

Entscheidend für den Einsatz einer CAX-Technologie in Prozessen der Produktentwicklung ist die produzierte Qualität des Ergebnisses. Nur durch eine ausreichend hohe Qualität der CAX-Technologie kann eine hohe Effektivität und Effizienz sichergestellt werden. Die Qualität einer Software kann in Anlehnung an die ISO 9126 [ISO9126] durch sechs grundlegende Attribute definiert werden:

- Funktionalität (wie weit erfüllt die Applikation die gestellten Anforderungen?)
- Zuverlässigkeit (wie oft fällt die CAX-Technologie aus?)
- Qualität (welcher Informationsgehalt kann durch die Applikation gewonnen werden?)
- Benutzbarkeit (wie einfach ist die CAX-Technologie zu benutzen?)
- Effizienz (wie gut ist die Anwendbarkeit der CAX-Technologie?)
- Änderbarkeit (wie einfach ist die CAX-Technologie zu modifizieren?)
- Übertragbarkeit (wie gut ist die Applikation auf andere Umgebungen zu überführen?)

Die Attribute können als Größen bei der Bewertung der Ergebnisse der unterschiedlichen CAX-Technologien genutzt werden. Nur so können die verschiedenen Typen der CAX-Technologien, die meist herstellerspezifisch sind, miteinander verglichen werden.

## 5.2.4 Attribute und Schnittstellen von CAX-Technologien

Zur Vermeidung von Verzögerungen innerhalb eines Teilprozesses ist eine zeitnahe Zugriffsmöglichkeit auf alle für die Entwicklung erforderlichen Daten und Informationen sicherzustellen. Dies bedeutet, dass zwischen CAX-Technologien ein klar verständlicher Kommunikationsablauf mit den bestehenden Kommunikationstechniken bestehen muss.

Aus Hard- und Softwaresicht müssen die Schnittstellen zwischen den CAX-Technologien ein klar strukturiertes und verständliches Kommunikationsprotokoll beinhalten, dokumentiert sein und ein unabhängiges Konfigurieren und Einrichten der Kommunikationsschnittstellen für die einzelnen Anwendungen ermöglichen [Gra93].

Um die Hard- und Software in Verbindung mit den Anforderungen seitens des Prozesses und der Anwender auszurichten, ist es notwendig, im Vorfeld der Integration von CAX-Technologien ein allgemeines Konzept mit einer systematischen Struktur auszuarbeiten. Für die Verbindung von CAX-Technologien sind dann die Systemschnittstellen mit den Anforderungen der Prozesse sowie der Anwender abzugleichen.

**Datenschnittstellen** im CAX-Bereich müssen die Aufgaben des Informationsaustausches, der konsistenten Abbildung externer Informationen auf systeminterne Schnittstellen, die benutzerfreundliche Anwendung, die Fehlersicherheit und -behebung sowie die Anpassbarkeit an anwendungsspezifische Anforderungen unterstützen [And00; Zwi05]. Es kann zwischen systemspezifischen und -neutralen Datenschnittstellen unterschieden werden. Unterscheidungsmerkmale für systemneutrale Datenformate sind Definition (Interpretation), Anwendung (Technologie), Assoziativität (Relation) und Darstellungsart (2-D oder

3-D). Beispiele von Datenschnittstellen sind z. B. IGES, SET, VDAFS, PDDI, VDAIS, CADI, DXF oder STEP. [Dyl02, Mue90]

Die Attribute von Informationstechnologien einer Prozessfunktion sind in Abbildung 10 aufgeführt. Der Informationsfluss über Input und Output erfolgt über Informationsträger, die aus Papier oder elektronisch sind. Heutzutage erfolgt der meiste Transfer per E-Mail, ftp-Server-Zugriffe oder über spezielle Netzwerkverbindungen. Nur wenn die Datenmenge zu umfangreich ist, werden CD-ROM, Chip-Karten oder Datensticks eingesetzt. Die Hauptattribute sind das Anwendungssystem, die Kommunikationstechnik (z. B. Telefon, Fax, E-Mail oder Videokonferenz) und die Datenübertragungstechnik (z. B. ENX, ANX, Netzwerk (LAN), Funk oder W-LAN). Die Anwendungssysteme und spezifisch eingesetzten Unterstützungssysteme (vgl. Abschnitt 3.2) sind von den Hardwarekomponenten, Schnittstellen und dem Funktionsausführungsgrad abhängig. Die Hardwarekomponenten sind die „Plattform“ und für die Ausführung der CAx-Technologien zuständig. Der Datenaustausch zwischen zwei verschiedenen Anwendungssystemen kann entweder über Programmierschnittstellen (direkt) oder Dateischnittstellen (indirekt) erfolgen.

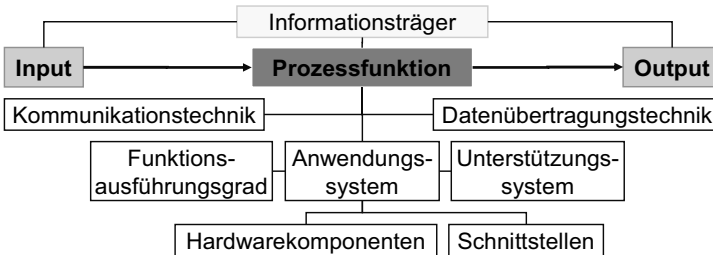


Abbildung 10: Attribute von Informationstechnologien einer Prozessfunktion [Lang96]

Ein Funktionsausführungsgrad ist das Attribut, das angibt, ob die Prozessfunktion manuell durch einen Bearbeiter, automatisch durch das Anwendungssystem oder halb automatisch, d. h. den Bearbeiter unterstützend, durchgeführt wird. Der Funktionsausführungsgrad kann als eine Größe gesehen werden, die angibt, inwieweit die Prozessfunktion, die Informationstechnologie und die Ressource (Organisation) verbunden sind.

## 5.2.5 Inhalte der Zustandsanalyse

Die **Prozesserhebung**, die sog. Identifizierung der Prozesse innerhalb der Produktentwicklung, beinhaltet die Aufnahme und Erfassung des Ist-Zustandes von Prozessen der Produktentwicklung in einem abgegrenzten System. Zur Prozesserhebung gibt es eine Vielzahl an Methoden [Ehr07]. Grundsätzlich wird zwischen der **Primär- und der Sekundärerhebung** unterschieden. Bei der Primärerhebung werden Informationen erstmalig und eigens für den Erhebungszweck gewonnen. Bei der Sekundärerhebung wird auf bereits vorhandene Dokumente und Quellen zurückgegriffen [Kal96].

Zur Erhebung der Prozessdaten werden in der Praxis die Inventurmethode, die Interviewmethode, die Fragebogenmethode, die Berichtmethode und Beobachtungen (Multimomentverfahren, Dauerbeobachtung) angewandt. Welche Methode eingesetzt wird, ist vom Unternehmensbereich und -ziel abhängig. Für den Entwicklungsbereich eignen sich mehr die Interview- und die Fragebogenmethode. In der Praxis werden mehrere Methoden kombiniert, zum Beispiel die **Inventurmethode** mit der **Fragebogen- und Interviewmethode** (siehe Tabelle 42 bis Tabelle 44 im Anhang). Sollten diese Methoden nicht ausreichen, gibt es auch die **Schätzung** und die **Ableitung** als Aufnahmemethoden. Bei der Schätzung werden Annahmen über das zu erhebende System getroffen. Bei der Ableitung

werden einzelne typische Tatbestände untersucht. Die Problematik besteht bei dieser Methode darin, die wirklich typischen Tatbestände auszuwählen.

Eine einheitliche und systematische **Prozessstrukturierung** ist notwendig, um den Überblick, die Vergleichbarkeit und die Bewertung von Prozessen sowie die Auswirkungen durch Veränderungen zu analysieren. Innerhalb einer Prozesserhebung wird daher zu Beginn der Geschäftsprozess „top-down“ unterteilt (vgl. Abschnitt 3.1.2). Durch die Strukturierung (Zerlegung), Festlegung von Schnittstellen und Aufgliederung des Gesamtprozesses werden abgegrenzte Teilprozesse gebildet. Die **Abstraktionstiefe** hängt bei der Strukturierung vom Betrachtungshorizont und den Aufgabenumfängen des Einsatzes von CAx-Technologien ab. D. h., sollen Funktionalitäten eines Prozesses hinsichtlich des Vorhandenseins, der Fähigkeit zur Anwendung oder Lösung durch eine CAx-Technologie verglichen werden, so ist eine Aufgliederung der Prozessschritte in Arbeitsschritte notwendig. In der Praxis eignet sich dies nur für ein späteres Auswahlverfahren zwischen verschiedenen CAx-Technologien oder zur abschnittsspezifischen Detailplanung.

Zur **Prozessmodellierung** und Darstellung von Prozessstrukturen werden verschiedene Werkzeuge eingesetzt. Damit werden die inhaltlich-logischen Abfolgen von Prozessfunktion, die zum Erreichen eines oder mehrerer Ziele führen, dargestellt. Die Prozessfunktion basieren dabei auf der Kombination von Objekten und Aktivitäten (vgl. Abbildung 11).

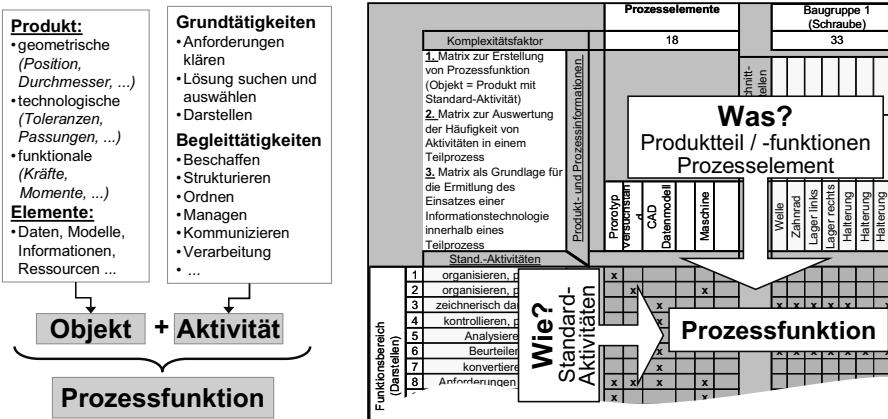


Abbildung 11: Prozess-Konfigurationsmatrix (vgl. Abbildung 63 – Anhang)

„Direkte“ **Prozessfunktionen** werden aus Partialmodellen (Teile, Produktfunktionen, Struktur, Informationen) und dem Vorranggraph des Produktes in Verbindung mit Standardtätigkeiten gebildet. Diese bilden wiederum die „indirekten“ **Funktionalitäten** für eine CAx-Technologie. Wenn bspw. die direkte Prozessfunktion „eine Schraube zeichnen“ heißt, dann ist die indirekte Funktionalität der CAx-Technologie das „Zeichnen einer Schraube“.

Mithilfe einer Liste von Standard-Aktivitäten (s. Tabelle 31 im Anhang) in Verbindung mit den Produktspezifikationen (s. Tabelle 34 im Anhang) können die direkten und indirekten Funktionalitäten aufgestellt und gegenübergestellt werden. Eine einheitliche Definition der unternehmensspezifischen Prozessfunktionen gewährleistet einheitliche Begriffe (Sprache). Die Ausbildung einheitlicher Begriffe ist notwendig, damit der gesamte Prozess einheitlich und systematisch beschrieben wird und die Funktionalitäten der CAx-Technologien hinsichtlich dieser Begriffe abgeglichen werden können. In Abbildung 11 ist eine **Prozess-Konfigurationsmatrix** zur Aufstellung von Prozessfunktionen (Produkt-

information als Objekt „WAS?“, mit Standardaktivität „WIE?“) und zur Analyse der Prozesse angeführt. Diese Matrix ermöglicht es, die Häufigkeit von Aktivitäten in einem Teilprozess zu ermitteln, und sie ist die Grundlage für die Analyse des Einsatzes von CAX-Technologien innerhalb dieses Teilprozesses.

Zusätzlich zur Erhebung der Prozessinformationen kann eine strukturierte Übersicht der eingesetzten CAX-Technologien (Systeme, Systemspezifikationen (z. B. Schnittstellen), Datenfluss, Datenformate etc.) aufgestellt werden (Abbildung 64 im Anhang). Die einzelnen CAX-Technologien werden bzgl. eines Teilprozesses abgeglichen. Dabei wird ermittelt, welche Prozessfunktion durch eine Funktionalität der CAX-Technologie ausgeführt oder unterstützt werden kann. Der Ist-Zustand der Häufigkeit bzgl. der CAX-Technologien wird bewertet und dient als Vergleichsgröße für die Ergebnisse der weiteren Schritte.

## 5.2.6 Ergebnis

Für die Phase II der Zustandsanalyse sind folgende Ergebnisse relevant:

Der Prozess der Produktentwicklung wird durch seinen Inhalt und seine Vernetzung bestimmt. Durch eine Zunahme der Einzelteile und Funktionen des Produktes kommt es zu einer Erweiterung der Umfänge der Entwicklungsaktivitäten. Dies wiederum bewirkt, dass der Prozess der Produktentwicklung komplexer wird. Durch eine Ausbildung und Etablierung von Schnittstellen kann eine Reduzierung der Gesamtkomplexität und somit mehr Transparenz realisiert werden. Schnittstellen tragen aber nicht nur zur Transparenz, sondern auch zur Kontrolle und Steuerung des gesamten Prozesses bei. Schnittstellen werden nach verschiedenen Aspekten definiert und müssen in den Prozess der Produktentwicklung eingetaktet werden.

Zur Optimierung von Teilprozessen der Produktentwicklung kann eine Veränderung der Anordnung oder der Bestandteile erfolgen. Die Integration von CAX-Technologien kann dabei zur positiven Veränderung beitragen.

Zur optimalen Einbindung von CAX-Technologien in die Prozesse der Produktentwicklung ist eine Systematisierung der Prozesse notwendig. Es gibt eine Vielzahl von CAX-Technologien mit unterschiedlichen Merkmalen und Ausprägungen. Entscheidend für den Einsatz sind die Spezifikationen der CAX-Technologien, denn sie bestimmen den Bezug zum Prozess und somit zur Integration in diesen Prozess.

## 5.3 Phase III: Potenzialanalyse – Prozess der Produktentwicklung und CAX-Technologien

Die in den vorangegangenen Kapiteln aufgeführten Eigenschaften und Abhängigkeiten des Produktes, der Prozesse und der CAX-Technologien haben gezeigt, dass eine große Anzahl an Parametern für den Einsatz von CAX-Technologien innerhalb der Produktentwicklung verantwortlich ist. Die Prozessleistung kann mit verschiedenen Werkzeugen und Methoden überprüft werden. Messgrößen sind nach Seidel [Sei02] die Beziehungen zu vor- und nachgelagerten Systemen, der In- und Output sowie die Elemente der Prozessrealisierung [Die05; Sei02]. Es gibt dazu zwei Bewertungsarten:

- **quantitativ** anhand geeigneter Kennzahlen (Soll-Ist-Vergleich)
- **qualitativ** in Befragungen und Überprüfungenrunden

Mit einem Fragebogen können Prozesse qualitativ bewertet werden. Zudem können dadurch die Verbesserungspotenziale des Prozesses erhoben werden. Die Ziele zur Optimierung eines Entwicklungsprozesses sind:

- Doppelarbeit, unnötige Administration und wechselnde Zuständigkeit vermeiden.
- Prozesselement vereinfachen, standardisieren und automatisieren.
- Schnittstellen zu anderen Prozessen optimieren.
- (Verbesserungs-)Maßnahmen planen und implementieren.
- Reihenfolge der Aktivitäten optimieren und nicht wertschöpfende Elemente eliminieren.

Zur Bewertung des Einsatzes von CAx-Technologien ist eine Aussage hinsichtlich deren Funktionalität, Benutzbarkeit, Effizienz und Häufigkeit der Anwendung innerhalb von Teilprozessen zu treffen. In den Abschnitten 5.3.1 bis 5.3.4 werden Bewertungsgrößen und Berechnungsformeln aufgestellt, mit deren Hilfe eine Zustandsbewertung, eine Priorisierung von potenziellen Ansatzpunkten sowie eine Bewertung von Lösungsvarianten bei einer Prozessintegration erfolgen kann (vgl. Abbildung 12).

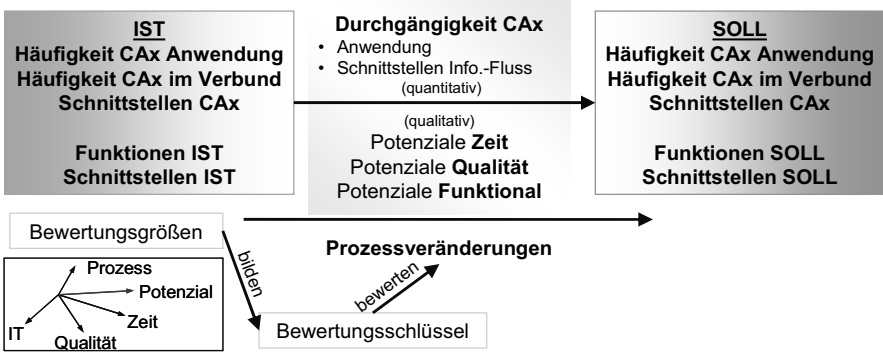


Abbildung 12: Bewertung des Einsatzes von CAx-Technologien

Grundsätzlich sind Aussagen hinsichtlich der Zeit, Kosten und Qualität notwendig. Die Untersuchung der Veränderung bei den Kosten ist innerhalb dieser Arbeit nicht Gegenstand der Betrachtung. Bei den Aussagen zur Qualität der Ergebnisse handelt es sich um die Vermeidung von Fehlerraten, Ausschussquoten, Kundenreklamationen, Terminüberschreitungen, Änderungsschleifen etc. im Prozess [Schö96; Fri00].

Denn ein Ziel der Integration von CAx-Technologien ist die Absicherung der Prozesse in der Entwicklung sowie die Nutzung der Möglichkeiten von CAx-Technologien, um eine hohe Qualität der Produktentwicklung zu gewährleisten.

Für eine quantitative und qualitative Auswertung des Ist- und Soll-Zustandes müssen Parameter definiert werden, die eine Vergleichbarkeit des Einsatzes von CAx-Technologien ermöglichen und für eine Bewertung herangezogen werden können.

### 5.3.1 Größen zur Bewertung der Zeit- und Qualitätspotenziale

Neben der Bewertung der wirtschaftlich relevanten Größen sind der Einsatzgrad und die Durchgängigkeit des CAx Einsatzes zu ermitteln, d. h., es ist die Häufigkeit des Einsatzes von CAx-Technologien bzgl. der Prozessfunktionen in einem Teilprozess zu ermitteln. Wichtige Größen sind dabei z. B.:

- Anzahl der Prozessfunktionen der Teilprozesse.
- Anzahl der Produktteile und -funktionalitäten.
- Relative und absolute Einsetzbarkeit einer CAx-Technologie in einer Prozessfunktion.

Für die Bewertung von Veränderung durch den Einsatz von CAX-Technologien ist die Bedeutung der einzelnen Prozessfunktionen bzgl. des Gesamtprozesses zu erheben. Zudem müssen mögliche Veränderungspotenziale bewertet werden, damit eine Priorisierung bei der Optimierung ermöglicht wird.

Bei der Bewertung des Faktors Zeit, dessen Veränderung verschiedene Ziele und Auswirkungen haben kann, werden folgende Fälle unterschieden:

- Eine **Zeitreduktion** in den Prozessen kann zur Beschleunigung, d. h. zur Reduktion der gesamten Entwicklung führen und z. B. bei einer früheren Markteinführung des Produktes zu einer Umsatzsteigerung führen.
- Eine **Zeit-Nutzung** kann zur Innovations- und Qualitätssteigerung durch Erhöhung der Anzahl von Iterationszyklen führen. Die Gesamtzeit wird dabei nicht verringert.
- Eine **Zeitausdehnung (zur Verlangsamung)** bedeutet die Erhöhung der Gesamtzeit und damit eine Aufwand- und Kostensteigerung. Eine zusätzliche Qualitätssteigerung ist nicht möglich, da keine Iterationsmöglichkeiten bei gleicher Gesamtzeit vorhanden sind. In diesem Fall wird der Versuch unternommen, die Qualitätskriterien zu realisieren und notwendige Änderungsvorhaben in einer angemessenen Zeit abzuwickeln.

Wird der Faktor Zeit in Zusammenhang mit den CAX-Technologien gebracht, so ist die Bewertung einerseits für Einzeltechnologien und andererseits für einen Verbund aus CAX-Technologien zu unterscheiden. Bei der Bewertung des Faktors Zeit werden aber nicht die Rechenzeit oder die Aktionszeiten betrachtet. Es können derzeit nur qualitative Aussagen über die Veränderung der Zeit gemacht werden, bis ein einheitlicher Standard zur Verfügung steht, der die Verarbeitungszeit bestimmt, denn es sind dabei viele harte (z. B. Rechenzeit etc.) und weiche Leistungsmerkmale (z. B. Handling, Lösungsmöglichkeiten etc.) zu berücksichtigen.

Zur Erhebung der Potenziale oder zur Bewertung der Auswirkungen hinsichtlich der Qualität sind bspw. folgende Fragestellungen zu beantworten, die unter anderem auf den Ergebnissen der Studie „Digitale Produktentstehung“ [War03b] beruhen:

- Ist die digitale Durchgängigkeit (Prozess, Systeme) vorhanden, damit ein Zeitverlust durch Nachbearbeitung von Daten an Schnittstellen vermieden werden kann (z. B. *Anzahl der DV- und Medien-Brüche, Anzahl unterschiedlicher Systeme für eine Aufgabe, Notfallstrategie vorhanden etc.*)?
- Ist die digitale Durchgängigkeit (Prozess, Systeme) vorhanden, damit die Erhöhung von Iterationszyklen, eine Ausweitung von Lösungsalternativen und eine schnelle Änderungsfähigkeit gegeben sind (z. B. *Einsatz von zeitsparenden Kommunikationsmitteln, Ersatz von PMU durch DMU Reviews, Entwicklungs-Fehlermanagement etc.*)?
- Ist eine durchgängige Dokumentation der laufenden Entwicklungsarbeiten vorhanden, um einen hohen Informationsstand bei den Prozessaktivitäten und um ein Product-Life-Cycle-Management zu gewährleisten (*Dokumenten-Management-System, Produktdatenmanagement etc.*)?
- Wie flexibel ist die Entwicklungsstruktur gestaltet und welche Reaktionszeit ist in etwa zu erwarten, um auf Änderungen reagieren zu können?
- Wie gut sind die eingesetzten Systeme hinsichtlich der Ausfallwahrscheinlichkeit und inwieweit sind Ausfallprozesse installiert, um ein Chaos bei Störungen zu vermeiden?
- Sind die Leistungsmerkmale der Systeme kommuniziert, geschult und gefestigt, damit Akzeptanz und Vertrauen bei den Mitarbeitern vorhanden sind?
- Ist eine Einführungsstrategie vorhanden, damit während der Umstellungen bei einer Einführung von Systemen ein geregeltes Vorgehen gewährleistet ist und keine unnötigen Störungen des bestehenden Entwicklungsablaufes entstehen?

- Inwiefern ist eine Standardisierung von CAx-Technologien vorhanden oder angedacht, damit eine unkomplizierte, ganzheitliche Integration erfolgen kann (*Fehlerfortpflanzung durch mangelnde Inkompatibilität*)?

Werden die einzelnen Fragestellungen positiv bewertet, ergibt sich die abschließende Frage: Sind die Unternehmensstruktur und der Prozess vollständig bekannt und so gestaltet, dass ein effektiver und effizienter Einsatz der Informationssysteme durchgängig gewährleistet werden kann?

Die Fragen sind Hilfen zur Systematisierung des Einsatzes von CAx-Technologien. Die Fragestellungen sind die Basis für das in Abbildung 13 dargestellten **Prozess-Bewertungsschema** zur qualitativen Bewertung des Einsatzes von CAx-Technologien in Prozessen.

Fragestellungen zu Teilbereichen		Potenzial [1 = gering - 3 = hoch]
<b>Informationstechnologien</b>		ges. 1,50
<b>Qualität</b>		ges. 1,00
Bei Inkompatibilität führt der Einsatz zu weniger Transparenz als ohne Tool		1,00
Anzahl der DV- und Medien Schnittstellen	1 = keine 2 = 1 bis 3 3 = größer 3	1
Anzahl unterschiedlicher Systeme	1 = nur 1 System vorhanden 2 = 1 zusätzliches System 3 = größer 2 Systeme	1

Abbildung 13: Ausschnitt des Prozess-Bewertungsschema zur qualitativen Bewertung von Prozess und CAx-Technologien (vgl. Tabelle 40 - Anhang)

### Bewertungsgrößen

Bei der Untersuchung von qualitativen Veränderungen sind das Zeitpotenzial, das Qualitätspotenzial und deren Kombination zu bewerten (vgl. Tabelle 15).

Relevanz	Einsatz von CAx-Technologie:
1. zeitintensiv	Beschleunigung für die Erhöhung der Wirtschaftlichkeit.
2. qualitativ: wichtig für die Qualitätsbildung	Steigerung der Qualität zur Absicherung und Vermeidung von Änderungsschleifen.
3. zeitintensiv und qualitativ	Verkürzung der Zeit kann zur Verbesserung der Qualität genützt werden.

Tabelle 15: Bewertungsgrößen

Das mögliche Zeitpotenzial einer CAx-Technologie lässt sich nach Gleichung 2 ermitteln. Die Ermittlung der Qualität hängt von den Nacharbeiten ab, die durch eine mangelhafte Durchgängigkeit entstehen können. In Anlehnung an die Ermittlung der Prozessqualität (vgl. Abschnitt 3.1.4.1) kann die Relevanz für die Qualität gemäß Gleichung 3 ermittelt werden. Durch Kombination der Gleichung 2 und Gleichung 3 mit einer Gewichtung hinsichtlich einer möglichen Unterstützung für eine Automatisierung wird das aggregierte prozentuale Potenzial einer Automatisierung nach Gleichung 4 gebildet.

Gleichung 2: 
$$Z_{pot} = \frac{T_{ist} - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} [\%]$$

Gleichung 3: 
$$Q_{Relevanz} = \frac{Q_{ReI.-ist} - Q_{ReI.-min}}{Q_{ReI.-max} - Q_{ReI.-min}} [\%]$$

Gleichung 4: 
$$P_{auto} = \frac{P_{auto-max}}{P_{auto-ist}} = \frac{\sum_1^i G_i * i}{\sum \frac{(Z_{pot} + Q_{Relevanz}) * G_i}{(G_i * i)}} [\%]$$

Legende: Z<sub>pot</sub>: Zeitpotenzial; T<sub>ist</sub>: Ist-Zeit; Q<sub>Re</sub>: Qualitäts-Relevanz; P<sub>auto</sub>: Automatisierungspotenzial; G<sub>i</sub> = Gewichtung eines Elements

Durch die einzelnen Ergebnisse und den Vergleich von Ist- zum möglichen Soll-Zustand können die Veränderungen durch eine CAx-Technologie ermittelt werden. Dabei werden, die Häufigkeit des Einsatzes der CAx-Technologien im Prozess, das Potenzial zur Zeiteinsparung und die Relevanz der Qualität erhoben, um so das Potenzial hinsichtlich einer Digitalisierung insgesamt festzustellen.

### Bewertungsmaßstäbe

Zur qualitativen Bewertung der Bedeutung oder der Auswirkungen bzgl. der Zeit, der Qualität, der Unterstützung der Prozessfunktion und hinsichtlich der Vernetzung wird eine Punktevergabe vorgenommen. In Tabelle 16 sind Bewertungsmaßstäbe für eine derartige Bewertung aufgelistet.

Bedeutung / Ausmaß (z. B. Zeit, Qualität, Wichtigkeit)	Unterstützung der Aktivität durch Applikationen	Verbindung der Systeme (Daten-Fluss)
hoch = 3 Punkte	übernimmt = 2 Punkte	bidirektional = 3 Punkte
mittel = 2 Punkte	unterstützt = 1 Punkte	einseitig = 2 Punkte
gering = 1 Punkte	übernimmt nicht = 0 Punkte	Keine = 0 Punkte
keine = 0 Punkte		

Tabelle 16: Bewertungsmaßstäbe

### 5.3.2 Kriterien zur Bewertung des Einsatzes von CAx-Technologien

Zur Bewertung der Durchgängigkeit und der möglichen Prozessveränderungen beim Einsatz von CAx-Technologien sind der Ist- und Sollzustand bei einem Einsatz von einer oder mehrerer CAx-Technologien zu erfassen. Bei der qualitativen Bewertung zur Ermittlung der Häufigkeit des Einsatzes von CAx-Technologien sind die einzelnen CAx-Technologien, die auch in einem Verbund integriert sein können, zu betrachten. Die Bewertung wird dabei bezüglich der Potenziale einer Automatisierung der Prozessfunktion (vgl. Tabelle 20 und Tabelle 21) vorgenommen, es geht also um die Ermittlung der Möglichkeit einer Digitalisierung. Die Ermittlung des relativen Einsatzes (der Abdeckung) von CAx-Technologien (IT<sub>rel</sub>) erfolgt nach:

Gleichung 5: 
$$IT_{rel} = \frac{\sum IT_F}{i}$$

Legende: i: Anzahl der Prozessfunktionen; IT<sub>F</sub>: Anzahl des Einsatzes der CAx-Technologien in einer Prozessfunktion

#### Kriterium: Einsatz einzelner CAx-Technologien

Die Bewertung des Einsatzes einzelner CAx-Technologien, z. B. in einem Teilprozess, wird durch die Ermittlung des relativen Einsatzes (Häufigkeit) vorgenommen. Zunächst werden die Häufigkeit des Einsatzes und die Bedeutung einzelner CAx-Technologien erfasst. Dadurch können Vergleiche mit alternativen Lösungen aufgestellt werden. Zudem können die Werte in Verbindung mit einer qualitativen Aussage über den Einfluss auf die Zeit der Bearbeitung und die Qualität des Ergebnisses erweitert werden. In der Folge sind

Aussagen über eine hohe, geringe oder keine Veränderung durch eine CAx-Technologie zu treffen.

**Kriterium: Einsatz mehrerer CAx-Technologien im Verbund**

Bei der Bewertung eines Verbundes von CAx-Technologien müssen im ersten Schritt eine Rangliste und die Abhängigkeiten zwischen den CAx-Technologien untereinander erstellt werden. Der Zusammenhang (Integrationsfähigkeit), d. h. die Abhängigkeit innerhalb eines Verbundes, wird durch den Informationsfluss bestimmt. Dies bedeutet, dass z. B. eine Visualisierung mittels VR ohne ein 3-D-CAD-System keine Anwendung finden kann. Hierbei ist eine Absolut-Bedingung gegeben. Anders verhält es sich z. B. bei einem CAD- und einem PDM-System. Es ist nicht zwingend notwendig, dass ein PDM-System vorhanden sein muss, damit ein CAD-System arbeiten kann. Allerdings ist dies im Sinne der Digitalisierung eine notwendige Verbindung. Daher ist zu klären, welche CAx-Technologien benötigt werden, wie der Idealzustand aussieht und welche Veränderungen des Teilprozesses durch neue CAx-Technologien auftreten.

Um einen Verbund (vgl. Abschnitt 5.4.3) innerhalb eines abgegrenzten Teilprozesses zu bewerten, wird ein zweistufiges Verfahren angewendet.

1. Im ersten Schritt, werden die Notwendigkeit und das Vorhandensein der Elemente eines Verbundes ermittelt (vgl. Abbildung 14).
2. Der zweite Schritt ermittelt das Änderungspotenzial. Dies erfolgt über:
  - eine relative Erhebung und qualitative Bewertung möglicher Veränderungen der Zeit im Prozess und der Qualität des Produktes (vgl. Abbildung 17),
  - die Zustandsanalyse des Einsatzes einer CAx-Technologie in einem Teilprozess (vgl. Abbildung 14) und
  - die Bewertung von Prozessveränderungen (vgl. Abschnitt 5.3.3).

Das Gesamtpotenzial eines Verbundes ergibt sich aus der Ermittlung des Mittelwertes der Einzelsysteme, der Häufigkeit des Einsatzes in Verbindung mit dem Zeitaufwand und Qualitätspotenzial für ein optimales Ergebnis sowie der quantitativen Durchgängigkeit. Die Ergebnisse für einen Verbund von CAx-Technologien ergeben sich aus den Ergebnissen in den Bereichen: Kommunikation, Koordination, Kooperation, Planung, Visualisierung, Anwendung, Datenmanagement, Datenhaltung und Erzeugung.

**Kriterium: Integrationsfähigkeit**

Die quantitative Ermittlung der Daten- oder Informationsdurchgängigkeit erfolgt durch die Ermittlung der Abhängigkeiten der einzelnen CAx-Technologien. Dadurch kann eine Angabe über die Integrationsfähigkeit von CAx-Technologien ermittelt werden. Es sind drei Fälle zu unterscheiden (s. Tabelle 17):

Fall	Informationsweitergabe
Fall 1	Eine bidirektionale Schnittstelle, d. h. der Datenaustausch, kann direkt ohne Störung erfolgen und bedeutet eine optimale Verbindung.
Fall 2	Die Daten können nur von einer zur anderen CAx-Technologien ausgetauscht werden. Dieser Fall kann bei einer parallelen Anordnung von CAx-Technologien oder Rückschleifen zu Problemen im Prozess führen.
Fall 3	Im ungünstigsten Fall 3 können keine Daten ausgetauscht werden. Die einzige Lösung im Fall 3 ist eine Nachbearbeitung der Ergebnisse.

Tabelle 17: Fälle der Informationsweitergabe zwischen CAx-Technologien

Um einen relativen Gesamtwert für die drei Fälle zu erhalten, erfolgt die Ermittlung der relativen **Integrationsfähigkeit (IF<sub>rel</sub>)** von CAx-Technologien eines Prozesses gemäß

$$\text{Gleichung 6: } IF_{rel} = \frac{\sum(BV + EV + KV)}{\sum BV_{max}}$$

Legende: BV: Bidirektionale Verbindung; EV: Einseitige Verbindung; KV: Keine Verbindung

Die ermittelten Größen sind ausschlaggebend für die Entscheidungsfindung und für die Erstellung von neuen Prozessen. Die Ermittlung der Häufigkeit des Einsatzes von CAX-Technologien in einem Prozess stellt die geringere Herausforderung dar. Diffiziler wird es, wenn die Gestaltung durch eine Veränderung bewertet werden soll. Hierbei kann die Bewertung nur über einen Soll-Ist-Vergleich erfolgen: Die Veränderungen der Anordnung der Teilprozesse und der Prozessfunktionen werden mit einem **Bewertungsschlüssel** versehen (s. Tabelle 18) und können so bewertet werden.

<b>Bewertungsschlüssel - Prozessveränderungen</b>												
Fall	Ziele (Digitalisierung) des Prozesses	Punkte										
A	Automatisierung durch Digitalisierung	1										
B	Vermehrung von Informationen (Transparenz)	1										
C	Reduktion örtlicher Schranken	1										
D	Reduktion zeitlicher Schranken	1										
E	Parallelisierung durch entkoppelte Bearbeitungsmöglichkeit	1										
F	Integration von Informationen	1										
G	Integration von Organisation und Ressourcen	1										
H	Integration von Funktionen und Aufgaben	1										
I	Eliminierung von Schnittstellen	1										
J	Vergrößerung der intellektuellen Verarbeitungskapazität	1										
K	Verbesserte Analyse	1										
L	Qualitätsverbesserung	1										
M	...	1										

Bei einer Veränderung "..." werden die Ziele der Fälle "A bis..." verfolgt und es ergibt sich der BW-Faktor ...	Veränderungen	Fall													BW-Faktor
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1	zerlegen	o	x	-	o	x	o	-	-	x	o	x	o		1
2	zusammenfassen	x	o	x	x	o	x	x	x	x	x	x	x		10
3	verlagern	o	o	x	x	x	o	x	-	x	o	o	o		4
4	eliminieren	x	o	x	x	x	o	o	x	x	x	x	o		8
5	beschleunigen	x	x	x	x	x	x	x	x	o	-	-	-		5
6	verlangsamen	o	x	o	x	o	o	o	x	o	o	o	x		4
7	eingliedern	x	x	x	x	o	x	x	x	x	x	x	x		11
8	auslagern	o	o	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o		1

Legende: x = positiv / o = keine Aussage / - = negativ

Tabelle 18: Ermittlung der Bewertungspunkte für eine Prozessveränderung

### 5.3.3 Zielgrößenbildung zur Bewertung von Prozessveränderungen

Eine umfassende Prozessbewertung sollte sowohl die Aufbau- als auch die Ablauforganisation berücksichtigen. Bei der Modellart wird eine abstrakte, schematische Darstellung des Prozessgeschehens (Phasenschema) oder ein detailliertes Prozessmodell unterschieden. Letzteres ist zum Einsatz von unterstützenden CAX-Technologien unbedingt erforderlich. Das Phasenschema muss nicht am Prozessablauf und -aufbau orientiert sein und steht dem Prozessmodell wegen mangelnder Vergleichbarkeit und Standardisierung nach. Die Bewertungsrichtung ist abhängig von der inhaltlichen Ausrichtung. Es wird zwischen tätigkeits- und ergebnisorientierten Bewertungskriterien unterschieden.

Zur Bewertung von Veränderung von Prozessen ist eine Bewertung der Auswirkungen notwendig. Basierend auf der Erörterung der Optimierungsmöglichkeiten von Prozessen in Abschnitt 5.4.3 (vgl. Abbildung 24 und Tabelle 24) werden den Veränderungen in Tabelle 18 Bewertungspunkte zugewiesen, nach den Kriterien der Tabelle 20 und Tabelle 21.

Werden beispielsweise Ziele wie eine Automatisierung, eine Qualitätsverbesserung oder eine verbesserte Analyse gefordert, dann betrachtet man, welche Auswirkungen diese Ziele z. B. beim Zerlegen haben. Die Ziele können sowohl positive als auch negative Auswirkungen haben. Danach werden die Auswirkungen mit den Punkten für die Ziele multipliziert und die Summe über alle Fälle bezüglich einer Veränderung gebildet. Durch Aufsummierung der Einzel-Bewertungen (positiv, neutral und negativ) wird der **Bewertungsfaktor (BW)** gebildet. Der Bewertungsfaktor ist nicht nur eine Größe zur Bewertung der Prozessveränderungen, er gibt auch das Potenzial wieder, das zwischen Ist- und Soll-Prozess besteht. Der ermittelte Bewertungsfaktor gibt somit einen Wert für das Potenzial einer Digitalisierung durch CAx-Technologien an.

### 5.3.4 Inhalte der Potenzialanalyse

Für eine strukturierte und zielgerichtete Zustands- und Potenzialanalyse ist nach einer Erhebung, wie in Abschnitt 5.2 beschrieben, eine erste Bewertung der Potenziale von Zeit und Kosten notwendig. Dabei ist die Priorisierung relevanter und potenzieller Prozesselemente vorteilhaft, um die Analyse und Bewertung mit minimalem Zeit- und Kapazitätsaufwand durchzuführen. Die Analyse erfolgt nach dem Prinzip der Methoden einer Schwachstellenanalyse in Verbindung mit einer ABC-Analyse [Ehr07].

#### Erhebung direkter und indirekter Potenziale

Begleitend zur Ist-Aufnahme und Analyse der Einzelheiten bzgl. Produkt, Prozesse, CAx-Technologien und Informationsfluss werden Potenziale ermittelt. Hierbei werden möglichst alle direkten und indirekten Potenziale erhoben.

**Direkte Potenziale** eines Prozesses der Produktentwicklung sind Fehler oder Verbesserungen wie z. B. Schnittstellenprobleme, Datenverluste oder Änderungshäufigkeit. Sie können in Interviews, Gruppenarbeit oder per Fragebogen erhoben werden.

**Indirekte Potenziale** sind dagegen z. B. schlechte Prozessanordnungen oder mangelnde Informationstransparenz. Diese werden in Einzelgesprächen oder Arbeits- bzw. Kreativworkshops erhoben und erarbeitet. Bei den hierbei eingesetzten Methoden handelt es sich um: Brainstorming, Debatte, Erkundung, Gruppenarbeit, Interview, Kartenabfrage, Mind-Map-Erstellung, Punktabfrage, Rollenspiel, 6-3-5-Methode und Szenario-Methode [IRP01].

#### Einsatzbewertung einer CAx-Technologie in einem Teilprozess

Die Prozessbetrachtung wird vom Allgemeinen zum Speziellen durchgeführt. Es wird „top-down“ vorgegangen, um die Gesamtkomplexität zu mindern und dadurch überschaubar und bearbeitbare Bereiche auszubilden. D. h., zuerst werden die Teilprozesse und dann die darin vorhandenen Prozessfunktionen analysiert. Dabei werden die direkten Prozessfunktionen, wie z. B. Drehmoment berechnen, aufgenommen, die für eine Produktentstehung primär wichtig sind. Indirekte Prozessfunktionen, wie z. B. „Auswahl treffen“ oder „Personalggespräch führen“, werden im Zuge dieser Betrachtung nicht erhoben, da sie nur wenig durch Informationstechnologien unterstützt werden können. Sie können aber zur Transparenzbildung dokumentiert werden.

Die Erhebung von Potenzialen im Bereich eines Teilprozesses erfolgt durch die Ermittlung von Zusammenhängen von Prozessfunktionen und dem Einsatz von CAx-Technologien (vgl. Abbildung 14 – im Anhang Abbildung 63) mit einer **Prozess-Konfigurationsmatrix** und **Prozess-Bewertungsschema** (vgl. Abbildung 13).

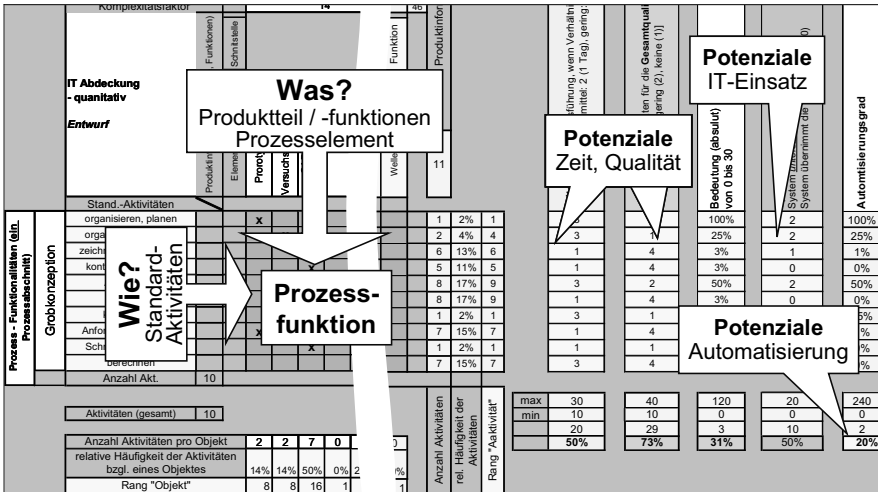


Abbildung 14: Prozess-Konfigurationsmatrix zur Quantitativen Zustands- und Potenzialanalyse des Einsatzes einer CAx-Technologie

Dabei werden die relevanten Einflussgrößen ermittelt, die im Weiteren bei der Veränderung des Einsatzes von CAx-Technologien betrachtet werden müssen. Die Analyse liefert die vorhandenen Verhältnisse, wie bspw. die Häufigkeit einer Aktivität hinsichtlich der Durchführung. Daraus ergeben sich Senken im Einsatz von CAx-Technologien und Lösungsmöglichkeiten zur Verbesserung der gesamten Digitalisierung können angedacht werden. Somit kann eine Gesamtaussage im **Technologieportfolio** über die Bedeutung und den Einsatz von CAx-Technologien getroffen werden (vgl. Abbildung 15).

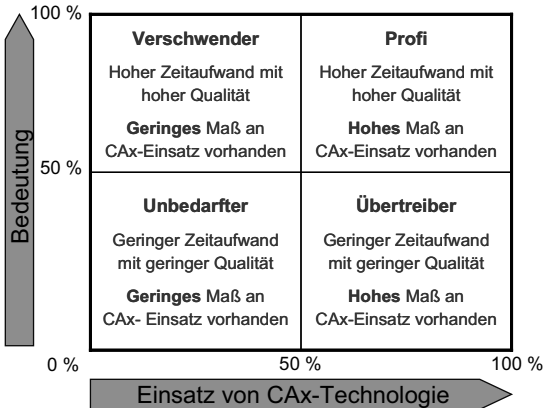


Abbildung 15: Technologieportfolio - Einordnung von CAx-Technologien

### Analyse der Integrationsfähigkeit

Zur Ermittlung der **Integrationsfähigkeit (IF)** einer CAx-Technologie oder von Schwächen im Zusammenspiel (Durchgängigkeit) untereinander ist eine Betrachtung des Daten- und

Informationsflusses (Datenaustauschbarkeit über Formate) durchzuführen. Neben der qualitativen Analyse anhand eines Fragebogens zur qualitativen Informationsflussbewertung (s. Tabelle 41 im Anhang) kann die Durchgängigkeit des Einsatzes von CAx-Technologien mithilfe einer **Integrationsmatrix** (s. Abbildung 16) quantitativ bewertet werden. Dabei werden die einzelnen CAx-Technologien eines Bereiches, die eine Relevanz zueinander haben, überprüft.

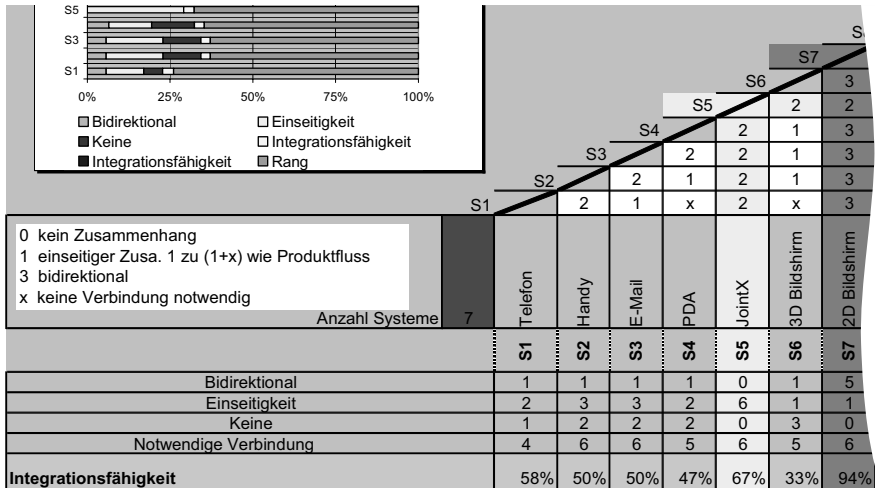


Abbildung 16: Integrationsmatrix – Durchgängigkeit

Im Einzelnen sind diejenigen CAx-Technologien zu ermitteln, die verantwortlich für einen „Bruch“ im Informationsfluss sind und somit mögliche Quellen für eine Fehlerfortpflanzung sein können. Diese können, wenn sie erkannt werden, meist durch eine Nachkonvertierung/-bearbeitung der Daten überwunden werden. Bei der Bewertung der Integrationsfähigkeit sind vier verschiedene Fälle zu unterscheiden (vgl. Tabelle 19).

Fall	Art	Beschreibung
Fall 1	Bidirektionalität	Uneingeschränkter Datenaustausch in beide Richtungen
Fall 2	einseitig – positiv	Datenaustausch nur von System 1 zu System 2
Fall 3	einseitig – negativ	Datenaustausch nur von System 2 zu System 1
Fall 4	keine	Kein Datenaustausch möglich

Tabelle 19: Informationsdurchgängigkeit – Bewertungsgrößen

Die eindeutigen Fälle 1 u. 4 treten ein, wenn ein uneingeschränkter oder kein Datenaustausch möglich ist. Die Fälle 2 u. 3 behandeln den einseitigen Datenaustausch von einer CAx-Technologie zur anderen. Diese Fälle sind für die Prozessgestaltung besonders dann von Interesse, wenn Iterations- oder Änderungsschleifen in einem Prozess integriert sind. Die Integrationsfähigkeit wird in der Integrationsmatrix nach Gleichung 7 ermittelt. Sie gibt Aufschluss über das Verhältnis der Integration einer CAx-Technologie in Bezug zur optimalen Durchgängigkeit. Die Integrationsfähigkeit wird dabei hinsichtlich der vier Fälle gewichtet.

$$\text{Gleichung 7: } IF = \frac{(G_B * IF_B) + (G_{FE} * IF_E) + (G_k * IF_k)}{\sum G_{B,max}} [\%]$$

Legende: IF = Integrationsfähigkeit; G = Gewichtung; B = bidirektional; E = einseitig; k = keine

## Analyse des Verbundverhaltens beim Einsatz von CAx-Technologien

Zur Ermittlung der Digitalisierung dürfen nicht nur einzelne CAx-Technologien betrachtet werden. Vielmehr müssen alle beteiligten CAx-Technologien im sog. Verbund erfasst und bewertet werden. Die Ermittlung des Ist-Zustandes von CAx-Technologien innerhalb eines Verbundes erfolgt anhand des Strukturierungsvorschlags (5-Schichtenmodell, vgl. Abschnitt 5.4.3.5) mit den Bereichen Kommunikation, Koordination, Kooperation, Planung, Visualisierung, Datenmanagement und -haltung. Zu jedem Bereich wird der Einsatz von CAx-Technologien erhoben, der von den Aufgaben des jeweiligen Teilprozesses abhängt.

Zur Ermittlung von Verbesserungspotenzialen wird der Einfluss der einzelnen CAx-Technologien auf mögliche Veränderungen der Zeit und Qualität im Prozess und des Produktes qualitativ beurteilt. Dazu ist eine Abfrage mit einem **Verbund-Analyse-Schema** notwendig, wie sie in Abbildung 17 (vgl. Anhang Abbildung 61) aufgeführt ist.

1 = nicht vorhanden 2 = vorhanden, nur sporadisch eingesetzt 3 = vorhanden u. durchgängig eingesetzt		Abdeckung u. Einsatz	durchgängig: wird durchg. eingesetzt, ist integriert			1 = keine Zeitreduktion möglich 2 = Zeitreduktion möglich 3 = Zeitreduktion sehr wahrscheinlich		Zeit	wenn vorhanden >> keine Zeitverkürzung. Wenn nicht vorhanden >> Zeitverkürzung möglich, muss es aber nicht.		
<b>Einsatzbereich</b>			Soll	IST	Min.	<b>Einsatzbereich</b>			Soll	IST	Min.
<b>Kommunikation</b>		78%	3	2,33	1	<b>Kommunikation</b>		100%	3	3,00	1
Telefon		3				Telefon		3			
Handy		3				Handy		3			
Fax		3				Fax		3			
E-Mail		3				E-Mail		3			
Voice over IP		1				Voice over IP		3			
PDA		1				PDA		3			
<b>Koordination</b>		83%	3	2,50	1	<b>Koordination</b>		100%	3	3,00	1
Outlook		3				Outlook		3			
						MS Priort					

Abbildung 17: Verbund-Analyse-Schema zur qualitative Analyse und Bewertung eines Verbundes von CAx-Technologien und Informationstechnologie

Durch Veränderung des in der Analyse erhobenen Zustandes können Lösungsvarianten für einen Teilprozess oder einen Gesamtprozess generiert werden. Durch die Anwendung der Bewertungsgrößen und der Methode kann somit das Gesamtpotenzial, das Delta zwischen den Ist- und Soll-Zuständen, ermittelt werden. Dieses gibt schließlich Aufschluss über die Veränderungen der Digitalisierung.

Die Häufigkeit des Einsatzes von CAx-Technologien, der mögliche Zeitgewinn, der Einfluss auf die Produktqualität und die Integrationsmöglichkeit werden in einer Gesamtbewertung zusammengefasst. Neben der Gesamtbewertung lassen sich zusätzlich Aussagen für die Einzelbereiche treffen.

### Aggregation von Einzelergebnissen

Die Aggregation von Einzelergebnissen erfolgt „bottom-up“. Einzelne Werte auf der untersten Bewertungsebene werden aggregiert. Die Aggregation erfolgt in umgekehrter Reihenfolge der Aufgliederung des Gesamtprozesses (s. Abbildung 5). Dabei werden verschiedene Stufen der Aggregation berücksichtigt.

Die unterste Stufe bildet die Aggregationsstufe „Prozessschritt“. In ihr werden die Ergebnisse der einzelnen Arbeitsschritte (Aktivitäten) zusammengefasst. Die einzelnen Ergebnisse der Prozessschritte werden wiederum in der Aggregationsstufe „Teilprozess“ zusammengefasst. Die einzelnen Ergebnisse der Teilprozesse werden schließlich in der obersten Aggregationsstufe „Gesamtprozess“ aggregiert. Die Aggregation der Werte

erfolgt durch eine arithmetische Mittelwertbildung bzgl. der einzelnen Kriterien (vgl. Gleichung 8).

$$\text{Gleichung 8: } Erg_{Ges} = \frac{1}{k * n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k Erg_{ij}$$

Legende: Erg: Ergebnis; n: Anzahl Teilprozesse; k: Anzahl Kriterien; j und i Laufvariablen)

Die Aggregationssystematik führt Einzel- oder Teilergebnisse zu einem Gesamtergebnis zusammen. Nicht nur im Bereich der Prozesse, sondern auch auf die Elemente Zeit, Qualität, Aufwand, Nutzen etc. lässt sich die Systematik anwenden. Die Aggregationen bei der Prozessbildung und der Prozessanalyse ist beispielhaft in Abbildung 18 aufgeführt.

