Fehlervermeidung an Schnittstellen-Prozessen der verteilten Produktentwicklung

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Henryk Stöckert
aus Bayreuth

von der Fakultät V für Verkehrs- und Maschinensysteme
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften
- Dr.-Ing. –

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. Dietmar Göhlich
Berichter:	Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark
Berichter:	Prof. Dr.-Ing. Frank-Lothar Krause
Berichter:	Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Tim Sadek

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 4. November 2010

Berlin 2011
D 83

Kurzfassung

Grundlage der Entwicklung innovativer Produkte mit hohem Komplexitätsgrad ist die verteilte Produktentwicklung. Mit zunehmender Koordination, Kooperation und Kollaboration und mit speziellen Methoden wie etwa dem Frontloading steigt jedoch die Anzahl an Sonderproblemen, die zu Effizienzverlusten und Frustrationen der Entwicklungsingenieure führen. Diese Arbeit befasst sich mit der Prozess-Schnittstelle, die zwischen einzelnen Prozessen der verteilten Produktentwicklung liegt, dem Schnittstellen-Prozess, der die Überleitung zwischen diesen Schritten darstellt und dem Schnittstellen-Fehler, der die reibungslose Zusammenarbeit behindert. Unter Berücksichtigung der verteilten Produktentwicklung als soziotechnischem System, erfolgen zunächst empirische Untersuchungen und Literaturstudien zur Problematik und Analysen der Problemursachen. Dabei wird unter anderem zurückgegriffen auf etablierte Konzepte aus den Arbeits- und Organisationswissenschaften und der Mikroökonomik. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird ein Rahmenwerk zur Fehlervermeidung an Schnittstellen-Prozessen entwickelt. Einzelne Konzeptbausteine werden teils als Funktionsbeweis mittels prototypischer Implementierung und teils im Rahmen eines Studentenexperimentes evaluiert.

Abstract

Innovative complex product development is based on extensive distribution of work packages in product development networks. With growing shares of coordination, cooperation and collaboration, the number of special problems increases. This leads to efficiency losses and frustrated employees in product development. The research work in hand addresses process interfaces between single process steps of distributed product development and, furthermore, bridging interface processes as well as interface errors which prevent smooth collaboration. Considering distributed product development as a sociotechnical system, empirical research and literature studies are conducted to analyze issues and root causes for the subsequent development of concepts to prevent interface errors. Therefore, among others, established methods of work and organization theory and micro economics are used to found an error prevention framework for interface processes. Several concept elements are partly evaluated in terms of a proof of concept software implementation and partly in an experiment with student project teams.

Inhalt

KURZFASSUNG ..... **I**
ABSTRACT ..... **I**
INHALT ..... **III**
ABBILDUNGEN ..... **VII**
TABELLEN ..... **IX**
ABKÜRZUNGEN ..... **X**
SYMBOLE ..... **XII**
BEGRIFFSBESTIMMUNGEN ..... **XIV**
1 EINLEITUNG **1**
1.1 UNTERSUCHUNGSGEGENSTAND 2
1.2 ZIELSETZUNG 5
1.3 VORGEHENSWEISE 6
2 ERÖRTERUNG DER SCHNITTSTELLEN-PROBLEMATIK IN DER VERTEILTEN PRODUKTENTWICKLUNG **9**
2.1 BESCHREIBUNG EINES BEISPIELPROZESSES 12
2.2 BESCHREIBUNG EINER BEISPIELPROBLEMATIK 12
2.3 ABGRENZUNG DES SCHNITTSTELLENBEGRIFFS 13
2.3.1 Schnittstellen der Produktentwicklung *14*
2.3.2 Schnittstellen-Prozesse in der Produktentwicklung *17*
2.4 UNTERSUCHUNG DES FEHLERS ALS PROZESSINTERNEN RISIKOS 18
2.4.1 Erarbeitung einer Fehlerklassifizierung *19*
2.4.2 Abgrenzung von Momentanfehlern und Permanentfehlern *21*
2.4.3 Abgrenzung von Fehlern und Zuwiderhandlung *23*
2.4.4 Analyse der entstehenden Fehlerkosten *23*
2.4.5 Erörterung der Schnittstellen-Fehler in der verteilten Produktentwicklung *26*
2.4.6 Betrachtung der Auswirkungen von Schnittstellen-Fehlern *27*
2.5 MIKROÖKONOMISCHE UND MIKROPOLITISCHE PROBLEMMODELLIERUNG 29
2.5.1 Modellierung im Prinzipal-Agent-Modell *30*
2.5.2 Erörterung der Problemlage aus dem Blickwinkel unvollständiger Verträge *31*
2.5.3 Untersuchung externer Effekte als möglicher Problembeschreibung *32*
2.6 ZUSAMMENFASSUNG DER PROBLEMBESCHREIBUNG 33
3 EMPIRISCHER BELEG WEITREICHENDER PRAXISRELEVANZ **35**
3.1 DURCHFÜHRUNG DER EMPIRISCHEN EVALUATION 37

3.2 Verifizierung der untersuchten Thesen und Ergebnisse der explorativen Untersuchung ... 38
3.3 Zusammenfassung der empirischen Untersuchung ... 58
4 ANALYSE DER PROBLEMURSACHEN ... 61
4.1 Analyse fachlicher Ursachen ... 61
4.1.1 Zunehmende Komplexität durch Schnittstellenvervielfachung ... 61
4.1.2 Ursachen in der jüngeren Entwicklung des Ingenieurberufs ... 65
4.2 Analyse informationstechnischer Ursachen ... 67
4.2.1 Wachsende Vielfalt der verwendeten IT-Systeme ... 67
4.2.2 Mangelnde System-Kompatibilität ... 69
4.3 Analyse organisatorischer Ursachen ... 70
4.3.1 Kommunikationsprobleme ... 70
4.3.2 Mangelhafte Prozess- und Methodenvorgaben ... 71
4.3.3 Fehlende Prozess- und Methodenvorgaben ... 73
4.3.4 Unbekanntheit von Prozess- und Methodenvorgaben ... 74
4.3.5 Verstoß gegen Prozess- und Methodenvorgaben ... 75
4.3.6 Informationsmangel ... 75
4.3.7 Kontrollmangel ... 78
4.4 Analyse verhaltenspsychologischer Ursachen ... 79
4.4.1 Kontrollmangel ... 79
4.4.2 Effektivitäts- und effizienzhemmende Anreize ... 81
4.5 Zusammenfassung der Ursachenanalyse ... 87
5 ENTWICKLUNG EINES RAHMENWERKS ZUR FEHLERVERMEIDUNG ... 89
5.1 Entwicklung der Konzeptgrundlage für erfolgreiche Fehlervermeidung an Prozess-Schnittstellen ... 89
5.1.1 Das Rahmenwerk im Überblick ... 90
5.1.2 Soziotechnischer Systemansatz ... 91
5.1.3 Stärkung der Kooperationsfähigkeit über Schnittstellen hinweg ... 93
5.1.4 Anwendung des Promotorenmodells auf die Fehlervermeidung an Schnittstellen-Prozessen ... 94
5.1.5 Erarbeitung der Vorgehensweise zur Einführung und Durchführung der Fehlervermeidung im Unternehmen ... 96
5.2 Erarbeitung einer Prozessaufnahme und Systemanalyse ... 100
5.2.1 Identifikation von Schnittstellen ... 101
5.2.2 Klassifizierung von Schnittstellen ... 103

5.2.3 Klassifizierung der verbundenen Systeme 106

5.2.4 Definition der Schnittstellen 110

5.2.5 Schnittstellen-Analyse mithilfe der Strickleiter-Methode 111

5.2.6 Abschätzung der von Fehlern ausgehenden Risiken 118

5.2.7 Kosten-Nutzen-Analyse und Vergleich anwendbarer Kostenrechnungsmethoden 120

5.2.8 Rangreihung der erkannten Problemfelder 124

5.2.9 Entwicklung einer Methode zur Analyse und Klassifizierung der Schnittstellen-Fehler 126

5.3 KONZEPTENTWICKLUNG: NUTZUNG VON INFORMATIONEN, WISSEN UND KOMPETENZEN 128

5.3.1 Vermittlung der Hintergründe vorgegebener Arbeitsweisen 130

5.3.2 Transparenz der Fehler- und Folgekosten 132

5.3.3 Nicht explizierbares Wissen in der Produktentwicklung 133

5.3.4 Entwicklung der Show & Tell-Methode zur gegenseitigen Arbeitsunterweisung 136

5.3.5 Vorabinformationen, Schulungen und Trainings 138

5.3.6 Implementierung von Rückmeldewegen 139

5.4 KONZEPTERARBEITUNG ZUR GESTALTUNG UND BEREITSTELLUNG VON PROZESS- UND METHODENVORGABEN 141

5.4.1 Eingliederung formaler Methoden in den Prozess des methodischen Konstruierens 143

5.4.2 Methodenkategorisierung 147

5.4.3 Formale und inhaltliche Anforderungen an die Erstellung von Prozess- und Methodenvorgaben 149

5.4.4 Bereitstellung von Prozess- und Methodenvorgaben 154

5.4.5 Verwendungshinweise mithilfe von Nutzungsstatistiken und Kompetenzmanagement-Informationen 155

5.4.6 Individualisierung von Prozess- und Methodenvorgaben 158

5.5 KONZEPTERARBEITUNG: KONTROLL- UND ÜBERWACHUNGSSYSTEM 159

5.5.1 Internes Kontrollsystem 161

5.5.2 Anforderungen an das Kontrollumfeld 161

5.5.3 Organisatorische Funktionstrennung 163

5.5.4 Definition und Zuweisung von Verantwortlichkeiten 164

5.5.5 Präventive Kontrollmaßnahmen 165

5.5.6 Detektive Kontrollmaßnahmen 169

5.5.7 Korrektive Kontrollen 172

5.5.8 Revision der Fehlervermeidung 172

5.6 KONZEPTENTWICKLUNG: JUSTIERUNG DES ANREIZSYSTEMS IN DER VERTEILTEN PRODUKTENTWICKLUNG 175

5.6.1 Anreize in der verteilten Produktentwicklung 176

5.6.2 Schaffung gezielter Anreize 177

5.6.3 Spieltheoretische Betrachtung des veränderten Anreizsystems bei Transparenz der Kommunikationswege 182

5.6.4 Anreizinstrumente für die verteilte Produktentwicklung 183

5.6.5 Auswahl zu verwendender Anreizinstrumente 185

5.6.6 Implementierung des Anreizsystems 186

5.7 DISKUSSION DES ENTWICKELTEN RAHMENWERKS 188

6 EVALUATION DER ERARBEITETEN ERGEBNISSE 194

6.1 EXPERIMENTE MIT STUDENTISCHEN PROBANDEN 194

6.1.1 Versuchsaufbau und Szenario des Experiments 194

6.1.2 Ergebnisse der Untersuchung 197

6.2 FUNKTIONSBEWEIS DURCH PROTOTYPISCHE SOFTWARE-IMPLEMENTIERUNG 201

6.2.1 Architektur des PMR-Co-Piloten 202

6.2.2 Prototypische Realisierung des PMR-Co-Piloten 205

7 ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION 211

8 AUSBLICK 217

9 QUELLEN 219

A ANHANG A-1

Abbildungen

Abbildung 1: Untersuchungsgegenstand 3
Abbildung 2: Schnittstellen-Prozesse im Entwicklungsprozess 4
Abbildung 3: Schematische Darstellung der wissenschaftlichen Vorgehensweise 7
Abbildung 4: Verbindungs-Schnittstellen zweier Systeme 14
Abbildung 5: Schnittstellen in der modernen Produktentwicklung [24] 15
Abbildung 6: Verwendete Fehlerbegriffe 20
Abbildung 7: Momentan- und Permanentfehler in der Fehlerklassifizierung [24] 22
Abbildung 8: Leistungsarten nach WAPPIS ET AL. [68] 24
Abbildung 9: Fehlerkosten [24] 25
Abbildung 10: Entstehung und Möglichkeit zur Beeinflussung von Kosten nach Projektphasen [71] 28
Abbildung 11: Beziehungsstruktur der Organisation (modifiziert nach NIENHÜSER [80]) 30
Abbildung 12: OEM und Zulieferer im Netzwerk [27] 35
Abbildung 13: Betrachtete und vernachlässigte Szenarien im OEM-Supplier-Netzwerk [27] 36
Abbildung 14: Zusammensetzung der Stichprobe [27] 38
Abbildung 15: Schwierigkeiten in der verteilten Produktentwicklung 40
Abbildung 16: Vorhandensein von Prozess- und Methodenvorgaben 40
Abbildung 17: Repräsentationsarten von Prozess- und Methodendokumenten [27] 42
Abbildung 18: Mehraufwand durch die Erfüllung von Prozess- und Methodenvorgaben 45
Abbildung 19: Vorgaben von OEM an Zulieferer aus Sicht der beiden Parteien 47
Abbildung 20: Branchenspezifika in der Automobil- und Luftfahrtindustrie 48
Abbildung 21: Informationsbeschaffung zur Erfüllung von Prozess- und Methodenvorgaben 49
Abbildung 22: Zusätzlicher Zeitaufwand in der verteilten Produktentwicklung 53
Abbildung 23: Verkürzung der Produktentwicklungs- und -einführungszeit mittels Frontloading [99] 64
Abbildung 24: Modell für individuelles Leistungsverhalten und organisationale Effektivität nach SCHANZ [148] 83
Abbildung 25: Grundmodell der klassischen Motivationspsychologie (modifiziert nach LEWIN [149] und RHEINBERG [150]) 84
Abbildung 26: Überblick über die Ansatzpunkte des zu entwickelnden Rahmenwerkes [24] 91

Abbildung 27: Soziotechnisches System in der Produktentwicklung (modifiziert nach SYDOW [162]) 92
Abbildung 28: Entscheidungs- und Umsetzungsprozess unter Berücksichtigung reiner Verfahrensgerechtigkeit 93
Abbildung 29: Einführung und Umsetzung des Fehlervermeidungskonzeptes (Modell „Trillerpfeife“) 97
Abbildung 30: System-Klassifikation nach Schnittstellenanzahl 106
Abbildung 31: Die Prozess-Schnittstelle im Produktentwicklungsprozess 111
Abbildung 32: Jakobsleiter mit breiten Stabilisations-Tritten 113
Abbildung 33: Matrix zur Darstellung der Schnittstellen zwischen A, B und C 113
Abbildung 34: Befüllte Design Structure Matrices 114
Abbildung 35: reduzierte Multiple Domain Matrix 115
Abbildung 36: Prüfung auf Inkonsistenzen mithilfe der Strickleiter-Methode 117
Abbildung 37: Pareto-Diagramm zu möglichen Einsparungen durch Fehlervermeidungsmaßnahmen 125
Abbildung 38: Kompetenz-Matroschka [212] 128
Abbildung 39: Effektivitäts- und Effizienzverluste bei der Wissensweitergabe 134
Abbildung 40: Zu implementierende Rückmeldewege 141
Abbildung 41: Arbeitsschritte beim Planen und Konstruieren nach VDI 2221 [249] 144
Abbildung 42: Problemlösungsprozess nach GAGNE 145
Abbildung 43: Unterstützende Elemente im Problemlösungsprozess 146
Abbildung 44: Vertrauen und Kontrolle sind keine Gegensätze 160
Abbildung 45: Präventive und detektive Kontrollen 166
Abbildung 46: Konfliktäre Anreize in der verteilten Produktentwicklung 180
Abbildung 47: Elemente des Rahmenwerks im groben zeitlichen Ablauf 189
Abbildung 48: Gefühlter Schwierigkeitsgrad der Anforderungen 198
Abbildung 49: Architektur des PMR-Co-Piloten 203
Abbildung 50: Unterstützung des Entwicklungsingenieurs durch den PMR-Co-Piloten 204
Abbildung 51: Benutzeroberfläche des PMR-Co-Piloten 206
Abbildung 52: Einzelelemente der Benutzeroberfläche des PMR-Co-Piloten 207

Tabellen

Tabelle 1: Systemgrenzen als Risiken für die Kooperation 16

Tabelle 2: Verteidigungshaltung und Ausweichverhalten im Bezug auf Kontrollsituationen, in Anlehnung an LATTMANN [138] 81

Tabelle 3: Anreizbegriffe und Intentionen 84

Tabelle 4: Positive Effekte der Show & Tell-Methode 138

Abkürzungen

2D	Zweidimensional
3D	Dreidimensional
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BPMN	Business Process Modelling Notation
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAVE	CAVE Automatic Virtual Environment
CAx	Computer Aided x (Stellvertretend für alle computerunterstützten Methoden)
COTS	Commercial off-the-shelf (auch OTS: off-the-shelf)
CRSA	Control Risk Self Assessment
CSA	Control Self Assessment
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DMAEC	Define - Measure - Analyse - Engineering - Control
DMAIC	Define - Measure - Analyse - Improve - Control
DMM	Domänen Mapping Matrix (Domain-Mapping-Matrix)
DMU	Digital Mock-up
DSM	Design Struktur Matrix (Design-Structure-Matrix)
EASA	European Aviation Safety Agency
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EN	Europäische Norm
ESO	European Standards Organizations
FAA	Federal Aviation Association
FEM	Finite Elemente Methode
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse

ICAM	Integrated Computer Aided Manufacturing
IDEF	ICAM Definition
IGES	Initial Graphics Exchange Specification
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnologie
IUM	Integrierte Unternehmensmodellierung
KBA	Kraftfahrtbundesamt
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LBA	Luftfahrtbundesamt
MDM	Multi Domänen Matrix (Multi-Domain-Matrix)
OEM	Original Equipment Manufacturer
pdf	Portable document format
PDM	Produktdatenmanagement
PLM	Product Lifecycle Management
PMBoK	Project Management Body of Knowledge
PMR	Process and Methods Requirement (Prozess- und Methodenvorgabe)
RRP	Randomized Release Process
RSS-Feed	Really Simple Syndication Feed
SADT	Structured Analysis Design Technique
SLA	Service Level Agreement
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
STS	Soziotechnisches System
UBA	Umweltbundesamt
VDA	Verband der deutschen Automobilindustrie
VDA-FS	Verband der Deutschen Automobilindustrie - Flächenschnittstelle
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VPC	Virtual Product Creation

Symbole

A	Anwendung
A_{nmkd}	Häufigkeit der Anwendung einer Methode in einem Kontext am Stichtag
d	Datum der Methodenbenutzung
d_0	Datum der ersten Methodenbenutzung
f	Funktion
F	Favorisierung
F_{nmd}	Nutzer- und methodenspezifischer Favorisierungsfaktor am Stichtag
h	Heutiges Datum
K	Kompetenzausprägung
k	Kontext
K_f	Fixkosten des Fehlervermeidungsprozesses
K_I	Investitionskosten zur Vermeidung des Fehlers
K_{nmd}	Methodenspezifische Kompetenzausprägung eines Nutzers am Stichtag
K_{nT}	Tätigkeitsspezifische Kompetenzausprägung eines Nutzers
K_v	Variable Kosten des Fehlervermeidungsprozesses
m	Methode
N	Knotenanzahl im Netzwerk
n	Nutzer
P	Person
$\mathrm{p_F}$	Fehlerkosten
R	Rating
$R_{100_{mk}}$	Auf 100 normiertes kontext- und methodenspezifisches globales Rating
$R_{100_{mk}}$	Auf 100 normiertes kontext- und nutzerspezifisches Rating einer Methode
$R_{k_{max}}$	Maximum der globalen kontextspezifischen Ratings

R_{mk}	Globales methoden- und kontextspezifisches Rating
$R_{nk_{max}}$	Maximum der kontextspezifischen Ratings eines Nutzers
R_{nm}	Nutzerspezifisches Rating einer Methode
R_{nmk}	Kontext- und nutzerspezifisches Rating einer Methode
σ	Standardabweichung
t	Betrachtete Zeiteinheit
T	Tätigkeit
$t_{A_{max}}$	Maximal zulässige Amortisationsdauer
U	Umgebungsbedingungen
V	Verhalten
x	Anzahl der Fehler

Begriffsbestimmungen

Domänen- und damit branchen- und disziplinübergreifende Untersuchungen können nicht auf allgemeine Begriffsbestimmungen zurückgreifen, da gleiche Begriffe vielfach unterschiedlich belegt sind. Im Folgenden sind die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Begriffe näher bestimmt. Innerhalb der Begriffsbestimmungen verweist das Wörterbuch-Symbol 🕮 bei jeder Erwähnung entsprechender Begriffe auf das Vorhandensein einer entsprechenden Begriffsbestimmung. Im Fließtext erfolgt die Kennzeichnung jeweils bei der ersten Verwendung des Begriffs. Eine Allgemeingültigkeit außerhalb des vorliegenden Textes wird nicht beansprucht.

Anreiz:

Ein Anreiz ist die Erwartung an eine Situation [1], beispielsweise an Handlungen, Handlungsergebnisse oder Handlungsergebnisfolgen [2]. Das Unterlassen einer Handlung ist dabei ebenfalls als Handlung zu verstehen. Der Begriff Anreiz ist zunächst wertungsfrei und löst nicht per se positives oder negatives Verhalten aus. Zur Wirksamkeit eines Anreizes bedarf es eines passenden Motives bei der betreffenden Person. Analog zur Kommunikation, die nicht *nicht* erfolgen kann („Metakommunikatives Axiom“) [3], sind Situationen ohne jeglichen Anreiz undenkbar.

Anreizinstrument:

Anreizinstrumente sind gezielt eingesetzte Verstärker 🕮 in Verbindung mit definierten Bedingungen des Inkrafttretens der Verstärker 🕮 für die jeweilige Zielgruppe.

Arbeitsanweisung, Arbeitsmethode:

siehe Methode 🕮.

Assistenzsystem:

Ein Assistenzsystem unterstützt einen Anwender beim Umgang mit der Anwendung. Es kann dabei dauerhaft sichtbare Hilfestellung leisten („Primärassistenz“), dem Anwender durch Aktionen zur Verfügung stehen („Sekundärassistenz“) [4] oder vollständig im Hintergrund arbeiten. Es muss sich nicht notwendigerweise um ein Software-System handeln.

Aufwand:

Siehe Kosten 🕮.

Auszahlung:

Auszahlungen werden in der vorliegenden Arbeit im spieltheoretischen Sinne verstanden und beinhalten alle positiven und negativen Rückflüsse der Umgebung an die betrachtete Person

aus der betrachteten Situation. Dabei kann es sich um monetäre und nicht-monetäre Größen handeln. Lob und Tadel sind demnach ebenso als Auszahlungen zu verstehen wie finanzielle Gratifikationen.

Branche:

Branchen sind Wirtschaftszweige, deren Ziel die Herstellung unterschiedlicher Produkte ist, die als nah verwandte Substitute gelten [5]; beispielsweise die Automobilindustrie, der Flugzeugbau und die Elektrotechnikbranche.

Collaborative Engineering:

Siehe verteilte Produktentwicklung 🕮.

Disziplin:

Mehrere Einzeldisziplinen bilden eine wissenschaftliche Domäne 🕮.

Dokumentation:

Als Dokumentation ist die „Sammlung, Ordnung und Nutzbarmachung von Dokumenten aller Art" [6] zu verstehen. Im hier betrachten Kontext 🕮 soll unter Dokumentation in erster Linie der Prozess 🕮 der Sammlung als Aufnahme und Protokollierung durchgeführter Tätigkeiten verstanden werden. Im Einzelfall kann unter der Dokumentation auch das Ergebnis entsprechender Prozesse 🕮 verstanden werden.

Domäne, Fachgebiet:

Eine Domäne (dominium, lat.: Herrschaft, Herrschaftsbereich) bezeichnet als selbstständig geltende Wissenschafts- [7] oder Wirtschaftsgebiete in denen domänenspezifisches Wissen („Domain Knowledge") entsteht [8] und die wiederum in unterschiedliche Disziplinen 🕮 beziehungsweise Branchen 🕮 gegliedert sein können; beispielsweise die Volkswirtschaftslehre, die Ingenieurwissenschaft, das produzierende Gewerbe, die Wirtschaftsprüfung oder der Anlagenbau. Die Begriffe Fachgebiet und Domäne werden synonym verwendet.

Entwickler:

Siehe Produktentwickler 🕮.

Entwicklungsnetzwerk

Alle an einer verteilten Produktentwicklung 🕮 beteiligten Organisationen, Unternehmen, Betriebe und Personen bilden zusammen ein Entwicklungsnetzwerk.

Fachbereich:

„Ein Fachbereich ist ein sinnvoll abgegrenzter Teilbereich eines Fachgebietes 🕮“ [7].

Fachgebiet:

Siehe Domäne 🕮.

Fehler:

Ein Fehler bedeutet die „Nichterfüllung einer Anforderung“ [9]. Sowohl Handlungen als auch Ergebnisse können fehlerhaft sein. Fehler haben nicht grundsätzlich negative Konsequenzen zur Folge.

Interdisziplinarität:

Die Interdisziplinarität bezeichnet fachgebietsübergreifende Tätigkeiten, die nicht lediglich Ergebnisse unterschiedlicher Disziplinen 🕮 nebeneinanderstellen [10] und bezieht sich wortsinngemäß in der Regel auf Wissenschaftsdisziplinen. Das Analogon im Wirtschaftskontext lautet branchenübergreifend. Zusammenfassend kann von domänenübergreifenden Tätigkeiten gesprochen werden.

Interoperabilität

„(…) the ability of two or more systems or components to exchange information and to use the information that has been exchanged” [11]. Die Interoperabilität ist gewährleistet, wenn Schnittstellen-Prozesse 🕮 fehlerfrei verlaufen und vollständig erfüllt werden.

Kollusion

Die vertragliche oder nichtvertragliche Koordination von Handlungen selbstständiger Parteien wird in der Ökonomie als Kollusion bezeichnet. In der Rechtswissenschaft beinhaltet die Kollusion regelmäßig den Willen der kollusiv zusammen Wirkenden zur Schädigung eines Dritten [12]. Im Rahmen dieser Arbeit werden ausschließlich Fälle nichtvertraglicher Kollusion betrachtet. Eine Aussage über die Intention wird nicht getroffen. Der Geschädigte ist in der Regel ein OEM oder Zulieferbetrieb 🕮 im Entwicklungsnetzwerk 🕮, wobei die Akteure im Auftrag des geschädigten oder eines anderen Unternehmens handeln.

Kontext:

„Context is any information that can be used to characterize the situation of an entity. An entity is a person, place or object that is considered relevant to the interaction between a user and an application, including the user and application themselves” [13]. Als Kontext sollen damit alle Informationen verstanden werden, welche die Situation einer Entität, im Rahmen dieser Arbeit meist des Ingenieurs, im untersuchten Anwendungsfall charakterisieren.

Kosten, Aufwand:

Kosten und Aufwand bezeichnen negative Auswirkungen jeglicher von einer Person oder Gruppe (Unternehmen) zu erbringenden Leistung. Darunter fallen monetäre Zahlungen, Anstrengungen und sonstige Unannehmlichkeiten. Auf die betriebswirtschaftlich durchaus relevante Unterscheidung zwischen Kosten und Aufwand [14] soll hier nicht näher eingegangen werden. Beide Begriffe werden synonym verwendet.

Makro:

Programmbausteine, die auf Anwendungsebene, beispielsweise in CAD-Programmen, erstellt werden und eine festgelegte Folge von Arbeitsschritten in der Anwendung automatisch durchführen, werden als Makros bezeichnet.

Methode:

Eine Methode ist eine verallgemeinerte und von Vorgesetzten abgesegnete Vorgehensweise [15], die regelbasiert und planmäßig das Vorgehen bei bestimmten Tätigkeiten fordert [16]. Die Begriffe Arbeitsmethode und Arbeitsanweisung werden synonym verwendet. Streng genommen beinhaltet die Arbeitsanweisung eine oder mehrere Methoden. Im weiteren Sinne sind Methoden als Vorgehensweisen zu verstehen. Der Begriff der Methode wird nicht, wie in der Softwareentwicklung üblich, als Synonym zur Funktion oder Prozedur verwendet.

Original Equipment Manufacturer (OEM):

Entgegen dem eigentlichen Wortsinne des Original Equipment Manufacturer (OEM), nämlich der Partei, die Produktbestandteile ursprünglich hergestellt hat [17], wird in der Automobil- und auch anderen Industrien heutzutage oftmals die Partei als OEM bezeichnet, welche dem Gesamtprodukt den Markennamen gibt und Auftraggeber der Zulieferunternehmen 🕮 ist [18, 19]. In eben diesem Sinne soll der Begriff OEM auch hier verwendet werden.

Overhead:

Als Overhead werden alle Tätigkeiten bezeichnet, die neben der eigentlichen Wertschöpfung durchgeführt werden. Dazu gehören beispielsweise administrative und andere Aufgaben, die auch als Mehraufwand bezeichnet werden können.

Produktentwickler, Entwickler:

Als Entwickler werden alle Personen bezeichnet, die in der Produktentwicklung 🕮 tätig sind und operative Aufgaben ausführen. Sie unterscheiden sich damit von Personen, die im Management, der Verwaltung oder Administration tätig sind.

Produktentwicklung:

Das wissenschaftliche Forum für Produktentwicklung *Berliner Kreis* versteht die Produktentstehung als Gesamtheit der Phasen der Produktentwicklung einschließlich der folgenden Produktionsvorbereitung [20]. Der Begriff Produktentwicklung steht in dieser Arbeit stellvertretend für alle Prozesse 🕮, die sowohl der verteilten Produktentwicklung 🕮 (Collaborative Engineering) als auch der virtuellen Produktentstehung 🕮 (Virtual Product Creation) zugerechnet werden könnten; also als vereinfachender Begriff für den gesamten Untersuchungsgegenstand (vgl. 1.1).

Prozess:

Ein Prozess besteht aus einer oder mehreren Tätigkeiten und setzt Eingaben in Ergebnisse um [9]. Als Prozess wird immer der tatsächlich stattfindende Ablauf verstanden, der sich dadurch eindeutig von der Prozessdefinition unterscheidet, die auch als Prozessbeschreibung oder Prozessvorgabe bezeichnet werden kann.

Prozess- und Methodenvorgaben (PMR):

Prozess- und Methodenvorgaben (process and methods requirements, PMR) sind Anforderungen, die dem Produktentwicklungsprozess selbst entstammen und sich vorwiegend auf einzelne Prozessschritte beziehen. Sie sind explizit keine Kundenanforderungen, sondern haben ihren Ursprung in Nachfolge-Prozessen 🕮 oder strategischen Überlegungen. PMR wird als Überbegriff für jegliche Form von Arbeitsmethode 🕮 verwendet und beschreibt sowohl die Anforderung selbst als auch die Repräsentation der Anforderung in Form von Dokumenten oder Dateien.

Rahmenwerk:

Ein Rahmenwerk ist eine konzeptionelle Grundstruktur, die Erkenntnisse aus Theorie und Praxis vereint und für individuelle Anwendungsfälle ausgestaltet werden kann, um dann als Hilfe zur Beschreibung, Analyse oder Lösung komplexer Zusammenhänge und Problemstellungen zu dienen [21]. Es besteht meist aus einem Satz von Werkzeugen, Methoden 🕮 und weiteren Materialien.

Rating:

Das Rating bezeichnet in dieser Arbeit eine numerische Größe, die den Grad der Relevanz 🕮 ausdrückt, den die Summe aller Anwender einer Vorgabe in einem bestimmten Kontext 🕮 beimisst. Es wird berechnet aus Individualratings, die aussagen, welche Relevanz 🕮 jedes Individuum den Vorgaben im entsprechenden Kontext 🕮 beimisst. Der absolute Wert eines Ratings hat keine Aussagekraft. Das Rating ist ein rein ordinal skalierendes Maß und kann damit nur im Vergleich zu anderen Ratingergebnissen interpretiert werden.

Relevanz:

Als Relevanz wird der Grad der Bedeutung bezeichnet, der einer Sache in einem bestimmten Zusammenhang beigemessen wird.

Revision:

Die Überprüfung eines Ist-Standes wird als Revision (Rückschau, Überprüfung von: re, lat.: zurück; videre, lat.: ansehen) bezeichnet. Der Begriff Revision ist nicht als Synonym zum Begriff Version zu verstehen, wie dies teilweise im Ingenieurwesen und in der Softwareentwicklung üblich ist.

Schnittstelle:

Eine Schnittstelle beschreibt eine Systemgrenze, an der Information, Energie oder Materie zwischen dem System 🕮 und der Umwelt [22, 23] oder zwischen Subsystemen ausgetauscht werden können. Im organisationalen Kontext 🕮 können die an den Schnittstellen beteiligten Personen, Prozesse 🕮 und Systeme 🕮 in hierarchischer oder heterarchischer Beziehung zueinander stehen. Im betrachteten Kontext 🕮 soll die Schnittstelle vorwiegend prozedural verstanden werden. Eine Betrachtung von Schnittstellen im technischen Sinn findet nur am Rande statt. Weiterhin wird unterschieden zwischen homogenen und heterogenen Schnittstellen, die gleichartige bzw. verschiedenartige Elemente miteinander verbinden.

Schnittstellen-Fehler:

Ein Schnittstellen-Fehler ist die „Nichterfüllung einer Anforderung“ [9] aus nachfolgenden Prozessschritten. Der Schnittstellen-Fehler grenzt sich vom allgemeinen Fehler 🕮 dadurch ab, dass er keine Auswirkung auf die Fehlerfreiheit des Endproduktes hat sondern lediglich den Prozess 🕮 an sich beeinflusst. Kundenanforderungen sind von Schnittstellen-Fehlern nicht betroffen. Einzig eine vom Kunden geforderte Termintreue kann hier eine Ausnahme bilden, da Schnittstellen-Fehler zu Zeitverzögerungen führen können. Produktfehler und suboptimale Produkte sind als Sekundärfolgen von Schnittstellen-Fehlern möglich, beispielsweise aufgrund inhaltlicher Limitationen durch entstehende Zeitknappheit.

Schnittstellen-Prozess:

Ein Schnittstellen-Prozess ist ein Prozess 🕮, der über eine Schnittstelle 🕮 verläuft, zwei Systeme 🕮 miteinander verbindet und beide Systemgrenzen überschreitet. Die Aufgabe von Schnittstellen-Prozessen ist die Übergabe von Ergebnissen aus dem Vorgänger-Prozess an den Nachfolge-Prozess unter Beachtung der vollständigen Beschreibung der Anforderungen des oder der Nachfolge-Prozesse(s) an den Vorgänger-Prozess [24]. Diese Eigenschaft wird als Bidirektionalität des Schnittstellen-Prozesses bezeichnet.

System:

Ein System ist ein „aus mehreren Teilen zusammengesetztes und gegliedertes Ganzes“ [25]. IT-Systeme, Organisationen und komplexe Produkte sind Beispiele für Systeme.

Verstärker:

Ein Verstärker ist eine Maßnahme oder ein Ereignis, das die Erwartung in Form eines Reizes auslöst oder verstärkt. Die Erwartung, öffentlich geehrt zu werden, kann ein Anreiz 🕮 für die durch hohe Verdienste erzielte Ehrung sein, die hier als Verstärker fungiert.

Verteilte Produktentwicklung, Collaborative Engineering:

“(...) a new sociotechnical engineering discipline, which facilitates the communal establishment of technical agreements among a team of interdisciplinary stakeholders, who work jointly toward a common goal with limited resources or conflicting interests” [26]. Unter Collaborative Engineering ist hier ein übergeordnetes Konzept zu verstehen, das neben Aktivitäten der Kollaboration auch die Kooperation und Koordination einschließt. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass Kollaboration in Reinform nicht vorkommt, sondern immer auch aus kooperativen und koordinativen Elementen besteht [27].

Virtuelle Produktentstehung:

„Virtual product creation (VPC) is the combination of product development and production processes, regarding all computer-aided technologies and addresses the necessary technological components as well as processes and methods to enable successful product creation in this digital environment” [24]. Die virtuelle Produktentstehung umfasst damit alle computerunterstützten Prozesse 🕮 zur Erstellung, Verarbeitung oder Speicherung von produktbezogenen Informationen [28] in der Produktentstehung sowie die damit in Verbindung stehenden Methoden 🕮. Die virtuelle Produktentstehung geht damit über das Ende der Produktentwicklung 🕮 (Engineering Sign-Off) hinaus und umfasst auch die digitalen Aufgaben der Arbeitsplanung und Produktionsvorbereitung [20]. Sie endet mit dem Produktionsbeginn, der auch als Start of Production (SOP) oder Job1 bezeichnet wird. Entwicklungsprozesse, die gänzlich ohne Computerunterstützung erfolgen, sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Wiki

„Ein Wiki (...) ist ein (...) System 🕮 für Webseiten, dessen Inhalte von den Benutzern nicht nur gelesen, sondern auch online direkt im Browser geändert werden können. Diese Eigenschaft wird durch ein vereinfachtes Content-Management-System, die sogenannte Wiki-Software oder Wiki-Engine, bereitgestellt. Zum Bearbeiten der Inhalte wird meist eine einfach zu erlernende Auszeichnungssprache verwendet. Eine bekannte Anwendung ist die Online-Enzyklopädie Wikipedia, welche die Wiki-Software MediaWiki einsetzt“ [29].

Zulieferunternehmen, Zulieferbetrieb, Zulieferer, Supplier:

Das Zulieferunternehmen ist dasjenige Unternehmen, das im Auftrag des OEM einzelne oder mehrere Wertschöpfungsschritte wie Entwicklung oder Fertigung durchführt. Die geleistete Vorarbeit wird in den Herstellungsprozess des OEM, meist ohne namentliche Nennung gegenüber dem Endkunden, integriert. Im Rahmen dieser Arbeit werden ausschließlich Entwicklungs-Zulieferer betrachtet. Dazu gehören sowohl die Vertragspartner des OEM als auch die zuliefernden Vertragspartner des Kunden.

1 Einleitung

Anwendungsfehler sind Konstruktionsfehler.

Umfangreiche Produktanforderungen, Entwicklung für eine robuste Fertigung, Gewinnerzielung auf kompetitiven Märkten, steigende Kundenanforderungen über Lebenszyklusphasen hinweg und immer wichtiger werdende Nachhaltigkeitsziele sind aktuelle Herausforderungen für die Produktentwicklung 🕮 [30]. Die stetige zunehmende Anzahl an rechnergestützten Produktentwicklungswerkzeugen stellt den Produktentwickler 🕮 zusätzlich vor neue Herausforderungen abseits der konstruktiven Gestaltung der Produkte [31]. Im Sinne des vollständig digitalen Prototypen und aufgrund notwendiger Computerunterstützung für Berechnungs- und Visualisierungstechniken werden Produkte in Form von CAD-Modellen entwickelt und parallel zu Fertigung, Einsatz und Recycling im Rechner weiterbearbeitet. Ausgewiesenes Ziel ist dabei weiterhin das Management des kompletten Produktlebenszyklus in all seinen Phasen. Die Komplexität des Produktentstehungsprozesses wächst mit steigender Anzahl der in Form arbeitsteiliger Vorgänge durchgeführten Einzelprozesse 🕮 und jeweils verwendeten Software-Anwendungen. Beispielhaft seien hier Computer Aided Design, Produktdatenmanagement, Finite Elemente Methode und Rapid Prototyping genannt.

Zwischen aufeinanderfolgenden Prozessschritten liegen Schnittstellen 🕮, über die Produktmodelle und andere Daten übertragen werden. Diese Daten müssen die jeweiligen Anforderungen des Nachfolge-Prozesses erfüllen, um eine reibungslose Weiterbearbeitung zu ermöglichen. Eine intuitiv anforderungsgerechte Erzeugung von Modellen und Daten ist wegen der Vielzahl der unterschiedlichen Folgeprozesse vom einzelnen Konstrukteur heute nicht mehr zu erwarten. Nur im Ausnahmefall wird ein Spezialist für die Entwicklung von Flugzeugfahrwerken die Anforderungen von FEM-Berechnungen oder Programmen zur Verwaltung der Produktstruktur und -effektivitäten kennen. Dennoch müssen seine Arbeitsergebnisse diesen Anforderungen gerecht werden, um Folgeprozesse nicht zu behindern. Entgegen der vielfach angemahnten Komplexitätsreduktion wächst die Komplexität in der Produktentwicklung zunehmend; und zwar durch Kooperationen über verschiedene Nationalitäten und Kulturkreise hinweg, zeitlich und räumlich getrennte Zusammenarbeit, sowie dem damit verbundenen Aufwuchs an Schnittstellen. Outsourcing, Verringerung der Fertigungs- und Wertschöpfungstiefe und verteilte Produktentwicklung 🕮 tragen dazu maßgeblich bei [32]. Einzig über die Formulierung und Durchsetzung von Vorgaben zur Verbesserung der Interoperabilität 🕮 können Entwicklungsergebnisse den internen Prozessanforderungen entsprechend gestaltet werden. Obgleich bereits umfangreiche Vorgaben, beispielsweise in Form von Arbeitsmethoden 🕮 in der Industrie vorgegeben werden, stellen die genannten Schnittstellen-Prozesse 🕮 speziell in Bereichen der Automobil-

, Flugzeug- und anderen hochkomplexen Fertigungsindustrien weiterhin eine enorme Fehlerquelle mit damit verbundenen Qualitätseinbußen, erhöhten Kosten 🕮 und Zeitverzögerungen dar.

Während im Unternehmensmanagement Schnittstellenprobleme bereits als herausragende Probleme erkannt sind [33], ist dieses Problembewusstsein in der industriellen Produktentwicklung bisher nicht ausreichend geschärft worden und es wurden bisher auch keine wissenschaftlichen Untersuchungen aus diesem Blickwinkel durchgeführt. Wie auch FRIELING & SONNTAG feststellen, wird der Tätigkeit des Produktentwicklers („Konstrukteurs“) speziell aus arbeits- und organisationspsychologischer Sicht noch kaum Aufmerksamkeit geschenkt [34]. In der Folge begegnen dem Entwickler 🕮 am Arbeitsplatz informationstechnische (IT-) Systeme, die ihn geradezu zwingen, fehlerhaft zu handeln. Hier liegen enorme Potenziale für die Fehlervermeidung vor. Zusammengefasst lässt sich sagen, dass der mutmaßliche Erfolg potenzieller Produktinnovationen entsprechende innovative Handlungsstrategien erfordert [35]. Oftmals sind Prozesse, die in dieser Hinsicht als funktional bezeichnet werden können, durchaus bekannt. Die für den Erfolg notwendige Umsetzung der Prozesse erfolgt jedoch vielfach mangelhaft. Die operationale Umsetzung und Durchsetzung gilt es folglich zu verbessern, um Fehler 🕮 an Schnittstellen-Prozessen in der Produktentwicklung zu vermeiden.

Dem Leitspruch dieser Arbeit „Anwendungsfehler sind Konstruktionsfehler“ entsprechend wird die Ansicht vertreten, dass der Handelnde im System 🕮 der verteilten Produktentwicklung nur so agieren kann, wie die Beschaffenheit des Systems dies zulässt und unterstützt. Der Systembegriff ist hier im Sinne der Definition als das umgebende Ganze, nämlich das Arbeitsumfeld mit allen Elementen und Wechselwirkungen zu verstehen. IT-Systeme sind dafür nur ein Beispiel und stehen nicht im Vordergrund. Handeln die Entwickler als Anwender systematisch entgegen den Interessen der Systemgestalter und anderer Systemteilnehmer, so entstehen fehlerhafte Ergebnisse. Das System hat demnach Konstruktionsfehler, die es zu beheben gilt. Derartige Konstruktionsfehler an Schnittstellen der verteilten Produktentwicklung sind Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

1.1 Untersuchungsgegenstand

Der Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit ist im überschneidenden Feld aus virtueller Produktentstehung 🕮 (Virtual Product Creation) und verteilter Produktentwicklung (Collaborative Engineering) angesiedelt. Abbildung 1 veranschaulicht diese Überlappung.

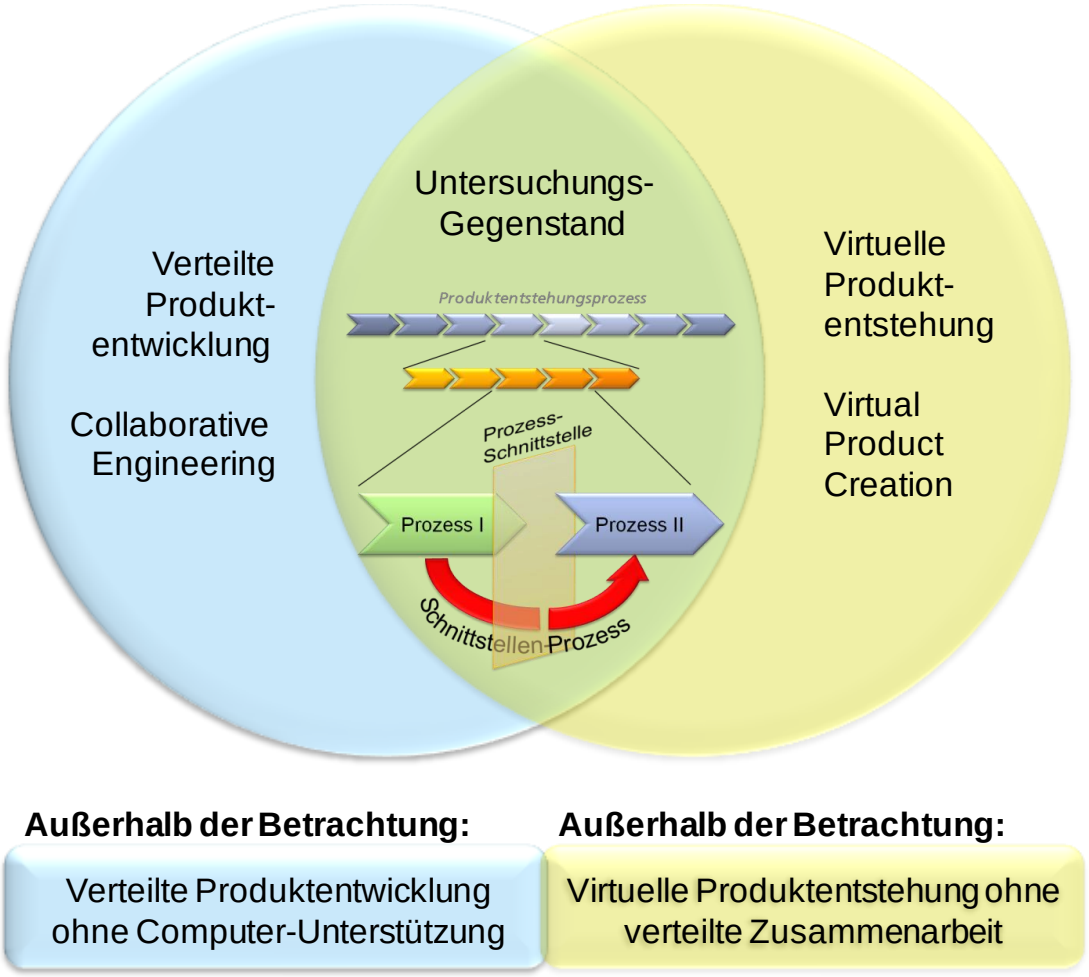


Abbildung 1: Untersuchungsgegenstand

Der Begriff der verteilten Produktentwicklung zielt nicht explizit auf die Verwendung computerunterstützter Prozesse, während die virtuelle Produktentstehung nicht auf die Zusammenarbeit in verteilten Teams eingeht. Obgleich diese Inhalte jeweils implizit verstanden werden können und in der heutigen Ingenieurswelt ein Faktum darstellen, werden dennoch beide Begrifflichkeiten mit gewisser Berechtigung verwendet. Die damit nicht untersuchten Felder der verteilten Produktentwicklung ohne Computer-Unterstützung und der virtuellen Produktentstehung ohne verteilte Zusammenarbeit sind nur von theoretischer Bedeutung und haben bei der Entwicklung komplexer Produkte kaum Praxisrelevanz. Ein Terminus technicus für die *verteilte virtuelle Produktentstehung* (Collaborative Virtual Product Creation) oder die *virtuelle verteilte Produktentwicklung* (Virtual Collaborative Engineering) ist derzeit nicht etabliert.

Die Vorbereitung und Absicherung des Herstellungs- oder Fertigungsprozesses trennt die Produktentwicklung von der Produktentstehung. Da sich die virtuelle Produktentstehung nicht mit real existierenden Objekten beschäftigt, ist der physikalische Herstellungsprozess damit

außer Betracht. Im Folgenden soll der Begriff *Produktentwicklung* stellvertretend für alle Prozesse verwendet werden, die sowohl der verteilten Produktentwicklung (Collaborative Engineering) als auch der virtuellen Produktentstehung (Virtual Product Creation) zugerechnet werden könnten. Obgleich die der Produktentstehung zugehörigen Phasen der Produktionsplanung und -vorbereitung nicht im Fokus dieser Arbeit stehen, kann gesagt werden, dass dort sehr ähnliche Problemstellungen vorliegen. Eine Übertragbarkeit der entwickelten Ansätze in vielen Punkten ist denkbar. Teilweise werden Beispiele zur Erläuterung herangezogen, die im Grenzgebiet zwischen Produktentwicklung und Produktentstehung liegen.

Die Vielzahl der zusammenspielenden Elemente in der industriellen Produktentwicklung bringt eine Reihe von Schnittstellen zwischen diesen Elementen mit sich. Diese bereits eingangs beschriebenen Schnittstellen erfordern eine hohe Abstimmung zwischen den Beteiligten des Entwicklungsnetzwerks 🕮, um reibungslose Abläufe, robuste digitale Modelle und schließlich die Interoperabilität der Einzelprozesse gewährleisten zu können. Prozesse, die Informationen über diese Schnittstellen weiterleiten, werden als Schnittstellen-Prozesse bezeichnet. Sie sind der konkrete Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit und werden in Abbildung 2 dargestellt.

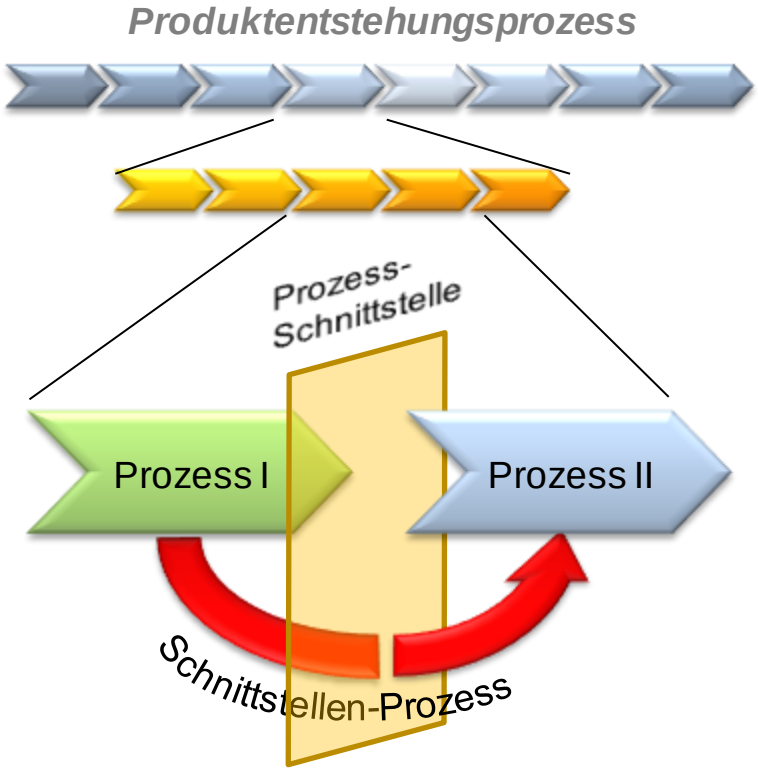


Abbildung 2: Schnittstellen-Prozesse im Entwicklungsprozess

1.2 Zielsetzung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen drei Hauptziele verfolgt werden:

(1) Beschreibung der Problematik von Fehlern an Schnittstellen-Prozessen in der industriellen verteilten Produktentwicklung

Während aus betriebswirtschaftlicher Sicht bereits Problembeschreibungen für die Problematik von Schnittstellen in Unternehmen in Ansätzen existieren [36-38], liegt eine detaillierte Beschreibung dieses Themas in der Produktentwicklung derzeit nicht vor. Durch das mangelnde Problembewusstsein sind auch Lösungsansätze bisher nicht formuliert.

(2) Analyse der Ursachen mangelhafter Schnittstellen-Prozesse in der Produktuktentwicklung

Eine genaue Analyse der Schnittstellenproblematik ist Voraussetzung für die Erarbeitung gezielter Ansätze zur Fehlervermeidung. Die Analyse darf dabei nicht auf dem Anschein nach vorwiegend technische Ursachen reduziert werden. Angestrebt wird eine möglichst umfassende Untersuchung unter Einbeziehung der wichtigsten Einflussfaktoren aus verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen 🕮.

(3) Entwicklung eines Rahmenwerks 🕮 zur Vermeidung von Schnittstellen-Fehlern 🕮 in der verteilten Produktentwicklung

Technische Lösungen für organisatorische Probleme einzusetzen, ist oftmals verlockend. Außer Acht bleibt dabei meist die damit einhergehende Erhöhung der Komplexität des Gesamtsystems, deren Reduktion zwar oft gefordert wird, die aber in der Regel nicht stattfindet. Technische Systeme sollen hier deshalb nicht als Problemlösung, sondern lediglich als unterstützende Werkzeuge für organisatorische Lösungen betrachtet werden.

Ziel ist es damit, möglichst wenige zusätzliche technische Systeme zu implementieren und stattdessen den fehlerfreien Umgang mit bestehenden Systemen zu erleichtern. Dazu sollen bekannte, grundsätzlich funktionale Prozesse durchgesetzt werden. Oftmals mangelt es hier nicht an der Erkenntnis, sondern lediglich an der operativen Umsetzung notwendiger Lösungen. Die Produktentwicklung selbst liegt größtenteils unmittelbar in der Hand der Produktentwickler und kann vom Unternehmen nur mittelbar beeinflusst werden. Etwas weiter formuliert geht es deshalb um die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen zur Fehlervermeidung für reibungslosere Abläufe über Schnittstellen von Prozessketten hinweg.

Die Ziele können auf mehrere Forschungsfragen herunter-gebrochen werden:

- Welches sind die Charakteristika von Schnittstellen-Prozessen in der verteilten Produktentwicklung?
- Welche Arten von Fehlern sind relevant und wie können sie klassifiziert werden?

- Welche Probleme sind in der Praxis von großer Bedeutung?
- Welche Ursachen und Einflussgrößen liegen Schnittstellen-Fehlern zugrunde?
- Wie ist ein Rahmenwerk zur Fehlervermeidung an Schnittstellen-Prozessen zu gestalten, um die identifizierten Probleme zu reduzieren?
- Welche Definitionen und Klassifizierungen von Schnittstellen in der Produktentwicklung sind dafür notwendig?
- Wie kann der Entwicklungsingenieur beim fehlerfreien Arbeiten an Schnittstellen im Entwicklungsprozess operativ unterstützt werden?
- Wie kann diese Unterstützung erfolgen, ohne dass dadurch weitere Belastungen für die Entwickler entstehen?

1.3 Vorgehensweise

Zunächst erfolgt eine Begriffsklärung die eine Einordnung der Problemstellung in den wissenschaftlichen Kontext 🕮 erlaubt. Ausgehend von der erläuterten Zielsetzung erfolgt eine Analyse der Problematik der Schnittstellen-Prozesse in der Produktentwicklung. Diese erfolgt auf Basis von Literaturstudien sowie den Erkenntnissen aus nicht standardisierten Interviews mit Industrievertretern und Praxiserfahrungen in verschiedenen Industrieunternehmen. Anschließend werden die aus den Problemen resultierenden Auswirkungen für das Unternehmen analysiert und anhand domänenspezifischer Einzeldefinitionen wird ein passender Fehlerbegriff für den Kontext dieser Arbeit erarbeitet. Eine empirische Studie dient dem Beleg der branchenübergreifenden Praxisrelevanz der theoretisch fundierten und in Einzelgesprächen erkannten Probleme. Anschließend werden die Hauptursachen für das Auftreten von Schnittstellen-Fehlern näher betrachtet. Die Erkenntnisse dienen der Entwicklung von Konzepten für ein Rahmenwerk, mit dessen Hilfe das Auftreten von Schnittstellen-Fehlern reduziert und die Auswirkungen dennoch auftretender Fehler begrenzt werden sollen.

Der Schwerpunkt der Konzepterarbeitung liegt dabei auf der Nutzung von Verfahren und Erkenntnissen, die bereits in anderen Domänen 🕮 als der Produktentwicklung Einsatz finden und sich dort bewährt haben. Dieser Ansatz entspricht dem Stand der Innovationsforschung, die klar belegt, dass die größten Innovationspotenziale in der Übertragung althergebrachter etablierter Vorgehensweisen in einen neuen industriellen Kontext oder eine fremde Branche 🕮 liegen [39]. Zurückgegriffen wird bei der Erarbeitung des Lösungsansatzes auf Literatur verschiedener Wissenschaftsdisziplinen und -fachgebiete 🕮. Unter anderem sollen die im Folgenden genannten Methoden 🕮 und Erkenntnisse in das Feld der virtuellen Produktwicklung übertragen und entsprechend angepasst werden:

- Kontrollmechanismen der Wirtschaftsprüfung
- Anreizsysteme der Organisationspsychologie

- Schnittstellenanalysen der Betriebswirtschaft
- Verhaltensmuster in der Prinzipal-Agenten-Forschung
- Externe Effekte der Volkswirtschaftslehre
- Interaktionsverhalten der Human-Factors-Forschung

Ein Konzeptschwerpunkt, die Behandlung entwicklungsinterner Prozess- und Methodenvorgaben 🕮, wird prototypisch in ein softwaretechnisches Assistenzsystem 🕮 umgesetzt. Des Weiteren wird eine Evaluation im Rahmen studentischer Projektarbeit durchgeführt. Abbildung 3 stellt die Hauptbestandteile und -abläufe des wissenschaftlichen Vorgehens zusammengefasst dar.

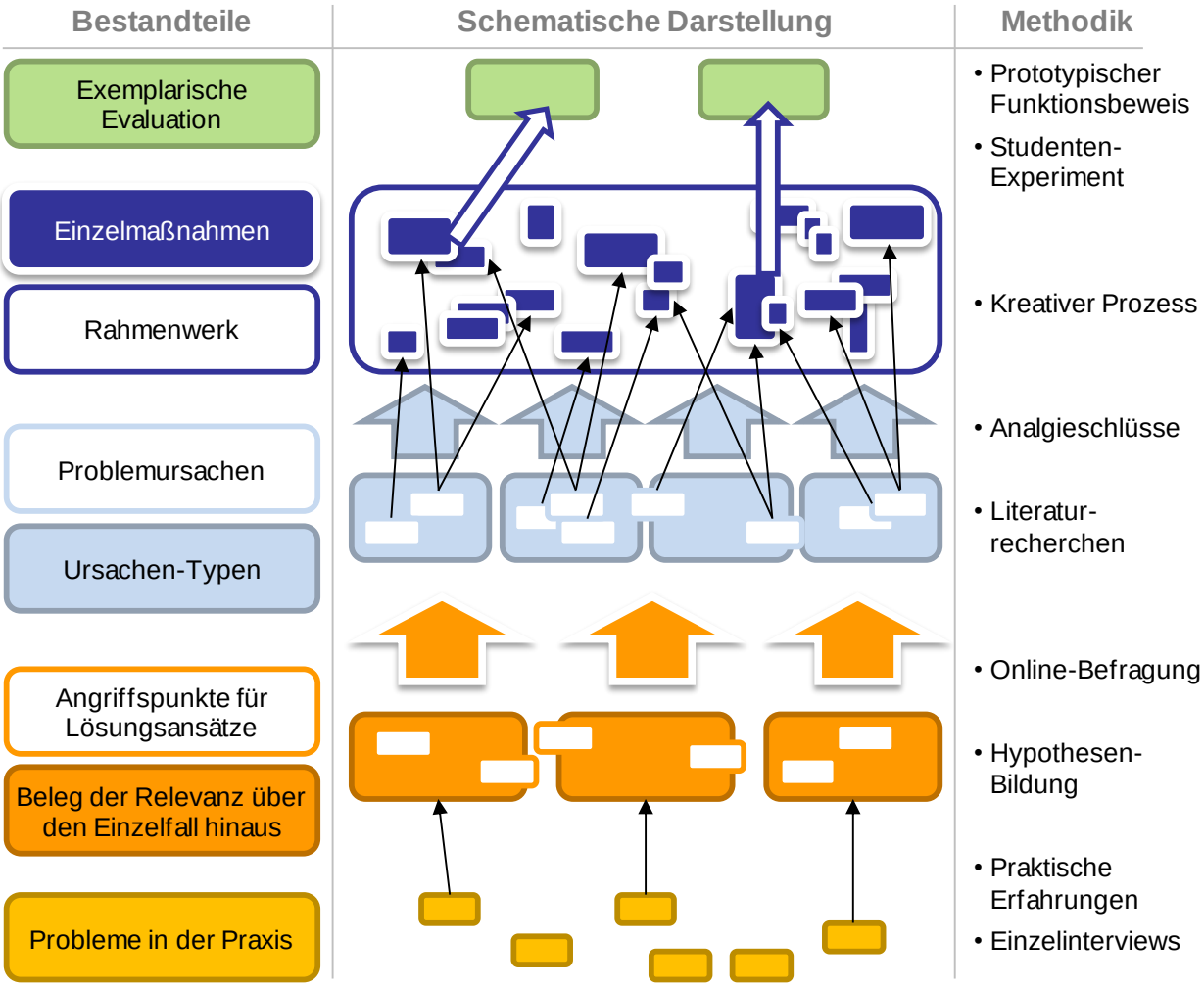


Abbildung 3: Schematische Darstellung der wissenschaftlichen Vorgehensweise

Die Darstellung ist im Ablauf von unten nach oben zu lesen. Aufgrund vielfacher Wechselbeziehungen zwischen den beschriebenen Bestandteilen erfolgt das Vorgehen nicht strikt linear, sondern teils parallel. Des Weiteren sind die verwendeten Methodiken den Phasen des Vorgehens nicht überschneidungsfrei zuzuordnen. Abschließend stehen eine

Zusammenfassung der wissenschaftlichen Arbeit sowie ein Ausblick mit Zukunftseinschätzungen bezüglich der betrachteten Problematik und der Forschungsansätze zur weiteren Behandlung dieses neu eröffneten Themenfeldes.