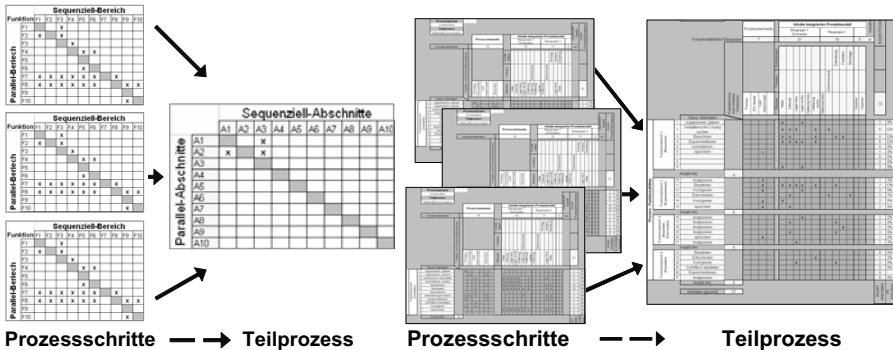


Abbildung 18: Aggregation von Einzelergebnissen

Dargestellt ist der Zusammenhang zwischen den Aggregationsstufen Prozessschritt und Teilprozess bei einer Prozessgestaltung. Dazu ist die Aggregation von Ergebnissen einer prozessualen Analyse des Einsatzes von CAx-Technologien abgebildet.

### 5.3.5 Ergebnis

Für die Phase III der Potenzialanalyse sind folgende Ergebnisse relevant:

Ein Ziel und Potenzial einer Prozessveränderung ist die Zeitreduktion. Wenn Zeit frei wird, kann sie für eine Verbesserung der Produktqualität genutzt werden. Ein weiteres Potenzial ist eine Beschleunigung. Dadurch kann eine höhere Anzahl an Iterationszyklen erfolgen. Voraussetzung ist z. B. der durchgängige Einsatz von CAx-Technologien.

Zur durchgängigen Digitalisierung kann neben der Bewertung von Zeitreduktion und Qualitätssteigerung eine Aussage zur Automatisierung getroffen werden. Bei der Bewertung dieser Größen, deren Veränderung verschiedene Ziele und Auswirkungen haben können, ist zwischen Reduktion, Stagnation und Verbesserung zu unterscheiden. Die Bewertung der Potenziale und Zielerreichung von CAx-Technologien auf Prozesse kann quantitativ oder qualitativ erfolgen. Für eine Auswertung von Ist- oder Soll-Zustand müssen definierte Parameter und Kennzahlen ausgearbeitet sein.

Zur Bewertung des Einsatzes von CAx-Technologien kann eine Aussage hinsichtlich der Häufigkeit des Einsatzes, der Benutzbarkeit und der Effizienz innerhalb von Teilprozessen getroffen werden. Wichtige Größen sind die Anzahl der Prozessfunktionen, der Produktteile und der damit verbundenen Produktfunktionalitäten sowie der relative und absolute Einsatz einer CAx-Technologie in einem Teilprozess.

Aus den qualitativen Veränderungen lassen sich das Zeitpotenzial, das Qualitätspotenzial und deren Kombination ermitteln. Dies ist die Grundlage für Entscheidungen hinsichtlich des Einsatzes von CAx-Technologien.

## 5.4 Phase IV: Gestaltung – Teilprozessbildung und Vernetzung

In der Phase IV werden die Zusammenhänge von Produkt, Prozess und CAx-Technologien ermittelt und die Anordnung, Strukturierung, Gestaltung und Optimierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung durchgeführt. Die hierfür erforderlichen Kenntnisse und Hilfsmittel werden in den Abschnitten 5.4.1 bis 5.4.3 beschrieben.

### 5.4.1 Zusammenwirken von Produkt, Prozess und CAx-Technologien in der Produktentwicklung

Zur Gestaltung eines Teilprozesses der Produktentwicklung mit einem Einsatz von CAx-Technologien sind die Elemente Produkt, Prozess und CAx-Technologien ausschlaggebend. Diese sind hinsichtlich ihrer Abhängigkeiten zu untersuchen. Um die notwendigen Erkenntnisse zu erhalten, müssen diese Elemente im Einzelnen und im Gesamten betrachtet werden. Innerhalb dieses Abschnittes werden die korrelierenden Einflüsse zwischen diesen Bestandteilen diskutiert (s. Abbildung 19).

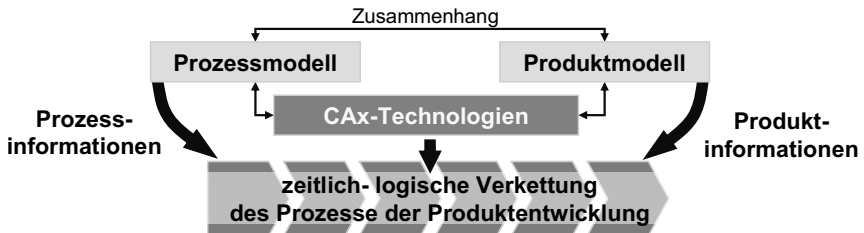


Abbildung 19: Zusammenwirken von Produkt, Prozess und CAx-Technologien

#### 5.4.1.1 Zusammenhang von Produkt und Prozess der Produktentwicklung

Die Produktdaten des Produktmodells bilden die Elemente eines Prozesses und werden dort bearbeitet. Ein Produktmodell sollte so detailliert ausgestaltet sein, damit alle notwendigen Elemente innerhalb des Prozesses verwendet werden können. Die Prozessdaten sind somit spezielle Produktdaten. Das Produktmodell wird entlang des Prozesses der Produktentwicklung gebildet und dabei stetig erweitert. Der Umfang eines Produktes ist somit maßgeblich für die Komplexität des Entwicklungsprozesses. Änderungen des Produktmodells wirken sich auf den Prozessverlauf aus. Wird z. B. eine Veränderung eines Bauteils in Form einer Erweiterung vorgenommen, so bringt dies die Erstellung und Eintaftung eines neuen Teilprozesses mit sich. Ein integriertes Produktmodell hat somit die Aufgabe, diese Zusammenhänge zu integrieren, zu unterstützen sowie den jeweiligen Zustand aktuell aufzuzeigen.

Eine Vernetzung von Produkt und Prozess ist sehr wichtig, um Zeit einzusparen und Dynamik bzw. Flexibilität zu gewährleisten. Die Art der Integration und Weiterverarbeitung von Produktdaten innerhalb eines Prozesses hängt von dessen Vernetzung ab. Besonders wenn eine Parallelisierung von Teilprozessen oder Prozessfunktionen erfolgt oder in Netzanordnungen agiert wird.

Wird eine Parallelisierung vorgenommen, so wird die Produktfunktion kaum beeinflusst. Erfolgt die Verlagerung von Prozessschritten in andere Teilprozesse oder gar eine Reduzierung der Arbeitsinhalte, so kann dies die Produktfunktionen (Veränderung von Schnittstellen, Zeitverkürzung vs. qualitative Veränderungen) beeinflussen.

#### 5.4.1.2 Zusammenhang von Produkt und CAx-Technologien

Je umfangreicher ein Produkt ist, umso mehr Schnittstellen entstehen durch die vielen Einzelteile. Um eine effektive und effiziente Entwicklung zu gewährleisten, ist der Einsatz von Informationstechnologien und CAx-Technologien unausweichlich. Die Informationstechnologien unterstützen die schnelle Bereitstellung von aktuellen Produktdaten.

Die CAx-Technologien tragen stetig zur Modifizierung und Erweiterung des Produktumfanges bei. Das Produkt und seine Struktur wird durch CAx-Technologien aber nicht beeinflusst, wohl aber werden die Funktionalitäten einer CAx-Technologie von der Produktstruktur beeinflusst. Z. B. erzeugt eine Konstruktionsabteilung ein CAD-Modell des Produktes. Aus diesem müssen dann verschiedene Geometrien, je nach Art der Untersuchungen, abgeleitet werden können. Zudem muss das Modell in den Analyse- und Simulationssystemen als Mastergeometrie eingesetzt werden können. Wenn die CAD-Daten aber nicht eins zu eins übernommen werden können, müssen sie aufwendig aufbereitet (konvertiert) werden. In vielen Fällen müssen zudem die CAD-Daten mit weiteren Informationen vervollständigt werden, um die Analyse einer Simulation zu sichern. In Abbildung 20 sind die Anwendungssysteme aufgeführt, die mit dem digitalen Produktmodell verbunden sind.

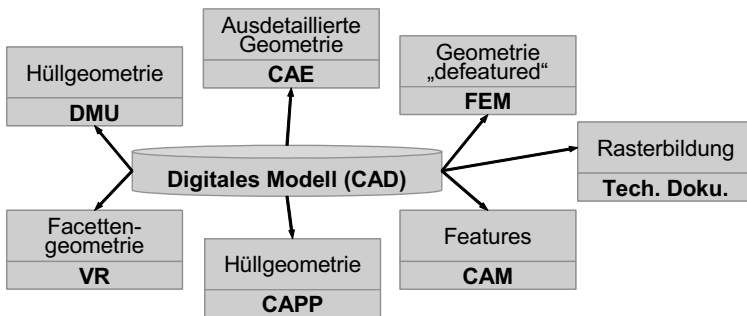


Abbildung 20: Digitale Produktdaten und Informationstechnologien [Sch02a]

Ein Produkt kann nur durch Informationstechnologien beeinflusst werden, wenn die Systeme direkt am Produkt arbeiten. Bereiche, in denen am Produkt gearbeitet wird, sind z. B. CAx, PDM, PLM und die Visualisierung. Ein CAD-System hat einen direkten Bezug zu Geometrie, Visualisierung und Zusammenbau der Bauteile, aber es verändert nicht die Struktur eines Produktes.

Mit CAx-Technologien kann z. B. der Zugriff auf Referenzdaten ermöglicht oder ein „erster Wurf“ erstellt werden. Diese Möglichkeiten müssen aber im Prozess verankert werden, was wiederum einen Einfluss auf die Prozessgestaltung bedeutet.

PDM- und PLM-Systeme sind für die Speicherung, Koordination und Kommunikation der Produktdaten zuständig. Nachteilig an diesen Systemen ist, dass sie zu starr und umständlich sind. Zudem bilden sie nur eine hierarchische Struktur ab und berücksichtigen keine konstruktionstechnischen Zusammenhänge. Dies hängt damit zusammen, dass die Produktstruktur, nach der diese Systeme eingerichtet sind, in der frühen Phase aufgebaut und nur sehr selten verändert wird.

Der Reifegrad, also die Qualität eines Produktes entlang des Prozesses der Entwicklung, wird auch vom Einsatz der CAX-Technologien beeinflusst. Werden CAX-Technologien eingesetzt, kann z. B. der Reifegrad und damit die Erfüllung der Produkteigenschaften und -spezifikationen früher erreicht werden. Dies bedeutet nicht, dass es automatisch zu einer Verkürzung kommt, aber falls doch, kann die gewonnene Zeit für die Absicherung, Verbesserung oder für weitere Lösungsalternativen des Produktes eingesetzt werden.

Mit FEM-Simulation und Visualisierung durch Virtuelle Realität werden bereits gute Ergebnisse geliefert. Z. B. können statische Schnittstellen durch ein Digital Mock Up in Verbindung mit einem VR-System untersucht werden [Wes06c]. Dennoch besteht die zukünftige Herausforderung für den Einsatz von CAX-Technologien in der vollkommenen Abbildung des Produktes und der gleichwertigen Durchführbarkeit von realen Tests.

#### **5.4.1.3 Auswirkungen auf die Produktentwicklung durch eine Veränderung des Einsatzes von CAX-Technologien**

Eine Systematisierung von Teilprozessen in der Entwicklung fordert die Abstimmung der eingesetzten Systeme und Hilfsmittel, den durchgängigen Austausch von Daten und die Gestaltung der Prozesse. Forschungsprojekte haben gezeigt, dass eine digitale Produktentstehung zur Einsparung kostenintensiver Prototypen führt, die Qualität erhöht und die Dateninkonsistenz im Unternehmen verringert. So sind sich alle Branchen einig: Für die effiziente Nutzung der CAX-Technologien reicht es nicht aus, diese nur zu integrieren, denn die Ablauf- und Aufbaustrukturen müssen dafür ausgerichtet werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass für eine erfolgreiche Systematisierung folgende Regeln zu befolgen sind:

- Strukturiertes „top-down“-Vorgehen innerhalb eines Teilbereiches, in vielen kleinen Projekten, in einander ergänzenden Initiativen, nicht aber in Groß-Projekten.
- Flexible, modulare Prozesse und CAX-Technologien werden benötigt, keine monolithischen Prozesse und Applikationen.
- Die internen und unternehmensübergreifenden Vernetzungen sind zu berücksichtigen.
- Anstelle von proprietären und firmeninternen Standards sind offene und industrieweite Standards anzustreben.

#### **Auswirkungen durch den Einsatz von CAX- und Informationstechnologien**

In immer kürzeren Zyklen werden Soft- und Hardwaretechnologien entwickelt. Dabei wird die kapazitive und qualitative Leistungsfähigkeit in Bezug zu den Funktionalitäten stetig gesteigert. Ziel ist, dass zu jedem Zeitpunkt lösungsorientiert und integriert alle für die Ausführung des aktuellen Entwicklungsschritts erforderlichen Daten und Informationen sowie die entsprechenden Anwendungssysteme und Funktionalitäten in einer Benutzeroberfläche zur Verfügung stehen. Der Nutzen einzelner CAX-Systeme und deren Kombinationen ist in Tabelle 35 (Anhang) aufgeführt. Hierzu bedarf es der Anpassung und Neugestaltung bestehender Ablaufstrukturen, damit bisher unabhängig voneinander entwickelte und gefertigte Bauteile innerhalb eines Gesamtmodells zusammenkommen und eine auf das Gesamtmodell ausgerichtete Entwicklung ermöglicht wird. Erzielbare Vorteile sind in Tabelle 20 beispielhaft aufgeführt.

Es können z. B. digitale Prototypen bereits in den frühen Phasen der Produktentwicklung mit den wichtigsten Eigenschaften erzeugt, bearbeitet, diskutiert und optimiert werden. Die Anzahl an Iterationszyklen kann durch digitale Prototypen erhöht und die Qualität des Produktes verbessert werden. Durch die digitalen Prototypen können zudem zeit- und kostenintensive physikalische Prototypen eingespart werden. Neben digitalen Prototypen gewinnen zunehmend digitale Fabrikmodelle zur Abbildung von Produktionseigenschaften an Bedeutung. Darin werden Abläufe wie z. B. Logistik, Materialfluss, Einbauuntersuchungen oder Fügeverfahren dargestellt und simuliert.

<b>Auswirkung</b>	<b>Beschreibung</b>
Automatisierung durch Digitalisierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zeiteinsparung bei Ausführung der Prozessfunktion</li> <li>▪ Vermeidung des Fehlerfaktors „Mensch“</li> <li>▪ Einsparung von Personal (Personalkosten)</li> <li>▪ Weiterverarbeitbarkeit von Daten (Durchgängigkeit, Integration)</li> <li>▪ Datensammlung und -suche wird erleichtert</li> <li>▪ Minimierung der „Doppelentwicklung/-arbeit“</li> <li>▪ Datenhaltung im Sinne eines Product Lifecycle</li> </ul>
Vermehrung von Informationen (Transparenz)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verbesserte Prozesssteuerung</li> <li>▪ Verbesserte Wissens- und Ergebnisbereitstellung</li> <li>▪ Effektives Pre- und Postprozessing durch den Anschluss an PDM-Systeme bzw. Datenbankslösungen</li> <li>▪ Reproduzierbarkeit von Ergebnissen</li> <li>▪ Erhöhung der Anzahl an Iterationszyklen in bestimmten Zeiträumen</li> </ul>
Reduktion örtlicher und zeitlicher Schranken	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Internationalisierung und Regionalisierung</li> <li>▪ Koordinationsverbesserung</li> <li>▪ Abstimmungsbeschleunigung</li> <li>▪ Integration von verschiedenen Prozessbeteiligten (Minimierung von Wechselwirkungen durch gemeinsames Arbeiten)</li> </ul>
Parallelisierung durch entkoppelte Bearbeitung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduzierung der Entwicklungszeiten und Flexibilitätserhöhung</li> <li>▪ Möglichkeit zur parallel oder alternativ Entwicklung</li> <li>▪ Integration von Abteilungen (Konstruktion und Berechnung) und entkoppelte Dienstleister</li> </ul>
Integration von Informationen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vorausseilende bzw. zeitgleiche Bereitstellung von qualitativ hochwertigen Berechnungsergebnissen</li> <li>▪ Verbesserung der Zusammenarbeit aller Beteiligten durch erhöhte Transparenz</li> </ul>
Integration von Organisation und Ressourcen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verbesserung der kooperativen Zusammenarbeit (intern und über Unternehmensgrenzen hinaus)</li> <li>▪ Verbesserung des Einsatzes und der Steuerung von Ressourcen</li> </ul>
Integration von Funktionen und Aufgaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Koordination zwischen Teilaufgaben, Projekten</li> <li>▪ Automatisierung durch Standardisierung</li> <li>▪ Absicherung durch Funktionalisierung</li> </ul>
Eliminierung von Schnittstellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Minimierung kritischer Interdependenzen aus den Prozessen</li> <li>▪ Entwicklung zu Produktion</li> <li>▪ Strukturelle Schnittstellen (Teilprozess, Prozess- u. Arbeitsschritte)</li> <li>▪ Output zu Input</li> <li>▪ Weiterverarbeitbarkeit von Daten (Durchgängigkeit, Integration)</li> <li>▪ Vermeidung zusätzlicher Auf- oder Nacharbeitung der Daten</li> </ul>
Vergrößerung der intellektuellen Verarbeitungskapazität	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verbesserung der Generierung und Diffusion von Wissen</li> <li>▪ Beschleunigung des Wissenserwerbs</li> <li>▪ Leistungsfähigkeit der digitalen Produktdatenerfassung</li> <li>▪ Erfassung und effektive Nutzung von Expertenwissen</li> <li>▪ Referenzdatenzugriff, Rückverfolgbarkeit von Daten</li> <li>▪ Entlastung von Schreib-, Zeichen- und Rechenarbeiten</li> </ul>

Tabelle 20: Potenziale von CAx-Technologien und Informationstechnologien

Für die Zukunft gehen die Bestrebungen dahin, dass physikalische Prototypen stark reduziert werden und ein virtueller Durchlauf der digitalen Prototypen durch eine digitale Fabrik simuliert wird. Um das funktionale Zusammenwirken der oft von verschiedenen Herstellern stammenden digitalen Teilmodelle zu überprüfen, werden diese mit einem

CAD-System entwickelt (1 bis 4) und virtuell zusammengebaut (Digital Mock Up) (vgl. Abbildung 21).

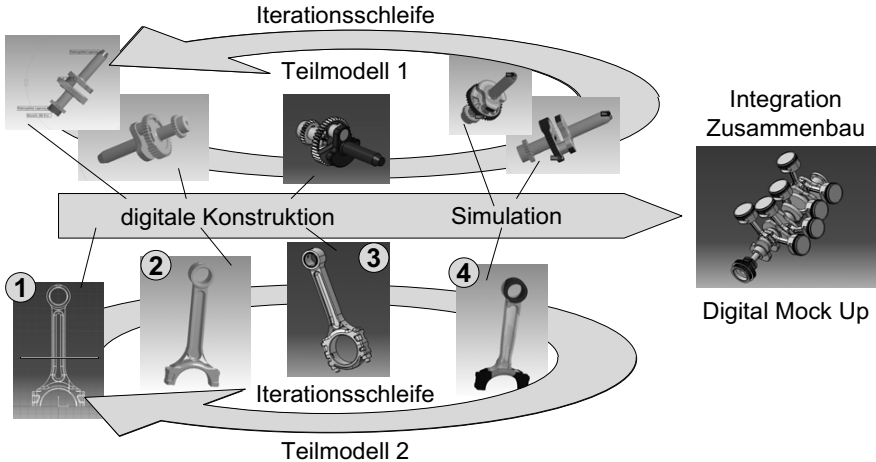


Abbildung 21: Digitaler Zusammenbau mit Iterationsschleife

Eine Erweiterung der Produktdatenmodelle stellen die digitalen Prototypen dar. Während mit DMUs geometrische Einzelmodelle zu einem Gesamtmodell zusammengefügt werden, können mittels digitaler Prototypen dynamische Versuche wie z. B. Crashtests oder thermische Untersuchungen durchgeführt werden. Der Einsatz von digitalen Prototypen hat viele Vorteile. Einige dieser sind in Tabelle 21 aufgeführt.

Potenzial	Beschreibung
Effektive, verbesserte und gleichwertige Analyse (digital)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Effiziente Aufbereitung von Berechnungsmodellen</li> <li>▪ Verbesserung der Möglichkeit zur Analyse der gewonnenen Informationen und der Entscheidungsfindung</li> <li>▪ 3-D-Darstellung und stereoskopische Darstellung mittels Virtual Reality</li> <li>▪ Immersive Darstellung vermittelt gleiche Eindrücke wie der physische Prototyp</li> <li>▪ Analyse des DMU (Kollision, Zugänglichkeit, Verbaubarkeit etc.)</li> <li>▪ Direkte und damit schnelle Änderungs- und Optimierungsmöglichkeiten</li> <li>▪ Zeitreduktion durch die Vermeidung von aufwendigen Realisierungen</li> <li>▪ Reduzierung von Freigabeprozessen durch digitale Prototypen</li> <li>▪ Verbesserung der Bauteilanalysen (Steifigkeit, Festigkeit, Kollision, Kinematik, ...)</li> <li>▪ Untersuchungen zur funktionellen Integration wie z. B. Umformsimulation, Werkzeugauslegung, Montagereihenfolge und Fabrik-Layout</li> <li>▪ Visualisierung von bestimmten Berechnungsergebnissen am DMU</li> </ul>

Tabelle 21: Potenziale von CAx-Technologien – virtuelle Prototypen

Bei all den Möglichkeiten eines digitalen Produktmodells müssen wesentliche Voraussetzungen erfüllt werden:

- Die Erzeugung und Untersuchung eines digitalen Modells muss wesentlich weniger Zeit in Anspruch nehmen als die eines physikalischen Prototyps.
- Bereitstellung und effizienter Einsatz von Berechnungssystemen (z. B. FEM).

- Umfassende und aktuelle Integration aller relevanten Daten innerhalb eines digitalen Gesamt-Modells (Digital Mock Up und Digitales Fabrikmodell).
- Entwicklungsbegleitende, nicht nur konstruktionsbegleitende Integration entlang der gesamten Produktentwicklung.
- Gleiche Erkenntnisse aus dem digitalen Modell wie aus dem physikalischen Prototyp.

### **Risiken durch CAx-Technologien und Informationstechnologien**

Den Potenzialen der CAx-Technologien und Informationstechnologien stehen Risiken gegenüber. Allerdings lehrt schon das Qualitätsmanagement (z. B. FMEA), dass durch die Kenntnis dieser Risiken eine Minimierung erfolgen kann. Z. B. kann es zu einem Datenverlust oder einer Veränderung kommen, es können Systeme oder Anwendungen ausfallen und nicht verfügbar sein, es können wichtige Daten zu spät bereitgestellt werden oder Systeme können unter Umständen nicht mehr weiterentwickelt werden. Ein weiteres Risiko ist die Abhängigkeit von den jeweiligen Systemanbietern. Wird vor allem Standardsoftware eingesetzt, so ist die Abhängigkeit groß und es müssen im Rahmen einer Firmenstrategie enge Kooperationen mit Systemlieferanten eingegangen werden.

**Innerhalb von Prozessen** kann es durch eine Digitalisierung zu einem erhöhten Aufwand und Risikopotenzial kommen. Dies sind z. B.:

- Redundante Datenhaltung – sie kann zu Fehlerfortpflanzungen führen, die zusätzliche Änderungskosten verursachen.
- Redundante Bearbeitungsschritte – dies bedeutet einen Mehraufwand und damit unnötige Zusatzkosten.
- Fehlende Funktionen der eingesetzten Software bedeuten manuellen Mehraufwand.
- Medienbrüche können Schnittstellen verursachen, die aufwendige Nacharbeiten und Änderungsschleifen erfordern.
- Schnittstellenprobleme erzeugen, liefern oder leiten fehlerhafte Daten weiter, die nur durch einen Zusatzaufwand revidiert werden können.
- Notwendige Daten für die digitale und integrierte Bearbeitung werden oftmals nicht zum richtigen Zeitpunkt geliefert, was neben strukturellen Gegebenheiten auch auf eine mangelnde informationstechnologische Ausrichtung zurückzuführen ist.
- Alte oder nicht integrierte CAx-Technologien führen zu Insellösungen und bilden ein hohes Risikopotenzial.
- Unterschiede der realen oder digitalen Bauteile verursachen eine unterschiedliche Beurteilung. Dies bedeutet, dass unterschiedliche Bewertungen und unterschiedliche Prozesse ausgebildet werden müssen.

Die Integration von CAx-Technologien wird meist begleitet von einem zusätzlichen Aufwand. Bei der Integration erfolgt die Auswahl von CAx-Technologien nach den Anforderungen der Prozesse. Hier besteht das Problem, dass eventuell die Möglichkeiten und Strategien der CAx-Technologien nicht ausgeschöpft werden können. Dies hängt letztendlich an teilweise unausgereiften, unflexiblen oder separierten CAx-Technologien.

**Im Bereich der CAx-Technologien** ergeben sich aufgrund fehlender Investitionen in neue Anwendungen und Systeme Hard- und Softwareprobleme, da die Systeme und Anwendungen nicht mehr dem neuesten Stand entsprechen. Die CAx-Auswahl sollte erst nach einer genauen Analyse der bestehenden CAx-Technologien und der Systemwelt sowie des Prozesses erfolgen, um keine Fehlinvestitionen zu tätigen. Zudem handelt es sich oftmals um allgemeine Marktösungen, die häufig nicht ausgereift sind (Strategie, Funktionalität, Qualität, ...). Die Systeme dürfen nicht zu sehr angepasst werden, um sie im Unternehmen einsetzen zu können. Denn dies birgt das Risiko, dass der reibungslose Betrieb und die Versionsbeständigkeit nicht gewährleistet werden können.

Ein weiteres Risiko besteht darin, dass verschiedene CAX-Technologien oftmals eine Kompatibilität nicht zulassen. Dies vermindert die Flexibilität und bewirkt eine anhaltende massive Abhängigkeit von einem Systemlieferanten. Ferner bewirken eine umständliche Handhabung und zu geringe Leistungsfähigkeit einen erhöhten Zeitaufwand – eine Problematik, die in ihrer Tragweite oftmals nicht realisiert wird. Außerdem besteht ein Risiko durch fehlende physische Sicherung der Server und Rechner.

**Im organisatorischen Bereich** bergen nicht eindeutig geregelte Zugriffsberechtigungen auf CAX-Technologien die Gefahr, dass es zu einem unberechtigten und ungesicherten Zugriff auf vertrauliche Daten kommt oder Veränderungen durchgeführt werden können. Ein weiteres Risiko besteht in den Personen, da technische Kernkompetenzen oftmals auf wenige Mitarbeiter oder Abteilungen beschränkt sind, was bei Ausfällen oder Kündigungen zu erheblichen Engpässen oder Betriebsunterbrechungen führen kann.

Ebenfalls ist zu bedenken, dass, je nachdem wer die Technologie anwendet (Fortgeschrittener oder Neuling), unterschiedlich viel Zeit benötigt wird und es auch zu einer unterschiedlichen Qualität des Ergebnisses kommen kann. Die Anforderungen an den Anwender steigen in immer kürzeren Zyklen. Mitarbeiter, die mit neuen Technologien nicht vertraut sind, tun sich schwer. Die Akzeptanz der Mitarbeiter gegenüber den ständig wechselnden CAX-Technologien ist eine Erhöhung des schon hohen Stressfaktors. Die Digitalisierung steht somit hinsichtlich der Menschen im Konflikt zwischen der Problemlösung und der Unterstützung durch die Mitarbeiter.

#### 5.4.2 Möglichkeiten zur Gestaltung von Prozessen der Produktentwicklung

Die Prozessoptimierung und -neugestaltung besteht in der Prozessbeherrschung und der Prozessverbesserung. Innerhalb dieser Schritte werden verschiedene Prinzipien der Prozessgestaltung angewendet. Das Ziel ist, durch Veränderungen des Prozesses eine Effektivitäts- und Effizienzsteigerung zu erhalten. Die Ziele können unterschiedlich gelagert sein. Es kann sich um die Beseitigung von Fehlern und Schwachstellen, um eine Standardisierung oder um eine Neugestaltung im Sinne eines Business Process Reengineering handeln. In Tabelle 22 sind die wichtigsten **Gestaltungs- und Modifizierungsmaßnahmen** aufgeführt. Bei der Anwendung der Gestaltungs- und Modifizierungsarten auf eine sequenziell und parallel Anordnung können Veränderungen in entgegengesetzten Richtungen, wie z. B. Zerlegen zu Zusammenfügen oder Einfügen zu Auslagern, unterschieden werden (s. Abbildung 22).

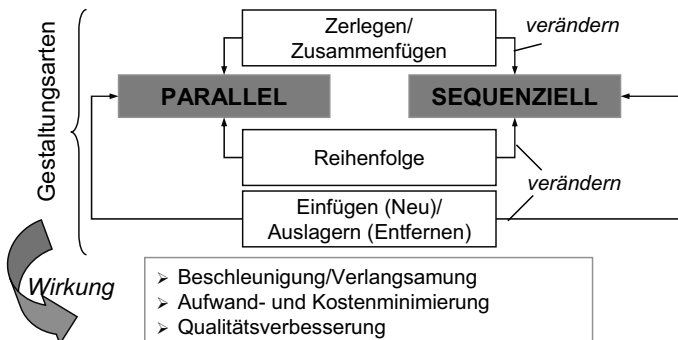


Abbildung 22: Prozessveränderungen – allgemein

Die zwei grundlegenden Arten der Prozessanordnung sind parallel und sequenziell. Diese beiden Arten können zudem in einer gemischten Form (Überschneidung) vorkommen, d. h. einige Teile der Prozesse können parallelisiert werden, andere müssen dennoch sequenziell angeordnet werden. Die Anordnung der Prozesse kann durch Veränderung der Prozessschritte oder Anordnung zueinander verändert werden. Eine Untersuchung der Veränderungen auf den Prozess durch CAx-Technologien ist nur in eine Richtung durchzuführen.

Maßnahme	Auswirkung
Parallelisieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Teilprozess, Prozess- oder Arbeitsschritte werden zeitgleich (simultan) angeordnet und somit parallel verrichtet.</li> </ul>
Sequentialisieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Teilprozess, Prozess- oder Arbeitsschritte werden aufeinander aufbauend angeordnet und somit nacheinander verrichtet.</li> </ul>
Zusammenlegen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Teilprozess, Prozess- oder Arbeitsschritte werden zusammengefasst und somit vereint.</li> </ul>
Zerlegen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Teilprozess, Prozess- oder Arbeitsschritte werden in mehrere Teile aufgeteilt.</li> </ul>
Ergänzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Teilprozess, Prozess- oder Arbeitsschritte werden um einen mehrere Teile erweitert.</li> </ul>
Auslagern	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Teilprozess, Prozess- oder Arbeitsschritte werden aus einer Reihenfolge herausgenommen und in andere Teilprozesse, Prozess- oder Arbeitsschritte integriert.</li> </ul>
Überlappen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Teilprozess, Prozess- oder Arbeitsschritte werden gestartet, bevor der Vorgänger beendet wurde.</li> </ul>
Entfernen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nicht wertschöpfende Teilprozesse, Prozess- oder Arbeitsschritte werden aus dem Prozess entfernt.</li> </ul>
Automatisieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arbeitsschritte werden durch Informationstechnologien vollständig ausgeführt.</li> </ul>
Digitalisieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arbeitsschritte werden durch vernetzte Informationstechnologien bei der Ausführung unterstützt.</li> </ul>
Systematisieren (digital)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Arbeitsschritte werden systematisch ausgerichtet und mit Informationstechnologien unterstützt und vernetzt.</li> </ul>

Tabelle 22: Gestaltungs- und Modifizierungsmaßnahmen [Kick95; Awi00; Ehr07; Sch08; Sei98; War03a]

Durch den Einsatz von CAx-Technologien wird die Wirkung der Prozessveränderung teilweise verstärkt. Die Veränderung wird primär eine zeitliche Veränderung sein. Die Veränderungen in der Qualität können sich durch eine höhere Anzahl an Iterationszyklen und durch Veränderung der Ressourcen oder des Einsatzes einer CAx-Technologie ergeben (s. Abbildung 22 und Tabelle 23). Eine Veränderung des Aufwands und der Kosten ergibt sich aus den zeitlichen und qualitativen Veränderungen.

Veränderung	Auswirkung
<b>Beschleunigung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zeitersparnis der Gesamtzeit</li> <li>▪ Reduzierung der Einzelzeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aufwand- und Kostensenkung</li> <li>▪ Keine Qualitätssteigerung</li> </ul>
<b>Beschleunigung + Digitalisierung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zeitersparnis der Gesamtzeit → Reduzierung der Einzelzeiten</li> <li>▪ Hohe System-Integration → Erhöhung Iterationszyklen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aufwand- und Kostenminimierung</li> <li>▪ Qualitätssteigerung durch die Möglichkeit der Erhöhung der Anzahl an Iterationszyklen bei gleicher Gesamtzeit</li> </ul>
<b>Verlangsamung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zeiterhöhung der Gesamtzeit</li> <li>▪ Erweiterung der Einzelzeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aufwand- und Kostensteigerung</li> <li>▪ Keine Qualitätssteigerung, da nur geringe Erhöhung der Iterationszyklen bei gleicher Gesamtzeit.</li> </ul>
<b>Verlangsamung + Digitalisierung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zeiterhöhung der Gesamtzeit → Reduzierung der Einzelzeiten</li> <li>▪ Hohe System-Integration → Erhöhung Iterationszyklen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aufwand- und Kostensteigerung</li> <li>▪ Massive Qualitätssteigerung durch die Möglichkeit der Erhöhung der Anzahl an Iterationszyklen bei gleicher Gesamtzeit</li> </ul>

Tabelle 23: Prozessveränderung – allgemein

### 5.4.3 Anordnung, Strukturierung, Vernetzung und Optimierung von Teilprozessen der Produktentwicklung

Eine Integration von CAx-Technologien in Prozesse der Produktentwicklung kann eine schnelle und dynamische Produktentwicklung gewährleisten. Da die einzusetzenden CAx-Technologien die Funktionen der Prozessschritte ersetzen oder unterstützen sollen, sind diese Technologien entsprechend ihrer Abhängigkeiten von den Funktionen bereichsweise einzuteilen (vgl. Abbildung 23).

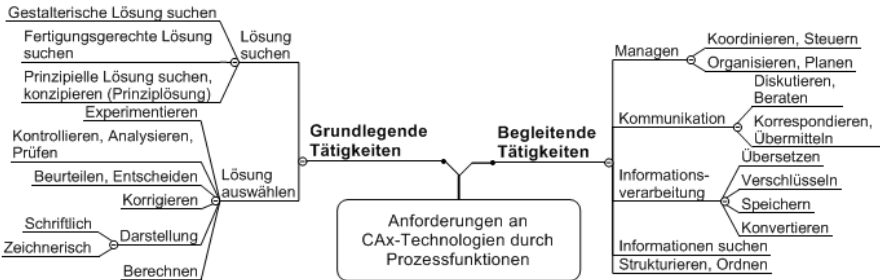


Abbildung 23: Anforderungen an CAx-Technologien durch Prozessfunktionen

Wie sich in der Praxis zeigt, sind einheitliche „Begriffe“ zwischen Prozessfunktionen und Funktionen einer CAx-Technologie nur unzureichend vorhanden. Die Intention besteht, gleiche bzw. einheitliche „Begriffe“ für Prozessverantwortliche und Systementwickler festzusetzen, damit eine optimale Einsatzplanung von CAx-Technologien erfolgen kann.

Die Einsatzfähigkeit von Informationstechnologien muss primär in Bezug auf den Prozess überprüft werden und nicht umgekehrt, d. h., die Funktionalitäten der Informationstechnologien sollten entsprechend den Prozessfunktionen ausgerichtet sein. Denn eine separierte Entwicklung der CAx-Technologien kann zu einem ineffizienten und ineffektiven Einsatz führen. Enthält eine CAx-Technologie neue Leistungsmerkmale wie z. B. Simulation oder

Virtual Reality, dann können neue Prozessfunktionen entstehen, die den Prozessablauf und -aufbau verändern können.

Werden Prozessfunktionen verändert, so kann dies zu Änderungen bei den CAx-Technologien führen. Ob mit der Veränderung von Prozessen eine Veränderung der CAx-Technologien folgt, hängt von den erlangten Veränderungen ab. Dieser Fall ergibt sich meist indirekt, er kommt in Verbindung mit einer neuen Version der CAx-Technologien vor. Bei Zusammenlegung von Prozessfunktionen kann bspw. ein Austausch zweier bestehender durch eine umfassendere CAx-Technologie erfolgen.

### 5.4.3.1 Veränderung von Prozessschritten durch eine Ausweitung des Einsatzes von CAx-Technologien

Es ist die folgende Frage zu klären: Ergibt eine Ausweitung des Einsatzes von CAx-Technologien eine Veränderung am Prozess und wenn ja, welche Möglichkeiten ergeben sich dadurch und welche Maßnahmen sind dafür notwendig?

Abbildung 24 zeigt einen Ausschnitt einer Matrix (vgl. Anhang – Abschnitt 10.6), die mögliche Prozessveränderungen bei der Anordnung und Ausprägungen durch z. B. einen veränderten Einsatz von CAx-Technologien diskutiert. Die Matrix zeigt zudem eine Auswahl von Veränderungs- und Gestaltungsmöglichkeiten auf.

Grundart		PARALLEL				
Fall		A	B	C	D	E
	Funktionen	1 F	2 F	2 F	(2+x) F	1 F
	Abschnitte	1 A	1 A	2 A	1 A	1 A
1	<b>Zerlegen (eine Funktional!)</b>	1F → 2F Fall F kann nun eintreten	Grundanordnung 2F u. 1A ist sequenzielle! 2F → 3F bei 1A: sequenzielle Anordnung bleibt bestehen → H 2F → 4F bei 1A: sequenzielle Anordnung bleibt bestehen	Grundanordnung ist parallel 2F → 3F bei 2A: parallele Anordnung mit 1A als sequenzielle Anordnung 2F → 4F bei 2A: parallele Anordnung als sequenzielle Anordnung (unterschiedlicher oder gleicher Anzahl an F in einem ...)	Grundanordnung ist sequenziell 2+x F → 2*(2+x) F bei 1A: sequenzielle Anordnung bleibt bestehen bei (1+x)A entsteh...	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten

Abbildung 24: Matrix der Prozessveränderung (Ausschnitt)

Als Parameter wird innerhalb der Erörterung die Prozessanordnung (parallel und sequenziell) und die Anzahl der Prozessfunktionen betrachtet. Folgende Variationen werden diskutiert:

- Veränderung der **Funktionalität (F)** und der **Prozess-Abschnitte (A)**.
- Veränderung der **Funktionalität (F)**, aber nicht der **Prozess-Abschnitte (A)**.
- Veränderung der **Funktionalität (F)**, wenn die **Anordnung (A)** bestehen bleibt und wenn die **Grundarten (parallel und sequenziell)** vorhanden sind.

Bei einem Prozess handelt es sich um eine Ansammlung von Funktionen mit einem Informationsfluss, mit In- und Output sowie mit einem Wissensfluss, mit explizitem und implizitem Wissen, die in Bezug auf eine Prozessanordnung ausschlaggebend sind. Als weitere Möglichkeiten werden die Informationstechnologie und die ausführenden Organisationseinheiten angesehen. Neben der Funktion und dem Informationsfluss gibt es genügend Freiheitsgrade für eine entsprechende Prozessgestaltung. Einzelne Gründe für Prozessveränderungen durch eine Veränderung des Einsatzes von CAx-Technologien sind in Tabelle 24 aufgeführt.

Gründe für Prozessveränderungen (beispielhaft)	Veränderung
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CAx-Technologien sind unabhängig von den Prozessfunktionen.</li> <li>▪ Input und Output der jeweiligen Prozessfunktionen sind unabhängig.</li> <li>▪ Prozessfunktionen werden von verschiedenen Personen durchgeführt.</li> <li>▪ Prozessfunktionen bauen nicht aufeinander auf.</li> </ul>	Parallelisieren
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Informationsbasis ist gleich oder verschieden verfügbar. Allerdings kommt es hier auf die Unterschiede der CAx-Technologien an!</li> <li>▪ Input und Output sind voneinander abhängig.</li> <li>▪ Prozessfunktionen werden von den gleichen Personen ausgeführt.</li> <li>▪ Prozessfunktionen sind abhängig voneinander.</li> </ul>	Sequenzialisieren
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Funktionen der CAx-Technologie reichen nicht aus. Andere CAx-Technologien bearbeiten einen Teil des Funktionsumfangs.</li> <li>▪ Funktionsumfang wird erweitert und muss durch verschiedene Ressourcen ausgeführt werden.</li> <li>▪ Anzahl der Prozessschritte und Tätigkeitsumfang nehmen zu.</li> </ul>	Zerlegen
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Neue CAx-Technologie übernimmt beide Funktionsumfänge.</li> <li>▪ Gleiche Ressource kann Prozessfunktionen ausführen.</li> <li>▪ Zusammenlegen des Funktionsumfangs von Prozessfunktionen.</li> </ul>	Zusammenfassen
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Andere CAx-Technologie kann (automatisch) die Prozessfunktionen übernehmen und wird somit zum „Dienstleister“.</li> <li>▪ Freie Ressourcen oder Schritte können übertragen werden.</li> <li>▪ Prozessfunktionen bauen nicht mehr aufeinander auf.</li> <li>▪ Prozessfunktion kann durch anderen Prozessschritt ausgeführt werden.</li> </ul>	Verlagern
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einsatz einer bisher nicht verwendeten CAx-Technologie.</li> <li>▪ Ressource ist frei, Prozessfunktion kann übernommen werden.</li> <li>▪ Daten sind über Informationstechnologie schneller verfügbar und CAx-Technologie übernimmt bspw. Berechnung und Darstellung.</li> </ul>	Einfügen
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ersatz einer bestehenden CAx-Technologie.</li> <li>▪ Eine Ressource wird frei.</li> <li>▪ Ersatz einer bisherigen Tätigkeit durch eine CAx-Technologie.</li> </ul>	Eliminieren
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CAx-Technologie wird für Spezialfall (unabhängig) verwendet.</li> <li>▪ CAx-Technologie muss zusätzlich unterstützt werden.</li> <li>▪ Einbindung einer neuen oder vorhandenen Ressource.</li> <li>▪ Prozessfunktionen bauen aufeinander auf sind sequenziell anzuordnen.</li> </ul>	Eingliedern
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CAx-Technologie ist nicht verantwortlich.</li> <li>▪ Ressourcen sind frei oder Prozessfunktion kann übernommen werden.</li> <li>▪ Prozessfunktion ist nicht mehr wichtig für den Prozess.</li> </ul>	Auslagern
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Austausch bisheriger CAx-Technologie durch leistungsfähigere.</li> <li>▪ Durchgängige Systemlandschaft fördert Daten- und Informationsfluss.</li> <li>▪ Einsatz von CAx-Technologie ist mit Prozess abgestimmt.</li> <li>▪ Prozessanordnung von sequenziell zu parallel (oder überlappend).</li> </ul>	Beschleunigen
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nacharbeiten wegen undurchgängiger Digitalisierung (alte Versionen).</li> <li>▪ Neue CAx-Technologie ist nicht eingebunden (Insellösung) → Schnittstellenproblematik führt zu aufwendiger Nacharbeit.</li> <li>▪ Keine automatische Bereitstellung aktuellster Daten- und Informationen.</li> <li>▪ Ressourcen sind nicht (unzureichend) fähig (geschult).</li> <li>▪ Ergebnis wird nicht für Start einer neuen Prozessfunktion benötigt.</li> </ul>	Verlangsamen

Tabelle 24: Gründe einer Prozessveränderung durch Veränderung des Einsatzes von CAx-Technologien

### 5.4.3.2 Anordnung: parallel versus sequenziell beim Einsatz von CAx-Technologien

Die Anordnung von Prozessfunktionen wird in erster Linie vom Produktinhalt und dessen Struktur festgelegt. Bei einer Prozessausrichtung müssen zuerst die Funktionen, der Informationsfluss und die CAx-Technologien betrachtet werden.

Um Auswirkungen und Einflüsse beim Einsatz einer CAx-Technologie auf die Prozessgestaltung erheben zu können, müssen die Zusammenhänge der zwei wesentlichen Konstellationen, parallel und sequenziell, neutral und in Verbindung miteinander betrachtet werden. Um die möglichen Auswirkungen zu erkennen, bedarf es einer Untersuchung der Abhängigkeiten zwischen den Elementen der Prozessfunktionen, wenn diese verändert werden. Grundsätzlich ist zu klären, warum bei einer sequenziellen Anordnung eine Prozessfunktion nach der anderen kommt und wann beide parallel angeordnet werden können (s. Abbildung 25). Dazu sind zuerst die notwendigen direkten Abhängigkeiten (z. B. Prozessfunktion x muss nach Prozessfunktion y erfolgen) aufzuführen. Im Weiteren ist zu analysieren, ob diese Abhängigkeiten von der sequenziellen Anordnung abhängen.

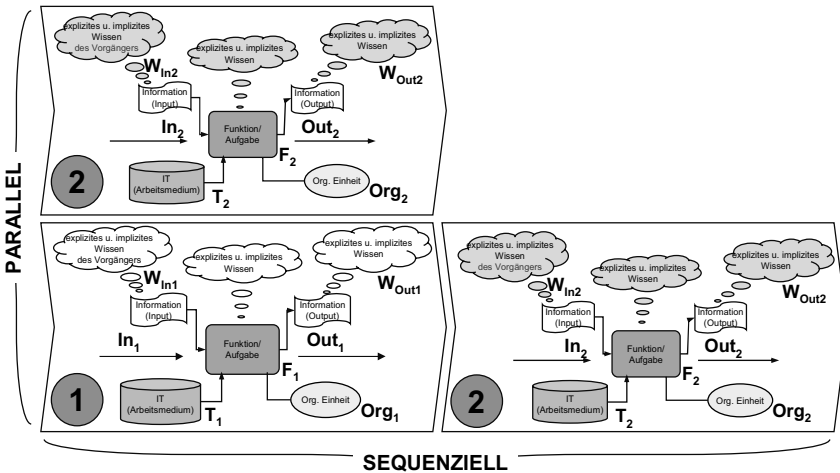


Abbildung 25: Prozessfunktionsanordnung: sequenziell und parallel

Die Betrachtung von Zusammenhängen von Prozessfunktionen in einer Diskussion mit den Variablen: parallele oder sequenzielle Anordnung, sind in Tabelle 25 (vgl. Tabelle 36 und Tabelle 37 im Anhang) aufgeführt.

Innerhalb der Diskussion werden zehn verschiedene Einzelfälle in Betracht gezogen (z. B.  $Input_1$  gleich oder ungleich  $Input_2$ ;  $T_1$  gleich oder ungleich  $T_2$ ). Es wird untersucht, inwieweit die Elemente eines Prozessschrittes (IT, Organisation, Input, Output) in Bezug zur Funktion und zu anderen Elementen stehen (ausführliche Diskussion im Anhang). Zusätzlich wird diskutiert, wie stark die Abhängigkeit ist. Diese Diskussion ist bei der Prozessgestaltung als ein Hilfsmittel gedacht, um Grundzusammenhänge und die Folgen durch Veränderung entdecken, ableiten, prüfen und gestalten zu können. Innerhalb der Diskussion werden nur die zwei Prozessanordnungen parallel und sequenziell und nicht eine Mischform aus beiden erörtert.

Aufgeführt wird zudem nur die Diskussion der sequenziellen Anordnung. Bei den Abhängigkeiten der parallelen Anordnung handelt es sich um die umgekehrte Betrachtung im Vergleich zu einer sequenziellen Anordnung. Durch die Betrachtung der Abhängigkeiten

zwischen den einzelnen Elementen und deren Bestandteile werden Grundlagen für den Aufbau von Prozessen erörtert.

	In <sub>2</sub>	Out <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	Org <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>
In <sub>1</sub>		--	--	--	--
Out <sub>1</sub>	<b>F1: ist gleich</b> → Abhängigkeit der Schritte  <b>F2: ist ungleich</b> → Andere Faktoren sind für die seq. Anordnung zuständig	--	Bei F1: out <sub>1</sub> ist notwendig für Begin von F <sub>2</sub> mit T <sub>2</sub> → not <sub>1</sub> und not <sub>1</sub> Bei F2: out <sub>1</sub> ist nicht notwendig für Start und Bearbeitung von F <sub>2</sub>	--	Bei F1: out <sub>1</sub> ist notwendig für Begin von F <sub>2</sub> → not <sub>1</sub> und not <sub>1</sub> Bei F2: out <sub>1</sub> ist nicht notwendig für Start und Bearbeitung von F <sub>2</sub>
T <sub>1</sub>	Bei F1: ist T <sub>1</sub> notwendig für den Erhalt von In <sub>2</sub> → Not <sub>1</sub> ; Not <sub>1</sub> Bei F2: ist T <sub>1</sub> notwendig für den Erhalt von In <sub>2</sub> → Not <sub>1</sub> ; Not <sub>1</sub>	--	<b>F3: gleich</b> → F9, F5, F6	Bei F9: es muss F5 sein, da Org <sub>2</sub> auch F <sub>2</sub> auszuführen hat → Not <sub>1</sub> Bei F10: → es muss F5 sein, da Org <sub>2</sub> auch F <sub>2</sub> auszuführen hat	Bei F3: → F9 Bei F4: → T <sub>1</sub> kann Grund für F10 sein

Tabelle 25: Abhängigkeiten der Elemente eines Prozessschrittes (Ausschnitt)

Legende: F: Fall; In: Input; Out: Output; T: CAX-Technologie; W: Wissen;  
 Index<sub>1</sub>: Prozessfunktion 1; Index<sub>2</sub>: Prozessfunktion 2

Die Anordnung der Prozessfunktionen erfolgt mit einer Prozessanordnungsmatrix (vgl. Abbildung 26). Diese Matrix dient der Vernetzung von Prozessfunktionen. Die aufgeführte Matrix ist angelehnt an die **Design Structure Matrix** des Massachusetts Institute of Technology (MIT) & University of Illinois at Urbana-Champaign (UIUC) [DSM06].

Zur Erstellung der Matrix müssen die für die Anordnung der Prozessfunktionen wichtigen Grundzusammenhänge berücksichtigt werden, d. h. die Integration der innerhalb der Produktspezifikation festgelegten Struktur- oder Funktionszusammenhänge. Danach erfolgt eine Ausrichtung entlang des Informationsflusses (Notwendigkeit der Information zum Start einer weiteren Funktion). Parallel dazu muss eine Betrachtung der Möglichkeiten des Informationsflusses hinsichtlich der CAX-Technologien erfolgen.

Die Matrix kann wie folgt ausgewertet werden (vgl. Abbildung 26): Im 1. Abschnitt (A1) sind die Prozessfunktionen F<sub>1</sub> u. F<sub>2</sub> sowie F<sub>5</sub> u. F<sub>6</sub> parallel anzuordnen. Nach F<sub>1</sub> u. F<sub>2</sub> folgen die Prozessfunktionen F<sub>3</sub> und F<sub>4</sub>, sequenziell bevor F<sub>5</sub> u. F<sub>6</sub> wieder in paralleler Anordnung folgen. Das Vorhandensein eines weiteren Abschnittes (A2) ergibt sich durch die Angabe der Prozessfunktionen F<sub>7</sub> und F<sub>8</sub>, die parallel zu allen Prozessfunktionen des 1. Abschnittes liegen müssen. Den beiden Abschnitten schließen sich dann die parallel angeordneten Prozessfunktionen F<sub>9</sub> und F<sub>10</sub> an.

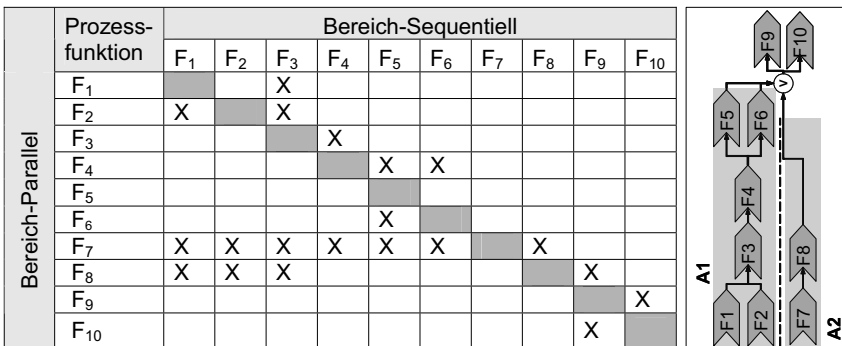


Abbildung 26: Prozessanordnungsmatrix und Prozessmodell

### 5.4.3.3 Veränderungen der Teilprozessanordnung beim Einsatz von CAx-Technologien

Eine zunehmende Digitalisierung ist nicht nur mit den Vorteilen einer Zeitreduktion verbunden, sondern die Prozesse der Produktentwicklung werden dadurch auch komplexer (vgl. Abschnitt 5.2.1). Die Komplexität wird durch die enorme Datenflut und Schnelligkeit erhöht und kann wiederum nur durch eine weitere Digitalisierung beherrscht werden. Somit entsteht ein sensibles Gebilde, in dem jedes Element sehr eng mit dem Ganzen verzahnt ist. Zu vergleichen ist die Abhängigkeit mit einem Just-in-Time-Prozess innerhalb der Warenanlieferung bei Produktionsprozessen [Sei98; Pot99].

Die Anordnung einzelner Prozessfunktionen oder Teilprozesse ist abhängig von den jeweiligen Inhalten, den Schnittstellen sowie der zeitlichen Eintaktung. Eine zeitparallele Ausführung von Teilprozessen führt zu einer hohen Synchronisation.

In Abbildung 27 ist das Zusammenwirken und die Integration der Teilprozesse (TP<sub>1</sub> und TP<sub>2</sub>) für zwei Produktteile (T<sub>1</sub> und T<sub>2</sub>) dargestellt. Die abstrahierte Darstellung zeigt die Zusammenhänge einer digitalisierten integrierten Teilekonstruktion und DMU-Bildung auf.

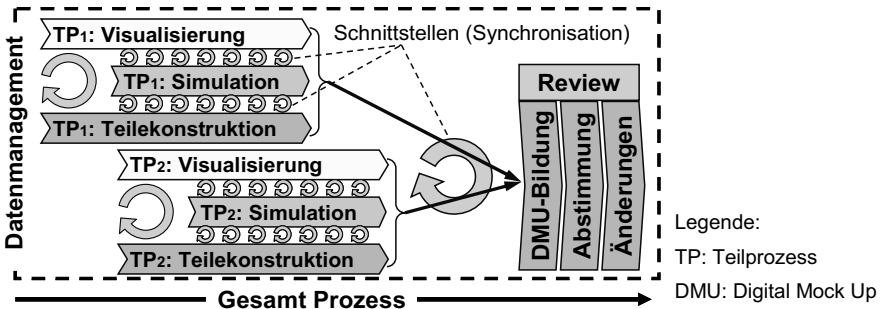


Abbildung 27: Zusammenhänge von Teilprozessen

Eine Ausführliche Diskussion der einzelnen Ausprägungen und Abhängigkeiten zwischen derartigen spezifischen Prozessschritten der Produktentwicklung ist in Tabelle 39 (im Anhang) aufgeführt.

Je nach Grad der Digitalisierung können sich verschiedene Anordnungen ergeben. In Abbildung 28 werden dazu vier Beispielfälle der Anordnung von Teilprozessen durch eine Veränderung des Einsatzes von Informationstechnologie auf die Prozessgestaltung aufgeführt. Dargestellt ist die Konstruktion zweier Bauteile, deren Zusammenführung mit einem Review und möglichen Änderungsschleifen. Die sequenzielle und parallele Anordnungen haben eine teilweise Integration von CAx-Technologien oder weiterreichende, im Sinne der ganzheitlichen Digitalisierung.

Die Darstellungen zeigen, dass mit einer Parallelisierung und zunehmenden Digitalisierung die Gesamtzeit verkürzt werden kann. Somit besteht die Möglichkeit die eingesparte Zeit in weitere Iterationsschleifen zu investieren um noch bessere Ergebnisse zu erzielen. Mit paralleler oder integrierter Arbeit kann die Beschleunigung von Teilprozessen verstärkt werden.

Für eine Parallelisierung muss aber die Kooperation und Abstimmung mit parallelen Teilprozessen und eines durchgängigen Daten- und Änderungsmanagements sichergestellt werden. Durch die Digitalisierung können dann die meist aufwendigen physischen Prototypen durch DMUs verringert werden. Dies spart Zeit und Materialkosten. Zudem besteht die Möglichkeit Änderungen schnell umzusetzen und zu testen.

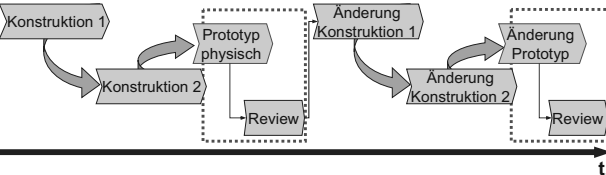
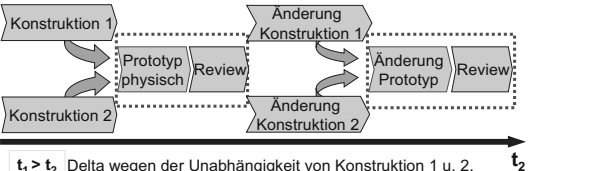
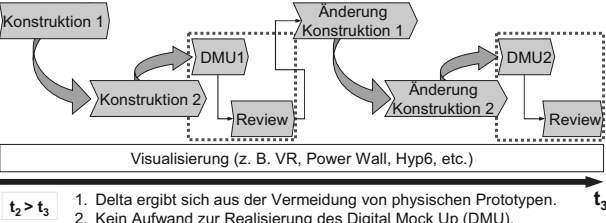
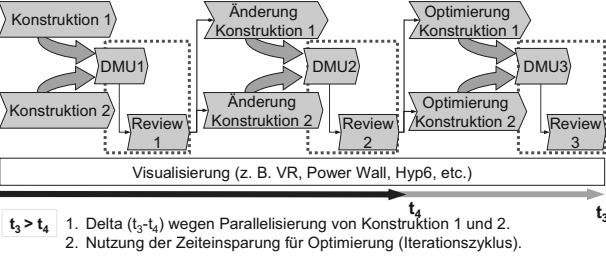
Prozessgestalt	Merkmale
<p><b>1) sequenziell</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sequenzielle Anordnung</li> <li>▪ Aufwendige Änderungen</li> <li>▪ Physische Versuche und Absicherung</li> <li>▪ Mangelnde Transparenz</li> </ul>
<p><b>2) parallel</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Parallele Anordnung</li> <li>▪ Aufwendige Änderungsschleifen</li> <li>▪ Physikalische Versuche und Absicherung</li> <li>▪ Mangelnde Transparenz</li> <li>▪ Unabhängigkeit der Prozessschritte</li> </ul>
<p><b>3) sequenziell und digitalisiert</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digitalisierte Prozessschritte</li> <li>▪ Sequenzielle Anordnung</li> <li>▪ Mangelnde Transparenz</li> <li>▪ Digitale Versuche und Absicherung</li> <li>▪ Schnellere Änderungen</li> <li>▪ Zeiteinsparung zu (1)</li> <li>▪ Aktualität der Daten</li> <li>▪ Einsatz eines PDM- und EDM-Systems</li> </ul>
<p><b>4) parallel und digitalisiert</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Digitalisierte Prozessschritte</li> <li>▪ Zeiteinsparung und Dynamikzunahme</li> <li>▪ Einsparung realer Prototypen (digitales Review)</li> <li>▪ Digitale Versuche und Absicherungen</li> <li>▪ Doppelte Ressourcen</li> <li>▪ Integriertes Produktmodell</li> <li>▪ Einsatz eines PDM- und EDM-Systems</li> </ul>

Abbildung 28: Beispiele von Veränderungen der Prozessgestalt durch den Einsatz von CAx-Technologien und Informationstechnologie

#### 5.4.3.4 Vernetzung von Teilprozessen durch informationstechnologische Unterstützung

Der Prozess der Produktentwicklung im Umfeld einer durchgängigen Produktstruktur ist gekennzeichnet durch die Vernetzung von Bauteilen und Baugruppen. Eine integrierte

Produktentwicklung, basierend auf einem integrierten Produktmodell, erhöht aus datentechnischer Sicht die Komplexität, da eine Konfiguration der Bauteile hinzukommt. Kreativität und Umdenken sind unbedingt für die Entwicklung der zukünftigen Prozesse notwendig. Sonst besteht die Gefahr einer Einschränkung der Freiheit des Entwicklers (z. B. durch die Verbindung von Konstruktion und Stücklistenwelt in einer Produktstruktur).

Der Entwicklungsprozess wird durch die Produktstruktur und Entwicklungsschritte gebildet. CAx-Technologien haben neue Möglichkeiten und bilden damit neue Teilprozesse aus. Die Prozessschritte sollten daher bzgl. ihrer Funktionen nahezu komplett durch Systemfunktionalitäten abgedeckt werden, d. h., in jedem Prozessschritt muss eine Anbindung an die digitalen Produktdaten und Engineering-Werkzeuge gewährleistet sein.

Eine Vernetzung von Prozessschritten kann auf verschiedene Arten erfolgen, ähnlich wie beim Ansatz des Business Reengineering [Ost03]. Es handelt sich um:

- eine **vertikale Vernetzung**, diese beinhaltet lange Kommunikationswege, zahlreiche Übermittlungsfehler, Schnittstellen und eine mangelnde Flexibilität;
- eine **unstrukturierte Vernetzung**, diese beinhaltet eine direkte Kommunikation, aber chaotische Wege; die Schnittstellenanzahl wird reduziert, ist aber unüberschaubar;
- eine **modulare Strukturierung**, diese beinhaltet eine direkte Kommunikation und überschaubare Wege dazu; die Anzahl der Schnittstellen zwischen den Prozessschritten ist stark reduziert und überschaubar, die Prozessschritte werden eigenständig organisiert und sind von hoher Flexibilität geprägt (s. Abbildung 29).

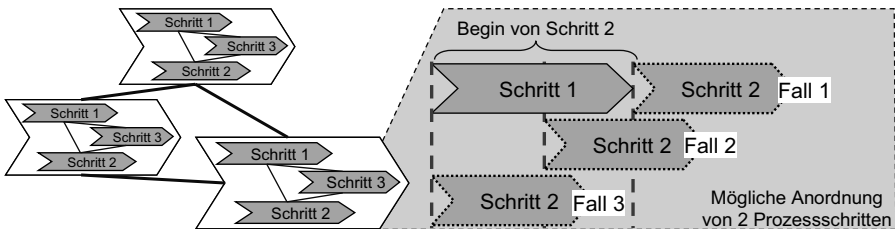


Abbildung 29: Modulare Prozessstrukturierung

Fall	Beschreibung
1	Strenge Folge, d. h., der Nachfolger benötigt die Ergebnisse zum Start.
2	Überlappung durch Nachfolger, d. h., der Nachfolger kann schon mit unreifen Daten beginnen.
3	Strenge Überlappung, d. h. parallele Anordnung, da entweder beide unabhängig sind oder beide integriert sind.

Tabelle 26: Zusammenhänge von Teilprozessen

In Abbildung 29 sind verschiedene Fälle der Anordnung von Prozessschritten dargestellt und in Tabelle 26 sind die Zusammenhänge der Teilprozessanordnungen aufgeführt. Betrachtet werden die Konstellationen (Fall 1 bis 3) im Hinblick auf den Einsatz von CAx-Technologien und im Speziellen auf die Abhängigkeit vom Informationsfluss. Eine Überlappung oder eine parallele Anordnung (Fall 3) hat in diesem Zusammenhang eine integrierte Entwicklung zur Folge. Dies bedeutet, beide Schritte müssen für den „Nachbarn“ transparent sein und sind damit in einem gemeinsamen Prozessfluss integriert. Somit können Informationen und Erkenntnisse ausgetauscht, Entscheidungen beidseitig getroffen und Änderungen zeitnah vollzogen werden. Zudem können in der gleichen Zeit mehr Iterationszyklen für ein besseres Ergebnis durchlaufen werden.

### 5.4.3.5 Strukturierungsansatz eines Verbunds von CAx-Technologien

Bei einer Überschneidung einzelner Prozessschritte kann es zu einem parallelen Einsatz derselben CAx-Technologien kommen. Hier muss der Zeitgewinn im Verhältnis zur Investition betrachtet werden. Dieser Umstand gilt in gleichem Maße für den Ressourceneinsatz. Durch eine Veränderung der Anordnung müssen Dopplungen vermieden werden. Nur wenn es aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten unumgänglich ist, sollte diese Anordnung beibehalten werden, z. B. wenn dadurch ein Engpass ausgeglichen werden kann.

Innerhalb der Produktentwicklung gibt es viele verschiedene Informationstechnologien, die dem Entwickler zur Verfügung stehen. In Abbildung 30 ist ein Überblick über die Zusammenhänge zwischen dem Produktmodell, den CAx-Technologien und den Informationstechnologien bspw. für die Produktentwicklung dargestellt [Dyl00].

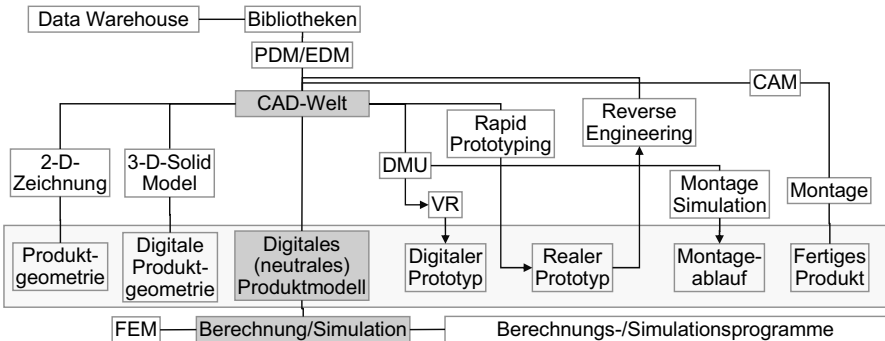


Abbildung 30. Zusammenhänge zwischen Produktmodell, CAx-Technologien und Informationstechnologien in der Produktentwicklung

### Durchgängige Strategie des Verbundes von CAx-Technologien und Informationstechnologien

Für eine digitale Unterstützung und eine sukzessive Detaillierung des Produktmodells von der Idee bis zur Inbetriebnahme bedarf es einer durchgängigen Strategie der CAx-Technologien und Informationstechnologien. Dazu ist eine integrierte und prozessorientierte Struktur in Form einer idealisierten 5-Schichten-Architektur (s. Abbildung 31) zu bilden.

#### Erste Ebene – Datenerzeugung

Innerhalb dieser Ebene werden alle Dokumente, Vorgänge, Produktinformationen etc. mit nicht vernetzter Anwendungssoftware erzeugt und erfasst. Besonderer Wert muss auf das Zusammenspiel mit dem Datenmanagement gelegt werden. Diesbezüglich müssen Funktionen in die Software integriert werden, die es ermöglichen, dass nachfolgende Bereiche im Zuge von z. B. Änderungsschleifen auf dort bereits erstellten Weiterbearbeitungen wieder aufsetzen können.

#### Zweite Ebene – Datenmanagement

Die Ansätze des Data- und vor allem des Information-Warehouse versuchen die vorhandenen Daten miteinander zu verknüpfen sowie so zu strukturieren, dass aus Daten Informationen entstehen, die den Produktentwicklungsablauf abbilden und in dieser Eigenschaft als Hilfsmittel zu adäquatem Handeln dienen.

EDM- oder PDM-Systeme (Engineering oder Product-Data-Management-Systeme) integrieren die Informations- und Datenflüsse und Abläufe über alle Prozesse der Produkt-

entwicklung hinweg und entlang des gesamten Lebenszyklus des Produktes. Dadurch besteht die Möglichkeit, über alle Applikationen, Abteilungen und Standorte hinweg auf alle relevanten, aktuellen Daten und Dokumente zugreifen zu können [Bul01d].

Diese Informationssysteme versuchen sämtliche dem Unternehmen zur Verfügung stehenden Informationsquellen in einer unternehmensweiten Informationsbasis zu vereinen. Dabei werden die Daten nicht Stück für Stück in einem neuen Datenspeicher abgelegt, sondern es wird ein Information-Warehouse aufgebaut, das lediglich über Meta-Informationen verfügt.

Eine derartige maßgeschneiderte Informationslieferung erlaubt es den Mitarbeitern, ihre Tätigkeiten anforderungsgerecht auszuführen. Als strategischer Vorteil ergibt sich eine unternehmensweite Anreicherung von Wissen. Durch entsprechende Groupware und Workflow-Management-Systeme kann zusätzlich eine ganzheitliche Sicht auf die mit den Prozessen der Produktentwicklung in Beziehung stehenden Informationen erreicht werden [Bul01d].

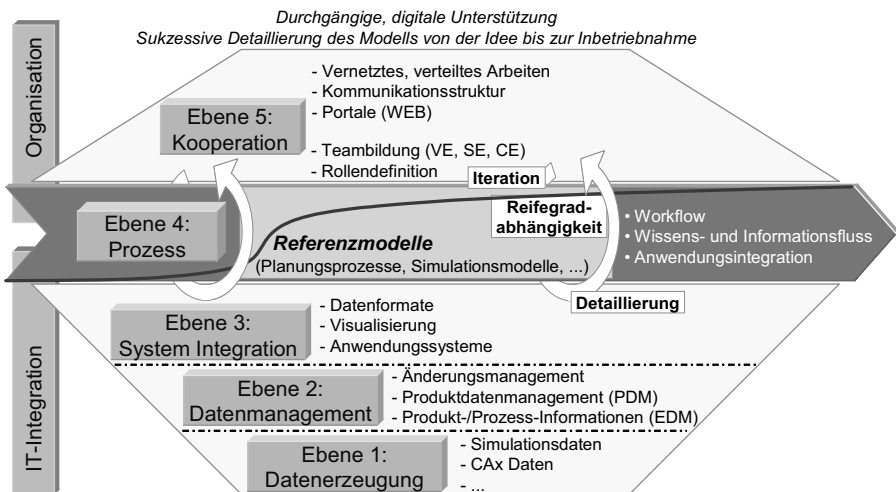


Abbildung 31: Strukturmodell [War00; Jnd00, Bul05; Spa05a]

### Dritte Ebene – Systemintegration

Damit die verschiedenen CAx-Technologien und Informationstechnologien optimal genutzt werden können, ist nicht nur der reibungslose Zugriff durch verschiedene Personen, sondern auch zwischen verschiedenen Anwendungen notwendig. Bei den Anwendungen handelt es sich um Standardanwendungen und um Expertensysteme, mit denen spezielle Aufgaben durch Spezialisten gelöst werden. Alle Anwendungen müssen in jedem Fall über Daten-Management-Systeme der zweiten Ebene vernetzt sein.

Die Datenaustauschbarkeit und -kompatibilität ist ein wesentlicher Faktor, damit die verschiedenen Applikationen wie CAx-Systeme (CAD, CAE), Simulations- (DMU, VR etc.) und Rapid-Prototyping-Werkzeuge auf das gleiche Datenmaterial zugreifen können. Hierbei ist zum einen auf eine homogene Hard- und Software-Landschaft zu achten und zum anderen sind entsprechende Schnittstellen zu integrieren und dem Mitarbeiter integrierte Engineering-Werkzeuge bereitzustellen, z. B. mithilfe einer RPD-Middleware [Dal05].

## **Vierte Ebene – Prozess**

Der bisherige Produktentstehungsprozess, gekennzeichnet durch eine arbeitsteilige, funktional orientierte Struktur und die damit verbundene Vielzahl von Schnittstellen entlang des Prozesses, hat zur Folge, dass die Leistungen oft fehlerhaft oder zu spät eintreffen. Dies beeinflusst die Produktqualität, Prozesseffektivität und -effizienz. Daher muss der Produktentstehungsprozess auf die neuen team- und aufgabenorientierten Methoden und auf einen hohen Anteil an Informationstechnologien neu ausgerichtet werden. Flexibilität, Dynamik, Kooperation, Kommunikation und Koordination werden durch die Digitalisierung verbessert, was auch im Aufbau und in der Ausrichtung bei den Prozessen beachtet werden muss.

## **Fünfte Ebene – Kooperation und Anwendungsintegration**

Aufbauend auf den vorangegangenen Ebenen sind Kommunikations-, Koordinations- und Kooperationsysteme sowie Applikationsportale zu installieren und zu einer verteilten Entwicklungsumgebung zu vernetzen.

Für die Gestaltung der Desktopoberfläche am Arbeitsplatz bzw. eines Portals als Informationszugang sind viele Anforderungen zu berücksichtigen [Zül99]: hohe Benutzerfreundlichkeit, fortwährende Aktualität, hoher Informations- und Nutzengrad sowie Individualisierbarkeit und Interaktivität. Die Individualisierbarkeit stellt eine besondere Herausforderung dar. Einerseits soll der Nutzer nicht durch zusätzlichen administrativen Aufwand zur Anpassung seines Systems belastet werden, andererseits kann die Kontrolle der Funktionalitäten nicht an das System abgegeben werden [Hö00].

Je differenzierter die Anpassung an die Anforderungen erfolgt, umso höher ist schließlich die Akzeptanz. Forschungsansätze schlagen daher eine Parametrisierung eines Portals vor, um die Adaption besser zu gestalten. Als geeignete Parameter wurden die „Rolle“ und „Aufgabe“ eines Nutzers identifiziert. Die Rolle wird dabei über den Kompetenzbereich des Nutzers definiert, während die Aufgabe von der aktuellen Tätigkeit und damit vom Projekt und dessen Status bestimmt ist.

Ein Zugriff über z. B. Web-Portale ist für eine verteilte Entwicklung unumgänglich, damit eine schnelle und unbürokratische Informationsbeschaffung erfolgen kann. Die entsprechende Datensicherheit und Bandbreite im Netz muss gewährleistet werden sowie die Zugriffsebenen für die einzelnen Nutzer [War00].

Die Visualisierungsmöglichkeiten eines Produktes sind für die Produktentwicklung und für die Entscheidungsfindung ein wichtiges Werkzeug. Besonders durch die Integration von VR-Systemen im Prozess ergeben sich neue Möglichkeiten, aber auch notwendige Voraussetzungen und Herausforderungen. Z. B. ist die Aussagefähigkeit der visuellen Darstellung von digitalen Prototypen noch nicht ausreichend definiert und somit schwer abzuschätzen. Daher können Entwicklungen mithilfe von digitalen Prototypen nur unzureichend abgesichert werden und die Umstellung auf digitale Prototypen hat noch nicht den erwünschten Umfang angenommen. Reale Prototypen werden daher immer noch benötigt, um die Vollständigkeit der Absicherung zu gewährleisten.

### **5.4.4 Inhalte der Gestaltung**

Die immer komplexeren Gesamtzusammenhänge eines integrierten Entwicklungsprozesses erfordern die Bereitstellung geeigneter Mechanismen, die eine systematische Betrachtung und Gestaltung unterstützen. Gleichzeitig gilt es die Übersichtlichkeit bei der Methodenanwendung und die Interpretationsfähigkeit zu erhöhen.

Der Gesamtprozess wird daher in einzelne Segmente aufgeteilt (vgl. Abschnitt 5.4.3.4). In der obersten Ebene befindet sich ein bereichsübergreifendes Gesamtkonzept. Hierin

werden alle strategischen Abläufe und Tätigkeiten beschrieben, die für die Organisation, Steuerung, Funktionsweitergabe und Dokumentation des Gesamtkonzeptes relevant und verantwortlich sind. Die Segmentierung erfolgt bis zu überschaubaren Bereichen mit einer zusammenhängenden Anzahl an Einzelfunktionen. Diese einzelnen Teilprozesse sind die Bausteine eines Gesamtprozesses. Innerhalb dieser Arbeit liegen die Schwerpunkte in der Systematisierung beim Einsatz von CAx-Technologien und der Vernetzung zwischen zwei Teilprozessen. Die Ausgestaltung der Teilprozesse wird durch spezifische Zielgrößen festgelegt. Die Vernetzung der einzelnen Teilprozesse ist von der Produktstruktur, den Entwicklungstätigkeiten etc. abhängig. Infolge dieser Abhängigkeiten erfolgt die Vernetzung und Integration entlang des Reifegrads des Entwicklungsfortschrittes.

#### **5.4.4.1 Zielgrößenbildung: Idealtypischer Teilprozess nach CAx-Technologie-Gesichtspunkten**

Für die Gestaltung eines Soll-Prozesses wird ein abstrakter und idealtypischer Teilprozess benötigt. Dieser Teilprozess stellt einen Ziel-Zustand dar. Der Fokus liegt bei der folgenden Beschreibung auf der Digitalisierung und nicht auf prozessualen Zusammenhängen.

Die Gestalt und der Inhalt eines Teilprozesses hängen von den Anforderungen für eine optimale Digitalisierung (integriert – digital – kooperativ) ab. Einzelne Gestaltungspunkte werden dabei aus den Bewertungsgrößen hinsichtlich der Systematisierung von Teilprozessen mit CAx-Technologien abgeleitet.

Abhängig von den Ansprüchen können die Umfänge und die Gestaltungspunkte erweitert, aber auch reduziert werden. Um jedoch eine möglichst optimale Produktentstehungsumgebung zu etablieren, sind alle Verbesserungsmöglichkeiten in Betracht zu ziehen. Diese Betrachtung ist für eine effektive und effiziente digitale Produktentstehung eine Grundvoraussetzung. Nur auf diese Art können die Grundlagen für strategische Entscheidungen für die Umsetzung bereitgestellt werden. Erst die Planung der Umsetzung ergibt schließlich den Umfang der Veränderungen.

Die Zielgrößen für einen integrierten – digitalen – kooperativen – Teilprozesses sind:

- Gewährleistung von hoher Dynamik, Flexibilität und Prozesssicherheit.
- Durchgängige und integrierte Digitalisierung, Datenzugriff und Applikationseinsatz.
- Ausrichtung und Anwendung eines integrierten Produktmodells.
- Folgefehlervermeidung durch optimale Schnittstellenbewältigung.
- Absicherung auf Basis von digitalen Prototypen.
- Dynamische und flexible Änderungsmöglichkeiten.
- Simultanes und kooperatives Zusammenarbeiten mit ständiger Transparenz über Parallelaktivitäten und Produktentwicklungszustand.
- Kooperative und kommunikative Zusammenarbeit in einer virtuellen Umgebung (DMU-Raum oder Digitale-Fabrik-Plattform).

In Abbildung 32 ist beispielhaft ein abstrakter, idealisierter Prozessabschnitt mit digitalisierten Teilprozessen (Konstruktionsprozesse; DMU-Bildung, -Simulation und -Visualisierung; Review) und Prozessschritten (Konstruktion, Berechnung, Visualisierung, etc.) abgebildet. Die Teilprozesse sind am jeweiligen Reifegradverlauf ausgerichtet. Zu definierten Reifegradstufen (z. B. R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>) können erste Ergebnisse zur DMU-Bildung weitergeleitet werden (Abbildung 37).

Unter Berücksichtigung der zuvor aufgeführten Gestaltungsgrundsätze (Abschnitte 5.4.2), der Hinweise aus einer Veränderung der Prozessschritte durch eine Veränderung der CAx-Technologien (Abschnitt 5.4.3), durch Vernetzungsaspekte etc. kann entlang eines Fragenkataloges (s. Tabelle 46 - Anhang) eine strukturierte Erstellung eines Teilprozesses erfolgen.

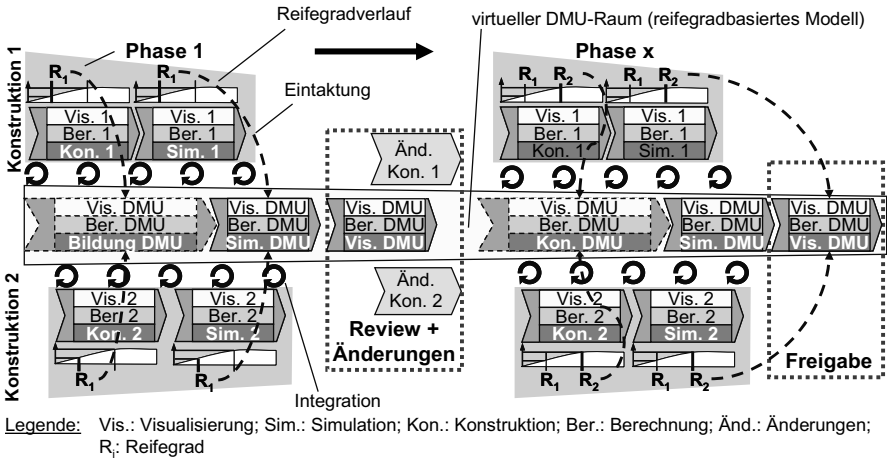


Abbildung 32: Idealtypische Prozessabschnitt mit digitalisierten Teilprozessen

#### 5.4.4.2 Veränderung der Prozessfunktionen und Gestaltung eines Teilprozesses

Die Prozessfunktion der bestehenden Prozessschritte kann durch einen geänderten Einsatz von CAX-Technologien verändert werden. Einzelne Gründe für Prozessveränderungen durch Änderung des Einsatzes von CAX-Technologien sind in Tabelle 24 aufgeführt. Um diese Veränderungen zu erfassen unterstützt die in Abbildung 24 dargestellte Matrix die Ermittlung der Auswirkungen bzgl. der Anordnung und Ausprägung. Dabei können die Gestaltungs- und Modifizierungsmaßnahmen (Tabelle 22 und Tabelle 23) angewendet werden. Die Anordnung und Vernetzungen der Prozessschritte erfolgt mit einer Prozessanordnungsmatrix (s. Abbildung 26).

Wenn die notwendigen Basisinformationen und Erkenntnisse für eine Erfolg versprechende Soll-Gestaltung gegeben sind, werden die ermittelten Potenziale innerhalb verschiedener Teilprozesse gemäß dem Vorgehen von Abbildung 33 umgesetzt.

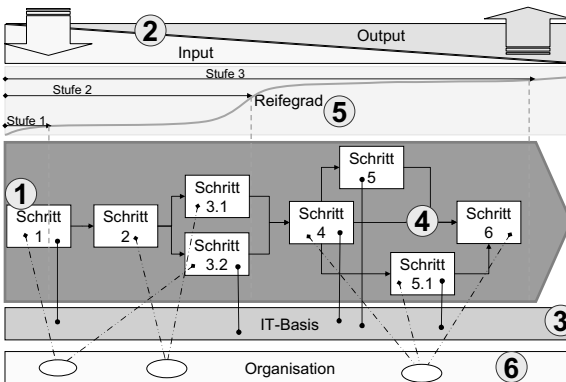


Abbildung 33: Ausbildung eines Teilprozesses

### 5.4.4.3 Vernetzung von Teilprozessen und Prozessfunktionen

Mithilfe einer Verknüpfungssystematik erfolgt die Aggregation von Prozessfunktionen zu Teilprozessen und von diesen wiederum zu einem Gesamtmodell. Innerhalb eines Teilprozesses erfolgt die **primäre Vernetzung** über die Prozessfunktionen. Die Prozessfunktionen hängen wiederum von der Produktstruktur und den Produktfunktionen der aufeinander aufbauenden Produktteile oder -module ab. Zwei übliche Elemente zur Beschreibung dieser Zusammenhänge sind der Funktionsbaum [Ehr07] und ein Vorranggraph. Die **sekundäre Vernetzung** erfolgt über die Systematisierung des Einsatzes von CAx-Technologien, bevor die zeitliche und qualitative Ausrichtung der Prozesselemente, -schritte und -abschnitte erfolgt. Diese Ausrichtung erfolgt gemäß den Zielgrößen zur Bildung eines integrierten, digitalen, und kooperativen Teilprozesses (s. Abschnitt 5.4.4.1). Zur Ermittlung des Informationsgewinns eines Teilprozesses müssen die Aufgaben, wie in Abbildung 34 dargestellt, bzgl. der Ergebnisse bewertet und gewichtet werden, um daraus den Reifegrad des Informationsgewinns in einem Teilprozess zu erhalten.

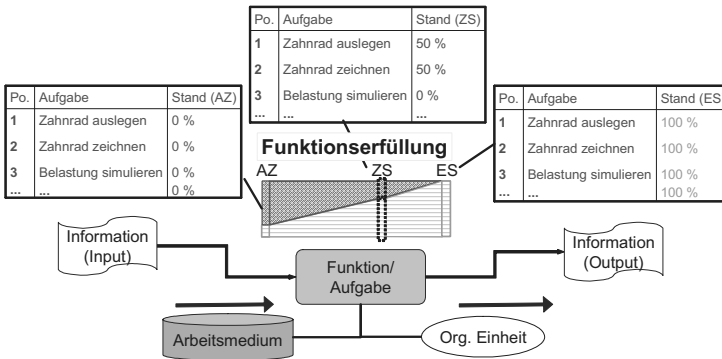


Abbildung 34: Informationsgenerierung in einer Prozessfunktion

Die Zunahme der Ergebnisse und somit der Gewinn an reifen Daten in einem Teilprozess kann verschiedene Reifegrad-Verläufe ausbilden. Der ideale Verlauf eines Reifegrads einer Entwicklung beinhaltet ein stetiges Wachstum und einen gleichmäßigen Anstieg. Er ist gekennzeichnet durch einen zeitlichen Verlauf, der den Anstieg des Reifegrads von 0 - 100 Prozent angibt. Die Steigung der Kurve und damit die Geschwindigkeit der Entwicklung werden durch verschiedene Parameter bestimmt [Noh99]. Abbildung 35 stellt sechs idealtypische Verläufe des Zuwachses an Informationen eines Prozesses dar.

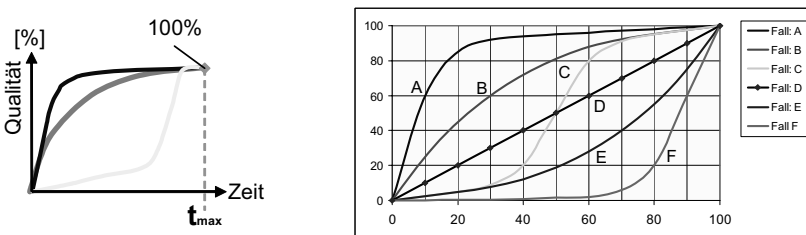


Abbildung 35: Idealtypischer Verlauf der Informationsgenerierung [Noh99]

Fall A veranschaulicht einen frühen und dabei sehr hohen Informationsgewinn mit einer langen Optimierungsphase. Fall C stellt einen verhaltenen Informationsgewinn mit einem sprunghaften Anstieg in der Prozessmitte dar, während Fall D einen über den gesamten

Prozess gleich bleibenden Anstieg zu verzeichnen hat. Einen sehr verhaltenen Anstieg und einen zum Ende mit einem enormen Informationsanstieg versehenen Verlauf stellt Fall F dar. Die aufgeführten Verläufe zeigen auf, zu welchem Zeitpunkt innerhalb eines Teilprozesses mit welchem Grad an Informationen zu rechnen ist. Dies ist umso wichtiger, wenn eine Vernetzung von einzelnen Teilprozessen erfolgen soll. Bei der Vernetzung sind verschiedene Anordnungen zu unterscheiden.

Durch die Festlegung von geforderten Reifegradwerten ( $F_i$ ) können Informationsstufen (Vernetzungspunkte;  $Z_{50\%}$ ,  $Z_{75\%}$ ,  $Z_{100\%}$ ) festgelegt, ermittelt werden. Diese werden dann auf die Teilprozesse übertragen, wie es in Abbildung 36 aufgezeigt ist.

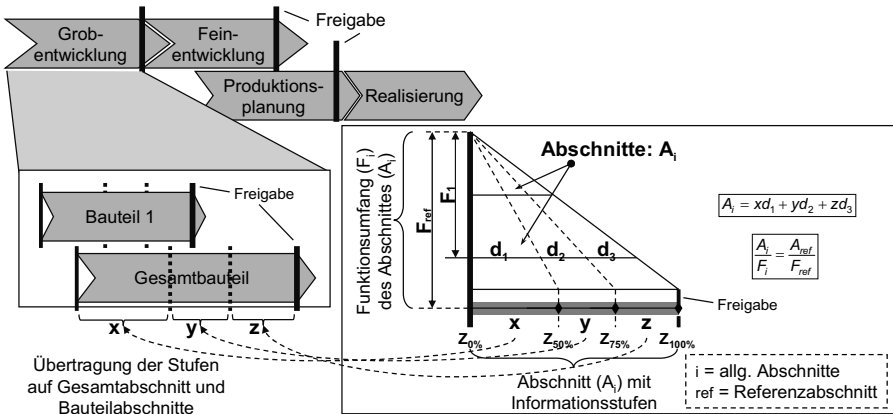


Abbildung 36: Verhältnis der Reifegradverlaufsabschnitte zum Entwicklungszeitraum

Die Reifegradwerte und Informationsstufen hängen von den Anteilen der erfüllten Entwicklungsergebnisse des Produktes ab. Durch die Definition der Informationsstufen können die Zeitabschnitte ( $d_1$ ,  $d_2$ , ...) für die Teilprozesse mittels des Strahlensatzes der Mathematik [Gro07] ermittelt werden. Nach der Aufstellung eines Standardablaufs muss die zeitliche Eintaktung in den Reifegradverlauf des Teilabschnitts erfolgen (s. Abbildung 36). Dies erfolgt durch Bildung des relativen Verhältnisses der Erhöhung des Funktionsumfangs ( $F_i$ ) eines Teilabschnitts ( $A_i$ ) in Bezug zum Verhältnis des Gesamtfunktionszuwachses ( $F_{ges}$ ) zum Gesamtentwicklungszeitraum ( $A_{ges}$ ) (siehe Gleichung 9 und Gleichung 10):

Gleichung 9:  $A_i = x d_1 + y d_2 + z d_3$ ,

Gleichung 10:  $\frac{A_i}{F_i} = \frac{A_{ges}}{F_{ges}} = \frac{A_{ref}}{F_{ref}}$ .

Die Zeitabschnitte in Verbindung mit den Prozessfunktionen werden für jeden Teilprozess einzeln festgelegt.

Die Veränderungen der Position einzelner Prozesselemente oder die Veränderung der einzelnen Prozessschritte wirken immer auf die Anordnung und bewirken eine Beschleunigung oder Verlangsamung (vgl. Abbildung 22). Neben der sequenziellen und parallelen Anordnung kann noch eine Überlappung der Teilprozesse stattfinden. Hierbei wird ein nachfolgender Prozessschritt schon früher gestartet (vgl. Abbildung 37 – Fall 3). In Abbildung 37 ist die **zeitliche und inhaltliche Vernetzung** von Teilprozessen mit einer Ausrichtung am Reifegrad (Informationsgewinn) dargestellt. Kriterien für die Vernetzung sind die Abhängigkeiten innerhalb eines Teilprozesses sowie zu anderen Teilprozessen (z. B. Festlegung der Struktur, Auslegung, Konstruktion und Berechnung eines Bauteils).

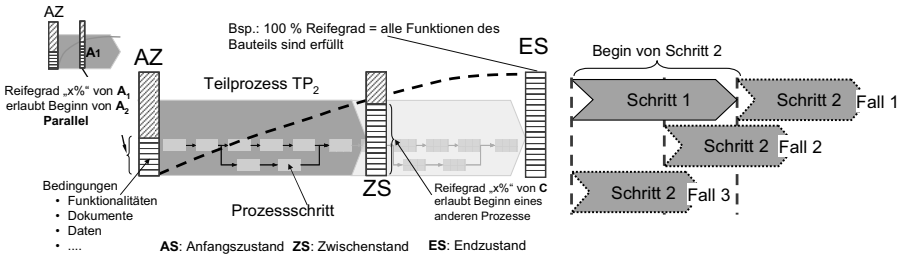


Abbildung 37: Regelung des Informationsflusses anhand des Produktreifegrades

Der Vorgang zur Übertragung des Standardprozesses auf die Zeitspannen und die daraus resultierenden Zeitabschnitte ist in Abbildung 38 zusammenfassend dargestellt. Die Schritte sind im Einzelnen:

1. Reifegradverlauf festlegen.
2. Reifegradwerte (Informationsstufen) definieren durch Ermittlung der Informationsgewinnung der Prozessfunktionen.
3. Ermittlung der Zeitabschnitte für einen Reifegradwerte.
4. Übertragung der Referenz-Zeitabschnitte, Informationsstufen mit Funktionsumfang und Reifegradverlauf auf Teilprozess und Ausrichtung der Prozessschritte im Teilprozess.

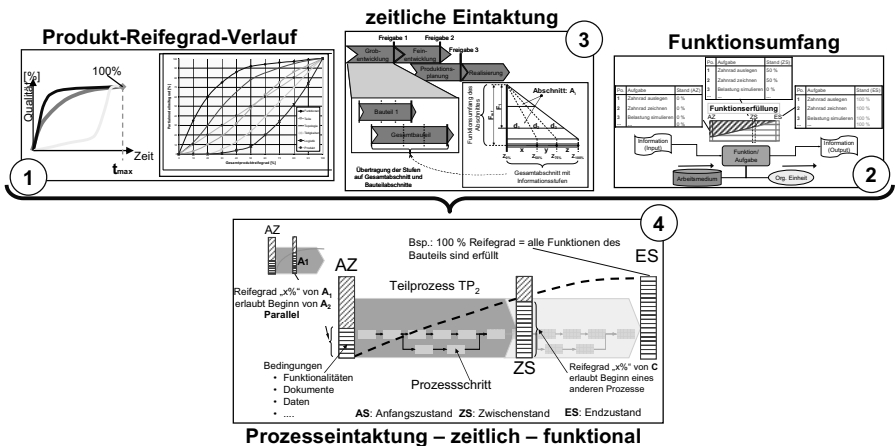


Abbildung 38: Funktionale Eintaktung von Prozessschritten in Teilprozesse

Die Prozessfunktionen des Teilprozesses können somit auf den Reifegradverlauf abgestimmt werden. Im Weiteren werden über die Schnittstellenvernetzung die Teilprozesse zu einem Gesamtprozess zusammengestellt.

Werden die Gestaltungsansätze mit den Ansätzen der Vernetzung über den Reifegradverlauf auf einen Teilprozess einer Produktentstehung übertragen, so ergibt sich eine Vernetzung, wie sie in Abbildung 39 beispielhaft für zwei Teilprozesse dargestellt ist.

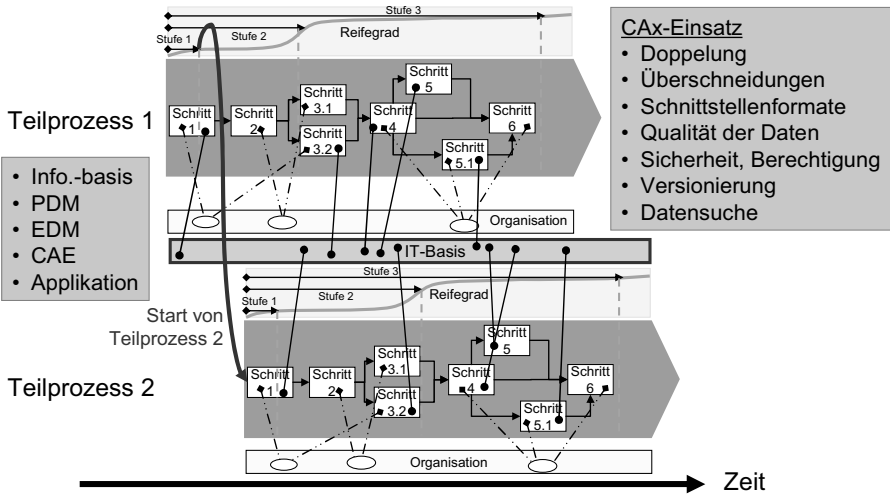


Abbildung 39: Integration von reifegradabhängigen und digitalisierten Teilprozessen

#### 5.4.4.4 Bewertung von Prozessveränderungen

Die an einem bestehenden Prozess vorgenommenen Veränderungen werden im Einzelnen erfasst und bewertet. Die Bewertung der Prozessveränderungen wird vorgenommen, um verschiedene Lösungsmöglichkeiten vergleichen zu können. Andererseits ergibt sich aus der Bewertung eine Gesamtgröße, die ein aggregiertes Potenzial einer Prozessveränderung beschreibt. Die Bewertung erfolgt mittels der in Abschnitt 5.3 aufgestellten Bewertungssystematik und ist abhängig von den Zielvereinbarungen.

Alle positiven und negativen Veränderungen werden mit einem Bewertungsfaktor gewichtet und zu einem Gesamtwert summiert. Die einzelnen Prozessveränderungen werden in einem **Prozess-Veränderungs-Bericht** (s. Abbildung 66) dokumentiert und mithilfe des individuellen Bewertungsschlüssels einzeln und im Gesamten gewichtet. Nach einer Veränderungsrunde kann das mögliche Veränderungspotenzial ermittelt werden. Durch diese Auswertung können verschiedene Lösungsvarianten verglichen werden.

#### 5.4.5 Ergebnis

Für die Phase IV der Gestaltung sind folgende Ergebnisse relevant:

Teilprozesse, Prozessfunktion und Arbeitsschritte unterliegen einer zeitlichen, logischen und inhaltlichen Verkettung. Je nach der Abhängigkeit bzgl. des Inhalts oder des Ergebnisses werden Sie entweder sequenziell oder parallel zueinander angeordnet. Beide Arten der Anordnung haben ihre Vor- und Nachteile und Risiken.

Die Integration und Anwendung von CAX-Technologien stellen neue Möglichkeiten bereit, die zur Entfaltung eine optimale Integration in den Prozessablauf erfordert. Die dabei entstehenden Veränderungen in Prozessen sollen positive Auswirkungen haben. Dennoch gibt es in Bezug auf die Integration und Anwendung von CAX-Technologien Risiken, die nicht außer Acht gelassen werden dürfen. Durch Kenntnis der Risiken und durch ein systematisches und strukturiertes Vorgehen der Methode, zur Auswahl und Einführung von CAX-Technologien, können diese Risiken aber minimiert werden.

Die Veränderungen des Prozesses haben Auswirkungen auf die Anordnung, den Einsatz von CAx-Technologien bzw. den Werkzeugeinsatz und die Organisation. Bei jeder Veränderung müssen daher die Auswirkungen berücksichtigt werden.

Einzelne Ausprägungen des Digitalisierungsgrades sind für die Ausbildung eines neuen Prozesses wichtig. Je nach Einsatz von CAx-Technologien können sich verschiedene Anordnungen und Konstellationen innerhalb der Prozesse ergeben. Eine Integration von CAx-Technologien hängt dabei von verschiedenen Parametern ab, wie z. B. CAx-Technologiefunktionen, Prozessfunktionen, Daten- und Systemzugriff, Vernetzung, Interaktionsfähigkeit.

Für eine effiziente und effektive digitale Unterstützung bedarf es daher einer durchgängigen Strategie der CAx-Technologien. Dies bedeutet, dass die bisherigen Insellösungen der CAx-Technologien in einem durchgängigen Konzept vernetzt sein müssen. Dazu ist eine integrierte und prozessorientierte Struktur in Form eines Verbundes notwendig.

Für die entstehenden digitalen Datenumfänge und zur Integration von einzelnen Prozessen und seiner Elemente einer Produktentwicklung ist ein integriertes Produktmodell unumgänglich. Dieses erhöht aber aus datentechnischer Sicht die Komplexität, die aber durch den Einsatz von CAx-Technologien verringert werden kann.

Bei der Gestaltung erfolgt die Vernetzung von Teilprozessen und Prozessfunktionen ähnlich wie beim Ansatz des Business Reengineering. Dabei sind die Schnittstellen und die Abhängigkeit der Prozessschritte zueinander aus Prozess- und informationstechnologischer Sicht zu berücksichtigen. Zur Vernetzung der digitalisierten Teilprozesse bedarf es einer zeitlichen und inhaltlichen Ausrichtung im gesamten Produktentwicklungsprozess. Dies beinhaltet die Ausrichtung der Entwicklung entlang des Reifegrades des Produktes. Der Reifegrad dient zur Ausrichtung von Prozessfunktionen in einem Teilprozess und er bestimmt auch die inhaltliche und zeitliche Vernetzung zu anderen Teilprozessen.

## **5.5 Zusammenfassung der Methode zur Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung beim Einsatz von CAx-Technologien**

Die Methode, die innerhalb dieses Kapitels beschrieben wird, resultiert aus Projekten, die in Kooperation mit Industrie- und Beratungsunternehmen im Umfeld des Fraunhofer Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO entstanden sind. Im Rahmen der Projekte sind verschiedene Ansätze und Methoden entstanden, durch die eine Systematisierung von Entwicklungsprozessen mit CAx-Technologien erfolgen kann.

Die Methode zur Systematisierung von Teilprozessen besteht aus den im Folgenden aufgeführten vier Phasen (s. Abbildung 40). Der Vorbereitung folgt eine Zustandsanalyse, dann eine Potenzialanalyse und schließlich die Gestaltung mit der Erstellung eines Soll-Prozesses in Verbindung mit einer Bewertung. In der Methode werden verschiedene Werkzeuge eingesetzt. Bei den Werkzeugen handelt es sich um prototypische, rechnerbasierte Lösungen in den Systemen von Microsoft Office.

### **Phase I und II: Vorbereitung und Zustandsanalyse**

Zu Beginn erfolgt die Auswahl eines relevanten Prozesses der Produktentwicklung, für den ein Soll-Prozess erstellt werden soll. Der Prozess der Produktentwicklung wird in Teilprozesse unterteilt. Die konkretisierte Unternehmensstrategie und die Unternehmensziele sind als kritische Erfolgsfaktoren festzuschreiben. Für die Koordination des Projektes ist ein dezidiertes Projektplan aufzustellen. Ein Projektmanagement mit einem Projektteam, Lenkungskreis, Kernteam und Arbeitsgruppe, ist zu installieren. Zudem ist ein

internes Marketing zu etablieren, um eine Sensibilisierung der Mitarbeiter zu erreichen, um Ängste und Vorbehalte zu mindern, ein breites Verständnis für das Projekt und eine Bereitschaft zur Mitarbeit zu wecken.

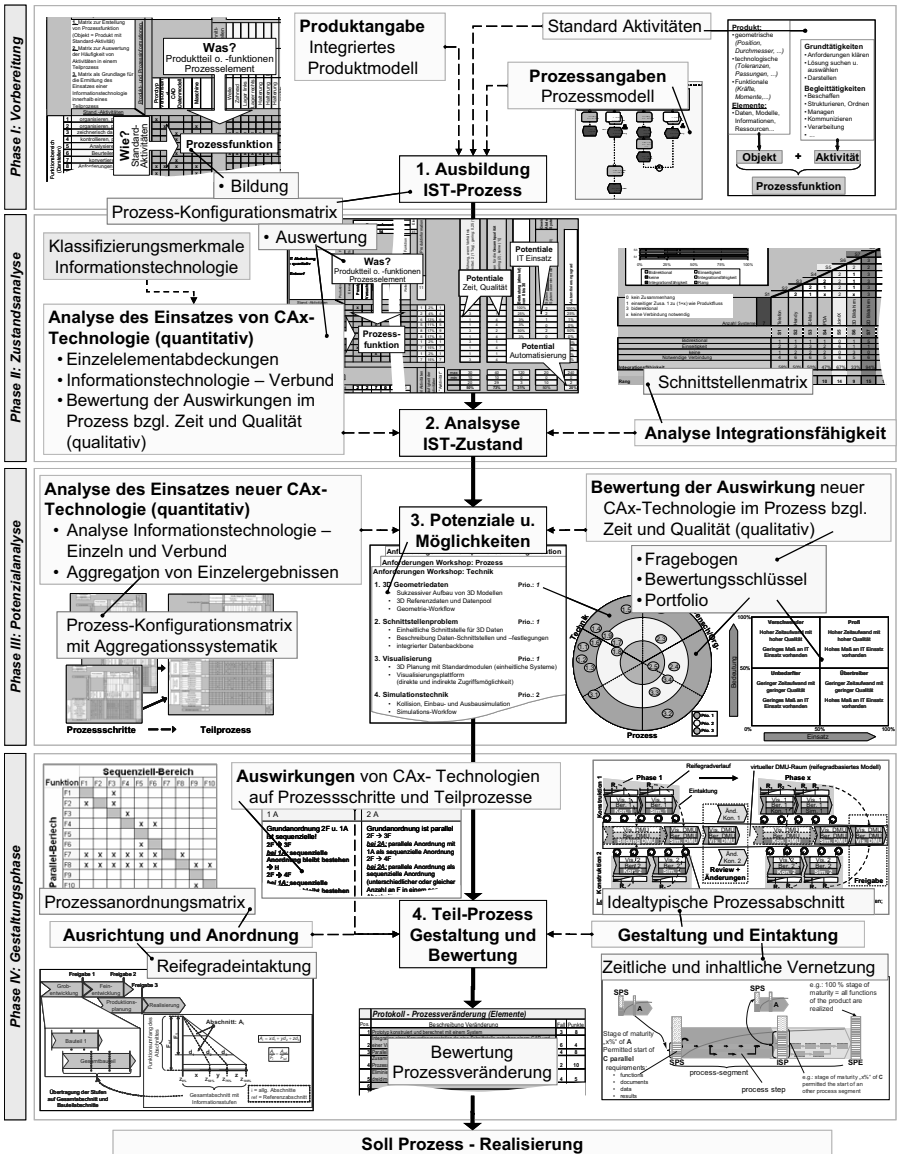


Abbildung 40: Gesamtübersicht der Methode

Die Aufnahme des Ist-Zustandes muss mit größter Sorgfalt erfolgen. Werden wesentliche Informationen vergessen oder ungenau ermittelt, so können Defizite nicht erkannt werden

und es kommt zu einem ineffizienten Einsatz der CAX-Technologien. Inhalt der Prozessanalyse ist es, den Ist-Zustand in einem Prozessmodell darzustellen und damit eine Diskussionsgrundlage für die Problemlokalisierung der Prozessschwachstellen zu liefern sowie für ein Prozessverständnis und Transparenz zu sorgen. Zudem kann eine Lokalisierung der Anforderungen für eine Integration der den Prozess unterstützenden Tools und die Erarbeitung von Maßnahmen zur Prozessoptimierung erfolgen.