2 Erörterung der Schnittstellen-Problematik in der verteilten Produktentwicklung

Die virtuelle Entstehung technisch anspruchsvoller Produkte besteht aus einer Reihe verschiedenartiger Prozesse der verteilten Produktentwicklung und Produktionsvorbereitung rund um den Bereich der CAx- (Computer Aided x; stellvertretend für alle computerunterstützten Methoden) und weiterer computerbasierter Technologien. Dazu können gezählt werden:

Computer Aided Engineering (CAE)

Unterstützung der Produktentwicklung mithilfe von Computer-Unterstützung, beispielsweise bei Planung, Entwurf (CAD) und Auslegung.

Computer Aided Design (CAD)

Produktentwurf in Form digitaler Modelle für konsistentere Entwurfshistorie, vereinfachte Änderungsprozesse und als Basis der digitalen Absicherung.

Computer Aided Planning (CAP)

Rechnerunterstützte Arbeitsplanung einschließlich der Auswahl von Verfahren und Betriebsmitteln sowie Erstellung entsprechender Steuerungsdaten.

Computer Aided Quality Assurance (CAQ)

Computerunterstützte Qualitätskontrolle und –sicherung bei Mengen-, Termin- und Qualitätsprüfung, sowie statistischer Prozesskontrolle, Risiko- und Fehleranalysen.

Digital Mock-up (DMU)

Erstellung eines digitalen Prototypen als Basis für visuelle Prüfungen und zu Simulationszwecken.

Finite Elemente Methode (FEM)

Simulation zur Ermittlung von Bauteilspannungen, Materialfestigkeiten, Ermüdungserscheinungen, Kollisionsszenarien und Verformungen aufgrund anderer Einwirkungen.

Rapid Prototyping (RP)

Maschinelle Erstellung einfacher Prototypen in geringer Baugröße auf Basis der Produktmodell-Daten.

Virtual Reality (VR)

Visualisierung der Produktmodelle in virtueller Umgebung und unter Zuhilfenahme von Stereo-Visualisierung und anderen immersiven Technologien zur frühen Bewertung der entwickelten Produkte in möglichst realer Umgebung.

Augmented Reality (AR)

Produkt- und Umgebungssimulationen zur Darstellung digitaler Modell- und Umgebungselemente in Kombination mit physischen Objekten, beispielsweise zur Unterstützung der menschlichen Vorstellungskraft beim Umgang mit frühen Produktentwürfen.

Produktstruktur-Integration

Zusammenführung einzelner Bauteile und Baugruppen aus der gesamten Zulieferkette zur Erstellung eines Gesamtproduktmodells, Verifizierung und als Basis für weitere Evaluierungen.

Produktdatenmanagement (PDM)

Umfassende Verwaltung von Entwicklungsdaten für Absicherung, Variantenmanagement, Workflowmanagement und Lebenszyklus-Betrachtungen.

Datenaustausch

Bereitstellung von Entwicklungsdaten an verschiedenen Unternehmensstandorten sowie zwischen OEM und Zulieferunternehmen 🕮.

Datenkonvertierung

Umwandlung von Datenformaten für die Betrachtung und Bearbeitung mit unterschiedlichen Werkzeugen und zu unterschiedlichen Zwecken.

Kollisions-Berechnung

Untersuchung virtueller Zusammenbauten auf unerwünschte Überschneidungen von Bauteilen.

Mehrkörpersimulation (MKS)

Simulation von Bewegungsabläufen zur Bewertung von Bewegungsradien, Kollisionsrisiken und der Erfüllung funktionaler Anforderungen.

Digitale Fabrik

Planung und Absicherung des gesamten Fertigungsprozesses zur Unterstützung der Fabrikplanung und frühzeitigen Berücksichtigung von Fertigungsrestriktionen in der Produktentwicklung.

Produktdokumentation

Dokumentation 🕮 einzelner Produktsichten, beispielsweise als Fertigungszeichnung, Zusammenbauzeichnung oder Bedienungsanleitung.

Diese Aufgaben werden aufgrund zunehmender Produkt- und Prozesskomplexität arbeitsteilig von mehreren Personen in einem Unternehmen oder innerhalb eines Produktentwicklungsnetzwerks ausgeführt. Zusätzlich wird dabei die Prozessparallelisierung angestrebt, die eine frühere Abstimmung der Teilergebnisse verspricht und letztendlich auf einen Vorsprung gegenüber den Marktbegleitern über bessere Produktqualität, geringere Entwicklungskosten und früheren Markteintritt abzielt [40].

Der wünschenswerte Idealzustand wäre eine integrierte IT-Systemlandschaft, die alle genannten Prozesse und Funktionen ohne Medienbrüche anbieten könnte. Einen Ansatz für eine derartige Integrationsplattform zeigte das Projekt „integrierte Virtuelle Produktentstehung“ (iVip) des Fraunhofer Instituts für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK) in Berlin [41]. Allgemein wird vom Ansatz der unternehmensweiten Anwendungsintegration („Enterprise Application Integration“) gesprochen [42]. In der industriellen Realität sind derart integrierte Systeme allerdings nicht verbreitet, sodass es eine Vielzahl von Schnittstellen zwischen unterschiedlichsten Teilsystemen zu überwinden gilt. Vielfach werden an diesen Schnittstellen Datenformate auf Basis neutraler Standards wie dem *Standard for the Exchange of Product Model Data* (STEP), der *Initial Graphics Exchange Specification* (IGES) oder der Flächenschnittstelle des Verbands der Automobilindustrie (VDA-FS) eingesetzt. Diese Schnittstellen befinden sich sowohl innerhalb eines Unternehmens als auch zwischen kooperierenden Unternehmen. Gerade durch zunehmende internationale Kooperationen im Produktentwicklungsprozess sowie durch die steigende Komplexität der zu entwickelnden Produkte, aber auch durch die zunehmende Anzahl der Entwicklungswerkzeuge, mit der der einzelne Produktentwickler umgehen muss [31], steigt die Zahl der Schnittstellen weiterhin an. Diese Entwicklung wird sich auf absehbare Zeit fortsetzen. Letztlich übersteigt die Zahl der Anforderungen an Arbeitsergebnisse die Verarbeitungskapazität des einzelnen Entwicklungsingenieurs. Zur reibungslosen Weiterbearbeitung im Folgeprozess gestellte Qualitätsanforderungen können nicht mehr erfüllt werden und führen zu Qualitätsmängeln. Prozessunterbrechungen, Nacharbeit und eine zunehmende Unklarheit über die tatsächlich

gestellten Anforderungen sind die Folge und führen zu erheblichen Reibungsverlusten im Hinblick auf Zeit und Kosten im Entwicklungsprozess.

2.1 Beschreibung eines Beispielprozesses

Zur Veranschaulichung der in der verteilten Produktentwicklung ablaufenden Prozesse wird im Folgenden ein Ausschnitt aus dem Produktentwicklungsprozess beispielhaft in Form einer Prozesskette dargestellt:

(1) Der OEM liefert die Umgebungsgeometrie eines aktuell in der Entwicklung befindlichen Produktmodells an Zulieferunternehmen.

(2) Bei unterschiedlichen Zulieferern 🕮 erfolgen der CAD-Entwurf und unterschiedliche notwendige Simulationen mit den jeweiligen Iterationsschritten.

(3) Die Zulieferunternehmen exportieren das CAD-Modell der entwickelten Komponenten in das Datenaustauschformat STEP.

(4) Der Datenversand zum OEM erfolgt je nach Zulieferer auf unterschiedliche Weise, beispielsweise mittels spezieller Software-Anwendungen oder mittels Datenträgern.

(5) Beim OEM werden die eingehenden Modellgeometrien automatischen Qualitäts-Checks, beispielsweise mithilfe von Standardlösungen wie dem Q-Checker (Transcat PLM), unterzogen.

(6) Die nun augenscheinlich korrekten Daten werden in das PDM-System integriert und mit Effektivitäten für Versionierung und Konfiguration versehen.

(7) Zur weiteren Verarbeitung werden die Modelldaten einer konkreten Produktmodellkonfiguration der Konvertierung in unterschiedliche DMU-Formate unterzogen.

(8) Mithilfe von Kollisionsberechnungen werden mögliche räumliche Überschneidungen von Bauteilen festgestellt.

(9) Die konfigurierte Modellgeometrie wird zusammen mit den Ergebnissen der Kollisionsberechnung als DMU visualisiert. Dies kann je nach Anforderung der folgenden Untersuchung sowie nach Größe und Komplexität des DMU am CAD-Arbeitsplatz oder mittels spezieller dreidimensionaler Visualisierungstechnologien wie etwa einer holografischen Bank (Holobench) oder CAVE erfolgen.

An dieser Beispielprozesskette sind mehrere Mitarbeiter, Abteilungen, Unternehmen und möglicherweise Unternehmensstandorte beteiligt.

2.2 Beschreibung einer Beispielproblematik

Das im Folgenden beschriebene Beispiel soll die untersuchte Problematik exemplarisch verdeutlichen und wird im Laufe der Arbeit weiter erläutert:

Dreidimensionalen geometrischen Darstellungen können unterschiedliche Koordinatensysteme zugrunde liegen. Im Fall der im CAD üblichen kartesischen Koordinaten gibt es wiederum rechtshändische und linkshändische Systeme, die sich in der Anordnung der

x-, y- und z-Koordinaten unterscheiden. Üblicherweise verwenden CAD-Systeme standardmäßig rechtshändische Systeme. Wird das CAD-Koordinatensystem zur Positionierung der konstruierten Bauteile in der Produktstruktur im PDM-System verwendet, so ist die Händigkeit (Chiralität) der Modelle von entscheidender Bedeutung, da dadurch ein eindeutiger Bezug zum definierten Gesamtprodukt-Nullpunkt gesetzt wird. Die Positionierung unter Verwendung eines falschen Koordinatensystems führt dazu, dass Einzelbauteile bei Integration in die Gesamtstruktur falsch positioniert werden. Dies hat besonders bei der Mehrfachverwendung von Bauteilen im Produkt erheblichen Korrekturaufwand zur Folge, der weit über Korrekturen durch Matrizentransformationen hinausgeht. In vielen Fällen, abhängig von den verwendeten CAD- und PDM-Systemen, übersteigt der Korrekturaufwand den Aufwand 🕮 für eine vollständige Neukonstruktion. Da Spiegelungs-Operationen in der Regel auch das zugehörige Achsensystem spiegeln [360], wird die Spiegelungsfunktion im CAD oftmals von den Modellintegratoren der OEMs untersagt. Zahlreiche Einzelinterviews mit Entwicklungsingenieuren von Zulieferbetrieben 🕮 haben ergeben, dass die Spiegelungsfunktionen des CAD-Systems nicht von allen OEMs untersagt werden. Ferner ist der Hintergrund des Verbots in der Regel den Ingenieuren nicht bekannt, sodass unterschiedliche Interpretationen dieses Verbots existieren und die Notwendigkeit der Einhaltung nicht klar erkannt und anerkannt wird.

2.3 Abgrenzung des Schnittstellenbegriffs

Eine Schnittstelle beschreibt eine Systemgrenze, an der Information, Energie oder Materie zwischen dem System und der Umwelt ausgetauscht werden kann [22]. Grenzen zwischen Subsystemen fallen ebenfalls unter diesen Begriff. Während BROCKHOFF für die Betriebswirtschaft nur von Schnittstellen spricht, wenn keine hierarchische Beziehung zwischen den an der Schnittstelle beteiligten Parteien besteht und somit keine hierarchische Koordination denkbar ist [37], soll diese Einschränkung hier nicht gemacht werden. Es ist dennoch anzuerkennen, dass die Problematik bei heterarchischen Kooperationen ungleich größer ist, da in diesem Fall ausgeglichene Machtverhältnisse vorliegen, so dass jede Partei auf die freiwillige Kooperationsbereitschaft der jeweils anderen angewiesen ist [38].

Eine vollständige Verbindung zweier Systeme besteht aus mindestens zwei und meist vier Schnittstellen. Abbildung 4 zeigt eine Vollverbindung zweier Systeme, bei der sowohl Hin- als auch Rückflüsse stattfinden, unabhängig vom übertragenen Medium. Bei fehlendem Rückfluss ist ein horizontales Schnittstellenpaar ausreichend für die Verbindung der beiden Systeme.

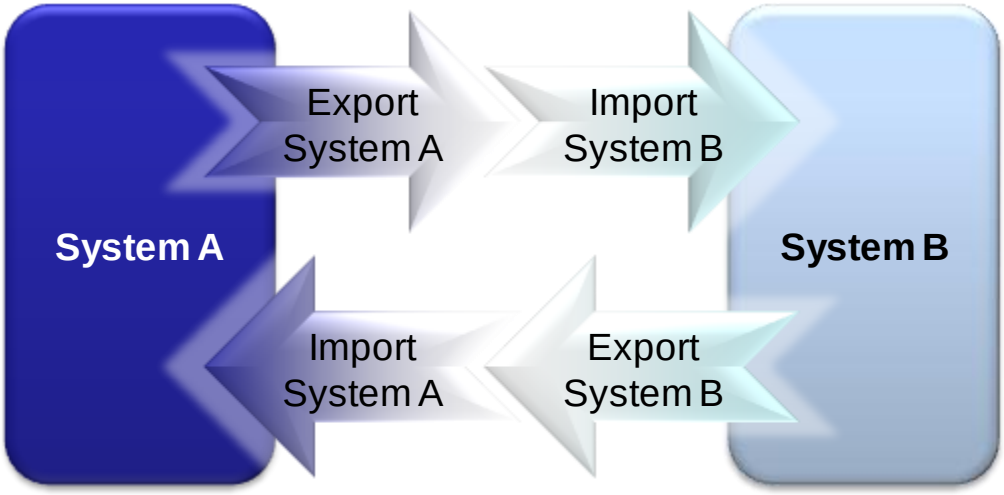


Abbildung 4: Verbindungs-Schnittstellen zweier Systeme

Probleme an Schnittstellen können auf zweierlei Weisen gehandhabt werden. Entweder durch Integration, also Aufhebung der Schnittstelle und Schaffung eines gemeinsamen systeminternen Zustands, oder durch Schnittstellen-Management. Darunter sind strukturierte, individuell und situationsgerecht angepasste Vorgehensweisen zu verstehen. Zwar scheint die Integration gerade in technischen Belangen die sauberste Lösung zu sein, jedoch ist sie mit hohen Risiken verbunden. Diese liegen einerseits in den technischen Möglichkeiten, die nach aktuellem Stand der Technik noch nicht in der notwendigen Breite oder stellenweise noch gar nicht verfügbar sind. Andererseits bewirkt eine Integration immer auch eine Festschreibung der Abläufe und Ablaufbedingungen, was zulasten der Flexibilität geht, die von einer modularen Struktur besser zur Verfügung gestellt werden kann. Es bleibt wie oft eine Frage der Abwägung im Einzelfall, mit welchen Schnittstellen umzugehen ist und welche Schnittstellen sich durch Integration auch angesichts der zu erwartenden Seiteneffekte ohne größere Risiken abschaffen lassen. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf dem planvollen Umgang mit Schnittstellen, nicht auf deren Abschaffung.

2.3.1 Schnittstellen der Produktentwicklung

Angelehnt an die Schnittstellenebenen von Unternehmen nach BROCKHOFF [36] gibt es in der Produktentwicklung auf Basis unterschiedlicher Stellungen der Teilnehmer in der Organisationsstruktur grundsätzlich fünf zu unterscheidende Schnittstellenpartner:

- Interne Mitarbeiter des Herstellers (Original Equipment Manufacturer, OEM 🕮) in gleicher Abteilung und gleicher Funktion
- Interne Mitarbeiter des OEM in gleicher Abteilung und unterschiedlicher Funktion
- Interne Mitarbeiter des OEM in unterschiedlicher Abteilung

- Externe Mitarbeiter des OEM
- Mitarbeiter eigenständiger Zulieferunternehmen (Supplier)

Ingenieurdienstleister können entweder in Form externer Mitarbeiter auftreten, wenn sie ein Konzept der Personalüberlassung verfolgen, oder als Zulieferer verstanden werden, wenn sie Entwicklungsdienstleistungen erbringen, ohne dabei ihr Personal in die Strukturen des OEM zu integrieren. Abbildung 5 verdeutlicht die verschiedenen Kooperationsbeziehungen. Je mehr Systemgrenzen überschritten werden müssen, umso komplexer gestalten sich Kooperation und Informationsaustausch zwischen den Entwicklungsingenieuren.

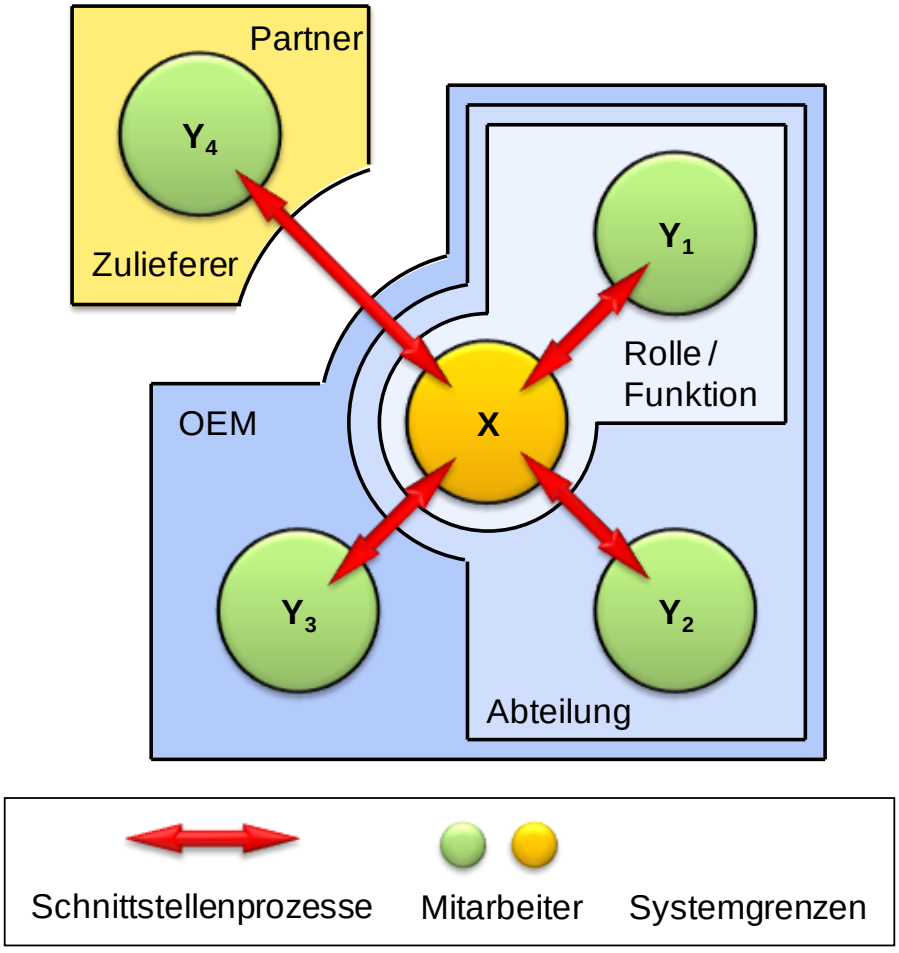


Abbildung 5: Schnittstellen in der modernen Produktentwicklung [24]

Bereits die kooperative Zusammenarbeit an einer gemeinsamen Aufgabe zweier Entwicklungsingenieure ist beeinflusst durch psychologische Faktoren. Bei Kooperationen innerhalb einer Abteilung sind vorwiegend arbeitsinhaltliche Barrieren relevant. Die Unterscheidung in Kooperationspartner gleicher und unterschiedlicher Abteilungen ist hauptsächlich beeinflusst durch die, sofern vorhanden, unterschiedlichen Kostenstellen und Verantwortlichkeiten sowie unterschiedliche Sozialisierung der Beteiligten, teils durch unterschiedliche Berufsausbildungen. Plakatives Beispiel hierfür sind die verschiedenen

Sprachen der Marketing- und Produktions- oder Produktentwicklungsabteilungen [24]. Nicht nur in diesen recht weit voneinander entfernten Fachgebieten, sondern bereits zwischen unterschiedlichen ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen gibt es vergleichbare Barrieren. Schnittstellen zwischen Unternehmen zeichnen sich durch Konkurrenzbeziehungen und teils starke kulturelle Unterschiede sowie einen verminderten Informationsfluss aus. Mit jeder hinzukommenden Systemgrenze addieren sich diese Effekte auf, wie Tabelle 1 mit Bezug auf Abbildung 5 zusammengefasst zeigt.

Tabelle 1: Systemgrenzen als Risiken für die Kooperation

	Systemgrenzen	**Risiken**
$X - Y_1$	• Individuum	• Psychologische Faktoren
$X - Y_2$	• Individuum • Fachliche Tätigkeit	• Aufgaben- und Rollenspezialisierung [36]
$X - Y_3$	• Individuum • Fachliche Tätigkeit • Abteilung	• Bereichsegoismen • unterschiedliche Sozialisierung • Unterschiedliche Berufsbildung
$X - Y_4$	• Individuum • Arbeitsinhalt • Abteilung • Unternehmung	• Unternehmenskultur • eingeschränkter Informationsfluss • Geheimhaltungszwänge

Bei der Unterscheidung zwischen internen und externen Mitarbeitern wie Fremd- und Leiharbeitskräften sind hauptsächlich rechtliche Belange zu beachten, die beispielsweise bei den noch zu diskutierenden Anreizmöglichkeiten im Bereich des Vergütungssystems relevant sind. Bezogen auf die zu erwartende Kooperationsbereitschaft sind hier ebenfalls Vorbehalte möglich, die jedoch nicht gesondert betrachtet werden.

Die Übertragbarkeit der Erkenntnis, dass die Kooperation aufgrundlegend freiwilliger Basis abläuft [38], auf den konkreten Kontext der Produktentwicklung ist unstrittig [43]. Diese Kooperationsbeziehungen wurden bereits in mehreren empirischen Studien unterschiedlicher Autoren als der wesentliche Erfolgsfaktor einer Unternehmung [44] und speziell virtueller Organisationen [43] erkannt. Dies gilt besonders auf der operativen Kooperationsebene. Auf

Unternehmensebene hat der OEM in der Regel eine ausgewiesene Machtposition, sofern eine vertragliche Bindung zwischen OEM und Zulieferer besteht. Diese ermöglicht es ihm, das Verhältnis maßregelnd zu beeinflussen. Eine Durchsetzung der Maßregelung in die operative Ebene gestaltet sich dennoch schwierig. Besteht die vertragliche Bindung des Zulieferers mit dem Endkunden, wie dies im Flugzeugbau häufig der Fall ist, so herrscht eine Heterarchie zwischen OEM und Zulieferer, die noch weit konfliktträchtiger ist, da es keine Vormachtstellung gibt.

Abhängig von der Art der Systeme und damit der Art der übertragenen Medien sind Exportschnittstellen in der Produktentwicklung unterschiedlich stark kompatibel zu Importschnittstellen und umgekehrt (vgl. Abbildung 4). Schnittstellen im mechanischen Sinne übertragen in der Regel Materie oder Kräfte. Die Kompatibilität zweier derartiger Schnittstellen lässt sich gut berechnen und auch testen. Ob eine Schraubverbindung zwischen einem Flansch und einem Kessel passt und auch anliegenden Drehmomenten standhält, kann rechnerisch und experimentell gut ermittelt werden. Unsicherheiten bestehen lediglich hinsichtlich der auftretenden Belastungen sowie möglicher Materialfehler. Schnittstellen der Informatik übertragen Informationen und sind bei überschaubarer Komplexität der Systeme ebenfalls wohldefiniert und gut bewertbar. Die Attribute der Einzelschnittstellen können dem Quellcode manuell entnommen und evaluiert oder mittels Model Checker automatisch verifiziert werden. Abhängig von ausgetauschten Datentypen und bei komplexen Konvertierungen können Komplikationen auftreten. Auf die Kompatibilität und die Bewertbarkeit der Kompatibilität von Schnittstellen der virtuellen Produktentwicklung wird im nächsten Abschnitt eingegangen.

Im konkreten Kontext werden Schnittstellen zwischen Prozessen, Produkten und Produktentwicklungswerkzeugen sowie zwischen Einzelpersonen und organisatorischen Einheiten betrachtet.

2.3.2 Schnittstellen-Prozesse in der Produktentwicklung

Ein Schnittstellen-Prozess ist ein Prozess, der über eine Schnittstelle verläuft und somit zwei Systeme verbindet, wobei beide Systemgrenzen überschritten werden. Die Aufgabe von Schnittstellen-Prozessen ist die Übergabe von Ergebnissen aus dem Vorgänger-Prozess an den Nachfolge-Prozess unter Beachtung der vollständigen Beschreibung der Anforderungen des oder der Nachfolge-Prozesse an den Vorgänger-Prozess [24].

Die Schnittstellen-Prozesse der virtuellen Produktentwicklung verbinden Elemente aus der Domäne der zu entwickelnden Produkte sowie der Informatik und sind möglicherweise nicht mehr vollständig verifizierbar. Aussagen über die Kompatibilität können also nur unter hoher Unsicherheit getroffen werden. Eine theoretische Möglichkeit zur Verifikation mag teilweise

gegeben sein. Die praktische Umsetzung scheitert jedoch an Informationsmangel und zu hoher Komplexität der Schnittstellen der übertragenen Medien, die in diesem Fall die digitalen Modelle sind. Als Beispiel sei die Übergabe eines Modells aus der Computer Aided Design (CAD)-Anwendung an ein Finite-Elemente-Methode-(FEM)-Simulations-Werkzeug genannt. Eine Vielzahl der im CAD-Modellierungskern definierten Eigenschaften des Modells hat Einfluss auf die Vernetzung und Simulation in der FEM-Anwendung. Lediglich aus Erfahrungswissen heraus kann abgesehen werden, welche geometrischen und anderen Eigenschaften von CAD-Modellen einer speziellen CAD-Anwendung in einer speziellen FEM-Simulation zu Komplikationen führen werden. Auf theoretischer Basis sind diese Erkenntnisse nicht zu erlangen. Auch auf experimentellem Wege ist eine Verifikation der Funktionalität der Verbindungsschnittstelle nicht vollständig möglich. Der zugehörige Schnittstellen-Prozess zwischen den beiden Prozessschritten kann aus mehreren Blickwinkeln betrachtet werden und beispielsweise auf Objekt- oder Werkzeugcharakteristika fokussieren (vgl. Abschnitt 5.2.1 f., S. 101). Eine Verifikation des Schnittstellen-Prozesses würde bedeuten, dass eindeutig feststellbar ist, ob das aus dem CAD-Prozess resultierende Objekt derart kompatibel zum folgenden FEM-Prozess ist, dass einerseits keinerlei Probleme entstehen und andererseits der FEM-Prozess so durchgeführt werden kann, dass dieser wiederum die an ihn gestellten Anforderungen erfüllen kann. Weitere Beispiele für Schnittstellen-Prozesse in der verteilten Produktentwicklung sind Datenaustauschprozesse zwischen Unternehmen oder Abteilungen sowie jegliche Übergabe von Vorarbeiten oder Informationen zu anderen Personen, Werkzeugen oder Organisationseinheiten.

Als Sonderfall sind die Kommunikationsschnittstellen zwischen Personen zu betrachten, die zwar in der Regel syntaktisch kompatibel sind, das heißt, dass beispielsweise die übertragenen Medien Schall und Licht in Form von Sprache, Gestik und Mimik zwar meist ohne große Probleme übertragen werden können. Eine semantische Kompatibilität derart, dass der Empfänger die Sprache auch inhaltlich so versteht, wie der Sender sie verstanden wissen möchte, kann hingegen nicht bis ins letzte Detail sichergestellt werden.

2.4 Untersuchung des Fehlers als prozessinternen Risikos

Sowohl im Englischen als auch im Deutschen findet keine konsistente Verwendung des Begriffs *Fehler* statt. Gleiches gilt für die im Umfeld des Fehlerbegriffs verwendeten Bezeichnungen wie Mangel, failure, error, fault oder mistake. Teils werden die Begriffe einheitlich, teils unterschiedlich und teils auch widersprüchlich verwendet. Dieser Umstand ist darauf zurückzuführen, dass der Fehlerbegriff nicht auf die ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen beschränkt ist, sondern auch in der Psychologie, Rechtswissenschaft, Sprachwissenschaft und anderen Domänen angewandt und laufend dem aktuellen Forschungs- und Anwendungsstand angepasst wird. Darüber hinaus ist der *Fehler* auch ein

Begriff des Alltags und unterliegt somit der faktischen Anpassung und laufenden Sinnveränderung im Sprachgebrauch.

Das Geschehen oder Ausbleiben von Fehlern unterliegt in hohem Maße situativen Randbedingungen. Bereits seit den 1980er Jahren sind die Phänomene der grundlegenden Zuschreibungsfehler („fundamental attribution error“) [45], Korrespondenzverzerrung („correspondence bias“) [46] oder übermäßigen Zuschreibung („overattribution effect“) [47] bekannt. Demnach kann eine Handlung und damit auch ein Fehler nicht als alleinige Verantwortung der handelnden oder unterlassenden Person gesehen werden, sondern ist neben den persönlichen Eigenschaften vor allem auch der momentanen Umgebungssituation und der Aufgabenstellung zuzuschreiben [48, 49]. Dennoch werden die entscheidenden Rahmenbedingungen oftmals noch nicht in ausreichendem Maße funktional gestaltet. Dort liegt ein großes Potenzial, um Fehlervermeidung ohne besondere Anstrengungen zu erreichen. Es ist die erklärte Aufgabe, das Handlungsumfeld so zu organisieren, dass es einfacher ist, eine Tätigkeit richtig auszuführen, als eine Tätigkeit falsch auszuführen. Damit kann der Zielkonflikt zwischen korrekter anstrengender Handlung und einfacher, also belohnender Handlung aufgelöst werden.

2.4.1 Erarbeitung einer Fehlerklassifizierung

Ein Fehler bezeichnet nach ISO 9000 die „Nichterfüllung einer Anforderung“ [50]. Im alltäglichen Sprachgebrauch kann ein Fehler jedoch sowohl eine Tätigkeit im Sinne einer falschen Handlung (*einen Fehler machen*) als auch das im Sinne der Qualitätsnorm ISO 9000 zu verstehende fehlerhafte Ergebnis (*das Produkt hat einen Fehler*) bedeuten. Die Rechtswissenschaft spricht vom Sachmangel [51], sobald eine Einschränkung der Gebrauchsfähigkeit vorliegt, die nach ISO 9000 [52] einen Mangel darstellt. Nach SHINGO entspricht dies der Unterscheidung zwischen dem Arbeitsfehler als Ursache und dem daraus folgenden Produktfehler oder dem technischen Defekt als Wirkung. Sein Fehlervermeidungskonzept „Poka Yoke“ zielt gerade darauf ab, aus Arbeitsfehlern keine Produktfehler entstehen zu lassen [53]. Des Weiteren ist für die betrachtete Problemstellung eine weitere Untergliederung des Fehlerbegriffs sinnvoll. Dabei ist der Arbeitsfehler nach dem Vorgang der Fehlerentstehung zu unterschieden in Handlungsfehler [54, 55] und Planungsfehler [55, 56]. Nach der Schwere der möglichen Auswirkungen unterschieden wird nun noch in kritische Fehler, Hauptfehler [57] und zweierlei Nebenfehler [58]. Während beim kritischen Fehler anzunehmen ist, dass sie eine personengefährdende Situation herbeiführen können, bewirken Hauptfehler eine vollständige oder teilweise Beeinträchtigung der Brauchbarkeit und Nebenfehler eine geringe (Nebenfehler A) oder keine Beeinträchtigung (Nebenfehler B) der Brauchbarkeit. Diese im Weiteren verwendete Untergliederung ist dargestellt in Abbildung 6.

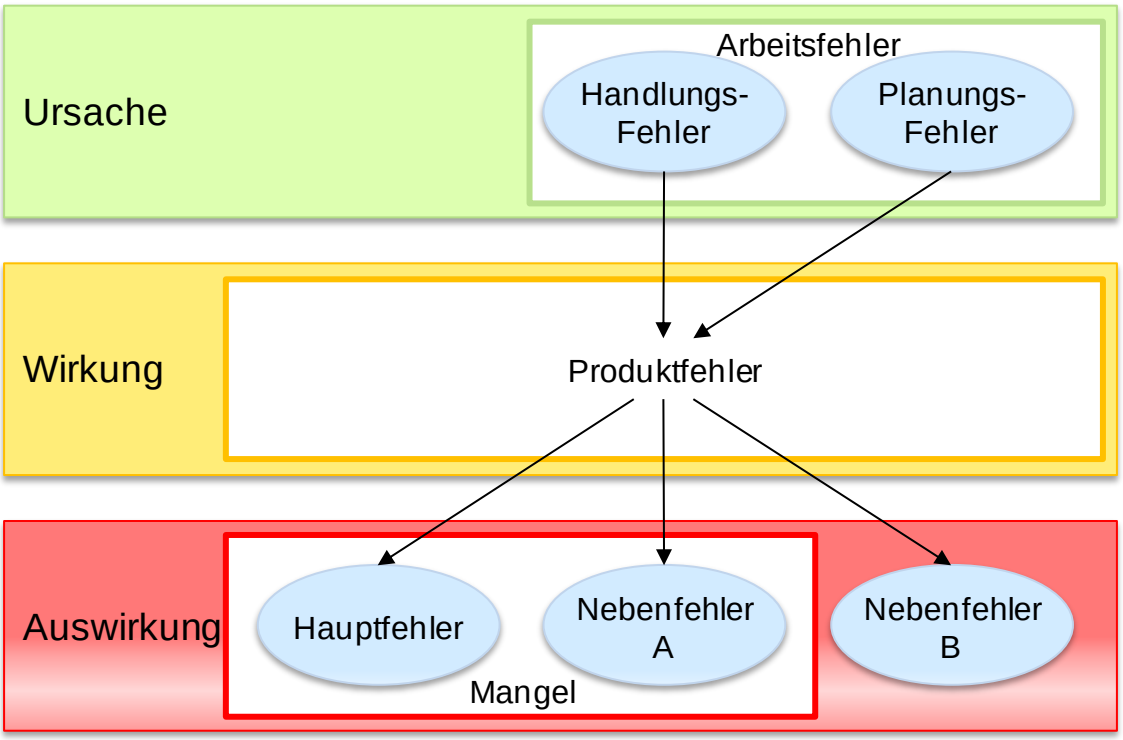


Abbildung 6: Verwendete Fehlerbegriffe

Eine Abweichung [59] von einer festgelegten Anforderung bedeutet in der Regel noch keinen Produktfehler. Die Abweichung kann innerhalb der Toleranzbereiche liegen und somit noch keinen Mangel darstellen, da über die Beeinträchtigung des Gebrauchs noch keine Aussage zu treffen ist. Jedoch kann die Abweichung möglicherweise bereits auf einem Handlungsfehler basieren. Lediglich bei Anforderungen ohne Fehlertoleranz, wie es bei diskreten Anforderungen häufig der Fall, ist eine Abweichung mit einem Produktfehler gleichzusetzen. Ein Handlungsfehler führt umgekehrt auch nicht zwingend zu einem Mangel. Ebenso verhält es sich bei Planungsfehlern, wobei davon auszugehen ist, dass Planungsfehler gröbere Abweichungen vom Soll bewirken und somit die Wahrscheinlichkeit eines technischen Defektes aufgrund eines Planungsfehlers höher ist als aufgrund eines Handlungsfehlers. Ferner können Handlungsfehler von der ausführenden Person besser entdeckt werden, da ein Soll-Ist-Vergleich zwischen dem gewünschten und dem erzielten Ergebnis möglich ist, wohingegen beim Planungsfehler das Ergebnis mit der Intention übereinstimmt. Erst ein erneuter Abgleich mit der Anforderung würde hier zur Fehlererkennung und damit zur Korrekturmöglichkeit führen.

Letztlich bleibt noch zu unterscheiden zwischen aktiven und latenten Fehlern. Aktive Fehler geschehen nach REASON an der „Spitze des Skalpells“ und haben konkrete und unmittelbare Auswirkungen auf den „Patienten“ oder das Produkt. Latente Fehler hingegen geschehen am

„Griffende des Skalpells“ und haben nur mittelbare Auswirkungen, deren zeitliches Eintreten nicht genau bestimmt werden kann [60, 61].

2.4.2 Abgrenzung von Momentanfehlern und Permanentfehlern

In der Produktentwicklung tritt eine Fehlerart auf, die speziell auf technische und andere handwerkliche Tätigkeiten beschränkt ist und in anderen Fachgebieten wenig Relevanz 🕮 besitzt. Diese Fehlerart soll als Momentanfehler (transitional error) im Gegensatz zu Permanentfehlern (permanent error) bezeichnet werden. Der Momentanfehler ist ein Fehler, der lediglich aufgrund eines vorzeitigen Soll-Ist-Vergleichs als Fehler eingestuft werden kann. Es handelt sich um eine Form der Unvollständigkeit, die im planerischen Vorausdenken des Entwicklungsingenieurs oder auch wahlweise des Handwerkers oder Künstlers erkannt und zur Weiterbearbeitung bestimmt ist. Die Konstruktion eines Gasdruckbehälters mithilfe eines CAD-Systems kann beispielsweise mit einer geschlossenen Zylinderhülle und zwei gewölbten Böden beginnen. In diesem Zustand betrachtet weist das Konstruktionsobjekt einen Momentanfehler auf, da sowohl Anschlussstutzen als auch Mannlöcher und Sicherheitsventile noch fehlen. Diese Abweichung von der Anforderung wird aber in der Regel nicht als Fehler bezeichnet, da im Planungsprozess des Entwicklungsingenieurs klar ist, dass die Arbeit noch nicht abgeschlossen ist und noch konstruktive Elemente fehlen. Die bekannte Tatsache, dass der Konstruktionsprozess immer mehrere Iterationen durchläuft und Sprünge zwischen einzelnen Arbeitsschritten auftreten [62], führt zu selbigem Effekt. Im weiteren Verlauf ist jedoch denkbar, dass ein geplanter Bearbeitungsschritt vergessen wird und sich der Momentanfehler zum Mangel entwickelt. Als Beispiel eines Permanentfehlers ist das Setzen einer falschen Bohrung zu sehen. Diese Abweichung von der Anforderung ist nicht als Übergangszustand zu betrachten, sondern im Moment der Entstehung augenblicklich als Produktfehler zu sehen. Die Weiterentwicklung der Fehlerklassifizierung ist in Abbildung 7 dargestellt.

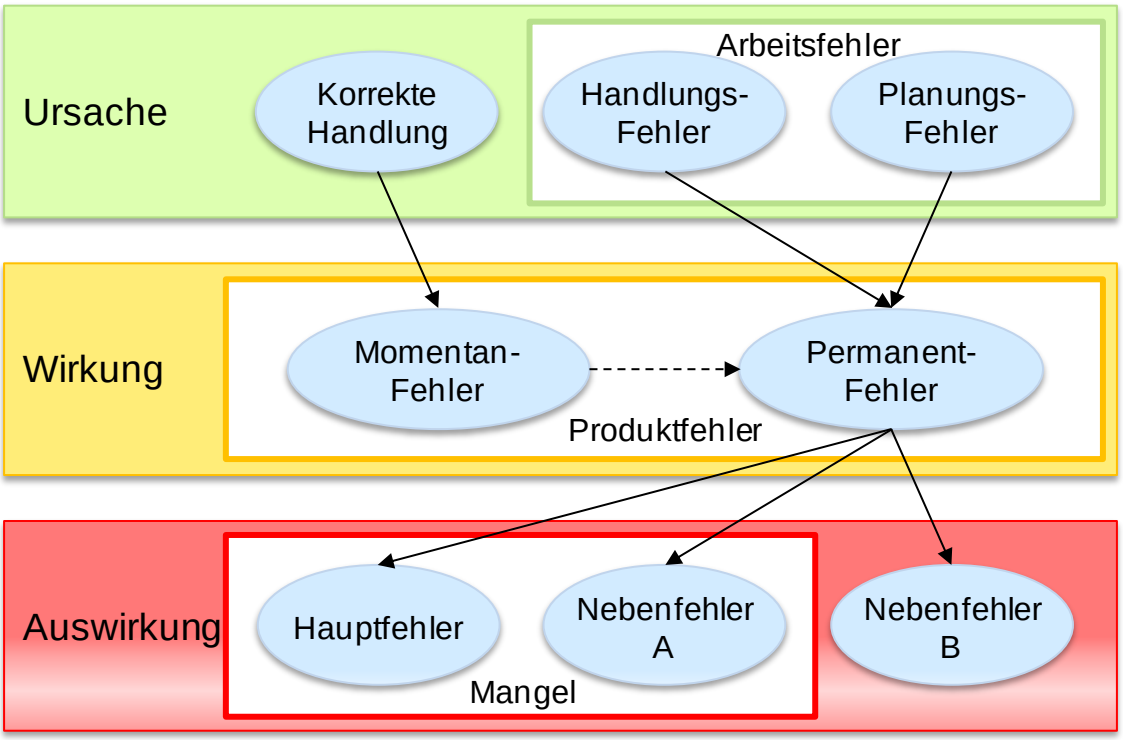


Abbildung 7: Momentan- und Permanentfehler in der Fehlerklassifizierung [24]

BULLINGER beschreibt den grundsätzlichen Unterschied zwischen menschlicher und technischer Zuverlässigkeit, der auf der nicht zielgerichteten, sondern funktionalen Arbeitsweise technischer Systeme basiert, wodurch eine Selbstüberwachung nicht möglich ist [63]. Weiterführend bedeutet dies für den Momentanfehler, dass technische Systeme nicht in der Lage sind, diesen geplanten Übergangszustand zu erkennen, und somit eine automatische Problemerkennung nicht ohne Weiteres möglich ist, denn sie würde zu einer Vielzahl von Fehlermeldungen führen, die in Wahrheit für den Entwicklungsingenieur keine Hinweise sind, mit denen er sinnvoll umzugehen in der Lage wäre. Zum aktuellen Zeitpunkt relevante Fehler wären nicht von unnützen Meldungen zu unterscheiden. Ein ähnliches Phänomen tritt bereits bei Rechtschreibprüfungen von Textverarbeitungsprogrammen auf. Der Schreiber wissenschaftlich anspruchsvoller Texte gewöhnt sich daran, dass viele Fachbegriffe nicht im Wortschatz der Rechtschreibkorrektur enthalten sind und deshalb als Fehler markiert werden, obwohl sie formal korrekt sind. Dies führt dazu, dass Fehlerhinweise nicht mehr ernst genommen, sondern auf die mangelnden Fähigkeiten des Fehlerhinweissystems zurückgeführt werden. Fehler bleiben dadurch unkorrigiert, obwohl sie in korrekter Weise vom System erkannt und kenntlich gemacht wurden. Die vom System beim Benutzer angestrebte Erwartungsverletzung nach KORIAT [64] tritt nicht mehr ein, da sie von der Vertrautheit mit falsch angezeigten Fehlern überdeckt wird.

2.4.3 Abgrenzung von Fehlern und Zuwiderhandlung

Im bisherigen Verlauf wurde ein Fehler immer als unbeabsichtigtes Missgeschick einer Person betrachtet, was jedoch nicht grundsätzlich der Fall sein muss. In vielen Fällen ist von einer bewussten Zuwiderhandlung gegen vorgegebene Arbeitsweisen auszugehen, worin aber nicht automatisch eine dolose Handlung, also eine bewusste Schädigung des Unternehmens, zu sehen sein muss. Eine vorsätzliche Zuwiderhandlung ist demnach nicht mit einem Sabotage-Akt gleichzusetzen. Gleich, ob die Zuwiderhandlung seitens des Entwicklungsingenieurs gerechtfertigt ist oder nicht, so ist ihr nicht durch die gleichen Methoden beizukommen wie einem versehentlichen Handlungsfehler. Eine Differenzierung zwischen unabsichtlichen Fehlern und vorsätzlicher Zuwiderhandlung ist daher entscheidend für jede Art der Fehlervermeidung. Als Beispiel für wissentlich gegen Vorgaben verstoßende Handlungen konnte im Rahmen der empirischen Untersuchung (vgl. Abschnitt 3.2, These 16, S. 52) mehrfach die Verwendung von Software-Funktionen bestätigt werden, die vom Unternehmen als nicht zulässig erklärt wurden. Konkret kann dies beispielsweise die Verwendung einer unzulässigen Spiegelungsfunktion im CAD-System sein, wie dies im Anwendungsbeispiel in Abschnitt 2.2 (S. 12) beschrieben ist.

2.4.4 Analyse der entstehenden Fehlerkosten

Der Fehler als Nichterfüllung einer Forderung wäre noch kein Problem für das Unternehmen, wenn er nicht zu unnötigen Kosten führen würde. Während für den Kunden relevant ist, ob ein Fehler einen Mangel darstellt, also die Benutzung beeinträchtigt, ist diese Betrachtung für das Unternehmen nur zweitrangig, denn sowohl ein Fehler ohne Mangel als auch Fehler mit Mangel bedeuten Fehlleistungsaufwand für das Unternehmen. Obwohl sich die Thematik grundlegend mit der Qualität hergestellter Produkte, in diesem Fall CAD-Modelle, befasst, ist nach KAMISKE vom Begriff Qualitätskosten Abstand zu nehmen. Eine von Produktkosten losgelöste Berechnung der Qualitätskosten ist nicht möglich. Ein Produkt kann nicht ohne Qualität erzeugt werden, sondern nur in nicht angemessener Qualität, womit auch die hypothetische Berechnung eines Produktes ohne Qualität zur Ermittlung der daraus resultierenden Qualitätskosten undenkbar ist [65]. MASING spricht daher treffender vom Fehlleistungsaufwand [66] und bezieht sich mit dieser Begrifflichkeit auf die in Abbildung 8 dargestellte Unterscheidung erbrachter Leistung in Nutzleistung, Stützleistung, Blindleistung und Fehlleistung [67]. Während die Nutzleistung dem eigentlichen Wertschöpfungsbeitrag einer Tätigkeit entspricht, trägt die Stützleistung lediglich indirekt zur Wertschöpfung bei, da sie zwar für die Wertschöpfung nötig, selbst aber nicht wertschöpfend ist. Die Administration von Informations- und Telekommunikationstechnologie ist beispielsweise als Stützleistung zu betrachten. Blindleistung trägt nicht zur Wertschöpfung bei, verursacht jedoch keine Fehlerkosten, wohingegen Fehlleistung Kosten verursacht und zusätzlich den Wert mindert. Im

Kontext der virtuellen Produktentstehung sind die digitale Ausleitung von Bau- oder Bedienunterlagen und die digitale Absicherung Beispiele für Nutzleistung bzw. Stützleistung. Unnötige Konvertierungsaufwände sind als Blindleistung, Aufwände zur Erstellung nicht anforderungskonformer Modelle als Fehlleistung zu verstehen.

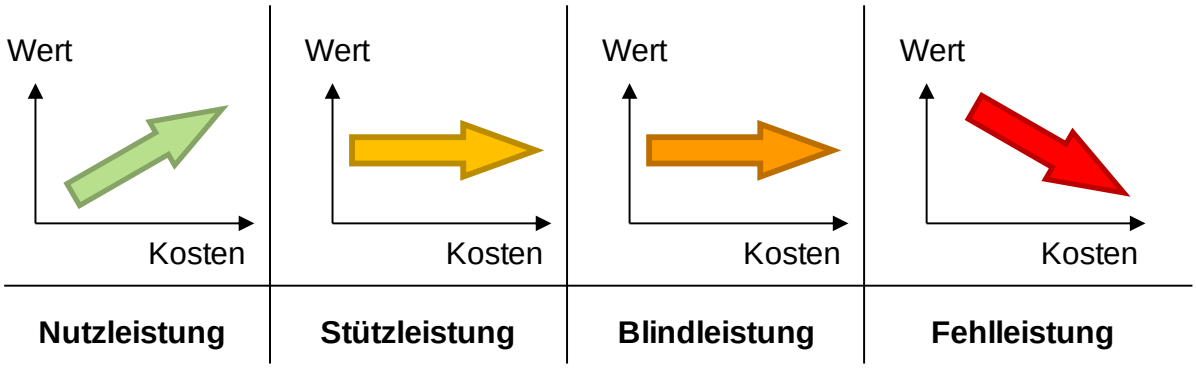


Abbildung 8: Leistungsarten nach WAPPIS ET AL. *[68]*

Für das Unternehmen stellt der Mangel ein größeres Übel dar als der Fehler, denn er verursacht dem Unternehmen gleich zwei Kostenfaktoren, da der Fehlleistungsaufwand noch den als Fehlerkorrekturkosten [69] bezeichneten Aufwand für die Beseitigung des Mangels und möglicher entstandener Folgekosten enthält. Zur begrifflichen Abgrenzung sollen die direkten Fehlleistungskosten ausschließlich die Kosten der Fehlleistung ohne Folgekosten umfassen. Auf die betriebswirtschaftlich durchaus relevante Unterscheidung zwischen Kosten und Aufwand [14] soll hier nicht näher eingegangen werden. Beide Begriffe werden synonym verwendet.

Während beim Fehlleistungsaufwand die Kosten für die unnötig erbrachte Leistung in Form von Planung und Handlung (Arbeitsfehler) wie auch für die daraus entstehenden Folgekosten (Produktfehler, Mangel) betrachtet werden, entstehen die Kosten der Blindleistung ausschließlich aufgrund von Arbeitsfehlern. Ein materieller Fehler entsteht nicht, was zusätzlich die Aufdeckung des Fehlers erschwert, da kein Soll-Ist-Vergleich anhand eines erstellten Produktes durchgeführt werden kann. Innerhalb der Fehlerkosten lässt sich noch unterscheiden in direkte Fehlerkosten in Form von Fehlerkorrekturkosten, Schadensersatz und Ausfallzeiten sowie indirekte Fehlerkosten wie Vertragsstrafen, Imageverluste und höhere Transaktionskosten durch Vertrauensverluste, dargestellt in Abbildung 9. Die von DUMKE vorgeschlagene Einzelbetrachtung der Fehlerkorrekturkosten außerhalb der direkten Fehlerkosten [69] wird hier nicht verfolgt.

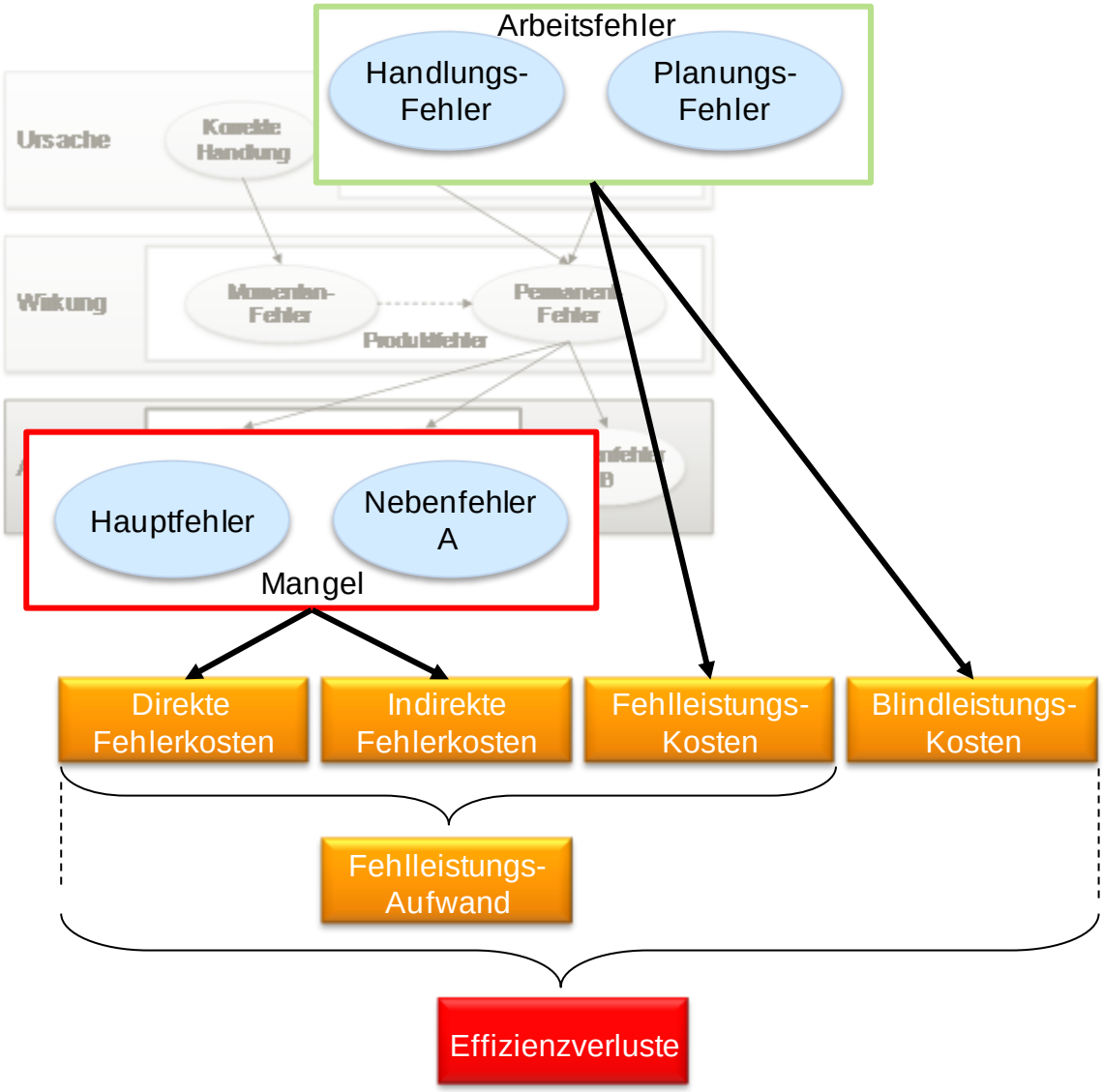


Abbildung 9: Fehlerkosten [24]

Die Attraktivität der Reduzierung von Fehlerkosten bei Maßnahmen zur Verbesserung der Unternehmenseffizienz liegt darin begründet, dass bei korrektem Vorgehen die Effektivität unbeeinflusst bleibt. Es lassen sich Kosten reduzieren, ohne gleichzeitig Einschränkungen für Produkt oder Beschäftigte herbeizuführen. Im Gegensatz dazu beinhaltet die Reduzierung von Planungs-, Material- und Personalkosten immer auch die Gefahr einer Wertminderung des entstehenden Produktes und einer Einschränkung des Handlungsspielraums bei Beschäftigten. Fehlerkosten können also reduziert werden, ohne auf Widerwillen der Mitarbeiter oder anderer interessierter Parteien („Stakeholder“) [52] zu stoßen. Dies gilt, sofern sichergestellt ist, dass der Aufwand der Fehlervermeidung die Fehlerkosten nicht übersteigt und sich der vom Einzelnen geforderte Aufwand gegenüber seiner erhaltenen Entlohnung (Kosten-Nutzen-Relation des Einzelnen) nicht verschlechtert. Andernfalls entsteht ein externer

Effekt [70], da der Beschäftigte für seine erbrachte Leistung nicht in ausreichendem Maße entlohnt wird oder das Unternehmen nicht die Kosten zu tragen hat, die es beim Mitarbeiter verursacht.

2.4.5 Erörterung der Schnittstellen-Fehler in der verteilten Produktentwicklung

Neben technischen Anforderungen an ein Produkt oder Teilprodukt wie Stabilität, Sicherheit, Maximalgewicht oder Bauraumpassung, welche damit auch Anforderungen an das entsprechende Produktmodell im Digital Mock-up (DMU) stellen, gelten auch formale Kriterien wie die Vollständigkeit der Stückliste, korrekte Namensgebung, Angemessenheit des Achsensystems oder die Einhaltung vorgegebener Layer-Belegungen im CAD-System, die sich aus Rahmenbedingungen der Unternehmung und der dort etablierten Prozesse ergeben. Der Prozess wird bei auftretenden Fehlern in einer Phase gestört, in der die Fertigung oftmals noch nicht das Hauptaugenmerk des Entwicklungsingenieurs ist, sondern in der noch auf eine lückenlose Visualisierung, ein Modell für den Strömungskanal oder ein funktionierendes Versionsmanagement hingearbeitet wird. Die formalen Anforderungen beeinflussen somit in der Regel nicht die Fehlerfreiheit des Produkts im Sinne des Bauteils, das am Ende der Fertigungskette produziert werden soll, da keine Mängel bei der Auslegung, statischen Berechnung oder anderen sicherheitsrelevanten Eigenschaften angenommen werden. Sie führen damit nicht zu kritischen Fehlern nach oben genannter Definition. Dennoch sind sie relevant für reibungslose Prozessabläufe während der Produktentwicklung und können gravierende Auswirkungen auf Unternehmensprozesse haben sowie zu erheblichen Fehlerkosten durch Mehraufwand und andere in Abschnitt 2.4.6 (S. 27) näher beschriebene Auswirkungen führen. Besonders dieser nur indirekte Bezug zum physischen Endprodukt führt zu einem verminderten Problembewusstsein hinsichtlich möglicher Auswirkungen von Anforderungsverletzungen.

Problematisch ist, dass derartige Fehler im Gegensatz zu Konstruktionsfehlern aus Anforderungen der Domäne des Folgeprozesses nach der Schnittstelle entstehen und somit selten intuitiv erkannt werden können. Auch der fachliche Hintergrund eines erfahrenen Entwicklungsingenieurs von Gasturbinen hilft diesem kaum dabei, die formalen Anforderungen der beispielsweise nachfolgenden Software zu Strömungssimulation oder Berechnungen der Finite-Elemente-Methode (FEM) vorauszuahnen. Formale Anforderungen sind in der Regel nicht selbsterklärend.

Im Folgenden soll unter einem Schnittstellen-Fehler in der Produktentwicklung ein formaler Fehler zwischen einzelnen Prozessschritten der CAD-Konstruktion und weiteren Folgeprozessen im Zusammenhang mit computergestützten Berechnungen und Datenübertragungen verstanden werden, der nicht zur Kategorie der kritischen Fehler

gerechnet wird, da er sich in der Regel nicht auf das zu fertigende Produkt auswirkt. Konstruktive Fehler sollen bei dieser Betrachtung außer Acht gelassen werden, selbst wenn sie im Einzelfall durch eine Schnittstellenproblematik begünstigt worden sein sollten.

2.4.6 Betrachtung der Auswirkungen von Schnittstellen-Fehlern

Das Problembewusstsein im Hinblick auf Schnittstellen im Produktentwicklungsprozess bildet sich derzeit heraus und ist noch nicht durchgängig bei allen Betroffenen und Verantwortlichen vorhanden. Daher werden die vielfältigen Auswirkungen in der Regel nicht dieser Problematik zugeschrieben. Schnittstellen-Fehler führen in der Regel nicht zu fehlerhaften Produkten, sondern wirken sich hauptsächlich in Form von Reibungsverlusten und erhöhten Kosten aus, die auf folgende Ursachen zurückgeführt werden können:

- Steigende Anzahl an Iterationsschritten im Laufe der Produktentwicklung
- Erhöhter Zeitaufwand und Zeitverzug gegenüber Planungsvorgaben
- Verminderte Planungssicherheit
- Steigende Komplexität der Prozesse durch wachsende Anzahl technischer Hilfsmittel zur Fehlereindämmung
- Frustration der Mitarbeiter
- Hohes Maß an Inkonsistenzen in Prozessen und Methoden
- Hohe Integrationskosten durch inkompatible Teilarbeitsergebnisse

Der offensichtlichste Einfluss auf die Effizienz der Unternehmensprozesse geht von entstehenden Fehlern aus. Diese sind von besonderem Gewicht, da Auswirkungen in Form von Fehlerkosten nicht nur unmittelbar bei Auftreten des Fehlers entstehen, sondern Folgefehler nach sich ziehen, die im Entwicklungsnetzwerk oftmals erst nach vielen weiteren Prozessschritten entdeckt werden. Zu diesem Zeitpunkt befinden sich die fehlerhaften Ergebnisse häufig nicht mehr im eigenen Unternehmen, sondern bereits bei weltweit verteilten Entwicklungspartnern. Im Zuge des sich etablierenden Product Lifecycle Management (PLM) können sich die Auswirkungen noch weiter in die Zukunft über die Fertigung und viele Lebensphasen hinweg bis zur Außerbetriebnahme, Wiederverwendung und Recycling erstrecken. Umfangreiche Freigabeprozesse sind bei großen Entwicklungsnetzwerken zwingend erforderlich, erschweren jedoch die Nacharbeit im Falle komplexer Zusammenhänge bei vielzähligen Produkt-Versionen und -Konfigurationen. Abbildung 10 verdeutlicht die allgemeine Problematik, dass Fehlerkosten in späten Phasen der Entwicklung auftreten, jedoch in den frühen Phasen verursacht wurden und auch nur dort nennenswert beeinflusst werden können [71].

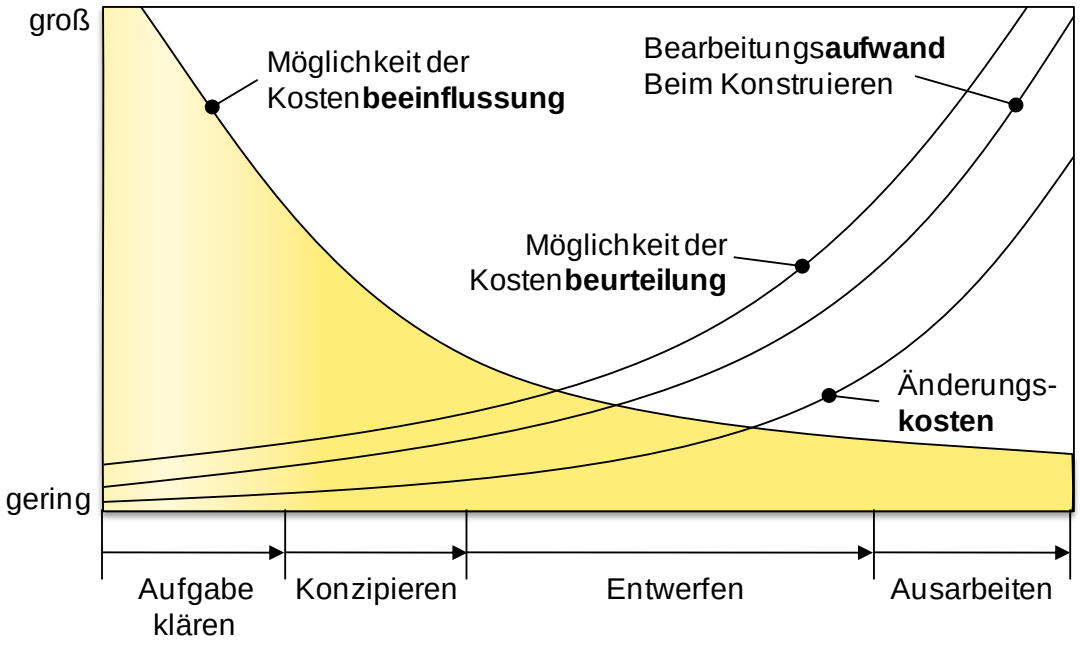


Abbildung 10: Entstehung und Möglichkeit zur Beeinflussung von Kosten nach Projektphasen [71]

Studien zu den tatsächlich entstehenden Kosten existieren aufgrund des mangelnden Problembewusstseins und der schwierigen Quantifizierbarkeit nur in sehr geringem Umfang. Gespräche mit Verantwortlichen der Produktentwicklung zeigen jedoch, dass Schnittstellen-Fehler nach anfänglich notwendiger Sensibilisierung durchaus als ernst zu nehmende Kostentreiber eingeschätzt werden.