Zur Schaffung von Transparenz und zur Komplexitätsminderung werden Schnittstellen zwischen den Wertschöpfungsphasen des Entwicklungsprozesses und zwischen seinen Teilprozessen ermittelt. Zudem erfolgt eine Priorisierung der relevanten Teilprozesse der Produktentwicklung. Dies erfolgt „top-down“, um eine Strukturierung der Prozesse in verschiedenen Abstraktionsstufen zu erreichen.

Die einzelnen Inhalte werden mit Interviews, Fragebogenaktionen sowie in Form von Gestaltungs- und Abstimmungworkshops erhoben. Zudem wird ein integriertes Produktmodell hinzugezogen, um mittels einer standardisierten Beschreibung der Prozessaktivitäten einheitliche Begriffe für die Prozessbeschreibung zu verwenden. Muss der Prozess neu aufgenommen werden, so ist jeder Arbeitsschritt als eine Funktion aus Objekt, Spezifikation des Produktes und Standardaktivität zu bilden (vgl. Abschnitt 5.2).

### **Phase III: Potenzialanalyse:**

Nach Erhebung der Ist-Informationen kann die Ermittlung und Bewertung des Mehrwertes bei Technologieveränderungen (prozessual) erfolgen. Die verfügbaren Ergebnisse sind eine Prozessübersicht (Phasen, Schnittstellen, Aktivitäten, Hilfsmittel, Ressourcen und Abhängigkeiten), eine Aufstellung erster potenzieller (bestehender) Schwachstellen und potenzielle Prozessschritte und Aktivitäten in Bezug auf ein mögliches Zeit- und Qualitätspotenzial (vgl. Abschnitt 5.2).

Für eine Prozessverbesserung besteht die Aufgabe in der Ermittlung von Ansatzpunkten (Potenzialanalyse), in der Generierung von Potenzialen und deren Priorisierung, in der Beschreibung von ersten Lösungsvorschlägen für die Gestaltung eines Soll-Prozesses sowie in der Ermittlung von Abhängigkeiten und Überschneidungen.

Die Methode erfasst und identifiziert die vorhandenen CAX-Technologien und nimmt einen Abgleich gegenüber dem Einsatz neuer Applikationen vor. Die einzelnen Inhalte werden in Interviews, Fragebogenaktionen sowie in Form von Arbeits- und Abstimmungworkshops mithilfe der Tabelle 42 bis Tabelle 44 erhoben. Zusätzlich zur Erhebung der Prozessinformationen wird eine strukturierte Übersicht der eingesetzten CAX-Technologien erarbeitet (Systeme, Systemspezifikationen wie z. B. Schnittstellen, Datenfluss, Datenformate etc.). Der Ist-Zustand der Häufigkeit bzgl. der CAX-Technologien wird bewertet und dient als Vergleichsgröße für die Ergebnisse der weiteren Schritte. Die Bewertung der erhobenen Daten und Ergebnisse erfolgt nach den in Abschnitt 5.3 diskutierten Zielen und deren Bewertungsfaktoren.

Die Ergebnisse eines Teilprozesses können im Weiteren über die in Abbildung 18 aufgeführte Aggregationssystematik zu einer Gesamtbetrachtung zusammengeführt und somit verglichen werden. Zur Veranschaulichung der Ergebnisse können Grafiken und Portfolios in verschiedenen Varianten gebildet werden. Zudem werden die einzelnen Ergebnisse innerhalb eines Prozessberichtes zusammengefasst (s. Abbildung 65 – Anhang) und bilden das Leistungsniveau eines Prozesses der Produktentwicklung ab.

### **Phase IV: Gestaltung**

Der Teilprozess einer Produktentwicklung wird um die Erkenntnisse der Zustands- und Potenzialanalyse und um die zusätzlich erarbeiteten Möglichkeiten, wie z. B. Einfügen, Erweitern oder Eliminieren bestehender CAX-Technologien, erweitert.

Erkenntnisse aus der Diskussion über die Zusammenhänge und die Auswirkungen von Veränderungen zwischen Informationstechnologie und Prozess werden, wie in Abschnitt 5.4.1 beschrieben, berücksichtigt. Dies ist notwendig für eine Entscheidung über Veränderungen des Einsatzes von CAX-Technologien und für die Systematisierung der bisherigen Prozesse.

Nach Bereitstellung der Basisinformationen und der Ermittlung erster Optimierungspotenziale kann ein Soll-Prozessmodell erstellt werden. Dieses erste Modell wird auf abstraktem Niveau sein. Es folgt erst eine Validierung durch die Mitarbeiter, die Experten, bevor mit der Ausarbeitung des endgültigen Soll-Prozessmodells begonnen werden kann. Hierfür müssen die Erkenntnisse aus Abschnitt 5.4.3 beachtet und angewandt werden.

Die Erstellung der Prozessstruktur ermöglicht die Ausbildung von beherrschbaren Teilprozessen und die Spezifizierung der Anforderungen an andere Bereiche. Hierzu sind die gesamten Schnittstellen der CAX-Technologien, der Input- und Outputansammlungen sowie die notwendigen Vernetzungsbedingungen zu definieren. Eine Organisationsstruktur wird erst später aufgestellt. Zur Ausgestaltung werden die Zielvorstellungen gemäß einem idealisierten Prozessabschnitt befolgt (vgl. Abschnitt 5.4.4.1 oder Abbildung 47). Die Systematisierung eines Teilprozesses erfolgt in der Reihenfolge: 1) Ermittlung der Prozessschritte, 2) Ermittlung des Informationsflusses und der Schnittstellen, 3) Identifizierung von CAX-Technologie und Informationstechnologien, 4) Definition eines Reifegradverlaufs für den Teilprozess, 5) Ausrichtung des Prozessverlaufs, 6) Ressourcenplanung.

Zur Vernetzung der digitalisierten Teilprozesse bedarf es einer zeitlichen und inhaltlichen Ausrichtung im gesamten Produktentwicklungsprozess. Dies beinhaltet die Ausrichtung am Zustand der Entwicklung eines Produktes, also dem Reifegrad. Der Reifegrad dient nicht nur zur Ausrichtung von Prozessfunktionen in einem Teilprozess, sondern er bestimmt auch die inhaltliche und zeitliche Vernetzung zu anderen Teilprozessen. Die Vernetzung erfolgt in der Reihenfolge: 1) Reifegradverlauf festlegen, 2) Reifegradwerte (Informationsstufen) definieren, 3) Ermittlung der Zeitabschnitte für die Reifegradwerte, 4) Übertragung der Referenz-Zeitabschnitte, Informationsstufen mit Funktionsumfang und Reifegradverlauf auf Teilprozess und Ausrichtung der Prozessschritte im Teilprozess.

Auf Basis eines Soll-Ist-Vergleiches lässt sich abschätzen, welche Auswirkungen die Neuausrichtung mit sich bringt. Die Bewertung der sich ergebenden Veränderungen erfolgt durch die Bewertungsgrößen wie bei der Bewertung des Ist-Zustandes. Somit ist ein Vergleich zwischen Ist- und Soll-Zustand möglich. Erkenntnisse werden gewonnen bzgl. des Zeitaufwands für die Ausführung, der Relevanz für die Gesamtqualität, der Häufigkeit des Einsatzes durch CAX-Technologien, des Gesamtnutzens etc. Dadurch entsteht die Möglichkeit zur Bewertung der Lösungsvarianten und der Übertragbarkeit der Gestaltungsansätze mit der Ableitung von zielgerichteten Handlungsweisungen.

### **Soll Prozess – Realisierung**

Zur Umsetzung des Soll-Prozesses und Einführung der CAX-Technologien bedarf es einer strukturierten Methode. Zudem dient ein Katalog an Ansatzpunkte als Grundlage für eine stufenweise Umsetzung im Unternehmen [Her98]. Dafür sind ein Meilensteinplan und ein Migrationskonzept mit Migrationsstufen zu erstellen. Zudem sind ein Ressourcenplan und ein Schulungskonzept aufzustellen. Des Weiteren muss die Planung der Umwandlung bestehender Daten und Informationen betrieben werden. Schließlich müssen die organisatorischen Planungen erfolgen. Sämtliche Ergebnisse der Veränderungen der Teilprozesse sind in Einzelgesprächen, Workshops und Diskussionsrunden mit den Mitarbeitern und den Verantwortlichen abzustimmen. Denn nur ein von allen getragenes Konzept wird im täglichen Arbeitsablauf „gelebt“ und somit Erfolg haben.

## 6 Praktische Anwendung der Methode

Die Problematik bei Projekten zur Digitalisierung von Entwicklungsprozessen ist eng verbunden mit der Fragestellung: Was bringt eine Digitalisierung und mit welchen Veränderungen muss gerechnet werden? Die Beantwortung dieser entscheidenden Fragen erfolgt in Machbarkeitsanalysen. Darin werden die Grundlagen ermittelt, mit denen die Entscheidung für oder gegen eine Digitalisierung getroffen wird.

Die in Kapitel 5 aufgestellte Methode wurde bei zwei produzierenden Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen und mit unterschiedlichen Entwicklungsstrukturen erprobt. Die praktische Anwendung der Methode wurde in beiden Unternehmen auf die gleiche Weise durchgeführt. Aus der Tabelle 27 geht hervor, dass die beiden Unternehmen zwar unterschiedliche Produkte herstellen, sich aber hinsichtlich ihrer Teilprozesse und des Einsatzes der bisherigen Applikationen nicht zu sehr unterscheiden. Lediglich in einzelnen Bereichen und deren Ausprägungen waren Abweichungen vorhanden, die aber für die Anwendung der Methode von geringer Relevanz waren.

Da in beiden Fällen die gleiche Methode angewandt werden konnte und sich die Einsetzbarkeit und Übertragbarkeit der Methode bestätigte, wurde auf die Beschreibung der Durchführung im kleineren Unternehmen 1 verzichtet. In diesem Kapitel wird daher anhand des größeren Unternehmens 2 der Einsatz der Methode aufgezeigt und erläutert. Für die Evaluation und die Diskussion werden aber die Erkenntnisse bzgl. des Einsatzes in Unternehmen 1 und 2 berücksichtigt. Der Betrachtungsbereich umfasste in beiden Unternehmen die Teilprozesse „Konstruktion – Prototyping – Test“.

<b>Merkmal</b>	<b>Unternehmen 1</b>	<b>Unternehmen 2</b>
Branche	Zulieferer Automobilbau	Maschinen- und Anlagenbau
Unternehmensgröße	ca. 30 Mitarbeiter	ca. 200 Mitarbeiter
Firmenprofil	Dienstleistung im Bereich Konstruktion, Entwicklung und Prototypenbau	Hersteller von Sondermaschinen
Betrachtungsbereich	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grob- und Feinentwicklung</li> <li>▪ Prototypenrealisierung eines Teilproduktes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Konzeptphase</li> <li>▪ Grob- und Feinentwicklung</li> <li>▪ Prototypenrealisierung eines Teilproduktes</li> <li>▪ Testbereich</li> </ul>
Teilprozesse	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Konstruktion</li> <li>▪ Musterbau und Test</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Konstruktion</li> <li>▪ Test</li> </ul>
Produkt	Kurbelwelle für den Motor eines Motorrades	Halterung (Schlitten) für eine CNC-Maschine
Haupt-Applikationen	2-D- und 3-D-CAD-System, Simulation, Windows, Textverarbeitung (Office), Wissens-Datenbank, Internet ...	2-D-CAD-System, Simulation, PPS-System, Windows, Textverarbeitung (Office NT), Internet, CSCW ...

Tabelle 27: Charakterisierung der Anwender

### 6.1 Umsetzung Phase I: Vorbereitung der Systematisierung

Zu Beginn des Projektes waren die grundlegenden Ziele für die Projektkontrolle und der Zielhorizont zu definieren, um ein gemeinsames Verständnis aller Beteiligten zu erreichen. Zudem musste eine auf das Unternehmen angepasste Projektdefinition festgelegt werden.

Hierbei war die Frage zu klären, in welcher Form es machbar ist, eine Digitalisierung einzuführen, und welcher Nutzen (Zeit-Kosten-Qualität) im Verhältnis zum Aufwand zu erwarten ist? Die zweite Frage war: Wie verändert der CAx-Einsatz die betroffenen Prozesse und welche Veränderungen sind für die Anwender zu erwarten?

### 6.1.1 Projektdefinition digitale Produktentstehung

**Vision:** Die Produktentstehung erzeugt die digitale (drei-dimensionale) Abbildung des realen Produktes. Das digitale Produktmodell dient zur Optimierung und Absicherung des Produktes sowie zu Marketing-, Service- und Schulungszwecken. Zu jedem Zeitpunkt stehen dem Entwickler, Planer oder Entscheider lösungsorientiert und integriert alle für die Ausführung der aktuellen Produktentwicklung erforderlichen Daten und Informationen sowie die entsprechenden Anwendungssysteme und -funktionalitäten zur Verfügung.

Für eine derartige Produktentstehung müssen die Prozesse verändert sowie eine durchgängige Digitalisierung gewährleistet werden. Zudem müssen die Methode des Virtual Engineering und in der Produktionsplanung die der Digitalen Fabrik angewandt werden.

### 6.1.2 Festlegung der Zielsetzung

Ziel innerhalb des Vorhabens war es, eine durchgängige Digitalisierung der Produktentstehung zu etablieren. Die Digitalisierung sollte für einen effektiven Einsatz der CAx-Technologien sorgen. Wichtig für die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens schien die damit verbundene Senkung des Arbeits-, Koordinations- und Kommunikationsaufwands. Für die Produktentstehung bedeutete dies neben der durchgängigen Digitalisierung den Einsatz digitaler Prototypen. Diese können bereits in den frühen Phasen erzeugt, bearbeitet, diskutiert und optimiert werden. Damit kann z. B. die Anzahl und die Qualität der Iterationszyklen in gleicher Zeit deutlich erhöht und verbessert werden.

Die Absicherung des Produktes und die Überprüfung der Produzierbarkeit sollten vor der realen Produktion anhand eines digitalen Modells erfolgen. Dadurch sollten Änderungskosten reduziert und eine Verringerung von späteren Iterationszyklen bei einer gleichzeitigen Steigerung der Produkt- und Produktionsqualität erreicht werden. Im Einzelnen handelte es sich um folgende Zielsetzungen:

- Anforderungen spezifizieren, damit der effektive Einsatz aufgezeigt und die Notwendigkeit zur Digitalisierung deutlich wird.
- Flexibles Technologiekonzept für die digitale Produktentstehung erstellen.
- Methoden für die Identifikation, Bewertung, Konzeption und Umsetzung eines optimierten Prozesskonzeptes bereitstellen.
- Optimale Schnittstellenbewältigung, eine verbesserte Prozessausrichtung und Transparenz für eine Folgefehlervermeidung.
- Eine Methode um ein strukturiertes und integriertes Lösungskonzept zu erhalten.
- Ganzheitliche Planung des Virtual Prototyping im Produktentstehungsprozess.
- Modularer Aufbau eines „Gesamtprototyps“, der die Verfügbarkeit der virtuellen Prototypen für Subsysteme oder Module zu einem möglichst frühen Zeitpunkt gewährleistet.
- Etablierung eines integrierten digitalen Produktmodells und digitalen Prototyps
- Frühzeitige Absicherung auf Basis von digitalen Prototypen.
- Gewährleistung einer zeitlichen und inhaltlichen Einordnung der Absicherung in den Produktentstehungsprozess.
- Verfügbarkeit und Verwertbarkeit der virtuellen Prototypen mit den gewünschten Absicherungsergebnissen zu bestimmten Zeitpunkten.
- Ständige Möglichkeit zum ungestörten Datenzugriff und Anwendungseinsatz.
- Redundanzvermeidung bei der Erstellung u. Effizienzsteigerung des Virtual Prototyping.

## 6.2 Umsetzung Phase II: Erhebung des Prozesses der Produktentwicklung und des CAx Einsatzes

Die Prozessenerhebung erfolgte durch Sichtung von bestehenden Informationen sowie Einzel- oder Gruppengespräche in den relevanten Unternehmensbereichen. Zudem wurden Fragebögen an verhinderte oder terminlich schwer erreichbare Mitarbeiter verteilt. Die Ergebnisse wurden in einem Prozessmodell und in Dokumentationen festgehalten und mithilfe der in Abschnitt 5.2 angeführten Werkzeuge für die Analyse aufgenommen.

Innerhalb dieses ersten Schrittes erfolgte eine Einteilung des Geschäftsprozesses in Teilprozesse, um Hauptschnittstellen zu erhalten. Die Wertschöpfungskette wurde nach dem Ansatz des strategischen Managements in zwei Oberkategorien eingeteilt: in die Leistungsebene und in die Führungsebene. Danach wurde der Leistungsebene der gesamte Prozess der Produktentstehung sowie die Forschung zugeordnet. Die Führungsebene beinhaltete die Querschnittsprozesse: Projektmanagement, Controlling und Wissensmanagement. Diese Querschnittsprozesse wurden parallel zum eigentlichen Produktentstehungsprozess angeordnet.

### **Beschreibung: Ablaufprozess (IST)**

Es wurden sechs Hauptphasen identifiziert sowie die der Produktentstehung folgende Produktionsphase (Angebot, Konzept, Entwicklung, Produktionsplanung, Realisierung, Anlauf). Im Betrachtungshorizont des Projektes lag der Entwicklungsbereich mit Konstruktion, Realisierung und Test. Die Konstruktion wurde in die Phasen Konzept, Grob- und Feinentwicklung unterteilt.

**Die Konzeptphase** hatte zum Ziel, eine optimale prinzipielle Lösung zu erstellen. In nachgelagerten Phasen waren grundlegende Mängel des Konzeptes kaum mehr zu ändern. Der Freiheitsgrad ist in der Konzeptionsphase noch am größten, er nimmt über die weiteren Phasen immer weiter ab. So wurde ein technisches Grobkonzept erstellt, das alte und neue Erkenntnisse aus der Angebots- und Konzeptphase enthielt. Darin wurden die Funktionen, Wirkstrukturen und grob die äußeren Abmessungen des Produktes beschrieben. Durch eine Aufteilung des Produktes in Teilfunktionen wurde die Komplexität des Produktes gemindert.

Durch diese Modularisierung wurde die Lösungssuche erleichtert. Es wurden verschiedene Lösungsalternativen erarbeitet. Dabei war die Bewertung der Alternativen ein wichtiger Prozess. Der Bewertungsprozess teilte sich in unterschiedliche Teilschritte auf. Zuerst erfolgte eine Überprüfung von Lösungen, die den Anforderungen des Lasten- und Pflichtenheftes entsprachen und innerhalb sonstiger Gesetze/Normen realisierbar waren. Lösungen, die diese Kriterien nicht erfüllten, konnten sofort aussortiert werden. Die verbliebenen Lösungen wurden hinsichtlich verbindlicher, gewichteter Bewertungskriterien sowie technischer und wirtschaftlicher Eigenschaften bewertet.

Zur Bewertung dienten Machbarkeits- und Herstellbarkeitsstudien sowie Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen der einzelnen Varianten. Dafür mussten einzelne Prototypen zur Bestimmung der Bewertungskriterien erstellt werden. Digitale Simulationen konnten kaum eingesetzt werden, da in der Konzeptphase die Geometrie und die Eigenschaften der Komponenten noch nicht vollständig zur Verfügung standen. Ziel war es, ein optimales, prinzipielles Lösungskonzept zu entwickeln und nicht Einzelheiten auszuarbeiten.

In der **Grobentwicklungsphase** wurde die Lösung aus der Konzeptphase gestalterisch umgewandelt. Dazu wurden Auslegungsrechnungen sowie Qualitätsanalysen durchgeführt. Als Ergebnis lagen erste detaillierte Konstruktionszeichnungen vor. Sämtliche Ergebnisse waren vorläufig und konnten in den folgenden Phasen noch verändert werden. Die Konstruktion wurde in dieser Phase daraufhin überprüft, ob sie den Gesetzen, den

Normen und den Anforderungen des Pflichtenheftes genügte. Während dieser Prüfung wurde eine FMEA (Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse) zur Sicherheits- und Zuverlässigkeitsuntersuchung durchgeführt sowie die Wahrscheinlichkeit eines Versagens und die daraus resultierenden Risiken untersucht. Fehlerfortpflanzungen sollten dadurch vermieden werden.

Die Daten der Grobentwicklungsphase bildeten die Grundlage für die **Feinentwicklungsphase**. Die Entwürfe der Grobentwicklungsphase waren auch Basis des ersten Prototyps, der in der Feinentwicklungsphase erstellt wurde. In der Feinentwicklungsphase wurden die technischen Zeichnungen und Spezifikationen für das Produkt erstellt. Aufgrund der exakteren Daten konnten genauere Auslegungsrechnungen und Simulationen durchgeführt werden. Sie dienen zur weiteren Optimierung der Konstruktion. Ein erster Prototyp wurde auf Basis der Konstruktionszeichnungen aus der Grobentwicklung gefertigt. Er diente der Funktionsabsicherung. Die Werkstoffe wurden in dieser Phase festgelegt. Zudem erfolgte eine Überprüfung der Einhaltung sämtlicher Normen und gesetzlicher Bestimmungen. Die begonnene FMEA wurde weitergeführt. Auf Basis der Ergebnisse der Feinentwicklungsphase wurde ein weiterer Prototyp mit einem produktionsnahen Verfahren in der Realisierungsphase erstellt.

In der **Realisierungsphase** wurden die Produktions-, Prüf- und Messmittel geplant, konstruiert und gefertigt. Als Basis dieser Planungen dienen die verbindlichen Konstruktionspläne der Feinentwicklungsphase. Am Ende der Phase existierten die fertigen und funktionsfähigen Produktionsanlagen, die noch in der abschließenden „Anlaufphase Serie“ verbessert und an das Produkt angepasst wurden. Der weitere Prototyp wurde hier mit produktionsnahen Fertigungsverfahren hergestellt. Mit diesem Prototyp sollte sichergestellt werden, dass mit den gewählten Fertigungsverfahren das Produkt gemäß den Anforderungen hergestellt werden konnte.

In Abbildung 41 ist die Analyse und damit die Übertragung von Prozessfunktionen eines bestehenden Gesamtprozesses in eine Prozess-Konfigurationsmatrix dargestellt. Die Darstellung des Gesamtprozesses (vgl. Abbildung 58 – Anhang) erfolgte mittels der Software ARIS [Sch96].

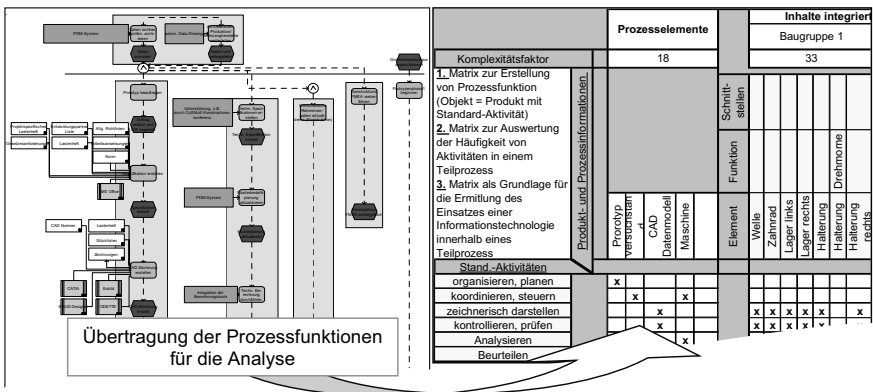


Abbildung 41: Ergebnis: Ist-Prozess, Bildung einer Prozessfunktion

Der rechte Ausschnitt zeigt die Bildung der Prozess-Konfigurationsmatrix (s. Abschnitt 5.2.5), in der Prozess- und Produktelemente mit Standardaktivitäten, wie in Tabelle 31 aufgeführt, verbunden werden (vgl. Abbildung 63 – Anhang). Diese Matrix ist für die weitere Bewertung der Prozesse wichtig, da aus ihr eine Aussage hinsichtlich des Ge-

samtfunktionsumfanges und der Komplexität getroffen und abgeleitet werden kann. Sie ist ebenfalls die Basis für die Auswertung hinsichtlich des CAX-Einsatzes.

Die erste Analyse des Konstruktionsprozesses zeigte, dass die Anpassung der CAD-Daten in der gleichen Reihenfolge wie der Optimierungsprozess im Versuch erfolgt. Die modifizierten Abmessungen wurden aufgenommen und im 2-D-CAD-System dementsprechend aufgearbeitet. Hierbei wurde die Notwendigkeit (Zeittreiber) einer schnelleren und einfacheren Rückgewinnung von Daten deutlich, wenn komplexere Formen der Prototypen in der Konstruktion umgesetzt werden müssen. Der Prozess wies hauptsächlich eine sequenzielle Anordnung mit nur wenigen parallelen Anordnungen auf. Der CAX-Einsatz war sehr gering. Die CAX-Technologien wurden nur für partielle Aufgaben verwendet. Es gab keine Durchgängigkeit von System zu System. Oft waren aufwendige Nacharbeiten durch Konvertierungsfehler notwendig. Der Prozess bot eine Menge an potenziellen Ansatzpunkten für die weiteren Optimierungsschritte. Die Teilprozesse Konstruktion (T1) und Test (T2) wurden im Technologieportfolio (vgl. Abbildung 42) in den Bereich „Verschwender“ eingeordnet, da viel Zeit aufgewendet wurde, um eine hohe Qualität zu erzeugen, und wenig CAX-Technologien eingesetzt wurden.

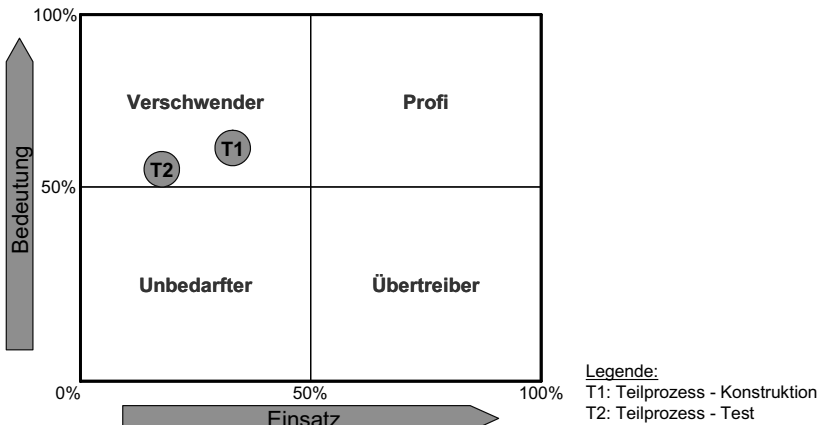


Abbildung 42: Ergebnis Technologieportfolio: Einordnung des CAX-Einsatzes

### 6.3 Umsetzung Phase III: Potenzialermittlung und -analyse

Nach der Erhebung des Ist-Zustandes erfolgte die Potenzialgenerierung und die Ermittlung von alternativen Lösungen. Die in der Erhebung angefertigten Ist-Übersichten ergaben die ersten priorisierten, richtungweisenden Ansatzpunkte für die Ermittlung und Generierung von weiteren Verbesserungsansätzen. Somit konnte eine Veränderung des Ist-Zustandes durch Veränderung einiger Parameter erfolgen.

#### Qualitative Bewertung des Ist-Prozesses

Neben der Aufnahme der Prozesselemente und dem dabei schon erkannten und erhobenen Potenzial (vgl. hierzu auch Abbildung 57 – Anhang) wurde eine qualitative Bewertung des Ist-Zustandes durchgeführt, wie in Abschnitt 5.2.5 beschrieben. Sie erfolgte mithilfe eines Fragenkatalogs (s. Tabelle 40). Ermittelt wurde der Zustand von Problemen der CAX-Technologien, der Häufigkeit von Dokumentationen laufender Entwicklungsarbeiten, der Etablierung von standardisierten Abläufen, der Flexibilität der Entwicklungsstruk-

tur/Reaktionszeit und des Entwicklungs-Fehlermanagements. Bei der qualitativen Bewertung (vgl. Abbildung 43) durch verschiedene Personen ergab sich, dass der bisherige Prozess mittelmäßig mit CAx-Technologien ausgestattet war. Zudem wurden diese nur sporadisch eingesetzt.

Probleme Informationstechnologie	1,50
Dokumentation und Datenspeicherung	1,75
standardisierte Abläufe	1,50
flexible Entwicklungsstruktur/ Reaktionszeit	1,38
Entwicklungs-Fehlermanagement	1,13
<b>Gesamt</b>	<b>1,45</b>

[1 = gering - 3 = hoch]

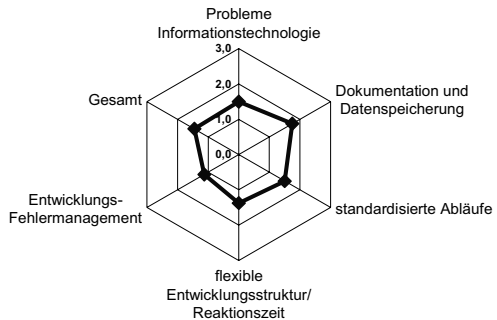


Abbildung 43: Ergebnis: qualitative Bewertung von Prozess und CAx-Einsatz

Während verschiedener Auftragsprojekte bildeten sich Fehlerfortpflanzungen, die vor allem im Bereich der Prototypenrealisierung von großer Auswirkung (Zeitreiber) waren. Somit wurde ein großes Verbesserungspotenzial in der Dokumentation und Datenspeicherung gesehen. Dies beinhaltet eine automatisierte, standardisierte und systematische Speicherung von Daten und Dokumenten. Zudem benötigte die Dokumentenerstellung viel Zeit. Durch die sequenzielle Ausrichtung des Gesamtprozesses waren wenige Schnittstellen im Prozess verankert. Dies war im Verlauf der Produktentstehung kein Hindernis, allerdings fehlten Schnittstellendefinitionen für die interne wie externe Kommunikation und Kooperation. Durch diese unflexible Entwicklungsstruktur kam es zu keinem kontinuierlichen Verbesserungsprozess und eine Fehlerfortpflanzung hätte gravierende Folgen gehabt. Bei den Versuchen und Tests sowie der Produktanalyse wurden Prototypen erstellt. Diese wurden teils durch Umformverfahren und teils durch Rapid Prototyping erstellt. Eine Absicherung auf Basis von digitalen Modellen erfolgte nicht.

Die digitalen Prototypen sollten durch das Verfahren des Rapid Prototyping in ein erstes grobes Produktmodell umgesetzt werden. Damit könnte die Produktqualität bereits in einer frühen Phase, lange vor der ersten Werkzeugerstellung anhand eines „Handmusters“, überprüft werden. Bisher wurde erst eine Konstruktionszeichnung erstellt, diese wurde bspw. durch Fräs-, Bohr- und Schneidverfahren in ein physisches Modell umgesetzt. Nach dem bisherigen Vorgehen bedarf der Prozess einer langen Zeitspanne. Das Ziel der Digitalisierung in diesem Bereich ist, den Prozess derart zu verbessern, dass mit geringem Aufwand an Zeit und Kosten ein Prototyp erstellt werden kann.

Innerhalb des Prototyping-Prozesses sollten somit Modelle aus Design- oder Urmodellen erstellt, Rekonstruktion von manuellen Änderungen am Objekt oder Werkzeug vorgenommen oder das Erstellen von CAD-Daten für Werkzeuge ermöglicht werden. Außerdem sollten vollständige 3-D-Volumen-Modelle für ein DMU und zur Berechnung technischer Oberflächen für Präsentation und Vertrieb erzeugt oder Flächendaten zur Weiterentwicklung von laufenden Serienteilen, für die es bisher keinerlei Datensätze gab, erzeugt werden. Durch eine Flächenrückführung sollte es möglich sein, eine hochkomplexe Solidkonstruktion werkzeugtechnisch einwandfrei darzustellen. In kürzester Zeit könnte dann eine Werkzeugkonstruktion realisiert werden.

Für die schnelle Featureerkennung sollte es ermöglicht werden, ein reales Produkt digital aufzunehmen. Mittels 3-D-Scanner sollte eine berührungslose Aufnahme optisch bzw.

laserunterstützt ermöglicht werden. Damit würde der Prozess der Featureerkennung und auch der Rückgewinnung von Daten eines Prototyps beschleunigt. Der Prototyping-Prozess würde somit entscheidend verändert. Sowohl die Datenerfassung eines von Hand modifizierten Prototyps als auch die anschließende Herstellung des Bauteils mittels Hochgeschwindigkeitsfräsen mit dem gleichen Werkzeug könnte analysiert werden. Ohne Unterbrechung des Prozesses könnten die erfassten Daten verarbeitet, ins Format für CNC-Hochgeschwindigkeitsfräsen umgewandelt und der Prototyp gefräst werden.

### Bewertung Ist-Zustand: Einsatz CAX-Technologien

Nach der qualitativen Analyse erfolgte eine Erhebung des Einsatzes von einzelnen CAX-Technologien und bzgl. eines Verbundes (vgl. Abbildung 44). Die Analyse einer CAX-Technologie erfolgte innerhalb eines Prozessschrittes. Hierbei wurden die Einsatzhäufigkeit des Systems, die Relevanz für die Gesamtqualität und der geschätzte Zeitaufwand ermittelt und daraus das Gesamtpotenzial dieses Systems ermittelt. Die gewonnenen Werte dienen zudem als Vergleichsgröße für die spätere Ermittlung des Einsatzpotenzials einer alternativen CAX-Technologie.

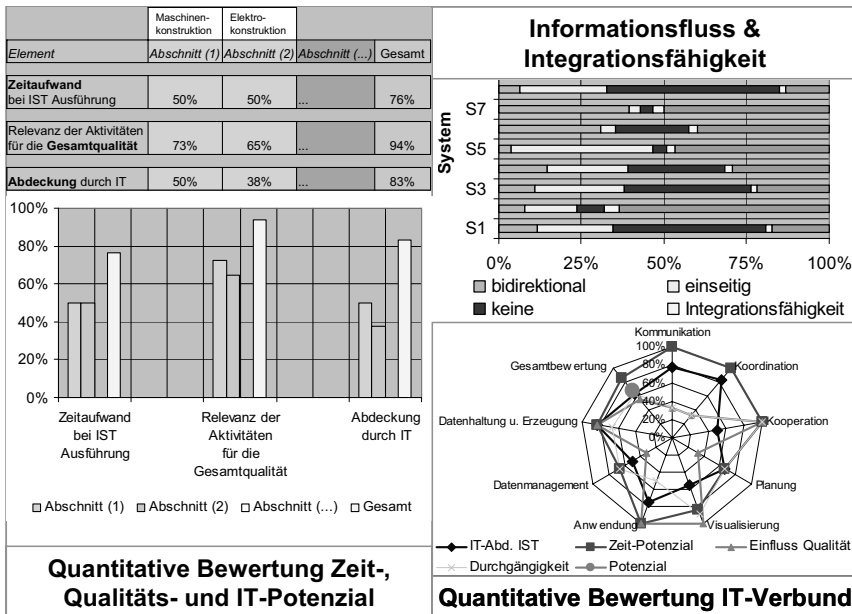


Abbildung 44: Ergebnis: Erhebung des Ist-Zustands von CAX-Technologien – einzeln und im Verbund; Durchgängigkeit (Integrationsfähigkeit)

Die Analyse des Verbundes wurde auf der Ebene des dazugehörigen Teilprozesses durchgeführt. Dabei wurden auf allen Ebenen des Verbundes (5-Schichtenmodell) Werte zur Einsatzhäufigkeit, dem geschätzten Zeitpotenzial und Qualitätseinfluss sowie zur Durchgängigkeit (Integrationsfähigkeit) ermittelt. Die einzelnen Werte wurden zu einem Gesamtpotenzial zusammengefügt. So konnten die Bereiche ermittelt werden, in denen ein Potenzial zur Verbesserung vorhanden war. Für den Verbund an CAX-Technologien wurden anhand der Integrationsmatrix die Durchgängigkeit und damit die Integrationsfähigkeiten ermittelt. Die Ergebnisse wurden in einem Prozessbericht zusammengefasst und dokumentiert (s. Abbildung 65 – Anhang).

Die weitere Potenzialermittlung erfolgte in Form von Potenzialworkshops. Zuerst wurde eine Abfrage der Bedürfnisse und Potenziale aus Sicht der Mitarbeiter durchgeführt. Die dabei gewonnenen Ansätze wurden einer Clustering unterzogen. Die Einteilung wurde gemäß einem ganzheitlichen Ansatz in die Bereiche Informationstechnologie, Prozess, Organisation und Mensch vorgenommen (Abbildung 45).

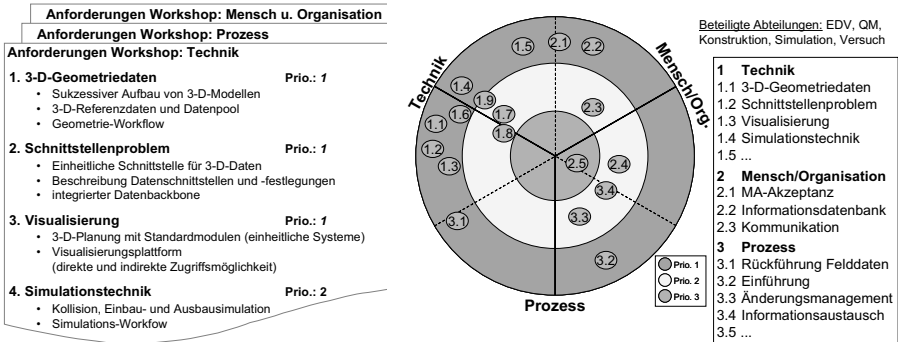


Abbildung 45: Ergebnis: Potenzialworkshop mit Priorisierung und Einordnung

Die einzelnen Ansätze wurden hinsichtlich ihrer Potenziale priorisiert. Danach wurde eine genauere Beschreibung von Lösungsvorschlägen hinsichtlich der Potenziale angefertigt.

### Veränderung und Generierung des Einsatzes von CAx-Technologien

Nach der Generierung der Potenziale erfolgte eine Veränderung an den bisher verwendeten Erhebungs-Werkzeugen. Zudem wurden alternative Lösungen von Systemen untersucht, indem der Grad der Häufigkeit, der Unterstützung oder Automatisierung durch eine CAx-Technologie in einem Prozessschritt oder Teilprozess ermittelt wurde.

Zur Beurteilung der Verträglichkeit einer neuen CAx-Technologie oder eines neuen Systems erfolgte die Ermittlung des Grades der Häufigkeit einer CAx-Technologie hinsichtlich der relevanten Prozessfunktionen. Im linken Bereich der Abbildung 46 ist ein derartiger Abgleich exemplarisch aufgeführt.

		notwendige IT - Funktionalität																			
		Prio.																			
Toolname	3D CAD (1)	x	1 Volumen Berechnen																		
		x	2 Volumen Kontrollieren, Prüfen																		
Einsatzbereich	Konstruktion	x	3 Dicke Kontrollieren, Prüfen																		
	Maschinenkonstruktion	x	4 Welle Zeichnerisch darstellen																		
Grad der Abdeckung von Informationstechnologie - Prozessfunktion		x	5 Zahnrad Drehmoment Berechnen																		
		x	6 Fluss experimentieren																		
		x	7 Dämpfung berechnen																		
		x	8 Montage Analysieren																		
		x	9 Dämpfung berechnen																		
		x	10 CAD Datenmodell berechnen																		
		x	11 Zahnrad Analysieren																		
		x	12 Welle Analysieren																		
		x	13 Halterung links Analysieren																		
			85%	Erfüllungsgrad: IT zu Aufgaben																	

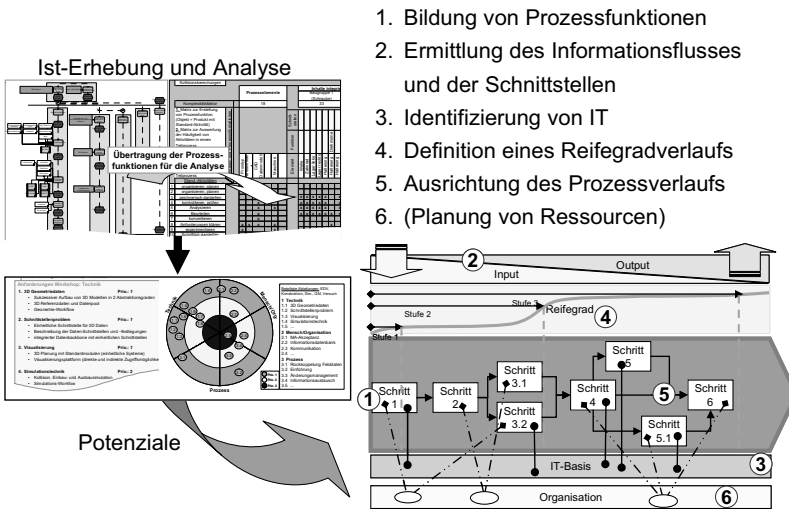
Abbildung 46: Ergebnis: Grad der Unterstützung durch CAx-Technologien

Hierbei handelt es sich um die Integrationsmöglichkeit eines 3-D-CAD-Systems innerhalb eines Teilprozesses. Für die Auswahl von Systemen hinsichtlich eines Verbundes wurde für jedes Informationssystem eine derartige Untersuchung durchgeführt. Das Ergebnis

wurde in eine Gesamtübersicht übertragen. Im rechten Bereich der Abbildung 46 (vgl. Abbildung 64 – Anhang) ist eine Methode zum Vergleich zweier Systeme (mit unterschiedlichen Modulen) aufgeführt. Abgebildet sind zwei Systemalternativen. Innerhalb der Matrix wird die Einsatzmöglichkeit erfasst und es kann, je nach Einführungsstrategie, ein Einführungspfad erstellt werden.

## 6.4 Umsetzung Phase IV: Gestaltung und Bewertung eines Teilprozesses

Erst als der Fragebogen zur Prozesserstellung (vgl. Tabelle 46) positiv beantwortet werden konnte, waren die notwendigen Basisinformationen und Erkenntnisse für eine Erfolg versprechende Soll-Gestaltung gegeben. In Arbeitssitzungen, Einzel- oder Gruppenworkshops wurden die ermittelten Potenziale innerhalb verschiedener Teilprozesse gemäß dem Vorgehen, wie in Abbildung 47 abgebildet, umgesetzt.



1. Bildung von Prozessfunktionen
2. Ermittlung des Informationsflusses und der Schnittstellen
3. Identifizierung von IT
4. Definition eines Reifegradverlaufs
5. Ausrichtung des Prozessverlaufs
6. (Planung von Ressourcen)

Abbildung 47: Vorgehen zur Ausbildung und Bewertung eines Teilprozesses

Durch die Ergebnisse der Zustandsanalyse und die Verwendung der Werkzeuge (Beurteilung der CAX-Technologiehäufigkeit im Einzelnen und im Verband, Informationsflussbetrachtung) werden einzelne Varianten des Einsatzes von CAX-Technologien erstellt. Mit den Erkenntnissen aus der Bewertung und Erweiterung des Einsatzes von CAX-Technologie und den Hilfswerkzeugen (s. Abschnitt 5.4.3: Diskussionstabelle von möglichen Prozessveränderungen, Strukturierungsansätze etc.) können im weiteren Verlauf Prozessmodelle erstellt werden, die den Ansprüchen eines digitalen – integrierten – kooperativen Entstehungsprozesses entsprechen. Die Gestaltung erfolgt entlang den Gestaltungsrichtlinien und den Gestaltungsansätzen (s. Abschnitt 5.4.3).

### Ergebnis: Veränderungen der Inhalte des Teilprozesses

- Ein hoher Abstimmungsbedarf und eine enge Zusammenarbeit führen zum Zusammenschluss zweier Prozessfunktionen. Z. B. ist die Konstruktion und eine einfache Kollisions-Simulation in einem einzigen Anwendungssystem integriert und kann zukünftig in einem Prozessschritt ausgeführt werden.

- Ein Steifigkeits-Test wurde durch eine FEM-Simulation ersetzt. Hierzu wurde ein CAD-System gewählt, dessen Daten von einem FEM-System übernommen werden kann.
- Durch die Umstellung von 2-D- auf 3-D-CAD-Systeme konnten für die Simulation notwendige Aufbereitungsschritte gespart werden. Zudem können komplexe Zusammenhänge mittels Simulationen und einer Visualisierung (VR) verdeutlicht, Fehler erkannt und noch vor einer Realisierung korrigiert werden.
- Die Analyse eines bestimmten Teilprozesses ergab, dass er von geringem Nutzen für die Produktentstehungskette war. Er wurde daher aus der direkten Kette entfernt. Beispiel: Stationen zur Datenarchivierung für einzelne Entwicklungsteams entfallen durch den Einsatz eines durchgehenden EDM- oder PDM-Systems für den ganzen Produktentstehungsprozess.
- Das Einfügen von Teilprozessen war nötig, da neue Technologien eingesetzt und die Parallelisierung verstärkt wurde. Der Einsatz z. B. von FEM-Simulation oder VR-Technik musste in einem neuen Prozessschritt berücksichtigt werden.
- Eine Möglichkeit, Prozesse zu beschleunigen, ist die Standardisierung. Daher wurde bspw. zur Beschleunigung ein einheitliches Textverarbeitungsprogramm festgesetzt und im Konstruktionsbereich wurde zur Standardisierung die Vielfalt der Konstruktionsprogramme auf zwei kompatible Systeme reduziert.
- Die Entwicklungs- und die Realisierungsphase waren geprägt von ständiger Absicherung der Datenbefunde. Dazu wurde eine Blockbildung vorgenommen. Diese führte zur ersten Absicherung. Im Inneren des Blocks wurden die FEM-Simulation und die VR-Anwendung eng gekoppelt, da sie parallel verlaufen sollten (vgl. Abbildung 48).

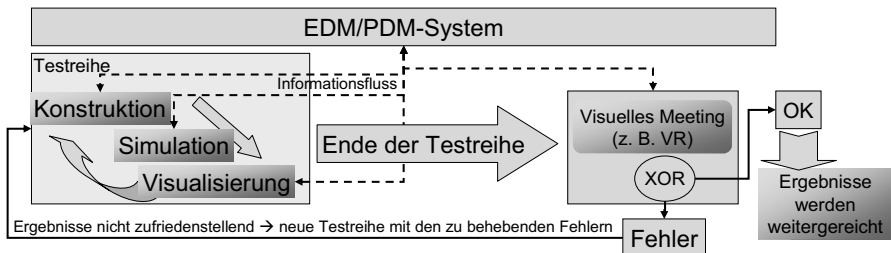


Abbildung 48: Zusammenhang digitaler Prozessführung

- Durch ein EDM/PDM-System wurden der Datenaustausch, die Speicherung von Änderungsständen und neue Informationen sofort zugänglich.
- Ausgehend vom Entstehungsprozess der Prototypen für die Versuche sind Möglichkeiten aufgezeigt worden, die den schwierigen und langwierigen Prozess der Anpassung der Konstruktion im 3-D-CAD-System beschleunigen.

### Ergebnis: Beschreibung des veränderten Teilprozesses

Die Entwicklungs- und die Realisierungsphase konnten aufgrund ihrer engen Verzahnung und hohen Parallelität gemeinsam behandelt werden. Im Soll-Konzept werden die beiden weitgehend parallel ablaufenden Teilprozessen durch ständige Abstimmungsprozesse eng miteinander verbunden. Hierbei wird der Einsatz von kooperativen Unterstützungssystemen wie Video-Konferenzen, CSCW oder VoIP eingeplant.

Durch die Aufgliederung der Grobkonstruktionsphase in einzelne Teilfunktionen sowie die Aufteilung in unabhängige Konstruktionsräume, die sich inhaltlich nicht oder kaum überschneiden, können Entwickler zukünftig parallel und unabhängig Lösungen erarbeiten.

Gegebenenfalls werden in den sich überlappenden Bereichen Entscheidungen von den beteiligten Entwicklern gemeinsam getroffen.

Wie im Ist-Prozess werden zukünftig im Soll-Prozess zu Beginn der Entwicklungsphase die Randbedingungen der einzelnen Konstruktionsräume festgelegt. Dies sind z. B. die geometrische Abmessungen, die Fügestellen sowie die Schnittstellen für Kraft und Stoffaustausch. Das Lösungsvorgehen der unabhängigen Konstruktionsräume führt somit zu Zeiteinsparungen.

Die vom ersten Konzept bis zu der endgültigen detaillierten Konstruktion vorhandenen Produktdaten werden zukünftig fortlaufend in digitalen Modellen konstruiert und bereitgestellt. Diese Modelle werden Bestandteil von Abstimmungen mit anderen Teilprozessen.

Die Teilprozesse werden zudem durch VR-Modelle unterstützt, da hier die Randbedingungen, z. B. die geometrischen Abmessungen, sofort erkennbar sind. Während der Entwicklungsphase wird bei Zusammenbauuntersuchungen die Einhaltung der Randbedingungen ständig am virtuellen Modell verifiziert, dabei wird zugleich die Montierbarkeit – durch Menschen oder Roboter – der einzelnen Module sichergestellt.

Für die Abstimmungen werden die Anwendung von VR-Modellen und einer Power Wall sowie eines 3-D-Bildschirms eingeplant. Dadurch wird eine hohe Transparenz erreicht. Die Variationen des dargestellten Detaillierungsgrades der Modelle wird eine Reduktion der Information auf das nötige Niveau ermöglichen und die Information wird für den „Laien“ einfach und schnell nachvollzieh- und diskutierbar sein.

Während der Erstellung der Konstruktionen werden im zukünftigen Teilprozess wie bisher Auslegungsrechnungen nötig. Diese werden zukünftig direkt in das Konstruktionssystem integriert. Mit einer nachfolgenden FEM-Simulation werden die Berechnungen verifiziert bzw. in einem Trial-&-Error-Verfahren weiter optimiert werden (s. Abbildung 48). So werden z. B. die unterschiedlichen Designvarianten zukünftig auf Grundlage der Simulationen und Untersuchungen hinsichtlich der Realisierung selektiert.

Für die Steuerung der Entwicklung werden im zukünftigen Teilprozess Meilensteinen (Anfangs-, Zwischen- und Endzuständen) eingeplant. Sie bieten einen wirksamen Soll/Ist-Vergleich und geben ein zeitliches Raster zur Strukturierung des Informations- und Datenflusses. Durch dieses Raster wird der Entwicklungsprozess planbar. Dies ist die Voraussetzung für die notwendige Einbindung von Zulieferer in den zukünftigen Entwicklungsprozess. In die Abstimmungsprozesse des Konzeptes werden zudem virtuelle Freigabeprozesse integriert.

Die Erstellung und Weiterführung der Fehlereinflussanalyse wird weiterhin in der gesamten Entwicklungsphase erfolgen. Sie wird zukünftig durch moderne wissensbasierte FMEA-Systeme unterstützt. Diese Systeme unterstützen den Benutzer durch Unterbreitung von Vorschlägen während der Erstellung einer FMEA. Hierdurch können auftretende Wiederholungsfehler wirkungsvoll vermieden werden.

In der Entwicklungs- und Realisierungsphase werden drei physische Prototypen eingeplant. Die Prototypen dienen der Verifikation der Simulationsergebnisse, um Fehler durch unausgereifte Simulationsprogramme frühzeitig zu erkennen und um hieraus resultierende größere finanzielle Schäden zu vermeiden. Mit zunehmendem Reifegrad der Simulationen können zukünftig einzelne physische Prototypen ganz entfallen.

Im Teilprozess wurden drei Iterationszyklen integriert. Die beiden an sich getrennten Teilprozesse werden zuerst eigenständige Simulationen durchführen (s. Abbildung 49 und Abbildung 59 im Anhang). Diese Simulationen werden einen zusätzlichen Informationsgewinn bewirken und können notwendige konstruktive Veränderungen und Verbesserungen nach sich ziehen. Die Simulationen werden zukünftig sehr schnell, teilweise begleitend zur

Konstruktion, durchgeführt werden, sodass auf dieser Ebene in kurzer Zeit weitere Iterationszyklen durchgeführt werden können und das Produkt ständig optimiert wird.

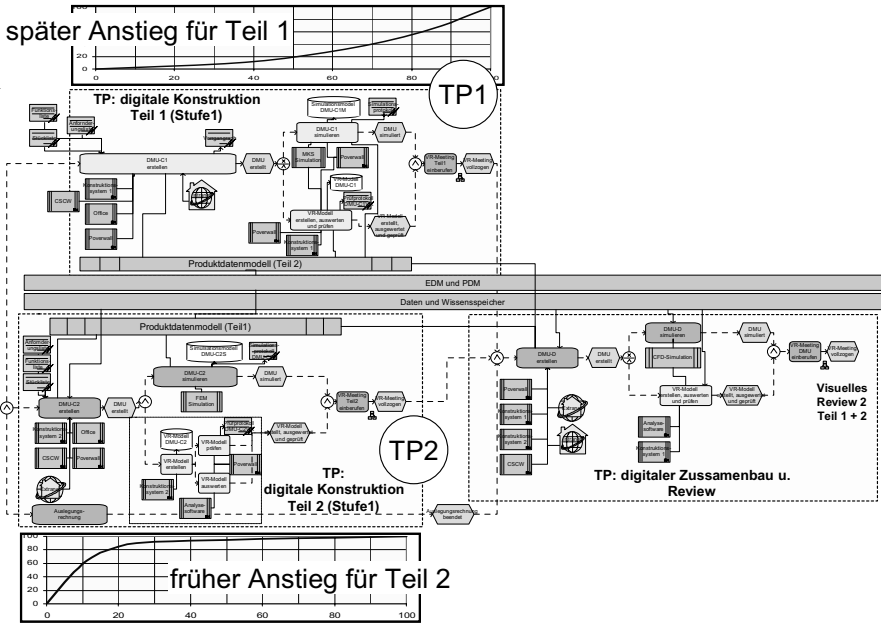


Abbildung 49: Ausschnitt: Eintaktung Teilprozesse TP1 und TP2 der digitalen Konstruktion

Den Iterationszyklen der Teilprozesse wurde ein kombinierter Iterationszyklus überlagert. In diesem wird das Produkt kombiniert simuliert. Das Produkt wird zuerst in einer virtuellen Anlage „gefertigt“ und danach wird dieses virtuelle Produkt hinsichtlich der gewünschten Funktionseigenschaften simuliert werden. Die Vernetzung der einzelnen Teilprozesse zu einem Gesamtprozess erfolgte durch eine zeitliche funktionale Prozesseintaktung wie in Abschnitt 5.4.4.3 beschrieben. In Abbildung 60 (Anhang) ist zum Vergleich ein Ausschnitt der Eintaktung von Teilprozessen beim Unternehmen 1 abgebildet.

### Ergebnis: Verbindung von Produktentwicklung und Produktion

Die Abstimmung und einen engen Datenaustausch zwischen Produktentwicklung und Produktionsplanung wurde in den Teilprozessen frühzeitig eingeplant.

Die über die Zeit hinweg immer detaillierteren Konstruktionsdaten der Fertigungsanlagen werden zur Simulation der Realisierung herangezogen werden. Das dabei entstandene digitale Gesamtmodell der Produktionsanlage bildete zukünftig das Digitale Fabrikmodell. Dies bildet letztlich ein umfassendes Datenmodell, das durch eine Anwendung innerhalb von unterschiedlichen Simulationswerkzeugen abgesichert werden kann.

Durch die Verbindung der einzelnen digitalen Teile der Fertigungsanlage kann das komplexe Verhalten der gesamten Fertigungsanlage beurteilt werden. Somit wird zukünftig das Produkt und die Produktion im Vorfeld der eigentlichen physischen Realisierung simuliert. Werden bei der Simulation der Produktion fertigungstechnische Konstruktionsmängel des Produktes erkannt, dann werden diese Problemstellen am Modell gekennzeichnet und an die Produktentwicklung zeitnah gemeldet.

Bei der eigentlichen Realisierung einer Anlage wird sich durch digitale (virtuelle) Verfahren im Wesentlichen nichts ändern. Die digitalen Modelle können aber den Ein- oder Zusammenbau (z. B. mittels Augmented-Reality-Brillen) unterstützen.

Erst bei der Inbetriebnahme einer Anlage kommen wieder die Vorteile der digitalen Modelle zum Tragen. Durch die Darstellung der kompletten Fertigungszellen im Rechner kann zukünftig z. B. die Programmierung von CNC, RP-Maschinen oder Robotern weitgehend entfallen, da durch automatische Pfadgenerierung der Arbeitsvorgang automatisch generiert werden kann. Die Umwandlung der Pfade im virtuellen Raum in eine entsprechende Sprache wird automatisch erfolgen.

**Ergebnis: Bewertung der Prozessveränderungen**

Die Bewertung des Soll-Zustands erfolgte mit den Verfahren und der Bewertungsgrundlagen, die für die Ist-Analyse angewendet wurden. Zusätzlich erfolgte die Bewertung der einzelnen durchgeführten Prozessveränderungen (vgl. Abbildung 50). Hierzu wurde der Bewertungsschlüssel aus Abschnitt 5.3.3 angewendet. Der Bewertungsschlüssel wurde zu Beginn festgelegt und erfolgte anhand der Zielgrößen der Zielfestlegung. Danach wurde jede Prozessveränderung mit dem Bewertungsfaktor versehen (vgl. Abbildung 66 - Anhang). Durch die Bewertung des Soll-Zustandes wurden die maßgeblichen Entscheidungspunkte für die Umsetzung festgelegt.

<b>Protokoll - Prozessveränderung (Elemente)</b>			
Pos.	Beschreibung Veränderung	Fall	Punkte
1	Prototyp konstruiert und berechnet mit einem System.	3	4
2	Integration einer Konvertierungsstation, da eine Schnittstelle zwischen einem CAD und einer Visualisierungskomponente --> Verlangsamung.	6	4
3	Parallelisierung von Teilprozessen Konstruktion 1 und Konstruktion 2.	4	8
4	Zusammenfassung der Erfassung, Analyse und Bewertung von Teil 1 in einer	2	10
5	Eliminierung der Funktion Modellaufbau erstellen durch Integration einer dreidimensionalen Visualisierungsmöglichkeit.	4	8
6			

Abbildung 50: Ergebnis Bewertung von Prozessveränderungen

**6.5 Vorbereitungen zur Umsetzung des Sollzustandes**

Durch die Ergebnisse der Analyse konnte ein Soll-Zustand erstellt werden. Es wurde ein Prozessmodell für den Gesamtprozess und Teilprozesse als Vorbereitung erstellt. Für die Umsetzung ist im Weiteren ein Migrationskonzept auf Basis der Potenzialbeschreibungen und des Prozess-Veränderungs-Berichtes aufzustellen. Dieses muss einen Stufenplan für die Umsetzung der Ergebnisse beinhalten. Hierbei müssen schnelle (< 6 Monate), mittelfristige (bis 1 Jahr) und langfristige (> 1 Jahr) Stufen unterschieden werden. Durch die Stufeneinteilung kann die Komplexität reduziert werden. Dieser Stufenplan muss zusätzlich für die Planung von längerfristigen Entwicklungen genutzt werden und dient somit zur Unterstützung der strategischen Planung und Unternehmensausrichtung. Den einzelnen Bereichen müssen Teams zugeteilt werden, die für die weitere Umsetzung zuständig sind. Zudem müssen Trainings- und Schulungspläne für die Mitarbeiter erstellt werden, wenn neue Systeme oder Applikationen eingeführt werden. Des Weiteren sollte innerhalb des Unternehmens ein Test und Trainingsbereich installiert werden, nicht nur um Mitarbeiter zu schulen, sondern auch um ein „Internes Marketing“ anhand eines prototypischen durchgängigen Arbeitsablaufs leisten zu können.

## 6.6 Ergebnisse der Anwendung der Methode für das Unternehmen

Die Systematisierung des Einsatzes mit CAx-Technologien ergab für das Unternehmen sowohl umfangreiche als auch weniger nennenswerte Veränderungen. Sie konnten auf jeden Fall die Entscheidungsfindung für den zukünftigen Einsatz von CAx-Technologien und die Umsetzung in den Prozessen der Produktentwicklung unterstützen. Bei den erzielten Ergebnissen und dem Nutzen handelte es sich z. B. um:

- Reduzierung von Zeichnungen durch digitale Modelle zur Änderungsverfolgung und der Möglichkeit einer schnellen Änderung.
- Mechanische Konstruktion: bisher in 2-D, zukünftig in 3-D. Die Schnittstellenproblematik konnten erkannt und Lösungen dafür im Vorfeld eines Kaufes überdacht werden. Zudem werden Standardbaugruppen in 3-D gebildet.
- Arbeiten mit unreifen Daten durch frühzeitige Bereitstellung und Nutzung aller vorhandenen Informationen/Wissen.
- Standardisierung und Änderungsmanagement durch Einsatz eines PDM-Systems.
- Verteilter Zugriff von externen Kunden auf Entwicklungsdaten. Vermeidung von doppelten Entwicklungsarbeiten. Dadurch Synergieeffekte und Kostenreduzierungen.
- FEM: wird extern vergeben, da eine Einführung zu große Kosten verursacht hätte. Serverzugriff für Konstruktionsbüros. Zu lösen ist noch die Sicherheitsfrage der Datenleitung. Integration eines CSCW-Systems.
- Offenlegung von Daten für andere Bereiche. Die Mitarbeiter der Fertigung werden Einsicht in Konstruktionsdaten haben. Damit können fertigungsrelevante Informationen frühzeitig berücksichtigt werden.
- Etablierung eines Raumes für das Erlernen, Fortbilden und Erproben von neuen Applikationen. Der „Medienraum“ wird mit Videokonferenz, VR-Wand (Virtual Reality) und hochauflösenden Bildschirmen ausgestattet. Diese Elemente (Visualisierungsplattform) dienen der ganzheitlichen Betrachtung und Abstimmung von digitalen Ergebnissen. Ein zukünftiger Einsatz von Augmented Reality ist angedacht.
- Reduzierung von bisherigen Routinetätigkeiten und damit Konzentration auf Optimierung, Innovation und Reduzierung von Wartezeiten.
- Einfachere Erstellung und Änderung von Konstruktionsdokumenten.
- Speicherung und Lieferung der digitalen Produktdaten entsprechend den Erfordernissen der Produktentwicklung durch Einsatz eines Daten-Management-Systems.
- Inhaltliche Ausrichtung des Produktentwicklungsprozesses an den zu erwartenden Reifegradzuständen des digitalen Produktes.
- Zeitliche Einordnung des Produktentwicklungsprozesses (der Teilprozesse).
- Aus dem Angebot Ableiten der Vorgaben für die Projektierung von Varianten. Die Dimensionierung von Bauteileigenschaften erfolgt anhand des 3-D-Modells. Angebotsprojektierung: Sitz mit Kalkulation in einem Raum.
- Einsatz eines SAP-Systems zur Kosten- und Terminsteuerung. Zusätzlich Einsatz eines Angebots- und Variantenkalkulationssystem mit Zugriff auf bestehende Baugruppen. Konfiguration einer Variante für das Angebot mit Simulation der Kalkulation. Hierfür ist die Datenbank mit dem SAP-System zu verknüpfen.
- Hohe Durchdringung von CAx-Technologien mit einer schnelleren Planung und Erledigung von Einzelaufgaben sowie einer veränderten Zeitaufteilung durch gesteigerte Funktionalitäten.

## 6.7 Bewertung der Anwendung der Methode bei den Unternehmen

Mit der Anwendung der Methode konnte bei beiden Unternehmen eine Systematisierung von einzelnen Teilprozessen in der Produktentwicklung mit einem Einsatz an CAx-Technologien erreicht werden. Die Anwendung der Methode hat bei beiden Unternehmen gezeigt, dass die Methode auf unterschiedliche Unternehmen bedarfsgerecht angewendet werden kann und somit eine Übertragbarkeit gegeben ist.

Je nachdem welche Ausgangssituation in den Unternehmen vorhanden war und welche Zielstellungen für das jeweilige Unternehmen festgeschrieben wurden ergaben sich unterschiedliche Ergebnisse. Die Anwendung der Methode konnte in beiden Fällen die Bewertung des Zustandes und der Auswirkungen durch einen Einsatz von CAx-Technologien im Prozess der Produktentwicklung bzw. die Entwicklung von Lösungsalternativen einer Prozessoptimierung unterstützen.

Durch die systematische und strukturierte Analyse des Ausgangszustandes konnten die Teilprozesse aufgenommen werden. In Verbindung mit der systematische und strukturierte Beschreibung der Prozessumfänge konnte ein Abgleich mit den Möglichkeiten der einzelnen CAx-Technologien erfolgen. Dadurch konnte für jedes Unternehmen jeweils ein neues Konzept an CAx-Technologien erörtert werden, welches die Anforderung eines durchgängigen Einsatzes an CAx-Technologien erfüllte. Zudem konnten in beiden Fällen zahlreiche Potenziale für die Verbesserung der Produktentwicklung ermitteln und Gestaltungsansätze geliefert werden, die in den Teilprozessen umgesetzt werden konnten.

Die Bewertung der Potenziale einzelner CAx-Technologien und eines CAx-Verbundes sowie der Erkenntnisse der Auswirkungen auf die Gestaltung von Prozessen erbrachte Gestaltungsansätze für neue Teilprozesse. Durch diese konnte die Systematisierung der einzelnen Teilprozesse und eines Gesamtprozess unterstützen werden. In beiden Unternehmen konnten mit der Methode einzelne Teilprozesse gebildet werden, die mit einem umfangreichen Einsatz an CAx-Technologien für eine digitale Produktentwicklung ausgestattet wurden. Durch die hohe Durchdringung von CAx-Technologien konnte eine schnellere Planung und Erledigung von Einzelaufgaben sowie eine veränderte Zeitaufteilung durch gesteigerte Funktionalitäten erbracht werden.

Die Teilprozesse konnten bei beiden Unternehmen nicht nur mit CAx-Technologien ausgestattet werden, sondern es fand auch eine Inhaltliche Ausrichtung an den zu erwartenden Reifegradzuständen des digitalen Produktes der Teilprozesse statt. Dadurch konnte eine Ausrichtung des Gesamtprozesses am Produktreifegrad sowie eine zeitliche und funktionale Vernetzung der einzelnen Teilprozesse ermöglicht werden, sodass eine integrierte Produktentstehung erstellt werden konnte (vgl. Abbildung 59 und Abbildung 60).

Für eine integrierte Produktentstehung und zur Informationsversorgung über die einzelnen Teilprozesse hinweg wurde im CAx-Konzept ein zentrales Daten-Management-System und die Speicherung und Lieferung von Produktdaten in einem zentralen digitalen Produktmodelle etabliert. Dadurch konnte eine Offenlegung von Daten für andere Bereiche erfolgen. Die Mitarbeiter der Fertigung werden somit Einsicht in Konstruktionsdaten haben. Damit können fertigungsrelevante Informationen frühzeitig berücksichtigt werden.

Die Durchführung der einzelnen Phasen der Methode erwies sich als praktikabel. Teile von Phase III und IV mussten mehrfach durchgeführt werden, da im Laufe der Arbeiten zusätzliche Anforderungen an die Teilprozesse formuliert wurden. Auch konnten weitere mögliche CAx-Technologien identifiziert werden. Auf diese neuen Anforderungen und Erkenntnisse konnte jedoch reagiert werden. Durch die Erkenntnisse aus den Bewertungen und die Unterstützung der Gestaltung von Teilprozessen konnte die Systematisierung von Teilprozessen mit einem Einsatz von CAx-Technologien für eine digitale Produktentwicklung umgesetzt werden.

## **7 Evaluation und Diskussion der Ergebnisse aus der Anwendung der Methode**

### **7.1 Evaluation**

Die praktische Anwendung in zwei produzierenden Unternehmen hat gezeigt, dass die Methode geeignet ist, eine Systematisierung von Prozessen mit CAx-Technologien zu ermöglichen, insbesondere bei mittleren und kleinen Unternehmen. Die gewonnenen Erfahrungen werden im Folgenden entsprechend den Anforderungen aus Kapitel 4 dargestellt.

#### **Systematische und zielgerichtete Analyse**

Durch den Einsatz von verschiedenen Hilfsmitteln konnte eine Systematisierung von Prozessen mit CAx-Technologien bei beiden Unternehmen durchgeführt werden. Durch das konsequente strukturierte Vorgehen der Methode, „top-down“ oder „bottom-up“, konnten große Umfänge behandelt und die vorherrschende Komplexität minimiert werden. Hinzu kommt, dass die einzelnen Elemente immer die Sicht auf die Gesamtheit berücksichtigten und somit eine ganzheitliche Digitalisierung ermöglicht wurde. Dadurch konnten Brüche in der Durchgängigkeit vermieden und ein effektiver und effizienter Einsatz von CAx-Technologien erreicht werden. Es konnte aufgezeigt werden, dass der Methodenansatz ein systematisches und zielgerichtetes Vorgehen beinhaltet. Zudem konnte neben einer umfassenden Analyse eine systematische Bewertung durchgeführt werden.

#### **Integrierte Bewertung von Prozessveränderungen beim Einsatz von CAx-Technologien**

Der Ansatz, sich auf die drei Hauptelemente Produkt, Prozess und CAx-Technologien zu begrenzen, hat sich als richtig erwiesen. Durch die Anwendung bei den Unternehmen konnte festgestellt werden, dass CAx-Technologien die Prozessgestaltung immer mehr beeinflussen. Anders als bisherige Ansätze, die eine Organisationsausrichtung voranstellen, wurden die CAx-Technologien in dieser Arbeit in ihrer Wichtigkeit der Organisationsgestaltung vorangestellt. Zudem konnten die Vorteile und der Nutzen für die Unternehmen herausgestellt, aber auch die Risiken gegenübergestellt und diskutiert werden. Bei der Anwendung konnte bestätigt werden, dass der Mensch als Unterstützer und Anwender anzusehen ist und die CAx-Technologien für die Ausführung und Absicherung (durch Berechnungen) wesentlich stärker in den Vordergrund rückt. Daher avancierte der Mensch mehr zum Denker und Lenker und wurde nicht zur Arbeitsmaschine des klassischen Ansatzes degradiert.

Die für die Bewertung ermittelten Größen waren nachvollziehbar und konnten infolge der bereitgestellten Werkzeuge einfach ermittelt und interpretiert werden. Zudem konnten Aussagen hinsichtlich Einzeler und in einem Verbund zusammengefasster CAx-Technologien gemacht werden. Der mit der Zielsetzung individuell aufstellbare Bewertungsschlüssel ermöglichte dabei einen flexiblen und individuellen Einsatz.

Neben der qualitativen konnte mittels einer quantitativen Erhebung vorhandenes Optimierungspotenzial erbracht werden. So konnte der Grad der Digitalisierung erfasst und ein Ansatz für einen veränderten Einsatz von CAx-Technologien ermittelt werden.

Durch die Anwendung konnte eine standardisierte Möglichkeit aufgezeigt werden, wie Prozesse systematisch und strukturiert gestalten werden können. Dieser Umstand war und ist für den Einsatz von CAx-Technologien und dessen Bewertung wichtig. Die Erstellung und Ausgestaltung eines nach den Zielvorstellungen ausgebildeten Teilprozesses konnte durch die Bewertung der Veränderungen gewichtet und das entstandene Potenzial quantitativ und qualitativ ermittelt werden. Die gewonnenen Erkenntnisse, die sich bei der

Integration von CAx-Technologien in Prozessen ergaben, wurden zusammengefasst, sodass sie zur Prozesserstellung entscheidend beitragen konnten. Insbesondere durch den Ansatz einer Reifegradsystematik konnte die Vernetzung und Eintaktung von Teilprozessen unterstützt werden. Die Dokumentation und Bewertung der Veränderungen erlaubte eine Aussage hinsichtlich des Nutzens zu tätigen.

### Anwendbarkeit der Methode

Die Eignung der Methode zur strategischen Ausrichtung und Bewertung und als Entscheidungsgrundlage für den Einsatz von CAx-Technologien ergibt sich durch den systematischen und ganzheitlichen Ansatz. Die Anwendbarkeit konnte innerhalb der beispielhaften Anwendung aufgezeigt werden. Durch das strukturierte und systematische Vorgehen der Methode wurde die Gesamtheit gewahrt und die Komplexität von umfangreichen Prozesszusammenhängen konnte beherrscht werden. Somit können, je nach Verwendung, die Bewertungen und Planungen auf einer spezifischen Ebene mit unterschiedlichem Abstraktionsniveau erstellt werden. Die Allgemeingültigkeit und Flexibilität des Ansatzes konnte in der beispielhaften Anwendung aufgezeigt werden. Die Flexibilität und Adaptierbarkeit auf andere Prozesse wird zudem durch die Möglichkeit zur Bildung und Benennung von spezifischen Prozesselementen erreicht und durch die Ausbildung von einheitlichen Begriffen, die sowohl zur Definition von Prozesselementen als auch zur Identifikation der Funktionalitäten von CAx-Technologien beitragen. Durch diese einheitlichen Begriffe konnte eine Bewertung des Einsatzes von CAx-Technologien erfolgen.

Durch die Methode konnte die Grundlage für eine Verbesserung der Planung und Abschätzung des Einsatzes von CAx-Technologien erarbeitet werden. Die einzelnen verwendeten Werkzeuge und Hilfsmittel konnten zur Erhebung, Analyse sowie durch Veränderung zu einer Systematisierung von Teilprozessen beitragen. Die Modelle des Ansatzes sind anwendungsneutral und lassen sich problem- und projektspezifisch gestalten. Dadurch wird die Anwendbarkeit auf andere Produktentstehungsprozesse ermöglicht.

Eine zusammenfassende Darstellung der in Kapitel 1 beschriebenen Anforderungen an das Methodenmodell mit dem relativen Grad ihrer Erfüllung findet sich in Tabelle 28.

Kriterien		Anforderung	Unternehmen 1	Unternehmen 2
Systematische und zielgerichtete Analyse	Realitätsnähe	●	◐	●
	Komplexitätsminderung	●	◐	◑
	Strukturierung	◐	●	◑
	Detaillierung	◐	◐	●
Integrierte Bewertung von Prozessveränderungen beim Einsatz von CAx-Technologien	Ermittlung von Wechselwirkungen	●	●	●
	Ganzheitliche Bewertung	●	◑	◑
	Einsatz von Werkzeugen	●	●	●
Anwendbarkeit der Methode	Flexibilität	◐	◑	●
	Effizienz	◐	◑	●
	Anwendbarkeit	●	◑	●
	Durchgängigkeit	●	●	◑
	Strategische Ausrichtung	◐	◐	◐

Tabelle 28: Anforderungen der Methode an ihren relativen Grad der Erfüllung

Legende: ● sehr wichtig / vollständig erfüllt, ◐ wichtig / größtenteils erfüllt

## 7.2 Diskussion

Die Anwendung der entwickelten Methode zur Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung beim Einsatz von CAx-Technologien in der Praxis hat gezeigt, dass die Methode umsetzbar ist und dass es die gestellten Anforderungen erfüllt. Im Folgenden werden für die Erreichung der Ziele der Arbeit relevante Punkte diskutiert.

### **Ganzheitlichkeit der Methode**

Die ganzheitliche Methode sowohl bei der Potenzialermittlung als auch bei der Prozessgestaltung trägt bei der Digitalisierung dazu bei, dass Lücken und Insellösungen vermieden werden. Nur durch das konsequente ganzheitliche Vorgehen der Methode kann eine effektive Planung des Einsatzes von CAx-Technologien erfolgen. Dieser Ansatz wurde innerhalb der praktischen Anwendung deutlich.

### **Ermittlung der Prozessumfänge und des Einsatzes von CAx-Technologien**

Mit der Methode kann die systematische Prozessaufnahme notwendige und umfangreiche Prozessermittlungen durchgeführt werden, sofern die Prozesse nicht schon beschrieben sind. Diese Aufgaben werden zuerst nicht im Zusammenhang mit einer Digitalisierung gesehen ist aber unumgänglich in Hinblick auf einen Einsatz von CAx-Technologien.

Bei der praktischen Anwendung folgt eine schleppende Aufnahme, was sich aber mit zunehmendem Projektverlauf, verbunden mit dem Verständnis der Mitarbeiter für den ganzheitlichen Ansatz und der Auswahl eines Prototypbereichs, zum Positiven veränderte. Nur durch diese Herangehensweise kann ein ganzheitlicher, digitalisierter und integrierter Prozess gestaltet werden.

Mit der Methode können zudem strukturiert die Umfänge an CAx-Technologien innerhalb von Teilprozessen erhoben werden und bilden eine Basis zur Bewertung des Einsatzes von CAx-Technologien sowie zur Auswahl und Vergleich von Alternativen an CAx-Technologien.

### **Bewertungskriterien und -methode beim Einsatz von CAx-Technologien**

Eine Bewertung auf quantitativer Basis hinsichtlich der Größen wie bspw. einem Zeitpotenzial oder der Qualitätsverbesserung, ist immer vom Faktor Mensch und dessen Kompetenz abhängig und kann damit zu einer Fehleinschätzung führen. Dieser Umstand ist berücksichtigt worden und die Bewertungen innerhalb der Methode wird durch die Integration einer Diskussion und Abstimmung der Ergebnisse in Workshops auf eine breitere Basis gestellt.

Es erfolgt eine Bewertung des Prozesses und des Einsatzes von CAx-Technologien hinsichtlich der Zeit und der Qualität sowie die Erhebung von statistischen Daten. Eine Kostenbetrachtung erfolgt nicht an dieser Stelle, da die Ermittlung einer optimalen Prozesslösung priorisiert wird.

Da aber eine Digitalisierung immer mit einem Aufwand verbunden ist, sollte mit der Methode die Grundlage für strategische Entscheidungen und Visionen gebildet werden, denn erst wenn der Nutzen und die Möglichkeiten verdeutlicht werden kann, wird die Entscheidung für eine verstärkte zukünftige Ausrichtung auf CAx-Technologien gefördert. Die Einbeziehung der Kosten sollte somit erst nach der Konzepterstellung in Verbindung mit einer Umsetzungs- und Technologieplanung erfolgen.

Der Informationsfluss ist nicht nur von der Möglichkeit, Daten zu übermitteln, sondern auch von der Qualität der übermittelten Daten abhängig, was innerhalb der Methode nicht

explizit berücksichtigt wurde. Dieser Umstand sollte dennoch nicht außer Acht gelassen werden. Zur Lösung dieser Problematik bietet sich die Bereitstellung einer CAx-Technologiedatenbank an, in der auf diese Spezifika hingewiesen werden sollte. Zukünftige Entwicklungen eines einheitlichen Datenformats und einheitlicher Datenschnittstellen würden die Auswahl von Alternativen wesentlich vereinfachen.

### **Systematisierung von Teilprozessen in der Produktentwicklung**

Die einheitliche Art der Gestaltung von Prozesselementen mit der Methode ist nicht nur für eine lückenlose Erfassung von Prozessen erforderlich, sondern dient auch der Einsatzplanung und dem Abgleich von CAx-Technologien. Die Prozessgestaltung ist mit der Beachtung von vielen Einflussparametern verbunden. Dennoch kann mit der grundlegenden Diskussion von Anordnungen und Veränderungen eine Unterstützung der Gestaltung erfolgen. Eine Unterstützung durch eine auf einer Semantik beruhenden Entscheidungs-generierung würde diese Tätigkeit zudem unterstützen.

### **Effiziente Anwendung der Methode**

Der Ansatz, die organisatorischen Strukturen im ersten Schritt nicht einzubeziehen, fand bei der praktischen Anwendung in einigen Bereichen kein Verständnis. Die Zurückhaltung der Verantwortlichen im Hinblick auf Veränderungen, verbunden mit Unsicherheit durch eine Digitalisierung und der Angst vor dem Verlust von Bereichshoheiten, verhinderten eine Öffnung und führten teilweise zu einer zurückhaltenden Potenzialgenerierung. Daher musste viel Überzeugungsarbeit geleistet werden, wobei das interne Marketing mit Übersichten und ständiger Informationsweiterreichung sehr hilfreich war.

Der Faktor Mensch ist eine entscheidende Größe für einen effektiven Einsatz von CAx-Technologien. Dieser Faktor wurde bei der Entwicklung der Methode bewusst nicht berücksichtigt, da es keine definierten Größen, wie z. B. bei der Arbeitsplatzgestaltung nach REFA, für den Einsatz des Menschen an CAx-Technologien gibt.

Die Anwendung der entwickelten Methode zur Systematisierung von Teilprozessen mit CAx-Technologien zeigt, dass die Methode in der Praxis umsetzbar ist und die Anforderung aus Kapitel 1 erfüllt werden (vgl. Tabelle 28). Es ist weiter zu diskutieren, inwieweit die Methode in einer Software umgesetzt und als Ergänzung zu bestehenden Modellierungswerkzeugen angewandt werden kann.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

### 8.1 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Systematisierung von Teilprozessen der Produktentwicklung beim Einsatz von CAx-Technologien. Dabei werden folgende Teilziele verfolgt:

1. Es soll eine ganzheitliche Methode entwickelt werden, die es erlaubt, Teilprozesse mit CAx-Technologien für eine digitale Produktentwicklung auszustatten.
2. Die Methode soll Potenziale ermitteln und Gestaltungsansätze liefern, die in einem Teilprozess umgesetzt werden können.
3. Die Methode soll eine Bewertung des Zustandes und der Auswirkungen durch einen Einsatz von CAx-Technologien im Prozess der Produktentwicklung bzw. die Entwicklung von Lösungsalternativen einer Prozessoptimierung unterstützen.
4. Durch die Erkenntnisse aus den Bewertungen soll die Gestaltung und damit die Systematisierung von Teilprozessen für eine digitale Produktentwicklung unterstützt werden.

Für die Optimierung der Prozessleistung gibt es in der Literatur verschiedene Ansätze. Die bekanntesten Ansätze sind das Business Process Reengineering, Total Cycle Time, KAIZEN/KVP und Six Sigma. Die bisherigen Methoden sind vor allem aus Sicht der Betriebswirtschaft entstanden und berücksichtigen daher nicht ausreichend die aus Ingenieurssicht wichtige Integration von Informationstechnologien. Die Analyse bestehender Ansätze hat ergeben, dass in der Regel Prozesse durch den Einsatz moderner Informationstechnologien automatisiert werden und dafür neu gestaltet werden müssen. Für die Erstellung und Modellierung der Prozesse der Produktentwicklung gibt es in der Literatur eine große Anzahl an Methoden und Werkzeugen. Es gibt aber keine Methode zur Gestaltung von Prozessen, welche die speziellen Einflüsse von Informationstechnologien berücksichtigt (vgl. Abschnitt 3.1)

Um die Produktentwicklung zu verbessern, wird der Ansatz einer integrierten Produktentstehung verfolgt. Die Ansätze in der Literatur zur Verbesserung der Produktentwicklung durch die Integration von Informationstechnologien beruhen auf der Zusammenführung von bestehenden Methoden. In der Literatur lässt sich aber keine Methode finden, die sich ausführlich mit den Auswirkungen von Informationstechnologien hinsichtlich der Prozessgestaltung auseinandersetzt.

Zur Gestaltung von Informationstechnologiestrukturen hinsichtlich der Vernetzung gibt es in der Informatik genügend Ansätze. Die Bewertung des Einsatzes von Informationstechnologien erfolgt anhand von Kennzahlen. Die meisten Kennzahlensysteme, die für die Informationstechnologie eingesetzt werden, sind aber nur bedingt geeignet. Dies liegt an der Fülle der Kennzahlen und an deren ungenügenden Beschreibungen. Es ist zudem keine Methode vorhanden, das eine Bewertung des Einsatzes von Informationstechnologien innerhalb eines Prozesses vornimmt. Hinzu kommt, dass es keine Methode gibt, die den Zustand hinsichtlich eines Verbundes an Informationstechnologien bewertet (vgl. Abschnitt 3.2)

Die Analyse von Produkten und Produktdaten hat gezeigt, dass die immer größer werdende Datenmenge im Kontext der Bereitstellung von digitalen Produktdaten und -modellen ebenfalls eine große Herausforderung darstellt. In der Literatur lassen sich verschiedene Ansätze zur Datenarchivierung, Bereitstellung und Freigabe sowie zur Trennung von nützlichen und überflüssigen Daten durch ein umfassendes Datenmanagement finden. Zudem gibt es einige Ansätze zum Aufbau eines digitalen Produktdatenmodells.

Die Analyse hat aber auch gezeigt, dass es kein Konzept gibt, das den Prozess der Produktentwicklung, wie für eine digitale Produktentwicklung unumgänglich, an den Reifegradverlauf eines digitalen Produktmodells koppelt und ausrichtet (vgl. Abschnitt 3.3).

Die entwickelte Methode unterscheidet sich von bestehenden Ansätzen durch die systematische Einbeziehung der Möglichkeiten eines Einsatzes von CAX-Technologien, um effizientere Teilprozesse in der Produktentwicklung zu erstellen. Die Methode bietet spezifische Werkzeuge zum Ableiten der Veränderungen durch CAX-Technologien an. Sie enthält zudem Anweisungen für das Anordnen, Strukturieren und Vernetzen von Teilprozessen der Produktentwicklung mit einem Einsatz von CAX-Technologien. Die Methode beinhaltet spezifisch entwickelte Bewertungsmethoden und Bewertungswerkzeuge, die zum Identifizieren und Analysieren von Potenzialen und zum Beurteilen der Prozessveränderung durch einen erweiterten Einsatz von CAX-Technologien beitragen. Die Methode ist folgendermaßen aufgebaut:

Bei der Vorbereitung erfolgt die Aufnahme des relevanten Prozesses der Produktentwicklung, der in Teilprozesse unterteilt wird. Außerdem werden die Produktdaten erhoben. Innerhalb der Prozessanalyse wird dann der Ist-Zustand analysiert und Schwachstellen werden identifiziert. Zudem kann eine Lokalisierung der Anforderungen für eine Integration von prozessunterstützenden Tools und die Erarbeitung von Maßnahmen zur Prozessoptimierung erfolgen.

Die Methode erfasst und identifiziert die vorhandenen CAX-Technologien und nimmt einen Abgleich gegenüber dem Einsatz neuer Applikationen vor. Die einzelnen Inhalte werden in Interviews und Fragebogenaktionen sowie in Form von Arbeits- und Abstimmungsworkshops mithilfe der neuen Werkzeuge erhoben. Zusätzlich zur Erhebung der Prozesse wird eine strukturierte Übersicht der eingesetzten CAX-Technologien erarbeitet. Der Ist-Zustand der Häufigkeit von CAX-Technologien wird bewertet und dient als Vergleichsgröße für weitere Schritte der Methode. Die Bewertung der erhobenen Daten und Ergebnisse erfolgt nach festgeschriebenen Zielen und speziellen Bewertungsfaktoren.

Die Erkenntnisse der Analyse werden bei der Gestaltung eines Soll-Prozesses umgesetzt. Durch Eliminierung der unzureichenden CAX-Technologien und durch Ergänzung bzw. Erneuerung um neue CAX-Technologien werden neue Einsatzmöglichkeiten ermittelt. Zudem werden Erkenntnisse aus einer Diskussion der Zusammenhänge und den Auswirkungen von Veränderungen zwischen Informationstechnologie und Prozess berücksichtigt.

Für die Neuausrichtung ist keine neue Modellierungskonvention entwickelt worden, sondern es werden Hinweise und Werkzeuge für eine informationstechnologische Systematisierung der Prozesse bereitgestellt. Auf Basis eines Soll-Ist-Vergleiches lässt sich abschätzen, welche Auswirkungen die Neuausrichtung mit sich bringt.

Nach Bereitstellung der Basisinformationen und der Ermittlung der Optimierungspotenziale kann die Systematisierung eines Soll-Teilprozesses durchgeführt werden. Die Systematisierung eines Teilprozesses erfolgt dabei in einer festgeschriebenen Reihenfolge. Abschließend wird eine Bewertung der sich ergebenden Veränderungen anhand der einheitlichen Bewertungsgrößen vorgenommen.

Die Eignung der Methode zur strategischen Ausrichtung und Bewertung und als Entscheidungsgrundlage für den CAX-Einsatz ergibt sich durch den systematischen und ganzheitlichen Ansatz. Die Anwendbarkeit konnte innerhalb der praktischen Anwendung aufgezeigt werden. Durch das strukturierte und systematische Vorgehen der Methode wurde die Gesamtheit gewahrt und die Komplexität von umfangreichen Prozesszusammenhängen konnte beherrscht werden. Somit können je nach Verwendung der Methode die Bewertungen und Planungen auf einer spezifischen Ebene mit unterschiedlichem Abstraktionsniveau erstellt werden. Die Allgemeingültigkeit und Flexibilität des Ansatzes konnte in der

praktischen Anwendung durch den Einsatz bei mittelständischen Unternehmen aufgezeigt werden. Durch die Methode konnte die Grundlage für eine Verbesserung der Planung und Abschätzung des Informationstechnologeeinsatzes erarbeitet werden. Die einzelnen verwendeten Werkzeuge und Hilfsmittel konnten zur Erhebung, Analyse, Veränderung und Bewertung von Teilprozessen beitragen und unterstützen damit die Systematisierung von Teilprozessen mit CAx-Technologien.

## **8.2 Ausblick**

Die Digitalisierung hat den Anspruch, Entwicklungs- und Planungszeiten drastisch zu reduzieren. Insbesondere der „time-to-market“-Aspekt bekommt durch die individuellen Kundenansprüche immer größere Bedeutung. Die Produktpalette wird stetig durch neue Modelle und Versionen erweitert und in immer kürzeren Zyklen auf den Markt gebracht.

Die Zeiten, in denen sich die Anpassung von Produkten und Fertigungsanlagen über viele Monate erstreckte, sind vorbei, die Anpassungszeiten sind wesentlich reduziert worden. Die Digitalisierung ist in den Unternehmen ein sehr großes Thema, da sie zu einem deutlichen Anstieg der Innovationsgeschwindigkeit führt. Jedoch ist die Nutzung von vorhandenen Möglichkeiten der Digitalisierung keine Patentlösung für alle Fälle.

In den Unternehmen prägen nachgelagerte Prozesse das Erscheinungsbild. Entwicklung, Erprobung, Fertigungsplanung und Materialeinkauf sind weit davon entfernt, parallel abzulaufen. Die Digitalisierung kann aber nur in Harmonie mit dem Prozess die geforderte Effizienz und Effektivität liefern. Die Herausforderung liegt darin, alle Teilprozesse ganzheitlich zu vernetzen.

Der Anteil am Reverse Engineering wird sich deutlich erhöhen, wenn die Vorteile der Zeitgewinnung sowie Kostenreduzierung berücksichtigt werden, die unter den heute herrschenden Marktbedingungen zu wesentlichen Wettbewerbsvorteilen geworden sind.

Die ständig wachsende Datenmenge und ihr Management sind für moderne Unternehmen zu einem wichtigen Themenbereich geworden. Erfolgreiche Unternehmen werden somit zukünftig einen großen Anteil ihres Budgets für die Integration der Daten aufwenden müssen. Es ist festzustellen, dass im Moment eine Grundlage für ein umfassendes und strukturiertes Datenmanagement fehlt. Ein verbessertes Datenmanagement wird zu einer Verkürzung der Entwicklungszeit beitragen und auch die entscheidende Basis für eine ganzheitliche Digitalisierung sein.

Nicht alle Gesichtspunkte konnten im Rahmen dieser Arbeit berücksichtigt werden. Damit existieren Anknüpfungspunkte für weitere Untersuchungen hinsichtlich der dargestellten Überlegungen. Für das weitere Vorgehen ist die Konzeption eines mitarbeiter- und systemverträglichen Migrationskonzepts notwendig. Dabei müssten gegebenenfalls jeweils Prozessmodelle für die Zwischenstufen mit einem niedrigeren Integrations- und Digitalisierungsgrad konzipiert werden.

Darüber hinaus müssen empirische Untersuchungen zum erwarteten wirtschaftlichen Nutzen der virtuell integrierten Produktentstehung erstellt werden. Ferner sind Untersuchungen zur Gewährleistung der Aussagefähigkeit einer Bewertungsgrundlage für digitale Prototypen erforderlich. Damit kann dann eine Absicherung der Produkte und Produktionsanlagen auf Basis von digitalen Prototypen erfolgen.

## 9 Literaturverzeichnis

- [Abr99] Abrahamson, Shaun; Wallace, David; Senin, Nicola; Borland, Nick: Integrated Engineering, Geometric and Customer Modelling: LCD Projector Design Case Study. In: Proceedings of DETC. 99 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences 12 – 16 September 1999, Las Vegas, Nevad.
- [Abe06] Abele, Thomas: Verfahren für das Technologie - Roadmapping zur Unterstützung des strategischen Technologiemanagements. Heimsheim: Jost-Jetter, 2006. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2006.
- [Ahe03] Ahern, D.; Clouse, A.; Turner, R.: CMMI Distilled: A Practical Introduction. 2. Aufl., Addison-Wesley, 2003.
- [Ahl94] Ahlers, Klaus; Breen, David; Crampton, Chris; Rose, Eric; Tuceryan, Mihran; Whitaker, Ross; Greer, Douglas: An Augmented Vision System for Industrial Applications. Technical report ECRC-94-39, 1994.
- [Azu97] Ronald T. Azuma: A Survey of Augmented Reality. In Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, 4 (August 1997), 355-385.
- [Aka97] Akao, Yoji: QFD: past, present and future. Linköping: International Symposium on QFD '97. Asahi University, 1997
- [Amf01] Amft, M.; Dyla, A.; Höhn, B.-R.; Lindemann, U.: Bidirektionale Integration von Berechnung und Gestaltung. Konstruktion (2001) 10, S. 77 – 81.
- [And00] Anderl, R.; Beuthel, R.; Goggol, A.; Awiszus, B.: Die Schmiedeprozesskette – Analyse ihrer Abbildungsmöglichkeiten in der ISO 10303. Produktdaten Journal (2000) 2, S. 33 – 37.
- [Aug98] Augustin, Ralf: Integrierte Planung der Anwendung von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT): eine Methode zur Priorisierung von IKT-Verbesserungen für produzierende Unternehmen. Aachen: Shaker 1998. Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 1998.
- [Awi00] Awiszus, Birgit: Integrierte Produkt und Prozessmodellierung umformtechnischer Planungsprozesse. Aachen: Shaker, 2000.
- [Bar96] Bardram, Jakob, E.: Organisational Prototyping: Adopting CSCW Applications in Organisations. In: Scandinavian Journal of Information Systems, 1996, p. 69 – 88.
- [Bau96] Baumöl, Ulrike; Reichmann, Thomas: Kennzahlengestütztes IV-Controlling. Controlling 4/1996, S. 204 – 211.
- [Bea04] Bea F. X.; Friedl, B.; Schweitzer, M.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Band. 1: Grundfragen, 9.Aufl., Stuttgart 2004.
- [Ber96] Bertram, M.: Das Unternehmensmodell als Basis der Wiederverwendung bei der Geschäftsprozessmodellierung. In: Gottfried Vossen, Jörg Becker Geschäftsprozessmodellierung und Workflow - Management: Modelle, Methoden, Werkzeuge. Bonn, Albany (u.a.): Internat. Thomson Publ., 1996, S. 81 – 100.
- [Ber04a] Berg, Tobias; et all: Leitfäden und Methoden. In: Gausemeier, Jürgen (Hrsg.): Planung der Produkte und Fertigungssysteme für die Märkte von morgen: ein praktischer Leitfaden für mittelständische Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus. (Abschlussbericht des Verbundprojekts Strategische Produkt- und Prozessplanung, BMBF - Rahmenprogramm „Forschung für die Produktion von morgen“). Frankfurt am Main: VDMA-Verl., 2004, S. 43 – 181.
- [Ber04b] Bertsche, B.; Lambeck, P.: Produktentwicklung mit einem integrierten Konstruktions-system. Ringvorlesung des SFB 374, Stuttgart, 3.2.2004
- [Ber07] Bertsche, Bernd (Hrsg.); Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.); Graf, Heiko (Mitarb.); Rogowski, Thorsten (Mitarb.); Warschat, Joachim (Mitarb.): Entwicklung und Erprobung innovativer Produkte - Rapid Prototyping: Grundlagen, Rahmenbedingungen und Realisierung Berlin [u.a.]: Springer, 2007.

- [Bic00] Bichlmaier, Christoph: Methoden zur flexiblen Gestaltung von integrierten Entwicklungsprozessen. Herbert Utz Verlag GmbH, München. Zugl. München, Technische Universität, Diss., 2000.
- [Bic01] Bichlmaier, C.; Grunwald, S.: Changeability through Flexible and Integrated Product Design and Assembly Planning. In: Proceedings of the 4th IEEE International Symposium on Assembly and Task Planning Soft Research Park, Fukuoka, Japan May 28 - 29, 2001, p. 318 – 323.
- [Bin05a] Binz, H.; Reichle, M.: Innovationsgradmessung - Eine neue Methode zur Bewertung von Produktinnovationen. Berliner Kreis Newsletter 01/2005-Nr.5
- [Bin05b] Binz, H.; Reichle, M.: Evaluation Method to Determine the Success Potential and the Degree of Innovation of Technical Product Ideas and Products. 15th International Conference on Engineering Design ICED '05, Melbourne, 2005
- [Bob01] Bobkowska, Anna: Quantitative and qualitative methods in process improvement and product quality assessment. In: Proceedings of the 12<sup>th</sup> European Software Control and Metrics Conference (ESCOM 2001), London, United Kingdom, April 2001, p. 347 – 356.
- [Bon02] Bongulielmi, Luca: Die Konfigurations- & Verträglichkeitsmatrix als Beitrag zur Darstellung konfigurationsrelevanter Aspekte im Produktenstehungsprozess. VDI-Verlag Düsseldorf. Zugl. Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule, Diss., 2002.
- [Bro96] Brogli, Martin. Unter Mitarbeit von Serge Biolley ...: Steigerung der Performance von Informatikprozessen: Führungsgrößen, Leistungsmessung und Effizienz im IT-Bereich. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1996.
- [Bro99] Brodbeck, Harald: Strategische Entscheidungen im Technologie-Management: Relevanz und Ausgestaltung in der unternehmerischen Praxis. Zürich, 1999.
- [Bru98] Brüning, H.-Ch.: Die Rolle des DMU im Produktentwicklungsprozess bei Audi. In: Berechnung und Simulation im Fahrzeugbau / Tagung, Würzburg, September 1998. VDI-Verlag GmbH, 1998, S. 437 – 457.
- [Bul92] Bullinger, Hans-Jörg; Frech, J.; Wasserloos, G.: Forschungs- und Entwicklungsmanagement in der deutschen Industrie. In Simultane Produktentwicklung, Hochschulgruppe Arbeits- und Betriebsorganisation HAB e.V., Forschungsbericht 4. München: gfm Verlag, 1992, S. 13 – 63.
- [Bul94] Bullinger, Hans-Jörg: Einführung in das Technologiemanagement: Modelle, Methoden, Praxisbeispiele. Stuttgart 1994.
- [Bul95] Bullinger, Hans-Jörg; Warschat, Joachim: Concurrent Simultaneous Engineering Systems. Berlin; Heidelberg; New York u. a.: Springer Verlag, 1995.
- [Bul97] Bullinger, Hans-Jörg; Warschat, Joachim: Forschungs- und Entwicklungsmanagement. Stuttgart: B.G. Teubner, 1997.
- [Bul99] Bullinger, H.-J.; Breining, R. and Bauer, W.: Virtual Prototyping – State of the Art in Product Design. 26th International Conference on Computers & Industrial Engineering, 1999.
- [Bul01a] Bullinger, Hans-Jörg: IAO-Forum – Enterprise Process Management – Konzepte, Methoden und Werkzeuge für die Gestaltung moderner Geschäftsprozesse. Fraunhofer IRB Verlag, 2001.
- [Bul01b] Bullinger, H.-J.; Cebulla, T.; Hauß, I.; Potinecke, T.: Kooperative, virtuelle Produktentwicklung. In: Werkstatttechnik, Vol. 91 (2001), Issue 2, p. 63 – 67.
- [Bul01c] Bullinger, Hans-Jörg; Schreiner, Peter (Hrsg.): Business Process Management Tools – Eine evaluierte Marktstudie über aktuelle Werkzeuge. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2001.

- [Bul01d] Bullinger, H.-J.; Warschat, J.; Baur, A.; Potinecke, T.: 3D-Produktmodellierung und „Digitale Fabrik“. In: VDI-Gesellschaft Entwicklung, Konstruktion, Vertrieb –EKV-: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung 2001. Effiziente 3D-Produktmodellierung – Fortschritte und Fallstricke. Proceedings Düsseldorf: VDI-Verlag, 2001 (VDI-Berichte 1614), S. 37 – 52.
- [Bul02] Bullinger, Hans-Jörg: Technologiemanagement: forschen und arbeiten in einer vernetzten Welt. Berlin, Heidelberg: Springer, 2002.
- [Bul03a] Bullinger, Hans-Jörg; Warnecke, Hans Jürgen; Westkämper, Engelbert: Neue Organisationsformen im Unternehmen – Ein Handbuch für das moderne Management. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2003.
- [Bul03b] Bullinger, Hans-Jörg; Kiss-Preußinger, Elke; Spath, Dieter (Hrsg.); Hab, Gerhard; Kurek, Rainer; Raschke, Dietmar; Richter, Michael; Wagner, Reinhard: Automobilentwicklung in Deutschland - wie sicher in die Zukunft?: Chancen, Potenziale und Handlungsempfehlungen für 30 Prozent mehr Effizienz. Stuttgart: Fraunhofer IRB-Verl., 2003
- [Bul04] Bullinger, Hans-Jörg [Hrsg.]: Trendbarometer Technik: visionäre Produkte, neue Werkstoffe, Fabriken der Zukunft. München ; Wien: Hanser, 2004.
- [Bul05] Bullinger, Hans-Jörg; Potinecke, Thomas; Rogowski, Thorsten; Tippmann, Volker: Virtual Engineering: Challenges and Solutions. In: Volume 5 – Emergent Application Domains, HCI International 2005, Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Conference on Human-Computer Interaction, Adjunct proceedings, Las Vegas, Nevada USA, 2005.
- [Bur00] Burst, Alexander: Rapid prototyping eingebetteter elektronischer Systeme auf Basis des CDIF-Datenaustauschformats. Karlsruhe: ITIV, Zugl. Karlsruhe, Universität, Diss., 2000.
- [Cal97] Callahan, John R.; Easterbrook, Steve M.: Verification and Validation in a Rapid Software Development Process. NASA no. 19990025807. Software Engineering Laboratory Series: Proceedings of the Twenty-Second Annual Software Engineering Workshop; United States; 1997.
- [Cha01] Chao, Lawrence P.; Beiter, Kurt A.; Ishii, Kosuke: Design process error-proofing: international industry survey and research roadmap. In: Proceedings of DETC. '01 ASME Design Engineering Technical Conferences September, 2001, Pittsburgh, PA.
- [CIM96] CIMOSA Association: CIMOSA – a primer on key concepts, purpose and business value, privat publication, 1995.
- [Cla93] Clausius, E. H. J.: Controlling in Forschung und Entwicklung: Forschungs- und Entwicklungs-Controlling als spezielle Controlling-Funktion in industriellen Unternehmen. Frankfurt am Main, Berlin, Bern, New York, Paris, Wien: Lang. 1993. Zugl. Berlin, Technische Universität, Diss., 1992.
- [Cob06] IT Governance Institute: CobiT Management Guidelines, [www.isaca.org/cobit.htm](http://www.isaca.org/cobit.htm) 2005. (Stand: 12.03.2006)
- [Cro06] Crow, Kenneth: computer-aided process planning; DRM Associates. <http://www.npd-solutions.com/capp.html>. (Stand 17.04.2006)
- [Dae99] Daenzer, W. F., Huber, F. (Hrsg.): Systems Engineering. Zürich: Verlag Industrielle Organisation, 1999.
- [Dal05] Dalakakis, S.; Diederich, M. K.; Roller, D.; Warschat, J.: Multiagentensystem zur Wissenskommunikation in der Produktentstehung – Rapid Product Development. In: Wirtschaftsinformatik 2005 – eEconomy, eGovernment, eSociety / Ferstl, O. K.; Sinz, E. J.; Eckert, S.; Isselhorst T. (Hrsg.). Heidelberg: Physica-Verlag, 2005, S. 1621 – 1640.
- [Dar05] Dartigues, C.; Ghodous, P.; Gruninger, Michael; Pallez, D.; Sriram, R.D.: CAD/CAPP Integration using Feature Ontology, Journal of CAD, 2005.
- [Dav93] Davenport, Thomas H.: Process Innovation – Reengineering Work through Information Technology. Boston: Harvard Business School Press, 1993.