Das US-amerikanische Standardisierungs- und Technologieinstitut NIST schätzt auf Basis einer Studie im Bereich Großanlagen und -projekte („Capital Facilities Industry“) die Kosten für mangelnde Interoperabilität im Jahre 2002 auf knapp zwei Prozent des Branchenumsatzes. Fokussiert wurde dabei auf technische Interoperabilität und Interoperabilität durch zusätzliche manuelle oder analoge Aktivitäten wie Dokumentationen auf Papier. Nicht eindeutig quantifizierbare Größen sind bei dieser Schätzung ausgenommen. Nicht betrachtet wurden beispielsweise Opportunitätskosten und Kosten, die im Rahmen der Außerbetriebnahme am Lebenszyklusende entstehen. Explizit betrachtet wurden Fehlervermeidungskosten („Avoidance Costs“), Kosten der Schadensminderung für Korrektur und Nacharbeit („Mitigation Costs“) und Kosten durch entstehende zeitliche Verzögerungen („Delay Costs“). Es handelt sich auch nach Aussage der Verantwortlichen der Studie um ein vermutlich eher konservatives Schätzungsergebnis [72].

Mangelnde CAD-Qualität kann eine der Auswirkungen von Schnittstellen-Fehlern sein. Zu dieser speziellen Problematik gibt es bereits vereinzelte Untersuchungen und Empfehlungen. Der Verband der deutschen Automobilindustrie (VDA) und der Verband Deutscher Maschinen-

und Anlagenbau (VDMA) haben zur Verbesserung der CAD-Qualität die „gemeinsame Empfehlung 4955“ [73] herausgegeben. Diese Empfehlung befasst sich ausschließlich mit den Inhalten, nicht jedoch mit der Unterstützung der konsistenten Umsetzung der Vorgaben.

Gemessen an den Fehlerkorrektur- und -folgekosten aufgrund mangelnder CAD-Datenqualität in der US-amerikanischen Automobil- und Zulieferindustrie im Jahre 1999 betrug dieser Fehlerkostenanteil rund 0,3 Prozent des Gesamtumsatzes der Branche in einem Vergleichszeitraum [74]. Selbst bei einer sehr optimistisch angenommenen Umsatzrendite von acht Prozent [75-77] bedeutet dies, dass nicht anforderungsgerechte CAD-Daten eine Schmälerung des Branchengewinns von 3,75 Prozent verursachten.

Durch Verzögerungen im Entwicklungsablauf fallen die Entwicklungskosten des Langstrecken-Verkehrsflugzeuges Boeing 787 mit 25 Milliarden US-Dollar um zwei Drittel höher aus als geplant [78]. Vermutlich sind darin Anteile aus Korrekturkosten, Mehrarbeit, Vertragsstrafen und weitere Interoperabilitätskosten enthalten. Wie die Entwicklungsgeschichte der Boeing 787 und auch des Konkurrenzprojektes Airbus A380 gezeigt hat, sind große Teile der Schwierigkeiten, die zu Verzögerungen geführt haben, auf Frontloading und verteilte Produktentwicklung und damit Schnittstellen-Fehler zurückzuführen.

2.5 Mikroökonomische und mikropolitische Problemmodellierung

Die Mikroökonomik und Mikropolitik befassen sich mit den Präferenzen und Eigeninteressen des Individuums und den daraus entstehenden Handlungen unter Einsatz persönlicher, nicht institutioneller Macht und wie sie der Idee des Marktes entsprechend modelliert werden können. Ein Markt bezeichnet dabei alle Austauschprozesse zwischen Marktakteuren [70]. Die getauschte Leistung Produktentwicklung wird vom Unternehmer nachgefragt, vom Entwicklungsingenieur in der Rolle des Mitarbeiters oder Zulieferers angeboten und gegen Entlohnung eingetauscht. Die Teilnehmer im Entwicklungsnetzwerk sehen sich einer ähnlichen Situation gegenüber, in der die Zusammenarbeit grundsätzlich auf Austauschbeziehungen beruht, die mehr oder weniger durch die organisatorischen Rahmenbedingungen zugelassen, gefördert oder gehemmt werden können. Entsprechend dieser Markteigenschaft der Prozesse in Entwicklungsnetzwerken sind nicht nur die Regeln des Marktes gültig, sondern auch die damit eingekauften Unwägbarkeiten. Reale Märkte führen nicht in jedem Fall zum besten aller denkbaren Ergebnisse. Lediglich der ideale Markt ist dadurch gekennzeichnet, dass das Ergebnis immer optimal ist, was jedoch durch eine Reihe von Realitäten verhindert wird. In diesem Fall wird von Marktversagen gesprochen [79]. Viele der zu betrachtenden Schnittstellen-Fehler sind durch Prozesse von Marktversagen beschreibbar.

2.5.1 Modellierung im Prinzipal-Agent-Modell

Prinzipal-Agent-Modelle werden dort eingesetzt, wo mehrere Akteure miteinander interagieren und dabei jeweils eigene Interessen verfolgen. Ein weiterer Kernbestandteil der Betrachtung ist das Vorliegen asymmetrischer Information, was bedeutet, dass es Informationen gibt, die nicht beiden Parteien in gleicher Weise zugänglich sind. Dies begründet in der Regel ein Machtverhältnis. Zwischenmenschliche Beziehungen sind geprägt von Machtverhältnissen, wenn Interessen zu geringeren Kosten befriedigt werden können, als dies andernfalls möglich wäre. Diese Beziehung, wie sie beinahe ausnahmslos im beruflichen Zusammenwirken existiert, ist in Anlehnung an NIENHÜSER [80] in Abbildung 11 für die Situation zwischen Unternehmer und Entwicklungsingenieur dargestellt.

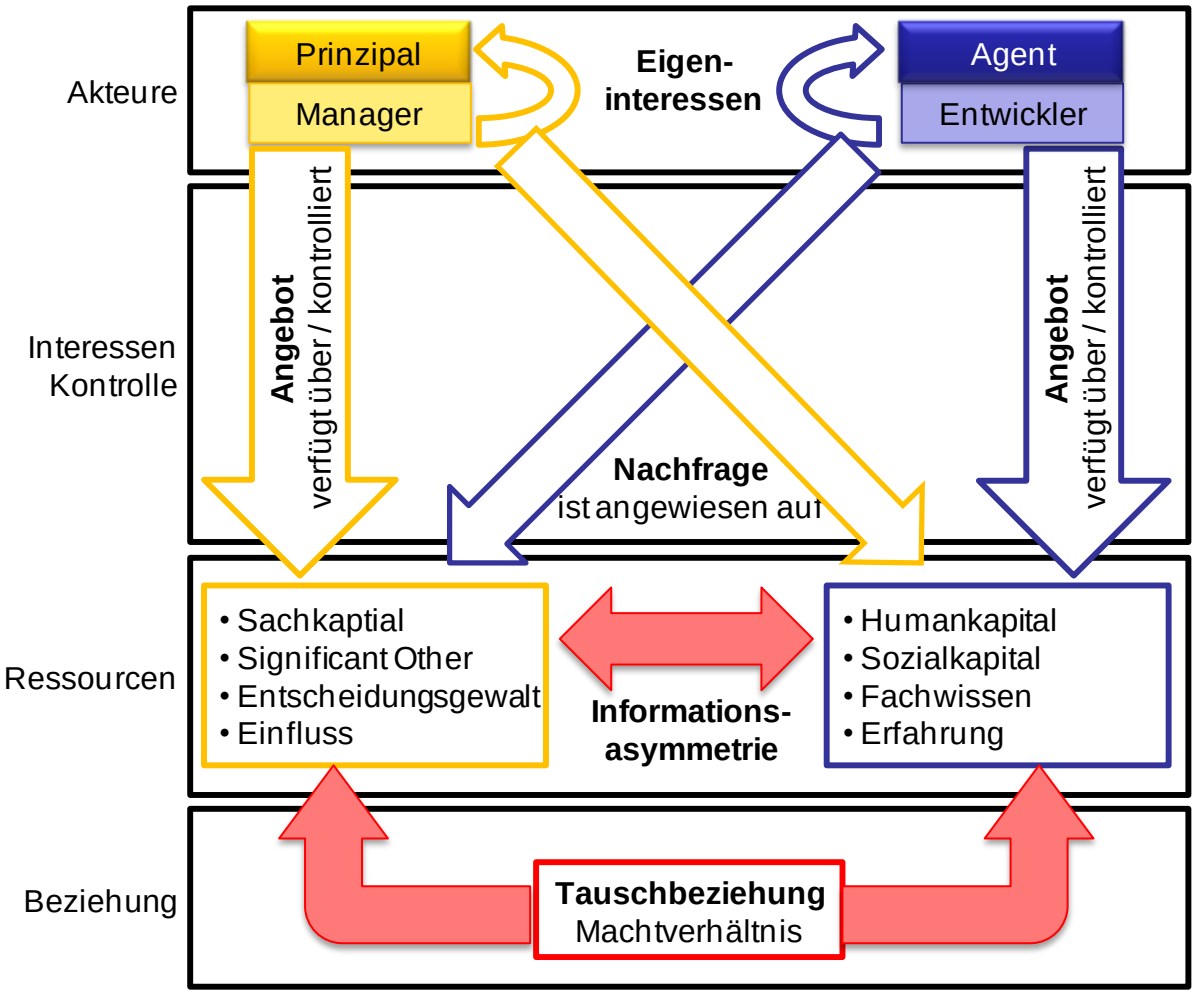


Abbildung 11: Beziehungsstruktur der Organisation (modifiziert nach NIENHÜSER [80])

Der Agenturtheorie [81] folgend wirken die Teilnehmer als Prinzipal und Agent. Der Unternehmer könnte hier auch als Kunde des Ingenieurs betrachtet werden, wie dies in der Konstellation von OEM und Zulieferer der Fall ist. Vorgesetzte können in dieser Konstellation

stellvertretend für den Unternehmer wirken.Das mit dem Machtverhältnis einhergehende Abhängigkeitsverhältnis stellt ein Kernelement jedes Prinzipal-Agent-Modells dar, da eine Person auf eine Handlung einer anderen Person angewiesen ist. Die handelnde Partei wird als Agent, die andere als Prinzipal bezeichnet [82]. Der Unternehmer strebt an, im Sinne der Arbeitsteilung Aufgaben auf Produktentwickler zu verteilen, zu deren Durchführung er selbst nicht in der Lage ist. Damit ist er auf den Entwicklungsingenieur angewiesen, hat jedoch nur eingeschränkten Zugriff auf Informationen über die tatsächlichen Handlungen und Arbeitsergebnisse desselben. Es herrscht eine Informationsasymmetrie bei den Beteiligten, die erst dadurch problematisch wird, dass die Akteure unterschiedliche Interessen verfolgen. Während der Unternehmer möglichst viel Leistung in bester Qualität zu möglichst geringen Kosten anstrebt, versucht der Entwicklungsingenieur bei möglichst geringem Aufwand und persönlichem Risiko seinen Nutzen über die Abschöpfung von Anreizen 🕮 zu maximieren [83]. In dieser Konstellation liegt die Gefahr, dass Handlungen zuungunsten des Unternehmens ausfallen, aber auch die Chance, durch die erkannte Situation ungünstige Strukturen zu ändern und somit Prozesse zugunsten des Unternehmens und nach Möglichkeit auch des Produktentwicklers positiv zu beeinflussen. Wie bereits beschrieben, gilt das Modell analog für kollaborative Tätigkeiten der Teilnehmer im Entwicklungsnetz untereinander.

2.5.2 Erörterung der Problemlage aus dem Blickwinkel unvollständiger Verträge

Agieren Marktteilnehmer unter Umständen miteinander, in denen nicht für alle Eventualitäten vorab entsprechende Regelungen getroffen sind, so spricht man in den Wirtschaftswissenschaften von unvollständigen Verträgen. Arbeitsverträge stellen unvollständige Verträge in diesem Sinne dar [84]. Ein Grund dafür ist, dass zukünftige Ereignisse nicht erschöpfend abgeschätzt werden können und wegen zu hoher Transaktionskosten konkrete Handlungen und Unterlassungen nicht umfassend mit entsprechenden Konsequenzen belegt werden können. Das Unternehmen ist daher auf die freiwillige Kooperationsbereitschaft des Entwicklungsingenieurs angewiesen [85]. Die vollständige Ausgestaltung eines Vertrages inklusive aller Eventualitäten ist auch nach der Transaktionskostentheorie von COASE nicht möglich [86]. Sie ist durch die mit jeder zusätzlichen Regelung steigenden Grenzkosten auch nicht erstrebenswert. Für die Produktentwicklung ist die Unvollständigkeit des Vertrages mit dem Entwickler an der Stelle relevant, wo Informationsasymmetrien zwischen den Parteien existieren. Dies ist bei Tätigkeiten, die eine spezielle Expertise erfordern praktisch durchwegs der Fall. Damit ist erneut die Abhängigkeit des Unternehmens vom Entwicklungsingenieur dargestellt. Entscheidend für die Ausprägung des resultierenden Machtverhältnisses ist der Umfang der Informationsasymmetrie sowie der Grad der Vollständigkeit vertraglicher oder quasi-vertraglicher Bindungen.

Zum einen wirken sich unvollständige Verträge zwischen Unternehmer und Entwickler indirekt auch auf die Kooperation der Entwickler untereinander aus. Diese stehen jeweils stellvertretend für ihren Auftraggeber, wodurch hohe Machtgefälle zwischen Entwicklungsingenieur und Auftraggeber auch zu erschwerter Kooperation innerhalb des Entwicklungsnetzwerks führen. Dies kann sich wiederum negativ auf die Qualität der Arbeitsergebnisse auswirken. Speziell wenn Absicherungsstrategien angewandt werden, treten die negativen Effekte zutage. Sie kommen durch die im folgenden Abschnitt beschriebenen externen Effekte bei anderen Parteien des Entwicklungsnetzwerks zum Tragen. Zum Zweiten agieren die Entwicklungsmitarbeiter desselben oder unterschiedlicher Unternehmen untereinander ebenfalls auf Basis unvollständiger Verträge, die auf keinerlei schriftlicher Fixierung basieren. Die von GÄCHTER beschriebene freiwillige Kooperationsbereitschaft des Entwicklungsingenieurs gegenüber dem Arbeitgeber [85] gilt also noch wesentlich deutlicher auf operativer Ebene zwischen den Ingenieuren der verteilten Produktentwicklung, da hier die Intensität der Kooperation noch wesentlich höher ist und Auswirkungen unmittelbar spürbar werden. Mangelnde Kooperationsbereitschaft kann zur spürbaren Beeinträchtigung der Prozessabläufe führen. Auch hier sind mangelndes Vertrauen und daraus resultierende Absicherungsstrategien ein bekanntes Problem in der industriellen Praxis.

2.5.3 Untersuchung externer Effekte als möglicher Problembeschreibung

Ein externer Effekt ist eine weitere mögliche Ursache für Marktversagen und liegt vor, wenn ein Marktteilnehmer Handlungen durchführen kann, für deren Kosten er nicht selbst aufkommen muss oder deren Nutzen ihm nicht selbst zu Gute kommt [70]. In den Wirtschaftswissenschaften findet die Theorie externer Effekte beispielsweise in der Wirtschafts- und Umweltpolitik Anwendung, um zwischen Parteien mit unterschiedlichen Interessen schädigende Egoismen zu unterbinden. Ein aktuelles Beispiel der Anwendung dieser Betrachtung stellt der industrielle CO2-Ausstoß dar. Zur Eindämmung der negativen externen Effekte auf die Umwelt wurden CO2-Handelszertifikate eingeführt, welche die entstehenden Kosten internalisieren (vgl. Abschnitt 5.6.2, Internalisierende Anreize, S. 181).

In der verteilten Produktentwicklung liegt ein externer Effekt beispielsweise dann vor, wenn ein Entwicklungsingenieur nach eigenem Ermessen ein besseres oder schlechteres als das durchschnittliche Ergebnis erzeugen und über eine Schnittstelle an einen Folgeprozess weitergeben kann, ohne dass ihm daraus ein direkter Vor- oder Nachteil entsteht. Effekten, die nicht im direkten zeitlichen Zusammenhang mit der ausgeführten Handlung stehen, fehlt es an direktem Bezug von Ursache und Wirkung im Bewusstsein der Person, sodass diese ebenfalls tendenziell als nicht vorhanden betrachtet werden können. Die Komplexität und der Umfang heutiger Entwicklungsnetzwerke führen dazu, dass Aktivitäten meist nur mittelbare

Auswirkungen haben, die starken zeitlichen Verzögerungen unterliegen oder ganz ohne Rückmeldung für den Entwickler geschehen. Oftmals sind Korrekturschleifen beispielsweise nicht geschlossen, sodass notwendige Nacharbeit von Mitarbeitern durchgeführt wird, die den entsprechenden Fehler nicht herbeigeführt haben. Teilweise sind Korrekturschleifen gar nicht vorhanden. Dies ist der Fall, wenn gezielt Personen oder Abteilungen zur Fehlerkorrektur vorgehalten werden.

Dieser Beschreibung liegt die Annahme zugrunde, dass jeder Akteur in der Lage wäre, unter Akzeptanz der entstehenden Kosten das tatsächlich gewünschte Ergebnis an den Folgeprozess liefern zu können. Die Erfüllung der Vorgaben darf also nicht durch ein unüberwindbares Hindernis blockiert sein. Lediglich die Höhe des Aufwands wird in der jeweiligen Situation als nicht akzeptabel oder nicht angemessen erachtet. Andernfalls wären die externen Kosten unvermeidbar, da die Vorgabe endgültig unerfüllbar wäre. Tritt dieser Fall ein, so liegt das Problem nicht an der Schnittstelle zwischen den Prozessen, sondern an einer unerfüllbaren Vorgabe und müsste durch Änderung des anfordernden Prozesses behoben werden. In der Praxis würde dieser Fall zur Prozessunterbrechung führen, müsste durch akute Eingriffe behoben werden. Problembehebungen im Einzelfall sind jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.

Externe Effekte, die auf einer direkten Relation der Kosten- und Nutzenfunktionen der Beteiligten beruhen und die nicht durch Kompensationsmechanismen abgedeckt sind, werden als „technologische Externalitäten“ [70] bezeichnet. Verursachte Schäden durch fehlerhafte Schnittstellendaten sind dieser Kategorie der Externalitäten zuzurechnen, wenn aus dem reduzierten Aufwand einer Partei gesteigerte Kosten bei der anderen Partei resultieren. Die Aufwandsreduktion ist in der Nichtbeachtung formaler Anforderungen zu sehen, gesteigerte Kosten entstehen in Folgeprozessen in Form von Kompatibilitätsmängeln, Prozessstörungen oder der Notwendigkeit manueller Nacharbeit.

2.6 Zusammenfassung der Problembeschreibung

Eine große Zahl unterschiedlicher Personen, Gruppen und Unternehmen tragen zur Produktentwicklung in komplexen Entwicklungsnetzwerken bei. Innerhalb dieses Gefüges existieren verschiedene Schnittstellen, die nur erfolgreich überbrückt werden können, wenn die spezifischen Anforderungen der Schnittstelle eingehalten werden. Ist dies nicht der Fall, so kommt es zu Fehlern, die den reibungslosen Ablauf nachfolgender Prozessschritte behindern können. Unterschiedliche Arten von Fehlern können dabei unterschiedliche, mehr oder minder schwere, Auswirkungen haben und wirken sich in der Regel negativ auf die Effektivität und Effizienz des Entwicklungsprozesses aus.

Die Problemlage fehleranfälliger Schnittstellen-Prozesse kann aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet werden. Ein Hauptaspekt ist dabei der Mensch als Akteur im jeweiligen Kontext der verteilten Produktentwicklung. Aus individuellen Bedürfnissen ergibt sich im Wechselspiel mit den Interessen von Gruppen und der Unternehmung als Ganzer die konkrete Konstellation der Parteien in der Praxis. Im Anschluss an den Beleg für die branchenübergreifende Relevanz der aufgezeigten Problemstellung in Abschnitt 3 (S. 35) erfolgt eine detaillierte Untersuchung der zur Problemlage beitragenden Ursachen in Abschnitt 1 (S. 61), die wiederum äußerst vielschichtig in ihren Ausprägungen sind.

3 Empirischer Beleg weitreichender Praxisrelevanz

Die Problemstellung wurde aus praktischer Erfahrung und einer Vielzahl von Einzelinterviews im industriellen Kontext der Produktentwicklung abgeleitet. Zur Bestätigung der branchenübergreifenden Praxisrelevanz der Problemstellung wurden die Einzelerkenntnisse zu Thesen umgearbeitet. Diese Thesen wurden anschließend durch eine empirische Studie in Form einer Online-Befragung geprüft. Es erfolgte dabei eine plakative Unterscheidung der Befragten in Entwickler und Manager. Entwickler sind als Konstrukteure, Entwicklungs- oder Berechnungsingenieure zu verstehen. Als Manager werden Personen bezeichnet, die eine bereichs-, abteilungs- oder projektleitende Funktion wahrnehmen oder administrativ, etwa im Produktdatenmanagement, tätig sind. Der Begriff Manager wird also nicht ausschließlich synonym zur Führungskraft verwendet, sondern ist auch in Anlehnung an den Managementbegriff zu verstehen, wie er im Datenmanagement, Risikomanagement oder Qualitätsmanagement vorkommt. Des Weiteren erfolgte eine Unterscheidung der Befragten in deren Tätigkeit für einen OEM oder Zulieferbetrieb. Grundsätzlich herrscht zwischen Zulieferern und OEM ein komplexes Gefüge mit vielfältigen Möglichkeiten der Zusammenarbeit. Abbildung 12 stellt ein exemplarisches Netz aus OEM und Zulieferbetrieben dar.

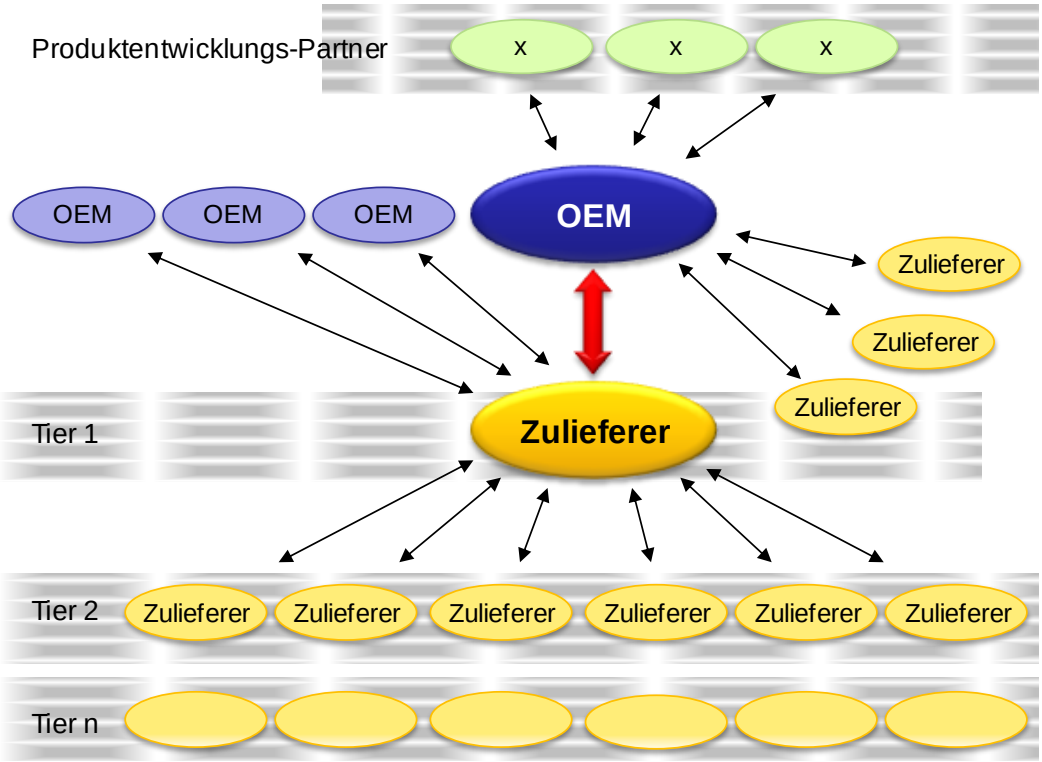


Abbildung 12: OEM und Zulieferer im Netzwerk [27]

Die zunächst als 1:1-Beziehung erscheinende Schnittstelle zwischen OEM und Zulieferer kann bei näherer Betrachtung n:n-fach ausgeprägt sein. Um die Komplexität der Befragung und der anschließenden Auswertung zu begrenzen, wurden die Szenarien reduziert auf folgende Beziehungen:

- OEM zu 1st-Tier-Supplier
- Supplier 🕮 zu OEM oder Upstream Supplier

Damit wird nur unterschieden in den OEM als belieferte Partei und den Zulieferer als liefernde Partei. Außen vor sind Betrachtungen, in denen der Zulieferer explizit als belieferte Partei auftritt, in denen der OEM andere OEM beliefert und sonstige Spezialfälle. In Abbildung 13 ist diese Sichtweise verdeutlicht.

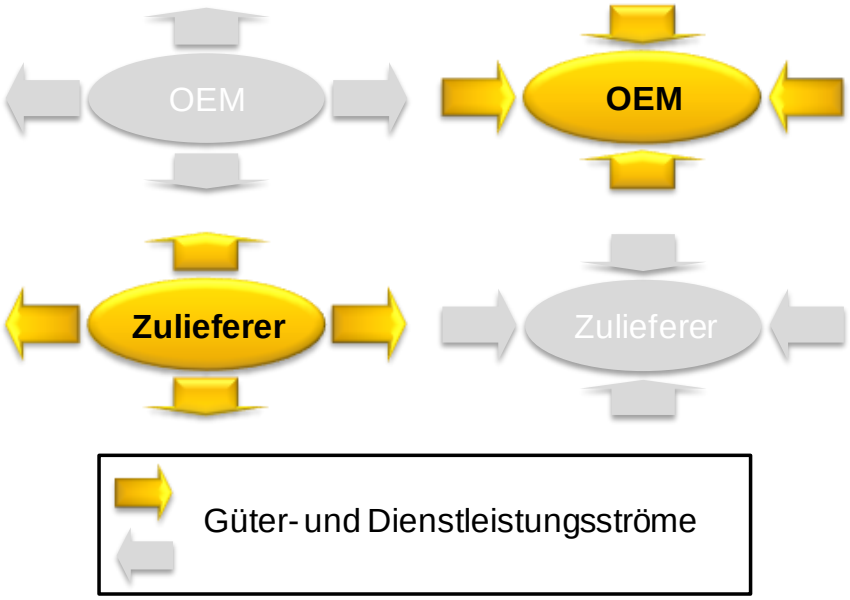


Abbildung 13: Betrachtete und vernachlässigte Szenarien im OEM-Supplier-Netzwerk [27]

Es konnten Ergebnisse aus mehreren Branchen der Produktentwicklung gewonnen werden. Der Stichprobenumfang der einzelnen Branchen lässt einen aussagekräftigen Vergleich zwischen den drei Hauptbranchen Automobilindustrie, Flugzeug- und Anlagenbau zu. Für gesicherte Aussagen zu weiteren Branchen war die Anzahl der erzielten Ergebnisse nicht ausreichend.

Um eine ausreichende Rücklaufquote gewährleisten zu können, musste der Fragebogen im Umfang stark eingeschränkt sein. Die zur empirischen Überprüfung ausgewählten Thesen sind in Abschnitt 3.2 (S. 38) gemeinsam mit den erzielten Ergebnissen dargestellt.

3.1 Durchführung der empirischen Evaluation

Eine empirische Evaluation der aus praktischen Erfahrungen und nicht standardisierten Einzelinterviews identifizierten und theoretisch hinterlegten Problemstellungen wurde vom 11. September bis 13. Oktober 2009 in Form einer Online-Befragung durchgeführt. Angesprochen wurden Mitarbeiter aus produktentwickelnden Branchen der Industrie; hauptsächlich aus der Automobilindustrie, dem Flugzeugbau und dem Anlagenbau. Die Auswahl der Kontaktpersonen erfolgte auf Basis von Informationen in Unternehmens- und Personenprofilen im Online-Netzwerk XING. Ausgewählt wurden Personen, deren Tätigkeitsschwerpunkt in der verteilten Produktentwicklung aus der Verwendung entsprechender Schlüsselbegriffe ermittelt werden konnte. Ähnlich der Kaltakquise erfolgte die Kontaktaufnahme ohne bereits im Vorfeld bestehende Verbindungen. Der Rücklauf lag bei 132 Fragebögen. Die Anzahl versandter Einladungen zur Befragung betrug 3.160, woraus sich eine Rücklaufquote von 4,2 Prozent errechnet. Diese relativ geringe Rücklaufquote liegt vermutlich am großen Umfang des verwendeten Fragebogens und an der Form der Kontaktaufnahme. Die potenziellen Teilnehmer wurden ohne vorherige Kontaktaufnahme, also durch Kaltakquise angesprochen. 119 Fragebögen waren zur Auswertung geeignet. Als *Teilnehmer* oder *Befragte* werden im Folgenden diejenigen Personen bezeichnet, deren Antworten zur Auswertung geeignet waren.

Die Umfrage wurde als konfirmative Studie mit explorativen Elementen entworfen. Verschiedene Befragungswerkzeuge wie Multiple-Choice-Beantwortung, Möglichkeit zur Mehrfachbeantwortung, offene Fragestellung, intervallskalierte Fragen und metrisch skalierte Fragen wurden verwendet. Die Struktur des Fragebogens war nicht linear, sondern wurde mittels Gabelungs- und Filterfragen strukturiert. Das heißt, dass die Untersuchungsteilnehmer abhängig von der Beantwortung einzelner Fragen andere Fragen gestellt oder nicht gestellt bekamen. Beispielsweise wurden an Entwickler teils andere Fragen gestellt als an Manager. Des Weiteren wurden spezifische Vertiefungsfragen eingeblendet. Der komplette Fragensatz ohne Rücksichtnahme auf Gabelung und Filterung ist im Anhang (S. A-1) zu finden. Da es sich um einen Online-Fragebogen handelte, unterscheidet sich das Format von der tatsächlich verwendeten Version. Die Thesen wurden teils mit einer Kombination aus Fragen geprüft.

Alle Daten wurden anonym aufgenommen. In Abbildung 14 sind die Verteilung der Entwickler und Manager auf die beiden untersuchten Unternehmensarten OEM und Zulieferbetrieb (rechts) sowie die Branchen der Befragungsteilnehmer (links) dargestellt. Bei der Branchennennung waren Mehrfachnennungen zulässig. Diese Option wurde vorwiegend von Mitarbeitern der Zulieferindustrie wahrgenommen.

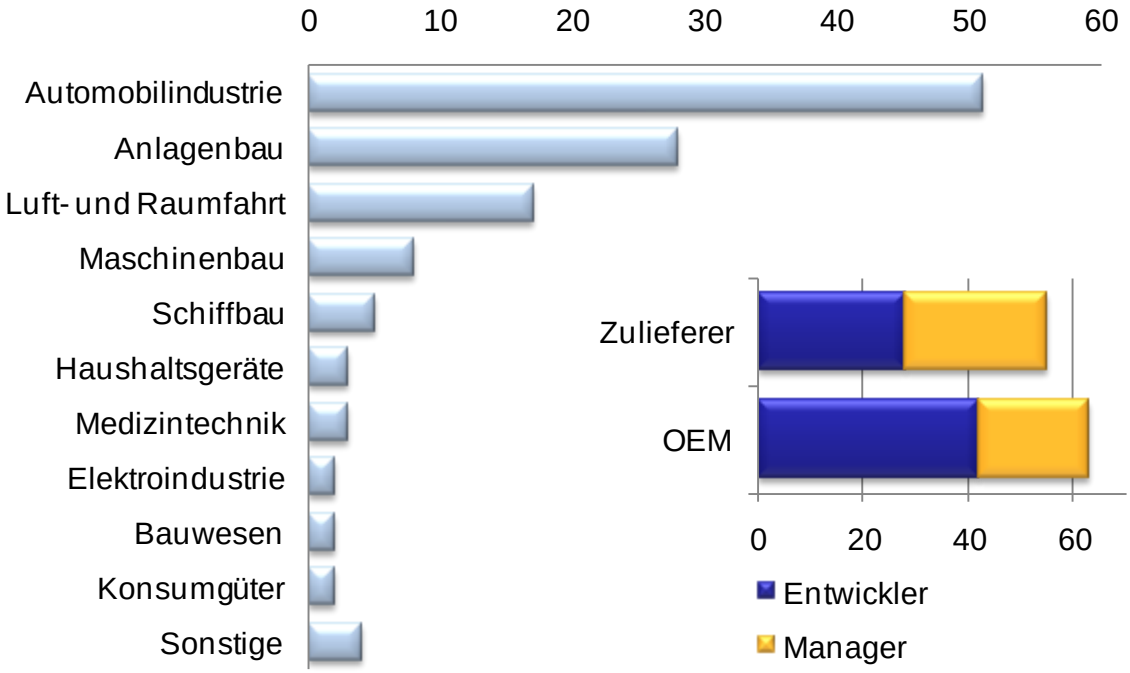


Abbildung 14: Zusammensetzung der Stichprobe [27]

3.2 Verifizierung der untersuchten Thesen und Ergebnisse der explorativen Untersuchung

Im Folgenden wird jeweils die These oder explorative Fragestellung genannt, bevor die Untersuchungsergebnisse beschrieben werden. Anschließend erfolgt eine Interpretation der Daten mit teils darauf folgender weiterführender Interpretation auf Basis von Literaturrecherchen, Interviews und Praxiserfahrungen. Die Ergebnisse sind in Auszügen bereits veröffentlicht [27].

Explorative Fragestellung:
Welche Schwierigkeiten bestehen in der verteilten Produktentwicklung?

Schwierigkeiten in der verteilten Produktentwicklung wurden in der offen gestellten Eingangsfrage vielzählig genannt. Nach sinnvoller Gruppierung ergibt sich die in Abbildung 15 dargestellte Verteilung der genannten Probleme. Weniger als dreimalige Nennungen sind nicht aufgeführt. Bemerkenswert ist die Erkenntnis, dass erst an zehnter Stelle eine technische Problematik, nämlich der Datenaustausch genannt wird. Die überwiegende Zahl der in Forschung und Industrie verfolgten Ansätze behandeln jedoch gerade die technischen Problemstellungen der verteilten Produktentwicklung.

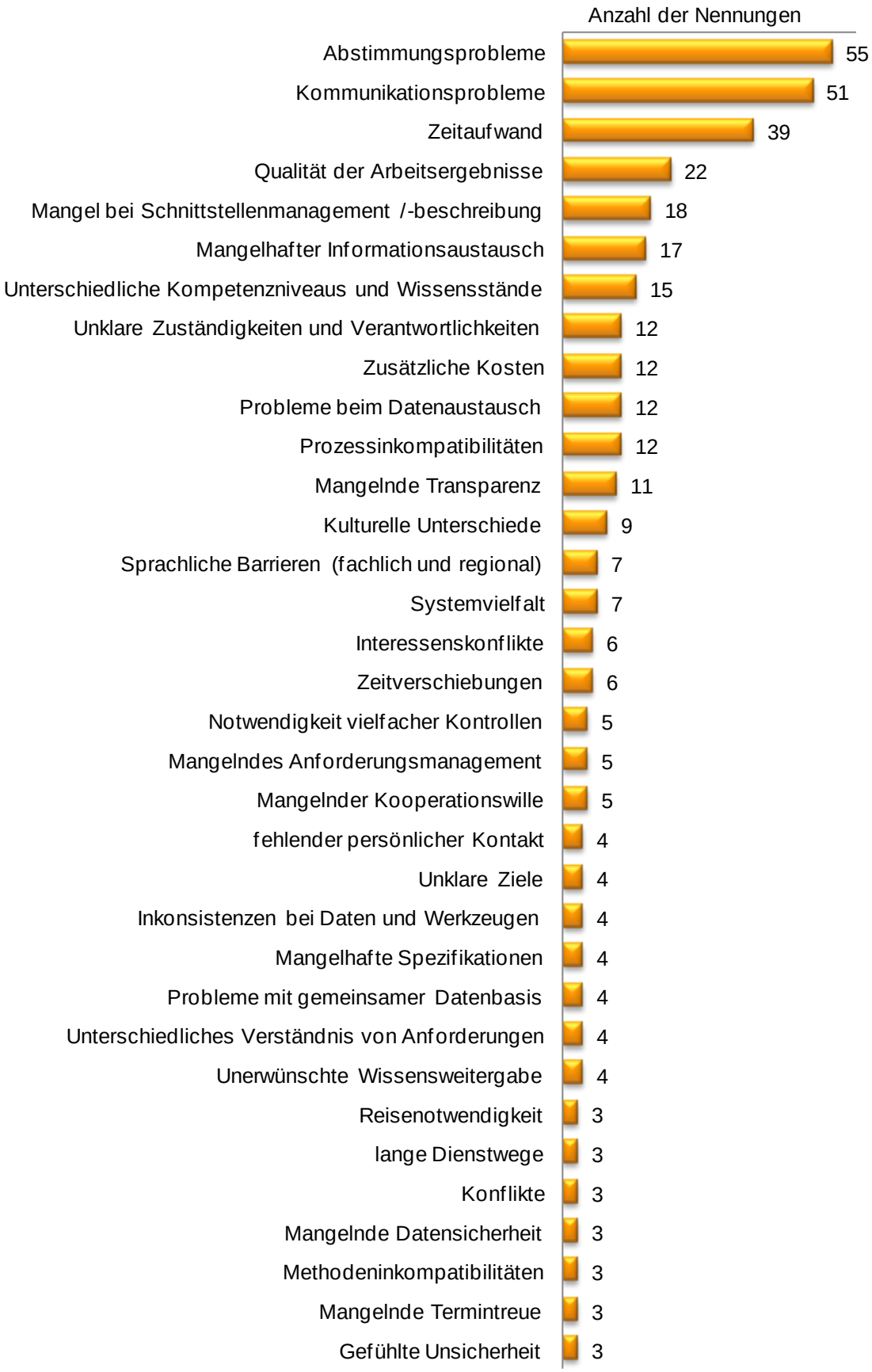

Anzahl der Nennungen
Abstimmungsprobleme 55
Kommunikationsprobleme 51
Zeitaufwand 39
Qualität der Arbeitsergebnisse 22
Mangel bei Schnittstellenmanagement /-beschreibung 18
Mangelhafter Informationsaustausch 17
Unterschiedliche Kompetenzniveaus und Wissensstände 15
Unklare Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten 12
Zusätzliche Kosten 12
Probleme beim Datenaustausch 12
Prozessinkompatibilitäten 12
Mangelnde Transparenz 11
Kulturelle Unterschiede 9
Sprachliche Barrieren (fachlich und regional) 7
Systemvielfalt 7
Interessenskonflikte 6
Zeitverschiebungen 6
Notwendigkeit vielfacher Kontrollen 5
Mangelndes Anforderungsmanagement 5
Mangelnder Kooperationswille 5
fehlender persönlicher Kontakt 4
Unklare Ziele 4
Inkonsistenzen bei Daten und Werkzeugen 4
Mangelhafte Spezifikationen 4
Probleme mit gemeinsamer Datenbasis 4
Unterschiedliches Verständnis von Anforderungen 4
Unerwünschte Wissensweitergabe 4
Reisenotwendigkeit 3
lange Dienstwege 3
Konflikte 3
Mangelnde Datensicherheit 3
Methodeninkompatibilitäten 3
Mangelnde Termintreue 3
Gefühlte Unsicherheit 3

Abbildung 15: Schwierigkeiten in der verteilten Produktentwicklung

These 1:
In der Regel sind in der Produktentwicklung Prozess- und Methodenvorgaben zur Vermeidung von Schnittstellen-Fehlern vorhanden.

These bestätigt:

92 Prozent der Befragten geben an, dass unternehmensinterne Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) in ihren Unternehmen vorliegen. 43 Prozent verfügen über unternehmensexterne PMR. Bei nur zwei Prozent der Befragten liegen weder unternehmensinterne noch -externe Vorgaben vor (

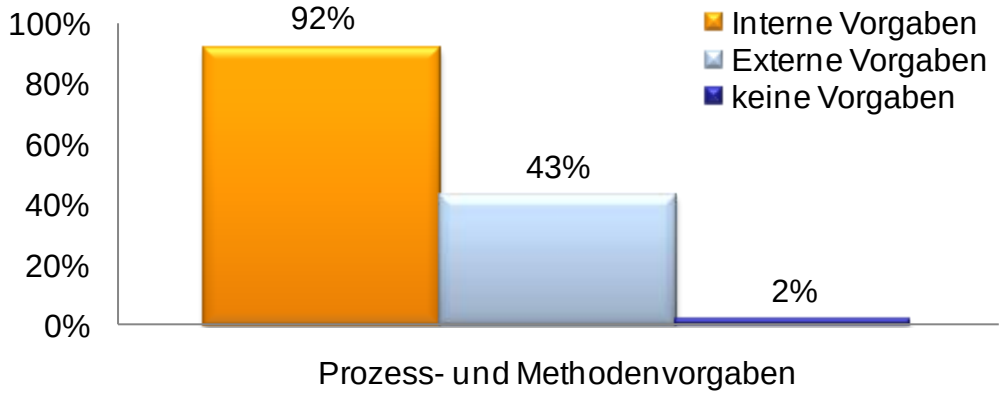


Abbildung 16).

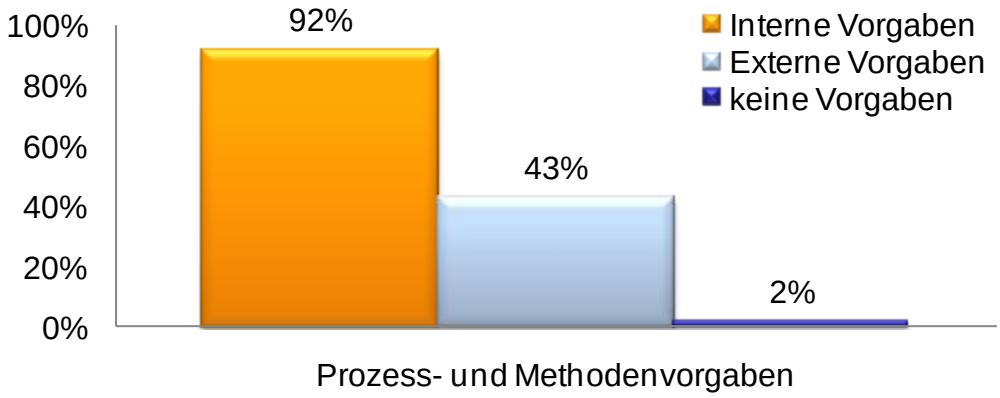


Abbildung 16: Vorhandensein von Prozess- und Methodenvorgaben

Zulieferer haben in 58 Prozent der Fälle externe PMR, während dies bei OEM nur in 30 Prozent der Fälle zutrifft. Darüber hinaus gibt es in den untersuchten Teilnehmergruppen keine signifikant unterschiedlichen Ergebnisse.

Interpretation:

Die grundlegende Notwendigkeit zur einheitlichen Regelung von Schnittstellen-Prozessen ist erkannt und die Umsetzung wird besonders unternehmensintern vorangetrieben. Die

Integration externer Partner in den Produktentwicklungsprozess ist nur bedingt umgesetzt. Häufig mangelt es noch an entsprechenden Regelwerken zur Standardisierung der Prozesse. Hier besteht großes Potenzial zur Reduktion von Reibungsverlusten in Kollaborationsprozessen.

These 2:
Die Umsetzung von Prozess- und Methodenvorgaben bereitet den operativ tätigen Produktentwicklern Schwierigkeiten.

These bestätigt:

Lediglich 19 Prozent der Befragten gaben an, dass die Umsetzung von Prozess- und Methodenvorgaben inhaltlich keine Schwierigkeiten bereiten. 41 Prozent der Befragten nannten spürbare bis große Schwierigkeiten inhaltlicher Art bei der Umsetzung von Prozess- und Methodenvorgaben. Die Befragten aus der Automobilindustrie nannten sogar zu 51 Prozent spürbare bis große Schwierigkeiten.

Interpretation:

Obwohl Prozess- und Methodenvorgaben beim Vorhandensein vielfältiger komplexer Tätigkeiten unterstützen sollen, bereiten sie in der Regel Schwierigkeiten bei der Umsetzung. Unangemessene Repräsentationen, Unterschiedlichkeit, Inkonsistenz, Unverständlichkeit und die schiere Anzahl der unterschiedlichen Anforderungen sind dabei zu einem eigenständigen Problem geworden. Dass es sich dabei nicht um rein zeitraubende, sondern um inhaltliche Schwierigkeiten handelt, lässt auf mangelhafte Aufbereitung der Informationen sowie nicht ausreichende Abstimmung auf die Vorkenntnisse und Erfahrungen des Anwenders schließen. Die überdurchschnittliche häufige Nennung in der Automobilindustrie könnte sowohl auf die besondere Vielzahl oder Komplexität der Vorgaben als auch auf eine besonders schlechte Aufbereitung schließen lassen.

These 3:
Prozess- und Methodenvorgaben liegen oftmals in wenig komfortabler Form vor.

These bestätigt:

Bei den Befragten lagen 48 Prozent der Prozess- und Methodenvorgaben in Dokumenten ohne semantischen Gehalt, nämlich in Form des von pdf- (portable document format), Word- oder anderen Text-Dokumenten vor. Die als überholt geltende Repräsentationsform Papier liegt bei Zulieferbetrieben mit 16 Prozent noch weit häufiger vor als bei OEM mit nur zehn Prozent. Das Gegenteil ist der Fall bei den eher modernen Prozessdarstellungen. Diese überwiegen bei OEM mit rund 14 Prozent gegenüber nur elf Prozent bei Zulieferbetrieben. Im Interbranchenvergleich zeigt sich der Anlagenbau als Ausnahme, in dem gegenüber der Automobil- und Flugzeugindustrie häufiger Papier und gescannte Dokumente verwendet

werden und seltener Prozessdarstellungen. Die Einschätzungen von Managern und Entwicklern unterscheiden sich nur marginal. Abbildung 17 zeigt die Verbreitung unterschiedlicher Repräsentationsarten in den untersuchten Unternehmen.

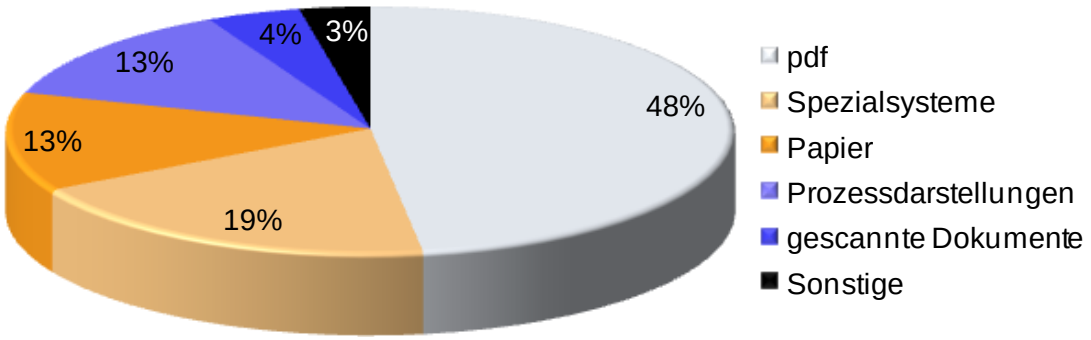


Abbildung 17: Repräsentationsarten von Prozess- und Methodendokumenten [27]

Interpretation:

Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) werden im Allgemeinen nicht in durchdachter und der Problemstellung angemessener Form in Requirements Management Systemen, umfassenden Prozessvisualisierungen oder anderen semantisch angereichten Formen dargeboten. Obgleich Papier und eingescannte Dokumente nur noch selten als Repräsentationsform für Prozess- und Methodenvorgaben Verwendung finden, sind sie dennoch nicht vollständig aus der Produktentwicklung verschwunden. Besonders bei Zulieferunternehmen und im Anlagenbau finden sie noch Verwendung. Im Anlagenbau ist vermutlich der konservative Charakter der Branche Hauptausschlaggeber dafür, bei den Zulieferern ist anzunehmen, dass die Größe der Unternehmen sowie die damit in Zusammenhang stehenden längeren Innovationszyklen und geringeren finanziellen Spielräume für Anpassungen in organisatorischen Belangen eine Hauptrolle für diesen Sachverhalt darstellen. Neben der finanziellen sind auch zeitliche und fachliche Einschränkungen als Ursachen für das Zurückbleiben der Zulieferer hinter den OEM anzunehmen.

Hauptsächlich liegen pdf-Dokumente vor, die der Papierform sehr ähnlich sind und besonders bei einer Vielzahl von Vorgaben sowie bei umfangreichen Vorgaben einen schlechten Überblick über den Inhalt vermitteln. Es handelt sich also lediglich um eine Art „online-hardcopy“, die gegenüber physischen Dokumenten nur geringe Vorteile bieten; erfahrene Nutzer können diese Vorteile dabei eher nutzen als Unerfahrene, da ihnen die entscheidenden Schlagworte bekannt sind [27], um verfügbare Informationen effektiv zu filtern. Die bereits bei einem Fünftel der Befragten eingesetzten Spezialsysteme bieten vermutlich wesentlich bessere Unterstützung bei der Erfüllung der Vorgaben. Als besonders intuitiv geltende Prozessdarstellungen. Sie werden noch relativ selten verwendet. Da nicht alle Regelungen in Form von Prozessdarstellungen visualisierbar sind, ist eine weitergehende Aussage über den

Anteil dieser Repräsentationsform nicht zu treffen. Es besteht noch großes Verbesserungspotenzial bei der Form der Repräsentation von Prozess- und Methodenvorgaben in der Produktentwicklung.

These 4:
Der Produktentwicklungsprozess ist nicht umfassend dokumentiert.

These bestätigt:

Der Grad des dokumentierten Wissens über den Produktentwicklungsprozess beträgt in der Stichprobe 50 Prozent. Zwischen den Untersuchungsgruppen gibt es nur geringe Unterschiede.

Interpretation:

Mit 50 Prozent ist ein sehr hoher Anteil des erfolgskritischen Wissens in der Produktentwicklung undokumentiert. Wissenserhalt und -weitergabe können damit zu einem großen Teil nur über direkte Kommunikation zwischen den Wissensträgern und deren Kollegen erfolgen.

These 5:
Das Wissen über Produktentwicklungsprozesse kann nicht umfassend expliziert werden.

These bestätigt:

Die Befragten halten maximal 73 Prozent, also rund drei Viertel, des Wissens über Produktentwicklungsprozesse für dokumentierbar. Ebenso wie im vorhergehenden Fall sind die Antworten in den Untersuchungsgruppen nicht signifikant unterschiedlich.

Interpretation:

Einhellige Meinung ist, dass rund ein Viertel des im Unternehmen vorhandenen Wissens nicht explizierbar und somit auf Dauer *in den Köpfen der Mitarbeiter* gebunden sein wird. Der Wissenstransfer von Mensch zu Mensch wird damit in der Produktentwicklung auch zukünftig unverzichtbar sein. Vermutlich ist der nicht dokumentierte Anteil dieses Wissens sogar noch erfolgskritischer als der dokumentierte. Hohe Komplexität des Wissens, nicht explizierbares Erfahrungswissen und gezielte Geheimhaltung des Wissens sind mögliche Ursachen für die faktische Unmöglichkeit der Dokumentation der genannten Inhalte.

These 6:
Entwickler haben einen Anreiz, ihrem Unternehmen Fehlerkosten zu ersparen

These bestätigt:

Den Befragten wurden in einem beschriebenen Szenario drei für sie äquivalente Handlungsoptionen gegeben. Das Szenario beschreibt eine Situation unter Zeitdruck, bei der

eine einzelne Korrektur fertiggestellt werden kann und die anderen unerledigt bleiben müssen. Dabei konnte eine Entscheidung getroffen werden, die den Korrekturaufwand des Entwicklers, die Kosten des Unternehmens oder die Entdeckungswahrscheinlichkeit unkorrigierter Fehler minimiert.

80 Prozent der befragten Entwickler entschieden sich für die Minimierung der Fehlerkosten des eigenen Unternehmens. Die übrigen Antworten sind etwa gleich verteilt auf die Minimierung der Entdeckungswahrscheinlichkeit und des Zeitaufwandes für Entwickler. Im Flugzeugbau entschieden sich statt 80 Prozent der Entwickler nur 57 Prozent für die Minimierung der Fehlerkosten und wählten stattdessen die Minimierung des eigenen Arbeitsaufwands. Signifikante Unterschiede hinsichtlich anderer Branchen oder der Zuordnung zu OEM und Zulieferunternehmen konnten nicht festgestellt werden.

Interpretation:

Bei Bekanntheit der Fehler- und Folgekosten haben die Entwickler einen Anreiz, Schaden vom Unternehmen abzuwenden. Mitarbeiter im Flugzeugbau scheinen ihren Arbeitgebern weniger stark verbunden zu sein oder haben eine spürbar höhere Arbeitsbelastung und entscheiden daher vermehrt für die Reduktion des eigenen Arbeitsaufwandes. Ein starker Einfluss der sozialen Erwünschtheit auf die Beantwortung ist nicht anzunehmen, da die konkrete Frage nach dem größten Einfluss auf die Entscheidung ebenfalls abgefragt wurde und dort sichtlich zuungunsten der Aufwandsmaximierung geantwortet wurde. Sozial erwünschte Antworten konnten also an anderer Stelle gegeben werden und beeinflussen das Ergebnis damit in geringerer Weise.

These 7:
Prozess- und Methodenvorgaben haben großen Einfluss auf den Produktentwicklungsprozess

These bestätigt:

Zwei Drittel der Zulieferer und 85 Prozent der Mitarbeiter beim OEM stellen fest, dass Prozess- und Methodenvorgaben mindestens spürbaren Einfluss auf den Entwicklungsprozess haben. Der Unterschied zwischen diesen Untersuchungsgruppen ist hochsignifikant ($p<0,01$). Manager beim Zulieferunternehmen gehen mit 95 Prozent von noch stärkerem Einfluss aus. Im Branchenvergleich zeigt sich, dass starke Einflüsse in der Automobilindustrie und besonders im Flugzeugbau wahrgenommen werden. Im Anlagenbau wird ein reduzierter Einfluss wahrgenommen. Nur die Hälfte der Entwickler und 72 Prozent der Manager bestätigen hier einen mindestens spürbaren Einfluss.

Interpretation:

Prozess- und Methodenvorgaben haben entscheidenden Einfluss auf den Entwicklungsprozess, was vom OEM noch stärker wahrgenommen wird als von den Zulieferern. Die Möglichkeit, dass Zulieferer weniger Vorgaben erhalten als OEM, kann ausgeschlossen werden. Die Befragung der OEM-Manager hinsichtlich des Umfangs der Methodenvorgaben an die Zulieferer spiegelt dies nicht wider. Als mögliche Interpretationen verbleiben zwei denkbare Fälle. Vorgaben des OEM dringen entweder nicht in vollem Umfang zum Zulieferer durch oder die Zulieferer richten sich nicht in dem Maße nach den Vorgaben, wie die OEM dies von ihnen wünschen und auch selbst tun.

These 8:
Die Erfüllung von Prozess- und Methodenvorgaben bedeutet einen erheblichen Mehraufwand für die Entwicklungsingenieure

These bestätigt:

Die Befragten Produktentwickler schätzen bei offener Fragestellung 27 Prozent Mehraufwand durch die Erfüllung von Prozess- und Methodenvorgaben. Die Standardabweichung (σ) der Antworten betrug 19,7 Prozent in der Gesamtstichprobe. Mitarbeiter in Zulieferbetrieben schätzen den Mehraufwand mit 30 Prozent geringfügig höher als ihre Kollegen bei den OEM mit 26 Prozent. Die Einschätzung zwischen Managern und Entwicklern differiert noch etwas stärker mit 23 beziehungsweise 31 Prozent (vgl. Abbildung 18). Zwischen den untersuchten Branchen bestehen keine signifikanten Unterschiede.

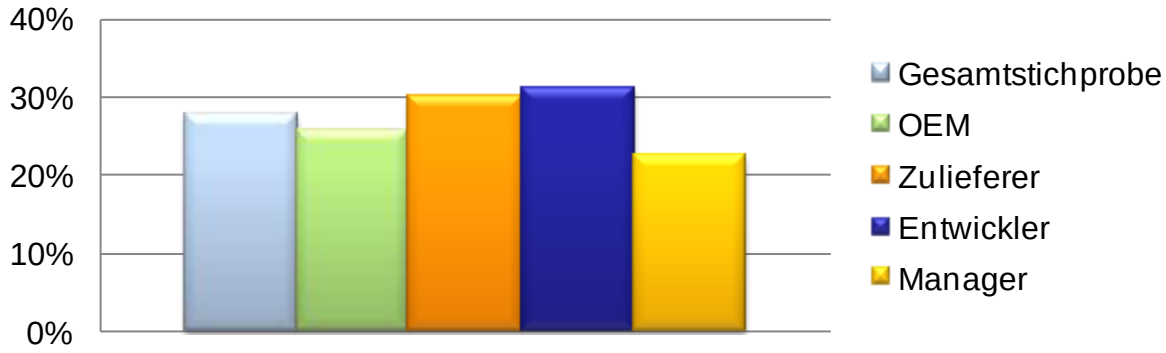


Abbildung 18: Mehraufwand durch die Erfüllung von Prozess- und Methodenvorgaben

Interpretation:

Prozess- und Methodenvorgaben sollen der Verbesserung der Integration von Prozess-Schnittstellen hin zu einem kontinuierlichen Arbeitsfluss dienen. Dennoch bedeuten sie einen erheblichen zusätzlichen Zeitaufwand und damit eine erhebliche zusätzliche Belastung für den Entwickler. Neben der zeitlichen Dimension geht damit auch eine verstärkte mentale Belastung einher. In Zulieferbetrieben ist dies noch stärker zu spüren als bei den OEM.

Möglicherweise ist dies auf die weitere Entfernung zum Ursprung der Vorgaben zurückzuführen, vermutlich aber auch darauf, dass Zulieferbetriebe in der Regel für mehrere OEM tätig sind und daher mit einem Vielfachen an Vorgaben konfrontiert sind. Die Zusatzbelastung der Entwickler wird durch die Manager nur in reduzierter Weise wahrgenommen. Ein Bias der befragten Entwickler ist hier jedoch stark anzunehmen. Da bekannt ist, dass die Teilnehmer der Studie die Ergebnisse erhalten werden, ist der Versuch verlockend, eine übermäßige Belastung verstärkt an die Führungsebene zu kommunizieren. Hierbei handelt es sich um einen Spezialfall des „Social-Desirability-Response-Set“ [27] in Verbindung mit Sponsorship-Effekten. Assistenzsysteme und Kontext-Sensitivität der Werkzeuge sind Ansätze, die helfen könnten, die mentale Belastung und damit auch den mentalen Stress sowie den vermehrten Zeitaufwand zu reduzieren.

These 9:
Nicht alle erforderlichen Prozess- und Methodenvorgaben sind dem Entwickler vor Arbeitsbeginn bekannt.

These bestätigt:

80 Prozent der Befragten nehmen an, dass dem Entwickler vor Arbeitsbeginn nicht alle relevanten Prozess- und Methodenvorgaben bekannt sind. Neun Prozent der Befragten sind der Ansicht, dass selbst nach Abschluss der Arbeiten nicht alle relevanten Prozess- und Methodenvorgaben bekannt sind. In der Flugzeugindustrie nehmen sogar 20 Prozent der Befragten dies an. Die Manager sind hier in ihren Aussagen optimistischer als die Entwickler und nehmen den Zeitpunkt der Verfügbarkeit aller relevanten Informationen zu einem früheren Zeitpunkt an. Im Vergleich zwischen OEM und Zulieferern zeigt sich, dass die optimistischere Einschätzung bei den Zulieferbetrieben liegt.

Interpretation:

Die Ergebnisse liefern starke Indizien für die Unangemessenheit der Prozess- und Methodenvorgaben hinsichtlich transparenter Klassifikation und adäquater Repräsentation. Umfang und Strukturierung der Anforderungen führen dazu, dass sie nicht mehr handhabbar sind. Neben der strukturellen Überarbeitung und sinnvollerer Klassifizierungen sind fortlaufende Revisionen 🕮 und effektiver Wissenstransfer von erfahrenen Entwicklern zu Anfängern im Zuliefernetzwerk dringend erforderlich.

These 10:
Zulieferer empfinden die Prozess- und Methodenvorgaben der OEM als umfangreicher, als die OEM selbst dies tun.

These nicht bestätigt:

Die Vorgabe der OEM an die Zulieferbetriebe umfasst mit absteigender Häufigkeit Datenformate, Zertifizierungen, Entwicklungswerkzeuge und Entwicklungsmethoden. Wie Abbildung 19 zeigt, haben OEM und Zulieferer eine sehr ähnliche Einschätzung hinsichtlich der gestellten Anforderungen. Als weitere dem Zulieferer vom OEM auferlegte Vorgaben wurden der Entwicklungsstandort, Datenübertragungsarten, definierte Dokumentationen, Audits und vor allem konkrete Zeitvorgaben genannt.