- [Dav98] Davenport, T. H.; Prusak, L.: Wenn ihr Unternehmen wüsste, was es alles weiß...Das Praxisbuch zum Wissensmanagement. Landsberg / Lech: Verlag Moderne Industrie, 1998.
- [Del99] Dellen, Barbara; Maurer, Frank; Pews, Gerhard: Knowledge Based Techniques to Increase the Flexibility of Workflow Management. 1999. <http://kluedo.uib.uni-kl.de/volltexte/2000/190/> (Stand: 21.03.2008)
- [Dem08] Demonstrationszentrum Virtuelle Produkt- und Produktionsentstehung (DZ-ViPro); [www.dz-vipro.de](http://www.dz-vipro.de) (Stand: 21.03.2008).
- [Det99] Dette, W.; Schweickert, B.: Prozessqualität – mit einem Blick erfasst. Der Prozess-Vitalitäts-Index (PVI) als wirksames Instrument im prozessorientierten Unternehmen. In: Qualität und Zuverlässigkeit (QZ), 44 (1999) 1, S. 70 – 74.
- [Die84] Diebold-Kennzahlensystem (DKS): e. Instrument zur Analyse der Wirkungen des Einsatzes informationstechnologischer Mittel und Verfahren / Diebold Deutschland GmbH. Frankfurt am Main: Diebold Deutschland, 1984.
- [Die02] Dierßen, Stefan: Systemkopplung zur komponentenorientierten Simulation digitaler Produkte. Online Publikation. Zugl. Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule, Diss. 2002.
- [Die05] Dietzsch, Andreas: Prozessmodellkennzahlen zur Unterstützung des Prozessmanagements. In: Strahinger, Susanne (Hrsg.): Business Engineering. Heidelberg: dpunkt-Verl., 2005; S. 55 – 66.
- [DIN00] DIN, Deutsches Institut für Normung e.V.: Geschäftsprozessgestaltung – Typisierung und Modellierung. Berlin, Köln: Beuth Verlag, 2000; DIN-Fachbericht; Band 80.
- [DIN93] DIN, Deutsches Institut für Normung e. V.: Referatsammlung – CIM-Ergebnisse aus Forschung und Praxis: Resultate und Anwendernutzen aus dem KCIM-Projekt zur Entwicklungsbegleitenden Normung für die rechnerintegrierte Produktion. Stuttgart, Berlin, Köln: Beuth Verlag, 1993.
- [DIN98] DIN, Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) / Schlund, M., Hase, B., Kohlgrüber, M., Langhoff, T., Warschat, J.: Qualität der Arbeitswelt. Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag, 1998.
- [DIN199-1] DIN 199-1: Technische Produktdokumentation - CAD-Modelle, Zeichnungen und Stücklisten - Teil 1: Begriffe. Berlin: Beuth-Verlag, 2002-03.
- [DIN2330] DIN 2330: Begriffe und Benennungen. Berlin: Beuth Verlag, 1993-12.
- [DIN55350] DIN 55350-11 DIN: Begriffe zum Qualitätsmanagement - Teil 11: Ergänzung zu DIN EN ISO 9000:2005. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2008-05.
- [Dög86] Dögl, R.: Strategisches Qualitätsmanagement im Industriebetrieb: pragmat. Ansatz zur Erklärung u. method. Handhabung d. Qualitätsphänomens. Göttingen: Vandenhoeck und Rupprecht, 1986.
- [Dov96a] Dove, R.: Building Your Own Maturity Model for Agility. Automotive Production 108 (2), 1996. p. 16 – 17.
- [Dov96b] Dove, R.; Hartman, S. and Benson, S.: A Change Proficiency Maturity Model, An Agile Enterprise Reference Model with a Case Study of Remmele Engineering. Agility Forum, AR96-04, 12/1996.
- [DSM06] DSM: The Design Structure Matrix – DSM; Massachusetts Institute of Technology (MIT) & University of Illinois at Urbana-Champaign (UIUC). <http://www.dsmweb.org> (Stand: 21.03.2008.)
- [Düc05] Dücking, Carsten: Aufbau eines freigabe- und kommunikationsbasierten Assistenzsystems im Produktentstehungsprozess. Zugl. Dortmund, Univ., Diss., 2005
- [Dumk06] Dumke, R.; Braungarten, R.; Blazey, M.; Hegewald, H.; Reitz, D.; Richter, K.: Software Process Measurement and Control – A Measurement-Based Point of View of Software Processes. Preprint No 11, University of Magdeburg, 2006

- [Dyl00] Dyla, Andreas; Höhn, B.-R.; Steingröver, K.: Integrierte Entwicklung von Getrieben: Praxisanwendung und Vision. In: Produkte entwickeln im realen Umfeld: was bringen neue Werkzeuge wie 3D-CAD/CAM, EDM/PDM und Virtualisierung? Tagung München, 9.-10.11.2000, VDI-Gesellschaft Entwicklung, Konstruktion, Vertrieb. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2000.
- [Dyl02] Dyla, Andreas: Modell einer durchgängig rechnerbasierten Produktentwicklung. Online Publikation. Zugl. München, Technische Universität, Diss., 2002.
- [Ehr07] Ehrlenspiel, Klaus: Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe Methodeneinsatz Zusammenarbeit. 3., Aufl., München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2007.
- [Eig82] Eigner, M.; Maier, H.: Einführung und Verwendung von CAD-Systemen-Leitfaden für die Praxis. München: Carl Hanser Verlag, 1982.
- [Elg96] Elgass, P.: Teambasierte Geschäftsprozessplanung – Konzeption und prototypische Umsetzung eines computergestützten Planungsmodells. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1996.
- [Erb96] Erb, M.: Methode zur modellgestützten Planung von CAQ Investitionen. Aachen: Shaker Verlag, 1996.
- [Eve89] Eversheim, W.; Dahl, B.; Spenrath, K.: CAD/CAM Einführung-Leitfaden mit den Arbeitsmitteln für den Maschinenbau. Köln: Verlag TÜV Rheinland, 1989.
- [Eve01] Eversheim, Walter (Hrsg): SFB 361 – Modelle und Methoden zur integrierten Produkt- und Prozessgestaltung. Arbeits- und Ergebnisbericht 1999/2000/2001. Aachen: Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Eigenverlag, 2001.
- [Fil97] Fillip, Stefan: Marktorientierte Konzeption der Produktqualität. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl. (u.a.), 1997. Zugl. Kaiserslautern, Universität, Diss., 1997.
- [Fis00] Fischer, Thomas: Skript zur Vorlesung Funktion des Managements, WS 2000/2001. Denkendorf, Umdruck des Instituts für Textil- und Verfahrenstechnik, 2001.
- [Fos97] Foss, B. A.; B. Lohmann; W. Marquardt, „A Field Study of the Industrial Modeling Process“, Preprints IFAC ADICHEM '97, 1997, p. 570 – 585.
- [Fra01] Franzke, Stefan: Technologieorientierte Kompetenzanalyse produzierender Unternehmen. Hannover, Universität, Fachbereich Maschinenbau, 2001. Zugl. Hannover, Universität, Diss., 2001.
- [Fre04] Freund, Gerd: Entwicklung eines methodischen Vorgehens zur Einführung von Digital-mock-up-Techniken in den Produktentwicklungsprozess der Automobilindustrie. Freiberg (Sachsen), Technische Universität, Diss., 2004.
- [Fri00] Fridag, Herwig; Schmid, Walter: Balanced scorecard – mehr als ein Kennzahlensystem. Freiburg i. Br., Berlin, München: Haufe Verlag Gruppe, 2000.
- [Gad08] Gadatsch, Andreas: Management von Geschäftsprozessen – Methoden und Werkzeuge für die IT-Praxis: Eine Einführung für Studenten und Praktiker. Braunschweig / Wiesbaden: 5., erw. u. überarb. Aufl., Vieweg Verlag, 2008.
- [Gai94] Gaitanidis, Michael: Prozessmanagement. Konzepte, Umsetzungen und Erfahrungen des Reengineering. München: Hanser, 1994.
- [Gup95] Gupta, Satyandra K.; Nau, Dana S.: Systematic approach to analysing the manufacturability of machined parts. Computer-Aided Design 27(5), 1995, p. 323 – 342.
- [Gau01a] Gaul, Hans-Dieter: Verteilte Produktentwicklung – Perspektiven und Modell zur Optimierung. München, Technische Universität, Diss., 2001.
- [Gau01b] Gausemeier, Jürgen; Ebbesmeyer, Peter; Kallmeyer, Ferdinand: Produktinnovation – strategische Planung und Entwicklung der Produkte von morgen. München, Wien: Hanser Verlag, 2001.
- [Gen95] Genderka, M: Objektorientierte Methode zur Entwicklung von Produktmodellen als Basis Integrierter Ingenieurssysteme. Aachen: Shaker Verlag, 1995. Zugl. Paderborn, Universität, Diss., 1994.

- [Ger01] Gerbroth, Thomas: Statistische Prozessregelung bei administrativen Prozessen im Rahmen eines ganzheitlichen Prozesscontrollings. Zugl. Berlin, Technische Universität Fakultät V – Verkehrs und Maschinensysteme, Diss., 2001.
- [Gie01] Gierhard, Heiko: Globale verteilte Produktentwicklungsprojekte: Ein Vorgehensmodell auf der operativen Ebene. München: Verlag Dr. Hut, 2002. Zugl. München, Technische Universität, Diss., 2001.
- [Goe96] Goebel, Dietmar: Modellbasierte Optimierung von Produktentwicklungsprozessen. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1996. Zugl. Hannover, Universität, Diss., 1996.
- [Gör92] Görgel, Ulrich Bodo: Strategiespezifische Gestaltung des Computer Integrated Manufacturing. Zugl. Münster (Westfalen), Universität, Diss., 1991.
- [Gös01] Gössing, Hans-Peter: Virtuelle Auslegung der Karosseriestruktur für Betriebsbeanspruchungen – Entwicklung eines durchgängigen Auslegungsprozesses unter Berücksichtigung von Prozesseinflüssen aus der Fertigung. Zugl. München, Technische Universität, Diss., 2001.
- [Gor03] Gorschek, Tony; Svahnberg, Mikael; Tejle, Kaarina: Introduction and Application of a Lightweight Requirements Engineering Process Evaluation Method. In: PRE-PROCEEDINGS of the 9<sup>th</sup> International Workshop on REQUIREMENTS ENGINEERING – FOUNDATION FOR SOFTWARE QUALITY, Klagenfurt/Velden, Austria, June 2003, p. 83 – 92.
- [Gra93] Grabowski, H.; Anderl, R.; Polly, A.; (Hrsg.: H. J. Warnecke, Schuster, R.): Integriertes Produktmodell. Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag, 1993.
- [Gra02] Grabowski, Hans; Leutsch, Marc: Die Entwicklung des integrierten Produkt und Produktionsmodells (PPM) des Sfb 346 hinsichtlich der Reduzierung der Modellkomplexität. In: Grabowski, Hans: Rechnerunterstützte Produktentwicklung und –herstellung auf der Basis eines integrierten Produkt- und Produktionsmodells: ausgewählte Beiträge des Sonderforschungsbereichs 346 der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). Aachen: Shaker 2002, S. 66 – 82.
- [Gro02] Grosse, Arnd G.; et all: SFB – 346 – Integrationstechnologie als Innovationsmotor für Maschinenanwendungen. In: Grabowski, Hans: Rechnerunterstützte Produktentwicklung und –herstellung auf der Basis eines integrierten Produkt- und Produktionsmodells: ausgewählte Beiträge des Sonderforschungsbereichs 346 der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). Aachen: Shaker, 2002, S. 33 – 42.
- [Gro07] Grote, Karl-Heinrich (Hrsg.); Feldhusen, Jörg (Hrsg.): Dubbel: Taschenbuch für den Maschinenbau. Berlin ; Heidelberg ; New York: Springer, 2007.
- [Grö92] Gröger, M.: CIM und strategisches Management. Wiesbaden, 1992.
- [Hab02] Haberfellner, R.; Nagel, P.; Becker, M.; Büchel, A.; Massow, H. V.: Systems Engineering. Methodik und Praxis. Zürich: Verlag Industrielle Organisation, 2002.
- [Hai91] Haist, Fritz; Fromm Hansjörg: Qualität im Unternehmen: Prinzipien – Methoden – Techniken. München, Wien: Hanser Verlag, 1991.
- [Ham03] Hammer, Michael; Champy, James: Business reengineering: die Radikalkur für das Unternehmen. 7. Aufl., Frankfurt Main; New York: Campus-Verlag, 2003.
- [Har91] Harrington, H. J.: Business process improvement: the breakthrough strategy for total quality, productivity and competitiveness. New York et. Al., 1991
- [Har01] Harry, Mikel; Schroeder, Richard: Prozesse optimieren, Null-Fehler-Qualität schaffen, Rendite radikal steigern; (das Erfolgsgeheimnis von Jack Welch). Frankfurt, Main (u.a.): Campus-Verlag, 2001.
- [Hef01] Heftrich, Frank: Moderne F&E – Zusammenarbeiten in der Automobilindustrie – Organisation und Instrumente. Zugl. Siegen, Universität, Diss. 2001.
- [Her98] Herrmann, Thomas; Walter, Thomas: Prototypischer Fahrplan zur Beteiligung von Mitarbeitern an der Geschäftsprozessoptimierung mit Workflow Management. In: Herrmann T.; Scheer A.-W.; Weber H. (Hrsg.): Verbesserung von Geschäftsprozessen mit flexiblen Workflow-Management-Systemen 1; Heidelberg: Physica-Verlag 1998, S. 73 – 108.

- [Hes96a] Hess, Thomas: Entwurf betrieblicher Prozesse: Grundlagen – Methoden – neue Ansätze. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1996. Zugl. St. Gallen, Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwiss., Diss., 1996.
- [Hes96b] Hess, Thomas; Brecht, Leo: State of the art des Business process redesigne: Darstellung und Vergleich bestehender Methoden. Wiesbaden: Gabler, 1996.
- [Hof03] Hofmann, Ralf: Aufbau, Transfer und Nutzung von Wissen und dessen Anwendung im Bereich der IT-Unternehmensberatungen. Duisburg, Essen, Universität, Diss., 2003.
- [Hof98] Hoffmann, Marcel; Goesmann, Thomas; Hermann, Thomas: Erhebung von Geschäftsprozessen bei der Einführung von Workflow Management. In: Herrmann T.; Scheer A.-W.; Weber H. (Hsg.): Verbesserung von Geschäftsprozessen mit flexiblen Workflow-Management-Systemen 1. Heidelberg: Physica-Verlag 1998, S. 15 – 69.
- [Höö00] Höök, Kristina: Steps to take before intelligent user interfaces become real. In: Interacting with Computers Volume 12, Number 4, February 2000, S. 409 – 426.
- [Hop92] Hoppen, Dirk: Organisation und Informationstechnologie: Grundlagen für ein Konzept zur Organisationssystemgestaltung. Hamburg: Verlag Dr. Kovac, 1992. Zugl. Hamburg, Universität, Diss., 1990.
- [Hor08] Horvath, Péter: Controlling. 11. Aufl.; München: München: Vahlen, Franz, 2008.
- [Hun06] Hungenberg, H.: Strategisches Management in Unternehmen: Ziele – Prozesse – Verfahren. 4., überarb. u. erw. Aufl., Wiesbaden: Gabler, 2006.
- [ICA78] Integrated Computer Aided Manufacturing (ICAM) Task 1 – Final Report Manufacturing Architecture, AMFL-TR-78-148. Wright-Patterson Air Force Base Ohio, USA, 1978.
- [ICA81] Integrated Computer Aided Manufacturing (ICAM) Architecture Part II; Composite Function Model of Manufacturing Product (MFGO). Wright-Patterson Air Force Base Ohio, USA, 1981.
- [Ima94] Imai, Masaaki: Kaizen: Der Schlüssel zum Erfolg der Japaner im Wettbewerb. Ungekürzte Ausg., (auf der Grundlage der 7. Aufl.), 6. Aufl. München: Langenmüller, 1994.
- [IRP01] Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion (RPK) – Universität Karlsruhe: Vom Markt zum Produkt. 2001. <http://imihome.imi.uni-karlsruhe.de/map.html> (Stand: 21.03.2008)
- [ISO9000] DIN EN ISO 9000:2005: Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.): DIN EN ISO 9000:2005: Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe (ISO 9000:2005). Berlin: Beuth, 2005-12.
- [ISO9004] DIN EN ISO 9004:2000: Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.): DIN EN ISO 9000:2000, Qualitätsmanagementsysteme – Leitfaden zur Leistungsverbesserung. Berlin: Beuth, 2000.
- [ISO9126] DIN ISO 9126:1991: Informationstechnik – Beurteilen von Software-Produkten, Qualitätsmerkmale und Leitfaden zu deren Verwendung. Berlin: Beuth, 1991.
- [Jab97] Jablonski, Stefan; Böhm, Markus; Schulze, Wolfgang: Workflow-Management: Entwicklung von Anwendungen und Systemen; Facetten einer neuen Technologie. Heidelberg: dunkt-Verlag, 1997.
- [Jnd00] Jndeleit, M.; Zirkel, M.; Strohmeier, K. Vajna, S.: Optimierung der Apparatekonstruktion durch integrierte Rechnerunterstützung. In: Produkte entwickeln im realen Umfeld: Was bringen neue Werkzeuge wie 3D-CAD/CAM, EDM/PDM und Virtualisierung? Düsseldorf: VDI Verlag, 2000. Tagung München, November 2000, S. 99 – 115.
- [Joh00] P. Johannesson; B. Wangler and P. Jayaweera. Application and process integration - concepts, issues, and research directions. In S. Brinkkemper, E. Lindencrona, and A. Slvberg, editors, Information Systems Engineering Symposium CAISE 2000, Chicago, Springer Verlag 2000.

- [Jus98] Just-Hahn, K.; Hagemeyer, J.; Striemer, R.: Verbesserung von Geschäftsprozessen mit flexiblen Workflow-Management-Systemen: Ein Überblick über das MOVE-Projekt. In: Herrmann, Thomas; Scheer, August-Wilhelm; Weber, Herbert: Verbesserung von Geschäftsprozessen mit flexiblen Workflow-Management-Systemen Bd.1, Von der Erhebung zum Sollkonzept. Heidelberg: Physica-Verlag, 1998, S. 1 – 11.
- [Kar96] Kargl, Herbert: Controlling im DV-Bereich. München, Wien: Oldenbourg 1996, S. 151 – 157.
- [Ker92] Kern, Werner: Industrielle Produktionswirtschaft. 5., durchges. und aktualisierte Aufl. Stuttgart: Poeschel, 1992.
- [Klö00] Klöcker, S.; Müller, D. H.: Nutzung von CAID-Systemen (Computer Aided Industrial Design) im industriellen Produktentwicklungsprozess. In: Produkte entwickeln im realen Umfeld: Was bringen neue Werkzeuge wie 3D-CAD/CAM, EDM/PDM und Virtualisierung?; Düsseldorf: VDI Verlag, 2000. Tagung München, November 2000, S. 221 – 233.
- [Kme99] Kmenta, Steven; Fitch, Peder; Ishii, Kosuke: Advanced failure modes and effects analysis of complex processes. In: Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences September 12 – 15, 1999, Las Vegas, Nevada
- [Kol98] Koller, Rudolf: Konstruktionslehre für den Maschinenbau: Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen; mit 16 Tabellen. Berlin ; Heidelberg, New York, Barcelona, Budapest, Hongkong, London, Mailand, Paris, Singapur, Tokio: Springer, 1998.
- [Kos76] Kosiol, Erich: Organisation der Unternehmung. 2., durchges. Auflage, Wiesbaden: Gabler, 1976.
- [Kot99] Kotler, Philip; Bliemel, Friedhelm: Marketing-Management: Analyse, Planung, Umsetzung und Steuerung. 9., überarb. und aktualisierte Aufl., Stuttgart: Schäfer-Poeschel, 1999.
- [Kra94] Krause, F.-L.; et all: Featureverarbeitung – Kernkomponente integrierter CAE-Systeme. In: Gausemeier, Jürgen (Hrsg.): Produktdatenmodellierung und Prozessmodellierung als Grundlage neuer CAD-Systeme: Fachtagung der Gesellschaft für Informatik e.V., Paderborn, 17./18.3.1994 / CAD ,94. Heinz-Nixdorf-Institut, Universität-GH Paderborn. München, Wien: Hanser, 1994, S. 421 – 438.
- [Kra02] Krause, Tang, Ahle (Hrsg.):Integrierte Virtuelle Produktentstehung – Abschlussbericht. 2002.
- [Kre95] Krenzel, Beate (geb. Schrod): Integration der Computersimulation in die Planung und Gestaltung der Arbeitsorganisation im Rahmen der Fabrikplanung. Zugl. Halle, Universität, Diss., 1995.
- [Kre98] Kress, Holger: Virtual Engineering Teams in der Verteilten Produktentwicklung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1999. Zugl. Darmstadt, Technische Universität, Diss., 1998.
- [Kri95] Krickl, Otto, Ch.: Business Redesign: Neugestaltung von Organisationsstrukturen unter besonderer Berücksichtigung der Gestaltungspotenziale von Workflowmanagementsystemen. Wiesbaden: FBO-Verlag, 1995.
- [Küt03] Kütz, Martin (Hrsg.): Kennzahlen in der IT: Werkzeuge für Controlling und Management. Heidelberg: dpunkt-Verlag, 2003.
- [Lan97] Lang, Klaus: Gestaltung von Geschäftsprozessen mit Referenzprozessbausteinen / Wiesbaden: Dt. Uni.-Verl.; Wiesbaden: Gabler, 1997. Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 1996.
- [Lee85] Lee, W. S.; Grosh, D. L.; Tillmann, F. A.; Lie, C. H.: Fault tree analysis, methods, and applications – A review. In: IEEE Transactions on Reliability. Vol. R-34, Aug. 1985, pp. 194 – 203.
- [Lee05] Leemhuis, Helen: Funktionsgetriebene Konstruktion als Grundlage verbesserter Produktentwicklung. (Elektronische Ressource). Berlin, Technische Universität, Diss., 2004. [http://edocs.tu-berlin.de/diss/2004/leemhuis\\_helen.pdf](http://edocs.tu-berlin.de/diss/2004/leemhuis_helen.pdf) (Stand: 21.03.2008)

- [Leh00] Lehmann, C. M.: Potentiale vollständiger dreidimensionaler virtueller Produktmodelle. In: Produkte entwickeln im realen Umfeld: Was bringen neue Werkzeuge wie 3D-CAD/CAM, EDM/PDM und Virtualisierung? Düsseldorf: VDI Verlag, 2000. Tagung München, 9./10. November 2000, S. 341 – 351.
- [Leo01] Leonhardt, U.: Digitales Produkt: Beispiel einer Integrationsplattform für Technik- und Verkaufsprozesse mittels Informations- und Visualisierungstechnologien. Zugl.: Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule, Diss., 2001.
- [Lin97] Lindemann, U., Kleedörfer, R.: Erfolgreiche Produkte durch Integrierte Produktentwicklung. In: Reinhart, G.: Milberg, J.: Mit Schwung zum Aufschwung: (Information – Inspiration – Innovation) / Münchener Kolloquium '97, München, Februar 1997. Iwb, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, München, Technische Universität. Landsberg/Lech: mi, Verlag Moderne Industrie, S. 115 – 136.
- [Lin00] Linthicum D.: Enterprise Application Integration. Addison-Wesley, 2000.
- [Lin01] Lindemann, U.; Stetter, R.; Viertböck, M.: A pragmatic approach for supporting integrated product development. Transactions of the SDPS, Vol. 5, No. 2, June 2001, pp. 39-51.
- [Lip85] Lippold, Heiko: Kennzahlensysteme zur Steuerung und Analyse des EDV Einsatzes. HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik 121/1985, S. 109 – 121.
- [Lud95] Ludwig, Björn: Methoden zur Modellbildung in der Technikbewertung. Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger 1995. Zugl.: Clausthal, Techn. Univ., Diss., 1995
- [Män97] Mäntylä, M.; Ranta, M.; Kress, H. 1997. Virtual Engineering. In: Rossignac, J. (editor). Proceedings of TeamCAD: GVU/NIST Workshop on Collaborative Design, Georgia Institute of Technology, Atlanta, May 1997.
- [Mag04] Magnusson, Kjell; Kroslid, Dag ; Bergman, Bo: Six Sigma umsetzen. Die neue Qualitätsstrategie für Unternehmen. 2., vollst. überarb. und erw. Aufl., München, Wien: Hanser, 2004.
- [Mar95] Maropoulos, P.G., "Aggregate process modelling techniques for process planning applications", 11<sup>th</sup> International Conference on Computer-Aided Production Engineering, I. Mech. E Conference Transactions, September 1995, London, 179-184.
- [Mar03] Maropoulos, P.G.: Digital Enterprise Technology – Defining Perspectives and Research Priorities. In: International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Volume 16, Numbers 7-8 / October-December 2003, p. 467 – 478.
- [Mav97] Mavris, D.N.; Baker, A.P.; Schrage, D.P.: IPPD Through Robust Design Simulation for an Affordable Short Haul Civil Tiltrotor. Presented at the 53<sup>rd</sup> Annual Forum of the American Helicopter Society, Virginia Beach, VA, April – May 1997.
- [Mav99] Mavris, D.N.; Kirby, M.R.: "Technology Identification, Evaluation, and Selection for Commercial Transport Aircraft." Presented at the 58<sup>th</sup> Annual Conference Of Society of Allied Weight Engineers, San Jose, California, May 1999.
- [McL93] McLean, Charles: Computer-Aided Manufacturing System Engineering. In: Proceedings of the IFIP TC5/WG5.7 International Conference on Advances in Production Management Systems, APMS '93, September, 1993.
- [McK03] McKibben, James; Pacatte, Leeann W.: Business Process Analysis/Modeling for Defining GIS Applications and Uses. In: Proceedings of the Twenty-Third Annual ESRI User Conference, 2003.
- [Mil94] MILLER, L. C. G.: Business Process Reengineering: A Management Handbook. Seattle, WA (USA): Eigenverlag 1994.
- [Mül92] Müller, G.: Entwicklung einer Systematik zur Analyse und Optimierung des EDV-Einsatzes im planenden Bereich. Aachen: Shaker Verlag, 1992.
- [Mue90] Mueller, W.: Data Flow for High-Level Design and Specification. ESPRIT Project 2072 – ECIP2 European CAD Integration Project, D.2.1.Cadlab.24, December, 1990.
- [Nip95] Nippa, M.; Picot, A. (Hrsg.): Prozeßmanagement und Reengineering – die Praxis im deutschsprachigen Raum. Frankfurt/Main, New York, 1995.

- [Noh99] Nohe, Patrik: Methode zur ergebnisorientierten Gestaltung von Entwicklungsprozessen. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag 1999. Zugl. Stuttgart, Universität, Diss., 1999.
- [Nov03] Novacek, T.; Sieber, J.; Steinhardt, E.; Welling, M.: Innovation Process As A Key To The Market Success In The Engine Manufacturing Business. AACHEN, Germany, TRIZ FUTURE 2003, NOVEMBER 2003.
- [OGC06] OGC - Office of Government Commerce: Portfolio, Programme & Project Management Maturity Model (P3M3), Version 1.0, Februar 2006
- [Oes95] Oesterle, Hubert: Business engineering: Prozess- und Systementwicklung; Bd. 1. Entwurfstechniken. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Budapest, Hong Kong, London, Mailand, Paris, Tokyo: Springer, 1995.
- [Oes03] Oesterle, Hubert: Business Engineering: auf dem Weg zum Unternehmen des Informationszeitalters. Berlin, Heidelberg: Springer, 2003.
- [Ost99] Osterloh, Margit; Wübker, Sigrid: Wettbewerbsfähiger durch Prozeß- und Wissensmanagement – Chancengleichheit auf Erfolgskurs. Wiesbaden: Gabler, 1999.
- [Ost03] Osterloh, M.; Frost, J.: Prozessmanagement als Kernkompetenz: Wie Sie Business Reengineering strategisch nutzen können. 4. Aufl., Wiesbaden, Gabler, 2003.
- [Pah97] Pahl, G.; Flemming, M.: Grundlagen der Konstruktionstechnik. In: Beitz, Wolfgang; Grote; Karl-Heinrich (Hrsg.): Dubbel / Taschenbuch für den Maschinenbau. Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Budapest, Hongkong, London, Mailand, Paris, Santa Clara, Singapur, Tokio: Springer, 1997, S. F1 – F 35.
- [Pah07] Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang; et al: Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung; Methoden und Anwendung. 7. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2007.
- [Pat82] Patzak, G.: Systemtechnik – Planung komplexer innovativer Systeme: Grundlagen, Methoden, Techniken. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1982.
- [Pau93a] Paulk, M. C.; Curtis, B.; Chrissis, M. B.; Weber, V. B.: Capability Maturity Model for Software, Version 1.1. Pittsburg: Carnegy Mellon University, 1993.
- [Pau93b] Paulk, M. C.; Weber, V. B.; Garcia, S. M.; Chrissis, M. B.; Bush, M.: Key Practices of the Capability Maturity Model, Version 1.1. Pittsburg: Carnegy Mellon University, 1993.
- [Pfe01] Pfeiffer, Tilo: Qualitätsmanagement: Strategien, Methoden, Techniken; mit 3 Tabellen. 3., völlig überarb. und erw. Aufl., München, Wien, Hanser; 2001.
- [Pil98] Frank Piller: Das Produktivitätsparadoxon der Informationstechnologie, Die Betriebswirtschaft (DBW), 55 (1998) 1, DBW-Depot: 121.
- [Por00] Porter, Michael E.: Wettbewerbsvorteile: Spitzenleistungen erreichen und behaupten – Competitive advantage. 6. Aufl., Frankfurt: Campus-Verlag, 2000.
- [Por02] Porro, Simon: CMMI SE/SW/IPPD/A Staged, Continuous, Constageduous Introduction, Kasse Initiatives, LLC. SPIDER Meeting, February 02, 2002.
- [Pot99] Potinecke, Harald: Produkthaftung bei Just-in-time-Systemen Tübingen: MVK, Medien-Verlag Köhler, 1999. Zugl. Tübingen, Universität, Diss., 1999.
- [Pot03] Potinecke, Thomas; Edelmann, Christina; Slama, Alexander: Digitale Produktentstehung: eine Studie über den Einsatz digitaler Systeme und deren Auswirkung. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb: ZWF 98 2003, 6, S. 274 – 275.
- [Pot05] Potinecke, Thomas; Slama, Alexander: Virtual Engineering optimal nutzen; In: Industrie Management – Digital Engineering. GITO-Verlag 2/2005; S. 55 – 58.
- [Pul04] Pulm, Udo: Eine systemtheoretische Betrachtung der Produktentwicklung. München: Verl. Dr. Hut, 2004. Zugl. München, Universität, Diss., 2004.
- [Rat95] Rathgeb, Michael: Verfahren zur Gestaltung rechnergestützter Büroprozesse. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1996. Zugl. Stuttgart, Universität, Diss., 1995.
- [REF85] REFA, Verband für Arbeitsstudien u. Betriebsorganisationen e. V.: Methoden der Planung und Steuerung. München: Hanser, 1985.

- [Rei96] Reichwald, Ralf; Höfer, Claudia; Weichselbaumer, Jürgen: Erfolg von Reorganisationsprozessen: Leitfaden zur strategischen Bewertung. Stuttgart: Schäfer-Poeschel, 1996.
- [Rei00] Reinhart, G. et al.: Sonderforschungsbereich 336 – Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung, München, 2000.
- [Rei06] Reichle, M.: Bewertungsverfahren zur Bestimmung des Erfolgspotenzials und des Innovationsgrades. Dissertation, IKTD 2006. Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2006.
- [Rog96] Rogers, J.L., "Integrating a Genetic Algorithm Into a Knowledge-Based System for Ordering Complex Design Processes", NASA TM 110247, April 1996.
- [Ros96] Roos, A.: Verfahren und Werkzeuge zur Modellierung von Geschäftsprozessen. In: Bullinger, Hans-Jörg; Warnecke, Hans Jürgen (Hrsg.): Neue Organisationsformen im Unternehmen: Ein Handbuch für das moderne Management. Berlin et al.: Springer, 1996, S. 667 – 679.
- [Rüe00] Rüegg-Stürm, J.: Was ist eine Unternehmung? Ein Unternehmensmodell zur Einführung in die Grundkategorien einer modernen Managementlehre, Diskussionsbeiträge des Instituts für Betriebswirtschaftslehre Nr. 36. St. Gallen, Universität St. Gallen, 2000.
- [Rup02] Rupprecht, Christian: Ein Konzept zur projektspezifischen Individualisierung von Prozessmodellen. Diss. Karlsruhe, Universität, 2002.
- [San93] Sanchez, S.M., et al., "Quality by Design", Chapter 10, Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques, John Wiley & Sons, Inc. 1993.
- [Sar93] Saretz, B.: Entwicklung einer Methodik zur Parallelisierung von Planungsabläufen: ein Beitrag zur Reduzierung von Produktentwicklungszeiten in der Serienproduktion. Aachen: Shaker, 1993.
- [Saw04] Sawaya, N. & Trapanese, P.: Measuring Project Management Maturity. Security Distributing & Marketing 34 (1), 2004. pp. 44 – 46.
- [Sch01] Schabacker, Michael: Bewertung der Nutzen neuer Technologie in der Produktentwicklung. Magdeburg: Otto-von-Guericke-Univ., Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik 2001. Zugl. Diss. Magdeburg, Universität, 2001.
- [Sch90] Schäfer, H.: CAD-CAM-Planung langfristiger Gesamtkonzeptionen. Düsseldorf: VDI Verlag, 1990.
- [Sch90a] Scheer, August-Wilhelm: Computer integrated manufacturing: CIM = Der computer-gesteuerte Industriebetrieb. Berlin etc.: Springer, 1990.
- [Sch90b] Scholz-Reiter, Bernd: CIM-Informations- und Kommunikationssysteme: Darstellung von Methoden und Konzeption eines rechnergestützten Werkzeugs für die Planung. München, Wien: Oldenbourg, 1990.
- [Sch92] Schuler, J.: Konzept für ein rechnerunterstütztes Simulationsmodell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Lösungsalternativen bei der Planung einer integrierten technischen Informationsverarbeitung. Fortschritt-Berichte, VDI Reihe 20 Nr. 58, Düsseldorf: VDI Verlag, 1992.
- [Sch96] Scheer, August-Wilhelm; Jost, Wolfram: Geschäftsprozessmodellierung innerhalb einer Unternehmensarchitektur. In Vossen, Gottfried (Hrsg.); Becker, Jörg: Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management. Bonn, Albany: Internat. Thompson Publ., 1996, S. 27 – 45.
- [Sch96a] Schmid, Günther; Tautenhahn, Frank: Qualitätsmanagement – Eine projektorientierte Einführung. Braunschweig/Wiesbaden: Friedrich Vieweg & Sohn Verlag, 1996.
- [Sch96b] Schulz, W.; Böhm, M.: Klassifikation von Vorgangsverwaltungssystemen. In: Vossen G.; Becker, J.: Geschäftsprozessmodellierung und Workflow Management, Modelle Methoden, Werkzeuge, Bonn (1996), S. 279 – 293.
- [Sch96c] Schweitzer, M.: Produktionswirtschaftliche Forschung. In: Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Hrsg. Von Werner Kern, Hans-Horst Schröder und Jürgen Weber: Stuttgart, 1996, S. 1642 – 1656.

- [Sch81] Schweizerische Vereinigung für Datenverarbeitung (Hrsg.): Walter, J.; Bruhin ...: EDV-Kennzahlen: praxisbezogenes Instrumentarium zur Beurteilung d. EDV-Wirtschaftlichkeit. Bern / Stuttgart 1981.
- [Sch97a] Scheer, August-Wilhelm: Wirtschaftsinformatik: Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse. Berlin et al.: Springer, 1997.
- [Sch97b] Schönheit, Martin: Wirtschaftliche Prozessgestaltung: Entwicklung, Fertigung, Auftragsabwicklung. Berlin, Heidelberg: Springer, 1997.
- [Sch98a] Scheer, August-Wilhelm: ARIS – vom Geschäftsprozeß zum Anwendungssystem. Berlin et al.: Springer, 1998.
- [Sch98b] Schmelzer, H. J.; Sesselmann, W.: Assessment von Geschäftsprozessen in Qualität und Zuverlässigkeit (QZ), 43 (1998) 1, S. 39 – 42.
- [Sch98c] Schüttle, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung. Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Wiesbaden, 1998.
- [Schr99] Schrage, D. P.: Technology for Rotorcraft Affordability Through Integrated Product/Process Development (IPPD) – 1999 Alexander A. Nikolsky Lecture. In: Proceedings of the 55<sup>th</sup> National Forum of the American Helicopter Society, Montreal, Quebec, Canada, May 25 – 27 1999.
- [Sch02a] Schichtel, Markus: Produktdatenmodellierung in der Praxis. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2002.
- [Sch02b] Schmidt, J.; Ebner, R.; Agostini, A.: Optimierung der Arbeits- und Technologieplanung durch Berücksichtigung von Interaktionen. SFB 346: Rechnerintegrierte Konstruktion und Fertigung von Bauteilen Arbeits- und Ergebnisbericht 2000-2002, RPK, Karlsruhe, 2002.
- [Sch03a] Scheffczik, Walter: Technikbewertung und Technikfolgenabschätzung: ein Beitrag zur Entwicklung des Technikunterrichts an allgemeinbildenden Schulen. Oldenbourg, Universität, Diss., 2003.
- [Sch03c] Schnabel, Ulrich; Dold, Claudia: Unterstützung moderner Organisationsformen durch Multimedia. In: Bullinger, Hans-Jörg; Warnecke, Hans Jürgen; Westkämper, Engelbert: Neue Organisationsformen im Unternehmen – Ein Handbuch für das moderne Management. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 2003; S. 705 – 724.
- [Sch05] Schuh, Günther; Friedli, Thomas; Kurr, Michael A.: Kooperationsmanagement: systematische Vorbereitung, gezielter Auf- und Ausbau, entscheidende Erfolgsfaktoren. München, Wien: Hanser, 2005.
- [Sch08] Schmelzer, Hermann J.; Sesselmann, Wolfgang: Geschäftsprozessmanagement in der Praxis: Kunden zufrieden stellen - Produktivität steigern - Wert erhöhen. 6., vollst. überarb. und erw. Aufl. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 2008.
- [Sei02] Seidl, J.: Business Performance Management – Modelle und Methoden Beurteilung und Ansätze zur Optimierung. In: HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik, 39. Jg., 2002, Heft 227, S. 27 – 34.
- [Sei98] Seibert, Siegfried: Technisches Management: Innovationsmanagement, Projektmanagement, Qualitätsmanagement. Stuttgart, Leipzig: Teubner Verlag, 1998.
- [Ser85] Servatius, Hans-Gerd: Methodik des strategischen Technologie-Managements. Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH, 1985.
- [Sie89] Siegart, H.: Produktentwicklung in der industriellen Unternehmung. Bern: Verlag Paul Haupt, 1989.
- [Sof01] Software Engineering Institute: Introduction to the Capability Maturity Model – Integrated Staged Representation (CMMI-SE/SW/IPPD, Version 1.02), Pittsburg, Carnegie Mellon University, 2001. [www.sei.cmu.edu](http://www.sei.cmu.edu) (Stand: 21.03.2008)
- [Sof02] Software Engineering Institute: Process Maturity Profile of the Software Community (2002 Mid-Year Update), Pittsburg: Carnegie Mellon, University, 2002. [www.sei.cmu.edu](http://www.sei.cmu.edu) (Stand: 21.03.2008)

- [Som93] Sommerlatte, T.: Leistungsprozesse und Organisationsstruktur. In: Scharfenberg, Heinz: Strukturwandel in Management und Organisation: neue Konzepte sichern die Zukunft. Baden-Baden: FBO-Fachverlag für Büro- und Organisationstechnik, 1993, S. 55 – 70.
- [Spa99] Spath, D.; Lanza, M.: Product Data Management (PDM) for collaborative Manufacturing System Design. In: Integration of process knowledge into design support systems: proceedings of the 199 CIRP International Desing Seminar, University of Twente, Enschede/ Niederlande, 24.-26. März 1999 / Hrsg. H. Kals. Dordrecht (u.a.): Kluwer, 1999, S. 171-181.
- [Spa00] Spath, D.; Dill, C.; Scharer, M.: Unterstützung der Produktentstehung mit einem prozessbegleitenden Methodenbaukasten auf Intra/Internetbasis. In: Erfolgreiche Produktentwicklung: Methoden und Werkzeuge zur Planung und Entwicklung von marktgerechten Produkten; Tagung Stuttgart, 05. und 06. Oktober 2000. (VDI-Berichte, 1558). Düsseldorf: VDI-Verlag, 2000, S. 45-67.
- [Spa02] Spath, Dieter (Hrsg.): Verteilte Modellierung, Simulation und Steuerung von Geschäftsprozessen mit generischen Petri-Netzen: Abschlussbericht, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik wbk, Universität Karlsruhe (TH), 2002.
- [Spa04a] Spath, Dieter (Hrsg.): Forschungs- und Technologiemanagement: Potenziale nutzen – Zukunft gestalten. München, Wien: Hanser, 2004
- [Spa04b] Spath, Dieter; Potinecke, Thomas: Virtual Product Development – Digital Factory based methodology for SMEs. In: CIRP Proceedings 2004, Mai 2004, p. 53 – 62.
- [Spa05a] Spath, Dieter; Potinecke, Thomas: Digital Manufacturing; In: Proceedings of the International Symposium Research – Education – Technology; Gdansk, 20 – 22 May 2005; p. 283 – 290.
- [Spa05b] Spath, Dieter: Zukunft von Mensch und Technik – was wir heute schon über morgen wissen. Ringvorlesung Technikfolgenabschätzung SS 2005, 2005.
- [Spa06] Spath, Dieter (Hrsg.): Technologiemanagement in der Praxis: forschen und anwenden; [25 Jahre Fraunhofer-IAO]. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag, 2006.
- [Spa07] Spath, D.; Gleue, T.: Augmented reality. In: Landau, K.: Lexikon Arbeitsgestaltung. Best Practice im Arbeitsprozess Stuttgart: Gentner, 2007, S. 266-268.
- [Spe96] Specht, G.; Beckmann, C.: F&E-Management. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1996.
- [SPICE] SPICE: Software Process Improvement and Capability dEtermination: What is SPICE? <http://www.sqi.gu.edu.au/spice/> (Stand: 21.03.2008)
- [Spu97] Spur, Günter; Krause, Frank-Lothar: Das virtuelle Produkt. München: Carl Hanser-Verlag, 1997.
- [Sta73] Stachowiak, H.: Allgemeine Modelltheorie. Wien, New York: Springer, 1973.
- [Sta05] Stahlknecht, Peter; Hasenkamp, Ulrich: Einführung in die Wirtschaftsinformatik. 11., vollst. überarb. Aufl., 185. - 200. Tsd., Berlin ; Heidelberg ; New York: Springer, 2005.
- [Sym00] Symietz, Michael: Echtzeitbasierte Generierung und Verlegung von Leitungsobjekten in einem digitalen Fahrzeugmodell mit einem Virtual-Reality-System. Zugl. Bielefeld, Universität, Diss., 2000.
- [USS72] US-Senate: Report of the Committee on Rules and Administration. Technology Assessment Act of 1972. 13.9.1972
- [VDA05] Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA): Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie – Qualitätsmanagement – Systemaudit – Produktionsmittel: Grundlagen DIN EN ISO 9001 und DIN EN ISO 9004-1. Frankfurt am Main: VDA, 2005.
- [VDA96] Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA): Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie – Sicherung der Qualität vor Serieneinsatz. Frankfurt am Main: VDA, 1996.
- [VDI1411] VDI 1411: Berechnung und Simulation im Fahrzeugbau / Tagung Würzburg, September 1998. VDI-Verlag GmbH, 1998.

- [VDI1569] VDI 1569: Produkte entwickeln im realen Umfeld: was bringen neue Werkzeuge wie 3D-CAD/CAM, EDM/PDM und Virtualisierung? Tagung München, 9.-10.11.2000, VDI-Gesellschaft Entwicklung, Konstruktion, Vertrieb. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2000.
- [VDI2216] VDI-Richtlinie 2216: Datenverarbeitung in der Konstruktion - Einführungsstrategien und Wirtschaftlichkeit von CAD-Systemen. Berlin: Beuth, 1994 - 11.
- [VDI2218] VDI-Richtlinie 2218: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung – Feature-Technologie. Berlin: Beuth, 2003 - 03.
- [VDI2219] VDI-Richtlinie 2219: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung – Einführung und Wirtschaftlichkeit von EDM/PDM-Systemen. Berlin: Beuth, 2002 - 11.
- [VDI2221] VDI-Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. In: VDI-Handbuch Konstruktion. Berlin: Beuth, 1993.
- [VDI2222] VDI-Richtlinie 2222: Blatt 1: Konstruktionsmethodik – Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien. In: VDI-Handbuch Konstruktion. Berlin: Beuth, 1997.
- [VDI2803] VDI-Richtlinie 2803 Blatt 1: Funktionsanalyse – Grundlagen und Methoden. Berlin: Beuth, 1996.
- [VDI3780] VDI-Richtlinie 3780: Technikbewertung; Begriffe und Grundlagen. Berlin: Beuth, 2000.
- [VIC05] Victor, Frank; Günther, Holger: Optimiertes IT-Management mit ITIL: so steigern Sie die Leistung Ihrer IT-Organisation; Einführung, Vorgehen, Beispiele. Wiesbaden: Vieweg, 2005.
- [War00] Warschat, Joachim: Verteilte Produktentwicklungsumgebungen. In: Stuttgarter Impulse: Technologien für die Zukunft / FTK 2000, (Hrsg.): Gesellschaft für Fertigungstechnik. Stuttgart: Springer, 2000, S. 397 – 408.
- [War03a] Warschat, Joachim; Potinecke, Thomas: Virtual Engineering. In: Bullinger, Hans-Jörg (Hrsg.) u.a.: Neue Organisationsformen im Unternehmen: ein Handbuch für das moderne Management. Berlin (u. a.): Springer, 2003, S. 842 – 860.
- [War03b] Warschat, Joachim; Potinecke, Thomas; Slama, Alexander: Studie: Digitale Produktentstehung; Stuttgart: Fraunhofer Informationszentrum Raum und Bau (IRB), 2003.
- [Wes97] Westkämper, Engelbert; Schraft, Dieter: Mit neuen Ansätzen für die Geschäftsprzessgestaltung ins Jahr 2000 – Vom Modell zur Anwendung. 2. GiPP-Fachforum. Fraunhofer IRB, 1997.
- [Wes01] Westkämper, E.; Briel, R. v.: Continous Improvement and Participative Factory Planning by Computer Systems. Annals of the CIRP Vol. 50/ 1/2001, S. 347 – 352.
- [Wes03] Westkämper, Engelbert; Balve, Patrick: Technologiemanagement in produzierenden Unternehmen. In: Bullinger, Hans-Jörg; Warnecke, Hans Jürgen; Westkämper, Engelbert: Neue Organisationsformen im Unternehmen – Ein Handbuch für das moderne Management. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 2003, S. 274 – 288.
- [Wes06a] Westkämper, Engelbert: Digitale Produktion - Herausforderung und Nutzen. In Gesellschaft für Fertigungstechnik: FTK 2006 - Fertigungstechnisches Kolloquium: schriftliche Fassung der Vorträge zum fertigungstechnischen Kolloquium am 20. und 21. September in Stuttgart. Stuttgart: Gesellschaft für Fertigungstechnik, 2006, S. 469 – 490.
- [Wes06b] Westkämper, Engelbert: Produktion: Wandlungsfähigkeit der industriellen Produktion. München: TCW Transfer-Centrum, 2006. (TCW-Report; 44)
- [Wes06c] Westkämper, E.; Runde, C.: Anwendungen von Virtual Reality in der Digitalen Fabrik - eine Übersicht. wt Werkstattstechnik online 96 (2006), Nr. 3, S. 99 – 103.
- [Wie97] Wies, René; Lohmann, Jürgen; Picot, Arnold: Technische Kennzahlen für das IV- und Service-Controlling. IM Information Management 2/1997, S. 49 – 58.
- [Wil90] Wildemann, Horst: Einführungsstrategien für die computerintegrierte Produktion. München: Gesellschaft für Management und Technik, 1990.

- [Wil98] Wildemann, Horst: Die modulare Fabrik: kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentierung. München: TCW Transfer-Centrum-Verlag GmbH, 1998.
- [Wild99] Wildemann, Horst: Produktklinik – Wertgestaltung von Produkten und Prozessen Methoden und Fallbeispiele. München: TCW Transfer-Centrum-Verlag GmbH 1999.
- [Win03] Winter, Robert: Modelle, Techniken und Werkzeuge im Business Engineering. In: Oesterle, Hubert: Business Engineering: auf dem Weg zum Unternehmen des Informationszeitalters. Berlin, Heidelberg: Springer, 2003, S. 87 – 119.
- [Wör99] Wörner, Kai: System zur dezentralen Planung von Entwicklungsprojekten im Rapid Product Development. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag 1999. Zugl. Stuttgart, Universität, Diss., 1999.
- [Zah95] Zahn, Erich: Gegenstand und Zweck des Technologiemanagements. In: Zahn, E.(Hrsg.): Handbuch Technologiemanagement. Stuttgart: Schäfer-Poeschel, 1995.
- [Zah04] Zahn, Erich: Strategisches Technologiemanagement. In: Spath, Dieter (Hrsg.): Forschung und Technologiemanagement, Potenziale nutzen - Zukunft gestalten. München, Wien: Hanser Verlag, 2004, S. 125 – 131.
- [Zha02] Zhai, Wenbin, Fan, xiumin, Yan, Juanqi, Zhu, Pengsheng: An Integrated Simulation Method to Support Virtual Factory Engineering. In: International Journal of CAD/CAM Vol. 2, No. 1, pp. 39 – 44, 2002.
- [Zil88] Zilahi-Szabó, Miklós G.: Leistungs- und Kostenrechnung für Rechnerzentren. Wiesbaden: Forkel, 1988.
- [Zim85] Zimmermann, R.: Ein dynamisches Modell zur strategischen Einführungsplanung von CAD-Technik. München ; Wien: Hanser, 1985. Zugl.: Berlin, Techn. Univ., Diss., 1985.
- [Zin00] Zinser, Stephan: Eine Vorgehensweise zur szenariobasierten Frühnavigation im strategischen Technologiemanagement. Heimsheim: Jost-Jetter Verlag, 2000. Zugl. Stuttgart, Universität, Diss., 2000.
- [Zub00] Zuber, E.; Kress, M.; Wagner, W.: Virtuelle Produktion – Partner der digitalen Produktentwicklung. In: Produkte entwickeln im realen Umfeld: was bringen neue Werkzeuge wie 3D-CAD/CAM, EDM/PDM und Virtualisierung? Tagung München, 9. - 10.11.2000, VDI-Gesellschaft Entwicklung, Konstruktion, Vertrieb. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2000, S. 249 – 266.
- [Zül99] Zülch, G. et al: Internet und World Wide Web – zukünftige Aufgaben der Kommunikationsergonomie, Ergonomische Aspekte der Software-Gestaltung Teil 9. In: Ergo-Med, Heidelberg 23 (1999), Nr. 2, S. 96 – 100.
- [Zwi98] Zwicker, Ekkehard: Unterstützung der Unternehmensübergreifenden Produktentwicklung durch den Einsatz moderner Informationstechnologien. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1999. Zugl. Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule, Diss., 1999.
- [Zwi05] Zwicker, E.; Montau, R.: Informationstechnologien im digitalen Produkt. Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule, 2005. URL: <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=lehr&nr=109> (Stand: 21.03.2008).

# 10 Anhang

## 10.1 Ergänzende Begriffe

- Ein **Audit** [Pfe01] ist die systematische, unabhängige Untersuchung einer Aktivität und deren Ergebnisse. Durch die Untersuchung werden das Vorhandensein und die sachgerechte Anwendung spezieller Anforderungen beurteilt und dokumentiert. Man unterscheidet Produkt- Prozess- und Systemaudit.
- Eine **Aufbauorganisation** ist die strukturierte Gliederung (Aufbaustruktur) des Unternehmens in aufgabenteilige Einheiten und Festlegungen deren Koordination ohne einen zeitlichen Bezug [Ehr07; REF85].
- Eine **Ablauforganisation** ist die inhaltliche, personelle, zeitliche und räumliche Gestaltung der Produkterstellung bzw. der Auftragsabwicklung. Dies ist der Ablauf in einer Stelle der Aufbauorganisation (Mensch) in Zusammenarbeit mit Betriebsmitteln, Arbeitsgegenständen und Informationen [Ehr07; DIN98; Hai91; Refa]. Die Ablauforganisation ist nach traditionellen, sequenziellen oder parallel ablaufenden Prozessen aufgebaut. Zur Beschleunigung von Abläufen wird eine Parallelisierung durch Methoden wie Concurrent Design bzw. des Simultaneous Engineering favorisiert [Ehr07; Bul92].
- Die **Betriebsorganisation** umfasst die Bereiche: Vertrieb, Entwicklung, Produktion, Personalwesen und Finanzwesen. Die Betriebsorganisation ist unterteilt in die Produktionsorganisation und die Fertigungsorganisation. Zur Produktion gehören alle Bereiche eines Unternehmens, die mittelbar oder unmittelbar an der Herstellung von Produkten beteiligt sind.
- Ein **CAD-System** (Computer-Aided-Design) ist ein Konstruktionssystem. Darin werden zwei- oder dreidimensionale geometrische Modelle des Produktes (digitales Produkt) erstellt bzw. konstruiert.

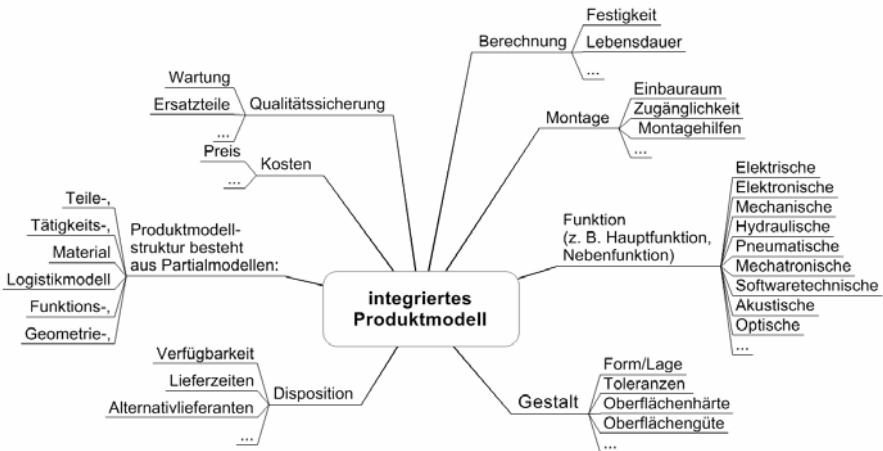


Abbildung 51: integriertes Produktmodell

- **Daten** sind nach Davenport [Dav98] objektive Fakten zu Ereignissen oder Vorgängen bzw. strukturierte Aufzeichnungen von Transaktionen. Im Bereich der rechnerbasierten Datenverarbeitung können Daten elektronisch gespeichert werden und stellen einen verarbeitbaren Wert dar.

- **Geschäftsprozess**

Auf die Notwendigkeit der Beachtung von Prozessen wird in der ISO-9000: 2000 hingewiesen. Die Norm beschreibt die Notwendigkeit. Das **Geschäftsprozessmanagement** übernimmt die Umsetzung. Für den Begriff Geschäftsprozess (Wertschöpfungsprozess) gibt es in der Literatur viele Definitionen. Im Folgenden sind einige aufgeführt.

Scheer [Sch98a] versteht unter einem Geschäftsprozess die modellhafte Beschreibung der in einem Unternehmen zu verrichtenden Aufgaben. Diese gehören wiederum inhaltlich und zeitlich zusammen. Das Ergebnis eines Geschäftsprozesses wird für einen internen oder externen Kunden erstellt und bewertet.

Bei Österle [Oes95; Oes03] ist ein Geschäftsprozess über mehrere Organisationseinheiten verteilt und die Erfüllung der Aufgaben wird durch den Einsatz von Informationstechnologien unterstützt [Win03].

Nach Elgass [Elg96] und Schmelzer [Sch08] ist ein Geschäftsprozess die funktionsübergreifende Verkettung von wertschöpfenden Aktivitäten, die spezifische kundenorientierte Leistungen erzeugen und deren Ergebnisse strategische Bedeutung für das Unternehmen haben. Innerhalb eines Unternehmens gibt es verschiedene Prozesse, z. B. Innovations-, Produktplanungs-, Produktentwicklungs-, Vertriebsprozesse, die zusammen einen Geschäftsprozess ergeben. Der Geschäftsprozess definiert somit die Begrenzung, Reichweite, Inhalt, Struktur und Empfänger. Ein Geschäftsprozess wird durch drei Dimensionen bestimmt: Kosten, Schnelligkeit und Qualität des Ablaufs.

Gadatsch [Gada01] liefert eine weitere und angepasstere Definition eines Geschäftsprozesses: „Ein Geschäftsprozess ist eine zielgerichtete, zeitlich-logische Abfolge von Aufgaben, die arbeitsteilig von mehreren Organisationen oder Organisationseinheiten unter Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien ausgeführt werden können“. Es gibt zudem **primäre und sekundäre Geschäftsprozesse**.

- Ein **Workflow** bezeichnet die Spezifikation der technischen Ausführung von Arbeitsabläufen. Gegenüber einem Geschäftsprozess ist ein **Workflow**, eine teilweise automatisierte, von einem **Workflow-Management-System** gelenkte, ablaufende Gesamtheit von Aktivitäten. Er bezieht sich auf einen Teil des Geschäftsprozesses. Ein Workflow besteht ähnlich wie ein System aus Subworkflows, die weiter in Einzelaktivitäten unterteilt werden. Workflows sind als ergonomische Prozesse im Gegensatz zu technischen Prozessen zu sehen [Del99; Jab97; Oes95; Sch98a].
- Das Gestalten, Steuern und Durchführen betrieblicher Aufgaben erfolgt auf unterschiedlichen **Organisationsebenen**. Nach Refa [REF85] kann ein Unternehmen in verschiedene Organisationsebenen gegliedert werden, die horizontal und vertikal vernetzt sind und unterschiedliche Planungsaufgaben zu erfüllen haben. Die Unterteilung erfolgt top-down [Hab02], d. h. entlang der Verfeinerung bzw. Detaillierung des Planens, Gestaltens, Steuerns und Arbeitens. Auf der obersten Ebene befindet sich der Konzern. Eine Ebene tiefer befindet sich das Unternehmen oder der Betrieb. Darauf folgt das Werk. Das Werk ist in einzelne Bereiche unterteilt (z. B. Konstruktion, Fertigung, Vertrieb). Innerhalb der Bereiche erfolgt z. B. die Planung des Konstruktionsablaufs. Die Bereiche werden zur Minderung der Komplexität und zur Beherrschbarkeit in einzelne Teilbereiche (z. B. ergebnisorientierte Teilbereiche, Vorfertigung, Montage) unterteilt. In diesen wird z. B. der Arbeitsablauf geplant. Auf der untersten Ebene befindet sich der Einzelarbeitsplatz mit der Planung und der Ausgestaltung des Arbeitsplatzes.
- Für den Begriff **Information** gibt es in der Literatur verschiedenste Bezeichnungen. Meistens wird er aber mit Daten und Wissen in Verbindung gebracht. Nach Davenport [Dav98] sind Informationen Nachrichten. Sie haben einen Sender und Empfänger. Sie sollen die Wahrnehmung des Empfängers auf einen Sachverhalt ändern.

- Der **Informationsfluss** hat den gleichen Ablauf wie der Materialfluss: aufnehmen, speichern, übertragen, verarbeiten, aufbereiten und austauschen [REF85; Sch98a]. Der Datenfluss kennzeichnet den Weg, den Daten in einem System zurücklegen.
- Unter einer **Technische Innovationen** wird die Neuerung einer technischen Erfindung oder die erste Nutzung von technologischem know-how zur Befriedigung der Bedürfnisse des Kunden verstanden. Sie gelten als wichtiger Träger des technischen Fortschritts für ein langes Wirtschaftswachstum [Por00]. Dabei wird zwischen **Produktinnovationen**, dies sind neue oder weiterentwickelte Produkte, Dienstleistung oder Produktanwendungen und **Prozessinnovationen**, neue Verfahren, Prozesse oder Fertigungssysteme unterschieden [Sei98; Por00].
- Ein Modell wird wie folgt definiert [Ehr103]: „Ein **Modell** ist gegenüber einem Objekt ein vereinfachtes gedankliches oder stoffliches Gebilde, das Analogien zu diesem Objekt aufweist. Damit können aus dem Verhalten des Modells Rückschlüsse auf das Objekt gezogen werden.“ [s. a. Sta73; VDI2219].
- Nach Ehrlenspiel [Ehr07] und Pulm [Pul04] ist eine **Methode** ein planmäßiges und regelbasiertes Vorgehen von Tätigkeiten. Sie wird zum Erreichen eines bestimmten Zieles bewusst oder unbewusst eingesetzt. Werden mehrere Methoden mit Strategien, Werkzeugen und Hilfsmitteln vereint und nach einem bestimmten Vorgehensplan eingesetzt, handelt es sich um eine **Methodik**.
- Ein **Produkt** kann einem engen oder ganzheitlichen Begriffsverständnis zugeordnet werden. Bei gängigem Sprachgebrauch handelt es sich meist um materielle Güter bzw. Sachleistungen, denen Dienstleistungen und immaterielle Güter gegenübergestellt werden [Ker92; Kot99; Fil97].

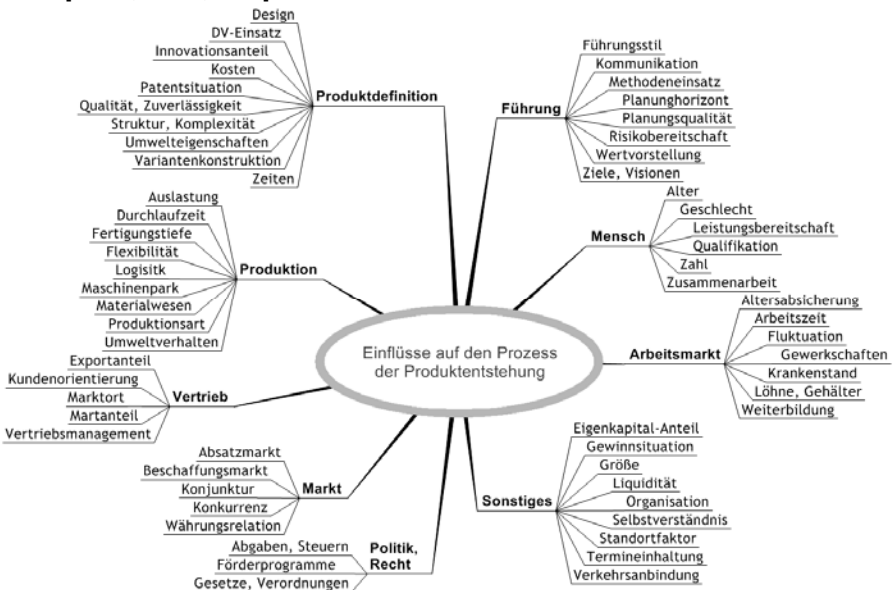


Abbildung 52: Einflüsse auf den Prozess der Produktentstehung [Ehr07 nach Ishikawa; Gau01a; Rup02]

- Die **Produktentstehung** ist die Entstehung des Produktes von der Idee über die Produktentwicklung, die Produktionsplanung, der Produktion, der Auslieferung an den Kunden und den Service [Ehr07; War03b]. Die Produktentstehung ist in zwei Hauptbe-

reiche, die **Produktentwicklung** und die **Produktionsplanung** unterteilt. Die Produktentstehung verfolgt ein systematisches methodisches Vorgehen um ein Produkt zu entwickeln, zu gestalten und alle Anforderungen, insbesondere die Kundenwünsche zu erfüllen. Der Prozess der Produktentstehung ist vielen Einflüssen abhängig (vgl. Abbildung 52).

- Die **Produktentwicklung** ist die Gesamtheit der technischen, markt- und produktionsorientierten Tätigkeiten einer industriellen Unternehmung, die auf die Schaffung eines neuen oder verbesserten Produktes oder Verfahrens ausgerichtet ist und zu diesem Zweck die in der Forschung erzielten Erkenntnisse in diesen Prozess einfließen lässt (s. Abbildung 53). [Cla93; Sar93; Hef01; Sie89]. Die Produktentwicklung gliedert sich in die Hauptbereiche Produktplanung, Entwicklung und Konstruktion, Versuch, Musterbau, Berechnung sowie Ausarbeitung [Ehr07].

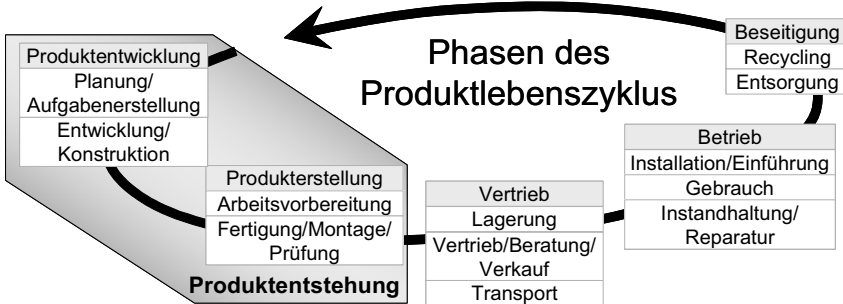


Abbildung 53: Produktentstehung [Pot03; Zwi98]

- Bei der **Produktionsplanung** handelt es sich um die Planung, Gestaltung und Steuerung der Herstellung von Erzeugnissen. Die Fertigungsorganisation umfasst die Teilefertigung und die Montage und den innerbetrieblichen Transport mit dem Arbeitsstudium (Gestaltung von Arbeitssystemen), der Fertigungsplanung (Kapazitäts-, Material-, Informations- und Ablaufplanung) sowie der Fertigungsplanung (Veranlassung, Überwachung und Sicherung der Programm- und Auftragsdurchführung) [REF85; Sei98; Ehr07; DIN00].
- „Ein **Prozess** ist primär eine, zeitlich nicht begrenzte, fortlaufende oder wiederkehrende, inhaltlich-logische abgeschlossene Funktion/Aktivität oder eine Abfolge von Funktionen/Aktivitäten, die in einer bestimmten Art und Weise auftreten oder durchgeführt werden und die zum Erreichen eines oder mehrerer Ziele führen“ [VDI2219; Mil94].
- Es existieren zahlreiche Definitionen für den Begriff **Qualität**. Hierbei gibt es theorie- und praxisbezogene Ansätze. Die theoretische Definition beruht auf der Logik des Qualitätsphänomens, während sich die praxisbezogene Definition auf die direkte Umsetzbarkeit der Problemstellung der industriellen Praxis bezieht. [Dög86]. Nach DIN EN ISO 9000:2005 [ISO9000] ist die Definition der Qualität festgelegt als: „Qualität ist der Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt“. Die Norm DIN 55350 Teil 11 [DIN55350] bezeichnet die Qualität als: „Die Beschaffenheit einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen“ [Fil97].
- Als **virtuell** werden Gegenstände oder Eigenschaften von Gegenständen bezeichnet, die der Möglichkeit nach existieren, allerdings nicht real vorhanden sind. Die Darstellung dieser virtuellen Gegenstände erfolgt zumeist mittels virtueller Realität [Fis00].
- Unter dem Begriff **Virtual Engineering** werden alle Technologien der Informations-, Kommunikations- und Visualisierungstechnik zusammengefasst, die den Produktentstehungsprozess optimieren und beschleunigen helfen [Kre98, Män97].

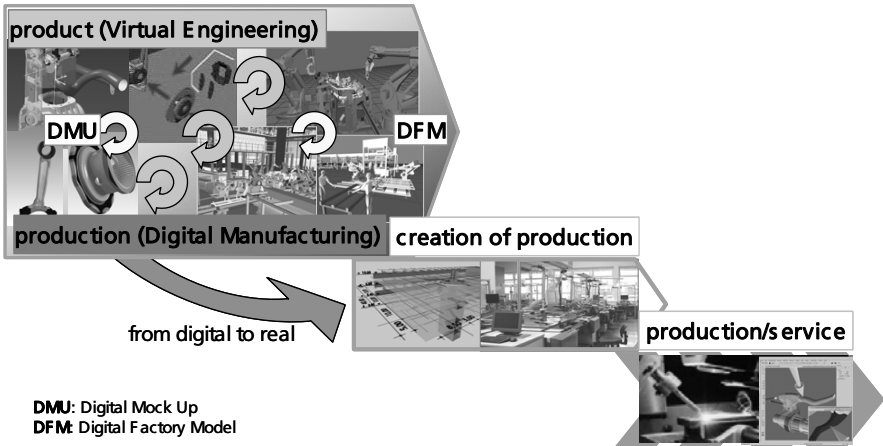


Abbildung 54: Virtual Engineering und Digital Factory [War03a, Bul05, Spa05a]

- Diersen [Die02] definiert: „**Virtuelle Realität** ist eine computergestützte, interaktive, dreidimensionale Welt, in die der Mensch eintauchen kann und es ihm erlaubt, die Grenzen der Realität zu erweitern“ [vgl. a. Gau01b; Sch03c; Sym00].
- Ein einheitliches **Vorgehensmodell** dient zur zielgerichteten und effektiven Konstruktion. Dies beinhaltet die VDI-Richtlinien 2221 und 2222, die auf den verschiedenen Konstruktionsmethodiken von Pahl & Beitz [Pah07] aufbauen. Um diese Arbeitsschritte weiter zu strukturieren, wird ein **Vorgehenszyklus** und **Vorgehensplan** [Dae99; Ehr07] eingesetzt (s. Abbildung 56).
- Daten und Informationen sind Bestandteile von **Wissen** [Gau01a]. Allerdings wird Wissen nicht nur durch Daten und Informationen definiert, da Wissen wesentlich umfangreicher ist.

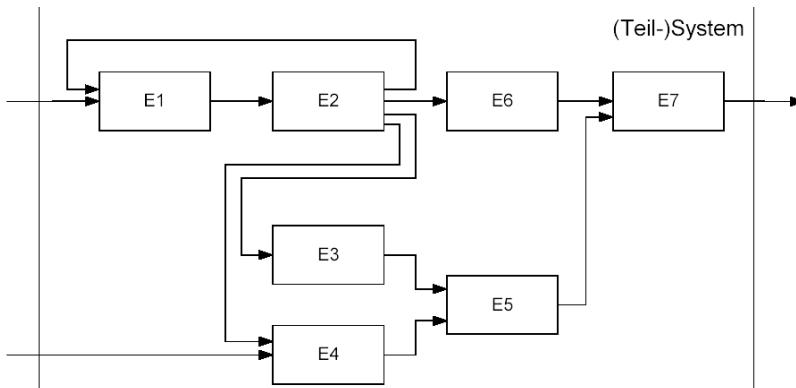


Abbildung 55: zeitlich-logische Verkettung von Einzelementen [Pat82]

In der folgenden Abbildung sind der Vorgehensplan und der Vorgehenszyklus zum Entwickeln und zur Problemlösung abgebildet [VDI2221, VDI2222, Ehr07].

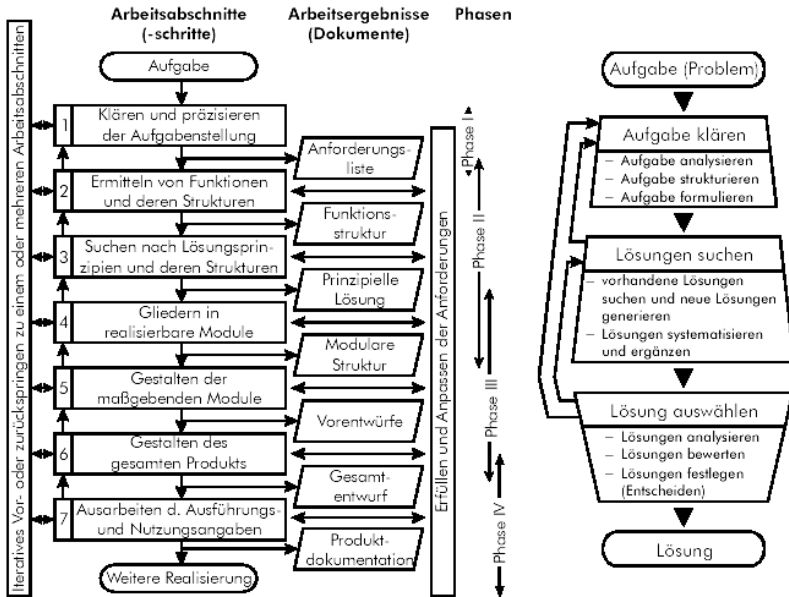


Abbildung 56: Vorgehensplan und Vorgehenszyklus [VDI2221, VDI2222, Ehr07]

## 10.2 Konzepte zur Kommunikation in der Entwicklung und Planungsmethoden

Kommunikation ist das Interagieren kooperierender Partner über unterschiedliche Medien. Es gibt zwei Arten der Kommunikation: standardisiert über IT-Systeme und interdisziplinär in Teams. Einerseits kann sich die Kommunikation auf die Inhaltsebene beziehen, indem über Termine, Projektstatus, Leistungsziele o. ä. diskutiert wird. Andererseits kann die Kommunikation auf der Beziehungsebene ablaufen.

In Planungs-/SE-Teams kommt es zu einer Dynamikzunahme in der Synchron- und Asynchron-Kommunikation. Innovative Methoden und Informationstechnologien werden benötigt, die dynamische, verteilte und vernetzte Kommunikationsprozesse unterstützen. Dazu muss auch eine frühe Einbindung externer Partner (B2B) durch eine frühe Versorgung mit relevanten Informationen in der Entwicklung erfolgen. [War03a; Sch08; Bul01b; Sch05].

Für die Kommunikation stehen verschiedene Werkzeuge zur Verfügung. War es in der Vergangenheit der Briefverkehr, das Telefon und das Fax, so werden heute die meisten Informationen über das Internet mittels E-Mails ausgetauscht. Zur Kommunikation über das Internet kommt **Voice over IP** (VoIP) zusätzlich immer mehr zum Einsatz. Eine integrierte Kommunikationsform bietet sich durch das Videoconferencing. Hierbei werden Videobilder und Audiosignale in einer PC Umgebung von den Gesprächspartnern auf die jeweilige Arbeitsoberfläche der PC's wiedergegeben [Sch03c]. Zur Rechnerzusammenarbeit wird Groupware eingesetzt. Groupware ist der Oberbegriff für Softwarewerkzeuge des **Computer-Supported-Cooperative Work** (CSCW) [Bar96, Bul01b].

Eine **Projektplanung** ist die systematische gedankliche Vorwegnahme der zukünftigen Projektdurchführung. Während eines Projektes erfolgt die Projektüberwachung bzw. -steuerung, das **Project Controlling**. Da es eine Vielzahl und ständig neue Systeme zur Unterstützung des Projektmanagements auf dem Markt gibt, ist es nicht sinnvoll eine Einzelbetrachtung durchzuführen. Wesentliche Komponenten der Standardprogramme sind die Projektstrukturplanung, die Termin- und Ablaufplanung, die Einsatzmittelplanung, die Kostenplanung, die Termin- und Kostenüberwachung [Sei98].

Für betriebswirtschaftliche Belange eines Unternehmens werden **Produktionsplanung und -steuerung** (PPS) Systeme eingesetzt. Diese Systeme haben eine prozessorientierte Datenbank mit dispositiven Informationen zur Produktionsplanung, Materialbedarfsplanung und Kapazitätsbedarfsplanung bezüglich Menge, Zeit und Kosten. Die Schnittstelle zwischen den Datenverwaltungssystemen PPS und EDM oder PDM ist die Produktstruktur, in Form der Stückliste, welche in beiden Systemen vorhanden ist.

Ein Workflow kann durch den Grad der Computerunterstützung und den Grad der Strukturierung der Arbeitsabläufe in einen allgemeinen, einen fallbezogenen oder ad-hoc Workflow eingeteilt werden [Del99]. **Workflow-Management-Systeme** (WFMS) haben sich in den vergangenen Jahren stetig weiterentwickelt. Es gibt verschiedene Generationen. Die erste Generation waren die hard-wired-applications. Gekennzeichnet waren diese durch Applikationen mit Funktionen zur Unterstützung arbeitsteiliger Prozesse mit mehreren Bearbeitern. Sie wurden für spezielle Einsatzzwecke konzipiert und eine Änderung der festgeschriebenen Prozessmodelle verlangte eine Änderung der Programme. Die zweite Generation hat ein explizites Vorgehensmodell und eine Trennung von Prozessmodell und Anwendung. Das Prozessmodell wird durch eine spezifische Sprache (Modellierungskonventionen) abgebildet. Änderungen an den Prozessmodellen erfordern keine Änderung der Programme. Die dritte Generation setzt **Datenbank-Management-Systeme** (DMS) ein. Diese speichern Prozessmodelle und Prozessausführungen. Zukünftige WFMS werden den Austausch von Prozessmodellen und Prozessausführungen zwischen Produkten verschiedener Hersteller unterstützen. [Sch96b; Jab97; Sch08].

Methodische Grundlagen	Methodische Hilfsmittel
Modellsichten <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Datenstrukturbezogene Sicht</li> <li>▪ Funktionsbezogene Sicht</li> <li>▪ Verfahrensbezogene Sicht</li> <li>▪ Ablauforganisatorische Sicht</li> </ul>	Darstellungstechniken <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ SADT / ERR / NIAM / PETRI-Netze</li> <li>▪ Methodik</li> <li>▪ Abbildungskonventionen</li> <li>▪ Methodenintegrationsregeln</li> </ul>
Referenzmodell <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Logische Funktionsstruktur</li> <li>▪ Funktionsbeschreibung</li> <li>▪ Informationsklassen</li> <li>▪ Verfahrenszuordnungen</li> </ul>	Strukturierungsschema <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schemaebenen</li> <li>▪ Checklisten</li> </ul>
Merkmalsstrukturen <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ist- und Soll-Zustandsmerkmale</li> <li>▪ Eingangs- und Ausgangsinformationen</li> <li>▪ Funktions- / Prozesskette</li> <li>▪ Verfahren / Verfahrenskette</li> </ul>	Formulare <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Analyseformulare</li> <li>▪ Konzeptformulare</li> </ul>
Bewertungsmodell <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Qualitative Bewertungskriterien</li> <li>▪ Quantitative Bewertungskriterien</li> <li>▪ Systemfunktionskriterien</li> </ul>	Bewertungsschema <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Transformationsschema</li> <li>▪ Zuordnungsmatrizen Anforderungsprofile</li> <li>▪ Bewertungskriterien</li> </ul>

Tabelle 29: Planungsmethodik nach Schuler [Sch92]

## 10.3 Überblick über Modellierungsmethoden

Es gibt eine Vielzahl an Modellierungsmethoden. Es gibt objektorientierte Methoden, Petri Netze, Vorgangskettendiagramme, semantische Objektmodelle, Integrated Definition (IDEF) oder Ereignisgesteuerte Prozessketten. Eine Übersicht ist in Tabelle 30 aufgeführt.

Methoden	Beschreibung
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
BR	Binary Relations Method
CIMOSA	CIM Open System Architecture
EAR	Entity Attribute Relationship
eEPK	Erweiterte Ereignisgesteuerte Prozesskette
ERM	Entity Relationship Model
ERM-KN	ERM-Krähenfuß-Notation
EXPRESS	Formale Sprache zur Spezifikation von Datenmodellen
EXPRESS-G	Graphische Untermenge von EXPRESS
EXPROO	Objektorientierte, textuelle Modellierungssprache
GRAI-Methode	Analyse und Entwurf von Systemen der Produktionssteuerung
IDEF-1	I-CAM-Methode zur Datenmodellierung
IDEF-2	I-CAM-Methode zur Modellierung von dynamischen Systemen
IDEF-3	Process Description Capture Method
IDEF-4	object-oriented design method
IDEF-5	Ontology Description Capture Method
IUM	Integrierte Unternehmensmodellierung
KSA	Kommunikationsstrukturanalyse
MOSAIK	Modulares System zur Analyse/Gestaltung der IV/Kommunikation
MoSys	Monolithic System Technology
NIAM	Nijssen Information Analysis Methode
OMT	Object Modelling Technique
OOA	Object Oriented Analysis
OOffi	Object Oriented Information Engineering
OOSA	Object Oriented Systems Analysis
OOSE	Object Oriented Software Engineering
Petri-Netze	Graphische Beschreibungsmethode für dynamische Abläufe
PPM	Integriertes Produkt- und Produktionsmodell
RT	Real Time Analysis (Strukturierte Analyse für Echtzeitsysteme)
SA	Structured Analysis
SADT (IDEF-0)	Structured Analysis and Design Technique
SAM	Semantic Association Model
SDM	Semantic Database Model
SERM	Strukturiertes Entity-Relationship-Model
SHM+	Extended Semantic Hierarchy model
SHO	Semantisch-hierarchisches Objektmodell
SOM	Semantisches Objektmodell
SSAD	Structured System Analysis and Design
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
UML	Unified Modelling Language
VisOOP3	Objektorientierte Methode zur Entwicklung von Produktmodellen
VKD	Vorgangskettendiagramm

Tabelle 30: Auswahl gängiger Modellierungsmethoden [Awi00; Bul01c; Noh99]

## 10.4 Allgemeine Entwicklungstätigkeiten und Spezifikationen von Produkten

Für die Bildung von Prozessfunktionen werden Begriffe aus [VDI2210, Ehr07, Pah97, Lan97] entnommen, die Entwicklungsaktivitäten beschreiben. Die wesentlichsten Begriffe innerhalb der Produktentstehung und deren Synonyme sind in Tabelle 31 aufgeführt.

Tätigkeiten		Synonyme	
Grundtätigkeiten	Anforderungen klären	Aufgabe klären, Ziele erkennen, Anforderungen, Restriktionen erkennen	
	Lösung suchen	Prinzipielle Lösung suchen, konzipieren (Prinziplösung)	Konzept, Funktionsprinzip suchen
		Gestalterische Lösung suchen	Lösungen gestalten, Lösungen suchen, übernehmen
		Fertigungsgerechte, gestaltete Lösung suchen	Fertigungs-, montage- und normgerecht fertig gestalten
	Lösung auswählen	Berechnen	Auslegen, Dimensionieren, Simulieren, Kalkulieren, Abschätzen
		Experimentieren	Probieren, Testen, Simulieren, Versuchen, Modelle erstellen
		Kontrollieren, Prüfen	(Ab-)Messen, Testen, Vergleichen, Prüfen
		Analysieren	Klären, ermitteln, untersuchen, ausmachen,
		Beurteilen	Bewerten, Auswählen, Vergleichen, Festlegen
		Entscheiden	Vergleichen, Festlegen
		Korrigieren	Ausbessern, Optimieren, Iterieren, Ändern
	Darstellen	Zeichnerisch darstellen	Skizzieren, Zeichnen, Dokumentieren, Darstellen
		Schriftlich darstellen	Schreiben, Stücklisten erstellen, Beschriften, Dokumentieren
		Visualisieren	Elektronisch darstellen
	Begleitende Tätigkeiten	Beschaffen	Informationen organisieren, suchen, auswerten
Strukturieren, Ordnen		Analysieren, Systematisieren, Gliedern, Reihen, Klassifizieren	
Managementen		Organisieren, Planen	Verantwortlich machen, Einteilen, Reihen, Festlegen, Motivieren
		Koordinieren, Steuern	Lenken, führen, beeinflussen, zuordnen
Kommunikation		Korrespondieren, übermitteln	Nachfragen, Schreiben, Erkunden Informationen verschicken, übertragen, kommunizieren
		Diskutieren, Beraten	Erklären, Horchen, Formulieren, Verstehen, Erkennen, Zweifeln
Datenverarbeitung		Konvertieren	Informationen Invertieren
		Übersetzen	Informationen übersetzen
		Verschlüsseln	Informationen verschlüsseln
	Speichern	Information speichern, bereitstellen	

Tabelle 31: Allgemeine Entwicklungstätigkeiten [VDI2210, Ehr07, Pah97, Lan97]

Ein Produkt wird durch verschiedenen Eigenschaften, Funktionen und Relationen beschrieben und definiert. In Tabelle 34 sind verschiedenen Spezifikationspunkte aufgeführt, die als eine Art „Checkliste“ fungieren sollen, um die notwendigen Teilprozesse und Prozessfunktionen innerhalb eines Entstehungsprozesses zu bilden.

<b>Unmittelbare festgelegte Eigenschaften (Beschaffenheit)</b>	
▪ Art und Zahl der Teile	
▪ Gestalt der Teile	Abmessung / Oberfläche / Farbe; ...
▪ Anordnung, Topologie der Elemente (Baustruktur)	
▪ Werk- und Betriebsstoffe	
<b>Mittelbare festgelegte Eigenschaften (Funktion)</b>	
▪ Sicherheit	Zuverlässigkeit / Lebensdauer / Unfallsicherheit
▪ Gebrauch	Instandhaltung / Umsetzung / Inspektion
▪ Produktion	Eigenfertigung / Fremdfertigung / Montage
▪ Mensch zu Maschine	Ergonomie / Geräusch / Design / Automatisierung
▪ Umwelt	Emission / Energieverbrauch / Stoffverbrauch / Recycling
▪ Kosten	Herstellkosten / Produktkosten / Gesamtkosten
▪ Zeiten	Produktion / Lieferung / Innovation / Lebensdauer
▪ Sonstiges	Transport / Verkauf / Werbung / Marketing
<b>Neu- und Bekanntheit</b>	
▪ Wiederholungs- / Normungsgrad	
▪ Vorhersage- / Berechnungsfähigkeit der Eigenschaften	
▪ Konstruktionsart	Neu / Anpassung / Variante / Baureihe /Baukasten
▪ Modellarten	Design / Prinzip / Funktionsträger / Prototyp
▪ Neuheit der physikalischen Bedingungen, Stoffe, Produktionsverfahren	
<b>Gesetze, Normen und Garantien</b>	
<b>Märkte</b>	

Tabelle 32: Eigenschaften eines technischen Produktes [Ehr07; DIN 2330; Bon02]

<b>Merkmal</b>	<b>Ausprägung</b>
▪ Verbindungsrichtung	Stoß / Winkel / Rotation
▪ Abstand	verzahnt / Kontakt / definiert / beliebig
▪ Überdeckung	mit / ohne
▪ Verbindungsart	starr / gelenkig / elastisch / Stoff- / Form- / Kraftschluss
▪ Kontaktart	Punkt / Linie / Fläche
▪ Verbindungsstruktur	Anordnung / Reihenfolge / Schaltungsart
▪ Bezugssystem	Bezug / statische Bestimmtheit
▪ Sichtbarkeit	sichtbar / nicht sichtbar
▪ Montage	Montierbarkeit / Werkzeugbedarf
▪ Anzahl	Teile / Verbindungsteile / Berührungspunkte
▪ Flexibilität	lösbar / nicht lösbar / verstellbar
▪ Dämpfung	elastische Glieder / Dämpfungsfunktion / Schwingungsempfindlichkeit
▪ Fluss	Stoff / Energie / Information
▪ Art	Standard / bekannt / nicht materiell / neu
▪ Kunden-Relevanz	Design / Sicherheit / Qualität / Komfort / Varianten / Funktionen
▪ Funktion	tragen / leiten / verbinden
▪ Sonstiges	Zulieferer / Technologien / Disziplinen / ...

Tabelle 33: Produktschnittstellen [Pul04; Ehr07]

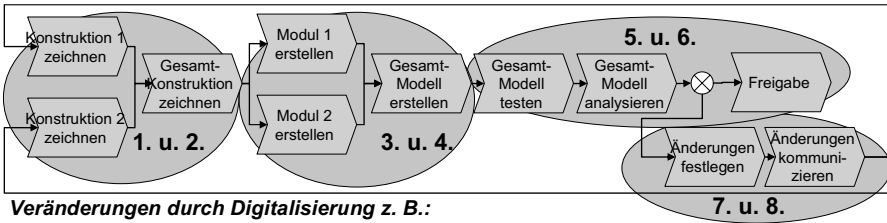
<b>Spezifikationspunkte</b>	<b>Beispiele</b>
Geometrie	Größe, Höhe, Breite, Länge, Durchmesser, Raumbedarf, Anzahl, Anordnung, Anschluss, Befestigungspunkte, Ausbau und Erweiterung
Kinematik Kräfte	Bewegungsart, Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit, Beschleunigung Kraftrichtung, Kraftgröße, Krafthäufigkeit, Gewicht, Last, Schwerpunktlage, Verformung, Steifigkeit, Federung, Massenkräfte, Stabilität, Resonanzlage
Stoff	Physikalische und chemische Eigenschaften des Eingangs- und Ausgangsproduktes, Hilfsstoffe, vorgeschriebene Werkstoffe (Nahrungsmittelgesetz u. ä.)
Umgebung	Reibung, Ventilation, Druck, Temperatur, Erwärmung, Wärmeübergänge, Kühlung, Einsatzort (z. B. schwefelige Atmosphäre, Tropen, ...)
Energie	Leistung, Spannung, Wirkungsgrad, Verlust, Anschlussenergie, Speicherung, Energieaufnahme, Energieumformung, Schalter, Steckkontakte, Erdung
Signal	Eingangs- und Ausgangsmessgrößen, Signalcharakteristik, Anzeige, Betriebs- und Überwachungsgeräte, elektromagnetische Verträglichkeit, Verkabelung
Sicherheit	Unmittelbare Sicherheitstechnik, Schutzsysteme, Arbeitssicherheit
Umweltschutz	Materialkennzeichnung, Recycling, Entsorgung von Rückständen, Strahlung, Emissionen, Umweltvorschriften, behördliche Genehmigungen
Ergonomie	Mensch-Maschine-Beziehung, Bedienung, Bedienungshöhe, Bedienungsart, Übersichtlichkeit, Komfort, Beleuchtung, Formgestaltung
Fertigung	Fertigungskapazität, besondere Einschränkungen, größte herstellbare Abmessung, Fertigungsverfahren, Fertigungsmittel, Toleranzen, Ausschussquote
Prüfung	Mess- und Prüfmöglichkeiten, Vorschriften (TÜV, DIN, ISO), Spezialtests
Montage	Montagevorschriften, Zusammenbau, Einbau, Baustelle, Fundamentierung
Transport	Materialfluss und Materialtransport, Begrenzung durch Hebezeuge, Bahnprofil, Transportwege nach Größe und Gewicht, Versandart und -bedingungen
Gebrauch	Geräusch, Verschleißrate, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Betriebskosten, Qualifikationsanforderungen, Schulung
Instandhaltung	Wartungsfreiheit bzw. Anzahl und Zeitbedarf der Wartung, Inspektion, Austauschbarkeit von Bauteilen, Ersatzteilversorgung, Anstrich, Säuberung
Kosten	Herstellkosten, Werkzeugkosten, Investition, Amortisation, Kapitalwert
Termin	Ende der Entwicklung, Fertigungsanlauf, Meilensteintermine, Lieferzeit

Tabelle 34: Checkliste Produktspezifikation [Sei98]

## 10.5 Nutzen durch CAx-Technologien und Potenzialen durch Digitalisierung des Prozesses

<b>CAx-Systeme</b>	<b>Nutzen</b>
CAD	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bessere Entscheidungsgrundlagen</li> <li>▪ Bessere und beschleunigter Änderungsdienst</li> <li>▪ Reduzierung der Entwicklungszeit</li> <li>▪ Mehrfachnutzung einmalig erstellter Daten</li> </ul>
CAE	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einfachere Erstellung und Analyse von komplexen Produkten</li> </ul>
CAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einfachere Generierung und Übermittlung von NC Daten aus Konstruktionsmodell</li> </ul>
CAP	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bessere Vernetzung von Entwicklung und Produktionsplanung</li> </ul>
CAPP	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bessere Vernetzung von Entwicklung und Produktionsplanung bei einer großen Anzahl von Produkten und Prozessschritten</li> </ul>
CAQ	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduzierung des Aufwandes für die Qualitätskontrolle</li> </ul>
<b>Kombination</b>	<b>Nutzen</b>
CAQ und Simulation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reduzierung von Abstimmungs- und Änderungsschleifen in der Produktentwicklung</li> </ul>
RPD und CAQ	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Physische Prototypen werden durch ein digitales Modell (DMU) ersetzt</li> <li>▪ Höherer Produktreifegrad bereits in der Produktentwicklung</li> </ul>
CAP und EDM/PDM	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Direkte Erstellung von Listen, Stücklisten und Basis Plänen von Zeichnung in Bearbeitungssystem</li> <li>▪ Verkürzte Angebotserstellung</li> </ul>
CAP, EDM/PDM und CAQ	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Direkte Erstellung von Listen, Stücklisten und Basis Plänen von Zeichnung in Bearbeitungssystem zur Qualitätskontrolle</li> </ul>
CAQ und EDM/PDM	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verminderung des Aufwandes zur Prüfung durch eine eindeutige Datenhaltung</li> </ul>

Tabelle 35: Nutzen von CAx Systemen [Sch01]



**Veränderungen durch Digitalisierung z. B.:**

1. Zeichnen der Konstruktion mit 3D CAD
2. Zusammenbau der Konstruktion als DMU
3. Erst nach Freigabe Realisierung des Modells
4. Möglichkeit der schnellen Erstellung mittels RPD Verfahren
5. Test des Modells durch Simulation am Rechner
6. Freigabe durch Analyse der Simulationsergebnisse und Analyse am VR Modell
7. Schnelle Änderungsmöglichkeit (zeitlich kürzere Schleife)
8. Schnelle Kommunikation der Änderungen bzw. andere Teilprozesse können die Änderungen direkt im Modell einsehen

**Verbesserungen (Folgen):**

- Zusammenführung der Einzel- und Gesamtkonstruktion
- Beschleunigung und Verkürzung des Gesamtablaufs
- Beschleunigung des Änderungsablaufs
- Verlagerung und Reduzierung von zeit- und kostenintensiven Versuchsrealisierungen
- aktuelle Kommunikation von Veränderungen und damit keine späten Folgefehler
- Datenhaltung in einem Datensatz mit Historienverwaltung und Änderungsnachvollziehbarkeit

Abbildung 57: Beispiele an Potenzialen durch Digitalisierung des Prozesses

## 10.6 Zusammenhänge in Prozessen

In den folgenden Tabellen sind die Abhängigkeiten zwischen den Prozessfunktionen aufgelistet (vgl. Tabelle 36 und Tabelle 37). Der Fokus liegt bei dieser Betrachtung auf den Zusammenhängen. Im Besonderen auf den Abhängigkeiten der Informationstechnologie (CAx-Technologie) und den Prozessfunktionen. Daher werden bei den Betrachtungen, besonders die Abhängigkeiten und Veränderungen analysiert. Es wird die sequenzielle und parallele Anordnung in Verbindung mit 10 verschiedenen möglichen Fällen diskutiert. Handelt es sich um Prozessfunktionen, in denen die Elemente verschieden sind, dann besteht nur durch den Inhalt der Prozessfunktionen eine Bedingung für eine sequenzielle Anordnung. Alle weiteren Zustände werden in der Tabelle diskutiert.

In Tabelle 36 hängt beispielsweise der Output der ersten Prozessfunktion ( $Out_1$ ) mit der Informationstechnologie des anknapfenden Schrittes folgendermaßen zusammen: Wenn der Fall 1 (F1) besteht, dann ist der Output ( $Out_1$ ) notwendig für den Beginn der zweiten Prozessfunktion ( $F_2$ ). Daraus ergibt sich, dass eine Notwendigkeit ( $Not_{11}$ ) an Informationen (inhaltlicher Art) besteht. D. h., dass eine Funktion nicht ohne diese Information durchgeführt werden kann. Zudem besteht die Notwendigkeit ( $Not_{21}$ ) an Informationen (zeitlicher Art), d. h., dass eine Funktion ohne diese Information nicht gestartet werden kann. Wenn der entscheidende Fall 2 (F2) vorhanden ist, dann ist der Output 1 ( $Out_1$ ) nicht notwendig für den Start und die Bearbeitung der zweiten Funktion ( $F_2$ ).

	In <sub>2</sub>	Out <sub>2</sub> T <sub>2</sub>	Org <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>
In <sub>1</sub>	--	--	--	--
Out <sub>1</sub>	F1: ist gleich → Abhängigkeit der Schritte	Bei F1: out <sub>1</sub> ist notwendig für Beginn von F <sub>2</sub> mit T <sub>2</sub> → not <sub>1,1</sub> und not <sub>1,1</sub>		Bei F1: out <sub>1</sub> ist notwendig für Beginn von F <sub>2</sub> → not <sub>1,1</sub> und not <sub>1,1</sub>
	F2: ist ungleich → Andere Faktoren sind für die seq. Anordnung zuständig	Bei F2: out <sub>1</sub> ist nicht notwendig für Start und Bearbeitung von F <sub>2</sub>		Bei F2: out <sub>1</sub> ist nicht notwendig für Start und Bearbeitung von F <sub>2</sub>
T <sub>1</sub>	Bei F1: ist T <sub>1</sub> notwendig für den Erhalt von In <sub>2</sub> → Not <sub>1,1</sub> ; Not <sub>1,1</sub>	<b>F3: gleich</b> → F9, F5, F6	Bei F9: es muss F5 sein, da Org <sub>2</sub> auch F <sub>2</sub> auszuführen hat → Not <sub>0,1</sub>	Bei F3: → F9 Bei F4: → T <sub>1</sub> kann Grund für F10 sein
	Bei F2: ist T <sub>1</sub> nicht notwendig für In <sub>2</sub> → Un <sub>1,1</sub>	<b>F4: ist ungleich</b> → F1 mit Not <sub>0,1</sub> , F5	Bei F10: → es muss F5 sein, da Org <sub>1</sub> auch F <sub>2</sub> auszuführen hat → Not <sub>0,1</sub>	
Org <sub>1</sub>	--	Bei F9: es muss F5 sein, da Org <sub>1</sub> auch F <sub>2</sub> auszuführen hat → Not <sub>0,1</sub>		Bei F6: → F9 Bei F5: → Org <sub>1</sub> kann F2 nicht durchführen → F10
		Bei F10: → es muss F5 sein, da Org <sub>1</sub> auch F <sub>2</sub> auszuführen hat → Not <sub>0,1</sub>	<b>F5: ist gleich</b>	
F <sub>1</sub>	Bei F1: ist F <sub>1</sub> ist notwendig für den Erhalt von In <sub>2</sub>	Bei F10: → F4 kann Grund für F10 sein	<b>F6: ist ungleich</b>	
	Bei F2: F1 ist nicht notwendig für In <sub>2</sub>		Bei F9: F <sub>1</sub> kann nicht von Org <sub>2</sub> durchgeführt werden → F6 Bei F10: F <sub>1</sub> kann nicht von Org <sub>2</sub> durchgeführt werden → F6	<b>F9: verschieden</b> → müssen nacheinander durchgeführt werden <b>F10: gleich</b> → müssen nacheinander durchgeführt werden

Legende: Fi: Fall (i); Ini: Input (i); Outi: Output (i); Ti: Informationstechnologie (i); Wi: Wissen (i); 1: Prozessfunktion 1;  
2: Prozessfunktion 2

Tabelle 36: Abhängigkeiten sequenzieller Anordnung

	In <sub>2</sub>	Out <sub>2</sub>	T <sub>2</sub>	Org <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>
In <sub>1</sub>	F1: ist gleich		--	--	Bei F13: es kann F1 und F2 sein.
	F2: ist ungleich				
Out <sub>1</sub>	--	--	--	--	--
T <sub>1</sub>	--	--	<b>F5: ist gleich</b> → Umfang von F <sub>1</sub> und F <sub>2</sub> zu groß für nur eine Funktion	Bei paralleler Anordnung gilt F8	Bei F13 und F5 → not <sub>t,z1</sub> not <sub>t,z2</sub> Bei F13 und F6 → not <sub>t,z1</sub> not <sub>t,z2</sub> Bei F14 und F5 → not <sub>t,z1</sub> not <sub>t,z2</sub> Bei F14 und F6 → not <sub>t,z1</sub> not <sub>t,z2</sub>
			<b>F6: ist ungleich</b> → F13		
Org <sub>1</sub>	--	--	Bei F13: T2 kann von Org1 nicht ausgeführt werden Bei F14:	--	Bei paralleler Anordnung gilt F8
				<b>F8: ist ungleich</b>	
F <sub>1</sub>	--	--	Bei F13 und F5 → not <sub>t,z1</sub> not <sub>t,z2</sub> Bei F13 und F6 → not <sub>t,z1</sub> not <sub>t,z2</sub> Bei F14 und F5 → not <sub>t,z1</sub> not <sub>t,z2</sub> Bei F14 und F6 → not <sub>t,z1</sub> not <sub>t,z2</sub>	Bei paralleler Anordnung gilt F8	F13: sind gleich
					F14: sind ungleich

Tabelle 37: Abhängigkeiten paralleler Anordnung

Legende: Fi: Fall i(); Ini: Input (i); Outi: Output (i); Ti: Informationstechnologie (i); Wi: Wissen (i); 1: Prozessfunktion 1;  
2: Prozessfunktion 2



Grundart	PARALLELE					SEQUENZIELLE				
	A	B	C	D	E	F	G	H		
1	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten	2F 1A	2F 2A	(2+x)F 1A	1F 1A	2F 1A	2F 2A	(2+x)F 1A		
2	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten	2F → 3F Anordnung bleibt → Fall H 2F → 4F	Grundanordnung ist parallel sequenziell! 2F → 3F Bei 2A, parallele mit 1A als sequenzielle Anordnung 2F → 4F	Grundanordnung ist sequenziell 2+x F → 2*(2+x) F bei 1A; sequenzielle Anordnung bleibt	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten	Grundanordnung ist sequenziell! 2F → 3F Bei 1A, sequenzielle Anordnung bleibt → Fall H 2F → 4F	Grundanordnung ist parallel Bei 2A, parallele Anordnung mit 1A als sequenzielle Anordnung 2F → 4F	Grundanordnung ist sequenziell 2+x F → 2*(2+x) F		
3	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten	2F → 3F Bei 1A; sequenzielle Anordnung bleibt → Fall H 2F → 4F	Grundanordnung ist parallel sequenziell! 2F → 3F Bei 2A, parallele mit 1A als sequenzielle Anordnung 2F → 4F	Grundanordnung ist sequenziell 2+x F → 2*(2+x) F bei 1A; sequenzielle Anordnung bleibt	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten	Grundanordnung ist sequenziell! 2F → 3F Bei 1A, sequenzielle Anordnung bleibt → Fall H 2F → 4F	Grundanordnung ist parallel Bei 2A, parallele Anordnung mit 2A als sequenzielle Anordnung unterschiedliche oder gleicher Anzahl an F in einem seq. Abschnitt → Fall G	Grundanordnung ist sequenziell 2+x F → 2*(2+x) F		
4	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten	2F → 3F Bei 1A; sequenzielle Anordnung bleibt bestehen → Fall H	Grundanordnung ist parallel sequenziell! 2F → 3F Bei 2A, parallele mit 1A als sequenzielle Anordnung 2F → 4F	Grundanordnung ist sequenziell 2+x F → 2*(2+x) F bei 1A; sequenzielle Anordnung bleibt	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten	Grundanordnung ist sequenziell! 2F → 3F Bei 1A, sequenzielle Anordnung bleibt → Fall H 2F → 4F	Grundanordnung ist parallel Bei 2A, parallele Anordnung mit 2A als sequenzielle Anordnung unterschiedliche oder gleicher Anzahl an F in einem seq. Abschnitt → Fall G	Grundanordnung ist sequenziell 2+x F → 2*(2+x) F		
5	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten	2F → 3F Bei 1A; sequenzielle Anordnung bleibt bestehen → Fall H	Grundanordnung ist parallel sequenziell! 2F → 3F Bei 2A, parallele mit 1A als sequenzielle Anordnung 2F → 4F	Grundanordnung ist sequenziell 2+x F → 2*(2+x) F bei 1A; sequenzielle Anordnung bleibt	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten	Grundanordnung ist sequenziell! 2F → 3F Bei 1A, sequenzielle Anordnung bleibt → Fall H 2F → 4F	Grundanordnung ist parallel Bei 2A, parallele Anordnung mit 2A als sequenzielle Anordnung unterschiedliche oder gleicher Anzahl an F in einem seq. Abschnitt → Fall G	Grundanordnung ist sequenziell 2+x F → 2*(2+x) F		
6	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten	2F → 3F Bei 1A; sequenzielle Anordnung bleibt bestehen → Fall H	Grundanordnung ist parallel sequenziell! 2F → 3F Bei 2A, parallele mit 1A als sequenzielle Anordnung 2F → 4F	Grundanordnung ist sequenziell 2+x F → 2*(2+x) F bei 1A; sequenzielle Anordnung bleibt	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten	Grundanordnung ist sequenziell! 2F → 3F Bei 1A, sequenzielle Anordnung bleibt → Fall H 2F → 4F	Grundanordnung ist parallel Bei 2A, parallele Anordnung mit 2A als sequenzielle Anordnung unterschiedliche oder gleicher Anzahl an F in einem seq. Abschnitt → Fall G	Grundanordnung ist sequenziell 2+x F → 2*(2+x) F		
7	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten	2F → 3F Bei 1A; sequenzielle Anordnung bleibt bestehen → Fall H	Grundanordnung ist parallel sequenziell! 2F → 3F Bei 2A, parallele mit 1A als sequenzielle Anordnung 2F → 4F	Grundanordnung ist sequenziell 2+x F → 2*(2+x) F bei 1A; sequenzielle Anordnung bleibt	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten	Grundanordnung ist sequenziell! 2F → 3F Bei 1A, sequenzielle Anordnung bleibt → Fall H 2F → 4F	Grundanordnung ist parallel Bei 2A, parallele Anordnung mit 2A als sequenzielle Anordnung unterschiedliche oder gleicher Anzahl an F in einem seq. Abschnitt → Fall G	Grundanordnung ist sequenziell 2+x F → 2*(2+x) F		

Funk. = Funktion – Ein Abschnitt kann aus einer oder mehreren Funktionen gebildet sein. Aktionen (nur eine Funktionsänderung)

In diese Tabelle verändern sich durch die Informationstechnologie nur die Prozessfunktionen aber die Prozess-Abschnitte bleiben bestehen:

Grundart		PARALLELE					SEQUENZIELL				
Funktionen	A	B	C	D	E	F	G	H			
<b>Funktionen</b>	1 F	2 F	2 F	(2+x) F	1 F	2 F	2 F	(2+x) F			
<b>Abschnitte</b>	1 A	1 A	2 A	1 A	1 A	1 A	2 A	1 A			
<b>1 Zerlegen (eine Funktion!)</b>	1F → 2F Fall F kann nun eintreten	Grundanordnung 2F u. 1A ist sequenziell! 2F → 3F bei 1A: sequenzielle Anordnung bleibt → Fall H bei 1A: sequenzielle Anordnung als Fall H	Grundanordnung ist parallel 2F → 3F bei 2A: parallele Anordnung mit 1A als sequenzielle Anordnung 2F → 4F bei 2A: parallele Anordnung als sequenzielle Anordnung (unterschiedlicher oder gleicher Anzahl an F in einem seq. Abschnitt → Fall G)	Grundanordnung ist sequenziell 2+x F → 2'(2+x) F	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten	Grundanordnung ist sequenzielle! 2F → 3F bei 1A: sequenzielle Anordnung bleibt bestehen → H 2F → 4F bei 1A: sequenzielle Anordnung bleibt bestehen → H	Grundanordnung ist parallel bei 2A: parallele Anordnung mit 1A als sequenzielle Anordnung 2F → 4F bei 2A: parallele Anordnung mit 1A als sequenzielle Anordnung (unterschiedlicher oder gleicher Anzahl an F in einem seq. Abschnitt → Fall G)	2+x F → 2'(2+x) F			
<b>2 Zusammenfügen</b>	2F → 1F → Fall A	2F → 1F → Fall A	2F → 1F → Fall A	(2+x) F → (1+x) F → Fall B oder C	2F → 1F → Fall E	2F → 1F → Fall E	2F → 1F → Fall E	(2+x) F → (1+x) F → Fall F oder G			
<b>3 Veränderung Reihenfolge</b>				nur in einem Abschnitt möglich und damit sequenzielle Veränderung		Sequenzielle Anordnung bleibt weiter bestehen aber Reihenfolge verändert sich		Sequenzielle Anordnung bleibt weiter bestehen			
<b>4 Einfügen/ (Neu)</b>	1F → 2F → Fall B oder F kann nun eintreten	2F → 3F bei 1A: sequenzielle Anordnung bleibt → H	2F → 3F bei 2A: parallele Anordnung mit 1A als sequenzielle Anordnung	(2+x) f → (3+x) F → Sequenzielle Anordnung in einem Abschnitt	1F → 2F Fall B oder F kann nun eintreten	2F → 3F bei 1A: sequenzielle Anordnung bleibt → Fall H	2F → 3F bei 2A: parallele Anordnung mit 1A als sequenzielle Anordnung	(2+x) f → (3+x) F Beim Einfügen einer weiteren Funk. wird die sequenzielle Anordnung nicht verändert.			
<b>5 Verlagern (bestehend)</b>			2A zu 1A → B1	Wenn drei Funktionen parallel waren wird eine Parallelität aufgelöst. Bei 2 A vorgegangen			2A zu 1A → Fall B	Voraussetzung ist ein paralleler Abschnitt und damit → Fall B			
<b>6 löschen</b>	2F → 1F → Fall A oder E	2F → 1F → Fall A oder E	2F → 1F → Fall A oder E	1+x Funk.		2F → 1F → Fall A oder E	2F → 1F → Fall A oder E	→ 1+x Funk.			
<b>7 Auslagern</b>	2F → 1F → Fall A oder E	2F → 1F → Fall A oder E	2F → 1F → Fall A oder E	1+x Funk.		2F → 1F → Fall A oder E	2F → 1F → Fall A oder E	→ 1+x Funk.			
Funk. = Funktion		-- Ein Abschnitt kann aus einer oder mehreren Funktionen gebildet sein. <b>Aktionen</b> (nur eine Funktionsänderung)									

Die Tabelle zeigt die Veränderungen durch eine Informationstechnologie von der Prozessfunktion (F), wenn die Anordnung (A) bestehen bleibt und wenn die Grundarten (parallel oder sequenziell) am Anfang bestehen!