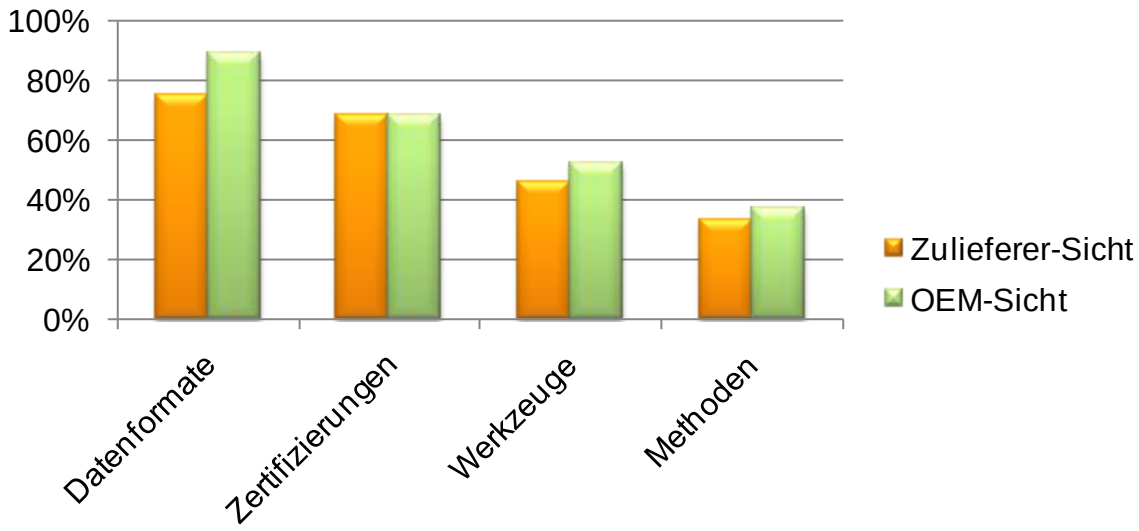


Abbildung 19: Vorgaben von OEM an Zulieferer aus Sicht der beiden Parteien

Der Interbranchenvergleich zeigt, dass sich die Automobil- und die Flugzeugindustrie in einzelnen Punkten von der Gesamtstichprobe abheben. In Abbildung 20 (links) ist deutlich erkennbar, dass die Automobilindustrie besonders auf die Verwendung vorgegebener Entwicklungswerkzeuge Wert legt. In der Flugzeugindustrie (rechts) werden hingegen Entwicklungsmethoden in den Vordergrund gestellt.

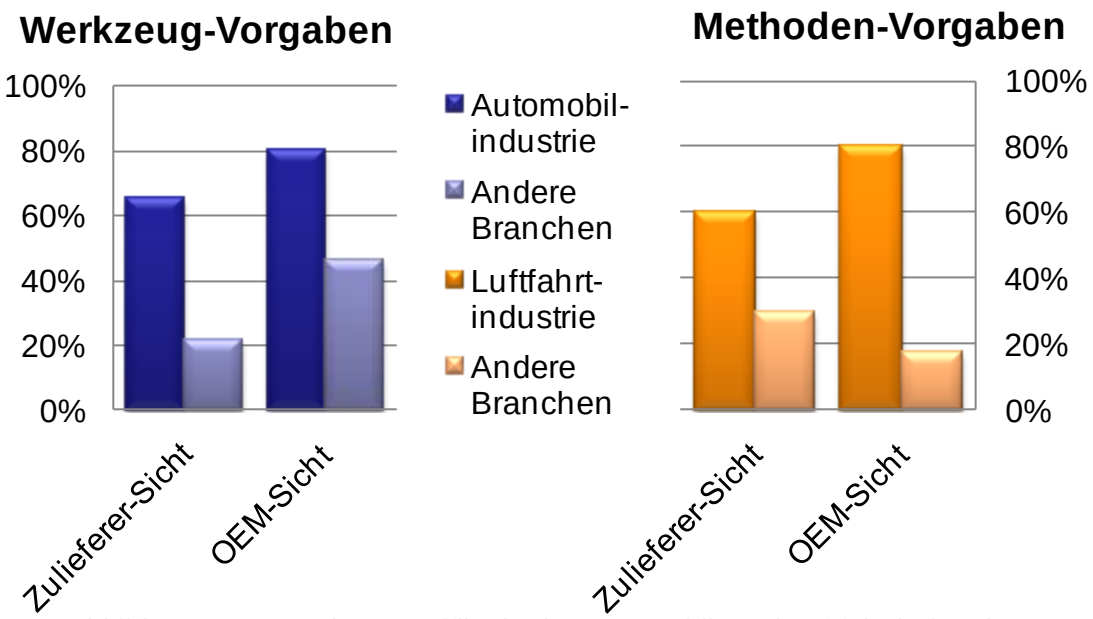


Abbildung 20: Branchenspezifika in der Automobil- und Luftfahrtindustrie

Es handelte sich um eine Datenerhebung in getrennten Populationen ohne Bildung von direkt verbundenen OEM-Zulieferer-Tupeln.

Interpretation:

Tendenziell herrscht eher die der Hypothese entgegengesetzte Situation vor, nämlich, dass OEM ihre Vorgaben als umfangreicher einschätzen, als die Zulieferer dies wahrnehmen. Die vermittelten Vorgaben kommen also nicht bei den Zulieferern an oder werden nicht als harte Vorgaben gesehen. Während die Prozesse in der Automobilindustrie stark von der Werkzeugumgebung geprägt sind, bestimmen in der Luftfahrindustrie die Methoden in höherem Maße den Entwicklungsprozess. Hier tritt sogar der in der Hypothese formulierte Fall ein, dass der Zulieferer in stärkerem Maße von Anforderungen ausgeht, als dies der OEM formuliert.

<u>These 11:</u>
<u>Die unstrukturierte Volltextsuche ist das Hauptwerkzeug zur Ermittlung relevanter Prozess- und Methodendokumente.</u>

These widerlegt:

Wie Abbildung 21 zeigt verwendet lediglich ein Drittel der Befragten Entwickler die unstrukturierte Volltextsuche in Prozess- und Methodendokumenten, die damit lediglich Platz vier auf der Liste der verwendeten Suchstrategien belegt. Ebenfalls ein Drittel der Befragten durchblättert Inhaltsverzeichnisse von Regelwerken zur Filterung nach Relevanz für die aktuellen Arbeitsschritte.

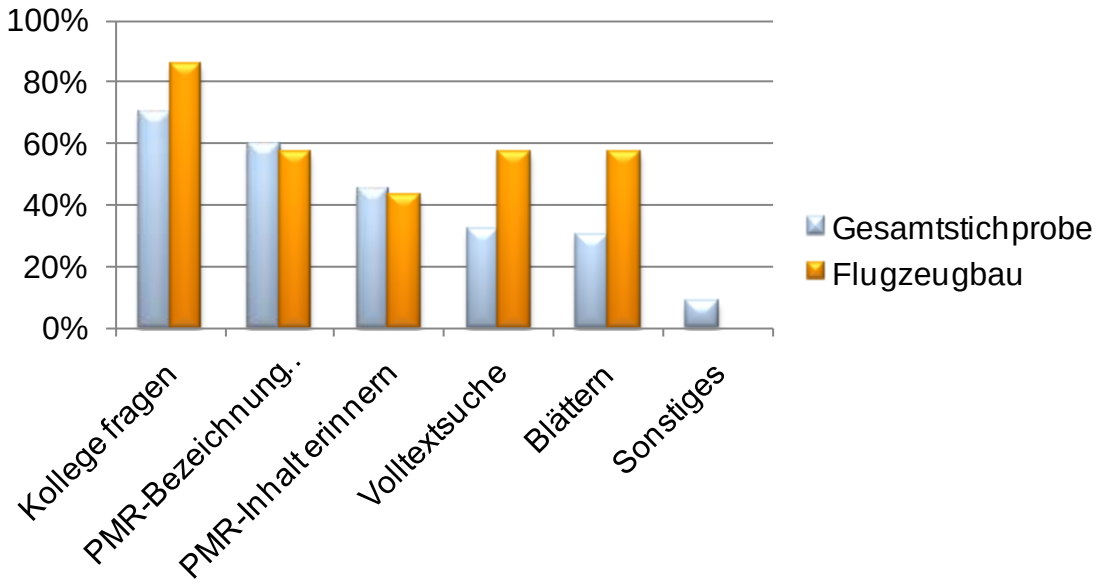


Abbildung 21: Informationsbeschaffung zur Erfüllung von Prozess- und Methodenvorgaben

70 Prozent der Befragten beziehen Informationen zur Relevanz von Prozess- und Methodenvorgaben aus der gezielten Nachfrage im persönlichen Kollegengespräch. In 60 Prozent der Fälle werden die relevanten Regelwerke aus dem Gedächtnis erinnert, in 45 Prozent der Fälle auch die Inhalte der Regelwerke. Mehrfachnennungen waren möglich. Starke Eigenheiten sind nur in der Flugzeugindustrie erkennbar, in der anteilig doppelt so oft die Volltextsuche verwendet wird und mehr als doppelt so oft Inhaltsverzeichnisse durchblättert werden. In Summe wird hier rund ein Viertel mehr Wege zur Informationsbeschaffung über Prozess- und Methodenvorgaben beschritten als in anderen Industrien.

Interpretation:

Die Erfüllung von Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) scheint stark von Kommunikationsaspekten zwischen Kollegen geprägt zu sein. Systematisch unterstützter Wissenstransfer verspricht daher, die Erfüllung von PMR zu verbessern. Dennoch ist die informelle Kommunikationskultur ein entscheidender und oftmals unterschätzter Erfolgsfaktor, der nicht versehentlich durch hierarchische Eingriffe zerstört werden darf.

Die Aufbereitung von Regelwerken zu Prozess- und Methodenvorgaben ist als mangelhaft einzustufen. Nicht die Regelwerke selbst, sondern in erster Linie Kollegen werden konsultiert, wenn es um die Frage geht, welche Regeln im Einzelfall gültig sind. Die Ausnahmestellung der Flugzeugindustrie könnte einerseits auf einen erweiterten Umfang an Vorgaben oder andererseits auf eine unterschiedliche Aufbereitung der Vorgaben zurückzuführen sein. Da

hierzu keine Absolutwerte erhoben wurden, lässt sich diese Frage nicht aus dem Erhebungsdatensatz beantworten.

These 12:
Digitale Dokumente können internen Erstellern in der Regel nicht persönlich zugeordnet werden.

These nicht bestätigt:

Unternehmensintern geben 34 Prozent der Befragten an, dass ihnen die Ersteller digitaler Dokumente vollständig in Person bekannt sind. 42 Prozent der Befragten wissen darüber größtenteils Bescheid. Diese Einschätzung ist gleich verteilt auf alle Befragungsgruppen mit Ausnahme der Mitarbeiter des Flugzeugbaus, die dies nur zu 20 beziehungsweise 46 Prozent annehmen.

Interpretation:

Zumindest unternehmensintern ist die Möglichkeit zur Rückverfolgung entstandener Daten zu ihren Autoren in gewissem Maße gegeben. Dennoch ist bei zwei Dritteln der Befragten keine vollständige Kenntnis darüber vorhanden, wer welche Informationen und Modelle generiert hat, sodass es hier noch hohen Verbesserungsbedarf gibt. Sowohl Manager und Entwickler als auch OEM und Zulieferer sind sich in der Einschätzung der Situation einig, sodass hier keine Informationsasymmetrien vorzuliegen scheinen. Die Situation ist also transparent, die Problematik vermutlich nicht.

These 13:
Digitale Dokumente können externen Erstellern in der Regel nicht persönlich zugeordnet werden.

These bestätigt.

Nur 12 Prozent der Befragten fühlen sich vollständig über die persönliche Zuordnung digitaler Dokumente zu den unternehmensexternen Erstellern informiert. 22 Prozent wissen darüber größtenteils Bescheid. Dagegen ist rund zwei Dritteln der Befragten zumindest das Unternehmen bekannt, in dem die Dokumente erstellt wurden. Manager wissen um die erstellenden Unternehmen besser Bescheid als Entwickler.

Interpretation:

Beinahe neun von zehn Mitarbeitern in der Produktentwicklung sind nicht ausreichend informiert über die Herkunft der von ihnen zu verwertenden Vorarbeiten. Gerade bei weiter zurückgehender Entwicklungstiefe der OEM stellt dies einen großen Mangel dar, der unmittelbare Kommunikation bereits zwischen zwei angrenzenden Prozessschritten unmöglich macht. Mittelbar besteht die Möglichkeit, sich direkt oder über die Vorgesetzten an das erstellende Unternehmen zu wenden und entsprechende Kontaktpersonen ausfindig zu

machen, sofern diese denn dort bekannt sind. Aus Sicht des Prozessablaufes ist dieser Weg jedoch äußerst unbefriedigend, besteht aus vielen Schritten und wird daher erfahrungsgemäß nicht beschritten.

Anzumerken ist, dass sich die Anteile der Mitarbeiter, die über externe Ersteller Bescheid wissen, geringer ist als der Anteil der Mitarbeiter, die annehmen, dass sie als Autoren am digitalen Modell vermerkt bleiben, wenn die Modelle das Haus verlassen. Folglich gibt es hier einen Mangel an der Übermittlung zur Verfügung stehender Informationen in das Entwicklungsnetzwerk.

These 14:
Eine hohe Zahl an Fehlern wird im Alltagsgeschehen erkannt und behoben bevor Fehlererkennungsprozesse greifen können.

These bestätigt:

73 Prozent werden durchschnittlich als der Anteil an Fehlern geschätzt, der erkannt und behoben wird, bevor ein Fehlererkennungsprozess greifen kann. Diese Einschätzung wird über alle untersuchten Befragungsgruppen gleichermaßen abgegeben.

Interpretation:

Anders ausgedrückt decken Fehlerstatistiken also nur 27 Prozent der Fehler ab, die tatsächlich begangen werden und somit zu Fehlleistungsaufwand führen. Entsprechend sind Kosten von Fehlleistungsaufwand wesentlich höher anzusetzen als Schätzungen und Berechnungen dies vermuten lassen.

These 15:
Unzulässige Software-Funktionen sind in der Regel nicht technisch blockiert und nicht mit entsprechenden Hinweisen versehen.

These nicht bestätigt:

Zwei Drittel der aus verschiedenen Gründen im Unternehmen nicht zulässigen Software-Funktionalitäten sind auf Programmebene blockiert. In der Hälfte der Fälle werden neben der reinen Blockade der Funktion beim Verwendungsversuch zusätzlich Warnmeldungen an den Benutzer ausgegeben. Die Ausgabe einer Warnung ohne Blockade der Funktion wurde bei keinem Befragungsteilnehmer eingesetzt. Rund ein Drittel der Befragten gibt an, dass einzelne Funktionalitäten in CAx-Systemen vom Unternehmen blockiert werden.

Interpretation:

Unerwünschte Vorgehensweisen in Verbindung mit Software-Funktionalitäten sind vielfach blockiert oder mit entsprechenden Hinweisen in Textform versehen. Dadurch erhält der Entwickler eine Rückmeldung über die Korrektheit seines Vorgehens. Blockaden ohne

Hinweise zum Grund der Blockade verhindern einen Erkenntnisgewinn und Lerneffekt beim Anwender, da keine Rückschlüsse auf die Ursache des erfolglosen Vorgehens gezogen werden können. Eine Unterscheidung zwischen Bedienfehler, Programmfehler oder bewusster Außerkraftsetzung der Funktionalität ist nicht möglich.

Die Tatsache, dass in keinem Fall Hinweise auf unerwünschte Vorgehensweisen ohne damit verbundene Blockaden des Vorgehens identifiziert werden konnten, lässt eine weitere interessante Interpretation zu: Alle Vorgaben werden als absolut verbindlich angesehen. Eine Selbsteinschätzung des Entwicklers wird nicht zugelassen. Dies kann zweierlei bedeuten: einerseits, dass das von Momentanfehlern ausgehende Risiko fehlerhafter Ergebnisse nur minder groß eingeschätzt wird und daher dieser Fehlerart keine Beachtung geschenkt wird. Damit scheint ein großes Potenzial zur Verbesserung der Fehlerfreiheit ungenutzt zu bleiben. Andererseits kann es bedeuten, dass das Konzept notwendiger Momentanfehler nicht bekannt ist und jedes nicht vorgabenkonforme Vorgehen unterbunden werden soll. Mit einem derartigen Vorgehen ist eine starke Einschränkung der Handlungsfreiheit der Entwickler verbunden, die so daran gehindert werden, auf unkonventionellen Wegen zu sehr guten Ergebnissen kommen könnten. Eine Abwägung zwischen Risiko und Freiraum zur Kreativität ist hier nötig. In der Softwareentwicklung wird dieser Freiraum teilweise explizit gewährt, wie dies beispielsweise die „Design by Contract“ Methode im Hinblick auf die Zulässigkeit temporärer Verletzungen von Invarianten verdeutlicht [87].

These 16:
Verbotene Funktionen werden häufig dennoch verwendet (vgl. These 15, S. 51).

These bestätigt:

Insgesamt werden verbotene Funktionen in 54 Prozent der Fälle dennoch verwendet. 75 Prozent der auf Programmebene blockierten Software-Funktionalitäten werden zumindest vereinzelt dennoch verwendet (abhängige Stichprobe). Als häufigste Ursache für die Verwendung verbotener Funktionen wurde die so zu erreichende Zeitersparnis genannt. Weiterhin wurde begründet, dass Arbeitsergebnisse nicht unter Einhaltung der Verbote erzielt werden können und dass die Umgehung der Verbote ohne negative Auswirkungen bliebe. Bei der Untersuchung der Ursachen handelte es sich um eine offene Fragestellung.

Interpretation:

Eine ausreichende Kommunikation rund um das Thema unzulässiger Software-Funktionen findet nicht statt. Die Einschätzung der Auswirkungen bei Verwendung ebendieser Funktionen geht zwischen den Anwendern und den Administratoren auseinander. Vermutlich herrscht auch eine unterschiedliche Auffassung zwischen den Methodenerstellern und den Methodenanwendern. Die Entwickler befinden sich hier in einer äußerst unklaren Situation, die

eine konsistente Umsetzung der Vorgaben nicht begünstigt. Es ist anzunehmen, dass Verstöße guten Gewissens begangen werden und keine Schädigung beabsichtigt wird. Der Einfluss sozialer Erwünschtheit auf die Beantwortung dieser Frage ist nicht ausgeschlossen.

These 17:
Die verteilte Produktentwicklung ist mit hohem zusätzlichen Zeitaufwand für die Entwickler verbunden.

These bestätigt:

Durch den Einsatz verteilter Produktentwicklung wird jede Stunde tatsächlicher Entwicklungsarbeit von zwei Stunden und 40 Minuten sonstigen Aufgaben begleitet. Dieser Overhead 🕮 von 265 Prozent ist über die untersuchten Branchen gleichermaßen vorhanden. Entwickler haben mit 246 Prozent geschätztem Overhead noch eine etwas optimistischere Einschätzung der Lage als Manager, die von rund 300 Prozent Overhead ausgehen. Abbildung 22 zeigt die Ergebnisse über die einzelnen Untersuchungsgruppen hinweg.

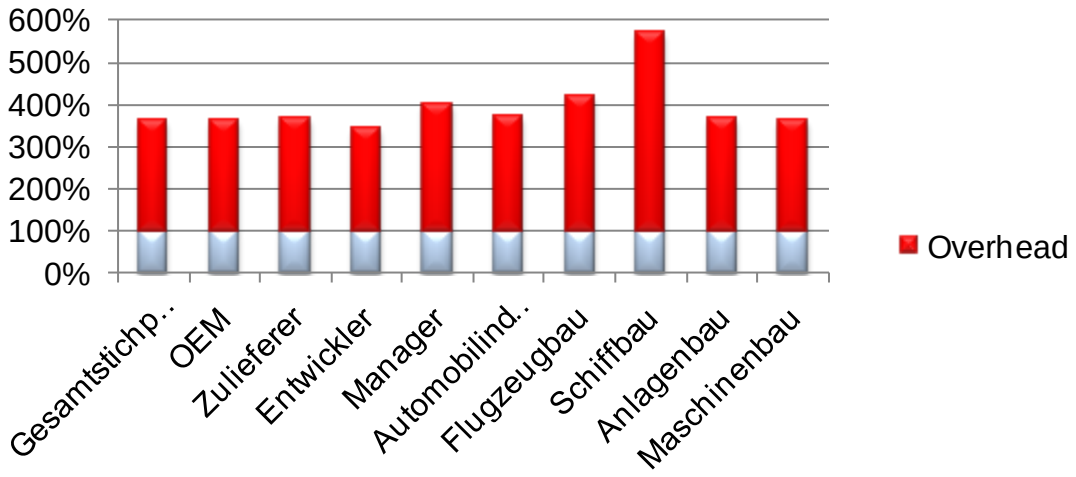


Abbildung 22: Zusätzlicher Zeitaufwand in der verteilten Produktentwicklung

Interpretation:

Einerseits bedeutet dieser hohe Overhead einen enormen Effizienzverlust bei Produktentwicklungsaktivitäten. Andererseits zeigt die Praxis jedoch, dass der Einsatz verteilter Entwicklungsmethoden der Industrie großes Potenzial und große Vorteile verschafft, da sich offenbar trotz Aktivitäten, die zu 73 Prozent aus Overhead bestehen, noch rentable Ergebnisse erzielen lassen. Es liegt also noch viel Verbesserungspotenzial in der Reduktion der Overhead-Tätigkeiten, wobei ein notwendiges Minimum erhalten bleiben wird. STRITZKE ermittelte 1999 nur bis zu 50 Prozent Overhead bei der Ingenieursarbeit [88]. Da dort die Produktentstehung untersucht wurde, ist davon auszugehen, dass die Stichprobe einer ähnlichen Population entstammt und sich die Situation in den letzten Jahren verschärft hat.

These 18:
Neben der Amortisationsdauer als wichtigste Einflussgröße auf die Gewährung des Budgets zur Verbesserung von Produktentwicklungsprozessen spielen andere Faktoren nur eine untergeordnete Rolle.

These bestätigt:

Die Amortisationsdauer wird als wichtigstes Kriterium für die Entscheidung zur Durchführung einer Verbesserung im Produktentwicklungsprozess genannt. Im Flugzeugbau liegt der Schwerpunkt noch etwas stärker auf diesem Kriterium als in den übrigen Industrien. Die im Durchschnitt genannte akzeptable Amortisationsdauer liegt bei 2,3 Jahren. Im Anlagenbau ist im Durchschnitt eine Amortisationsdauer von 2,8 Jahren akzeptabel, in den übrigen Brachen hingegen nur 2,1 Jahre. Sonstige Unterschiede zwischen den Antworten der Befragten sind nur schwach ausgeprägt. Als untergeordnet wichtige Entscheidungskriterien werden der persönliche Einfluss und die Kontakte des vorschlagenden Mitarbeiters, die augenscheinliche Attraktivität der vorgeschlagenen Lösung und zuletzt der Kapitalmarktzins genannt. Bei offen gestellter Frage nach weiteren Einflussgrößen wurden zudem die momentane Liquidität des Unternehmens, Aktivitäten von Konkurrenzunternehmen und das Vorhandensein von personalen Kapazitäten zur Umsetzung der Verbesserungsprozesse genannt.

Interpretation:

Da die Amortisationsdauer als vorwiegendes Entscheidungskriterium für Investitionen zur Prozessverbesserung dient, ist es möglich, auf einfachem Wege Aussagen darüber zu treffen, ob für einzelne Maßnahmen eine Chance auf Akzeptanz zur Umsetzung bei den budgetverantwortlichen Personen im Unternehmen besteht. Bereits an zweiter Stelle folgt der persönliche Einfluss des Mitarbeiters, der eine Verbesserungsmaßnahme vorschlägt, womit die Wichtigkeit von Promotoren für Prozessveränderungen belegt werden konnte.

These 19:
Arbeitsunterweisungen sind heutzutage kein verbreitetes Mittel zur Wissensvermittlung in der Produktentwicklung

These nicht bestätigt:

Durchschnittlich finden monatlich knapp sechs Stunden Arbeitsunterweisungen in Unternehmen der Produktentwicklung statt. Es besteht ein signifikanter ($p<0,05$) Unterschied zwischen den OEM, die knapp 9 Stunden auf diese Tätigkeit verwenden, und Zulieferunternehmen, die nur gut 5 Stunden Arbeitsunterweisungen pro Monat durchführen.

Interpretation:

Eine Bestätigung der These ist trotz der teils recht klaren Ergebnisse in diesem Fall nicht möglich, da der Begriff Arbeitsunterweisung von den Befragten nicht einheitlich interpretiert

wurde. Neben der tatsächlichen aufgaben- oder werkzeugbezogenen Arbeitsunterweisung wurden teilweise auch Projekttreffen und andere Kommunikationen in die Antworten einkalkuliert. Diese Erkenntnis wurde im Nachgespräch mit einzelnen Befragten gewonnen.

These 20:
Ein vorherrschender Tenor in der Produktentwicklung lautet: „Wenn eine Regelung getroffen ist, so ist es die Aufgabe des Mitarbeiters, diese Regelung zu befolgen. Einer weiteren Begründung für die Regelung bedarf es daher nicht."

These bestätigt:

Eine Mehrheit von 58 Prozent der Befragten sagt aus, dass die genannte Aussage ihre Erfahrungen im Produktentwicklungsalltag vollständig oder größtenteils widerspiegelt. Dagegen finden nur 13 Prozent die Aussage nicht oder wenig in Einklang mit ihren Erfahrungen. Zwischen den Untersuchungsgruppen gibt es dahin gehend nur geringfügige Unterschiede. Auch im Hinblick auf unternehmensinterne und -externe Kommunikation unterscheiden sich die Situationen nicht systematisch. Im Flugzeugbau ist die Zustimmung zu dieser Aussage um rund 20 Prozent höher als in anderen Branchen. Mitarbeiter im Anlagenbau stimmen hingegen 13 Prozent seltener zu.

Interpretation:

Der Arbeitsalltag für Manager, Entwickler und Kollaborationspartner findet nicht auf Augenhöhe statt. Besonders im Flugzeugbau scheint diesbezüglich ein sehr rauer Umgang zu herrschen. Diese Art der Kollaboration auf reiner Sachbearbeitungsebene ist nicht nachhaltig und kann nicht auf Dauer Bestand haben. Er gefährdet Innovationspotenziale in der heutigen, stark von Communities, Informalität, Eigeninitiative auf freiwilliger Basis und Dezentralisation geprägten Zeit. Einsparungen bei Zeit und Kosten der Schnittstellendefinition und -kommunikation durch knappe Instruktionen ohne Begründung und Hintergrundinformationen werden vermutlich mehrfach überkompensiert durch die Reduktion der Motivation, entstehende Fehler, limitierte Innovationsleistung und Ineffizienzen bei der Zusammenarbeit.

These 21:
Personen, die Vorarbeiten erzeugen oder mit Zwischenergebnissen weiterarbeiten, sowie deren Vorgesetzte sind den Entwicklern oftmals nicht bekannt.

These bestätigt:

42 Prozent der Befragten geben an, Ersteller von Vorarbeiten mit Sicherheit zu kennen, sofern sie innerhalb des eigenen Unternehmens tätig sind. Deren Vorgesetzte sind in 40 Prozent der Fälle mit Sicherheit bekannt. Rund ein Viertel der Entwickler weiß nur ungenügend oder überhaupt nicht über Ersteller von Vorarbeiten und deren Vorgesetzte im Unternehmen Bescheid. Im Hinblick auf Personen, die mit Zwischenergebnissen weiterarbeiten, sowie deren Vorgesetzte sind noch weniger Befragte sicher bezüglich der Identität der besagten Kollegen.

Bei Prozess-Vorgängern und -nachfolgern außerhalb des Unternehmens fallen die Zahlen nochmals um 25 Prozent niedriger aus.

Interpretation:

Die Transparenz des Produktentwicklungsprozesses ist in dieser Hinsicht als mangelhaft zu betrachten, besonders im Bezug auf Prozesse, die über mehrere Unternehmen hinweg ablaufen. Selbst wenn die Prozess-Vorgänger und -nachfolger teilweise bekannt sind, so sind sich Entwickler nur in den seltensten Fällen sicher, die Identität der betreffenden Personen sowie deren Vorgesetzte tatsächlich zu kennen. Hier herrscht große Unsicherheit und Mutmaßungen machen sich breit. Notwendige Kommunikationswege sind nicht ausreichend transparent etabliert. Dies führt dazu, dass weder die direkte Kontaktaufnahme zu den Verantwortlichen noch eine saubere Eskalation im Problemfall möglich ist. Dadurch können leicht Fehlerketten entstehen, die über mehrere Prozessschritte hinweg fortbestehen und hohe Folgekosten sowie vielfache Iterationsschleifen nach sich ziehen. Im Fall adäquater Prozesstransparenz könnten Unklarheiten schnell beseitigt, Fehler direkt kommuniziert und Folgefehler vermieden werden.

These 22:
Oftmals sind keine Verantwortlichen und keine Ansprechpartner für inhaltliche Fragen zu Prozess- und Methodenvorgaben bekannt.

These bestätigt:

Ansprechpartner und Verantwortliche für Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) sind unternehmensintern teilweise und unternehmensextern nur selten bekannt. Ansprechpartner zu inhaltlichen Fragen sind dabei noch etwas häufiger bekannt als die Personen, die ursprünglich für die PMR im Sinne einer Anforderung verantwortlich sind, aus deren Prozess die Anforderung also stammt.

Interpretation:

Ohne eine Möglichkeit, die Urheber von Anforderungen kontaktieren zu können, bleiben unklare, fehlerhafte und überholte Anforderungen auf Dauer bestehen. Die Möglichkeit, Anforderungen an veränderte Rahmenbedingungen und technische Möglichkeiten anzupassen, ist kaum gegeben. Dass Ansprechpartner zu inhaltlichen Fragen nicht in ausreichendem Maße bekannt sind, führt dazu, dass Informationen aus zweiter oder dritter Hand beschafft werden müssen. Auch hier entstehen durch mangelhaft etablierte Kommunikationswege bei Unklarheiten schnell Mutmaßungen über Sinn und Zweck der internen Anforderungen sowie über die Frage, welche Methode den Anforderungen gerecht werden kann und welche nicht. Im Zweifel werden nicht konforme Zwischenergebnisse weitergegeben und erst viele Prozessschritte später als fehlerhaft erkannt.

These 23:
OEM und Zulieferunternehmen haben unterschiedliche Sichtweisen auf den Kollaborationsprozess und seine Charakteristika.

These nicht bestätigt:

Befragungsteilnehmer von OEM und Zulieferunternehmen gehören, statistisch gesprochen, derselben Population an. Neben vereinzelten Unterschieden sind die Ergebnisse über die Gesamtstudie hinweg in den beiden Gruppen sehr ähnlich.

Interpretation:

Sowohl OEM als auch Zulieferer sind mit den gleichen oder sehr ähnlichen Problemen und Hindernissen der verteilten Produktentwicklung konfrontiert. Eine Unterscheidung zwischen Unternehmen, die als OEM und als Zulieferer auftreten, ist daher für die Analyse der verteilten Produktentwicklung und der dortigen Schnittstellenprobleme nicht von großer Relevanz. Folglich sollten entwickelte Lösungen zur Verbesserung von Kollaborationsprozessen gleichermaßen für alle Parteien in Entwicklungsnetzwerken einsetzbar und hilfreich sein.

These 24:
Führungskräfte und operative Entwickler haben unterschiedliche Sichtweisen auf den Kollaborationsprozess und seine Charakteristika.

These nicht bestätigt:

Nur geringe Unterschiede zwischen Entwicklern und Managern konnten festgestellt werden. Sie beziehen sich ausschließlich auf spezielle Fälle mit sehr eingeschränkten Problemstellungen.

Interpretation:

Die vereinzelten Unterschiede können ebenso gut beispielsweise von der Seniorität der Befragten herrühren, einer Charakteristik, die in der Studie nicht abgefragt wurde. Eine Notwendigkeit zur differenzierenden Betrachtung zwischen Managern und Entwicklern im Hinblick auf Collaborative-Engineering 🕮-Aktivitäten konnte nicht belegt werden.

These 25:
Die großen Branchen der Produktentwicklung sind hinsichtlich der untersuchten Eigenschaften der Produktentwicklungsprozesse vergleichbar.

These bestätigt:

Für Automobilindustrie, Flugzeugbau und Anlagenbau gelten sehr ähnliche Bedingungen bei Kollaborationsprozessen und -hindernissen. Es gibt wenige branchenspezifische Unterschiede hinsichtlich der Repräsentationsform der Prozess- und Methodenvorgaben, der Anzahl der verwendeten digitalen Modelle und der Wahrnehmung im Hinblick auf die Begründung von Arbeitsanweisungen 🕮.

Interpretation:

Im Anlagenbau sind noch stark konservative Umgebungsbedingungen vorherrschend, was beispielsweise durch den Anteil der Prozess- und Methodenvorgaben belegt ist, die noch in analoger oder quasi-analoger Form von Papierdokumenten beziehungsweise eingescannten Papierdokumenten vorgehalten werden. Der Tenor, dass Entwickler das zu tun haben, was ihnen gesagt wird, unabhängig von den dahinterstehenden Gründen, ist im Flugzeugbau weitaus stärker vertreten als in anderen Branchen. Im Hinblick auf die Erläuterung von Arbeitsanweisungen zeichnet sich im Anlagenbau ein genau gegenläufiges Bild ab. Branchen- und Unternehmenskultur sind hier möglicherweise einschlägigere Ursachen als fachlich zu begründende Unterschiede.

Abseits dieser vereinzelten Unterschiede sind die in der Studie untersuchten Branchen vergleichbar. Es ist daher anzunehmen, dass Werkzeuge und Methoden zur Unterstützung der verteilten Produktentwicklung branchenübergreifend für Automobilindustrie, Flugzeug- und Anlagenbau gleichermaßen einsetzbar sind. Der Schiffbau scheint eine Ausnahme in diesem Interbranchenvergleich darzustellen, da hier vielfach Abweichungen von der Gesamtstichprobe zu verzeichnen waren. Unglücklicherweise erlaubt die geringe Anzahl der Teilnehmer aus dem Schiffbau keine statistisch signifikanten Aussagen. Gleiches gilt zwar auch für alle sonstigen, weniger stark vertretenen Branchen der Studie, jedoch deuten hier die Ergebnisse ohnehin nicht auf Unterschiede zur Gesamtstichprobe hin.

3.3 Zusammenfassung der empirischen Untersuchung

Die branchenübergreifende Relevanz der Probleme in der verteilten Produktentwicklung sowie die unternehmensübergreifende Gültigkeit einiger identifizierten Einflussgrößen konnte im Rahmen einer Online-Studie größtenteils belegt werden. Einzelfeststellungen, Interviews und praktische Erfahrungen bildeten die Grundlage zur Entwicklung entsprechender Untersuchungsthesen und explorativer Fragestellungen. Teilgenommen haben zu etwa gleichen Anteilen Entwickler und Manager aus Entwicklungsunternehmen. Vertreten waren hauptsächlich die Branchen Automobilindustrie, Anlagenbau sowie Luft- und Raumfahrt.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass technische Probleme der verteilten Produktentwicklung nur eine marginale Rolle spielen. Abstimmungs-, Kommunikations- und andere organisatorische Probleme stehen im Vordergrund. Einschränkungen sind in massivem Umfang spürbar. Entgegen der ursprünglichen Annahme gibt es nur wenige Unterschiede zwischen den Sichtweisen der OEM- und der Zulieferbetriebe und auch nur wenige Unterschiede zwischen den Sichtweisen von Entwicklern und Managern. Bedeutende Unterscheidungen in dieser Hinsicht sind bei der Erarbeitung von Lösungsansätzen demnach nicht nötig. Abseits vereinzelten branchenspezifischen Antwortverhaltens sind die

untersuchten Branchen im Hinblick auf den Untersuchungsgegenstand vergleichbar. Es ist daher anzunehmen, dass Ansätze zur Unterstützung der verteilten Produktentwicklung ohne größere Anpassungen branchenübergreifend einsetzbar sind. Der Schiffbau scheint eine Ausnahme zu bilden, da hier oftmals Abweichungen vom Durchschnitt erkennbar waren. Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs in dieser Befragungsgruppe sind weitere Untersuchungen notwendig, um diesen Anschein signifikant zu bestätigen.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden in den folgenden Kapiteln bei der Analyse der Ursachen von Schnittstellenproblemen sowie anschließend zur Erarbeitung von Lösungsansätzen aufgegriffen und entsprechend referenziert. Damit dient die durchgeführte empirische Untersuchung einerseits dem Beleg, dass die beschriebene Problemstellung tatsächliche Praxisrelevanz besitzt, und andererseits der Schaffung belastbarer Angriffspunkte für die Entwicklung von Lösungsansätzen.

4 Analyse der Problemursachen

Komplexe Systeme sind unter anderem dadurch charakterisiert, dass eine Vielzahl von Einflussgrößen wirkt und sowohl zwischen Einflussgrößen und Effekten als auch zwischen den Einflussgrößen untereinander Rückkopplungsmechanismen bestehen. Ein Effekt kann daher nicht auf eine einzelne Ursache zurückgeführt werden [89]. Die betrachteten Schnittstellen-Prozesse in der Produktentwicklung gewinnen Komplexität neben der schon im Prozess selbst steckenden Vielschichtigkeit aus den Faktoren des menschlichen Handelns und der sozialen Interaktion. Über die allgemeine Komplexität hinaus gibt es eine Reihe weiterer Ursachen, die zu fehlerträchtigen Problemen an Schnittstellen-Prozessen der verteilten Produktentwicklung führen. Im Folgenden werden die Hauptursachen für mangelhafte Schnittstellen-Prozesse identifiziert und näher betrachtet.

4.1 Analyse fachlicher Ursachen

Eine Reihe von Problemursachen ist spezifisch für die Tätigkeit des Ingenieurs in der Produktentwicklung als ingenieurwissenschaftlicher Disziplin. Wenn auch teils Parallelitäten zu anderen Industriezweigen und Wirtschaftsbereichen existieren können, so kann grundlegend nicht von einer Übertragbarkeit der analysierten Ursachen ausgegangen werden. Entsprechend sind auch die daraus abgeleiteten Lösungsansätze nur in begrenztem Maße generisch formulierbar und über die Wirtschaftsbereiche hinweg einsetzbar.

4.1.1 Zunehmende Komplexität durch Schnittstellenvervielfachung

Augenscheinlichste Einflussgröße im Hinblick auf die Komplexität von Prozess-Schnittstellen ist die Anzahl der Schnittstellen im Entwicklungsnetzwerk. In einem vollständig ausgeprägten Netz mit N Knoten berechnet sich die Anzahl der Kanten zu:

$$\frac{N(N-1)}{2} \qquad (1)$$

Diese mathematische Beziehung wird auch als „Metcalfe's Law" [90] bezeichnet. Zieht man in Betracht, dass Schnittstellen grundsätzlich bidirektional sind und die Sender-Empfänger-Kommunikation für beide Richtungen getrennt betrachtet werden muss, so verdoppelt sich die Kantenanzahl zu:

$$N(N-1) \qquad (2)$$

Jedes dem Netz hinzukommende Element *N* bringt dadurch weitere *2N* Schnittstellen mit sich. Des Weiteren ist es möglich, dass entlang einer Kante mehrere Schnittstellen für

unterschiedliche Übertragungen wie Informationen, Kommunikationselemente, Objekte oder Zustände vorhanden sind. Die Interaktion einer Vielzahl von Systemen ist in der Produktentwicklung heute an der Tagesordnung und stellt daher ein netzartiges System dar, wenn auch nicht in jedem Fall voll ausgeprägt. Systeme in diesem Sinne sind Objekte, Prozesse, Werkzeuge und Personen. Diese Personen können Mitarbeiter oder Interessengruppen ganz allgemein sein. Eine detaillierte Analyse zu diesen Systemarten erfolgt in Abschnitt 5.2.1 ff. (S. 101 ff.). Mehrere Faktoren sind für die weiterhin steigende Anzahl an Schnittstellen verantwortlich:

Wachsender Projektumfang

Der Umfang durchgeführter Projekte steigt hinsichtlich der Anzahl der daran beteiligten Mitarbeiter, der Laufzeit der Projekte und auch der Größe und Komplexität der zu entwickelnden Produkte stetig weiter an. So sind an der Planung und Konstruktion komplexer Projekte teilweise mehr als 10.000 Ingenieure beteiligt [91].

Outsourcing

Die Reduktion der Fertigungstiefe auf bereits 20 Prozent bei der Herstellung des Kleinwagens smart® (2004) [92] und rund 60 Prozent beim Flugzeugbauer Airbus (2005) wird weiter vorangetrieben [93]. Die Anzahl der Zulieferbetriebe beträgt am Beispiel Airbus betrachtet schon im Jahre 2007 bereits beachtliche 3000 Unternehmen [94]. Neben der Fertigung sind hiervon vermehrt auch Produktentwicklung, Infrastruktur und allgemeine Verwaltungsbereiche betroffen, womit statt von reduzierter Fertigungstiefe besser von Wertschöpfungstiefe oder vertikaler Integration zu sprechen ist. Der Verlust direkter Weisungsbefugnis schafft dabei noch zusätzlich zur bloßen Anzahl der beteiligten Personen vermehrt Kooperationsschnittstellen.

Vermehrte Kooperation mit global verteilten Partnern

Die weiter im Fallen begriffene Wertschöpfungstiefe betrifft zu großen Teilen auch die Produktentwicklung, bei der im Vergleich zur Fertigung ein noch höheres Maß an Kooperation notwendig ist. Die bereits genannten Zulieferbetriebe des Flugzeugbauers Airbus sind dabei auf rund 30 Länder weltweit verteilt. Neben Hindernissen, die rein auf die Entfernung der Standorte zurückzuführen sind, spielen kulturelle Unterschiede und Zeitzonen-Konflikte eine große Rolle.

Interdisziplinäre Produktentwicklung

Die Interdisziplinarität 🕮 in der Produktentwicklung trägt derzeit ebenfalls zur Schnittstellenvervielfachung bei. Durch die Integration von Bauteilen aus den Disziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik, Informationstechnik sowie weiteren

Spezialgebieten wie beispielsweise Optik, Nanotechnik und Bionik ist eine enge Zusammenarbeit der entsprechenden Fachexperten erforderlich. Dies bringt sowohl ingenieurtechnische als auch menschliche Kooperationshindernisse mit sich. Hinzu kommt der beginnende Trend zur Entwicklung hybrider Leistungsbündel [95, 96], der mit der Service-Entwicklung und -Erbringung weitere Domänen ins Spiel bringt. Die Integration der noch weitgehend getrennten Ausbildungsinhalte dieser Disziplinen bietet grundsätzlich das Potenzial, die Hindernisse der Zusammenarbeit sowohl auf ingenieurtechnischer und in reduziertem Maße auf menschlicher Ebene zu reduzieren.

Parallelisierung der Entwicklungsprozesse

Allen bisher genannten Punkten gemeinsam ist eine zunehmende Parallelisierung von Entwicklungstätigkeiten. Diese erfordert ein zunehmendes Maß an Abstimmung, da Prozesse nicht lediglich von Vorgänger-Prozessen abhängig sind, sondern vielseitige gegenseitige Abhängigkeiten auch zwischen nicht direkt verbundenen Prozessen in alle Richtungen bestehen. Erst der Übergang vom Simultaneous Engineering zum Concurrent Engineering lässt eine Komplexitätsreduktion mittels Reduktion der Schnittstellenanzahl erwarten. Hierbei ist der Begriff Concurrent Engineering als erweiterter Handlungsrahmen gegenüber Simultaneous Engineering zu verstehen, nämlich der kooperativen Arbeit mehrerer Personen am gleichen Arbeitsobjekt [97].

Frontloading

Eng verbunden mit der Parallelverarbeitung ist das „Frontloading“ [98] oder „Collaborative Virtual Engineering“ [99]. Es bezeichnet eine Vorgehensweise, die darauf abzielt, Entwicklungsentscheidungen und -tätigkeiten möglichst in die frühe Phase der Entwicklung zu verlagern, sie dort zu parallelisieren und dabei möglichst viele Aufgaben *first time right* durchzuführen. Frühe Modellintegrität und verbesserte Prozesseffizienz sollen dadurch erreicht werden. In Abbildung 22 ist das Frontloading mit Erhöhung der Parallelverarbeitung nach DANKWORT ET AL. grafisch dargestellt. Dabei wird ein identisches Integral unter der blauen und unter der roten Kurve angenommen, was bedeuten würde, dass die gleiche Anzahl an Ressourcen für die konventionelle sequenzielle Entwicklung wie auch für die kollaborative virtuelle Entwicklung benötigt würde. Das Ziel ist jedoch oftmals nicht nur, den Ressourcenaufwand konstant zu halten, sondern ihn durch Frontloading sogar zu reduzieren. Bei näherer Betrachtung der im Ergebnis entstehenden Prozesslandschaft wird jedoch deutlich, dass die Parallelisierung von Prozessen mit zusätzlichen Aufwänden verbunden sein muss, da eine Vervielfachung der Schnittstellen-Prozesse damit einhergeht. STARK & STÖCKERT führen die Ursachen näher aus [24].

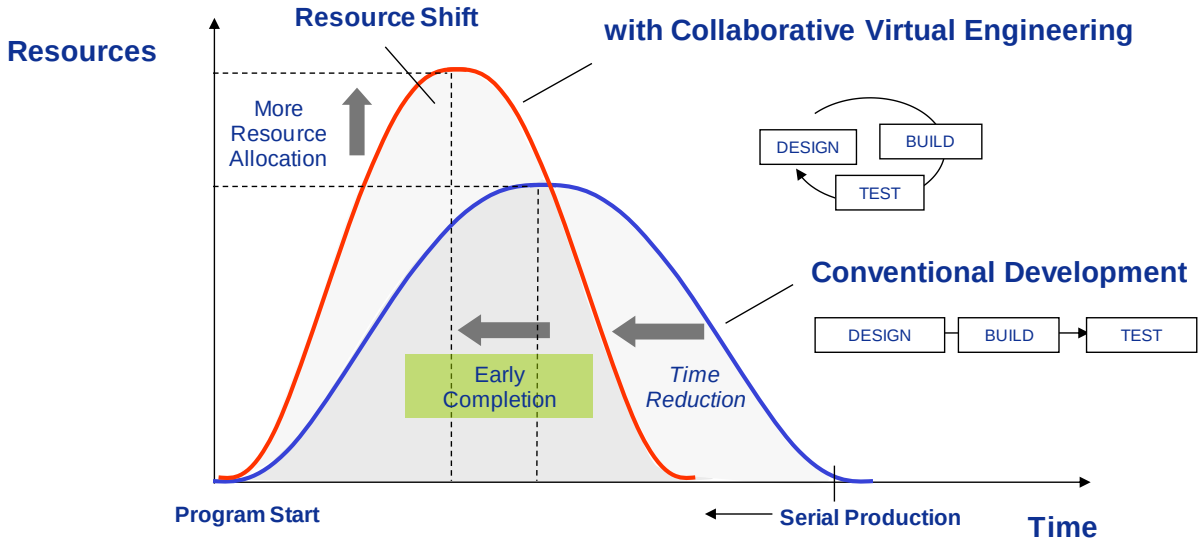


Abbildung 23: Verkürzung der Produktentwicklungs- und -einführungszeit mittels Frontloading [99]

Individualisierte Massenfertigung (Mass Customization)

Skaleneffekte (economies of scale) und Verbundeffekte (economies of scope) der Massenproduktion in Verbindung mit dem steigenden Trend zur Individualisierung von Produkten (Customization oder Customizing) sind die Anreize zur Umsetzung individualisierter Massenfertigung. Basierend auf teils modularen Produktelementen werden dabei an den individuellen Kundenwunsch angepasste Produkte entwickelt [100], die jedoch möglichst massenfertigungstauglich bleiben. Oftmals dient ein standardisiertes Grundgerüst dem Customizing mittels individueller Zusatzkomponenten. Die Ausstattung von Passagierflugzeugen mithilfe unzähliger Kabinenvarianten durch die Zuarbeit von Zulieferbetrieben ist ein gutes Beispiel. Für die in den Jahren 2006 bis 2008 spektakulär in der Presse zitierten Entwicklungs- und damit Lieferverzögerungen von Airbus-A380-Passagierflugzeugen [101, 102] war die Überhandnahme der Komplexität und die mangelnde Konsistenz der Schnittstellen maßgeblich verantwortlich. Ebenso verhält es sich bei den aktuell zu verzeichnenden Entwicklungsverzögerungen der Boeing 787 [78]. Besonders in Form individueller Absprachen vor der Entwicklung der Produkte „Collaborative Customization“ [103] trägt Mass Customization stark zur Schnittstellenvervielfachung und Komplexitätssteigerung bei. Die Anzahl der möglichen Lösungsalternativen übersteigt dabei teils die tatsächlich gefertigten Stückzahlen. Es gibt also mehr theoretische Varianten eines Produkts, als es tatsächlich gefertigte Produkte gibt.

Produktgetriebene Lösungsansätze

Technische Lösungen für organisatorische Probleme sind beliebt bei Ingenieuren, die doch tagtäglich technische Lösungen erarbeiten. Das Denken in Prozessen ist dadurch weit weniger verbreitet als das Denken in Produkten. Zahlreiche Interviews mit Industrievertretern bestätigen dies. Hinzu kommt, dass eine Anreizproblematik (vgl. Abschnitt 4.4.2, S. 81) besteht. Die Einführung eines neuen Produktes ist für den Entscheidungsträger einfacher als die Einführung eines neuen Prozesses. Im Falle des neu eingeführten Prozesses trägt er selbst die Verantwortung für das Gelingen, während gescheiterte Produkteinführungen anderen Verantwortlichen wie etwa Systemlieferanten oder anderen Abteilungen angelastet werden können. Die Argumentation, dass das Vorgehen korrekt, die angebotene Lösung (Produkt) jedoch fehlerhaft ist, ist einfach. Die Auslagerung von Entscheidungen zur Einführung neuer Prozesse durch externe Beratungsdienstleistungen folgt gleichen Überlegungen.

4.1.2 Ursachen in der jüngeren Entwicklung des Ingenieurberufs

Etymologisch stammt der Ingenieur vom Festungsbaumeister (ingeniaruis, lat.: Zeugmeister, Festungsbaumeister) ab. Die Geschichte der Entwicklung technischer Produkte im weitesten Sinne reicht jedoch bereits mehrere Tausend Jahre zurück [104]. Dabei kann die Produktentwicklung als vorwiegender Tätigkeitsbereich des Ingenieurs verstanden werden. Die jüngere Vergangenheit der Ingenieurgeschichte in Deutschland verrät einige Ursachen für die heute vorherrschende Situation in der Produktentwicklung. Nähere Betrachtungen zur Produktentwicklung in anderen Ländern sollen nicht durchgeführt werden. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts steht der Praxiskultur der Ingenieursausbildung im angloamerikanischen Raum die Schulkultur der Ingenieursausbildung in Deutschland und Frankreich gegenüber [105]. Eine heterogene Berufsgruppe der Ingenieure auf unterschiedlichen technischen und praktischen Niveaus bildet sich heraus. Die technischen Schulen entwickelten sich dabei im Laufe des 19. Jahrhunderts parallel zu den Universitäten und verdichten den Berufsstand ab Beginn des 20. Jahrhunderts zweigliedrig zu Absolventen technischer Mittelschulen einerseits und Hochschulabsolventen andererseits. 1970 wird in Deutschland die Zugehörigkeit zur Berufsgruppe der Ingenieure an gesetzliche Rahmenbedingungen hinsichtlich zu absolvierender Bildungswege geknüpft. Bezogen auf den Gesamtbevölkerungsanteil sind Ingenieure im 19. und 20. Jahrhundert in Deutschland im internationalen Vergleich überrepräsentiert [106], was auf die Möglichkeit zum sozialen Aufstieg durch Bildungsabschlüsse in diesen Bereichen und die daraus resultierende angebotsorientierte und damit relativ nachfrageunabhängige Ausbildungslandschaft zurückgeführt werden kann. Auch die vielzähligen Landeshochschulen im zersplitterten Deutschland am Ende des 19. Jahrhunderts trugen vermutlich dazu bei. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts festigt

sich die starke Konstruktionsorientierung der Ingenieurwissenschaft mit hohem Grad an Selbstständigkeit der Ingenieure in Deutschland gegenüber der angloamerikanischen Produktionsorientierung mit starken Tendenzen zu hohen Stückzahlen, Rationalisierungsmaßnahmen und arbeitsteiliger Produktentwicklung [107]. Die daraus entstehende hohe Spezialqualifizierung erklärt auch die um 1900 einsetzende und bis heute, wenn auch in abgeschwächtem Maße, andauernde fachliche Ferne beispielsweise der Konstruktion von der Fertigung sowie der einzelnen Fachbereiche 🕮 untereinander. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelt sich besonders der Aspekt der Detailkonstruktion über erste Normierungen von Bauteilen im Jahre 1918 [108] hin zur einsetzenden Konstruktionsforschung und der Entwicklung generischer Konstruktionsmethoden.

In den 1950er und 1960er Jahren beginnt der Rechnereinsatz für Auslegungsrechnungen und später auch erste Konstruktionszeichnungen in der industriellen Produktentwicklung [109]. Den 2D-CAD-Systemen folgen unterschiedlichste Spezialanwendungen in Form eigenständiger, in Einzelfällen schwach integrierten Software-Applikationen. KÖNIG ET AL. stellen fest, dass dabei die sehr fertigungsorientierte universitäre Forschung auf diesem Bereich interdisziplinäre Ansätze und die Anwendung von Forschungsergebnissen in „zeitgemäßen Techniklösungen“ verhindert [105]. Der Fokus der Konstruktion liegt dabei weiterhin auf Dimensionierungs- und Optimierungsprozessen, die in der Regel von einzelnen Ingenieuren durchgeführt werden. In der Hochschulbildung wird seither auf die Ausbildung von Ingenieuren gesetzt, die das Konstruieren auf der grünen Wiese erlernen. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Funktionalität der zu entwickelnden Produkte, nicht auf Nebenbedingungen oder kooperativen Entwicklungsprozessen. Der ausgebildete Maschinenkonstrukteur, der in der Lage ist, von der ersten Idee bis zum funktionsfähigen Prototyp alle anfallenden Aufgaben selbstständig erledigen zu können, findet sich in der Praxis nur äußerst selten in der Situation, seine Fähigkeiten anwenden zu können. Aufgabenstellungen der Praxis behandeln viel öfter die Konstruktion von Kleinst-Bestandteilen eines hochkomplexen Gefüges von Ergebnissen mehrerer Fachgebiete inmitten eines vielschichtigen und umfangreichen Entwicklungsprozesses. Die Tätigkeit an den Schnittstellen zu Prozess-Vorgängern und Prozess-Nachfolgern sowie die vielfachen dynamisch veränderlichen Rahmenbedingungen werden kaum gelehrt. Fachhochschul- und Universitätsprofessoren bestätigen diesen Mangel. Am Übergang von der klassischen und konservativen Ingenieurstätigkeit zur kreativen und kooperativen Entwicklung in der Welt der virtuellen Produktentstehung steht der Ingenieur vor einer Zeitenwende, die ihm große Kraftanstrengungen abverlangt.

4.2 Analyse informationstechnischer Ursachen

Die technische Entwicklung der Unterstützung des Produktentwicklungsprozesses ist wie in kaum einem anderen Bereich Pulsgeber des Fortschritts. Damit gehen nicht nur unterstützende Funktionen, sondern auch eine Reihe von Unwägbarkeiten einher. Den Begrifflichkeiten von MÜLLER folgend wird dem „Sachproblem der Konstruktion“ ein „Interaktionsproblem“ aufgrund der Handhabung der Konstruktionstechnologien hinzugefügt, das neben der gewünschten Entlastung des Entwicklungsingenieurs eine zusätzliche Belastung desselben darstellt [110]. CARD nennt in diesem Zusammenhang das an YOUNG angelehnte dritte Gesetz interaktiver Anwendungssysteme: „Every interactive application system has to contain knowledge about two domains, (1) the subject area of the application system, and (2) how to interact with the user” [111]. Neben dieser sehr allgemeinen technischen Problematik sollen im Folgenden noch weitere beschrieben werden, die vorwiegend in der fortlaufenden Weiterentwicklung der technischen Systeme in der Produktentwicklung begründet sind.

4.2.1 Wachsende Vielfalt der verwendeten IT-Systeme

Stetig wachsende Anforderungen an den Entwickler aufgrund steigender Produkt-, Dokumentations-, Kollaborations- und Entwicklungsprozessanforderungen erfordern die Unterstützung durch informationstechnische Systeme, um Produkt- und Prozesskomplexität erfolgreich bewältigen zu können [112]. Die Vielfalt der in der Produktentwicklung eingesetzten IT-Systeme nimmt dabei in zweierlei Hinsicht zu. Einerseits arbeiten mehr und mehr unterschiedliche Geschäftsfelder auf Basis verschiedener IT-Systeme zusammen. So etwa gibt es zunehmend die Bestrebungen, Manufacturing Process Management (MPM) mit Enterprise Resource Planning (ERP) [113], Produktdatenmanagement (PDM) mit ERP [114] und weitere unterschiedliche Systeme zum Zweck eines vollständig integrierten Product Lifecycle Management (PLM) miteinander zu verknüpfen. Ziel ist dabei eine verbesserte Daten- und Informationsverteilung zwischen Entwicklungsunternehmen, Partnern, Kunden und Zulieferern über den Weg der vollständigen Integration [115, 116]. Ferner wird ein Brückenschlag zwischen „operativen Engineering-Aufgaben“ und den zugehörigen Werkzeugen wie CAD, CAE und CAM umgesetzt [117]. Andererseits muss der einzelne Mitarbeiter mit einer immer größeren Vielfalt an Anwendungsprogrammen umgehen. Beispielsweise lautet die Aussage eines Automobilzulieferers, dass Produktentwickler dort bis zu 15 verschiedene Systeme beherrschen müssen [31]. Selbiger Quelle ist zu entnehmen, dass unter Annahme eines dreijährigen Zyklus von Systemwechseln pro Jahr der Umgang mit fünf neuen Systemversionen zu erlernen ist. Veränderungen durch regelmäßig durchgeführte Updates mit kleineren Änderungen, Fehlerkorrekturen und der Bereitstellung von zusätzlichen Funktionalitäten, wie sie in der Regel mehrmals jährlich durchgeführt werden, sind hier noch

nicht mitbetrachtet. In Industrien mit langen Produktentwicklungszyklen wie beispielsweise der Luftfahrt- und Luftfahrtzulieferindustrie kommt dazu noch die Problematik von Altsystemen (Legacy-Systemen). Dabei handelt es sich um bereits technisch veraltete aber weiterhin produktiv eingesetzte Systeme, die eine Herausforderung für den Anwender und eine noch größere Herausforderung für die Entwicklung und Wartung der technischen Schnittstellen bedeutet.

Vielfach wird bei methodischen Fehlern, schlecht umgesetzten Prozessen und mangelnder Vorgaben-Erfüllung zu technischen Lösungen gegriffen, die als Wunderheilmittel wirken sollen. Das in der Industrie verbreitete Denken in Produkten statt in Prozessen trägt unter anderem hierzu bei. Zwar können mit technischen Lösungen durchaus störende Symptome und deren negative Auswirkungen unterbunden werden, jedoch wird die steigende Komplexität des Gesamtsystems mit den damit verbundenen Kosten meist außer Betracht gelassen. Diese Kosten entstehen daraus, dass jede technische Lösung unterstützt, gewartet und den jeweiligen Software-Updates der gesamten Infrastruktur angepasst werden muss. Jede darauf folgende Installation muss im Zweifel eine weitere Anforderung des bereits bestehenden Systems erfüllen, womit die Anzahl der gegenseitigen Abhängigkeiten stark zunimmt. Der Formel aus Abschnitt 4.1.1 (S. 61) folgend ergibt sich ein exponentieller Anstieg der Schnittstellenanzahl. Die Anzahl der Einzelapplikationen in der Produktentwicklung großer Unternehmen geht oft in den dreistelligen Bereich. Augenscheinlich sind es weitaus weniger, jedoch sind darüber hinaus unzählige Applikationen im Hintergrund nötig, die beispielsweise Aufgaben der Konvertierung, des Datenaustausches, der teilautomatisierten Überprüfung und Korrektur sowie allgemein unterstützende Dienste ausführen. Zusätzlich sind applikationsspezifische Makros 🕮 in ähnlicher Anzahl anzunehmen.

Angesichts der Tatsache, dass kaum ein System nur für den vorübergehenden Einsatz im Unternehmen etabliert wird, ist jede Eigenentwicklung ein potenzielles Altsystem mit allen einhergehenden Risiken. Wenn auch die Verwendung von kommerzieller Standardsoftware (commercials off-the-shelf, COTS) in vielen Betrieben stärker in den Vordergrund tritt, so ist eine völlige Abkehr von softwaretechnischen Eigenentwicklungen in der Produktentwicklung weiterhin nicht erkennbar. Dies ist zurückzuführen auf eine Abwägung von Vor- und Nachteilen beim Einsatz von COTS-Software im Vergleich zu Individualentwicklungen. Gerade bei hochindividuellen Anforderungen sowie der Notwendigkeit zur Integration mit Altsystemen und bestehenden Unternehmensprozessen stellt eine COTS-Strategie die Unternehmen vor große Herausforderungen inhaltlicher und finanzieller Art. Die Teilung der Entwicklungskosten mit einer Vielzahl von Nutzern, schneller einsetzbare Software und die Vermeidung des Entwicklungsrisikos sind Vorteile, denen schlechte Integrationsfähigkeit mit anderen

Systemen, mangelhafte Erfüllung individueller Anforderungen [118] und geringere Marktmacht gegenüber dem Hersteller gegenüberstehen.

Als zusätzliche Erschwernis kommt hinzu, dass Software zwar für bestimmte Zwecke eigens entwickelt wird, aber durch zunehmende Tendenzen zur Auslagerung von Software-Entwicklung in externe Unternehmen daraus keine Eigenentwicklung im eigentlichen Sinne entsteht. Damit werden zwei Nachteile miteinander verbunden: die nicht auf mittlere bis lange Sicht gewährleisteten Wartungs- und Erweiterungsleistungen, wie sie bei COTS-Lösungen angenommen werden können, und die fehlenden Möglichkeiten zu eigener Wartung und Weiterentwicklung durch mangelnde Verfügbarkeit von Quellcode oder entsprechenden Kompetenzen.