Die Auswirkungen durch Veränderungen bei der Prozessgestaltung (z. B. Zerlegen, Zusammenführen, Auslagern etc.) hinsichtlich der Anordnung und Anzahl der Prozessfunktionen werden in den drei Tabellen von Abbildung 24 diskutiert. Die Tabellen dienen zur Unterstützung der Gestaltung von Teilprozessen. Betrachtet werden die innere wie äußere Anordnungen bei Veränderung der Prozessfunktion durch informationstechnologische Veränderungen. Es handelt sich um eine unterstützende Matrix von Prozessgestaltungsmöglichkeiten durch Informationstechnologien. In der folgenden Tabelle ist die Legende zu Tabelle 36, Tabelle 37 und Abbildung 24 aufgeführt:

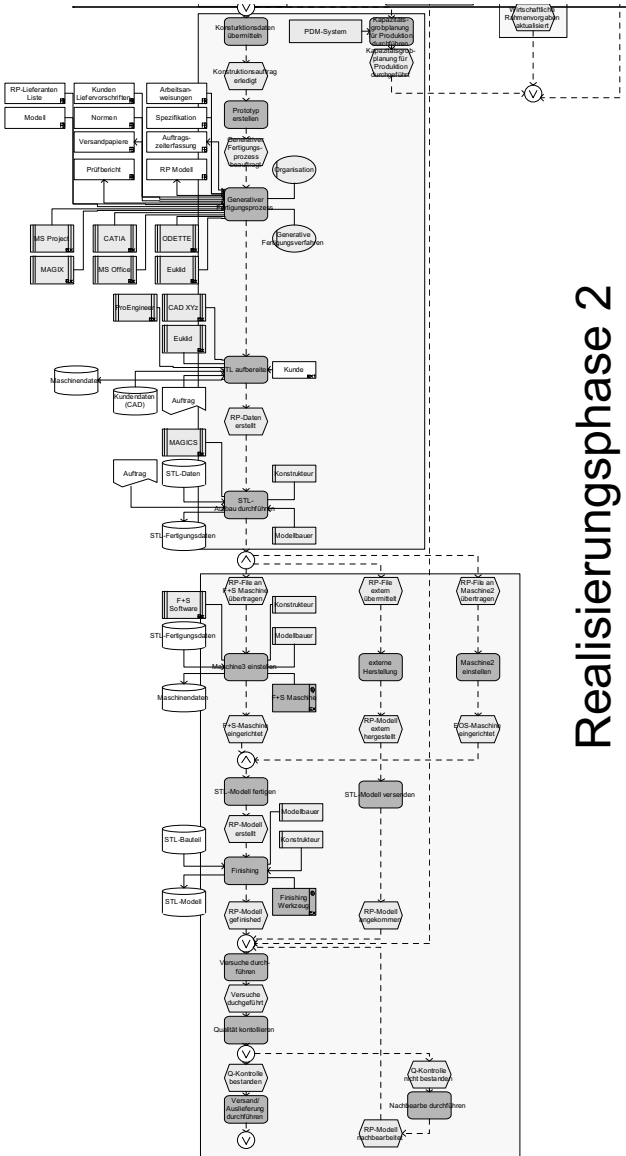
Notwendigkeit	▪ Notwendige Information (inhaltlich) Funktion kann ohne diese Info (inhaltlich) nicht <u>durchgeführt</u> werden	Not <sub>i</sub>
	▪ Notwendige Information (zeitlich) Funktion kann ohne diese Info nicht <u>gestartet</u> werden	Not <sub>z</sub>
	▪ Notwendig (informationstechnologisch; inhaltlich) CAx-Technologie ist zwingend zur <u>Durchführung</u> der Funktion notwendig	Not <sub>ti</sub>
	▪ Notwendig (informationstechnologisch; zeitlich) CAx-Technologie ist zwingend zum Start der Bearbeitung der Funktion notwendig	Not <sub>tz</sub>
	▪ Notwendig (organisatorisch) Ressource muss Funktion durchführen und Prozessanordnung ist davon abhängig	Not <sub>o</sub>
Gebrauchlichkeit	▪ Brauchbare Information (inhaltlich) Funktion kann auch ohne diese Information erfüllt werden	Bra <sub>i</sub>
	▪ Brauchbare Information (zeitlich) Funktion kann durch Informationen schon früher die Einflüsse berücksichtigen	Bra <sub>z</sub>
	▪ Brauchbar (informationstechnologisch; inhaltlich) CAx-Technologie ist zur unterstützend zur <u>Durchführung</u> der Funktion	Bra <sub>ti</sub>
	▪ Brauchbar (informationstechnologisch; zeitlich) CAx-Technologie kann die Bearbeitungsgeschwindigkeit beschleunigen	Bra <sub>tz</sub>
	▪ Brauchbar (organisatorisch) Ressource kann Funktion durchführen, die Prozessanordnung kann davon betroffen sein	Bra <sub>o</sub>
Unnötigkeit	▪ Unnötige Information (zeitlich) Funktion benötigt Info zu diesem Zeitpunkt nicht	Un <sub>z</sub>
	▪ Unnötige Information (inhaltlich) Funktion benötigt Info nicht	Un <sub>i</sub>
	▪ Unnötig (informationstechnologisch; inhaltlich) Funktion ist unabhängig von der CAx-Technologie	Un <sub>ti</sub>
	▪ Unnötig (informationstechnologisch; zeitlich) CAx-Technologie behindert den Start nicht	Un <sub>tz</sub>
	▪ Unnötig organisatorisch Ressource ist unnötig, die Prozessanordnung ist davon unabhängig	Un <sub>o</sub>
Notwendigkeit	Not	
Brauchbarkeit	Bra	
Unnötigkeit	Un	
zeitlich	z	
inhaltlich	i	
technologisch	t	
organisatorisch	o	
→	Die Folge ist ...	

Tabelle 38: Legende zu Tabelle 36, Tabelle 37 und Abbildung 24

Abschnitt (Bereich)	Beschreibung	Abhängigkeit von Abschnitt	Voraussetzungen für eine parallele Anordnung	Voraussetzungen für eine sequenziell Anordnung	Möglicher IT-Einsatz z. B.:
Teile-Konstruktion (Einzelprozess)	Besteht aus einzelnen Arbeitsschritten die zur Konstruktion und statischen Berechnung eines Teiles eines Produktes beitragen.	abgänglich von anderen Teile-Konstruktionen	Eine parallele Anordnung ist nur möglich, wenn einzelne Aktivitäten der unterschiedlichen Abschnitte nicht aufeinander aufbauen.	Zwingend, wenn die Funktionen aufeinander aufbauen Eine sequenzielle Anordnung ist unumgänglich, wenn zwei Prozessfunktionen von einer Ressource ausgeführt werden.	Konstruktionssoftware Visualisierungssoftware Produkt Daten Management
Berechnung (Simulation)	Die Berechnung ist die computergestützte Untersuchung an einem digitalen Modell. Ziel ist es die realen Tests zu ersetzen.	Teile-Konstruktion	Parallelität der Elemente (Aktivitäten) nur möglich, wenn Aktivitäten nicht aufeinander aufbauen. Zeitreduktion des Abschnittes	Zwingend, wenn die Funktionen aufeinander aufbauen oder, wenn die Funktionen von einer Ressource ausgeführt werden	Konstruktionssoftware, Berechnungsprogramme, Visualisierung, PDM, EDM, PPS
Integrierte Konstruktion Kopplung verteilt (DMU)	Aus verschiedenen Konstruktionsprozessen gebildet. Ist ein Spezialfall durch Kopplung zweier Konstruktionsprozesse. Die Kopplung erfolgt durch die Produktstruktur (Verlinkung von Bauteilelementen).	Unterschiedliche Konstruktionsprozesse	Integration (Ständige Wechselwirkungen) nur möglich wenn Abschnitte nicht aufeinander aufbauen. Fehler können durch eine frühzeitige Integration vermieden werden.	Nötig, wenn nicht separat entwickelt werden kann, da auf den Ergebnissen eines anderen Konstruktionsprozesses aufgebaut wird. Keine positiven Wechselwirkungen.	CAX, EDM, PDM, DMS,
Abstimmung	Unterbrechung des Konstruktionsprozesses zur Kontrolle, Neuausrichtung	Unterschiedliche Konstruktionen	Kann parallel als Eintaktungsschleifen definiert werden.	Zwingend, wenn die Funktionen von einer Ressource ausgeführt werden	CSCW Systeme, VoIP, Videokonferenz,
Review u. Zwischen Review	Bestimmtes Vorgehen zur Analyse und „Einfrierung“ der Ergebnisse	Konstruktion, Visualisierung Abstimmung	paralleler Prozess, der separiert vom Konstruktionsprozess ist.	Meistens sequenzielle Eintaktung. Vor allem bei sog. Hauptreviews	Power Wall, CAVEE,
Visualisierung	Prozess zur Darstellung der Ergebnisse. Läuft parallel aber dennoch integriert ab. Er ist die Grundlage für Ergebnisinterpretation u. Abstimmung	Konstruktion, Kopplung	Als paralleler Prozess, dann erfolgt eine automatische Integration.	Sequenzieller Prozess, wenn die Ergebnisse nicht automatisch aufbereitet werden können.	VR mit Power Wall, Cavee, 3D Bildschirm, VR Arbeitsplatz, etc.

Tabelle 39: Beispiele der Ausprägungen und Abhängigkeiten von Prozessschritten





Realisierungsphase 2

Abbildung 58: Beispielhafte Darstellung des Ist-Prozesses – Teil 2

In den folgenden Abbildungen sind die Soll-Zustände von Unternehmen 1 und Unternehmen 2 abgebildet.

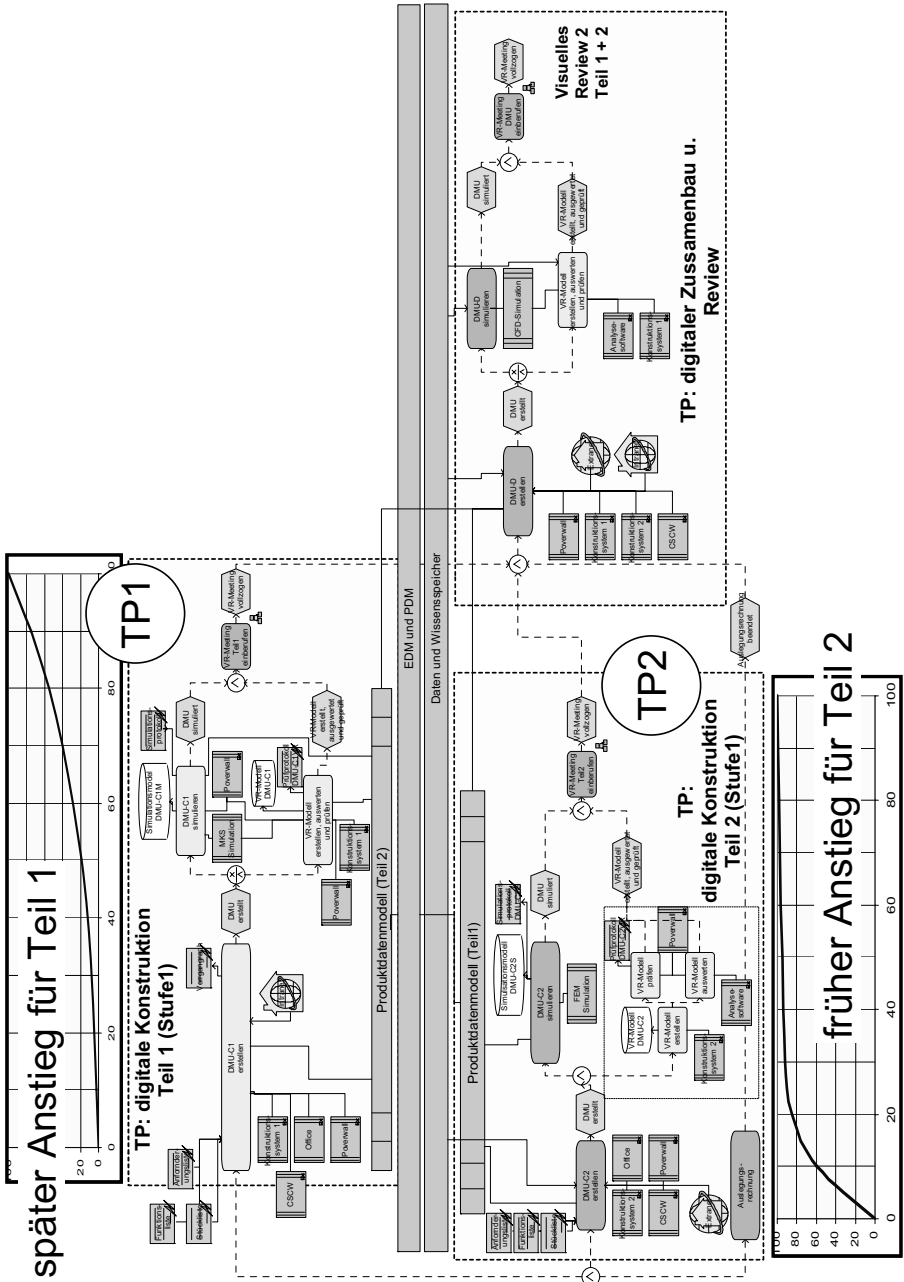


Abbildung 59: Beispielhafte Darstellung eines veränderten Prozesses (Ausschnitt des 2. Unternehmens)

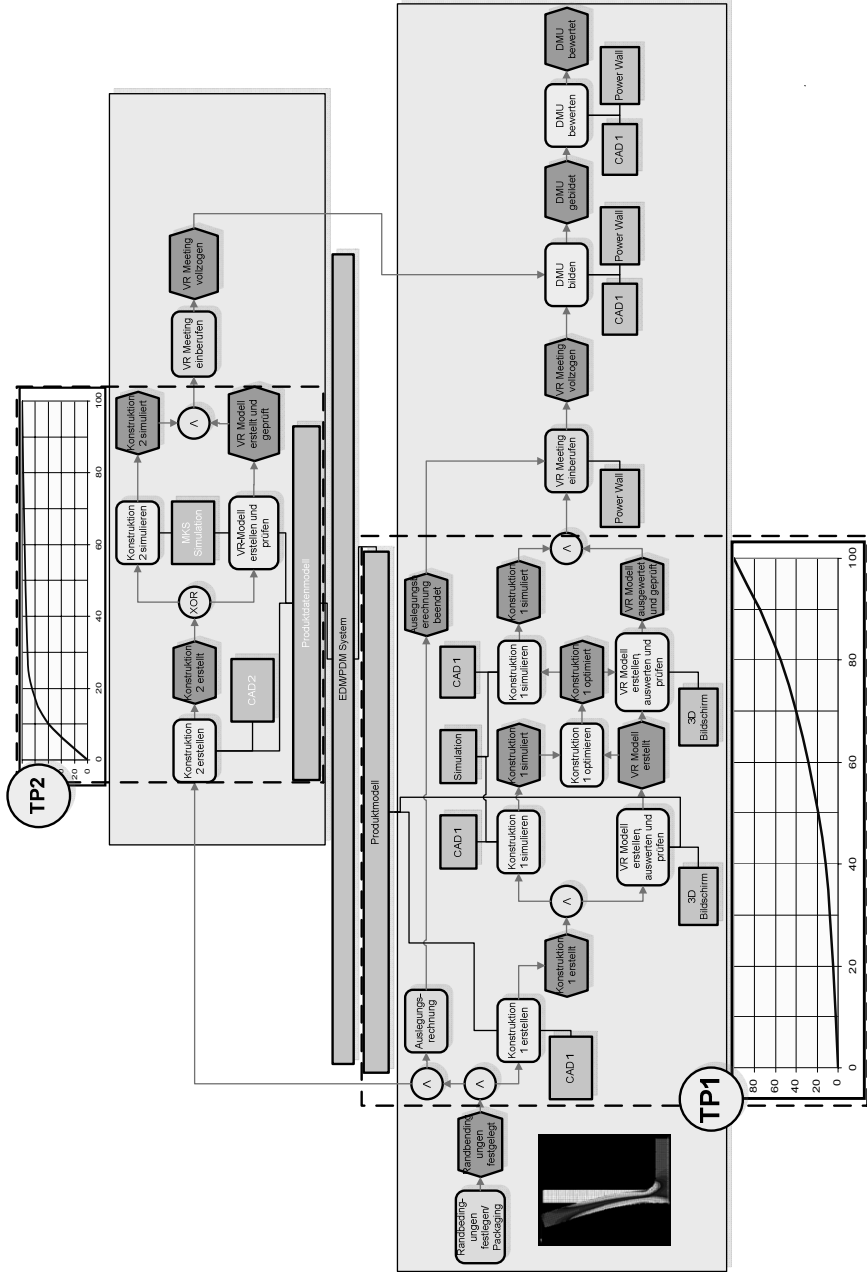


Abbildung 60: Beispielhafte Darstellung eines veränderten Prozesses (Ausschnitt des 1. Unternehmens)

## 10.8 Ergebnis: Qualitatives Prozess-Bewertungsschema

In der folgenden Tabelle 40 ist das Ergebnis der qualitativen Bewertung des Ist-Zustandes dargestellt.

Fragestellungen zu Teilbereichen			Potential [1 = gering - 3 = hoch]	
<b>Informationstechnologien</b>			ges.	1,50
<b>Qualität</b>			ges.	1,00
Bei Inkompatibilität führt der Einsatz zu weniger Transparenz als ohne Tool				1,00
	Anzahl der DV- und Medien Schnittstellen	1 = keine 2 = 1 bis 3 3 = größer 3	1	Vereinheitlichung der DV-Welt, Erfassung der verschiedenen Systeme und ihrer Funktionen
	Anzahl unterschiedlicher Systeme	1 = nur 1 System vorhanden 2 = 1 zusätzliches System 3 = größer 2 Systeme	1	
<b>Fehlermanagement</b>				1,00
	Anzahl Datenverluste im Projekt	1 = 0 2 = 1 bis 2 3 = größer 2	1	Fehlermanagement, Sicherungssystem, Doppelte Speicherung
	Notfallstrategie vorhanden	1 = institutionalisiert 2 = personenabhängig 3 = nicht vorhanden	1	
<b>Zeit</b>			ges.	2,00
Zeitverlust bei Problemen ohne Experten mit Tool-Know-How				2,00
	Anteil Leerzeit durch Toolprobleme an Gesamtleezeit	1 = 0% bis 5% 2 = 6% bis 15% 3 = größer 15%	2	Experten-Bereitschaftsdienst, Ausbildung der Mitarbeiter
<b>Dokumentation und Datenspeicherung</b>			ges.	1,75
<b>Qualität</b>			ges.	2,00
Kontinuierliche Verbesserung				2,00
	Ablauf zur kontinuierlichen Verbesserung	1 = implementiert 2 = konzipiert 3 = nicht vorhanden	2	Entscheidung für Wissensmanagement-System, einheitliche Formular-System, Layout, Verpflichtung zur Entwicklungsdokumentation, Mitarbeitern Bedeutung von WiMa erläutern
<b>Zeit</b>			ges.	1,50
Primär: einfacher Zeitaufwand				1,00
	Verhältnis Zeit für Dokumenterstellung zur Gesamtentwicklungszeit	1 = kleiner 1% 2 = von 1% bis 2% 3 = größer 2%	1	Akzeptieren, Formular-Standardisierung
Sekundär: potenzierte Zeitersparnis				2,00
	Verhältnis Zeit für Dokumenterstellung zur eff. Dokumentnutzung	1 = kleiner 50% 2 = 50% bis 100% 3 = größer 100%	2	Minimieren durch Standardisierung der Dokumentation, Erfassung der Nutzungszeiten
<b>Standardisierung (Prozesse, Systemeinsatz, etc)</b>			ges.	1,50
<b>Qualität</b>			ges.	1,50
Einzellösungen				2,00
	Anzahl Sonderfälle in den Prozessen	1 = 0 bis 1 2 = 2 bis 3 3 = größer 3	2	Vermeiden, bestehende Standards nutzen
<b>Synergie</b>				1,50
	Anzahl von Prozessschnittstellen in Teilprozess	1 = 0 bis 1 2 = 2 bis 3 3 = größer 3	2	Ausnutzen, Teambildung, Teamentwicklung, bei nötigen Schnittstellen Informationsflüsse genau festlegen
	Anzahl von Prozessschnittstellen im Hauptprozess	1 = 0 bis 1 2 = 2 bis 3 3 = größer 3	1	
<b>Informationsaustausch</b>				1,00
	Anzahl von Kommunikationsschleifen	1 = 0 bis 1 2 = 2 bis 3 3 = größer 3	1	Abbildung und Analyse der Informationsflüsse

Tabelle 40: Prozessbewertungskatalog (qualitativ)

<b>Zeit</b>			ges.	2,00	
Automatisierung der Zeitplanung				2,00	Prozesszeit Kataloge einsetzen, Einhaltungsgad der Richtzeiten erfassen
	Einsatz von Projektplanungstools	1 = durchgängig 2 = personenabhängig 3 = nein	2		
<b>Flexible Entwicklungsstruktur/ Reaktionszeit</b>			ges.	1,38	
<b>Qualität</b>			ges.	1,75	
Verbesserungen einfacher durchsetzen				1,75	Standardisierter Einfluss von Verbesserungsvorschlägen
	Anzahl der notwendigen Genehmigungen je Verbesserung	1 = 0 bis 1 2 = 2 bis 3 3 = größer 3	2		
	Verbesserungs-Vorschlagssystem	1 = durchgängig 2 = personenabhängig 3 = nein	2		
	Bonussystem, Wettbewerb	1 = durchgängig 2 = personenabhängig 3 = nein	1		
	Kapazitätseinsatzplanung	1 = Planung durch Prozessteam 2 = Planung durch Vorgesetzten 3 = zentrale Einsatzplanung	2		
<b>Zeit</b>			ges.	1,00	
Geringere Reaktionszeit				1,00	Analyse der Umsetzungszeit von Verbesserungen mittels Prozesskostenrechnung
	Anteil Zeitaufwand des Entwicklers für Informationsweitergabe im Teilprozess an Gesamtarbeitszeit	1 = 0% bis 10% 2 = 10% bis 20% 3 = größer 20%	1		
<b>Entwicklungs-Fehlermanagement</b>			ges.	1,13	
<b>Qualität</b>			ges.	1,25	
Kontinuierliche Verbesserung				1,00	
	Einsatz eines Produktverbesserungssystems	1 = standardisiert 2 = sporadisch 3 = kein Einsatz	1		
	Wissensmanagement-System	1 = standardisiert 2 = sporadisch 3 = kein Einsatz	1		
Erkennen von Fehlern				1,50	
	Einsatz von Fehlererkennungssystemen oder Methoden (FMEA)	1 = standardisiert 2 = sporadisch 3 = kein Einsatz	2		
	Prototyping,	1 = standardisiert 2 = sporadisch 3 = kein Einsatz	3		
	Fehlervermeidungssysteme oder Methoden (Digital Review)	1 = standardisiert 2 = sporadisch 3 = kein Einsatz	1		
<b>Zeit</b>			ges.	1,00	
schnelle Reaktionsfähigkeit				1,00	Informationsflussanalyse
	Durchschnittlicher Zeitaufwand durch Fehler	1 = < Woche 2 = 1 Wo 3 = > 1 Wo pro Fehler	1		

Tabelle 40: Prozessbewertungskatalog (qualitativ) – Teil 2

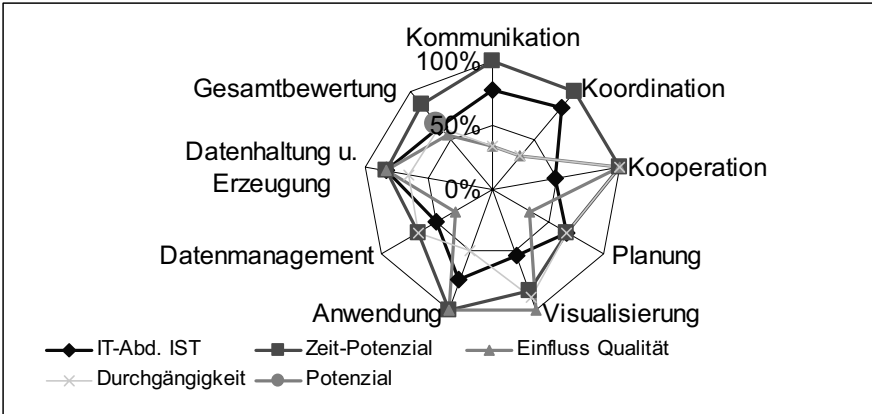
In Tabelle 41 ist die qualitative Bewertung des Informationsflusses des Anwendungsbeispiels dargestellt. Bewertet wurden die Auswirkungen auf die Informationsweitergabe und des Zeitaufwandes.

<b>Potenzialfaktor</b>	Potenzial [1 = gering - 3 = hoch]	1,83
<b>Informationsweitergabe</b>		1,67
Informationsangebot	1 = nicht vorhanden 2 = personenabhängig 3 = institutionalisiert	1
Informationsbedarf	1 = gering 2 = normal 3 = hoch	2
Informationsweitergabe	1 = nicht vorhanden 2 = personenabhängig 3 = institutionalisiert	2
<b>Zeitaufwand</b>		2,00
Parallelentwicklungen	1 = gering 2 = mittel 3 = hoch	3
Anteil Leerzeit im Projektablauf	1 = größer 5% 2 = 1-5% 3 = 0%	2
Einsparpotenzial der Entwicklungszeit	1 = unwahrscheinlich 2 = möglich 3 = sehr wahrscheinlich	1

Tabelle 41: Informationsflussbewertung (qualitativ)



**Aggregiertes Ergebnis: Analyse eines Informationstechnologie-Verbundes**



	IT-Abd. IST	Zeit-Potenzial	Einfluss Qualität	Durchgängigkeit	Potenzial
Kommunikation	78%	100%	33%	33%	67%
Koordination	83%	100%	33%	33%	
Kooperation	50%	100%	100%	100%	
Planung	67%	67%	33%	67%	
Visualisierung	56%	83%	100%	89%	
Anwendung	75%	100%	100%	50%	
Datenmanagement	50%	67%	33%	67%	
Datenhaltung u. Erzeugung	83%	83%	83%	67%	
<b>Gesamtbewertung</b>	<b>64%</b>	<b>86%</b>	<b>56%</b>	<b>63%</b>	

Abbildung 62: Ergebnis: Analyse und Potenzialermittlung von Informationstechnologie eines IT-Verbundes für einen Prozessabschnitt (2)

# 10.9 Ergebnis: Quantitative Auswertung eines Teilprozesses

		Prozessphase		Teilprozess		Maschinenkonstruktion													
Bewertung (Auswertung) der Abdeckung und Wichtigkeit eines Systems gegenüber eines Prozessabschnittes Ermittlung der Elemente (Objekt, Aktivitäten) mit der größten Wichtigkeit zur Digitalisierung																			
<b>Prozess - Funktionsblöcke (ein Prozessabschnitt)</b> Grobkonzeption	Produktinformationen (Objekte, Funktionen, Schnittstelle)	Prozesselemente		Inhalte integriertes Produktmodell															
		Baugruppe 1 23	Baugruppe 2 9	Anzahl Produktinformationen 11															
Komplexitätsfaktor	18	50 Elemente																	
<b>IT Abdeckung - quantitativ Entwurf</b>	Element	Funktion	Maschine	Welle	Lager rechts	Lager links	Halterung links	Welle	Drehmoment	Welle	Antrieb	Dämpfung	Kraft	Welle	Kraft	Welle	Kraft	Funktion	
	Versuchsstand	CAD	Datenmodell	Zahnrad	Drehmoment	Kraft	Drehmoment	Zahnrad	Drehmoment	Kraft	Zahnrad	Drehmoment	Kraft	Zahnrad	Drehmoment	Kraft	Zahnrad	Drehmoment	Kraft
	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp	Protyp
	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten	Stand-Aktivitäten
	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen	berechnen
	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen	schriftlich darstellen
	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären	Anforderungen klären
	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren	konvertieren
	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen	beurteilen
	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren	analysieren
kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	kontrollieren, prüfen	
zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	zeichnend darstellen	
organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	
organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	organisieren, planen	
Anzahli Akt.	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Aktivitäten (gesamt)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Anzahl Aktivitäten pro Objekt	4	3	7	0	4	0	5	5	3	5	0	0	0	0	5	4	0	0	
relative Häufigkeit der Aktivitäten bzgl. eines Objektes	22%	17%	39%	0%	22%	0%	22%	22%	13%	22%	0%	0%	0%	0%	56%	44%	0%	0%	
Rang "Objekt"	4	10	3	12	4	12	6	6	11	6	12	12	12	1	2	12	1	2	
Zeitverhältnis für Ausführung, wenn Verhältnis hoch: 3 (1 Woche), mittel: 2 (1 Tag), gering: 1 (1 Std.)	3	1	4	3	1	4	3	1	4	3	1	4	3	1	4	3	1	4	
Gesamtqualität	4	1	4	3	1	4	3	1	4	3	1	4	3	1	4	3	1	4	
Bedeutung (absolut) Zeit und Qualität	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	
System übernimmt die Aktivität = (2)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
System unterstützt die Aktivität = (1)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
System übernimmt die Aktivität nicht (0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Abdeckung durch ein System	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Automatisierungsgrad	240	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
max	30	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
min	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Rang "Aktivität"	40	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
rel. Häufigkeit der Aktivitäten	73%	39%	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Anzahl Aktivitäten	56%	39%	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

Abbildung 63: Bildung und Analyse von Prozessfunktion bzgl. Zeit, Qualität und CAx



## 10.10 Fragebogen: Informationserhebung

Wie wird die Aktivität bezeichnet:	
Verantwortung für Aktivität	
Verantwortung für Durchführung der Aktivität	
Wer muss gegebenenfalls unterrichtet werden?	
Was wird getan?	
Warum wird die Aktivität durchgeführt und wer benötigt das Ergebnis?	
Was sind Auslöser für die Aktivität?	
Welche Voraussetzungen zur Durchführbarkeit der Aktivität müssen gegeben sein?	
Warum wird die Aktivität zu dieser Zeit durchgeführt?	
Dauer der Aktivität:	
Ereignisbezogen oder Termin:	
Spätestes Ende der Aktivität:	
Häufigkeit:	
Wie wird die Qualität des Ergebnisses der Aktivität gemessen?	
Wer bewertet das Ergebnis (Kunde?)	

Tabelle 42: Fragenkatalog (1) - Einzelaktivitäten

Input-/ Output und Bearbeitung							
Beschreibung des Inputs	Lieferant (org.) des Inputs	Bearbeitungs-System bzw. Medium	In welcher Form wird Input verwendet/ Ist eine Konvertierung notwendig?	Was / Wie/ Mit welcher Systemunterstützung?	Beschreibung des Ergebnisses	Kunde (org.) des Outputs	System bzw. Medium

Tabelle 43: Fragenkatalog (2) - Informationsfluss durch eine Einzelaktivität

Sind Abstimmungen/ Unterstützungen während der Aktivität notwendig?	
Beschreibung der Abstimmungen/ Unterstützungen	
Ansprechpartner (Organisation)	
System bzw. Medium	
Verwendung/ Zweck	
Welche Sonderabläufe gibt es?	
Was sind Ursachen/ Auslöser für Sonderabläufe?	
Welche Sonderabläufe resultieren daraus?	

Tabelle 44: Fragenkatalog (3) - spezifische Merkmale einer Einzelaktivität

## 10.11 Beispiele für Reifegradverläufe nach [Noh99]

Reifegradverläufe	Charakteristika
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sehr frühe Realisierung der Funktionen</li> <li>▪ Topologie ebenfalls schneller Anstieg</li> <li>▪ Gleichmäßiger, schneller Reifegradanstieg des Produktes</li> <li>▪ Teile sind dem Gesamtprodukt hinterhergestellt.</li> <li>▪ Logistik und Tätigkeiten folgen.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gleichmäßiges Reifegradverlauf des Gesamtprodukts (Idealverlauf)</li> <li>▪ Funktionen und Logistik schneller als Produkt</li> <li>▪ Teile beginnen erst ab der Mitte auf den Gesamtproduktreifegrad anzusteigen.</li> <li>▪ Logistik und Tätigkeiten beginnen erst zu einem späteren Zeitpunkt.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Gesamtprodukt beginnt erst zur Hälfte anzusteigen, aber dann sehr steil</li> <li>▪ Funktion zu Beginn auf die Hälfte des Gesamten und erst nach gewisser Zeit kommt es wieder zu einem Anstieg.</li> <li>▪ Teile werden erst ab der Hälfte realisiert.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Funktionen, Logistik, Teile und Produkt haben zu Beginn einen steilen Anstieg.</li> <li>▪ Bei 25 % ist ein Plateau.</li> <li>▪ Teile und Produkt haben nach zweitem Plateau nur noch einen leichten Anstieg.</li> </ul>

Tabelle 45: Beispiele für Reifegradverläufe nach Nohe [Noh99]

## 10.12 Werkzeuge: Gestaltung und Bewertung von Teilprozessen

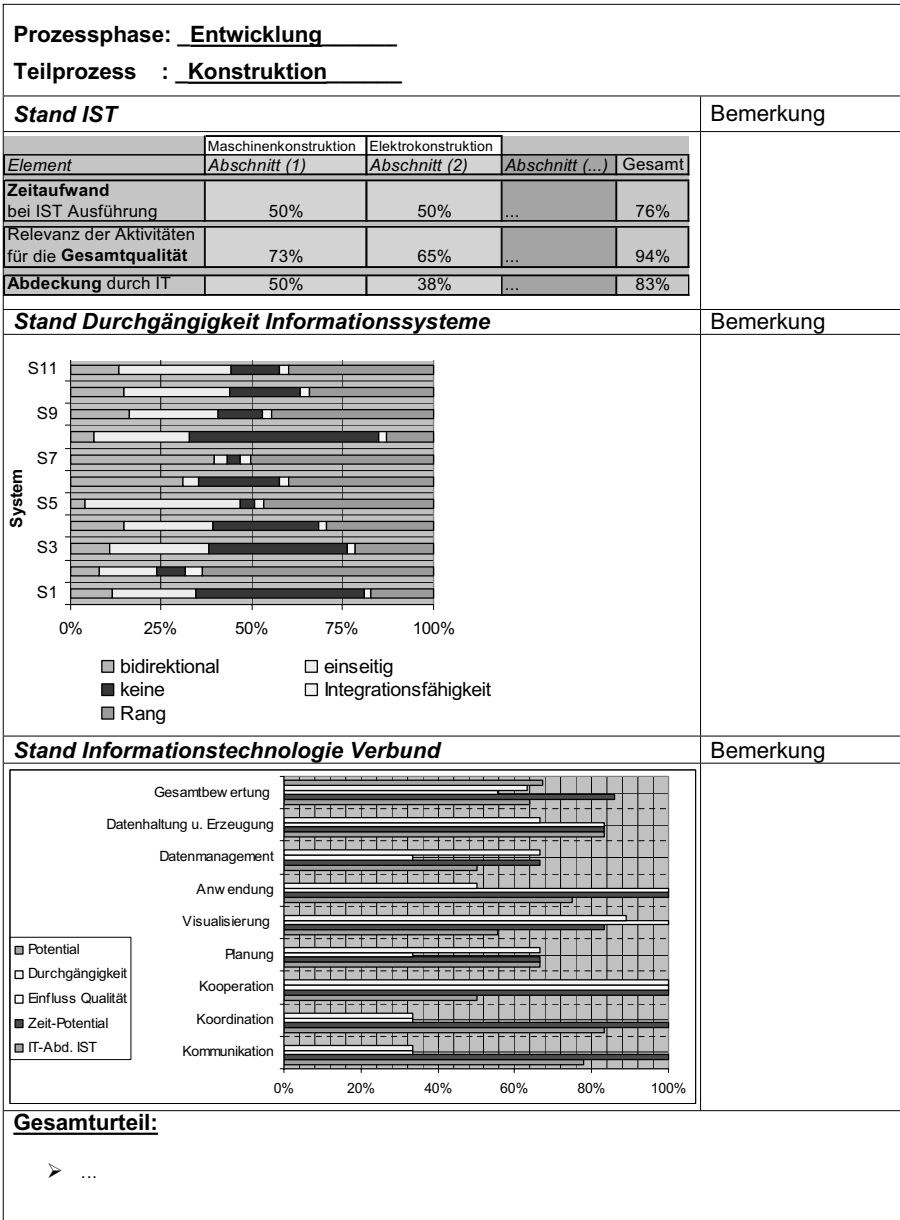


Abbildung 65: Beispiel eines Prozessberichtes

<b>Fragebogen zur Teilprozesserstellung</b>			
	<b>Frage</b>	<b>JA</b>	<b>NEIN</b>
1	Sind die Zielgrößen festgelegt worden?	X	
2	Sind die Prozesse in „handhabbare“ Teilprozesse (Abschnitte) unterteilt?	X	
3	Sind alle Elemente des Teilprozesses beschrieben? <i>(In-/ Output, Werkzeuge, Hilfsmittel, Ressource, Schnittstellen, Wissen)</i>	X	
4	Sind die Elemente (Aufgaben) in einer hierarchischen Struktur eingeteilt um den Reifegrad ermitteln zu können? <i>(Ausgangszustand, Zwischenstände)</i>	X	
5	Sind die Potenziale der IST-Betrachtung und somit die Ansatzpunkte für eine Prozessverbesserung bekannt?	X	
6	Sind die Potenziale der IST-Betrachtung strukturiert und gemäß ihrem Veränderungspotenzial bewertet?	X	
7	Sind die Informationstechnologien der einzelnen Prozessfunktionen (gemäß einer idealtypischen Ausrichtung) vorhanden? <i>(Visualisierung, Kooperation, Koordination, Kommunikation, Datenmanagement, Datenhaltung u. -erzeugung)</i>	X	
8	Sind die informationstechnologischen Vernetzungen bekannt?	X	
9	Sind alle Schnittstellen geklärt? <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strukturabhängigkeiten: Produkt und Prozess</li> <li>• Schnittstellen des Informationsflusses: In- / Output</li> <li>• Datenschnittstellen und Systemschnittstellen</li> </ul>	X	
10	Sind die Alternativen an Informationstechnologien gegeneinander abgewogen worden?		X
11	Ist eine erste Möglichkeit für die Einführung (Abfolge) der neuen Informationstechnologien ermittelt worden?		X
12	Sind alle Änderungen durch informationstechnologische Veränderungen berücksichtigt?		
13			
14			
15			
16			

Tabelle 46: Fragebogen mit Leitfragen zur Teilprozesserstellung

# PROZESS-VERÄNDERUNGS-BERICHT

<p><b>Prozess:</b></p> <hr/> <p><b>Abschnitt:</b></p> <hr/> <p><b>Bearbeiter:</b></p> <hr/> <p><b>Abteilung:</b></p> <hr/>	<p style="text-align: center;"><b>Bewertungsschlüssel - Prozessveränderungen</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Fall</th> <th>Ziele (Digitalisierung) des Prozesses</th> <th>Punkte</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>A</td><td>Automatisierung durch Digitalisierung</td><td>1</td></tr> <tr><td>B</td><td>Vermehrung von Informationen (Transparenz)</td><td>1</td></tr> <tr><td>C</td><td>Reduktion örtlicher Schranken</td><td>1</td></tr> <tr><td>D</td><td>Reduktion zeitlicher Schranken</td><td>1</td></tr> <tr><td>E</td><td>Parallelisierung durch entkoppelte Bearbeitungsmöglichkeit</td><td>1</td></tr> <tr><td>F</td><td>Integration von Informationen</td><td>1</td></tr> <tr><td>G</td><td>Integration von Organisation und Ressourcen</td><td>1</td></tr> <tr><td>H</td><td>Integration von Funktionen und Aufgaben</td><td>1</td></tr> <tr><td>I</td><td>Eliminierung von Schnittstellen</td><td>1</td></tr> <tr><td>J</td><td>Vergrößerung der intellektuellen Verarbeitungskapazität</td><td>1</td></tr> <tr><td>K</td><td>Verbesserte Analyse</td><td>1</td></tr> <tr><td>L</td><td>Qualitätsverbesserung</td><td>1</td></tr> <tr><td>M</td><td>...</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Veränderungen</th> <th colspan="13">Fall</th> <th rowspan="2">BW-Faktor</th> </tr> <tr> <th>A</th><th>B</th><th>C</th><th>D</th><th>E</th><th>F</th><th>G</th><th>H</th><th>I</th><th>J</th><th>K</th><th>L</th><th>M</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1 zerlegen</td><td>o</td><td>x</td><td>-</td><td>o</td><td>x</td><td>o</td><td>-</td><td>-</td><td>x</td><td>o</td><td>x</td><td>o</td><td></td><td>1</td></tr> <tr><td>2 zusammenfassen</td><td>x</td><td>o</td><td>x</td><td>x</td><td>o</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td></td><td>10</td></tr> <tr><td>3 verlagern</td><td>o</td><td>o</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>o</td><td>x</td><td>-</td><td>x</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td>4 eliminieren</td><td>x</td><td>o</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>o</td><td>o</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>o</td><td></td><td>8</td></tr> <tr><td>5 beschleunigen</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>o</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td></td><td>5</td></tr> <tr><td>6 verlangsamen</td><td>o</td><td>x</td><td>o</td><td>x</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>x</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>x</td><td></td><td>4</td></tr> <tr><td>7 eingliedern</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>o</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td></td><td>11</td></tr> <tr><td>8 auslagern</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>x</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td>o</td><td></td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center; font-size: small;">Legende: x = positiv / o = keine Aussage / - = negativ</p> <p style="font-size: small; margin-top: 10px;">Bei einer Veränderung "...", werden die Ziele der Fälle "A bis..." verfolgt und es ergibt sich der BW-Faktor ...</p>	Fall	Ziele (Digitalisierung) des Prozesses	Punkte	A	Automatisierung durch Digitalisierung	1	B	Vermehrung von Informationen (Transparenz)	1	C	Reduktion örtlicher Schranken	1	D	Reduktion zeitlicher Schranken	1	E	Parallelisierung durch entkoppelte Bearbeitungsmöglichkeit	1	F	Integration von Informationen	1	G	Integration von Organisation und Ressourcen	1	H	Integration von Funktionen und Aufgaben	1	I	Eliminierung von Schnittstellen	1	J	Vergrößerung der intellektuellen Verarbeitungskapazität	1	K	Verbesserte Analyse	1	L	Qualitätsverbesserung	1	M	...	1	Veränderungen	Fall													BW-Faktor	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	1 zerlegen	o	x	-	o	x	o	-	-	x	o	x	o		1	2 zusammenfassen	x	o	x	x	o	x	x	x	x	x	x	x		10	3 verlagern	o	o	x	x	x	o	x	-	x	o	o	o		4	4 eliminieren	x	o	x	x	x	o	o	x	x	x	x	o		8	5 beschleunigen	x	x	x	x	x	x	x	x	o	-	-	-		5	6 verlangsamen	o	x	o	x	o	o	o	x	o	o	o	x		4	7 eingliedern	x	x	x	x	o	x	x	x	x	x	x	x		11	8 auslagern	o	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o	o		1
Fall	Ziele (Digitalisierung) des Prozesses	Punkte																																																																																																																																																																																													
A	Automatisierung durch Digitalisierung	1																																																																																																																																																																																													
B	Vermehrung von Informationen (Transparenz)	1																																																																																																																																																																																													
C	Reduktion örtlicher Schranken	1																																																																																																																																																																																													
D	Reduktion zeitlicher Schranken	1																																																																																																																																																																																													
E	Parallelisierung durch entkoppelte Bearbeitungsmöglichkeit	1																																																																																																																																																																																													
F	Integration von Informationen	1																																																																																																																																																																																													
G	Integration von Organisation und Ressourcen	1																																																																																																																																																																																													
H	Integration von Funktionen und Aufgaben	1																																																																																																																																																																																													
I	Eliminierung von Schnittstellen	1																																																																																																																																																																																													
J	Vergrößerung der intellektuellen Verarbeitungskapazität	1																																																																																																																																																																																													
K	Verbesserte Analyse	1																																																																																																																																																																																													
L	Qualitätsverbesserung	1																																																																																																																																																																																													
M	...	1																																																																																																																																																																																													
Veränderungen	Fall													BW-Faktor																																																																																																																																																																																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M																																																																																																																																																																																		
1 zerlegen	o	x	-	o	x	o	-	-	x	o	x	o		1																																																																																																																																																																																	
2 zusammenfassen	x	o	x	x	o	x	x	x	x	x	x	x		10																																																																																																																																																																																	
3 verlagern	o	o	x	x	x	o	x	-	x	o	o	o		4																																																																																																																																																																																	
4 eliminieren	x	o	x	x	x	o	o	x	x	x	x	o		8																																																																																																																																																																																	
5 beschleunigen	x	x	x	x	x	x	x	x	o	-	-	-		5																																																																																																																																																																																	
6 verlangsamen	o	x	o	x	o	o	o	x	o	o	o	x		4																																																																																																																																																																																	
7 eingliedern	x	x	x	x	o	x	x	x	x	x	x	x		11																																																																																																																																																																																	
8 auslagern	o	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o	o		1																																																																																																																																																																																	
<b>Protokoll – Prozessveränderungen (Elemente)</b>																																																																																																																																																																																															
Pos.	Beschreibung Veränderung	Fall	Punkte																																																																																																																																																																																												
1	Prototyp konstruiert und berechnet mit einem System	3	8																																																																																																																																																																																												
2	Integration einer Konvertierungsstation da eine Schnittstelle zwischen einem CAD und einer Visualisierungskomponente → Verlangsamung	6	4																																																																																																																																																																																												
3	Parallelisierung von Teilprozessen Konstruktion 1 und Konstruktion 2	4	8																																																																																																																																																																																												
4	Zusammenfassung der Erfassung, Analyse und Bewertung von Teil 1 in einer Prozessfunktion	2	10																																																																																																																																																																																												
5	Eliminierung der Funktion Modellaufbau erstellen durch Integration einer dreidimensionalen Visualisierungsmöglichkeit.	4	5																																																																																																																																																																																												
6																																																																																																																																																																																															
7																																																																																																																																																																																															
8																																																																																																																																																																																															
9																																																																																																																																																																																															
10																																																																																																																																																																																															
11																																																																																																																																																																																															
12																																																																																																																																																																																															
13																																																																																																																																																																																															
14																																																																																																																																																																																															
25																																																																																																																																																																																															
Gesamtsumme			39																																																																																																																																																																																												

Abbildung 66: Bewertungsprotokoll mit Prozess-Veränderungs-Bericht

**Schnittstellen – Berichte**

In Abbildung 67 sind beispielhaft Berichte zur Definierung von Schnittstellen, die sich am Anfang, während und am Ende eines Teilprozesses ergeben. Zusätzlich zu den Inhaltspunkten werden Angaben über die Abhängigkeit zu anderen Teilprozessen gemacht. Bspw. ist zu Beginn für den Teilprozess Input notwendig, da die zu verrichtenden Aufgaben sonst nicht ausgeführt werden können (**Eingangs-Bericht**). Dies kann sich im Zwischenbericht wiederholen. Innerhalb des **Zwischen-Berichtes** wird aufgezeigt, dass zu diesem Zeitpunkt die Positionen 3. und 4. nicht notwendig aber als Output zur Verfügung zu stehen haben. Dies ist dann wichtig, wenn ein anderer Teilprozess nicht die einzelnen Daten benötigt aber sich indirekt an die Ergebnisse „anzulehnen“ hat.

<b>EINGANGS – BERICHT</b> ( <i>Konstruktion DMU-C1</i> )		
Pos.	Aufgabe	Input
		EN
1	Konstruktion DMU-C1 erstellen.	
2	Konstruktion DMU-C1 berechnen.	x
3	Visuelle Kontrolle der Konstruktion an Power Wall durchführen.	x
4	Simulation (visuell) erstellen und ausführen.	x
...		
Legende: EN = Input ist Notwendigkeit		

<b>ZWISCHEN – BERICHT</b> ( <i>Konstruktion DMU-C1</i> )					
Pos.	Aufgabe	Input		Output	
		EN	A	N	
1	Konstruktion DMU-C1 erstellen.	-	x	x	
2	Konstruktion DMU-C1 berechnen.	x	x	x	
3	Visuelle Kontrolle der Konstruktion an Power Wall durchführen.		x		
4	Simulation (visuell) erstellen und ausführen.		x		
...		-			
Legende: A = Ausgang; E = Eingang; N = Notwendigkeit					

<b>END – BERICHT</b> ( <i>Konstruktion DMU-C1</i> )			
Pos.	Aufgabe	Output	
		A	N
1	Konstruktion DMU-C1 erstellen.	x	x
2	Konstruktion DMU-C1 berechnen.	x	
3	Visuelle Kontrolle der Konstruktion an Power Wall durchführen.	x	x
4	Simulation (visuell) erstellen und ausführen.	x	x
...			
Legende: A = Ausgang; N = Notwendigkeit			

Abbildung 67: Schnittstellen-Gestaltungsberichte