4.2.2 Mangelnde System-Kompatibilität

Zwischen den in der Industrie eingesetzten Entwicklungswerkzeugen herrschen generell Inkompatibilitäten, die auf verschiedenen Ursachen beruhen. Dazu können gezählt werden:

- Unterschiedliche Entwicklungsperioden (Neusysteme und Altsysteme)
- Unterschiedliche Programmierungsparadigmen (funktional, modular, objektorientiert)
- Unterschiedliche Software-Hersteller
- Unterschiedliche Betriebssysteme
- Nicht offen gelegte Datenmodelle und Schnittstellen
- Nicht standardisierte Eigenentwicklungen
- Konzeptionell nicht kompatible Systemarchitekturen

Eine Vielzahl bei der Produktentwicklung eingesetzter Software-Werkzeuge stammt von unterschiedlichen Herstellern, die sehr darauf bedacht sind, die Software-Schnittstellen und Datenmodelle nicht offen zu legen. Diese Nicht-Offenlegung gewährleistet, dass der Nutzer für direkt interagierende Software nicht zu anderen Herstellern wechseln kann, da diese mangels Kenntnisse der relevanten Schnittstellen keine zuverlässig kooperierenden Systemarchitekturen zur Verfügung stellen können. Einmal im Unternehmen implementierte und in das Netz der Anwendungen eingebettete Programme können kaum durch Systeme anderer Hersteller ersetzt werden. Das Software-Unternehmen hat damit eine Quasi-Monopolstellung im Bezug auf das besagte System. Der Austausch komplex eingebundener Software-Systeme wie beispielsweise eines CAD-Systems ist mit enormen Kosten, Ausfallzeiten, Konvertierungsaufwänden und unabsehbaren Komplikationen verbunden und wird von Unternehmen daher möglichst vermieden.

Software-Anwendungen sind relativ gut in der Lage, auf Basis bestehender Daten zu arbeiten, wenn diese beispielsweise aus Anwendungen desselben Systemherstellers stammen.

Anwendungen, die proprietäre Daten aus unverbundenen Systemen oder in Standardformate konvertierte Daten beziehen, können in ihrer Funktionsfähigkeit stark eingeschränkt sein. Zur Sicherstellung der Verarbeitbarkeit eingehender Daten in den Konverter oder in die genannte Anwendung sind in der Regel strenge Restriktionen notwendig. Diese schränken wiederum die Funktionalitäten und den Nutzer des Daten liefernden Systems ein. Mit der Aufrechterhaltung der Konformität der in der Prozesskette verarbeiteten Daten ist also eine Reihe von Einschränkungen verbunden. Diese Einschränkungen sind meist in der Form von Prozess- und Methodenvorgaben verankert und bestimmen den Handlungsspielraum der Entwickler in entscheidendem Maße (vgl. Abschnitt 4.3.2 ff., S. 71 ff.).

4.3 Analyse organisatorischer Ursachen

Viele Ursachen von Schnittstellenproblemen sind nicht grundsätzlich beschränkt auf das Arbeitsfeld der Produktentwicklung und haben ihren Ursprung auch nicht in den Spezifika der Produktentwicklung. Sie sind bis zu einem gewissen Grade in den meisten Organisationen ähnlich und entstehen in organisatorischen Strukturen allgemein. Derartige Problemursachen werden im Folgenden untersucht, wobei weiterhin das Arbeitsumfeld der Produktentwicklung im Schwerpunkt der Betrachtung bleibt.

4.3.1 Kommunikationsprobleme

Mangelnde Interoperabilitäten kennzeichnen nicht ausschließlich technische Systeme. Personen, Abteilungen und Unternehmen sind Systeme, die beispielsweise im Hinblick auf die Kommunikation zueinander oftmals ebenfalls nur eingeschränkt kompatibel sind. Einflussgrößen sind dabei Herkunft, Ausbildung, persönliche und Berufserfahrungen und die Sozialisation der Gruppe oder des Einzelnen. Verstärkt manifest werden diese durch daraus resultierenden unterschiedlichen Sprachgebrauch. Zwar wird als Paradebeispiel oftmals die Kommunikation zwischen der Marketing- und der Produktionsabteilung verwendet [119], aber selbst zwischen verschiedenen technischen Bereichen wie Elektrik- und Karosserieentwicklung sind Missverständnisse aufgrund unterschiedlichen Sprachgebrauchs an der Tagesordnung. DONG [120, 121] und KLEINSMANN [122] haben detaillierte Untersuchungen zur Auswirkung unterschiedlichen Sprachgebrauchs in der Produktentwicklung durchgeführt. Als Beispiel sei das sehr fachspezifische, unterschiedliche Verständnis von Begriffen wie Konzept, frühe Phase oder Prototyp genannt. Die Mehrdeutigkeit der Begriffe (Polysemie) ist in diesem Fall die Ursache der resultierenden Sprachbarriere. Dass dies eine große Problematik in der Produktentwicklung darstellt, konnte auch in diesem Rahmen nochmals empirisch belegt werden. Kommunikationsprobleme rangieren in der durchgeführten Studie an zweiter Stelle der genannten Problemstellungen direkt hinter mangelhaften Abstimmungsprozessen (vgl. Abschnitt 3.2, S. 38, Abbildung 15).

Die bereits im Alten Testament genannte Babylonische Sprachverwirrung beim Turmbau zu Babel [123] ist hier also harte Realität und spiegelt in erstaunlicher Parallelität die heutigen Problemstellungen der fachlich hoch spezialisierten, schlecht verknüpfbaren Entwicklungskompetenzen wider. VON HOMBURG ET AL. [124] bezeichnen diese Verbindungspunkte zwischen Abteilungen als „Bruchstellen“ im Unternehmen in Anlehnung an den Begriff Schnittstellen, wobei hier neben den sprachlichen und fachlichen Barrieren vor allem auch auf Interessenkonflikte zwischen den Abteilungen abgezielt wird. Diese Interessenkonflikte sind wiederum ein Fall von externen Effekten innerhalb des Unternehmens, bei welchen Inkompatibilitäten zwischen den Zielen einzelner Personen herrschen. Dass die Personen zusätzlich in verschiedenen Abteilungen tätig sind, ist in diesem Fall eine Nebenerscheinung, die bereits in Abschnitt 2.5.3 (S. 32) erörtert wurde.

4.3.2 Mangelhafte Prozess- und Methodenvorgaben

Prozess- und Methodenvorgaben (process and methods requirements, PMR) sind Anforderungen, die dem Produktentwicklungsprozess selbst entstammen und vorwiegend an einzelne Prozessschritte gerichtet sind. Sie sind explizit keine Kundenanforderungen, sondern haben ihren Ursprung in Nachfolge-Prozessen oder strategischen Überlegungen. Einfache Beispiele sind Benennungsregeln für Bauteile und Baugruppen (naming and numbering), Verwendungsregeln für die Layer-Belegung im CAD-System, Beschreibungen von Produktentwicklungsmethoden und Richtlinien für konsistente Arbeitsergebnisdokumentation. PMR betreffen darüber hinaus auch Datenformate, Zertifizierungen, zu verwendende Werkzeuge, Formatierungsregeln und viele weitere interne Anforderungen.

In Unternehmen werden diese Anforderungen begrifflich meist nicht von den Dokumenten getrennt, in denen sie enthalten sind. Unter anderem werden sie bezeichnet als „Product Development Process, PDP“ (Mahle GmbH, Automobilzulieferer), „Airbus Prozesse und Methoden, AP & AM“ (Airbus, Flugzeugbauer) oder sind benannt mit nicht sprechenden Bezeichnungen wie „LAT#“ (Liebherr Aero Technik, Luftfahrt-Zulieferer). Bei Zulieferbetrieben laufen die entsprechenden Vorgaben der OEM meist unter dem Namen des OEM in Verbindung mit dem Ausdruck „Norm“, „Prozess“, „Standard“ oder „Regelwerk“, also beispielsweise „VW-Norm“ oder „Siemens-Prozess“. Teilweise werden sie auch einfach als Arbeitsmethoden bezeichnet. Diese Dokumente sind meist sehr umfangreich und zielen darauf ab, im Produktentwicklungsprozess ein Mindestmaß an Interoperabilität zwischen Prozessen und Produkten sicherzustellen, innerbetriebliche Standards zu schaffen und den Entwickler durch die Vielzahl von Entwicklungsmethoden zu leiten. Sie beinhalten daher hauptsächlich prozedurale und teils deklarative Informationen. Folgende Themenbereiche können beispielsweise in PMR-Dokumenten geregelt sein:

- Konfigurationsmanagement
- Aufbau der Produktstruktur
- Variantenmanagement
- Versionierung
- Benennungsregeln
- Freigabeprozesse
- Unterschiedliche Vorgehensweisen in einzelnen Entwicklungsphasen
- Gültigkeitsregeln im Produktdatenmanagement
- Veränderungsprozesse
- Reifegradstatus
- Modellierungseinschränkungen für korrekte DMU-Visualisierungen
- Modellierungseinschränkungen für FEM-Berechnungen
- Handhabung spezieller Bauteile im Produktdatenmanagement
- Handhabung von Spiegelsymmetrien
- Ableitung von Bauzeichnungen
- Verwendung und Einschränkung von Funktionalitäten in Software-Applikationen
- Beschreibungen werkzeugunabhängiger Entwicklungsmethoden wie der Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA), der Fehlerbaumanalyse (FTA) oder des Design Review Based on Failure Mode (DRBFM)

Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) sind sowohl Teil des Problems als auch möglicher Ansatz zur Bewältigung desselben. Würden für alle Prozess-Schnittstellen PMR entsprechend PLOWMANs „Seven Rights“ der Logistik, also die richtige Vorgabe, in der richtigen Menge, in der richtigen Qualität, für den richtigen Kunden, am richtigen Ort, zur richtigen Zeit und zu den richtigen Kosten [125] verfügbar sein, so wäre der Zustand als ideal zu bezeichnen. Die Praxis zeigt jedoch, dass hauptsächlich vier dieser sieben Punkte nur mangelhaft erfüllt werden:

Richtige Vorgabe und Menge

Mit Zunahme der Anzahl der Vorgaben ist der Entwicklungsingenieur nicht mehr in der Lage, die richtigen, also relevanten, und vor allem die vollständige Anzahl aller relevanten Vorgaben zu erkennen, um anweisungsgemäß handeln zu können, sofern diese Methoden denn überhaupt existieren.

Richtige Qualität

Qualitätsmängel sind hauptsächlich der unangemessene Umfang, die mangelhafte computerisierte Durchsuchbarkeit eingescannter Textdokumente nach Schlagworten,

die fragliche Korrektheit und Aktualität der auffindbaren Vorgaben sowie die fehlende Verständlichkeit und Eindeutigkeit der Inhalte.

Richtige Kosten

Der Preis, den der Entwicklungsingenieur für die Verwendung der Vorgabe zu bezahlen hat, ist der Aufwand, den er zu betreiben hat, bevor er beginnen kann, danach zu arbeiten. Darunter fallen hauptsächlich die Zeit, die mit der Suche nach relevanten Informationen verbracht wird, und die Mühe, die es ihm bereitet, seinen Kenntnisstand der Methode entsprechend anzupassen.

Von untergeordneter Problematik sind die richtige Zeit und der richtige Ort, da durch die in der Regel vorhandene Anbindung des Entwicklungsingenieurs an das Datennetzwerk des Unternehmens zu jeder Zeit am jeweiligen Arbeitsplatz auf die bereits weitgehend digitalisierten Dokumente zugegriffen werden kann. Lediglich in relativ kleinen, alteingesessenen Unternehmen hat eine Digitalisierung der Dokumente noch nicht stattgefunden, sodass dort tatsächlich das Problem der Verfügbarkeit zur richtigen Zeit am richtigen Ort bestehen kann.

Besonders die vorherrschende Unklarheit bezüglich des Status der PMR hinsichtlich Aktualität, Vollständigkeit, Korrektheit und Anwendbarkeit führen zur Verunsicherung des Entwicklungsingenieurs, der teils mit Absicherungstechniken begegnet wird. Das Ziel der anforderungsgerechten Konstruktion wird abgelöst durch das Ziel der Absicherung gegenüber der Verantwortlichkeit bezüglich möglicher Fehler. Entgegen der erklärten Stoßrichtung, mittels in Arbeitsanweisungen formulierten Arbeitsmethoden den Ingenieur von Einzelentscheidungen zu entlasten, werden Arbeitsmethoden durch mangelnde Überschaubarkeit eher als Bedrohung denn als Hilfestellung aufgefasst. Die erwünschte Qualitätsverbesserung bleibt damit in der Regel aus oder stellt sich nur in reduziertem Maße ein.

4.3.3 Fehlende Prozess- und Methodenvorgaben

Oftmals fehlen Prozess- und Methodenvorgaben (PMR), die eine ausreichende Beschreibung der erwarteten Vorgehensweise dokumentieren und auch als Handlungsunterstützung verwendet werden können. Das Fehlen von PMR, die den Ingenieur über die formalen Kriterien der Produktentwicklung aufklären, führt beinahe zwangsläufig zum Verstoß gegen ebendiese Kriterien. In kleinen Unternehmen und kleinen Abteilungen mag noch die Möglichkeit bestehen, dass sich derartige Regeln von Entwickler zu Entwickler auf mündlichem Wege verbreiten. In größeren, möglicherweise regional verteilten oder gar internationalen Unternehmensstrukturen ist nicht zu erwarten, dass Prozess- und Methodenvorgaben abseits eines strukturierten Prozesses die jeweils richtigen Adressaten finden.

Eine sachgerechte Arbeitsweise an Schnittstellen ohne das Vorhandensein entsprechender PMR ist also nicht zu erwarten. Fachkräfte der Produktentwicklung sind nicht in der Lage und können dies auch nicht sein, ein umfassendes Verständnis für alle Prozesse zu haben, die Schnittstellen mit ihrer Arbeitstätigkeit teilen. Das Wissen um die von Folgeprozessen gestellten Randbedingungen an übergebene Zwischenergebnisse wie digitale Dokumente und Modelle kann demnach nicht gefordert werden.

Selbst wenn stets darauf geachtet wird, dass zu jedem Prozess und allen dort eingesetzten Software-Anwendungen immer die relevanten PMR vorhanden und an die betreffenden Mitarbeiter verteilt sind, so wird die Methodenentwicklung immer mit gewisser Zeitverzögerung nach der Veränderung von Prozessen geschehen. Prozesse ändern sich nicht ausschließlich durch gezielte Maßnahmen, sondern auch spontan aufgrund der Erkenntnis eines einfacheren Lösungsweges, aufgrund der Nutzung neuer bisher unbekannter Funktionalitäten von Software-Anwendungen, durch nicht autorisierte Entwicklung eigener Hilfswerkzeuge und durch weitere, nicht planbare Ereignisse. Ein alltägliches Praxisbeispiel sind verteilte Vorgaben zur Umgehung eines erkannten Prozess- oder Produktfehlers (Workaround), die aus unterschiedlichsten Gründen und ohne Vorwarnung notwendig werden können.

4.3.4 Unbekanntheit von Prozess- und Methodenvorgaben

Informationsüberschuss ist Informationsmangel.

Sind effektive Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) für die betrachteten Prozesse vorhanden, so ist noch nicht sichergestellt, dass jede Person zu jeder Zeit die notwendigen Regeln kennt und sich Zugang zu ihnen verschaffen kann. Mit der Zahl unterschiedlicher Prozesse in einem Unternehmensbereich wächst auch die Gefahr der Unübersichtlichkeit vorhandener Regelwerke. Bei einer überschaubaren Anzahl an Regeln mag es noch möglich sein, sich kontextunabhängig einen groben Überblick zu verschaffen, welche Vorgehensweisen in der Produktentwicklung geregelt sind und welche Vorgehensweisen keinen Regeln unterliegen. Ab einem gewissen Komplexitätsgrad, oftmals getrieben von der Anzahl der Vorgaben, besteht nur noch die Möglichkeit, sich kontextspezifisch bezüglich eines konkreten geplanten Vorgehens über vorhandene Vorgaben zu informieren. Mit weiterer Zunahme der Prozessvielfalt ist auch diese Möglichkeit nicht mehr gegeben und es tritt die Situation ein, dass nicht bekannt und auch nicht intuitiv denkbar ist, dass für eine bestimmte Handlung eine Regel existieren könnte, sodass auch nicht danach recherchiert werden kann. Die zu ziehende Erkenntnis lautet schlicht: Informationsüberschuss ist Informationsmangel.

Ebenfalls zu Problemen aufgrund unbekannter PMR kann es kommen, wenn zwar angenommen werden kann, dass eine Regel notwendig und vorhanden sein müsste, diese aber für den Ingenieur nach bestem Wissen und Gewissen nicht auffindbar ist. Es muss

folglich angenommen werden, dass es sie nicht gibt. Dieser Fall kann eintreten, wenn noch nicht digitalisierte, historische Regelungen ausschließlich in Papierform erhältlich sind, oder aber, wenn Vorgaben bereits digitalisiert jedoch nicht durch Texterkennungsprogramme umgewandelt und damit nicht durchsuchbar sind. Letztlich führt auch eine mangelhafte Strukturierung des Unternehmens-Informationssystems dazu, dass vorhandene Vorgaben unauffindbar werden können.

4.3.5 Verstoß gegen Prozess- und Methodenvorgaben

Selbst das Vorhandensein und Bekanntsein von Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) ist noch kein Garant dafür, dass diese Vorgaben auch angewandt werden. Wissentliche Zuwiderhandlungen gegen eindeutig festgelegte Regelungen resultieren oftmals aus einer falschen Einschätzung der Korrektheit und Priorität der zu befolgenden Regeln. So wird der Verstoß gegen eine Regel, die nach Einschätzung des Entwicklungsingenieurs lediglich zu einem Nebenfehler B (vgl. Abschnitt 2.4.1, S. 19) führt, also keine Beeinträchtigung der Nutzung des Ergebnisses mit sich bringt, oftmals nicht als Verstoß gesehen, sondern als eigenverantwortliche Anpassung der vorgegebenen Richtlinien auf die aktuell vorliegende Situation. Entsprechend der Tatsache, dass der Ingenieur der Fachmann auf dem Gebiet seiner auszuführenden Tätigkeit ist, ist ihm diese Vorgehensweise zugutezuhalten. Eine gegenteilige Handlung entspräche der blinden Anwendung vorgegebener Regelungen ohne Reflexion der aktuell gegebenen Situation. Dies kann im Unternehmen nicht erwünscht sein und würde hohe potenzielle Fehlerkosten in sich bergen. Die tatsächliche Ursache des Problems wäre in diesem Fall nicht die Zuwiderhandlung des Ingenieurs, sondern die mangelhafte Bereitstellung adäquater Informationen, um eine korrekte Einschätzung der Situation zu ermöglichen.

In die Erwägungen des Ingenieurs fließen nicht nur fachliche Informationen, sondern auch eigene Ziele und Bedürfnisse ein. Dies kann dazu führen, dass aufgrund zu erwartender starker Belastungen eine Regelung großzügig zum eigenen Vorteil ausgelegt wird. Dieser externe Effekt ist nur teilweise mit besserer Information zu beheben und bedarf darüber hinaus eines adäquaten Kontroll- und Anreizsystems. Als Beispiel seien meist unliebsame Dokumentationsaufgaben genannt, denen oftmals nicht umfassend nachgekommen wird, obgleich sie durchaus bekannt sind. Eine reine Erläuterung der Notwendigkeit vollständiger und korrekter Arbeitsdokumentationen ist hier nur wenig Erfolg versprechend.

4.3.6 Informationsmangel

Im Idealbild des Marktes in der Marktwirtschaft herrscht vollständige Information. Informationsasymmetrien und -mängel existieren dort nicht. Die Realität unterscheidet sich jedoch von diesem idealtypischen Modell gerade durch das Vorhandensein von

Informationsasymmetrien und -mängeln. Im Falle der Informationsasymmetrie ist mindestens eine Information nicht allen an einer Aktion beteiligten Personen in gleichem Maße bekannt. Beim Informationsmangel hingegen ist die Information für keinen der Beteiligten zugänglich oder gar allgemein unbekannt [70]. Betrachtet werden sollen hier Sachinformationen, Prozess- und Methodenvorgaben und Informationsrückkopplungen (Feedback). Der Begriff Informationsmangel wird im Folgenden vereinfachend verwendet und beinhaltet damit auch die Zustände, in denen Informationsasymmetrie vorliegt. Wie in Abschnitt 4.3.4 (S. 74) beschrieben, ist auch der Informationsüberfluss als Informationsmangel zu bewerten.

Die Produktentwicklung als äußerst wissensintensive Tätigkeit ist angewiesen auf umfangreichen Informationsaustausch zwischen den Beteiligten. Diese Notwendigkeit wird verstärkt, je verteilter und je weniger verbunden die Kooperationspartner im Entwicklungsnetzwerk sind. SCHÖMIG benennt die späte oder nicht stattfindende Einbindung von Informationen in den Konstruktionsprozess als entscheidenden Einfluss auf die Konstruktionsqualität [126]. Aus den empirischen Studien von FOURNIES [127] und WILLIAMS [128] können eine Reihe der Hauptursachen der mangelnden Erfüllung von Vorgaben in die Kategorie der Informationsmängel eingruppiert werden. Diese Ursachen lauten:

(1) Anforderungen sind unbekannt.
(2) Gründe für Anforderungen sind unbekannt.
(3) Anforderungen werden als fehlerhaft angesehen.
(4) Eigene Wege der Umsetzung werden als besser empfunden.
(5) Wege der konkreten Umsetzung sind unbekannt.
(6) Auszuführende Tätigkeiten werden falsch priorisiert.

Unbekannte Anforderungen (1) in der verteilten Produktentwicklung treten auf, wenn kein klar strukturiertes System zur Verteilung und Aktualisierung von Anforderungen existiert. Prozess- und Methodenvorgaben sind in diesem Sinne als Anforderungen zu betrachten. Die Fülle der Vorgaben macht es dem Einzelnen unmöglich, einen Überblick über die existierenden Anforderungen zu haben und diesbezüglich jeweils auf dem aktuellen Stand zu bleiben. Wie bereits in Abschnitt 4.3.3 (S. 73) erläutert, kann die Antizipation der Vorgaben nicht vom Produktentwickler erwartet werden. Das Problem stellt sich also vor allem, wenn der Ingenieur sich in einer Situation befindet, in der er davon ausgeht, sämtliche relevanten Anforderungen berücksichtigt zu haben, und nicht wissen kann, dass weitere Nebenbedingungen zu berücksichtigen sind. Wer nicht weiß, dass etwas fehlt, der kann auch nicht danach suchen. Der beschriebene Fall spiegelt die Ausführungen des Abschnitts 4.3.4 (S. 74) wider, die also auf höherer Ebene betrachtet einen klassischen Fall des Informationsmangels als Marktversagen darstellen.

Der Entwicklungsingenieur kann als höchste fachliche Instanz seines Arbeitsfeldes angesehen werden. Er sollte daher legitimiert und befähigt sein, Entscheidungen nach bestem Wissen und Gewissen zu treffen. Interpretationen sind bei der Erfüllung von Vorgaben in der Produktentwicklung aufgrund der nichtdeterministischen Eigenschaft des Entwicklungsprozesses grundsätzlich notwendig. Die Entscheidung, ob im Fall *A* die Regel *X* anzuwenden ist, ist vom Produktentwickler selbst zu treffen. Eine Anforderung, die aufgrund der speziellen Bedingungen des konkreten Anwendungsfalls als fehlerhaft eingestuft wird, wird also nicht zu Unrecht beiseitegeschoben. Je unvollständiger die verfügbaren Informationen, umso höher ist das Risiko von Fehleinschätzungen. Sind Hintergründe von Anforderungen nicht bekannt (2) oder nicht verständlich (3), so kommt es beinahe zwangsläufig zu Fehlinterpretationen und Verstößen gegen Vorgaben. Ein unreflektiertes Umsetzen unverständlicher oder als nicht passend eingeschätzter Vorgaben ist nicht wünschenswert. Es könnte geradezu als fahrlässig betrachtet werden, wenn der Entwicklungsingenieur entgegen seiner fachlichen Einschätzung zuungunsten einer besseren Lösung (4) entscheiden würde. Als bessere Lösungen sind hier Vorgehensweisen zu verstehen, die sich positiv auf die drei Wettbewerbsdimensionen Zeit, Kosten und Qualität oder auch auf spezifische Unternehmensziele auswirken.

Speziell für die Arbeit mit informationstechnischen Mitteln ist festzustellen, dass an Weiterbildungen häufig gespart wird und gezielte Schulungen zu selten eingesetzt werden. Dies hat zur Folge, dass der Lernprozess teils ausschließlich durch *learning by doing* stattfindet. Funktionsweisen werden individuell erkundet und unterschiedlich erlernt [129]. Dadurch entstehen über implizite Strategien individuelle Prozesse, die nicht den etablierten Verfahren und standardisierten Vorgaben entsprechen. Eine Vielzahl der Funktionalitäten der Werkzeuge bleibt dabei unentdeckt und Methoden, die eine Verwendung dieser Funktionalitäten fordern, können nicht umgesetzt werden. Im Ergebnis fehlt es dem Entwickler am Wissen um die konkrete Umsetzbarkeit der gestellten Anforderung (5). Angesichts der durchschnittlich 15 verschiedenen IT-Werkzeuge, mit denen der Entwickler („Konstrukteur“) vertraut sein müsste [31], ist es ihm unmöglich, sämtliche nötigen Kenntnisse und Fähigkeiten mitzubringen. Die fortlaufende Weiterentwicklung der Werkzeuge, Prozesse und Methoden erschwert die Situation zusätzlich.

Für den Produktentwickler trifft eine Vielzahl technischer, methodischer, finanzieller und zeitlicher Anforderungen aufeinander. Dazu gehören beispielsweise Gewicht, Bruchfestigkeit, Volumen, Verwendung von Standard- und Normteilen, Wiederverwendung bestehender Bauteile, Erfüllung von Prozess- und Methodenvorgaben, Entwicklungskosten, Fertigungskosten, Fristen und Abgabetermine. Der in der Produktentwicklungspraxis stets immanente Zeitdruck [130] zwingt den Entwickler oftmals, Abwägungen zwischen

verschiedenen zu erfüllenden Kriterien zu treffen. Einzelne Nebenbedingungen bleiben dabei untererfüllt. Sind keine Prioritäten für die Umsetzung der Vielzahl an Anforderungen vorgegeben (6), so muss die Abwägung individuell erfolgen. Eine falsche Priorisierung kann zu hohen Folgekosten führen und zahlreiche Schnittstellen-Fehler sowie damit verbundene Ketten von Folgefehlern auslösen.

Zuletzt stellt auch mangelndes Feedback einen Informationsmangel aufseiten des Entwicklers dar. Nur über Rückmeldungen zu durchgeführten Tätigkeiten sind Iterationsschleifen und Prozessverbesserungen möglich. Die Aufrechterhaltung erfolgreicher Prozesse und die Verbesserung fehleranfälliger Prozesse setzt entsprechende Ergebnisrückmeldungen voraus. Ohne funktionierende Monitoring- und Kontrollprozesse können Rückmeldungen zur Qualität der Prozesse und Ergebnisse nur unstrukturiert und unvollständig erfolgen.

4.3.7 Kontrollmangel

Monitoring und Kontrolle sind Bedingungen für die Möglichkeit zur Prozessverbesserung. Nach THIEME bedeutet Kontrolle im engeren Sinne „Gewinnung, Vergleich und Bewertung von Informationen“ und zwar im Hinblick auf „Ziel-Input-, Input-Output- und Ziel-Output-Verhältnisse“. Kontrolle im weiteren Sinne bezieht zusätzlich die „Rückkopplung zu Mitarbeitern und Betriebsmitteln des laufenden Arbeitsprozesses (Regelung) und die Vorkopplung für zukünftige Arbeitsprozesse (Steuerung)“ mit ein [131]. Die grundsätzliche Notwendigkeit von Kontrollen steht in der Praxis selten in Frage. Entscheidend sind der Umfang von Kontrollen sowie die Wahl entsprechender Kontrollmaßnahmen. Der Umfang wird dabei durch die grundsätzliche Knappheit verfügbarer Ressourcen nach oben beschränkt. Die Verteilung der Ressourcen wird stark von historischen Gegebenheiten beeinflusst. Neue Prozesse werden oftmals weniger stringent kontrolliert wie beherrschte Prozesse. Kontrollen beherrschter Prozesse werden hingegen nicht an die in der Regel mit der Zeit geringer werdende Bedeutung und Fehleranfälligkeit angepasst. Aufgrund der Anpassungsträgheit sind Kontrollmaßnahmen also nicht immer dort etabliert, wo tatsächlich der Entwicklungs- und Unternehmenserfolg am stärksten beeinflusst wird.

Ohne Kontrollmaßnahmen können gezielte Rückmeldungen über Erfüllung und Nichterfüllung impliziter oder expliziter Anforderungen des Schnittstellen-Prozesses nicht an die Vorgänger-Prozesse kommuniziert werden. Die Bearbeiter der Vorgänger-Prozesse müssen davon ausgehen, dass die Qualität der übergebenen Zwischenergebnisse den Anforderungen vollständig entspricht oder dass unabhängig von der Qualität der Ergebnisse nicht mit Rückmeldungen zu rechnen ist. Daraus ergeben sich wiederum zweierlei Konsequenzen. Im Fall erfüllter Schnittstellenanforderungen ist nicht sichergestellt, dass die funktionierenden, anforderungskonformen Prozesse erhalten bleiben. Im zweiten Fall besteht nicht die

Möglichkeit, fehlerhafte Vorgehensweisen zugunsten besserer Anforderungskonformität zu korrigieren. Dies beschränkt die Möglichkeit zur Verbreitung eines entsprechenden Problembewusstseins und verhindert die Vermeidung von Fehlerkosten.

Werden vom Entwickler wissentlich, beispielsweise aufgrund von Zeitdruck, interne Anforderungen missachtet, so kann das Bewusstsein entstehen, dass die Vorgaben nicht notwendigerweise erfüllt werden müssen, da bei Nichtbeachtung keinerlei negative Auswirkungen zu entstehen scheinen. Dadurch werden damit Erwartungen geprägt, die entscheidenden Einfluss auf die darauf folgenden Handlungszyklen der Entwickler haben. Auf diese Problematik wird ausführlich in Abschnitt 5.6 (S. 175) eingegangen.

4.4 Analyse verhaltenspsychologischer Ursachen

Neben technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen haben verhaltenspsychologische Effekte ebenfalls Einfluss auf die analysierten Schnittstellen-Prozesse sowie die dort vorliegenden Problemursachen. Diese liegen damit in den sozialen Interaktionen und agierenden Einzelpersonen begründet. Individuelle Persönlichkeitsstrukturen und psychologische Mechanismen im Zusammenspiel mit den jeweils vorherrschenden Umgebungsbedingungen können dadurch Handlungen bedingen, die beinahe zwangsläufig zu Fehlern führen. Durch die Aufgabenkomplexität der verteilten Produktentwicklung kommt die beschränkte menschliche Verarbeitungskapazität als weiteres Problemfeld hinzu. Sie besteht aus den leistungseinschränkenden Faktoren Ressourcenlimitierung („resource-limited performance“) und Daten- oder Informationslimitierung („data-limited performance“) [132]. Im Fall der Ressourcenlimitierung wird dabei die Leistung von der Aufnahmefähigkeit begrenzt, wohingegen bei der Informationslimitierung die zur Verfügung stehenden Informationen nicht ausreichen, um die angeforderte Leistung zu erbringen. Von anderer Warte aus betrachtet, handelt es sich also um Informationsüberschuss einerseits und Informationsdefizit andererseits, die beide die persönlichen Kapazitätsgrenzen des Einzelnen überfordern. Teils kann diesen Grenzen mit Entlastungen, Unterstützungen und Weiterbildungen begegnet werden. Entsprechende Ansätze für die verteilte Produktentwicklung werden in den Abschnitten 5.3.4 (S. 136), 5.3.5 (S. 138), 5.4.4 (S. 154) und 6.2.2 (S. 205) näher diskutiert.

4.4.1 Kontrollmangel

Ein Mangel an Konzepten für effektive Kontrollmaßnahmen oder die mangelhafte Umsetzung entsprechender Konzepte stellt nicht nur eine organisatorische Ursache für die unzureichende Umsetzung von Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) durch fehlende Korrekturmöglichkeiten dar. Darüber hinaus wirkt mangelnde Kontrolle durch die Verhaltenswirkung von Kontrolle auch als psychologische und damit persönliche Ursache.

Bereits die Durchführung oder Nicht-Durchführung von Kontrollen beeinflusst die Arbeitsweise und Herangehensweise an Schnittstellen-Prozesse. Kontrollen führen nach THIEME [131] zu einer Anpassung an die erwartete Kontrolle, bereits bevor die Kontrolle tatsächlich durchgeführt wird oder auch der Inhalt der Kontrolle näher bekannt gegeben wurde. LUHMANN [133] spricht hier von der „Erwartungserwartung“ des Mitarbeiters, an der dieser sein Verhalten ausrichtet, und meint damit, dass eine Person erwartet, dass etwas von ihr erwartet wird und dementsprechend handelt. CHURCHILL & COOPER [134, 135] sowie OSTERLOH [136] bestätigen diese Annahme auch bei spezieller Betrachtung von Revisionen in Unternehmen. Konsequenzen und Korrekturmaßnahmen sind an dieser Stelle noch nicht berücksichtigt. Die Frage, welche Erwartungserwartung der Mitarbeiter im konkreten Fall auch ohne explizite Ankündigung einer neuen Kontrollmaßnahme hat, hängt stark von den Erfahrungen ab, die eine Person mit vorangegangenen Kontrollen gesammelt hat [137]. Ein über lange Jahre vernachlässigtes oder inkonsistentes Kontrollsystem und alteingesessene Mitarbeiter werden die Wirksamkeit neuer Kontrollen erschweren. Als Sabotage ist dies jedoch nicht zu werten. In Anbetracht der wirkenden Anreize und Motive handelt es sich um eine natürliche und wohlbegründete Handlung.

Die Leistungsbeurteilung ist ein erster Schritt von der Kontrolle zu Korrekturmaßnahmen und Anreizsystemen. LATTMANN beschreibt in diesem Zusammenhang Widerstände von Beurteilten und Beurteilern. Der beurteilende Vorgesetzte weicht seiner Kontrollaufgabe aus, beurteilt unangemessen milde oder unverbindlich, vereinbart keine oder unzureichende Verbesserungsziele bezüglich der Kontrollgrößen und vermeidet zur Leistungsbeurteilung gehörige Feedback-Gespräche mit dem Mitarbeiter nach Möglichkeit zur Gänze [138]. Von MEYER ET AL. [139] konnten ausbleibende Prozessverbesserungen als negative Folge derartigen Vorgehens auf das Unternehmen empirisch nachgewiesen werden. Mitarbeiter zeigen eine Verteidigungshaltung als Widerstand gegen angesprochene Kritikpunkte. Verbesserungsansätze werden dadurch erschwert. Als Ursachen für diese Widerstandshaltungen stellt LATTMANN Motivkonflikte beim Mitarbeiter und Rollenkonflikte beim Vorgesetzten fest.

Der Motivkonflikt beim Mitarbeiter besteht zwischen kurz- und mittelfristigen Motiven einerseits sowie langfristigen Motiven andererseits. Kurzfristig betrachtet sind Imageerhaltung oder -verbesserung sowie damit verbundene Aussichten auf unmittelbare geldwerte Belohnung und Beförderungschancen entscheidend. Als Langfristmotiv wirken die persönliche Entwicklung und Schulungsmaßnahmen mit denkbaren späteren geldwerten Entlohnungen [138]. Eine Entscheidung zwischen dem Eingeständnis, Fehler begangen und Weiterbildungsbedarf zu haben einerseits, und dem Versuch, ein möglichst gutes Licht auf vorhandene Kenntnisse und Fähigkeiten zu lenken andererseits, ist zu treffen. Diese nicht eindeutig abzuwägenden

Möglichkeiten resultieren in grundsätzlichen Widerständen gegen Kontrollmaßnahmen und der resultierenden Verteidigungshaltung. Beim Vorgesetzten hingegen entsteht ein Rollenkonflikt zwischen seiner nach LATTMANN bezeichneten „Richterrolle“ und „Beraterrolle“. THIEME fasst zusammen, dass Kontrolle „(…) ein unabdingbarer Bestandteil von Führung (…)“ ist [131]. Als Führungskraft und Entscheidungsträger muss der Vorgesetzte also kontrollieren und richten und gerät dabei in Konflikt mit seiner Rolle als Vertrauensperson und Kollege des Entwicklers, in der er durch Kritik und Tadel sowie durch das Versagen möglicher Belohnungen die persönliche Beziehung zum Mitarbeiter gefährdet. Der Vorgesetzte flüchtet sich in ein Ausweichverhalten und versucht, diese unangenehme Situation möglichst zu umgehen. In Tabelle 2 wird die beschriebene Situation nochmals zusammengefasst.

Tabelle 2: Verteidigungshaltung und Ausweichverhalten im Bezug auf Kontrollsituationen, in Anlehnung an LATTMANN [138]

Motive des Entwicklers	Zu einer persönlichen Entwicklung führender Lernvorgang, Aussicht auf geldwerte Belohnung (Langfrist)	Unmittelbare geldwerte Belohnungen (Leistungslohn und Aussicht auf Beförderung) (Kurz-, Mittelfrist)
Entwickler	Motivkonflikt → Verteidigungshaltung	
Vorgesetzter	Rollenkonflikt → Ausweichverhalten	
Motive des Vorgesetzten	Beraterrolle des Vorgesetzten	Richterrolle des Vorgesetzten

Besondere Komplexität gewinnen die genannten Punkte durch die Tatsache, dass die entscheidenden Faktoren nicht die objektiv vorhandenen oder fehlenden Kontrollmechanismen sind, sondern die jeweilige subjektive Einschätzung der einzelnen Mitarbeiter diesbezüglich.

4.4.2 Effektivitäts- und effizienzhemmende Anreize

"(…) people do things for which they are rewarded and, conversely, do not do those things for which they are not rewarded" [127].

Diese Auffassung entspricht grundlegend der Annahme eines *homo oeconomicus*. Jedes Handeln und Unterlassen einer Handlung wird vorab auf das zu erwartende Kosten-Nutzen-Verhältnis geprüft [140]. Neben finanziellem Nutzen stiften auch persönliche, soziale und andere Konzepte wie Wohlbefinden, Selbstwertgefühl und Stolz einen entsprechenden gefühlten Nutzen für die betrachtete Person. Handlungsentscheidungen beruhen also auf einer

Aggregation des nach WEBER definierten zweckrationalen, wertrationalen, traditionellen und affektiven Handelns [141-143].

Speziell dort, wo viele Personen interagieren und damit viele Aktionen miteinander in Wechselwirkung stehen, existieren komplexe Anreizsysteme, die das Handeln beeinflussen. In der verteilten Produktentwicklung ist ebendies der Fall. Ein Anreizsystem ist kein künstliches System, sondern besteht aus der Vielzahl aller vorhandenen handlungsbeeinflussenden Einflussgrößen. Im Anschluss an die Bildung eines geeigneten Anreizmodells für diese Situation werden Charakteristika in der Situation beschrieben und ein Beispiel einer konkreten Ausprägung hemmender Anreize erläutert. Das in Wissenschaft und Praxis weitgehend unbestrittene Grundmodell der Motivationspsychologie nach LEWIN besagt, dass ein Verhalten V aus einer bestimmten Motivation heraus erfolgt, die selbst wiederum eine Funktion der betreffenden Person P (Individuum) und der Umgebungsbedingungen U (Situation) ist [144]. Dieser Zusammenhang wird durch folgende Formel zum Ausdruck gebracht:

$$V = f(P, U) \qquad (3)$$

Die Situation entspricht dabei der von der Person wahrgenommenen Umwelt, sofern diese einen entsprechenden motivationalen Einfluss auf die Person ausüben kann. Drei Kategorien motivationaler Einflüsse sind nach HECKHAUSEN [145] zu unterscheiden:

- Menschliche Grundbedürfnisse biologischer Natur sowie universelle Verhaltenstendenzen, die unter dem Begriff „Kultur“ oder „Sozialisation“ zusammengefasst werden können.
- Implizite Motive, die individuell und nicht im Bewusstsein verankert sind.
- Explizite Motive in Form selbst gesteckter Zielsetzungen.

Anders formuliert ist jede Handlung eine Funktion von Motiv und Anreiz, wobei das Motiv ein Element der Person ist und der Anreiz aus der Situation erwächst. Der Anreiz ist eine antizipierte Auswirkung, also eine Erwartung. Die aus dem Anreiz in Übereinstimmung mit persönlichen Motiven entstehende Motivation ist der handlungsauslösende Antrieb. Die Erwartung, die eine Person ihren Handlungen zuschreibt, wird von MOHR [146] durch eine Erweiterung der Formel nach Lewin [144] in das Modell dahin gehend integriert, dass die Motivation das Produkt aus Motiv, Erwartung und Anreiz ist. RHEINBERG unterscheidet diese Erwartungen in Handlungserwartungen, Ergebniserwartungen und Ergebnisfolgen-Erwartungen [147].

SCHANZ überträgt diese Erkenntnisse in den Unternehmenskontext mithilfe eines Modells für individuelles Leistungsverhalten und organisationale Effektivität [148], wie in Abbildung 24 dargestellt.

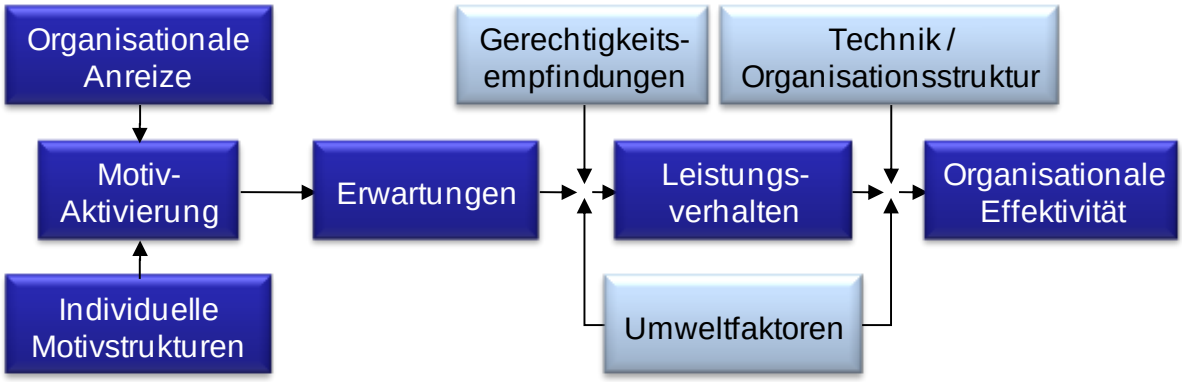


Abbildung 24: Modell für individuelles Leistungsverhalten und organisationale Effektivität nach SCHANZ *[148]*

Zur Überführung der vorab dargestellten Theorien in das im Folgenden zu verwendende Anreizmodell ist die Verwendung vereinheitlichter, teils von der Verwendung der Autoren abweichender Begriffe notwendig. Abweichend gelten sollen die Begriffe Anreiz und Verstärker 🕮 im Sinne von GAGE. Demnach ist ein Anreiz die Erwartung an eine Situation und ein Verstärker ein Mittel zur Beeinflussung der Situation [1]. Beispielsweise wäre die Erwartung an ein hohes Ansehen im Unternehmen ein Anreiz, der durch die Auslobung einer öffentlichen Preisverleihung verstärkt werden könnte. Eine im Prozess verankerte konsequente Einforderung von Korrekturarbeiten bei fehlerhaften Arbeitsergebnissen kann ein Verstärker für den negativen Anreiz hoher Arbeitsbelastung sein. Motivation entsteht nun, wenn ein Anreiz ein in der Person verankertes, durch Sozialisation entstandenes, angeborenes oder bewusst gewähltes Motiv aktiviert. Beispielsweise wird das Motiv *Erfolgserlebnis* durch den Anreiz *erkanntes lösbares Problem* aktiviert und führt zur Motivation *Problem bearbeiten*, die daraufhin die tatsächliche Problemlösungshandlung auslöst. Auf weitere Details und Differenzierungsmöglichkeiten der Motivationsforschung soll im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen werden. Abbildung 25 stellt das integrierte Anreizmodell als Grundlage der weiteren Arbeit dar. Die Situation in Abbildung 25 entsteht durch die von der Person wahrgenommenen Anreize, die einem oder mehreren ihrer persönlichen Motive entsprechen. Diese Anreize können teils von außen gezielt geschaffen werden. Sie lassen sich grob strukturieren in implizite Anreize, explizite Anreize, Fehlanreize und Abreize.

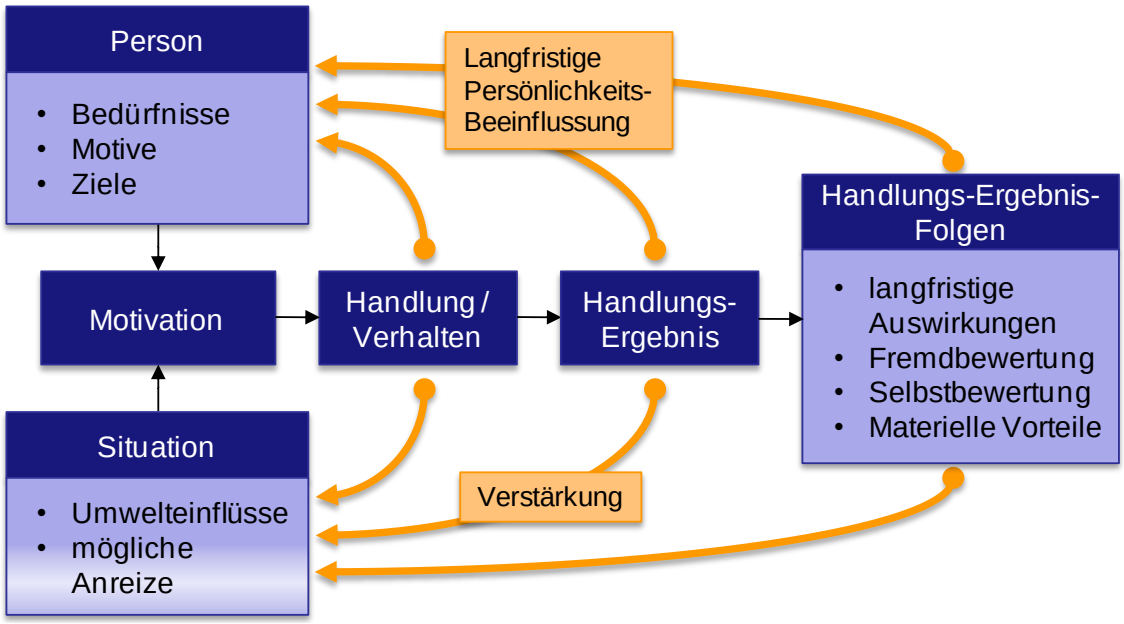


Abbildung 25: Grundmodell der klassischen Motivationspsychologie (modifiziert nach LEWIN [149] und RHEINBERG [150])

Die im Folgenden verwendeten Anreizbegriffe sind für die weitere Verwendung in Tabelle 3 voneinander abgegrenzt. Dargestellt ist jeweils die Intention des Anreizgebers im Vergleich mit der erzielten Wirkung. Die Intention kann als Ziel eine Handlungsverstärkung (↗) oder eine Handlungsabschwächung (↘) haben. Auch Anreize ohne Intention eines Anreizgebers (**Ø**) sind möglich. Die Wirkungen der jeweiligen Anreize können dem gesetzten Ziel entsprechen oder nicht. Sie sind damit erwartungskonform (✓), nicht erwartungskonform (✗) oder bleiben gänzlich ohne Wirkung (**Ø**).

Tabelle 3: Anreizbegriffe und Intentionen

Anreiz	Intention	Erwartungskonformität der Wirkung
Impliziter Anreiz	**Ø**	✓
Expliziter Anreiz	↘/↗	✓
Fehlanreiz	↘/↗	✗
Motiv-inkongruenter Anreiz	↘/↗	**Ø**
Hemmnis	**Ø**	✗
Negativer Anreiz (Abreiz)	↘	✗

Implizite Anreize oder *De-facto-Anreize* entstehen ohne bewusste Einflussnahme eines Anreizgebers. Die Tatsache, dass Mitarbeiter, die sich bei Sonderaufgaben unter Termindruck als zuverlässig erwiesen haben häufiger, zu derartigen, teils über die üblichen Arbeitszeiten hinausgehenden Aufgaben, herangezogen werden, wirkt als Verstärker, nicht mit positivem Beispiel aus der Gruppe hervorzustehen [127]. Es wurde ein impliziter Anreiz geschaffen. Das Sprichwort „Arbeit fließt dorthin, wo sie erledigt wird“ gibt diesen Sachverhalt ebenfalls wieder. Auch implizite Anreize müssen motivkongruent sein, um eine Wirkung zu entfalten, sodass sich die genannte Wirkung speziell bei Mitarbeitern einstellt, die Wert darauf legen, nicht bis spät in die Abendstunden am Arbeitsplatz zu sein. Der „Peltzman-Effekt“ als ein weiteres Beispiel für implizite Anreize führt dazu, dass durch die Gurtpflicht eine erhöhte Sicherheit bei Fahrzeugführern angenommen wird, woraus riskantere Fahrweise und geringere Sicherheit durch einen Anstieg der Schadensfälle resultierten [151, 152].

Explizite Anreize werden bewusst geschaffen und sollen dazu dienen, die Leistungsbereitschaft einzelner Individuen im Sinne des Anreizgebers positiv zu beeinflussen [153]. Die Bezahlung von Leistungsprämien und die Ehrung als *Mitarbeiter des Monats* sind Beispiele für explizite Anreize. Fehlanreize sind fehlgeschlagene Versuche, explizite Anreize zu schaffen. Fehlanreize werden in den Polit- und Wirtschaftswissenschaften häufig mithilfe des Kobra-Effekts erläutert der dazu führte, dass die während der britischen Kolonialherrschaft in Indien auf das Einfangen von Kobras ausgelobte Prämien zur Errichtung von Kobrazuchten in animierten. Die Prämie erwies sich damit als Fehlanreiz, der die Anzahl der durch Kobrabisse verletzten Briten noch erhöhte [154].

Motiv-inkongruente Anreize sind explizite Anreize, die keine Wirkung zeigen, da sie bei der Zielperson nicht auf ein passendes Ziel, Motiv oder Bedürfnis treffen. Die Aussicht auf eine herausfordernde Projekttätigkeit im Ausland kann bei einem Mitarbeiter mit einer Abneigung gegen das Verlassen der Heimat nicht als Anreiz wirken. Hemmnisse und negative Anreize (Abreize) stellen lediglich Sonderformen des impliziten beziehungsweise expliziten Anreizes dar, wenn man beachtet, dass ein gegen eine Handlung gerichteter Anreiz damit zugleich auch immer einen Anreiz zu einer alternativen Handlung bedeutet. Auch das untätige Verharren ist in diesem Sinne als Handlung zu begreifen. Eine Sonderstellung im Rahmen der Anreizbegriffe nimmt die Verlockung ein, die ein Anreiz ist, der seine Anreizwirkung aus der Handlung an sich gewinnt. Sie ist also Anreiz und Verstärker zugleich. Die im Modell gezeigte Situation ist die Summe aller Einflussgrößen und damit aller von der Person wahrgenommenen Anreize, wobei die Wirkung eines Anreizes von der subjektiven Bewertung der Person abhängt, an die sich der Anreiz richtet [153].

Entgegen der Definition von BECKER, nach der ein (betriebliches) Anreizsystem aus allen das Verhalten beeinflussenden bewusst gestalteten Arbeitsbedingungen besteht [155], soll eine

weitere Fassung des Begriffs verwendet werden. Betriebliche Anreizsysteme bestehen nach diesem erweiterten Verständnis vor allem aus Arbeitsbedingungen, die gerade nicht zielgerichtet vom Unternehmen eingesetzt und bewusst gestaltet sind, sondern sich implizit aus der Struktur der über die Zeit entstandenen De-facto-Arbeits- und Organisationsprozesse ergeben. Das „Metakommunikative Axiom“ nach WATZLAWICK besagt, dass es unmöglich ist, nicht zu kommunizieren [156]. Analog dazu gibt es keine Situation, die keinen Anreiz in sich beinhaltet. Auch der Anreiz, nichts zu tun, ist ein Anreiz. Selbst das von VON ROSENSTIEL bereits als Anreizsystem im weiteren Sinne bezeichnete „gesamte Führungssystem (...) einer Unternehmung“ [157] geht noch nicht weit genug, da nicht nur die Unternehmensführung, sondern in besonderem Maße die Kollegen, Teammitglieder, Vorgesetzten, Untergeordneten und auch Kunden das auf den Mitarbeiter wirkende Anreizsystem implizit gestalten. Darüber hinaus haben auch externe Faktoren maßgeblichen Einfluss auf das Anreizsystem.

Die Arbeitstätigkeit in Entwicklungsnetzwerken ist aufgrund der Vielzahl von direkten und indirekten Interaktionen mit einer Vielzahl von Personen stark von Anreizen beeinflusst. Kurz gesagt entscheiden die jeweils vorhandenen Anreize darüber, ob Aktivitäten im Entwicklungsprozess im Sinne der Vorgaben ausgeführt werden oder nicht und in welcher Weise sie umgesetzt werden. FOURNIES [127] und WILLIAMS [128] nennen unter anderem folgende Hauptursachen für die mangelnde Erfüllung von Vorgaben in Unternehmen:

- Handlungen haben keine positiven Effekte (fehlender Anreiz)
- Der Handelnde wird durch die Handlung bestraft (Hemmnis oder Fehlanreiz)
- Es werden negative Konsequenzen mit dem Handlungsergebnis verbunden (negative Ergebnis-Folge-Erwartung)
- Mangelnde Umsetzung hat keine negativen Konsequenzen (fehlender negativer Anreiz)

Empirisch wurde von SCHOLZ am Beispiel eines Automobilherstellers die Gewichtung von Anreizen durch Mitarbeiter wie folgt ermittelt [158]:

- Materielle Anreize: 50%
- Anreiz der Arbeit selbst 30%
- Anreize des organisatorischen Umfeldes 18%
- Soziale Anreize 12%

Diese Verteilung setzt die Erfüllung der Hygienebedingungen nach HERZBERG voraus, deren Wirkung noch nicht zu Zufriedenheit und Motivation führt, sondern lediglich gegen das Vorhandensein einer grundlegenden Unzufriedenheit wirkt [159]. Beispiel für einen Hygienefaktor ist eine angemessene Raumtemperatur. Sie selbst stellt keinen Anreiz dar, sorgt jedoch dafür, dass andere Anreize nicht durch eine negative Umgebungsbedingung ausgeschaltet werden. Unter der Prämisse, dass materiellen Anreizen im Berufsalltag keine

Bedeutung zukommt, dass es also keine Handlungen gibt, die direkten und unmittelbar zeitnahen Einfluss auf die finanzielle Vergütung des Entwicklungsingenieurs haben, ist anzunehmen, dass sich die Gewichtung der wirksamen Anreize auf die übrigen drei Punkte verteilt. Die Annahme wird gestützt durch empirische Studien von FOURNIES, wonach Lohnzahlung kein Anreiz für Performance ist, da über relativ lange Zeit nicht performant gearbeitet werden kann, ohne dass sich dadurch Auswirkungen auf die Bezahlung ergeben. FOURNIES zitiert SKINNER in diesem Zusammenhang treffend mit: “People don’t come to work to get paid, they come to work so the pay doesn’t stop” [127]. Damit verändert sich die Gewichtung der Anreize wie folgt:

- Anreiz der Arbeit selbst 60%
- Anreize des organisatorischen Umfeldes 36%
- Soziale Anreize 24%

In erster Linie wird also darauf Wert gelegt, dass die Arbeitstätigkeit den persönlichen Vorstellungen entspricht. Ein starkes Kriterium für diese Form der Arbeitszufriedenheit ist hoher prozentualer Anteil an *tatsächlicher* Arbeit im Vergleich zu Verwaltungs- und sonstigen Nebenaufgaben. Diese sind zwar ebenfalls notwendig für das Unternehmen, tragen jedoch als Stütz- oder Blindleistung nicht direkt zur Wertschöpfung bei [68] und werden meist nur widerwillig ausgeführt. Die Notwendigkeit von Stützleistungen wird im Allgemeinen von den ausführenden Personen unterschätzt, sofern diese Tätigkeit nicht die Hauptaufgabe des Mitarbeiters darstellt. Diese Einschätzung wird auch von THIEME [131] mit speziellem Bezug auf Kontrollaufgaben geteilt.

4.5 Zusammenfassung der Ursachenanalyse

Bei der verteilten Produktentwicklung mit ihrer Vielzahl an Subsystemen und verbindenden Schnittstellen handelt es sich um ein komplexes System. Die ebenfalls komplexe Problematik der Schnittstellen-Fehler wurde detailliert auf ihre Ursachen hin untersucht, um eine fundierte Basis für Erfolg versprechende Lösungsansätze zu erhalten. Es wurde unterschieden in fachliche, informationstechnische, organisatorische und verhaltenspsychologische Ursachen mit jeweils unterschiedlichen Ausprägungen. In der Regel sind Probleme auf Kombinationen mehrerer Ursachen zurückzuführen. Im folgenden Abschnitt werden Ansätze zur Fehlervermeidung an Schnittstellen-Prozessen erarbeitet. Dabei wird jeweils auf die untersuchten Ursachen Bezug genommen. Die Problemfelder rund um Prozess- und Methodenvorgaben (PMR), Kontrollen an Schnittstellen-Prozessen und Anreizsysteme werden explizit behandelt, da sie als besonders entscheidend gelten können und mit vertretbarem Aufwand Verbesserungen erzielbar sind. Alle übrigen Problemursachen werden implizit berücksichtigt und an passenden Stellen aufgegriffen.

5 Entwicklung eines Rahmenwerks zur Fehlervermeidung

Den im bisherigen Verlauf dieser Arbeit aufgezeigten Ursachen für mangelhafte Schnittstellen-Prozesse entsprechend muss ein Rahmenwerk zur Fehlervermeidung eine Reihe verschiedener Ansätze miteinander vereinen. Nur eine umfassende Herangehensweise mit möglichst vollständiger Abdeckung aller Einflussfaktoren kann diesbezüglich zu Erfolg versprechenden Prozessverbesserungen beitragen. Kurz gesprochen muss das zu erarbeitende System sicherstellen, dass Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) für Prozesse mit großen Risikopotenzialen zur Verfügung stehen. Notwendige Informationen zu diesen Methoden müssen in ausreichendem Maße verbreitet werden und Anreize derart gesetzt sein, dass der Mitarbeiter nicht zum Verstoß gegen PMR verleitet wird und effiziente Kontrollen die effektive Umsetzung der Methoden garantieren. Darüber hinaus muss das System ausreichend flexibel sein, um an Veränderungen der Rahmenbedingungen zeitnah angepasst werden zu können, um immer den aktuellen Risiken Rechnung tragen zu können. Es darf kein starres Korsett an Einschränkungen aufrecht erhalten und damit möglicherweise mehr Kosten verursachen, als es einzusparen in der Lage ist.

Das entwickelte Rahmenwerk dient als Grundlage für die individuelle Ausgestaltung im jeweiligen konkreten Kontext der verteilten Produktentwicklung. Ein Anspruch auf abschließende Vollständigkeit wird nicht erhoben. Konkrete Ausgestaltungen der einzelnen Konzeptelemente sind nicht Gegenstand dieser Arbeit und erfolgen allenfalls exemplarisch.

5.1 Entwicklung der Konzeptgrundlage für erfolgreiche Fehlervermeidung an Prozess-Schnittstellen

"(...) the human intelligence is not just another subsystem" [160].

Neben den durchzuführenden Einzelmaßnahmen ist die grundlegende Herangehensweise an die Entwicklung und Einführung eines Rahmenwerks für die Problemstellung fehleranfälliger Schnittstellen-Prozesse von entscheidender Bedeutung. Im Kontext von Veränderungsprozessen werden die Betrachtung von Seiteneffekten und themenübergreifenden Auswirkungen oftmals nur untergeordnet berücksichtigt. Dadurch entsteht das Risiko, die Gesamtheit der wohlüberlegten Einzelaktionen aufgrund vernachlässigter Wechselwirkungen zu gefährden.

Die menschliche Intelligenz soll hier entgegen der Ansicht von KANTOWITZ [160] sehr wohl als lediglich ein weiteres Subsystem betrachtet werden. Grundvoraussetzung für den Erfolg dieser Herangehensweise ist jedoch, dass der Mensch als System mit einer ausreichenden Zahl an

Facetten erfasst wird. Viele Ansätze scheitern an dieser notwendigen Granularität der Betrachtung und erklären den Menschen im Nachhinein zum Ausnahmephänomen, bei dem bisher gültige Erkenntnisse nicht anwendbar wären. Dass die Komplexität der menschlichen Intelligenz sich einer vollständigen Erfassung und Steuerung bisher entzieht, bleibt unumstritten. Daher soll hier versucht werden, den Menschen nicht auf unterster Ebene zu analysieren und dennoch möglichst alle relevanten Einflussfaktoren zu berücksichtigen.

Grundlegend wird dabei ein anthropomorphischer Ansatz verfolgt, der menschliche Handlungsweisen und Interaktionsmechanismen zum Vorbild nimmt, um systemisches Verhalten zu entwickeln [161]. Im Einzelfall wird teils davon abgewichen, da es sinnvoll sein kann, menschlich nicht intuitive Methoden einzusetzen, die trotz erforderlichen Lernaufwands eine höhere Effizienz versprechen.

5.1.1 Das Rahmenwerk im Überblick

Basierend auf der analysierten Problemstellung und den sich daraus ergebenden Anforderungen wurde ein Rahmenwerk entwickelt, das Schnittstellen-Prozesse unterstützt und speziell auch die Fehlervermeidung adressiert. Wie in Abbildung 26 dargestellt, greift das Rahmenwerk an vier unterschiedlichen Ebenen in der Produktentwicklung an, beginnend mit der Analyse des Gesamt-Systems. Daran anschließend sind Anpassungen der Produktentwicklungsprozesse und der Unternehmensprozesse erforderlich, wobei der zeitliche Ablauf dieser beiden Anpassungen vom Einzelfall abhängt und nicht generalisiert werden kann. Die Anpassungen der Entwicklungsprozesse beziehen sich vorwiegend auf das Feld der Prozesse und Methoden, da sie besonders eng mit Schnittstellenaktivitäten verflochten sind. Organisationale Anpassungen beinhalten ein Überwachungssystem, das die Konformität hinsichtlich Prozess- und Methodenvorgaben sicherstellt, die Installation funktionaler Kommunikationswege und die Justierung des wirkenden Anreizsystems, um die Umsetzung der eingeführten Maßnahmen zu unterstützen und zu gewährleisten. Die Revision stellt sicher, dass alle eingeführten Maßnahmen dauerhaft effektiv und effizient wirken. Im letzten Schritt erfolgt die Integration der Veränderungen auf der Anwendungsebene, die hauptsächlich aus CAx-Applikationen besteht.

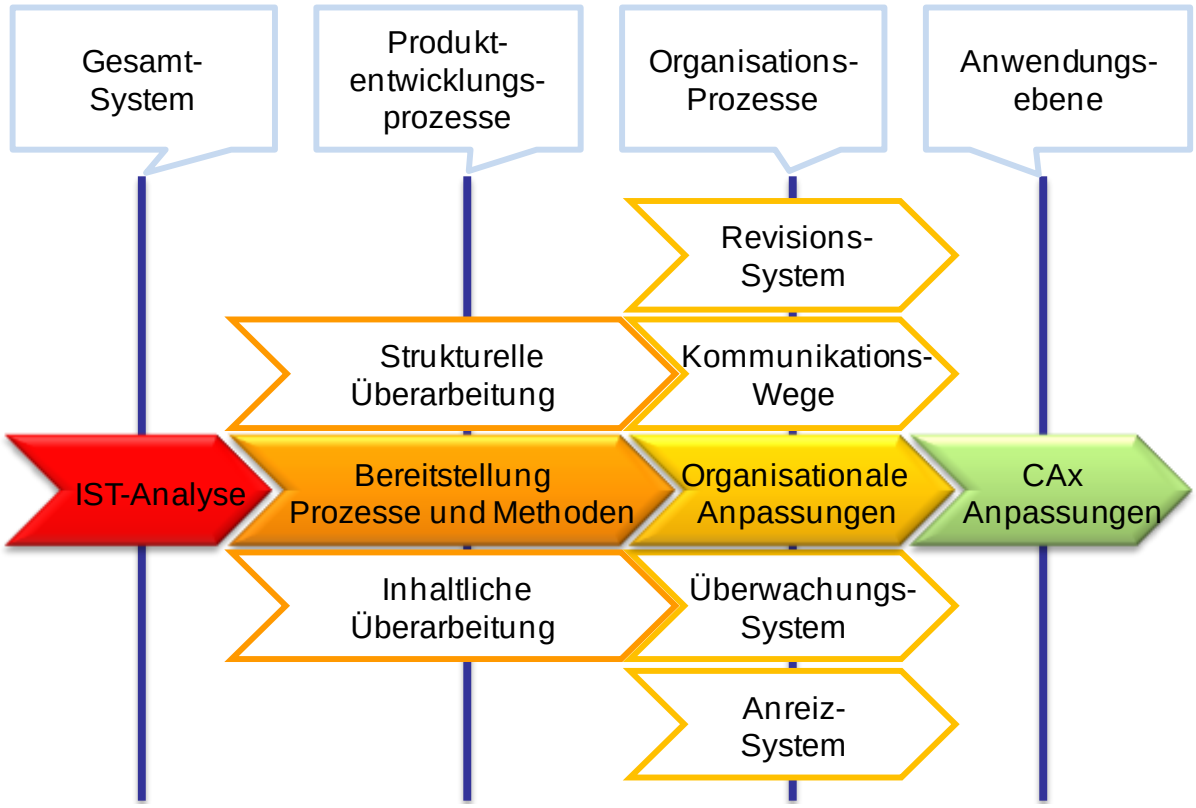


Abbildung 26: Überblick über die Ansatzpunkte des zu entwickelnden Rahmenwerkes [24]

Eine vollständige Zentralisierung von Maßnahmen in umfangreichen Entwicklungsnetzwerken würde zu langen Reaktionszeiten und großen Flexibilitätseinbußen führen. Dementgegen können dezentrale Aktivitäten schwerwiegende Folgen haben, da eine Konformität hinsichtlich vorgegebener Prozesse und notwendiger Anforderungserfüllung schwer sichergestellt werden kann. Die notwendige Interoperabilität könnte nur schwerlich gewährleistet werden. Daher wird bei der Entwicklung des Rahmenwerks zur Fehlervermeidung an Schnittstellen-Prozessen ein Ansatz verfolgt, der dezentrale Verantwortlichkeiten bei den Teilnehmern im Produktentwicklungsnetzwerk fördert und dabei durch zentrale Infrastruktur und organisatorische Maßnahmen unterstützt wird. Dies verspricht die Kombination der Vorteile beider Herangehensweisen mit der Möglichkeit, zumindest einige der verbundenen Risiken zu reduzieren.

5.1.2 Soziotechnischer Systemansatz

Einen Versuch, möglichst umfassend alle relevanten Einflussgrößen auf einen Unternehmens- oder allgemein Organisationsprozess zu erfassen, stellt der soziotechnische Systemansatz (socio-technical system, STS) des Tavistock-Instituts dar. Abbildung 27 zeigt die Grundstruktur eines soziotechnischen Systems, angepasst auf den konkreten Anwendungsfall der verteilten Produktentwicklung.

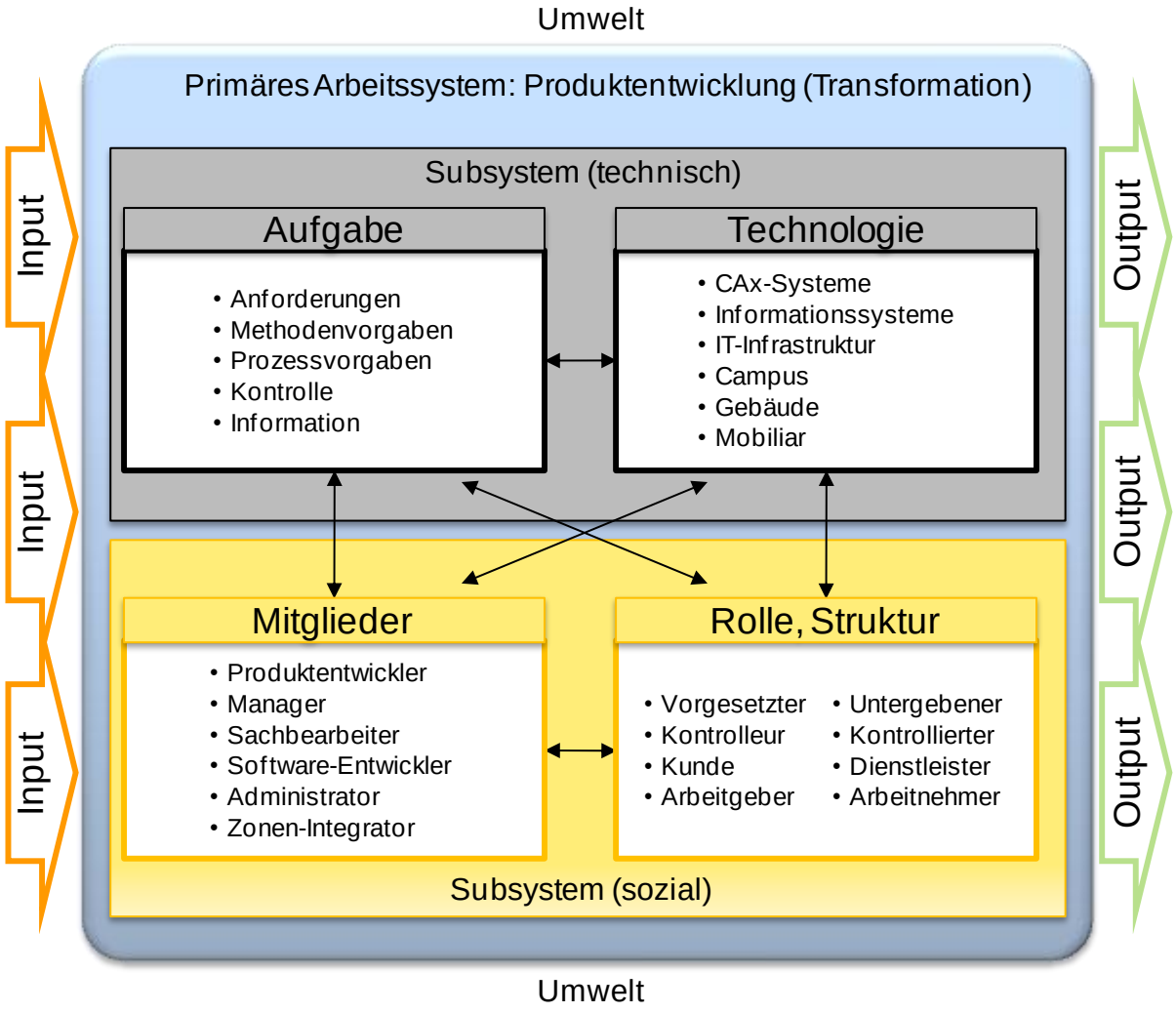


Abbildung 27: Soziotechnisches System in der Produktentwicklung (modifiziert nach SYDOW *[162])*

Diesem Konzept folgend darf nicht lediglich die Technologie als Fokus der Problembeschreibung und Lösungsansatz dienen. Die mit der Technologie interagierenden Systembestandteile Aufgabe, Mitglieder und Rolle/Struktur sind ebenfalls ihrem Einfluss entsprechend zu untersuchen und bei der Gestaltung des Prozesses zu berücksichtigen [163]. Die Mitglieder in ihren jeweiligen Rollen sind als Hauptbetroffene von Beginn an inhaltlich zu konsultieren und aktiv einzubeziehen.

Speziell die Anpassung von Informationssystemen hinsichtlich des Empfindens von Kontrolle und Autonomiebedürfnissen der Anwender und die Einführung von Anreizsystemen werden in den neueren Weiterentwicklungen des STS-Ansatzes betrachtet [164] und finden auch hier Berücksichtigung. Des Weiteren werden bei der vorliegenden Konzeption des Rahmenwerks die Vollständigkeit der Arbeitstätigkeit nach HACKER [165], die Verfahrensgerechtigkeit nach

MANSOUR-COLE & SCOTT [166] und die von THIEME untersuchten faktischen Auswirkungen von Kontrollmaßnahmen [131] mitberücksichtigt.

Das umfassende Einbeziehen der Betroffenen stellt bei erkanntem Handlungsbedarf nicht die Entscheidungsgewalt der Unternehmensführung in Frage, sondern fordert die Einbeziehung der Betroffenen in die Entscheidungsfindung und die Fragen der konkreten Umsetzung. Abbildung 28 verdeutlicht die Verantwortlichkeiten in Entscheidungs- und Umsetzungsprozessen, die der reinen Verfahrensgerechtigkeit nach RAWLS [167, 168] entsprechen. Sowohl die Festlegung der Entscheidungskriterien als auch die Entscheidungsfindung werden in transparenter Weise zwischen dem Management und den Entwicklungsmitarbeitern abgestimmt, während die anschließende Entscheidungsgewalt beim Management liegt. Die Umsetzung kann getrennt und unabhängig erfolgen.

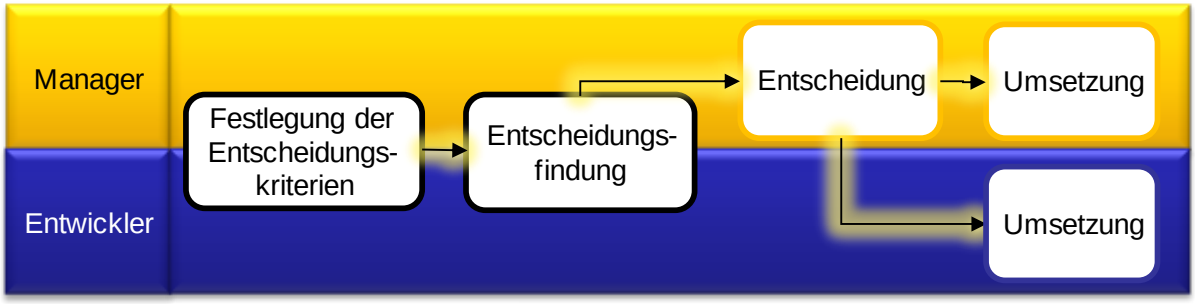


Abbildung 28: Entscheidungs- und Umsetzungsprozess unter Berücksichtigung reiner Verfahrensgerechtigkeit

5.1.3 Stärkung der Kooperationsfähigkeit über Schnittstellen hinweg

Nach MECKL kann die Kooperation über Schnittstellen hinweg nahezu ausschließlich auf Basis freiwilliger Kooperation stattfinden [38]. Bevor diese freiwillige Kooperation stattfindet, gehen die betroffenen Parteien in der Regel zunächst von einem Null-Summen-Spiel aus, und handeln jeweils vermeintlich eigennützig, ohne ein gemeinsames Vorgehen in Betracht zu ziehen. Dieses Null-Summen-Spiel wird mehrere Runden vollzogen, bis die tatsächliche Möglichkeit des Positiv-Summen-Spiels in Betracht gezogen wird und kooperatives Handeln einsetzt, welches beiden Parteien nützt [169]. Die negative Auswirkung dieser falschen Situationseinschätzung ist erklärbar durch das „Thomas-Theorem“, wonach die Folgen einer Handlung nicht aus der zugrunde liegenden Situation, sondern aus der Situationsdefinition der Individuen resultieren [170]. Nicht die tatsächlichen Kooperationsbedingungen sind also relevant für das Ergebnis, sondern lediglich die Einschätzung der Teilnehmer, die wiederum ihre Handlungen veranlasst. Im Volksmund wird auch von der selbsterfüllenden Prophezeiung gesprochen. Der Schlüssel liegt damit in der Kommunikation möglicher Win-Win-Situationen, um kooperatives Verhalten zu fördern. Zur Vermittlung dieser Situationsinformationen können

bei Bedarf Mediatoren eingesetzt werden, die um die positiven Auswirkungen kooperativen Verhaltens in der konkreten Schnittstellensituation wissen und darüber hinaus geeignete Kenntnisse und Fähigkeiten zur Mediation besitzen. Dass die Situation tatsächlich ein Positivsummenspiel ermöglicht, ist, sofern diese Eigenschaft der Konstellation nicht inhärent ist, durch das gezielte Setzen von Anreizen herbeizuführen. Dafür einsetzbare Mechanismen sind in Abschnitt 5.6.4 (S. 183) beschrieben.

5.1.4 Anwendung des Promotorenmodells auf die Fehlervermeidung an Schnittstellen-Prozessen

Promotoren sind Personen, die ein Vorhaben oder einen Prozess mit Nachdruck voranbringen und dabei nicht ausschließlich Eigenleistung erbringen. Promotorenrollen können in der Organisation explizit vergeben oder implizit vorhanden sein. Der Idealfall, dass einzelne Promotorenrollen implizit angenommen werden, ist sehr willkommen, muss jedoch durch explizite Rollenzuweisungen ergänzt werden, um die der Einführung der beschriebenen Methoden zur Fehlerreduktion an Schnittstellen-Prozessen gewährleisten zu können.

Es ist zu unterscheiden zwischen den Promotoren, die den Veränderungsprozess von der bisherigen Handhabung der Schnittstellen-Prozesse hin zur verbesserten, Fehler vermeidenden Vorgehensweise begleiten sollen, und denjenigen, die den fortlaufenden Prozess der Fehlervermeidung unterstützen sollen. Der erste Schritt ist weitgehend ein klassischer Veränderungsprozess, der nach den Regeln des Change Management durchzuführen ist. Besondere Aufmerksamkeit erfordert der zweite, kontinuierliche Prozess der Fehlervermeidung. Dieser soll hier näher betrachtet werden.

Drei unterschiedliche Promotorenrollen können hier unterschieden werden:

Der Fach-Promotor

Der Fach-Promotor hat fachspezifisches Wissen [171]. Er ist Spezialist der betreffenden Materie, kann Lösungsalternativen abwägen [172] und ist damit der Kompetenzträger und letzte fachliche Instanz zu inhaltlichen Fragestellungen. Letztendlich liegt die Umsetzung in seinen Händen. Im betrachteten Kontext kann ein einzelner Fach-Promotor dieser Aufgabe nicht gerecht werden. Wie bereits mehrfach beschrieben, basieren aufeinanderfolgende Prozessschritte auf stark unterschiedlichen Kompetenzen, die nicht von einer Person überblickt werden können. Vielmehr wird eine ganze Reihe von Fach-Promotoren für die jeweiligen Einzelprozesse benötigt. Eingenommen werden kann diese Rolle von Ingenieuren der einzelnen Fachbereiche. FEM-Berechnung, Produktstruktur-Integration, Kollisions-Berechnung, Produktdatenmanagement, Produktdokumentation und Fertigungsplanung seien hier nur exemplarisch nochmals genannt.

Der Macht-Promotor

Der Macht-Promotor verfügt über die notwendigen Ressourcen, um Entscheidungen zu erwirken und die Durchsetzung der Entscheidung voranzutreiben [171]. Er entscheidet über Budgets und Kapazitätenzuweisung, kennt die langfristige Gesamtstrategie des Unternehmens und kann durch hohes hierarchisches Potenzial bei Bedarf oppositionelle und konkurrierende Vorgehen blockieren [172]. Welche Personen im Rahmen der verteilten Produktentwicklung als Machtpromotoren eingesetzt werden können, hängt stark von der Organisationsstruktur des Unternehmens ab. Während in klassischen Aufbauorganisationen dafür in der Regel Abteilungs- und Entwicklungsleiter sowie Vorstandsmitglieder infrage kommen, ist die Wahl bei stärker ablauforientierten Organisationsstrukturen, Projekt- und Programmorganisationen sowie Mischformen stärker von den individuellen Bedingungen abhängig. Beim Einsatz vieler externer Mitarbeiter in Form von Arbeitnehmerüberlassung, Werkvertragsbeziehungen, Zeitarbeitsverträgen oder Beratungsdienstleistern sind keine durchgängigen Machtpositionen vorhanden. Eine enge Zusammenarbeit mehrerer Personen mit jeweils hierarchischem Potenzial gegenüber den Weisungsgebundenen ist erforderlich, um die vollständige Durchsetzung von Entscheidungen bei der gesamten betreffenden Belegschaft zu ermöglichen.

Der Prozess-Promotor

Der Prozess-Promotor hat Organisationskenntnis, kennt die Betroffenen im Prozess, verfügt über diplomatisches Geschick und plant die konkreten Abläufe [172, 173]. Der Einsatz von Prozess-Promotoren liefert verbesserte Umsetzungsergebnisse gegenüber Konstellationen mit ausschließlich Macht- und Fach-Promotoren [174]. Er bildet somit sowohl organisatorisch als auch sprachlich die Brücke zwischen Fach- und Machtpromotoren. In der Industrie wird diese Rolle ohne hierarchische Macht meist durch den Projektmanager ausgefüllt. Zunehmend werden jedoch externe Mitarbeiter als Projektmanager eingesetzt, was neben positiven Faktoren wie der zunächst ausgestrahlten Neutralität der besonders für Prozess-Promotoren erforderlichen Organisationskenntnis eher abträglich ist. Auch Beratungsdienstleister nehmen häufig die Rolle von Prozess-Promotoren ein. Sie treiben einen Prozess voran, obwohl sie weder die fachliche Detailkenntnis noch die hierarchische Macht dazu haben. Unabhängig von der vertraglichen Konstellation ist der Prozess-Promotor derjenige, der die Verantwortung trägt und für die Zielerreichung im vorgegebenen Maße verantwortlich ist. Eine Bindung des Verantwortlichen an die Ziele ist zwingend

erforderlich und findet im Controlling-Leitsatz „Make people responsible for numbers“ nach ZWICKER [175] Ausdruck.

Die von WALTER [176] und GEMÜNDEN [177] vorgesehene Rolle des Beziehungs- oder Kooperationspromotors als Prozess-Promotor im interorganisationalen Bereich soll hier vernachlässigt werden. Aufgrund der in der Situation vorgegebenen Notwendigkeit interorganisationaler Konstellationen erscheint die unterschiedliche Behandlung der intra- und interorganisationalen Beziehungen als nicht zielführend. Gerade die Integration beider Kooperationsarten, inter- und intraorganisational, ist anzustreben, weshalb die Tätigkeiten des Kooperationspromotors in die Aufgabenbereiche der Prozess- und Macht-Promotoren fallen.

Kompetenzen und Einflussbereiche sind im betrachteten Umfeld der verteilten Produktentwicklung stark dezentralisiert. Deshalb ist der Einsatz eines statischen Promotorenmodells, wie dies in einer klassischen Aufbauorganisation der Fall wäre, nicht möglich. Ein Netz aus sich gegenseitig überlagernden Modellen ist nötig. Personen können dabei je nach Stellung in der Kooperationsbeziehung, im Unternehmen und im Entwicklungsprozess mehrere Rollen in mehreren Ebenen gleichzeitig einnehmen.

Förderliche und hinderliche Persönlichkeitsmerkmale für den Einsatz als Promotoren sind durchaus relevant. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sei dafür jedoch auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen. Zumal können aufgrund der oben beschriebenen Dezentralität nicht in jedem Fall dedizierte Promotoren eingesetzt werden, sodass bei den persönlichen Faktoren gegebenenfalls Abstriche hinzunehmen sind.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass Entwicklungsingenieure als Fach-Promotoren und Manager als Macht-Promotoren mit teils nur eingeschränkter Macht bereits in der Produktentwicklung zur Verfügung stehen. Prozess-Promotoren müssen gezielt gefunden und zugewiesen werden. Sie tragen die Verantwortung und sind für die Umsetzung der vorgegebenen Ziele verantwortlich zu machen. Die Übertragung und Weitergabe von Verantwortlichkeiten für den Einzelfall bleibt davon unberührt.

5.1.5 Erarbeitung der Vorgehensweise zur Einführung und Durchführung der Fehlervermeidung im Unternehmen

"Ohne Ziel ist auch der Weg egal" [Sprichwort].

Als Handlauf für die Einführung des entwickelten Rahmenwerks und Durchführung der Einzelmaßnahmen eignen sich die Kernprozesse des Six Sigma Qualitätsmanagement-Ansatzes. Diese auch als „DMAIC“ und „DMAEC“ bezeichneten Prozesse [178] werden im Folgenden für die Einführung und Verfolgung einer durchgängigen Fehlervermeidung an Schnittstellen-Prozessen im Unternehmen konkretisiert. Beide Prozesse laufen teils parallel

ab. Obgleich der Six-Sigma-Kernprozess grundsätzlich als zyklenförmig gestaltet ist, wurde hier die vereinfachende Betrachtung eines linearen Ablaufs für die Entwicklung und Einführung des Fehlervermeidungskonzeptes gewählt, was zu der in Abbildung 29 dargestellten charakteristischen Trillerpfeifen-Form des Modells führt.

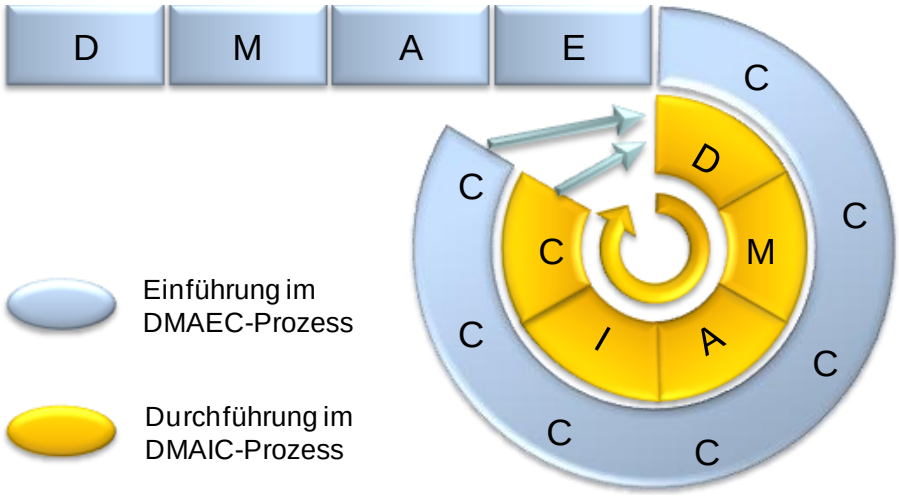


Abbildung 29: Einführung und Umsetzung des Fehlervermeidungskonzeptes (Modell „Trillerpfeife")

Eine quantitative Zielanpassung im Sinne eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses („Kaizen") [179] des Rahmenwerks steht nicht im Vordergrund. Auf lange Sicht ist auch hier die Zyklusbetrachtung notwendig.

Die Einführung des Fehlervermeidungskonzeptes in das Unternehmen (blau) besteht aus folgenden Schritten (DMAEC):

Define (D):

Ziele sind eine notwendige Voraussetzung für jede Form der Risikobeurteilung [180] und Grundvoraussetzung für eine strukturierte Herangehensweise an eine Aufgabe oder Problemlösung. Bei ungekanntem Ziel kann nicht festgestellt werden, ob man sich auf dem richtigen Weg befindet. Neben der Möglichkeit, Ziele bottom-up aus dem operativen Geschäft heraus zu definieren und sich daraus Abteilungs- und im Folgenden Unternehmensziele entwickeln zu lassen, ist der wahrscheinlichere Fall, dass bereits Unternehmens- und Abteilungsziele bestehen, die Rahmenbedingungen für die Bildung von Teilzielen darstellen. Alle Teilziele sollten mit den Oberzielen vereinbar sein und diese auch unterstützen. Über definierte Ziele können sodann kritische Erfolgsfaktoren für die Erreichung dieser Ziele sowie Risiken erkannt und bewertet werden. Die Erfolgsfaktoren können jeweils für das Gesamtunternehmen, einzelne Geschäftsbereiche, Abteilungen, Arbeitsgruppen oder Individuen gelten [180].

An dieser Stelle erfolgt die Festlegung der Ziele der Fehlervermeidung an Schnittstellen-Prozessen. Als Grundlage werden zunächst qualitative Ziele festgelegt, die nach Möglichkeit zu quantifizieren sind. Die Reduktion der Nacharbeiten, die aufgrund der Nichterfüllung interner Anforderungen zu Korrekturschleifen im Entwicklungsprozess führen, ist ein beispielhaftes Ziel. Eine mögliche Quantifizierung könnte die Begrenzung der Vertragsstrafen aufgrund mangelhaft erfüllter Vorgaben des Auftraggebers auf zwei Prozent des Auftragsvolumens sein. Ziele auf der Ebene von Einzelmaßnahmen sind hier noch nicht relevant.

Measure (M):

Hier handelt es sich um die Aufnahme der Umgebungsbedingungen, die im Rahmen der Grenzen des betrachteten Systems Relevanz haben. Dazu gehören beispielsweise die aktuell etablierten Kommunikationswege, Wege der unfertigen Arbeitsergebnisse im Produktentwicklungsprozess, Kollaborationsprozesse mit OEM, Zulieferern und Partnern, De-facto-Anreizsysteme im Entwicklungsprozess sowie auftretende Fehlerarten.

Analyze (A):

In diesem Schritt erfolgt die Analyse der zuvor aufgenommenen Daten im Sinne einer Ursachenforschung einerseits und der Abschätzung jeweiliger Auswirkungen andererseits. Dementsprechend sind beispielsweise die Häufigkeit und Struktur der auftretenden Fehler zu untersuchen und die Höhe von Fehlerkosten abzuleiten. Je nach Art der zu analysierenden Daten sind entsprechende, statistisch hinreichende Analysemethoden zu verwenden. Für Details sei auf einschlägige Handbücher zum Thema Six Sigma verwiesen.

Engineering (E):

Im Anschluss an die Konzipierung der Fehlervermeidung als individuell angepasstes Gesamtsystem erfolgt die Implementierung im Unternehmen und gegebenenfalls in den verbundenen Zuliefer- und Partnerunternehmen. Die Erarbeitung der notwendigen organisatorischen Rahmenbedingungen für erfolgreiche Kollaboration im konkreten Einzelfall und anschließende Umsetzung unter Berücksichtigung der Regeln des organisationalen Änderungsmanagements ist ein Beispiel für Tätigkeiten in dieser Phase.

Control (C):

Die fortlaufende Steuerung und Anpassung des Systems stellt sicher, dass auf die Dynamik der Produktentwicklung angemessen reagiert werden kann. Kürzer werdende

Produktentwicklungszyklen sowie die Vielfalt und Fluktuation der Entwicklungspartner führen zu häufigen Veränderungen der internen Anforderungen im Entwicklungsprozess und machen diese Flexibilität und Wandlungsfähigkeit erforderlich. Ein Beispiel für die fortlaufende Anpassung ist die gezielte Verwendung von Gültigkeitsfristen, nach denen eine Prozess- und Methodenvorgabe zu überprüfen und zu verlängern ist oder automatisch ihre Gültigkeit verliert.

Im Anschluss an die Einführung erfolgt der Einsatz im Produktentwicklungsprozess. Dieser gestaltet sich wiederum entsprechend des Six-Sigma-Kernprozesses (DMAIC):

Define (D):

Aus dem Ziel der barrierefreien Kollaboration über Prozess-Schnittstellen hinweg sind in dieser Stufe die Anforderungen an den einzelnen Arbeitsschritt im Produktentwicklungsprozess festzulegen. Dies sind die Schnittstellenanforderungen, die in Unternehmen in der Regel als Prozess- und Methodenvorgaben vorliegen und sowohl qualitativ als auch quantitativ detailliert und operationalisiert werden müssen. Qualitativ operationalisiert wäre beispielsweise die Vorgabe der *Reduktion von Baugruppen mit inkompatiblen Achsensystemen*, die um die quantitative Dimension *maximaler Anteil inkompatibler Baugruppen kleiner ein Prozent* ergänzt werden könnte. Neben dieser Art expliziter Ziele sind auch implizite Ziele in Form der Aufrechterhaltung des Status quo zulässig und sinnvoll. Die daraus resultierende Anforderung wäre im genannten Beispiel die verpflichtende Verwendung rechtshändischer Achsensysteme in CAD-Modellen in Verbindung mit einer Einschränkung der Spiegelungsfunktionalität in betreffenden Autorensystemen.

Measure (M):

Die an Schnittstellen entstehenden Fehler müssen nicht nur behoben, sondern für eine Fehleranalyse auch protokolliert werden. Anders als in der entsprechenden Phase im DMAEC-Prozess steht hier die Aufnahme der Fehler als Einzelereignis und nicht als Fehlerart im Vordergrund.

Analyze (A):

Nach erfolgter Datenaufnahme erfolgt eine Analyse über Fehlerhäufigkeiten und Schadensausmaße sowie entsprechende Fehlervermeidungskosten und Priorisierungen mittels Pareto-Diagramm. Die Analyse dient der gezielten Verbesserung der Entwicklungsprozesse im konkreten Fall, beginnend mit dem nächsten Schritt.

Improve (I):

In dieser Phase erfolgt die Behebung der in der Analyse erkannten Fehler im Einzelfall. Darunter fallen insbesondere notwendige Korrekturschleifen. Sofern die entsprechende Phase im DMAEC-Prozess effektiv durchgeführt wurde, ist es nicht Ziel der Verbesserung, die Fehler derart zu vermeiden, dass die Verbesserung überflüssig wird, da nämlich in diesem Schritt nur Verbesserungsprozesse durchgeführt werden, die weniger Kosten verursachen als die Behebung der Fehlerursachen. Beispielsweise ist die Behebung selten auftretender Fehler eines bestimmten Arbeitsschrittes effizienter, als einen sonst sehr effektiven Arbeitsschritt auf Fehlerfreiheit hin weiterzuentwickeln und dabei hohe Kosten durch Aussetzen des laufenden Prozesses, Testen des neuen Prozesses und gegebenenfalls mehrere Überarbeitungsschleifen zu riskieren.

Control (C):

Diese Phase beschreibt das Alltagsgeschäft der verteilten Produktentwicklung, das in einem System aus unzähligen Schnittstellen stattfindet. Die zuvor etablierten Fehlervermeidungs- und Korrekturmaßnahmen befinden sich im Einsatz und es erfolgt eine fortlaufende Steuerung und Anpassung aller Vorgänge an den einzelnen Schnittstellen im Sinne eines Controlling-Prozesses.

Weiterführend erfolgt der Rücksprung zur Zieldefinition für den einzelnen Arbeitsschritt. Dies beinhaltet die Frage, ob die Schnittstelle noch den Anforderungen gerecht werden kann, die aus den angrenzenden Prozessen an sie gestellt werden, ob eine Überarbeitung nötig ist, oder ob sie möglicherweise gar obsolet geworden sein könnte. Der beschriebene und grundlegend für die Problemstellung ausdetaillierte Prozess kann zur Umsetzung der im Folgenden beschriebenen Methoden des Rahmenwerks dienen. Der Einsatz ist für alle Unternehmensgrößen und -branchen denkbar. Adaptionen können durch den Detailgrad der Ausführung in den Einzelschritten erfolgen.

5.2 Erarbeitung einer Prozessaufnahme und Systemanalyse

"(...) it is tempting, if the only tool you have is a hammer, to treat everything as if it were a nail" [181].

Eine umfassende Bestandsaufnahme in Form einer Systemanalyse ist Voraussetzung dafür, dass nicht althergebrachte augenscheinlich passende Problemlösungen vorschnell zum Einsatz kommen. Die Vorgehensweise, Prozesse an verfügbare Lösungen anzupassen, ist in der Produktentwicklung gängige Praxis [182]. Die Prozessaufnahme („Business Process Mapping“) [183] ist ein wesentlicher Bestandteil der erforderlichen Systemanalyse. Dabei

werden die den Prozess beeinflussenden direkten Entscheidungsgrößen berücksichtigt und die Erkenntnisse in einem Flussdiagramm modelliert. Des Weiteren gehören zur Systemanalyse die Definition von System- und Subsystemgrenzen, Identifikation und Definition der Schnittstellen, Identifikation der dort übertragenen Zu- und Abflüsse der Subsysteme sowie die Identifikation von Nebenbedingungen und Einflussgrößen.

Eine bei der Systemanalyse oftmals vernachlässigte Betrachtungsgröße sind die noch nicht in Form von Ist-Prozessen existierenden Vorgehensweisen. Sie können nur schlecht mit den Mitteln der klassischen Systemanalyse untersucht werden. Daher ist es entscheidend, bei der Neueinführung von Prozessschritten die gleichen Kriterien anzulegen wie bei bereits vorhandenen Prozessen und eine Vorabanalyse durchzuführen. Transparenz im Hinblick auf diese Kriterien erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass vorgeschlagene Prozessanpassungen in den Rahmen der Vorgaben passen oder mit geringfügigen Anpassungen passend gemacht werden können. Notwendige Anpassungen sollten in der Regel bereits vor Prozesseinführung durchgeführt werden.

5.2.1 Identifikation von Schnittstellen

Produktentwicklungsprozesse sind ebenso wie andere informationstechnisch unterstützte Prozesse mit komplexem Umfang meist nicht in Darstellungen mit standardisierter Symbolik vorhanden. Anders als dies beispielsweise bei Prozessen in der chemischen Industrie oder Verfahrenstechnik der Fall ist, wo seit jeher standardisierte, für jede Fachkraft lesbare, vollständige Prozessdarstellungen verwendet werden. Diese Prozesse sind nicht weniger komplex, dennoch können alle relevanten Informationen im gewünschten Detaillierungsgrad unmittelbar entnommen werden. Die Hauptursache für diesen Mangel in der Produktentwicklung ist die relative Neuheit der Prozesse der virtuellen Produktentstehung im Gegensatz zu denen der chemischen Industrie. Dort haben Prozesse im Laufe der vergangenen 200 Jahre einen hohen Reifegrad erreicht.

Nach aktueller Praxis der Produktentwicklung sind aufgrund fehlender Prozessmodellierung die Schnittstellen also nicht direkt identifizierbar. Bei Bedarf besteht die Notwendigkeit, zunächst entsprechende Analysen durchzuführen. Teilweise vorhandene Prozessmodellierungsansätze in Notationen wie ARIS oder SADT sind ein wichtiges Element, jedoch ermangelt es diesen Modellierungen an ausreichender Darstellung der technischen Komponenten in ihren Einzelheiten wie etwa Anforderungen und Formaten von Datei und Inhalt. Ferner sind diese Notationen vorwiegend für die Darstellung überschaubarer Prozessabschnitte tauglich und weniger für die Modellierung zur Visualisierung des Gesamt-Entwicklungsprozesses. Die Schnittstellen-Identifikation wird damit zu einer nicht standardisierbaren Beratungsleistung, die im Vorfeld von internen oder externen Mitarbeitern

durchgeführt, in jedem Fall aber durch unternehmensinterne Expertise unterstützt werden muss. Zu betrachten sind sowohl Schnittstellen zwischen Subsystemen des betrachteten Systems, also innerhalb eines Unternehmensteils oder zwischen einzelnen Unternehmensteilen, als auch solche, die sich mit einer Systemgrenze decken und das System mit der Umwelt in Form von Zulieferern, Subunternehmer, Behörden oder Kunden verbinden.

Zur einfacheren Identifikation und zur anschließenden Analyse der Schnittstellen zwischen entwicklungstechnischen Subsystemen wurden die folgenden vier Arten miteinander verbundener Systeme herausgearbeitet:

- Objekte
- Prozesse
- Werkzeuge
- Personen

Objekte sind die digitalen Modelle als Werkstücke der virtuellen Produktentstehung. Darunter fallen beispielsweise Geometriemodelle, Simulationsmodelle oder auch abstrakte Modelle wie der Produktstrukturbaum oder Anforderungsmodelle, aber auch jegliche weitere Art digitaler und analoger Information und Dokumente. Obgleich viele digitale Modelle eine Entsprechung in den für den Kunden gefertigten, physikalischen Endprodukten haben, werden diese Endprodukte hier nicht betrachtet. Die Bezeichnung Produkte für Objekte ist dennoch nicht falsch, könnte jedoch zu einem eingeschränkten Verständnis führen.

Prozesse bestehen aus einer oder mehreren Tätigkeiten und setzen Eingaben in Ergebnisse um [184]. Als Prozesse sind jeweils die tatsächlichen Abläufe zu verstehen. Diese unterscheiden sich von der Prozessbeschreibung, die in Form einer bestimmten Notation existiert. Eine Reihe von Produktentwicklungsprozessen wurde bereits in Abschnitt 2 (S. 9) aufgeführt. Beispielhaft seien hier nochmals die CAD-Konstruktion, die FEM-Simulation, die Modell-Verifikation mittels DMU und die Dokumentation in Form von Bauunterlagen genannt. Prozesse führen selbst keine Aktivitäten aus. Die Arbeitsschritte innerhalb eines Prozesses können von Personen, Werkzeugen oder einer Kombination aus beiden durchgeführt werden.

„(...) a tool is an entity used to interface between two or more domains facilitating more effective action of one domain upon the other (...)" [185]. Werkzeuge der virtuellen Produktentstehung sind Produktentwicklungswerkzeuge in Form von Autorensystemen wie CAD-Modellierern, Werkzeugen der digitalen Absicherung, Visualisierungssysteme und Simulationswerkzeuge sowie Kooperationswerkzeuge, Assistenzsysteme und auch Softwareanwendungen, die den Betrieb der vorgenannten Werkzeuge ermöglichen oder unterstützen und mit den Anwendern nicht in direktem Kontakt stehen. Dementsprechend sind

Werkzeugschnittstellen die Kontaktstellen zwischen technischen Systemen oder Subsystemen, an denen digitale Modelle und Informationen übergeben werden oder mit deren Hilfe Kommunikation stattfindet.

Personen sind alle am Entwicklungsprozess beteiligten oder mit ihm in Verbindung stehenden Menschen innerhalb und außerhalb des Entwicklungsnetzwerkes. Dazu gehören Entwickler, leitende Angestellte und Administratoren ebenso wie Kunden, Einkäufer, Vertriebsmitarbeiter oder Sachbearbeiter.

Auf höherer organisatorischer Ebene können auch Systemtypen wie Abteilungen, Divisionen oder Unternehmen modelliert werden, jedoch ergibt sich für die Analyse von Schnittstellen-Prozessen dadurch nur ein geringer Mehrwert, da die tatsächlichen Schnittstellen-Aktivitäten immer in Form von Verbindungen der oben genannten Systeme stattfinden. Ein Schnittstellen-Prozess, der das Zusammenspiel zwischen zwei Abteilungen abbildet, ist möglicherweise nicht detailliert genug, um für operationalisierte Verbesserungsmaßnahmen inhaltlich sinnvoll analysiert werden zu können, kann aber dennoch aufschlussreich für bestimmte Personenkreise sein. Ebenso verhält es sich mit der weiteren Untergliederung beispielsweise der Objekte in Dokumente, Informationen und Modelle unterschiedlicher Art. Prinzipiell ist eine weitere Differenzierung möglich, wird aber hier nicht weiter betrachtet.

5.2.2 Klassifizierung von Schnittstellen

Aus der beschriebenen Aufteilung der an Schnittstellen angrenzenden Systeme ergeben sich die folgenden Schnittstellenbeziehungen:

- Objekt - Objekt
- Prozess - Prozess
- Person - Person (formell oder informell)
- Werkzeug - Werkzeug
- Person - Werkzeug
- Objekt - Werkzeug
- Person - Objekt

Die Reihenfolge der Nennung ist wertfrei. In allen Fällen kann die Ausprägung in Form von n-zu-n Beziehungen existieren.

Prozesse agieren nicht direkt mit anderen Systemen, sondern werden durch Personen oder Werkzeuge instanziiert. Daher befinden sich Prozesse auf einem höheren Betrachtungslevel als Personen und Werkzeuge und haben keine zu betrachtenden Schnittstellen zu diesen. Analog dazu werden Objekt-Prozess-Schnittstellen nicht untersucht, da Prozesse jeweils in

einer konkreteren Ausprägung, nämlich einer Person oder einem Werkzeug, analysiert werden können.

Objektschnittstellen sind Verbindungsstellen zwischen physischen oder digitalen Objekten. Übertragen werden können Energie, Materie und Information und damit alle aus der Systemanalyse bekannten Elemente. Anders als im Fall physischer Produkte in der Fertigung oder digitaler Objekte bei der Entwicklung in kleinen Unternehmen gibt es zwischen komplexen Objekten in der verteilten Produktentstehung, also den digitalen Informationen in Form von Dokumenten und Modellen, selten direkte Schnittstellen. Diese Schnittstellen werden vom Produktdatenmanagement (PDM)-System verwaltet und sind Hauptgegenstand bei der Modell- und Informations-Integration. Werden Objekte wie Bauteil- oder Baugruppen tatsächlich in ein integriertes Modell zusammengeführt, wie dies bei der Erstellung digitaler Mock-ups (DMU) oder komplexer Simulationsmodelle oftmals der Fall ist, dann existieren faktische Verbindungsschnittstellen zwischen diesen Objekten. Des Weiteren ist die Weiterverarbeitung eines Objektes zu einem anderen Objekt ebenfalls als Schnittstelle zwischen diesen Objekten zu betrachten.

Prozess-Schnittstellen können im konkreten Fall in Form von Personenschnittstellen oder Werkzeugschnittstellen ausgestaltet sein. Auf der Ebene des Prozesses betrachtet, werden an der Schnittstelle Zustände übertragen oder übergeben. Die definierte Übergabe dieser Zustände ist Gegenstand der Prozessintegration und der vorliegenden Arbeit. Bei der Werkzeugschnittstelle ist das übertragene Element das Werkstück, welches in der hier untersuchten verteilten Produktentwicklung das bereits oben genannte digitale Objekt oder Modell ist. Personenschnittstellen als konkretisierte Form der Prozess-Schnittstellen bedienen sich als Übertragungselement der Kommunikation, die wiederum formeller oder informeller Natur sein kann.

Personen-Schnittstellen übertragen formelle oder informelle Kommunikation nach FRINDTE. Die formelle Kommunikation mit struktureller Vorgabe von Anlass und Verlauf unterscheidet sich von der informellen Kommunikation mit eigendynamischer Entwicklung von Anlass und Verlauf durch die Beiträge der Kommunikationsteilnehmer [186]. In der verteilten Produktentwicklung sind etwa Design-Reviews, Projekt-Meilensteine oder Quality-Gates gekennzeichnet durch einen hohen Anteil formeller Kommunikation. Dahingegen stellt ein fachliches Gespräch am Mittagstisch informelle Kommunikation dar. Informelle Kommunikation kann, muss aber keineswegs außerberuflich sein. Speziell die Beschreibung und Analyse von Schnittstellen der formellen und informellen Kommunikation als Kooperationsschnittstellen in Unternehmen wurden bereits vielfach untersucht [43]. Für Details wird daher auf die einschlägige Literatur, beispielsweise zur Netzwerkanalyse, verwiesen.

Werkzeug-Schnittstellen beschreiben die Übergabe von Werkstücken, im betrachteten Kontext um digitale Modelle, aus einer Werkzeugumgebung in dem dieser Umgebung entsprechenden Format oder einem Standardformat in eine andere Werkzeugumgebung. Bei integrierten Systemen liegt hier eine Schnittstelle zwischen Subsystemen, also innerhalb des Systems *Werkzeug* vor. Diese Schnittstellen sind oftmals Ursprung umfangreicher Prozess- und Methodenvorgaben, da die korrekte Interpretation digitaler Modelle in Spezialanwendungen meist nur dann möglich ist, wenn im Autorensystem strenge Vorgaben konsequent beachtet wurden. Beispielsweise stellt die Vernetzung für FEM-Simulationen hohe Anforderungen hinsichtlich geometrischer und topologischer Konsistenz der Geometrie, passendem Detaillierungsgrad und einheitlicher mathematischer Repräsentationsformen [187]. Nach WÖHLER lautet die Anforderung an die Modelle, „wasserdicht“ zu sein [188].

Neben diesen Schnittstellen zwischen gleichartigen Systemen (homogene Schnittstellen) gibt es Schnittstellen zwischen unterschiedlichen Systemarten (heterogene Schnittstellen), wie dies bei der Person-Werkzeug-Schnittstelle der Fall ist. In der modernen Produktentwicklung ist diese meist durch grafische Benutzeroberflächen von Softwareanwendungen implementiert und durch weitere Ein- und Ausgabegeräte wie Computermäuse, Grafiktablett und Audiohardware ergänzt. Vermehrt werden auch Interfaces wie Datenhandschuhe, Stereovisualisierungen mittels CAVE Augmented Virtual Environment (CAVE) oder Holobench, Werkzeuge mit Force Feedback und kombinierte Ein- und Ausgabegeräte wie Multitouch-Monitore und Tische verwendet.

Eine weitere heterogene Schnittstelle ist die Werkzeug-Objekt-Schnittstelle, die der Bearbeitung des Objektes durch das Werkzeug dient. Darunter sind in erster Linie automatische Bearbeitungen wie Formatkonvertierungen, Simulationsberechnungen oder die Ableitung von 2D-Fertigungszeichnungen aus 3D-Modellen zu verstehen. In zweiter Linie sind auch Fälle zu betrachteten, in denen Entwickler die Werkzeuge bedienen, welche letztlich das Objekt modifizieren. Hier liegt ein Überschneidungsbereich zwischen der Werkzeug-Objekt- und der Person-Objekt-Schnittstelle vor. Je nach konkreter Zielsetzung der Analyse ist zu entscheiden, welche Art der Schnittstelle im betrachteten Kontext vorliegt.

Bei der Person-Objekt-Schnittstelle kann einerseits die Bearbeitung eines Objektes durch eine Person betrachtet werden, andererseits die entsprechende Verantwortlichkeit. Aufgrund der anzunehmenden hohen Zahl der Einzelobjekte im Produktentwicklungsprozess sollte auf die Betrachtung unterschiedlicher Objekttypen abgestellt werden, beispielsweise CAD-Modelle, Anforderungsdokumente, Modellpakete für einen bestimmten Kunden oder Stücklisten. Die sinnvolle Wahl der Betrachtungsebene hängt stark vom Einzelfall ab.

5.2.3 Klassifizierung der verbundenen Systeme

Neben der Klassifikation der Systeme und Schnittstellen trägt die Anzahl der an ein System gekoppelten Schnittstellen, unterschieden nach Eingangs- und Ausgangsströmen, wesentlich zur Analyse des Fehlerpotenzials bei. Abbildung 30 zeigt die Klassifikation der Systeme nach Anzahl der verbundenen Schnittstellen in einem Vierquadranten-Schaubild.

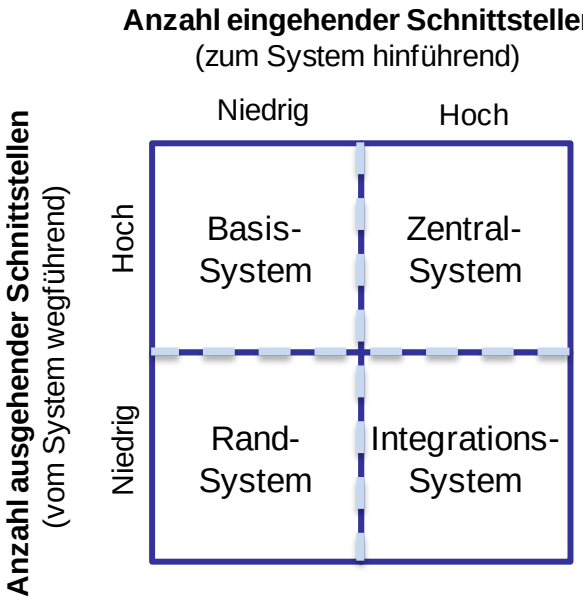


Abbildung 30: System-Klassifikation nach Schnittstellenanzahl

Aus dem Zusammenspiel der erarbeiteten Systematiken ergibt sich ein dreidimensionaler Klassifikationsraum mit den Dimensionen

- Klassifikation des Systems,
- Anzahl eingehender Schnittstellen,
- Anzahl ausgehender Schnittstellen.

Abhängig von den Umständen der betrachteten Situation im Unternehmen im Einzelfall kann jede Position in diesem Klassifikationsraum einen besonderen, relevanten Informationsgehalt aufweisen. Innerhalb dieser potenziell betrachtenswerten Positionen ist eine Reihe von Systemen und Eigenschaften im Rahmen der verteilten Produktentwicklung von besonderer, generalisierbarer Bedeutung. Einige davon werden im Folgenden näher beschrieben.

<u>Basis-Objekt</u>

System:	Objekt
Anzahl eingehender Schnittstellen:	Gering
Anzahl ausgehender Schnittstellen:	Hoch

Basisobjekte haben viele ausgehende Schnittstellen, wodurch Änderungen am Objekt große Auswirkungen auf angrenzende Schnittstellen und verbundene Systeme haben können. Gegebenenfalls sind in hohem Maße Anpassungen der angrenzenden Schnittstellen und Systeme notwendig. Änderungen sind daher teuer und mit erhöhtem Risiko verbunden. Anforderungen sollten möglichst früh in der Entwicklung umgesetzt und streng kontrolliert werden. Eine Beeinflussung durch andere Systeme ist aufgrund der geringen Anzahl eingehender Schnittstellen kaum gegeben. Konzeptmodelle und andere Modelle der frühen Entwicklungsphase sowie Benennungsregeln für digitale Modelle können Beispiele für Basis-Objekte sein.

Rand-Objekt

System:	Objekt
Anzahl eingehender Schnittstellen:	Gering
Anzahl ausgehender Schnittstellen:	Gering

Rand-Objekte haben wenige Einflüsse auf angrenzende Schnittstellen und Systeme. Anpassungen haben nur eine geringe Zahl von Auswirkungen. Im Hinblick auf die Schnittstellenproblematik sind Rand-Objekte unkritisch. Spezialmodelle, die nur in einer begrenzten Anzahl an Fällen aus jeweils ähnlichen Modelltypen abgeleitet werden, wären als Rand-Objekte zu bezeichnen. Einige unternehmensspezifische CAD-Makros besitzen diesen Charakter. Features in der Bauteilmodellierung können ebenfalls Rand-Objekte darstellen. Es bleibt zu prüfen, ob diese Objekte in Kontakt mit Integrations- oder Basis-Objekten stehen und somit möglicherweise eine versteckte Brückenfunktion ausüben. In diesem Fall besteht ein ähnlicher Charakter wie bei Zentral-Objekten.

Integrations-Objekt

System:	Objekt
Anzahl eingehender Schnittstellen:	Hoch
Anzahl ausgehender Schnittstellen:	Gering

Integrations-Objekte müssen viele Nebenbedingungen anderer Systeme erfüllen. Späte Anpassungen sind daher oftmals erforderlich. Diese Objekte haben geringen Einfluss auf die Schnittstellenproblematik, sind aber stark von ihr betroffen. Digitale Mock-ups (DMU) können als Paradebeispiel des Integrations-Objektes bezeichnet werden. Weitere Vertreter sind beispielsweise Rapid Prototyping Modelle.

Zentral-Objekt

System:	Objekt
Anzahl eingehender Schnittstellen:	Hoch
Anzahl ausgehender Schnittstellen:	Hoch

Zentral-Objekte zeichnen sich aus durch eine Vielzahl eingehender und ausgehender Schnittstellen. Sie sind sowohl hinsichtlich der Einflüsse auf Schnittstellen und Schnittstellen-Prozesse als auch hinsichtlich der Beeinträchtigung durch Schnittstellen und Schnittstellen-Prozesse von großer Relevanz. Ob ein Objekt den Charakter eines Zentral-Objektes besitzt, hängt stark vom betrachteten Unternehmenskontext und auch stark vom entwickelten Produkttyp und Produkt ab. Die integrierte modulare Avionik (IMA) ist eine zentrale Kommunikations- und Steuerungseinheit im Flugzeugbau. Erfolgt im Entwicklungsprozess eine umfangreiche Integration zugrundeliegender Modelle im IMA-Modell und wird das IMA-Modell auch als Referenz für weitere Modelle im Entwicklungsprozess verwendet, so handelt es sich hierbei um ein Zentral-Objekt. Es steht in Wechselwirkung mit einer Vielzahl von Systemen, wobei Nebenbedingungen jeweils in eine oder teilweise beide Richtungen erfüllt werden müssen.

Basis-Prozess

System:	Prozess
Anzahl eingehender Schnittstellen:	Gering
Anzahl ausgehender Schnittstellen:	Hoch

Da bei Prozessen anders als bei Objekten und Personen eine klare Richtung, nämlich im Sinne der ablaufenden Zeit, impliziert ist, treten Basis-Prozesse vorwiegend am Anfang der Prozesskette auf. Ungeachtet möglicher Frontloading-Ansätze ist es Ziel der Prozessintegration, die Anzahl von Basis-Prozessen ohne eingehende Schnittstellen zu reduzieren. Derzeit finden unzählige Autorensysteme Einsatz, mit deren Hilfe jeweils neue Modelle von Grund auf erzeugt werden. Anschließende Integrationsbemühungen sind entsprechend aufwendig. Hier handelt es sich in vielen Fällen um Basisprozesse, die als Grundlage für unzählige weitere Prozesse dienen.

Rand-Prozess

System:	Prozess
Anzahl eingehender Schnittstellen:	Gering
Anzahl ausgehender Schnittstellen:	Gering

Prozesse, die wenige ein- und ausgehende Schnittstellen besitzen, sind tendenziell unkritisch im Hinblick auf potenzielle Schnittstellen-Fehler. Ähnlich wie bei Rand-Objekten besteht jedoch das Risiko einer versteckten Brückenfunktion. Die Kollisionsberechnung kann ein Randprozess sein. Auch beim Datenaustausch auf tiefster technischer Ebene liegt diese Vermutung nahe, jedoch handelt es sich hier eher um einen Brückenprozess, da in der Regel ein umfangreicher Integrationsprozess vorausgeht und ein entsprechender Basisprozess folgt. Bei der Integration werden Daten an unterschiedlichsten Schnittstellen aufgenommen, die im Anschluss an den Datentransfer in einem Basisprozess wiederum über eine Vielzahl weiterer Schnittstellen in Folgeprozesse eingespeist werden.

Integrations-Prozess

System:	Prozess
Anzahl eingehender Schnittstellen:	Hoch
Anzahl ausgehender Schnittstellen:	Gering

Integrations-Prozesse finden sich meist am Ende der Zeitachse und schließen einzelne Prozesspfade ab oder haben nur noch in Einzelfällen Auswirkungen auf andere Prozesse. Sie treten hauptsächlich dergestalt mit Prozess-Vorgängern in Interaktion, dass aus ihnen Prozess- und Methodenvorgaben erwachsen. Änderungen der Prozesse haben beschränkte Auswirkungen auf das Entwicklungsnetzwerk und sind mit geringem Risiko im Hinblick auf Schnittstellenprobleme verbunden. Die Ausleitung einer Produktdokumentation aus den 2D- oder 3D-CAD-Daten kann ein Beispiel für einen Integrationsprozess darstellen.

Zentral-Prozess

System:	Prozess
Anzahl eingehender Schnittstellen:	Hoch
Anzahl ausgehender Schnittstellen:	Hoch

Der stärkste Grad der Vernetzung liegt bei Zentral-Prozessen vor, die eine Vielzahl von Prozess-Vorgängern und -nachfolgern besitzen. Freigaben haben beispielsweise diesen Charakter, wenn viele unterschiedliche Zwischenergebnisse einen zentralen Freigabeprozess durchlaufen und anschließend wiederum verschiedensten Bearbeitungspunkten zurückgeführt werden.

Grundsätzlich handelt es sich bei den gewählten Beispielen lediglich um mögliche Vertreter der beschriebenen Systeme. Im Unternehmen ist eine detaillierte Analyse der konkreten Systeme notwendig. Ein Prozess, der in einem Unternehmen als Zentralprozess ausgeprägt

ist, kann in einem anderen Anwendungsfall als Rand-Prozess vorliegen oder völlig fehlen. Abgesehen von wenigen Ausnahmen, wie etwa dem Freigabeprozess, der vermutlich in jedem Entwicklungsunternehmen vorkommt und ähnlichen Charakter hat, sind die zu erwartenden Ergebnisse der Untersuchung ausnehmend spezifisch.

Die auf der Netzwerktheorie basierende Analyse sozialer Netzwerke („Social Network Analysis“) befasst sich eingehend mit den Systemen und Schnittstellen der sozialen Interaktion [189] und deckt dabei auch die formelle und informelle Kommunikation ab, weshalb von einer näheren Betrachtung im Rahmen dieser Arbeit abgesehen wird. Zusammenfassend seien lediglich die Rollen Informationsverteiler und Informationssammler sowie stark und schwach vernetzte Kommunikationsteilnehmer genannt, die jeweils im Bezug auf formelle und informelle Kommunikation existieren können.

5.2.4 Definition der Schnittstellen

Grundsätzlich kann eine Definition synthetischer oder analytischer Natur sein [190-192]. Während die synthetische Definition im Rahmen einer Konzeptbildung stattfindet, dient der zweite Fall der Konzept- oder Systemanalyse. Zeitlich gesehen geht die Konzeptbildung der Konzeptanalyse immer voraus [191]. Beispiele zur synthetischen und analytischen Form sind die Anforderungsdefinition bzw. die Definition von Systemgrenzen. Kann eine Schnittstelle identifiziert werden (vgl. Abschnitt 5.2.1, S. 101), so ist sie bereits vorhanden und bekannt. Sie kann nunmehr ausschließlich analytisch definiert werden. Synthetische Definitionen sind erforderlich, wenn im bestehenden System bisher nicht definierte Schnittstellen neu ausgearbeitet und aufgebaut werden sollen. Mit anderen Worten kann eine Schnittstelle während der Schnittstellenentwicklung, also bei ihrer Entstehung (ex ante), oder im Zuge einer Schnittstellenuntersuchung, also nach ihrer Entstehung (ex post), definiert werden. Das Ergebnis ist in beiden Fällen eine möglichst detaillierte Schnittstellenbeschreibung.

Schnittstellen können top-down oder bottom-up definiert werden. Bei der Bottom-up-Methode definiert, wie in Abbildung 31 dargestellt, der Vorgänger-Prozess (I) den Nachfolge-Prozess (II) oder umgekehrt. Bei der Top-down-Methode werden die Attribute von einer außenstehenden Position definiert. Die Top-down-Definition kann beispielsweise in der Festlegung der Charakteristika durch eine Abteilung geschehen, die über den Abteilungen der betroffenen Prozesse I und II steht. Dies ist im beschriebenen Kontext jedoch gerade nicht sinnvoll, da die Schnittstelle in der Regel unterschiedliche Spezialgebiete überbrückt. Eine Definition von außen birgt daher ein äußerst hohes Fehlerrisiko und ist meist nicht adäquat möglich. Bei der Bottom-up-Definition erfolgt die Definition der Schnittstelle in Form einer Anforderungsbeschreibung vom Downstream-Prozess, welcher in diesem Beispiel Prozess II ist.

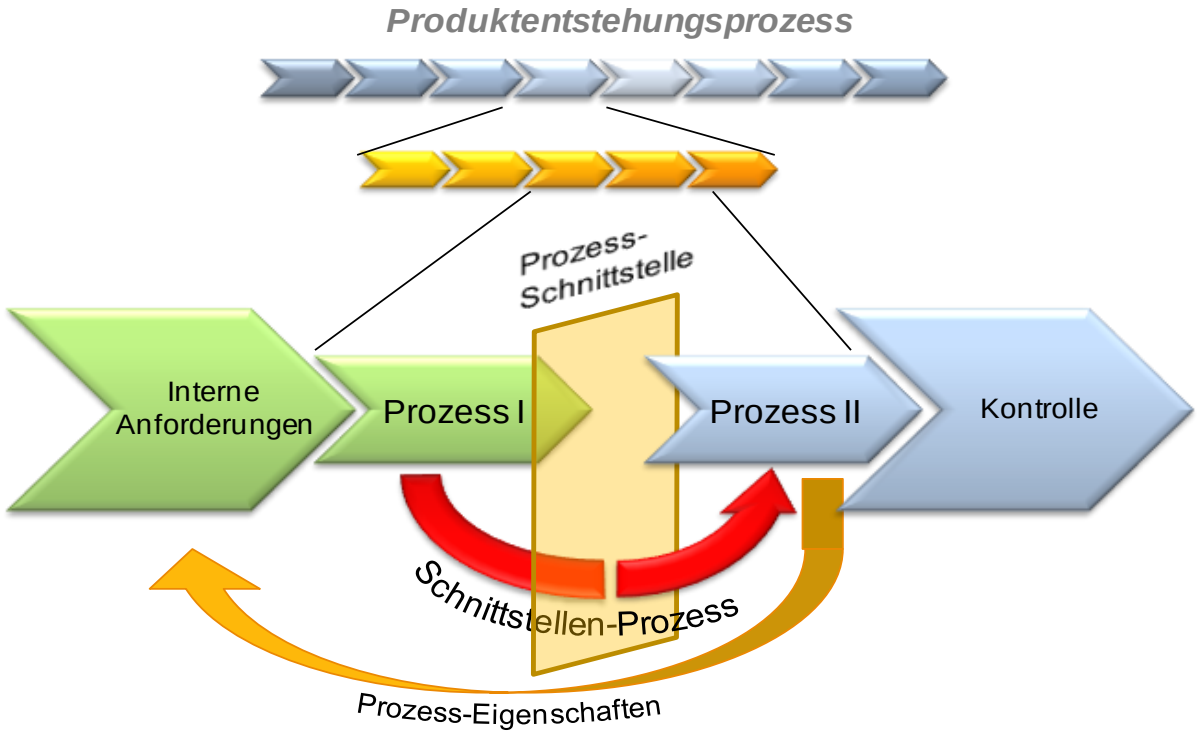


Abbildung 31: Die Prozess-Schnittstelle im Produktentwicklungsprozess

Die Sichtweisen Top-down und Bottom-up beziehen sich also auf unterschiedliche Dimensionen, nämlich auf die Aufbauorganisation im Top-down-Fall und auf die Ablauforganisation im Bottom-up-Fall.

Unabhängig von der Art der Definition der Schnittstelle kann die Beziehung zwischen den an die Schnittstelle angrenzenden Prozessen in Anlehnung an die „Design by Contract"-Methode der Softwaretechnik nach MEYER [87, 193] vertraglich verstanden werden. Ein Unterschied liegt im Fokus der Betrachtung, der bei Design by Contract auf dem Einzelsystem zwischen den Schnittstellen liegt und im hier betrachteten Fall auf der Schnittstelle zwischen den Einzelsystemen. Vorbedingungen werden daher nicht explizit betrachtet, behandeln jedoch implizit die Arbeitsweise eines Systems. Nachbedingungen sichern den Schnittstellen-Prozess ab und entsprechend den Anforderungen, die an den vorhergehenden Prozess gestellt werden. Invarianten werden nicht näher betrachtet.

5.2.5 Schnittstellen-Analyse mithilfe der Strickleiter-Methode

In diesem Abschnitt werden Kombinationen aus Schnittstellen und den angrenzenden Systemen im Hinblick auf tatsächlich vorhandene und möglicherweise auftretende Interaktionseffekte untersucht. Im ersten Schritt werden nicht definierte Schnittstellen-Prozesse und Inkonsistenzen aufgedeckt. Die Gründe für Inkonsistenzen und mangelnde

Schnittstellendefinitionen sind im konkreten Fall näher zu untersuchen, da sie oftmals Fehlerpotenziale bergen, jedoch nicht in jedem Fall einen Mangel darstellen.

Für diese Analyse wurde die *Strickleiter-Methode* (Rope Ladder Analysis) zur Konsistenzprüfung entwickelt, die auf der Abgleichsmatrix („Alignment-Matrix“) nach SOSA [194] basiert und auch Grundlagen der „Design Struktur Matrizen (DSM)“ und „Multi Domänen Matrizen (MDM)“ [195-197] verwendet. Die Funktionalität der Abgleichsmatrix nach SOSA wurde in mehrfacher Hinsicht weiterentwickelt und auf die Problemstellung konkretisiert:

- Erweiterung des Fokus von der Kommunikationsfehler-Identifikation zur Analyse und Bewertung verschiedener Schnittstellenklassen
- Adaption von der Analyse statischer Objekt-Schnittstellen zur Prozess-Analyse
- Integration der Untersuchung von Werkzeug-Schnittstellen
- Untergliederung in formelle und informelle Kommunikation

Das Vorgehen erfolgt in fünf Hauptschritten, die auf den folgenden Seiten ausführlich erläutert werden:

(1) Auswahl der zu untersuchenden Systeme
(2) Analyse:
    a) Analyse innerhalb der ausgewählten System-Arten auf homogene Prozess-Schnittstellen
    b) Analyse der heterogenen Schnittstellen zwischen den Systemarten
    c) Mathematische Dimensionsangleichung
    d) Analyse der Beziehungen auf Inkonsistenzen
(3) Zuordnung der Ergebnisse zu den betreffenden bearbeitenden und verantwortlichen Personen
(4) Bewertung der aufgedeckten Inkonsistenzen
(5) Anpassung der Schnittstellen hinsichtlich erkannter Inkonsistenzen

Bei der *Auswahl* (1) der zu untersuchenden Systeme sind zwei Entscheidungen zu treffen. Einerseits sind Systemgrenzen zu bestimmen, die den Rand der Betrachtung festlegen. Zum Zweiten sind die zu untersuchenden Systemarten zu definieren. Wie in Abschnitt 5.2.1 (S. 101) beschrieben, wird im betrachteten Kontext die Unterscheidung in Objekte, Prozesse, Werkzeuge und Personen als sinnvoll erachtet, wobei bei Personen die formelle und informelle Kommunikation zu unterscheiden ist. Damit ergeben sich fünf Tritte auf der Strickleiter. Ähnlich wie dies bei der Jakobsleiter in Abbildung 32 der Fall ist, bestimmt die breite der Tritte, also die Größe des betrachteten Systems bis zur Systemgrenze, die Stabilität der Betrachtung. Zu eng gesteckte Systemgrenzen verkennen die grundlegende Problematik der verteilten Produktentwicklung, die gerade in den weit verteilten Abhängigkeiten besteht.

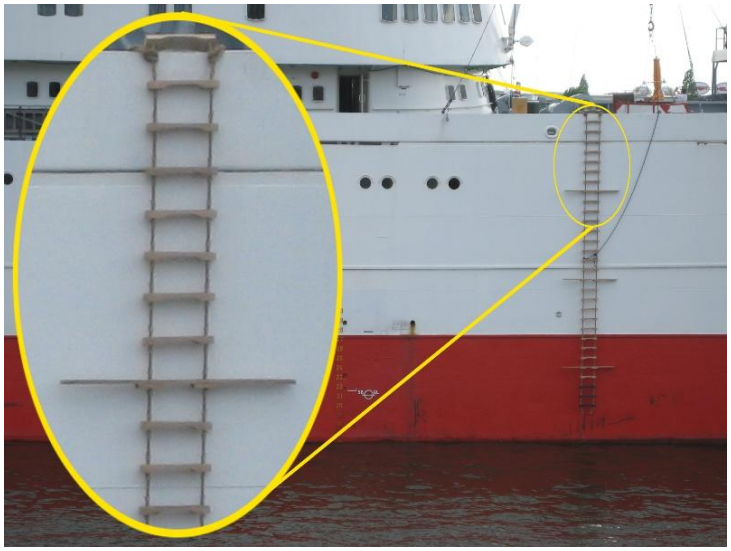


Abbildung 32: Jakobsleiter mit breiten Stabilisations-Tritten

In der *Analysephase* (2a) wird für jede Systemart eine eigene Matrix in quadratischer Form gewählt. Die Hauptdiagonale der Matrix hat, wie bei Verkehrsnetzmatrizen üblich, keine Aussagekraft, da sie lediglich die Systeme auf sich selbst referenziert. Als Leserichtung soll die in Europa üblichere Form verwendet werden. Damit führt der Weg jeweils vom Zeilenelement zum Spaltenelement. Die in Abbildung 33 dargestellte systemartunabhängige Matrix entspricht einer Design Structure Matrix.

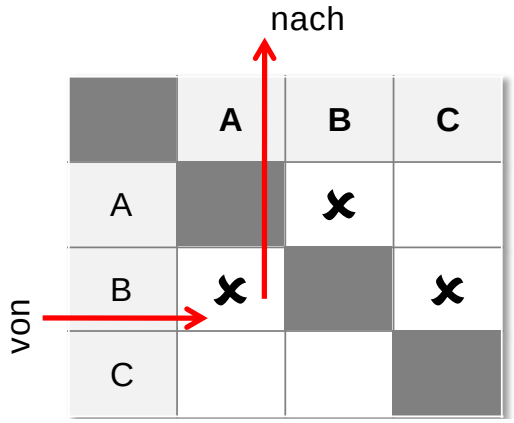


Abbildung 33: Matrix zur Darstellung der Schnittstellen zwischen A, B und C

Die dargestellte Matrix trifft die Aussagen:

- A hat eine Schnittstelle zu B, jedoch nicht zu C.
- B hat eine Schnittstelle zu A und C
- C hat keine Schnittstellen zu A und B

Diese Matrix ist für jede ausgewählte Systemart mit entsprechenden Schnittstellen-Informationen zu befüllen, was der Analyse homogener Schnittstellen (2a) entspricht.

Abbildung 34 zeigt symbolisch einige befüllte Matrizen für die vorab ausgewählten Systemarten.

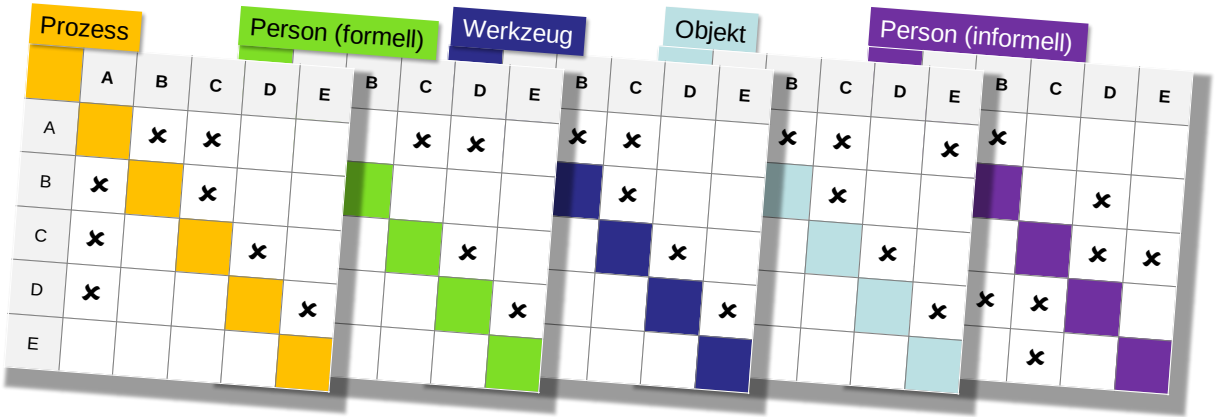


Abbildung 34: Befüllte Design Structure Matrices

Als Prozess sind die tatsächlichen Abläufe, nicht die Prozessdefinitionen im Sinne der dokumentierten Prozesse zu verstehen. Dokumentiert wird der Ablauf von einem Prozess zum nächsten. Alle anderen Systemarten werden entsprechend des tatsächlichen Auftretens dokumentiert. Wie in allen untersuchten Fällen sind auch die Schnittstellen zwischen Objekten als Prozess-Schnittstellen zu verstehen. Sie beschreiben den Übergang eines Objektes in ein anderes Objekt. Eine Untersuchung statischer Verknüpfungen zwischen Objekten ohne Prozessaspekte, beispielsweise die reine Kopplung, wird bei der Prozessanalyse nicht durchgeführt. Die Personen-Matrizen behandeln hier ausschließlich Kommunikationsaspekte.

Mithilfe von „Domain Mapping Matrizen (DMM)“ [198] werden anschließend die heterogenen Schnittstellen analysiert und dokumentiert (2b). Anders als DSM sind DMM nicht notwendigerweise quadratisch. Entsprechend der in Abschnitt 5.2.2 (S. 103) ausgeführten Klassifizierung der Schnittstellen in der verteilten Produktentwicklung bleiben einige Schnittstellen unberücksichtigt. Die so entstehende Multiple Domänen Matrix (MDM) in ausgedünnter Form ist in Abbildung 35 dargestellt und wird im Folgenden näher erläutert.

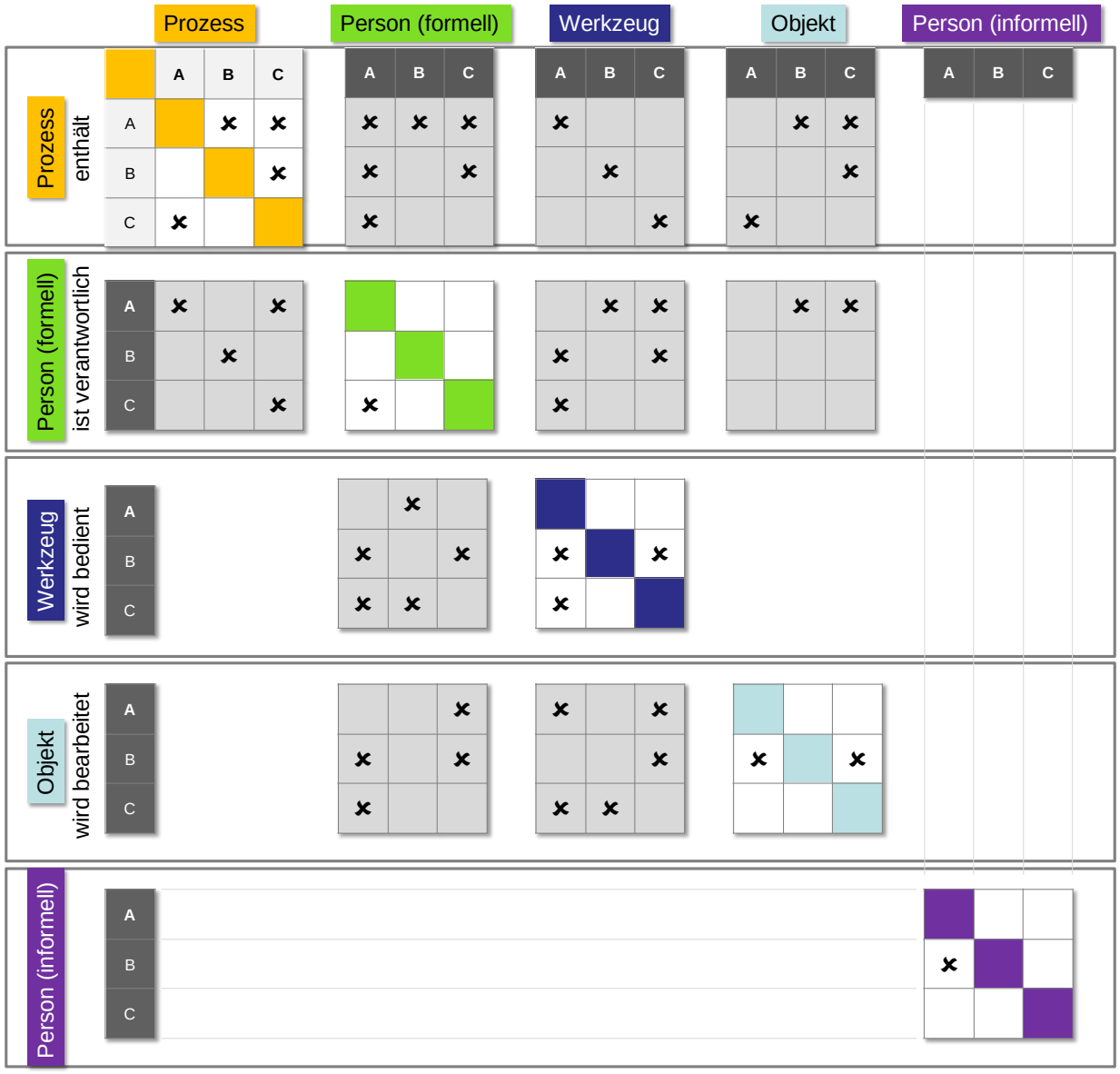


Abbildung 35: reduzierte Multiple Domain Matrix

Die Hauptdiagonale enthält die bereits beschriebenen DSM mit Informationen zu homogenen Schnittstellen. Heterogene Schnittstellen sind an den übrigen Stellen der Matrix in den Domänen Mapping Matrizen (DMM) dargestellt. Durch die konkrete Benennung der Beziehungen an der vertikalen Achse können zwei bidirektional unterschiedliche Beziehungen dargestellt werden. Somit kann abgebildet werden, dass ein Werkzeug von einer Person bedient werden kann, und auch, dass eine Person verantwortlich für ein Werkzeug sein kann. Diese Beziehungen sind ausschließlich für heterogene Schnittstellen gültig. Der Zusatz *formell* gilt hingegen ausschließlich für die Beschreibung der homogenen Schnittstellen in der entsprechenden DSM. Nicht sinnvoll interpretierbare Beziehungen wie etwa die informelle Kommunikation zu technischen Systemen bleiben unberücksichtigt und dadurch leer.

In der Regel entstehen im Ergebnis Matrizen mit unterschiedlichen Zeilen- und Spaltendimensionen. Eine durchgängige Übereinstimmung aller Zeilen- und Spaltendimension würde die Gleichheit der Anzahl aller Systeme je Systemart erfordern. Es müsste also exakt die gleiche Anzahl an Prozessen, Objekten, Werkzeugen und aller anderen Systeme je Systemart geben. Um dennoch eine Vergleichbarkeit der Matrizen zu erreichen, ist eine Angleichung der Dimensionen (2c) erforderlich. Dies geschieht durch die Linearisierung aller Einzelschnittstellen. Gibt es beispielsweise ein Werkzeug (A), das drei unterschiedliche Objekte (x, y, z) bearbeitet, so hätte die Werkzeug-Matrix weniger Einträge als die Objekt-Matrix. Durch die Erzeugung einzelner Werkzeugkopien für die jeweiligen Objekte entstehen drei unabhängige Verbindungen:

- Werkzeug Ax – Objekt x
- Werkzeug Ay – Objekt y
- Werkzeug Az – Objekt z

Im Ergebnis entsteht ein Satz aus Matrizen, die in ihren Dimensionen identisch sind, jedoch gegenüber dem Zustand vor der Transformation keine Information verloren haben.

Der nun folgende Schritt der Prüfung auf Inkonsistenzen (2d) verdeutlicht die Herkunft der Bezeichnung *Strickleiter-Methode*. Wie in Abbildung 36 dargestellt, werden die jeweils übereinanderliegenden Felder der Matrix auf das Vorhandensein entsprechender Verknüpfungen untersucht. Bei maximaler Übereinstimmung hat jeder Strick Haltepunkte in jeder Matrix. Fehlende Haltepunkte führen bei der Strickleiter zur Instabilität, bei den betrachteten Entwicklungsnetzwerken möglicherweise zur Häufung von Schnittstellen-Fehlern. Die Konsistenz der Schnittstellenbeziehung würde bedeuten, dass parallel verlaufende Schnittstellen zwischen allen Systemarten existieren und diese entsprechend bekannt sind. Konsistente Schnittstellenbeziehungen sind tendenziell am wenigsten fehleranfällig, da sie von mehreren Seiten abgesichert sind.

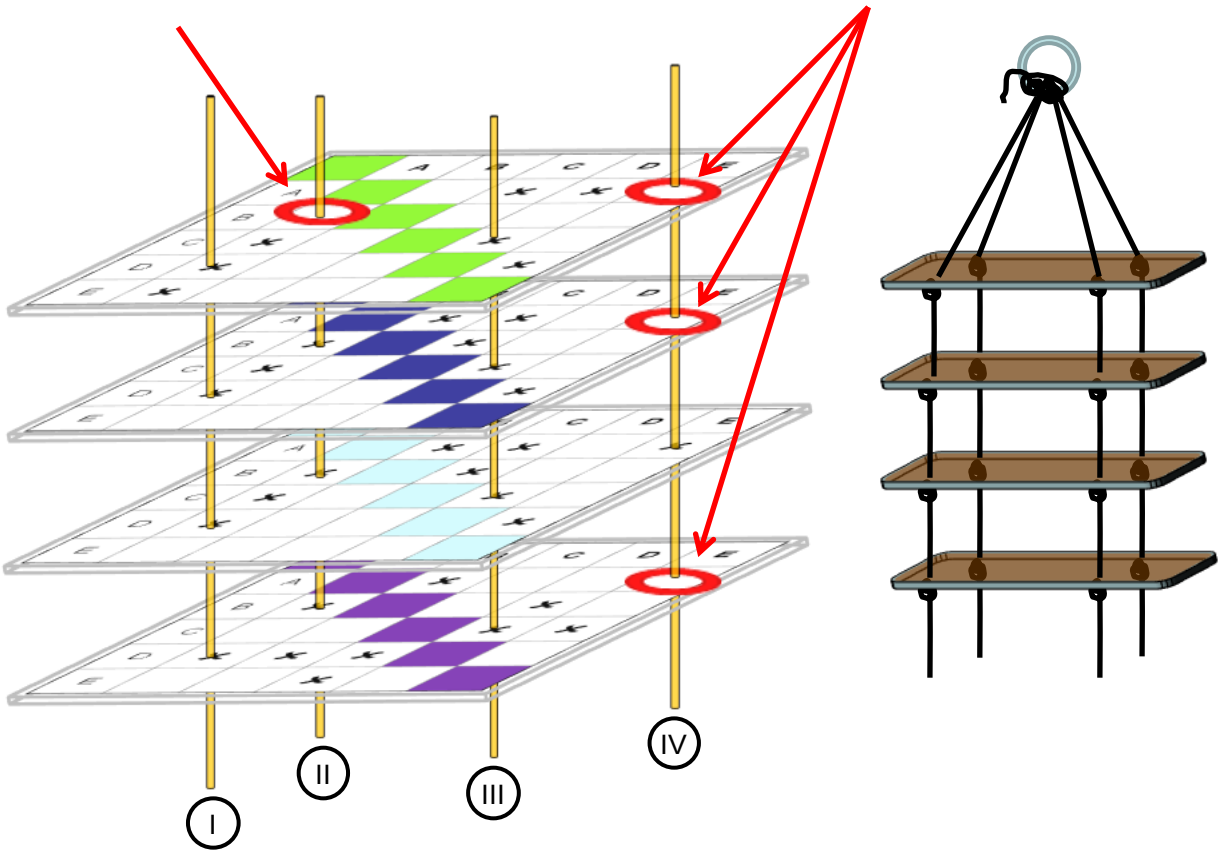


Abbildung 36: Prüfung auf Inkonsistenzen mithilfe der Strickleiter-Methode

Verbindungsstrick I und Verbindungsstrick III sind vollständig in allen Matrizen verbunden. Fehlende Verknüpfungen sind bei den Stricken II und IV zu erkennen und jeweils rot markiert. An diesem Punkt des Vorgehens ist die Feststellung der Inkonsistenzen noch wertfrei. Eine Beurteilung im Hinblick auf mögliche Risiken erfolgt erst im vierten Schritt.

Gegebenenfalls nicht fluchtende, aber zusammengehörige Verknüpfungen lassen sich durch Neuanordnung der Matrix zur Deckung bringen. Ähnliches geschieht beim Clustern von DSM, jedoch mit einer anderen Zielstellung, nämlich der Identifikation stark vernetzter Matrixelemente [198].

Mit den nächsten beiden Schritten erfolgt die *Zuordnung* der Matrizen zu den bearbeitenden und zu den verantwortlichen Personen (3) sowie die *Bewertung* der identifizierten Inkonsistenzen durch diese Personen (4). Die Bearbeiter und Verantwortungsträger haben in der Regel die notwendige Expertise, um über die Notwendigkeit der Verknüpfungen zwischen einzelnen Systemen urteilen zu können. Beispielhaft werden im Folgenden einige mögliche Untersuchungsergebnisse erläutert:

Schwache Gruppenidentität

Abweichende Schnittstellen der formellen und informellen Kommunikation deuten auf mangelnde Teambildung und mangelndes Gruppenverständnis zusammenarbeitender Personen hin. Maßnahmen der Organisationsentwicklung können hier Abhilfe schaffen.

Mangelnde Steuerbarkeit der Prozesse

Fehlende Verantwortlichkeiten verhindern die gezielte Eskalation im Problemfall und bergen das Risiko nicht steuerbarer Prozessabläufe. Eine Unternehmenspolitik hoher Eigenverantwortung der Mitarbeiter steht der Notwendigkeit definierter Verantwortlichkeiten nicht entgegen.

Unnötige Prozesse:

Fehlende Bearbeiter oder fehlende Schnittstellen zu Werkzeugen im Folgeprozess deuten auf Artefakte hin, die möglicherweise aufgrund eingefahrener Prozesse zwar erstellt, aber im weiteren Verlauf nicht weiter verwendet werden. Beispielsweise können automatische Geometrie-Konvertierungen, statistische Berechnungen und Routinen der Berichterstellung Prozesse sein, die Ergebnisse produzieren, welche im weiteren Verlauf nicht benötigt werden.

Für jeden denkbaren Fall, in dem Inkonsistenzen als Mangel erkannt wurden, kann auch ein Gegenbeispiel gefunden werden, in dem die Situation genau dem gewünschten Zustand entspricht. Daher ist eine fachkundige Bewertung unabdingbar und nicht durch automatische Berechnungen und Auswertungen zu ersetzen. In Ausnahmefällen kann die Bewertung von einer zentralen Stelle durchgeführt werden. Im fünften und letzten Schritt erfolgt die *Anpassung* und Verbesserung der identifizierten Situation im Entwicklungsnetzwerk (5).

Ein besonderer Vorteil der beschriebenen Methode liegt darin, dass einerseits vorhandene Prozessdokumentationen nicht erforderlich sind. Andererseits ist das Vorgehen jedoch geeignet, die Übereinstimmung vollständig oder ausschnittsweise vorhandener Prozessdokumentationen gegen die tatsächlichen Abläufe in der Organisation zur prüfen. Dazu würde ein weiterer, im betrachteten Beispiel sechster Tritt in der Strickleiter-Methode eingeführt, der die Prozessdefinition enthält. Als Abbild des Produktentwicklungsprozesses sowie der unterstützenden Werkzeuge ist durch die fortlaufende Eingliederung neu hinzukommender Prozesse und Schnittstellen ein jeweils aktueller Stand zu pflegen.

5.2.6 Abschätzung der von Fehlern ausgehenden Risiken

Nach der ingenieurwissenschaftlichen Betrachtung eines Risikos als dem Produkt aus Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit [199] ist das Risiko hier als Produkt aus Fehlerwahrscheinlichkeit und Fehlerkosten zu betrachten. Die Fehlerwahrscheinlichkeit

wiederum setzt sich zusammen aus der Eintrittswahrscheinlichkeit eines bestimmten Fehlers bei einer Handlung und aus der Häufigkeit, mit der diese Handlung durchgeführt wird.

Eine Abschätzung der Fehlerwahrscheinlichkeit für konkretes Fehlverhalten im Produktentwicklungsprozess ist nur schwer möglich, sodass in erster Linie auf Vergangenheitsdaten oder empirische Datenaufnahmen zurückzugreifen ist. Dazu eignen sich beispielsweise Fehlersammellisten („Check Sheets“) [200] zur Sammlung auftretender Fehler, wie sie bereits vorhergehend beschrieben wurden und vielfach in der Produktion standardmäßig eingesetzt werden. Die gesammelten Daten lassen sich bei Bedarf gruppieren, wobei weniger eine Gruppierung nach Fehlergesichtspunkten durchzuführen ist, sondern eine Gruppierung nach Ansätzen zur Fehlervermeidung oder nach Ansätzen zur Implementierung möglicher Kontrollmechanismen, je nachdem, ob die Maßnahme aktuell der Ursachenbekämpfung oder der Prozessregelung dienen soll. Eine allgemeingültige Handlungsanweisung für das Gruppieren der Daten kann nicht gegeben werden, sondern ist von einer mit der Materie des Handlungsumfeldes vertrauten, fachlich versierten Person durchzuführen, die über gute analytische sowie Abstraktionsfähigkeiten verfügt.

Die resultierende Eintrittswahrscheinlichkeit für Fehler berechnet sich je nach Kontext pro CAD-Modell oder pro Zeiteinheit als Quotient aus Fehleranzahl und Bezugsgröße. Entscheidend für die Verwendung von Einzelmodellen oder Zeiteinheiten als Bezugsgröße ist hauptsächlich die Frage nach der Struktur der denkbaren Fehlerkosten in Form von Einmalkosten oder laufenden Kosten. Bei Kombination der Strukturen sind beiden Formen zu ermitteln und jeweils entsprechend zu verwenden. Multipliziert mit den Fehlerkosten und der Häufigkeit der Durchführung der fehlerkritischen Handlung, ergibt sich das Risiko des Einzelprozesses. Es ist zu beachten, dass bei eigenständiger Betrachtung der Häufigkeit der Handlung diese Größe nicht bereits in die Anzahl der aufgedeckten Fehler mit eingeflossen sein darf, damit es nicht zu Mehrfachzählungen kommt.

Neben dieser Untersuchung der in vorangegangenen Schritten aufgedeckten Fehler ist grundsätzlich eine Analyse aller neu einzuführenden Prozesse auf mögliche Risiken, beispielsweise mittels einer Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA, Prozess-FMEA), durchzuführen. Indikatoren für hohe zu erwartende Risiken im betrachteten Kontext sind:

- Abhängigkeiten von Prozessen jenseits der Schnittstellen, speziell bei Überschreitung mehrerer Systemgrenzen (vgl. Abschnitt 2.3.1, S. 14)
- Mangelnde Dokumentation und Schulung bei neuen Systemen und Arbeitsweisen
- Termindruck
- Mangelnder Schutz der IT-Infrastruktur vor Ausfall und Datenverlust
- Änderungen von Anforderungen speziell mit kurzer Vorlaufzeit

- Mangelnde Absicherung der Akzeptanz neuer Prozessvorgaben
- Einführung und Integration von Commercial off-the-shelf (COTS) Software
- Software-Eigenentwicklungen ohne fachgerechte Qualitäts- und Teststandards
- Auslagerung von Aktivitäten (Outsourcing)
- Schlechte Absicherung und Durchsetzung von Qualitätsstandards mittels Service Level Agreements (SLA) im Bezug auf alle verwendeten Dienste
- Hohe Fluktuationsraten im Unternehmen und im Entwicklungsnetzwerk

Zusätzlich zu diesen allgemeinen Indikatoren sind individuell im Unternehmen erkannte Risikoindikatoren fortlaufend zu überwachen und durch die in Abschnitt 5.5.8 (S. 172) beschriebene Revisionstätigkeit ausreichend zu berücksichtigen.

5.2.7 Kosten-Nutzen-Analyse und Vergleich anwendbarer Kostenrechnungsmethoden

Neben der Nutzenseite eines Fehlervermeidungssystems, die von der Risikoanalyse dargestellt wird, ist auch die Betrachtung der Kostenseite unverzichtbar. Andernfalls besteht die Gefahr, dass Maßnahmen ergriffen werden, deren Kosten den Nutzen der Fehlervermeidung übersteigen. Dem Unternehmen entstünden damit trotz bester Vorsätze und reduzierter Fehleranzahl in der Gesamtbetrachtung steigende Kosten und somit ein komparativer Verlust. In Ansätzen ist dazu die Zielkostenrechnung („Target Costing“) [201, 202] ein geeignetes Hilfsmittel. Ihr Ansatz ist es, vor der Erstellung eines Produktes den am Markt erzielbaren Preis als Widerspiegelung des Nutzens und somit mittelbar der vertretbaren Kosten, untergliedert nach Funktionen oder Baugruppen des Produktes, zu identifizieren. Übertragen auf die Fehlervermeidung ist zu analysieren, welcher Umfang an Fehlleistungsaufwand [65, 66] durch eine Maßnahme vermieden werden kann. Die Summe der Kosten dieser Maßnahme und der zusätzlich noch zu betrachtenden verbundenen Prozesskosten für die Analyse der Ursachen und Implementierung des Fehlervermeidungssystems für diesen konkreten Fehler bildet die vertretbaren Kosten der Einzelmaßnahme. Zur Vollständigkeit dieser Betrachtung ist es noch nötig, eine Analyse über die Zeitstruktur der Kosten- und der Nutzenseite mit in Betracht zu ziehen. Während es sich bei den Kosten der Implementierung und der Ursachenanalyse um Einmalkosten handelt, treten Fehlleistungsaufwand und laufende Kosten des Fehlervermeidungssystems mehrfach auf, teils regelmäßig, teils gebunden an das Auftreten von Fehlern. Der Fehlervermeidungsaufwand muss also kleiner oder gleich den vermeidbaren Fehlerkosten sein. Diese Kosten-Nutzen-Bedingung wird durch die folgende Formel zum Ausdruck gebracht:

$$\frac{K_I}{t_{A_{max}}} + \frac{K_f}{t} + K_v \frac{x}{t} \overset{!}{\leq} \frac{x}{t} p_F \qquad (4)$$

K_I	*Investitionskosten zur Vermeidung des Fehlers*
K_f	*Fixkosten des Fehlervermeidungsprozesses*
K_v	*Variable Kosten des Fehlervermeidungsprozesses*
x	*Anzahl der Fehler*
t	*Betrachtete Zeiteinheit*
$t_{A_{max}}$	*Maximal zulässige Amortisationsdauer*
p_F	*Fehlerkosten*

Innerbetrieblich erfolgt die Finanzierung in der Regel auf Argumentationsbasis gegenüber höheren Organisationsebenen oder aus eigenem Abteilungsbudget. Die entwickelte Berechnungsformel orientiert sich an der innerbetrieblichen Finanzierung, sodass beispielsweise keine Kapitalmarktzinsen in Betracht gezogen werden.

Ob die Kosten-Nutzen-Bedingung im Fall eines zu vermeidenden Fehlers erfüllt ist, lässt sich mit einfachen Mitteln elektronischer Datenverarbeitung (EDV), wie beispielsweise einer Tabellenkalkulation, schnell feststellen. Wesentlich schwieriger ist, wie oftmals bei betriebswirtschaftlichen Betrachtungen, die realistische Schätzung der verwendeten Faktoren, speziell des Fehlleistungsaufwandes. Dieser ist stark abhängig von den Strukturen des jeweiligen Unternehmens und lässt sich nur schwer verallgemeinern. Mit zunehmender Komplexität der Prozesse und steigender Anzahl von Folgeprozessen werden für eine Abschätzung immer mehr Personen zurate gezogen werden müssen. Die maximal zulässige Amortisationsdauer von Industrieprojekten beträgt bei Durchführung im laufenden Betrieb häufig rund zwei Jahre. Vollständige Neuprojektierungen können sich auch erst nach einem längeren Zeitraum amortisieren.

Mehrere Faktoren können im betrachteten Kontext zur Entstehung vermeidbarer Kosten führen. In der sehr personalintensiven Produktentwicklung sind besonders die zusätzlich aufzuwendenden Arbeitsstunden relevant, die für unmittelbare Korrekturen, Nacharbeit und zusätzliche Iterationsschritte nötig sind. Hinzu kommen abzuschreibende Arbeitsstunden im Falle bereits geleisteter Arbeit, die aufgrund der zugrunde liegenden Fehler nicht weiter verwendbar ist. Zu dieser wertschöpfenden Nutzleistung sind noch jeweils die anfallenden Stützleistungs-Anteile in Form administrativer Tätigkeiten und Kosten zu addieren, zu denen auch Lizenzgebühren für Softwareprodukte zählen. Die Durchlaufzeit eines CAD-Modells verlängert sich jedoch um mehr als nur die durchzuführende Bearbeitungszeit, denn mit jeder Übergabe eines Modells an eine andere Position, wie auch jedes anderen Objektes in einer

Organisation, entsteht eine Totzeit, in der das Objekt beim Adressaten auf seine Weiterbearbeitung wartet. Theoretisch dürfte die Durchlaufzeit keinen Einfluss auf Projektkosten haben, praktisch erfolgt jedoch kein minutengenauer Abgleich zwischen Projektarbeitszeit und Projektarbeitsleistung, sodass für andere Tätigkeiten oder Wartezeiten verbuchte Zeit sich ebenfalls in erhöhten Projektkosten niederschlägt. Anschaulich ist dies beispielsweise bei einem Prozess, der mehrere Stunden dauert und aufgrund des Erhalts eines notwendigen Vorproduktes am späten Nachmittag erst am Folgetag ausgeführt werden kann. Ob die verbleibende Arbeitszeit für andere Tätigkeiten oder als zu finanzierende Leerlaufzeit verbucht wird, bleibt dahingestellt. Auch im Fall knapper, im Voraus zu buchender technischer Mittel wie beispielsweise eines CAVE Automatic Virtual Environment (CAVE) zur dreidimensionalen Visualisierung haben kleine Verzögerungen große zeitliche Verschiebungen im Projekt oder Programm zur Folge.

Verluste aufgrund verspäteter Markteinführung (time to market) sind äußerst schlecht absehbar. Angesichts der Unmöglichkeit, nach aktuellem Stand der Forschung eine verlässliche quantitative Schätzung zur Korrelation zwischen Markteintrittstermin und betriebswirtschaftlichem Ergebnis zu erhalten, sollte diese Kostengröße in der Regel außer Acht bleiben. Der qualitative Zusammenhang zwischen Entwicklungskosten, Entwicklungsqualität und Entwicklungszeit als Indikator für den Zeitpunkt des Markteintritts nach Entwicklungsbeginn zeichnet sich in Form einer exponentiellen Steigerung der Entwicklungskosten mit der Entwicklungszeit ab, sobald eine bestimmte Entwicklungsdauer überschritten wird [203]. Grundsätzlich sind auch Umstände denkbar, die sich bei einem späteren Markteintrittstermin zu einem positiven betriebswirtschaftlichen Ergebnis auswirken, was jedoch den Ausnahmefall darstellen dürfte. Stehen dem Unternehmen Informationen zur Verfügung, die diese Größe in angemessener Zuverlässigkeit abzuschätzen in der Lage sind, so sind diese Informationen in die Betrachtung mit einzubeziehen. Eindeutig im Voraus absehbar sind hingegen im Fall verzögerter Lieferung zu zahlende Vertragsstrafen, wie sie beispielsweise in der Flugzeugindustrie üblich sind.

Speziell individualisierten informationstechnischen (IT-) Systemen ermangelt es oftmals an Robustheit im Bezug auf den Umgang mit Daten, die nicht den Spezifikationen entsprechen. Ebendiese hier betrachteten Fehler können zur Blockade von Prozessen, zur Verunreinigung des Datensystems, zur Verlangsamung von Datenbankzugriffen und zur Unverfügbarkeit von Systemen führen. Die Auswirkungen beschränken sich also nicht ausschließlich auf den mit fehlerhaften Daten beschickten Prozess selbst, sondern haben oftmals Seiteneffekte auf andere Vorgänge der virtuellen Produktentwicklung und je nach Konzipierung des IT-Systems auch auf andere Unternehmensbereiche darüber hinaus.

Zusammengefasst kann eine mangelhafte Robustheit von Schnittstellen-Prozessen zu folgenden Fehlerkosten führen:

- Zusätzliche Arbeitsstunden für
    - Korrekturen
    - Nacharbeit
    - Iterationsschleifen
- Abzuschreibende Arbeitsstunden
- Administrative Kosten
- Erhöhte Durchlaufzeiten
- Verspätete Markteinführung
- Vertragsstrafen
- IT-Schäden im weiteren Sinne
- Negative Seiteneffekte auf nicht unmittelbar betroffene Prozesse

Weitere nicht unmittelbar zu beziffernde Kosten entstehen durch Imageverluste und Frustrationserlebnisse der Entwickler, Betreiber der IT-Infrastruktur und anderer Betroffener.

Allgemein gesprochen ist die Kostenrechnung bezüglich der potenziell zu vermeidenden Fehler auf einer Teilkostenrechnung unter ausschließlicher Berücksichtigung der variablen Kosten mit Zurechnung auf die Kostenträger auszugestalten. Als Kostenträger wird dabei jedoch nicht das CAD-Modell, sondern der mögliche Fehler definiert. Dieser Berechnungsart entsprechend sind fixe Kosten, die nicht durch Fehlerreduktion beeinflussbar sind, auch nicht Gegenstand der Betrachtung. Zu berücksichtigen ist für den Einzelfall, dass augenscheinlich fixe Kosten auf lange Sicht ebenfalls variabel sein können.

Basierend auf dieser Herangehensweise wäre des Weiteren die Verwendung einer parametrischen Kostenschätzung denkbar, die nicht auf Einzelposten, sondern auf einer faktorbasierten Zuschlagskalkulation aufbaut. Übertragbare Parameter existieren bereits für die Gesamtkosten von Produktentwicklungen und sind beispielsweise beim Bau verfahrenstechnischer Anlagen eine weitverbreitete Grundlage der Kostenermittlung. Für Einzelprozesse der Produktentwicklung sind sie jedoch aufgrund des aktuell sehr geringen Standardisierungsgrades nur unternehmensspezifisch denkbar und müssten explizit erarbeitet werden. Sind die Faktoren einmal ermittelt, ergibt sich der Vorteil, dass auf relativ lange Sicht mit diesen Größen sehr gute Näherungen der tatsächlichen Kostenstrukturen ermittelt werden können und damit auch für die Kosten- und Leistungsrechnung der Unternehmung wertvolle

Informationen gewonnen wurden. Lediglich Technologiesprünge führen zu gravierenden Änderungen der Faktoren und bringen somit die Notwendigkeit einer Neubewertung mit sich.

Der Einsatz einer Prozesskostenrechnung ist als grundlegende Vorgehensweise ebenfalls denkbar, sofern eine besondere Betrachtung der Fixkosten vorgenommen wird, wodurch von der ursprünglichen Form der Prozesskostenrechnung als Vollkostenrechnung abgewichen würde. Die Umlage von Gemeinkosten auf die Kostenträger ist hier speziell aus dem bereits genannten Grund sinnvoll, dass Gemeinkosten zwar häufig als Fixkosten behandelt werden, auf lange Sicht jedoch sehr wohl variablen Charakter haben können und deshalb auf Basis der Fehlervermeidung reduziert werden können.

5.2.8 Rangreihung der erkannten Problemfelder

Eine Rangreihung der erkannten Problemfelder ist erforderlich, weil neben der Effektivitäts- auch die Effizienzbedingung grundlegend für den Erfolg jedes Projektes und jeder durchgeführten Maßnahme ist. Während die Effektivitätsbedingung sicherstellt, dass eine Handlung tatsächlich auch im gewünschten Sinne wirkt, sodass beispielsweise eine fehlerhafte Vorgehensweise, die zu Problemen in Folgeprozessen führt, auch tatsächlich unterbunden wird, zielt die Effizienzbedingung auf das Verhältnis von Aufwand und Ergebnis ab. Die Kosten der Fehlervermeidung dürfen die andernfalls entstehenden Effizienzverluste durch Fehlleistungsaufwand und Blindleistungskosten (vgl. Abschnitt 2.4.4, S. 23) nicht übersteigen (vgl. Abschnitt 5.2.7, S. 120). Zusätzlich sollte die Differenz der Beträge möglichst hoch sein. Als Faustregel kann hier das von JURAN nach PARETO benannte Pareto-Prinzip („Pareto-Principle“) [204], auch 80:20-Regel, genannt werden. Danach können in der Regel mit 20 Prozent der eingesetzten Mittel rund 80 Prozent der Ergebnisse erzielt werden. Zur Erfüllung der restlichen 20 Prozent sind hingegen 80 Prozent der Mittel nötig. Verschiedentlich wird von einer 90:10-, 80:10- oder 95:5-Verteilung gesprochen, wobei lediglich der stark von null unterschiedliche und in der Regel über 0,6 liegende Gini-Koeffizient und nicht die tatsächliche Ausprägung der Vergleichsgrößen relevant ist.

Praktisch durchgeführt wird diese Rangreihung mittels grafischer Auftragung der erwarteten Einsparung, errechnet als Differenzen aus Fehlleistungsaufwand und Fehlervermeidungskosten, in einem Histogramm mit konstanter Klassenbreite. Die Sortierung erfolgt nach absteigender Höhe der zu erwartenden Einsparungen. Abbildung 37 zeigt eine exemplarische grafische Darstellung dieser Auftragung einschließlich einer kumulativen Funktion (blau). Diese Funktion verdeutlicht, welchen Beitrag die wichtigsten Fehlervermeidungsmaßnahmen zur Gesamtverbesserung leisten und dass die Maßnahmen G und H die Zielerreichung unter das Maximum drücken, da hier die Fehlervermeidungskosten höher sind als die vermeidbaren Effizienzverluste. Beide Maßnahmen wären bereits durch die

im Abschnitt 5.2.7 (S. 120) formulierte Kosten-Nutzen-Bedingung ausgesondert worden und sind hier lediglich zur Verbesserung der Verständlichkeit nochmals dargestellt.

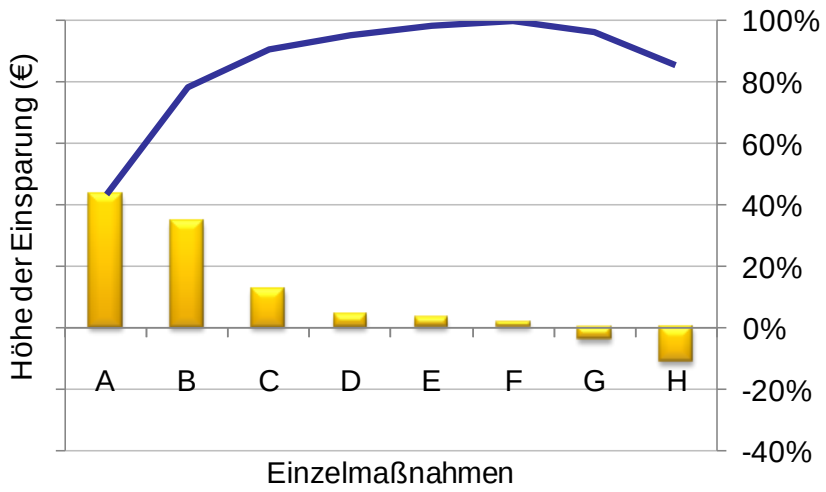


Abbildung 37: Pareto-Diagramm zu möglichen Einsparungen durch Fehlervermeidungsmaßnahmen

Zu klären ist, ob die 80-20-Regel im betrachteten Kontext Anwendung finden darf. Die Implikation der 80-20-Regel, dass 20 Prozent der Aktivitäten zu 80 Prozent der Ergebnisse führen und die restlichen 80 Prozent der Aktivitäten entfallen können, ist nicht ohne Nebenbedingung gültig. Voraussetzung ist die Unabhängigkeit zwischen den betrachteten Elementen. Beim Parade-Beispiel der Erzielung von 80 Prozent des Bruttoinlandsprodukts (BIP) durch 20 Prozent der Erwerbstätigen ist diese Bedingung beispielsweise nicht erfüllt. Damit die besagten 20 Prozent der Erwerbstätigen ihren BIP-Anteil erwirtschaften können, sind die Aktivitäten der übrigen 80 Prozent ebenfalls erforderlich. Die Elemente sind also nicht unabhängig und ein einfaches Abschneiden der kumulativen Funktion nach Erreichen der 80-Prozent-Schwelle ist nicht möglich. Bei den betrachteten Maßnahmen zur Fehlervermeidung ist die Unabhängigkeit in ausreichendem Maße gegeben.

Entgegen dem für die Produktion verwendeten “Zero-Defects-Concept“ nach CROSBY [205] sind fehlerfreie Prozesse ohne Ausschuss und ohne Nacharbeit in der Produktentwicklung also nicht das Ziel. Vielmehr ist anzustreben, nach den von JURAN beschriebenen „vital few, useful many“ oder früher auch „vital few, trivial many“ [206, 207] diejenigen Handlungen zuerst durchzuführen, die mit dem geringsten Aufwand den höchsten Nutzen versprechen. Man wird so niemals in die Verlegenheit kommen, den letzten Fehler beseitigen zu müssen, weil fortlaufend neue Fehler mit großen Auswirkungen entdeckt werden oder hinzukommen. Das Einsparpotenzial dieser Vorgehensweise ist wesentlich höher als der idealistische Versuch, alle Fehler zu beseitigen, weil immer die effizienteste Aktion zuerst durchgeführt wird. Da die

Grenzkosten der Fehlervermeidung mit zunehmender Fehlerfreiheit ansteigen, ist man praktisch gezwungen, aufzuhören, bevor man fertig ist.

5.2.9 Entwicklung einer Methode zur Analyse und Klassifizierung der Schnittstellen-Fehler

Die fünf folgenden Prozesselemente wurden für die Analyse und Klassifizierung der Schnittstellen-Fehler definiert:

- Anforderung (A): Was soll tatsächlich passieren oder nicht passieren?
- Arbeitsanweisung (AA): In welcher Form ist die Anforderung kommuniziert oder dokumentiert?
- Handlungsplan (H): Welche Handlung plant der Mitarbeiter auszuführen?
- subjektives Ergebnis (S): Wie sieht der Mitarbeiter sein Ergebnis?
- objektives Ergebnis (O): Welches Ergebnis entsteht objektiv?

Die Arbeitsanweisung (AA) ist hier verallgemeinert zu verstehen und kann sowohl die Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) bedeuten als auch andere dokumentierte oder kommunizierte Anweisungen und Anforderungen. Ein Abgleich zwischen den an einer Schnittstelle aufgetretenen Prozesselementen ermöglicht die Analyse des Fehlers im Hinblick auf die zukünftige Fehlervermeidung. Der Abgleich aller kombinatorisch möglichen Elementbeziehungen ergibt neben nicht beschriebenen Situationen, in denen die Fehlererkennung und -korrektur direkt im Prozess stattfindet, und teils nicht interpretierbaren theoretischen Möglichkeiten folgende aussagekräftige Situationsbeschreibungen:

A ≠ AA = H = S = O

Es liegt eine fehlerhafte Arbeitsanweisung vor, die kein Ergebnis im Sinne der Anforderung ermöglicht. In der Industrie wird diese Situation häufig als „works as designed“ bezeichnet, womit gemeint ist, dass das Ergebnis nicht zufriedenstellend ist, jedoch den kommunizierten Anforderungen entspricht. Die Arbeitsanweisung ist an die tatsächlichen Prozessanforderungen anzupassen.

A = AA ≠ H = S = O

Eine dokumentierte Anforderung wurde in der Art verletzt, dass aus der kommunizierten oder dokumentierten Anforderung ein falscher Handlungsplan abgeleitet wurde. Dieser Planungsfehler (mistake) blieb unerkannt und führte zu einem fehlerhaften Ergebnis. Der Planungsfehler kann auf mehrere Ursachen zurückzuführen sein. Darunter sind die Verwendung einer ungeeigneten Arbeitsanforderung, das Missverstehen des Inhalts der korrekten Arbeitsanforderung oder eine gezielte, nicht

der Arbeitsanforderung entsprechenden Handlung, die wiederum auf unterschiedliche Motive zurückzuführen sein kann.

A = AA = H = S ≠ O

Im Bearbeitungsprozess ist dem Mitarbeiter ein versehentlicher Fehler unterlaufen, der unerkannt blieb. Dieser Handlungsfehler (Slip) ist in der Regel nicht strukturell vermeidbar, sondern muss in Form einer Selbstkontrolle oder in Form nachfolgender kontrollierender und korrigierender Prozessschritte behoben werden.

A = H = S = O ≠ AA

Das gewünschte Ergebnis wurde erzielt, jedoch unter Verletzung einer oder mehrerer Arbeitsanweisungen. Die Arbeitsanweisung wurde entweder als fehlerhaft erkannt und bewusst umgangen oder es führen auch nicht dort aufgeführte PMR zeitweise oder regelmäßig zum gewünschten Ergebnis. Diese Erkenntnis ist nicht bei einer Fehleranalyse festzustellen, da kein Fehler eingetreten ist. Nur eine aufwendigere allgemeine Analyse auch der nicht fehlerhaften Schnittstellen-Prozesse ist in der Lage, einen derartigen Vorgang aufzudecken.

A = AA = H = S = O

Der Ablauf scheint nach dieser Analyse fehlerfrei. Es bedarf einer weitergehenden Untersuchung am Fehlergegenstand. Das Überwachungsinstrument kann fehlerhaft sein oder bisher nicht berücksichtigte Einflussfaktoren haben Relevanz für das Prozessergebnis. Ferner kann der Fehler außerhalb des überwachten Prozesses liegen. Beispielsweise kann es bei der Vernetzung für FEM-Simulationen zu Problemen gekommen sein, die nicht hätten auftreten dürfen. Bei der Untersuchung des Vorgänger-Prozesses sind aber keine Nonkonformitäten festzustellen. Offenbar gibt es daher Anforderungen des Vernetzungsprozesses, die noch nicht erkannt und dokumentiert wurden. Bevor Maßnahmen für die Vermeidung des Fehlers erarbeitet werden können, ist das Problem zu analysieren und die tiefer liegende Ursache zu klären.

Bei Durchführung einer allgemeinen Analyse unabhängig vom Auftreten von Fehlern ist besonders noch darauf zu achten, welche Fehler begangen, jedoch noch im Prozess vom bearbeitenden Entwicklungsingenieur erkannt und beseitigt werden. Diese Erkenntnisse, ebenso wie die grundsätzliche Betrachtung der tatsächlich erhaltenen Ergebnisse im Vergleich zu den gewünschten Ergebnissen, geben Aufschluss über die Handlungsweisen der betreffenden Personen und ermöglichen eine Anpassung der Prozesse und der Prozessumgebung an die durch menschliches Handeln geprägten Ablaufstrukturen. Gefordert ist also die „reflexive Betrachtung“ von Fehlern statt der reinen Durchführung von

Korrekturmaßnahmen [208], denn nach VOLPERT sind „die Gründe des Fehlers (..) auch die wesentlichen Merkmale des gelingenden Handelns“ [209]. Ein ähnliches Vorgehen („gap model“) wird von ZEITHAML ET AL. für die Qualitätssicherung von Dienstleistungen vorgeschlagen [210].

Darüber hinaus ist eine Fehleranalyse immer im Kontext des tatsächlichen Prozesses zu sehen und dementsprechend nur von einem Fachmann dieses speziellen Prozesses und der Umgebungsbedingungen bis ins Letzte zu untersuchen. Diese weitergehende Untersuchung ist unabdingbar und ist in diesem Rahmen nicht in Form einer detaillierten Handlungsanweisung formulierbar.

5.3 Konzeptentwicklung: Nutzung von Informationen, Wissen und Kompetenzen

In Anbetracht der verfügbaren Informationen und des verfügbaren Wissens erscheint eine Handlung für den Handelnden immer als augenblicklich gerechtfertigt.

Information, Wissen und Kompetenz sind aufeinander basierende Konzepte der Repräsentation von Inhalten, die Menschen zum Handeln befähigen. Abbildung 38 stellt den Zusammenhang dieser Elemente, beginnend mit dem Symbol als einfachster Einheit, dar und beinhaltet ausgewählte Elemente der „Wissenstreppe“ nach NORTH [211]. Betrachtet werden sollen vorwiegend die Ebenen Information, Wissen und Kompetenz.

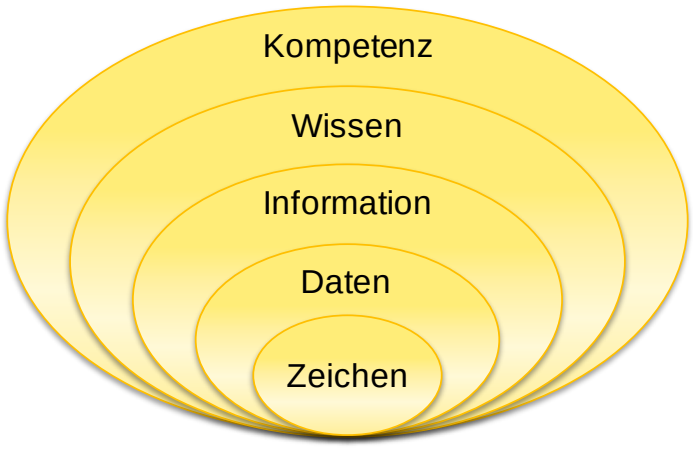


Abbildung 38: Kompetenz-Matroschka [212]

Nach SCHÖMIG ist die Problematik des Informationsmangels die Hauptursache von Fehlern in der Konstruktion [126]. Diese Hauptfehlerursache aus Mangel an Kenntnissen von Handlungsalternativen und nicht aufgrund von Fehlentscheidungen in Anbetracht der bekannten Alternativen wird auch von WEHNER bestätigt [208]. Die Informationsbasis als

Entscheidungsgrundlage für den Entwickler ist daher den Anforderungen, die an den Entwickler gestellt werden, anzupassen. Andernfalls müssen Handlungsanweisungen blind befolgt werden, ohne dass die Chance besteht, eigenverantwortliche durch die Analyse des Aufgabenumfeldes und die Anwendung bisheriger Erfahrungen bestmögliche Ergebnisse zu erzielen. Besonders die Komplexität der Aufgaben in der verteilten Produktentwicklung bietet hier viel Spielraum für individuelle Prozess- und Ergebnisoptimierungen. BLESSING bestätigt ebenfalls auf Basis empirischer Untersuchungen die Kritikalität des Faktors Informationsaustausch für die Produktentwicklung. Bereits die Bekanntgabe, dass eine Information zur Verfügung gestellt werden wird, ist hilfreich, selbst wenn diese noch nicht verfügbar ist. Dadurch ist der Entwickler in der Lage, bereits frühzeitig Freiheitsgrade in seinen Arbeitsschritten zu berücksichtigen, die speziell auf noch nicht bekannte Informationen abheben [213]. Ausreichende Informationsbereitstellung ist also ein wichtiges Element der Fehlervermeidung.

Von der reinen Information zu unterscheiden ist das Wissen, das per definitionem nicht dokumentiert werden kann, sondern nur im Kontext des menschlichen Verständnisses existiert [214, 215]. Die Auffassung, dass Wissen auch an technische Systeme, künstliche neuronale oder semantische Netze oder gar Dokumente gebunden sein kann, wird hier nicht vertreten. Im Kontext dieser Arbeit werden eine Reihe unterschiedlicher Informationen betrachtet. Dazu gehören beispielsweise Fehlerkosten, Arbeitsanweisungen in Form von Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) sowie Informationen über Folgeprozesse und Prozessbearbeiter. Um Wissen handelt es sich bei den aus Anweisungen abgeleiteten Handlungsregeln, deren praktische Umsetzung und die entsprechende Anwendbarkeit aller dafür notwendiger Information. Es ist anzunehmen, dass jeder Prozess einer Organisationsstruktur von mindestens einer Person verstanden und beherrscht wird. Da eine direkte Weitergabe von Wissen über jegliche Form von Dokumentation nicht möglich ist (vgl. Abschnitt 5.3.3, S. 133), ist Transfer von Wissen an die Beteiligten und Betroffenen der entsprechenden Prozesse erforderlich. Funktionierender Wissenstransfer ist ein weiteres entscheidendes Element zur Fehlervermeidung an Schnittstellen-Prozessen der verteilten Produktentwicklung und wird in Abschnitt 5.3.4 (S. 136) näher beschrieben.

Neben vielen weiteren Klassifizierungsmöglichkeiten für Wissen ist die Unterscheidung in deklarative und prozedurale Anteile [216] hier besonders entscheidend. Diese beiden Wissensarten werden auch als „principles knowledge“ und „how-to knowledge“ bezeichnet [217]. Informationen können ebenfalls dieser Gliederung unterworfen werden, je nachdem, ob die Informationen zum Aufbau deklarativen oder prozeduralen Wissens dienen sollen.

Die Abwägung zwischen der maximalen Explizierung und Dokumentation möglichst aller Vorgehensweise und Prozesse und der Erlaubnis zu dynamischen Prozessanpassungen ohne starre Regeln und Vorgaben ist das grundlegende Dilemma von Effektivität und Effizienz. Es ist immer eine Abwägung zu treffen zwischen der schriftlichen Niederlegung der besten aktuell möglichen Vorgehensweise, die eine effiziente Abarbeitung der Vorgabe ermöglicht und die Freiheit jeder einzelnen Person jeden Vorgang selbst auf Effektivität abzuprüfen, die Vorgänge anzupassen und dementsprechend zu handeln.

5.3.1 Vermittlung der Hintergründe vorgegebener Arbeitsweisen

Einer Hauptursache für nicht konsistent umgesetzte Regelvorgaben ist die Unwissenheit um die Hintergründe einer aufgestellten Regel [127]. Dadurch kann die Fehlinterpretation entstehen, dass die Regel fehlerhaft oder die Einhaltung der Regel im aktuellen Kontext nicht gefordert sei. Durch eine verbesserte Kommunikation von Hintergrundinformationen kann die Häufigkeit dieser Problemursachen stark reduziert werden. Diesem Lösungsansatz steht jedoch die restriktive Informationspolitik vieler Unternehmen speziell in Unternehmensnetzwerken entgegen. Ferner konnte empirisch belegt werden, dass in der Produktentwicklung der Tenor herrscht, dass die Weisungsbefugnis ausreichende Begründung für die Befolgung von Vorgaben sein sollte (vgl. Abschnitt 3.2, These 20, S.55). Weitergehende Erläuterungen werden nicht als notwendig erachtet.

Prinzipiell ist die Vorgehensweise „Wer zahlt, hat recht“ durchaus legitim. Tatsächlich sollte der Sachverhalt jedoch von einer anderen Seite betrachtet werden. Das Unternehmen erkauft sich durch die Informationszurückhaltung und Einforderung des Gehorsams ein enormes Kostenrisiko. Eine mit Nachdruck verfolgte Plausibilisierung der Vorgaben kann sich in mehrfacher Hinsicht positiv auswirken. Handlungsentscheidungen werden von Personen getroffen, die vielfach zugunsten oder zuungunsten des Unternehmens oder Entwicklungsnetzwerks agieren können. Gezielte Schädigungen sollen hier außer Betracht bleiben. Zeigen Mitarbeiter mangelnde Kooperationsbereitschaft, so entstehen dem Unternehmen dadurch Kosten. Diese können als Opportunitätskosten der Informationszurückhaltung verstanden werden, wenn die reduzierte Kooperation auf eine restriktive Informationspolitik und das daraus resultierende Unternehmensklima zurückgeführt werden kann. Die Problematik unvollständiger Verträge (vgl. Abschnitt 2.5.2, S. 31) hindert das Unternehmen daran, diese Kosten auf den Verursacher abzuwälzen. Ein aktiver Beitrag zur Vermeidung derartiger Kosten ist notwendig. Bereits durch einen gewährten Vertrauensvorschuss kann die Kooperationsbereitschaft im Vorfeld entscheidend verbessert werden [218]. Ein derartiger Vorschuss ist in der über das Notwendigste hinaus gehenden Informationsweitergabe zu sehen.

Moralisch neutraler, aber nicht weniger entscheidend sind Fehlentscheidungen, die aufgrund mangelnder Information getroffen werden. Mit der Informationsversorgung der Entwickler wird nicht nur die Reduktion von Unterinformation verfolgt, die durch Unkenntnis des tatsächlichen Bedarfs der Anwender bei der informierenden Instanz entsteht. Gleichzeitig wird damit die Akzeptanz von Veränderungsprozessen verbessert, wie sie das betriebswirtschaftliche Feld des Change Management beschreibt. Das gegenteilige Verhalten, nämlich die von HIGGINS als „autokratisch“ bezeichneten autoritären Anweisungen, behindert erfolgreiches Problemlösen nachweislich [219]. Ursache ist die beim Mitarbeiter entstehende Wahrnehmung einer mangelnden Transparenz und Mitbestimmung („prozedurale Gerechtigkeit“) [220] der Entscheidungen, die zu Veränderungen führen. Sie ist zunächst unabhängig davon, ob letztlich für den Mitarbeiter eine negative Veränderung eintritt oder nicht. Ebendiese mangelnde Kommunikation auf Augenhöhe und ohne Vermittlung von Zusatzinformationen konnte für den Arbeitsalltag in der verteilten Produktentwicklung belegt werden (vgl. Abschnitt 3.2, These 20, S. 55).

Ein anschauliches Beispiel soll die Notwendigkeit der Vermittlung von Hintergrundinformation verdeutlichen und adressiert die Fehlentscheidung durch Informationsmangel:

Beispiel für Auswirkungen mangelnder Vermittlung von Hintergrundinformationen

> In der Praxis existieren vielfach Prozess- und Methodenvorgaben, die dem Konstrukteur die Verwendung der Spiegelungsfunktion im CAD-System grundsätzlich untersagen (vgl. Abschnitt 2.1, S. 12). Zu finden sind diese Vorgaben meist im Kontext händischer Bauteile. Gespräche mit Konstruktionsabteilungen haben gezeigt, dass erfahrene Konstrukteure annehmen, die Vorgabe ziele darauf ab, die Spiegelung händischer Bauteile zu untersagen, um keine ungewünschten spiegelverkehrten Modelle zu erhalten. Dem besagten Personenkreis ist bekannt, dass diese Gefahr nicht für Bauteile mit Drehspiegelachse gilt. Daher wird die Spiegelungsfunktion zur Erstellung nicht ebendieser Bauteile weiter verwendet. Damit ist eine Reduktion des Arbeitsaufwandes gegenüber spiegelverkehrter Neukonstruktion gegeben und falsche Ergebnisse dürften unter Berücksichtigung der genannten Prämissen nicht entstehen.
>
> Tatsächlich zielt das Spiegelungsverbot jedoch auf das ursprünglich rechtshändische Achsensystem des CAD-Systems ab, welches durch eine Spiegelung in ein linkshändisches System konvertiert wird, womit die korrekte Positionierung des Bauteils in der Gesamtstruktur des Produktes unmöglich wird. Besonders problematisch zeigt sich dieser Sachverhalt bei vielfacher Verortung entsprechender Bauteile in der Produktstruktur. Hintergrund ist die softwaretechnische Umsetzung der Positionierung in Verbindung mit Achsensysteminformationen. Unterschiedliche PDM-

Systeme handhaben die Positionierung auf verschiedene Weise, sodass nicht in jedem Fall die Ausprägung des Achsensystems von Relevanz ist. Entwickler, die für mehrere Unternehmen konstruieren, kommen zu dem Schluss, dass die Restriktion unnötig ist, da viele Unternehmen ohne sie auskommen.

Die Verbreitung derartiger Hintergrundinformationen ist mit sehr geringem Aufwand möglich, da eine direkte Erwähnung innerhalb der Vorgaben möglich ist. Vertrauliche Bestandteile sind mit den beschriebenen Hintergrundinformationen in der Regel nicht verbunden. Sie trägt damit risikolos und aufwandsarm zur Vermeidung von Fehlern aufgrund von Fehlinterpretationen der technischen Vorgaben bei. GEBERT belegt ferner die Verbesserung der Akzeptanz von Vorgaben im betrieblichen Kontext durch die Erläuterung von „Sinn und Zweck“ der Vorgaben [221].

5.3.2 Transparenz der Fehler- und Folgekosten

Sind mögliche Fehlerkosten bei der Risikoanalyse bereits ermittelt worden, so sollte aus diesen potenziellen Kosten kein Geheimnis gemacht werden. Sie können dem Ingenieur als Entscheidungsgrundlage dienen und erlauben es ihm somit, eine möglichst nach allen Gesichtspunkten optimale Entscheidung zu treffen. Die Darstellung der möglichen Fehler- und Folgekosten kann direkt innerhalb der relevanten Prozess- und Methodenvorgaben erfolgen und sollte im Fall sich häufender Fehler bestimmter Arten auch explizit bekannt gemacht werden. Die Schaffung von Transparenz der absehbaren Kosten erleichtert dem Ingenieur somit das Entscheiden im Sinne des Unternehmens und stellt darüber hinaus eine Vertrauenshandlung dar, die nach der Theorie der Reziprozität [222] zu einer verbesserten Kooperationsbereitschaft der Beteiligten führt.

Dass bereits ohne das Gefühl einer persönlichen Bindung, rein durch formale Zugehörigkeit zu einer Gruppe, die Bereitschaft entsteht, Nutzen zu teilen und Schaden nach Möglichkeit von weiteren Gruppenzugehörigen abzuwenden. ist empirisch belegt [218, 223]. Im betrachteten Kontext stellt das Team, die Abteilung, das Projekt oder das Unternehmen die Bezugsgruppe dar. Der Umfang dieser Bestrebungen steht in Relation mit den Kosten, die für den Einzelnen aus dieser Maßnahme entstehen. Rein selbstloses Verhalten ist nicht zu erwarten. Der Effekt wirkt umso geringer, je weniger das uneigennützige Handeln für andere Personen sichtbar ist, da so der Effekt der sozialen Kontrolle nicht zum Tragen kommen kann [224]. Die Sichtbarkeit der Entscheidung ist durch hochgradige Spezialisierung und Arbeitsteilung in der Produktentwicklung selten gegeben. Eine Transparenz möglicher Fehler- und Folgekosten ist damit notwendig als Vorlage zur Nutzenteilung. Die Vermeidung bekannter Fehler- und Folgekosten ist als Nutzenteilung mit der Gruppe zu verstehen. Die in Abschnitt 4.3.6 (S. 75)

beschriebene Ergebnisrückmeldung dient anschließend dazu, dass die Sichtbarkeit des kooperativen Handelns beim Entwickler bewusst wird.

Ähnlich wie Finanzinformationen nicht nur der Finanzberichterstattung dienen, sondern für die unternehmerische Ressourcenverteilung als Entscheidungsgrundlage fungieren [180], können damit Kostenrisiken bereits im Vorfeld bessere Ergebnisse unterstützen und ermöglichen es dem Entwickler, seine Arbeitskraft als Ressource des Unternehmens effizienter einzusetzen.

Im Gegensatz zu der in Abschnitt 5.3.1 (S. 130) genannten Vermittlung fachlicher Hintergrundinformationen handelt es sich bei Fehler- und Folgekostenstrukturen um Informationen, die teils als Unternehmensinterna angesehen werden können. Der Nutzen interner Fehlerkostenbeträge für Dritte ist jedoch fraglich und sollte nicht überbewertet werden. Durch die Einzelbetrachtung der Fehlerkosten werden nur Mosaikbausteine und keine interpretierbaren Kostenstrukturen bekannt gegeben. Selbst die unternehmensexterne Informationsweitergabe ist daher nur eingeschränkt kritisch zu beurteilen. Ein Risiko besteht lediglich hinsichtlich möglicher bewusster Schädigungen des Unternehmens, wie sie bei Fehlerkostenkenntnis durch Kooperationspartner erfolgen könnte.

5.3.3 Nicht explizierbares Wissen in der Produktentwicklung

"Wissen ist Macht" [Sprichwort].

Wissen über Prozesse im Unternehmen ist Macht gegenüber dem Vorgesetzten, die in gewissem Maße die Sicherheit des eigenen Postens begründet. Viele Ratgeber vermitteln dem Arbeitnehmer die Notwendigkeit, sich durch Nichtpreisgabe exklusiven Wissens in der Organisation unverzichtbar zu machen [225, 226]. Selbst ohne den Anreiz, Wissen nicht in Form von Informationen zu dokumentieren, gibt es meist keinen Anreiz, es doch zu tun. Sollte es einen Anreiz dazu geben stehen der Umsetzung meist zeitliche Restriktionen entgegen. Als weitere Ursache ist festzuhalten, dass komplexes Wissen mit vielen Kontext-Informationen verbunden ist und daher schlecht dokumentierbar ist. Die vollständige Beschreibung eines Wissensbausteins bestünde aus vielerlei Rahmenbedingungen, die oftmals nur implizit bekannt sind. Routinierte Tätigkeiten sind besonders schwer vollständig dokumentierbar. Ein grundlegendes Hindernis dafür sind die in unterschiedlichem Umfang vorhandenen Hintergrundinformationen des Informationsempfängers, die vom Informationssender meist nicht adäquat eingeschätzt werden können. Die ausgeprägte Heterogenität und Interdisziplinarität in Entwicklungsnetzwerken trägt dazu entscheidend bei. Auf der Empfängerseite ist bei der Informationsaufnahme über dokumentierte Inhalte eine Reinterpretation notwendig, deren Ergebnis immer ungewiss ist. Nur bei persönlichem Kontakt zwischen Informationssender und Informationsempfänger sowie der Möglichkeit, Vorgehensweisen zeigen zu können, kann auf das jeweilige Niveau des anderen mit

entsprechenden Rückmeldungen eingegangen werden und die betreffende Information so in angemessener Weise weitergegeben werden. Abbildung 39 beschreibt die entstehenden Effektivitäts- und Effizienzverluste bei der Wissensweitergabe auf verschiedenen Wegen.

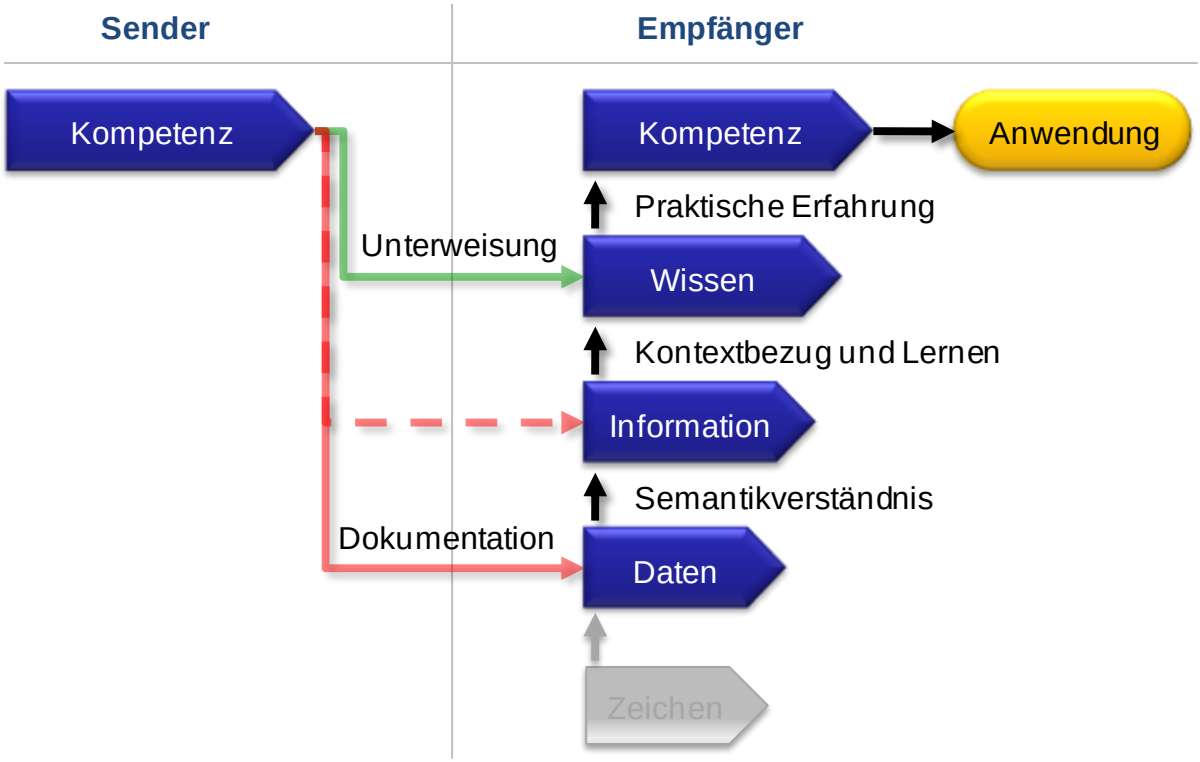


Abbildung 39: Effektivitäts- und Effizienzverluste bei der Wissensweitergabe

Gezeigt sind die direkte und indirekte Kommunikation zwischen Sender und Empfänger. Die Unterweisung (grüne Linie) als direkte Kommunikation ermöglicht die Erzeugung von Wissen beim Empfänger. Wird auf indirekte Kommunikation in Form einer Dokumentation (rote Linie) zurückgegriffen, so enthält diese Dokumentation zunächst ausschließlich Daten, die durch das Semantikverständnis des Empfängers wiederum zu Informationen aufgewertet werden müssen. Unter der idealisierten Annahme vollständig deckungsgleichen thematischen Vorwissens beim Sender und Empfänger sowie unter der Annahme vollständig empfängerkonformer Beschreibung der Dokumentation könnte die Kommunikation als Übergang von Kompetenz zu Information (rote Strichlinie) verstanden werden. Weitere Einschränkungen dieser Sichtweise sind im weiteren Verlauf des Kapitels beschrieben.

Wissensmanagement-Systeme, wie sie heute häufig in der Industrie Verwendung finden, basieren zum großen Teil auf der Explizierung von Wissen in Form von Dokumentationen. Sie können nur eingeschränkte Effizienz bieten, da hohe Verluste über den Umweg der Dokumentation entstehen (vgl. Abbildung 39). Die Handlungskompetenz muss vom Empfänger über mehrere Schritte neu aufgebaut werden. Durch mangelhafte Befüllung von

Wissensmanagement-Systemen mit relevanten Inhalten ist auch die Effektivität der Systeme teils beschränkt. Funktionsfähige Anreizsysteme für die konsequente Dokumentation von Wissen und Information könnten Abhilfe schaffen, sind aber bis dato nur in Ansätzen bekannt [227, 228]. Ein weiteres Hindernis für die Effektivität der Wissensweitergabe über Explizierung ist die Erkenntnis, dass effektive Kommunikation ein beim Sender vorhandenes Konzept der Wissensstruktur des Empfängers voraussetzt [161]. Ausschließlich Dokumentationen, die sich nur an einen sehr kleinen, bekannten Personenkreis richten, können diese Anforderung erfüllen. Eine weitere Einschränkung der Effektivität von Dokumentationen liegt in unterschiedlichen mentalen Modellen begründet, die, selbst bei Annahme ausreichenden Vorwissens, zu unterschiedlichen Arten der Kommunikation führen. Zwei Entwickler A und B mit vergleichbarem Vorwissen können unter Umständen eine Dokumentation sehr gut bzw. vergleichsweise schlecht verstehen, abhängig davon, ob die Art der Beschreibung ihrer Denkweise ähnlich ist oder nicht. Trotz der beschriebenen Probleme und ungeachtet der eingeschränkten Effektivität und Effizienz erfahren Wissensmanagement-Systeme, beispielsweise in Form kollaborativer Web 2.0 Anwendungen, starken Zulauf in der industriellen Praxis.

In Abhängigkeit persönlicher Beziehungen und momentaner Notwendigkeiten sowie mikropolitischer Entscheidungen wird das beschriebene erfolgsentscheidende Wissen im Produktentstehungsprozess also in der Regel mündlich weitergegeben und kann außer durch gezieltes Halten wissender Mitarbeiter (Retention Management) nicht im Unternehmen verankert werden. Es verbleibt immer in und zwischen den Köpfen der Organisationsmitglieder. Im Folgenden soll deshalb von treibendem Wissen (Floating Knowledge) gesprochen werden.

Neben den beschriebenen negativen Eigenschaften treibenden Wissens für das Unternehmen gibt es auch positive Aspekte. Im Gegensatz zu schriftlich dokumentierten Inhalten ist die Aktualisierung von treibendem Wissen teils wesentlich einfacher, da bei jeder Anwendung eine Aktualisierung stattfindet. Wissen wird nach neuropsychologischen Erkenntnissen bei jeder Reflexion aus dem Gedächtnis gelesen und aus dem jeweiligen Kontext neu gespeichert [229]. Was im Fall von Erinnerungen den unerwünschten Effekt der nachträglichen Veränderung historischer Information zur Folge hat, erweist sich für prozedurales Wissen als positiver Nebeneffekt. Es aktualisiert sich praktisch selbst. Ebenso finden Aktualitätskontrollen bei der Weitergabe statt, wenn auch im schlechtesten Fall nur auf dem Niveau einer schnellen Plausibilitätsprüfung durch den Empfänger. Das Wissen um Prozesse in der Produktentwicklung kann zum überwiegenden Teil dem treibenden Wissen zugeordnet werden.

5.3.4 Entwicklung der *Show & Tell*-Methode zur gegenseitigen Arbeitsunterweisung

"The best way to learn something is to teach it to someone else" [Sprichwort].

Bis in die 1970er Jahre hatte die Arbeitsunterweisung als Maßnahme der Informations- und Wissensvermittlung einen hohen Stellenwert in industriellen Betrieben. Seither sind die Thematik und auch die Begrifflichkeit aus der industriellen Praxis weitgehend verschwunden. In der noch jungen Disziplin der virtuellen Produktentstehung konnte eine Etablierung noch nicht stattfinden und scheint auch derzeit nicht im Gange. Dies spiegelt auch der aktuelle Stand der Literatur wider. In der Praxis wird weit mehr auf schulische und universitäre Vorbildung sowie externe Trainingsmaßnahmen vertraut als auf individuelle Einweisungen im tatsächlichen Unternehmensprozess. Auch gesellschaftliche Entwicklung hin zu mehr Eigenverantwortung und Selbstständigkeit sowie entsprechende Tendenzen im Unternehmensumfeld [230, 231] sind zu den Ursachen des Rückgangs der Arbeitsunterweisung zu zählen. Eine Ausnahme stellen die in Abschnitt 5.4 (S. 141) ausführlich beschriebenen Prozess- und Methodenvorgaben dar. Hier sind die Inhalte der Arbeitsunterweisung von der unterweisenden Person separiert und schriftlich festgehalten. Diese Form ist besonders in der verteilten Produktentwicklung weiterhin gängig.

Den Vorteilen der zeitlichen Aktualität und Praxisnähe beim Einsatz als Einweisung oder fortlaufende Auffrischung komplexer und vielfältiger Tätigkeiten und Prozesse steht der hohe zeitliche Aufwand entgegen. Mehrere Mitarbeiter sind gleichzeitig gebunden und nicht in der Lage, die alltäglichen Arbeitsabläufe unterbrechungsfrei weiterzuführen.

Im Folgenden wird die *Show & Tell*-Methode beschrieben, die speziell auf die menschliche Wissensverarbeitung hin entwickelt wurde. Sie verbindet Vorteile von Arbeitsunterweisungen mit dem Ziel, negative Aspekte möglichst auszuklammern. Es handelt sich dabei um eine möglichst tägliche, auf kurze Dauer angelegte gegenseitige Arbeitsunterweisung.

Ziel dieser Methode ist die häufige und regelmäßige Zusammenführung von Mitarbeitern der Produktentwicklung und entwicklungsnahen Prozessen, die an einem gemeinsamen Prozess oder einer gemeinsamen Schnittstelle tätig sind. Dazu gehören für Produktentwickler beispielsweise die Software-Support-Prozesse wie 1st, 2nd und 3rd Level Support. Mit dem 3rd Level Support ist auch grundlegendes Software-Customizing abgedeckt. Das Vorgehen umfasst grundsätzlich den Austausch aktueller Informationen sowie die Vorstellung einzelner Tätigkeiten der Teilnehmer nach dem Rotationsprinzip. Den jeweiligen Inhalten entsprechend ist die Gruppe jeweils aus unterschiedlichen Teilnehmern zusammengesetzt. Von thematischer Relevanz sind alle Vorgänge, die unmittelbar oder mittelbar mehrere Prozessschritte betreffen.

Die Informationssuche in Prozess- und Methodenvorgaben erfolgt nach einem reinen Pull-Prinzip. Der Entwickler sucht aktiv nach benötigten oder für nötig erachteten Inhalten und Details. In der *Show & Tell*-Methode werden Inhalte die aus Sicht des Referenten relevant sind, ungefiltert nach dem Push-Prinzip vorgetragen. Aufgrund der gemeinsamen Schnittstelle ist gewährleistet, dass sich die Relevanz auch auf Prozess-Vorgänger und -nachfolger erstreckt. Das Push-Prinzip verhindert den auf der Dissonanztheorie nach FESTINGER basierenden Effekt der selektiven Informationssuche („selective exposure“) [232]. Dieser Effekt besagt, dass auf Basis bereits vorhandener Kenntnisse lediglich Informationen gesucht werden, die den aktuellen Kenntnisstand bestätigen. Das psychologisch begründete Streben nach Konsistenz [233] führt zu dieser selektiven Suche nach bestätigenden Informationen. Dadurch können die mit korrigierenden Handlungen potenziell verbundenen versunkenen Kosten („sunk costs“) der bisherigen Arbeit vermieden werden. Versunkene Kosten sind monetäre und nicht-monetäre Kosten, die bereits entstanden und unabhängig vom weiteren Vorgehen unwiederbringlich sind. Die rational betrachtet nicht sinnvolle Einbeziehung der versunkenen Kosten in die Handlungsentscheidung wird als eskalierende Bindung („escalating commitment“) bezeichnet [234].

Eine Verbesserung der Kooperation zwischen Gruppenmitgliedern und über Gruppen hinweg wird mit der *Show & Tell*-Methode ebenfalls gefördert. Der Normalisierungsthese nach FANK ET AL. [235] folgend reduziert die geforderte Regelmäßigkeit der Durchführung und die Integration in den üblichen Arbeitsablauf mögliche Widerstände über die Erkennung der Legitimität der Vorgabe. Mittels der in Gruppensituation stattfindenden sozialen Kontrolle erfolgt eine fortlaufende Korrektur des Wissens der Beteiligten. Die persönliche Zusammenkunft ermöglicht Rückmeldung und Nachfrage, sodass sowohl der Informationsempfänger durch die Anpassung der Information an seinen Kenntnisstand und Kontext besser informiert wird als auch der Informationssender eine Rückmeldung bezüglich der Aktualität seines Kenntnisstandes und den Auswirkungen seiner Handlungen auf andere Prozesse erhält. Die Möglichkeit zur gezielten Rückfrage stellt eine Pull-Komponente in der Methode dar. Sie dient dem Zuschnitt der übermittelten Nachricht auf den einzelnen Empfänger und ist notwendige Voraussetzung für eine effiziente Kommunikation [161]. Ferner fördert sie die Reflexion teilweise zur Routine gewordener Handlungen durch Explizierung impliziten Wissens. BUTZ & TEUCHERT-NOODT bestätigen die Verinnerlichung und Vertiefung vorhandenen Wissens durch Einnahme einer Dozentenrolle auf neurobiologischer Ebene [236].

Explizites Wissen zeichnet sich dadurch aus, dass Handlungsabläufe Schritt für Schritt wiedergegeben werden können, während bei implizitem Wissen kein Bewusstsein für den tatsächlichen Ablauf in einzelnen Handlungsschritten existiert. Dass dennoch korrekte Ergebnisse erzielt werden können, obwohl eigentlich nicht bekannt ist, was zu tun ist, kann

damit erklärt werden, dass stattdessen genau bekannt ist, was nicht zu tun ist. Über dieses Ausschlussprinzip wird ebenfalls das gewünschte Ziel erreicht. Eine gezielte Vermittlung der Vorgehensweise an andere ist aber nicht möglich. In Tabelle 4 sind die beschriebenen Effekte der *Show & Tell*-Methode nochmals zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 4: Positive Effekte der Show & Tell-Methode

Einflussbereich	Auswirkung
Unternehmensprozesse	• Geringer Ressourcenaufwand • Nur kurzzeitige Prozessunterbrechungen
Informationsfluss	• Keine Medienbrüche im Informationsfluss zwischen Mensch, Papier oder EDV und zurück
Soziologische Effekte	• Team-Bildung
Wissensvermittlung	• Verringerte Hemmung der Wissenspreisgabe durch rein mündliche Übermittlung • Vermittlung von implizitem Wissen • Vermittlung von treibendem Wissen
Wissensprüfung	• Korrektur falschen Wissens • Regelmäßige Aktualisierung des Wissens
Informationssuche	• Ausschluss selektiver Informationssuche

5.3.5 Vorabinformationen, Schulungen und Trainings

Um die in Abschnitt 5.3.4 (S. 136) beschriebenen versunkenen Kosten und die daraus resultierende eingeschränkte Informationssuche zu verhindern, müssen die notwendigen Kenntnisse und Information vor der Entstehung der Kosten stehen. Je früher die relevante, richtige Information zur Verfügung steht, umso weniger Kosten in Form unnötiger Arbeitsleistung können entstehen, bevor Fehler erkannt werden und Korrekturen erforderlich werden. Wer bereits zehn Stunden für Arbeit und Suchen investiert hat, wird gerne weitere drei Stunden mit Suchen zubringen, um im Zweifelsfall seinen bisherigen Kenntnisstand zu bestätigen. Wer erst zehn Minuten Aufwand betrieben hat, dem fällt es leichter, bisherige falsche Ergebnisse über Bord zu werfen und mit richtiger Herangehensweise neu zu beginnen.

Die Tatsache, dass Trainings entscheidend für die Sicherstellung kompetenter und effizienter Umsetzung in komplexen Arbeitsumgebungen sind, ist weitgehend akzeptiert und auch im wissenschaftlichen Umfeld unstrittig [132]. Auch im Zusammenhang mit prozeduralem Wissen,

prozeduralen Dokumentationen und Suchstrategien ist die Sinnhaftigkeit von Schulungen im Hinblick auf Effektivität und Effizienz beziehungsweise Ergebnisqualität und -produktivität belegt. Dies gilt auch speziell im Hinblick auf den Umgang mit Prozess- und Methodenvorgaben [237]. Laut MYERS ET AL. sind geschulte Anfänger in der Lage, vermittelte Suchstrategien ebenso adäquat hinsichtlich der erzielten Ergebnisse anzuwenden wie Experten. Die Ergebnisfindung erfolgt bei den Experten jedoch schneller [237], was zeigt, dass durchgeführte Schulungen alleine noch niemanden zum Experten machen. Erfahrung ist ein nicht zu ersetzender Faktor.

Die Umsetzung von Schulungen und Trainings in der Praxis scheitert oft an den vordergründig hohen Kosten durch Schulungsmaßnahmen und Arbeitsausfall teurer Fachkräfte. Konkret bewirken Trainings die Entwicklung von Kompetenzen zur Erfüllung von Einzelaufgaben sowie die Vermittlung und den Aufbau persönlicher Strategien zum Umgang mit komplexen Aufgabenfeldern. Bezug nehmend auf die bereits genannten leistungsbegrenzenden Faktoren werden damit sowohl die Ressourcenbeschränkung als auch die Informationsbeschränkung gezielt reduziert. Der Entwickler ist nach erfolgreich durchgeführten Trainingsmaßnahmen in der Lage, vorhandene und bisher ungenutzte Informationen zu verarbeiten (Reduktion der Informationsbeschränkung) und den Überfluss an Informationen effizient zu filtern (Reduktion der Ressourcenbeschränkung). Die Ressourcenbeschränkung wird unter anderem dadurch aufgeweicht, dass die zur Verfügung stehenden kognitiven Kapazitäten bei kompetenten Fachkräften gezielter auf die relevanten Informationen verteilt werden („allocation of task to resource“) [132], als dies bei Unerfahrenen der Fall ist.

Es ist daher dringend notwendig, Mitarbeiter im Entwicklungsnetzwerk bereits vor Antritt der Arbeitstätigkeit und vor Tätigkeitswechseln mit Schulungen und Trainings zu unterstützen, um möglichst fehlerfreie Arbeitsweisen zu ermöglichen. Sollte eine Vorbereitung am Arbeitsplatz (training on-the-job) nicht möglich sein, so können außerbetriebliche Maßnahmen (training off-the-job) als nächstbeste Option gelten. In der Luftfahrtindustrie wurde die Notwendigkeit von Vorab-Schulungen bereits in gewissem Umfang erkannt. Neben vier von der Firma Airbus als offiziellen Schulungspartnern anerkannten Unternehmen gibt es eine Reihe weiterer privater Einrichtungen auf dem Markt, die Schulungen für airbusinterne Arbeitsmethoden anbieten. Diese kostenpflichtigen Angebote können von Zulieferunternehmen entsprechend in ihre Leistungen eingepreist werden. Verzerrungen durch externe Effekte entstehen in der Regel nicht.

5.3.6 Implementierung von Rückmeldewegen

SCHÖMIG schlägt auf dem Weg zur „Null-Fehler-Konstruktion“ neben einer hier nicht betrachteten Umstrukturierung der Unternehmensorganisation auch einen verbesserten

Informationsrückfluss aus der Produktion in die Produktentwicklung vor [126]. Ein ähnlicher Informationsrückfluss ist zwischen Prozessen der verteilten Produktentwicklung notwendig, obgleich die „Null-Fehler-Konstruktion“ nicht als Ziel verfolgt werden soll (vgl. Abschnitt 5.2.8, S. 124). Implementierte Organisationsstrukturen des Beanstandungsmanagements zur Rückmeldung aus der Fertigung in die Produktentwicklung sind als Grundlage verwendbar und an die interne Rückmeldung anpassbar. Zusätzlich kann dieses Feedback in Form persönlichen Austauschs auf regelmäßiger Basis in die *Show & Tell*-Methode (vgl. Abschnitt 5.3.4, S. 136) integriert werden. Die bereits genannten Vorzüge treffen entsprechend analog für den Feedback-Mechanismus zu. Verallgemeinert gesprochen handelt es sich um einen multilateralen Informationsaustausch über Lebenszyklusphasen hinweg. Er wirkt fälschlich angenommener Fehlerfreiheit erarbeiteter Ergebnisse entgegen, die nach WILLIAMS ein Hauptfaktor für fortlaufende Fehlerentstehung darstellt.

Neben dieser Kommunikation zwischen Prozessen auf operational gleicher Ebene sind Möglichkeiten gezielter Aufwärtskommunikation erforderlich, um Schnittstellenprobleme und Kooperationshindernisse formal eskalieren zu können. Es muss gewährleistet sein, dass aufwärts kommunizierte Rückmeldungen aufgenommen und entsprechende Maßnahmen ergriffen werden. Andernfalls führen die ins Leere kommunizierten Anliegen dazu, dass sich bei den betroffenen Personen eine Unzufriedenheit einstellt, die noch höher ist als vor der Rückmeldung. Dies entspricht der Wahrnehmung mangelnder Veränderungsfähigkeit im 3-W-Modell nach KRÜGER [238]. Die damit verbundenen negativen Auswirkungen wurden bereits im Stress-Modell von LAZARUS [239, 240] aufgezeigt. Von GEBERT wurden diese Auswirkungen im betrieblichen Kontext untersucht und empirisch belegt. Resignation ist demnach hauptsächlich die Folge ergebnisloser Aufwärtskommunikation [241]. Alle beschriebenen Rückmeldewege sind in Abbildung 40 zusammengefasst dargestellt.

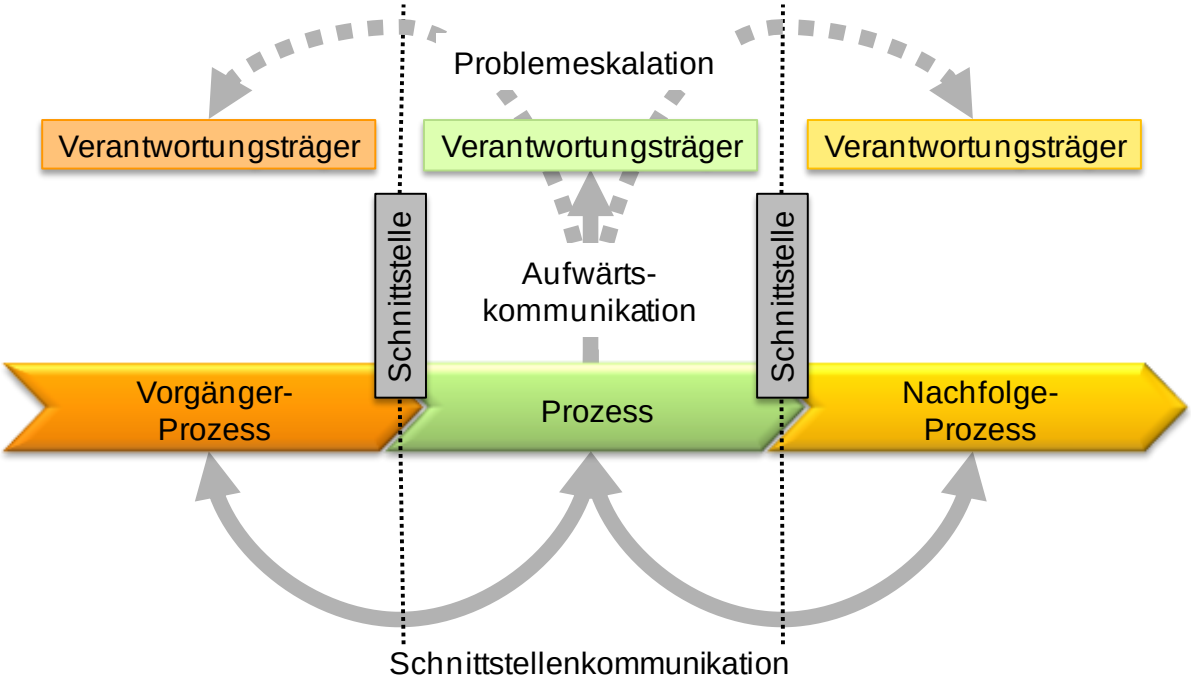


Abbildung 40: Zu implementierende Rückmeldewege

GEBERT bestätigt, dass die Förderung der Mitarbeiterpartizipation und des innerbetrieblichen Diskurses sowohl die Problemkommunikation als auch die Akzeptanz betrieblicher Vorgaben begünstigen [221]. Es konnte empirisch belegt werden, dass in Entwicklungsnetzwerken die beschriebenen Rückmeldewege nur sehr spärlich implementiert sind. In der Regel sind die entsprechenden Ansprechpartner nicht bekannt (vgl. Abschnitt 3.2, These 21, S. 55).

In der industriellen Praxis gibt es teilweise Bedenken, dass die Möglichkeit ungesteuerter Kommunikation zwischen den Prozessbearbeitern zu übermäßiger Kontaktaufnahme und versuchter Einflussnahme auf Anforderungen führen könnte. Klare Kommunikationsregeln können dieses Risiko mindern. Zweck der Implementierung umfassender Rückmeldewege ist in erster Linie die Klärung offener Fragen und die Informationsweitergabe im Hinblick auf fehlerhafte Prozesse und Ergebnisse. Eine Einflussnahme unter Umgehung der entsprechenden Unternehmensstrukturen ist nicht vorgesehen.

5.4 Konzepterarbeitung zur Gestaltung und Bereitstellung von Prozess- und Methodenvorgaben

Eine Prozess- und Methodenvorgabe (PMR) beschreibt ein festgelegtes Vorgehen bei der Durchführung einer Tätigkeit. Sie kann im Hinblick auf die Vermeidung von Fehlern, die Einhaltung von Standards oder die Vereinfachung der Arbeitstätigkeit formuliert worden sein und erfüllt teilweise mehrere oder alle diese Ziele. Neben deklarativen Anteilen beinhaltet sie hauptsächlich prozedurale Informationen, die jedoch meist nicht entsprechend prozedural

aufbereitet, sondern in Textform dargelegt sind. Teilweise wurden Arbeitsmethoden als „best practices“ [242] oder „one best way“ [243] erkannt, sind also nicht systematisch erarbeitet worden, sondern vielmehr durch *Learning by Doing* entstanden und wurden als bewährter Lösungsweg für allgemeingültig erklärt [244]. Eine Systematik liegt meist nicht zugrunde; maximal eine einheitliche formale Darstellung, die sich an unternehmensspezifischen Templates orientiert. Es handelt sich bei der Erarbeitung also um einen, wie MYERS ET AL. die Situation der Software-Dokumentationen der 1980er Jahre beschreiben, „(...) seat of the pants approach, based on common sense (...)“ [237].

Die Forderung, eine PMR zu befolgen, wird je nach Detaillierungsgrad und Zielgruppe als Verfahrensanweisung [245] oder Arbeitsanweisung [184] bezeichnet und kann sowohl in mündlicher als auch schriftlicher Form erfolgen. Obwohl seitens des Qualitätsmanagements die Verwendung von Arbeitsanweisungen (AA) und Verfahrensanweisungen (VA) gefordert wird, gibt es keine eindeutige begriffliche Abgrenzung zwischen diesen und anderen Begriffen. Teilweise wird die Arbeitsanweisung als Konkretisierung der allgemeineren Verfahrensanweisung verstanden. In Einzelfällen wird die Unterscheidung daran festgemacht, dass Verfahrensanweisungen dem Ausführenden Wahlmöglichkeiten bieten, während Arbeitsanweisungen eine eindeutige, nicht interpretationsfähige Vorschrift darstellen, die keine Umsetzungsalternativen erlaubt [246]. Im Englischen sind Standard Operating Procedure (SOP), Work Order und Operational Instruction gängige Begriffe, die jedoch ebenso wenig klar abgegrenzt sind.

PMR werden dort benötigt, wo Handlungsabläufe auf verschiedene Weise und von unterschiedlichen Personen durchgeführt werden können. Bei konsequenter Umsetzung ermöglichen sie die Sicherstellung gleichbleibender, von der ausführenden Person unabhängiger Arbeitsergebnisse. Die Komplexitätsreduktion ist als ein Hauptziel von PMR anzusehen. Der Entwickler wird dadurch entlastet, dass er nicht sämtliche möglichen Einflussfaktoren während seines Handelns abwägen muss. Durch Anwendung ausgewählter, bewährter Methoden wird die Konzentration auf die tatsächlich variablen Einflussgrößen erleichtert, die nicht in standardisierten Anweisungen abschließend beschrieben werden können und somit die Expertise und Kreativität des Entwicklers erfordern. Im Hinblick auf die Schnittstellen-Prozesse liefern PMR dem Entwickler interne Anforderungen der Produktentwicklungsprozesse. Vielfach finden entsprechende Prozesse in fremden Abteilungen, Betrieben oder Unternehmen statt. Die Vielfalt und Komplexität der im Entwicklungsnetzwerk existierenden Prozesse verhindert eine umfassende Kenntnis oder Antizipation aller bestehenden Randbedingungen.

Neben schnittstellenspezifischen Vorgaben, die sehr individuell und schlecht generalisierbar und übertragbar sind, gibt es auch Vorgaben, die eine umfassendere Gültigkeit beanspruchen. Mögliche Urheber derartiger Vorgaben sind:

- Gesetzgeber (Methoden ordnungsgemäßer Buchführung; Zulassungsrichtlinien von Luftfahrtbundesamt, European Aviation Safety Agency, Federal Aviation Association)
- Standardisierungsorganisationen (DIN, ESO, ISO)
- Gleichberechtigte Abteilung und Unternehmen innerhalb des Entwicklungsnetzwerkes
- Privatunternehmen außerhalb des Entwicklungsnetzwerkes (Beratungsunternehmen, best practices)
- Beauftragende Unternehmen, beispielsweise OEM an Zulieferer

Prozess- und Methodenvorgaben spielen eine große Rolle in der modernen industriellen Produktentwicklung. Neben zunehmenden Forderungen, Arbeitsmethoden nach dem Qualitätsstandard DIN EN ISO 9000 ff. anzuwenden, wird den Zulieferern vom OEM teilweise die Architektur der kompletten Entwicklungsumgebung und sämtlicher Prozesse in Form von Methodenhandbüchern vorgegeben [247]. Für die Erarbeitung von Methoden werden in größeren Unternehmen eigene Abteilungen betrieben, wie auch STREBEL beschreibt [248]. Darüber hinaus versucht beispielsweise der Verband der Deutschen Automobilindustrie (VDA) mit technischem Fokus Richtlinien wie die VDA 4955 für Umfang und Qualität von CAD/CAM-Modellen zur Schaffung problemloser Datenaustauschprozesse als Standard zu implementieren [73].

Bei der Betrachtung der Schnittstellen-Prozesse in Produktentwicklungsnetzwerken spielen interne Anforderungen dennoch die größte Rolle. Neben den bereits beschriebenen fachlichen Ursachen erfordern vielfältige unternehmensspezifische Prozesse und Konstellation aus Standardsoftware, Altsystemen und Individuallösungen umfangreiche Regelwerke und Methodenkataloge, die mehrere Tausend Seiten umfassen können. Als Grundlage der folgenden Abschnitte wurde eine Vielzahl von Prozess- und Methodenvorgaben von Industrieunternehmen analysiert.

5.4.1 Eingliederung formaler Methoden in den Prozess des methodischen Konstruierens

Im Konstruktionsprozess nach VDI 2221 [249], dargestellt in Abbildung 41, gibt es keinen idealen Zeitpunkt für die Aneignung von Wissen über anzuwendende Prozess- und Methodenvorgaben (PMR). Der Zeitpunkt ist jeweils abhängig von der konkreten Vorgabe, sodass bei der Erstellung der PMR bereits darauf zu achten ist, in welchem Maße eine Methode den Arbeitsprozess beeinflusst und zu welchem Zeitpunkt die Vorgabe dem Entwicklungsingenieur bekannt sein muss.

In Abhängigkeit der Reichweite einer Vorgabe ist sie entweder grundlegend und jederzeit anzuwenden, wie dies bei der Strukturierung des CAD-Modells in einzelne Layer oder bei der Verwendung spezieller Farben für unterschiedliche Funktionsbereiche des Modells der Fall ist. Oder aber die Vorgabe gilt nur für bestimmte Arbeitsschritte wie die Entwicklung eines speziellen Bauteils oder die Anwendung einzelner Funktionen von Entwicklungswerkzeugen. Die Randbedingungen, unter denen Vorgaben Gültigkeit haben sind klar zu definieren und zu kategorisieren. Eine mögliche Form der Kategorisierung ist in Abschnitt 5.4.2 (S. 147) dargestellt und erläutert.

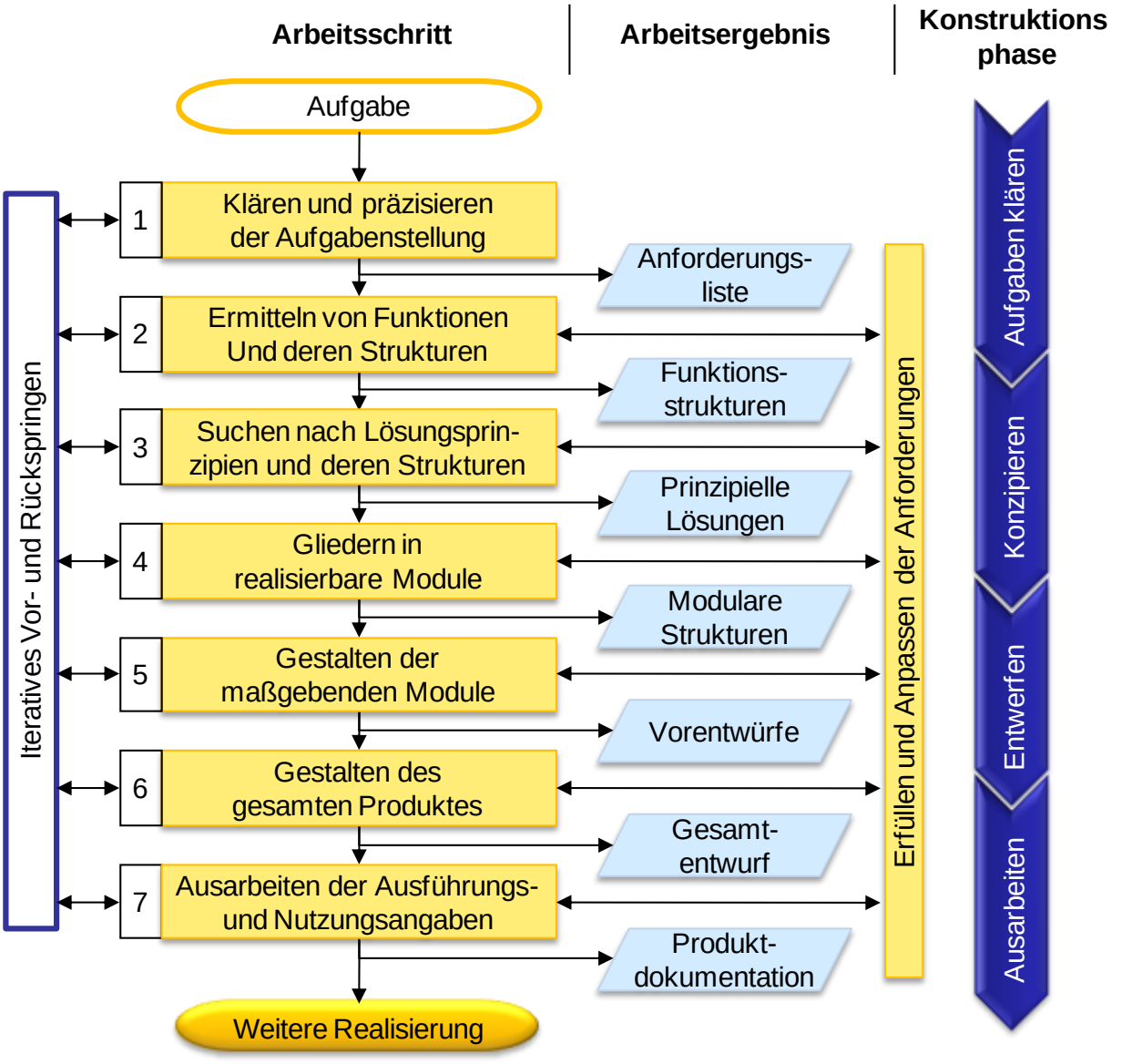


Abbildung 41: Arbeitsschritte beim Planen und Konstruieren nach VDI 2221 [249]

Anders als beim Konstruktionsprozess nach VDI 2221 ist eine Einordnung prozessinterner Vorgaben in den in Abbildung 42 dargestellten generischen Problemlösungsprozess nach GAGNE [250] durchaus möglich. Gleichzeitig können daran mögliche Probleme im Hinblick auf die PMR-konforme Arbeit aufgezeigt werden.

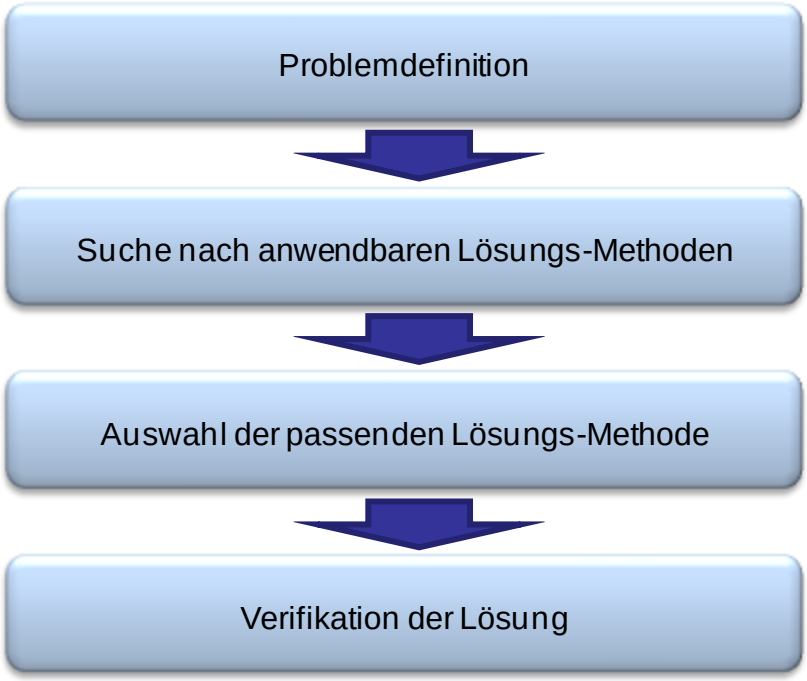


Abbildung 42: Problemlösungsprozess nach GAGNE

Bereits die Problemdefinition kann nur mangelhaft durchgeführt werden, wenn nicht bekannt ist, dass es ein Problem, oder im konkreten Fall eine formale Vorgabe, gibt. Die Suche nach anwendbaren Lösungsmethoden gestaltet sich teils erfolglos und mit teils fehlerhaften Ergebnissen. Gleiches gilt folglich für die Auswahl der passenden Lösung. Die Verifikation der erarbeiteten Lösung ist von allen genannten Mängeln gleichermaßen betroffen. Besonders wenig erfahrene Personen tendieren dazu, die ersten beiden Schritte zu überspringen, eine bereits bekannte Lösung aus dem Gedächtnis zu erinnern und sie direkt auf das aktuelle Problem anzuwenden. Erfahrene Personen betrachten das Problem hingegen als Aufgabe aus Analyse und Schlussfolgerung [251]. TROLLIP UND LIPPERT [252] fassen die Charakteristika des Verhaltens von Anfängern zusammen und nennen beispielsweise:

(6) Unsystematische Erkundung des Problemraumes
(7) Unzulänglichkeit in der Erfassung und Definition des konkreten Problems
(8) Unangemessene Kommunikation der erarbeiten Ergebnisse

Bei der Erfüllung formaler Vorgaben aus dem Entwicklungsprozess ist der Entwickler aufgrund der Vielfältigkeit und schlechten Generalisierbarkeit der Anforderungen meist Anfänger in der

Erfüllung der Einzelaufgaben, selbst wenn er bereits langjährige Erfahrung in der Produktentwicklung gesammelt hat. Diese Umstände werden durch das entwickelte Rahmenwerk auf folgenden Wegen unterstützend behandelt:

- Vorschlag erprobter Vorgehensweisen von erfahrenen Entwicklern in Verbindung mit automatisierter Kontext-Erkennung (zu (1) und (2))
- Erleichterte Dokumentation der verwendeten Methoden (zu (3))

Die im Folgenden beschriebenen Ansätze greifen an unterschiedlichen Stellen im Problemlösungsprozess und unterstützen den Entwickler bei der erfolgreichen Erfüllung formaler Vorgaben. Abbildung 43 stellt die einzelnen Elemente im Problemlösungsprozess dar.

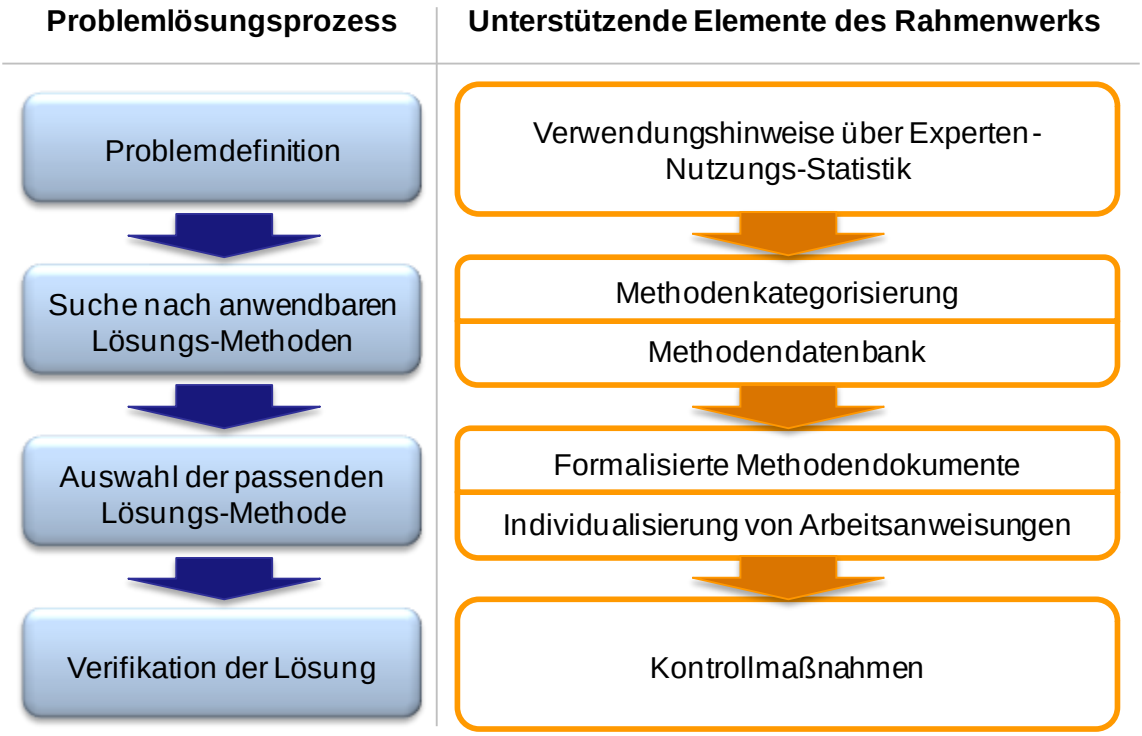


Abbildung 43: Unterstützende Elemente im Problemlösungsprozess

Im Zusammenspiel mit der automatisierten Kontext-Erkennung (vgl. Abschnitt 6.2.1, S. 202) werden Methoden-Nutzungs-Statistiken erfahrener Nutzer (vgl. Abschnitt 5.4.5, S. 155) in Verwendungshinweise überführt. Die Problemdefinition wird damit teils durch Hinweise auf das Vorhandensein einer Schnittstellenanforderung sowie die zugehörigen Methoden unterstützt und teils durch die Bereitstellung passender Lösungen unmittelbar ersetzt. In der Regel erfolgt jedoch anschließend die Suche nach anwendbaren Lösungsmethoden. Eine konsistente Kategorisierung (vgl. Abschnitt 5.4.2, S. 147) und Bereitstellung über eine Methodendatenbank (vgl. Abschnitt 5.4.4, S. 154) erleichtert diesen Arbeitsschritt. Zur gezielten Auswahl der

passenden Lösungsmethode ist eine Formalisierung derselben nötig (vgl. Abschnitt 5.4.3, S. 149), die den Anwender mit Kontext-Informationen versorgt und die Aktualität und damit das Vertrauen des Anwenders in die Methode gewährleistet. Individualisierte Arbeitsanweisungen erleichtern dabei das Lesen häufig herangezogener Methoden (vgl. Abschnitt 5.4.6, S. 158) und geben bei Bedarf Hintergrundinformationen preis. Die in Abschnitt 5.5 (S. 159) erarbeiteten Kontrollmaßnahmen helfen, die Arbeitsergebnisse zu verifizieren und gegebenenfalls mittels „Single-Loop-Learning“ zu verbessern. Darüber hinaus erlauben Rückkopplungen ins Fehlervermeidungskonzept „Double-Loop-Learning“ durch die Möglichkeit zur Veränderung der organisationalen Rahmenbedingungen [253].

5.4.2 Methodenkategorisierung

Grundlegend für eine effiziente Unterstützung der Suche nach relevanten Vorgaben durch den Entwickler ist eine kontextsensitive Filterung. Relevante Kontexte sind unter anderem die Domäne, in der die Entwicklung stattfindet, die Person, welche die Entwicklung durchführt, sowie ihre Fachkompetenz und Rolle, der aktuelle Prozess oder Teilprozess sowie das bearbeitete Produkt und das verwendete Werkzeug [30]. Erster Schritt auf dem Weg zu kontextsensitiver Filterung ist eine konsistente Kategorisierung. Nur so können anhand einer aktuellen Problemstellung alle möglicherweise relevanten Methoden angezeigt und definitiv nicht zutreffende Dokumente ausgeblendet werden.

Die Kategorisierung muss im Hinblick auf den tatsächlichen Anwendungsfall und nicht auf die Durchführung der Kategorisierung optimiert sein. Als Negativbeispiel sie hier die in Unternehmen weitverbreitete Kategorie namens „Datenqualität“ genannt. Für Personen, die vorhandene Methoden in Kategorien zuordnen wollen, ist diese Kategorie aussagekräftig und es lässt sich gut entscheiden, ob eine Methode die Datenqualität betrifft oder doch eher die Verwaltung von Zugriffsrechten. Aus der Sicht des Entwicklers steht hingegen jede Fragestellung in gewisser Weise mit der Qualität der von ihm zu erstellenden Daten und Modelle im Zusammenhang, sodass es beinahe keinen Fall gibt, in dem die Kategorie „Datenqualität“ keine Relevanz für ihn hätte. Dieses Filterkriterium ist daher weitgehend nutzlos.

Zwar kann die Kategorisierung von PMR nur unternehmensspezifisch erfolgen. Einige Kategorien sind aber dennoch generisch verwendbar und teilweise generalisierbar. Die Analyse von Prozess- und Methodenvorgaben aus der Automobilindustrie, dem Flugzeug- und dem Anlagenbau hat zu folgenden, für die Arbeitsschritte mit CAx-Systemen universell einsetzbaren Kategorien geführt:

Allgemeingültigkeit

Grundlegende Vorgaben wie die Verwendung von Ebenen (Layer) im CAx-System besitzen Allgemeingültigkeit und müssen bei jedem erstellten CAx-Modell beachtet werden. Zu diesen allgemeinen Methoden gehören auch Vorgehensweisen, welche die Erstellung von Modellen in die Unternehmensprozesse einbinden wie Speicherorte, Aufbau von Produktstrukturen, Konfigurationsmanagement und die Benennung von Dateien und Zusatzinformationen (im industriellen Kontext auch als „naming and numbering“ bezeichnet). Diese Methoden müssen dem Entwicklungsingenieur vor dem ersten Handgriff im Entwicklungsprozess zur Verfügung gestellt werden. Dabei ist sicherzustellen, dass die enthaltenen Grundfertigkeiten beherrscht werden. Die Praxis zeigt, dass gerade diese grundlegenden Vorgaben häufig nicht konsistent befolgt werden und später zu unangenehmen Folgen führen.

Entwicklungsphasen

Wie in Abschnitt 5.4.1 (S. 143) erläutert, sind PMR jeweils für bestimmte Entwicklungsphasen relevant, da nur zu diesen Zeitpunkten die entsprechenden Prozessschritte durchlaufen werden oder für vergleichbare Prozessschritte in anderen Phasen andere Vorgaben gelten. Ob die Entwicklungsphasen dem Entwicklungsprozess nach VDI 2221 (vgl. Abbildung 41) entsprechen, ist unternehmensabhängig. Große Unternehmen strukturieren ihre Entwicklungsprozesse meistens zusätzlich nach eigenen Kriterien parallel oder horizontal zu den Phasen nach VDI 2221. Phasenbezogene Sichtenkonzepte (Views) sind beispielsweise im Flugzeugbau weit verbreitet. Eine Unterteilung erfolgt hier unter anderem in die Phasen „Proposal“, „Specification“, „Definition“, „Design“, „Planning“, „Manufacturing“ und „Maintenance“. Für jede dieser streng getrennten Phasen gelten spezielle Vorgaben und Methoden, sodass sie gut für die Kategorienbildung herangezogen werden können.

CAx-Systeme

Eine sehr naheliegende, aber oft vernachlässigte Kategorisierung ist im Hinblick auf die Gültigkeit der Methoden für spezielle CAx-Systeme durchzuführen. Es kann in beinahe jedem Fall davon ausgegangen werden, dass dadurch eine überschneidungsfreie Einordnung in Einzelgruppen möglich ist, die eine starke Komplexitätsreduktion des Gesamtbestandes an Vorgaben darstellt.

Kundengruppen

Die spezifische Verwendung von Methoden für einzelne Kunden ist hauptsächlich relevant für Unternehmen, die Produktentwicklung als Zulieferbetrieb von OEM

betreiben. Dementsprechend ist eine Trennung der Methoden für Arbeiten des Kunden A von Methoden des Kunden B einzuhalten. Teilweise wird auch dem OEM vom Endkunden vorgegeben, nach welchen Methoden und Standards zu arbeiten ist. Ein verbreitetes Beispiel sind hier Forderungen zur Umsetzung der Qualitätsnormenfamilie ISO 9000.

Produktkategorien

Modelle verschiedener Produkt- oder Baugruppen sind auf unterschiedliche Weise zu erstellen. Karosserieteile aus Freiformgeometrien stellen andere Herausforderungen an die Herangehensweise als die Entwicklung von Kabelbäumen oder Hochdruckbehältern. Viele Vorgaben können daher für die Anwendbarkeit bei einer eingeschränkten Anzahl an Bauteilen oder Produktkategorien untergliedert werden. Denkbar wäre auch eine Gruppierung nach verwendeten Materialien wie Stahl, elastomeren Kunststoffen oder Verbundwerkstoffen. Die Auswahl adäquater Kategorien ist nur unter Berücksichtigung der Produktpalette des jeweiligen Unternehmens möglich.

CAx-Funktionen

Jeder Handlungsschritt bei der Erstellung oder Bearbeitung von CAx-Modellen ist mit dem Aufruf einer einzelnen Funktion oder einer Serie von Funktionen im CAx-System verbunden. Die meisten PMR sind auf die Gültigkeit in Verbindung mit bestimmten CAx-Funktionen beschränkt und können diesen eindeutig zugeordnet werden. Ist etwa für die Erstellung spiegelsymmetrischer Bauteile die Spiegelung untersagt, so ist diese Methode einschließlich der zugehörigen Details der Spiegelungsfunktion zuzuordnen. Auch Methoden, die auf den ersten Blick weniger speziell erscheinen, beziehen sich meist auf bestimmte Funktionen innerhalb der entsprechenden Software-Applikation.

Besonders für die vom Unternehmen selbst erstellten Makros werden häufig obligatorische Arbeitsmethoden vorgegeben. Hier ist die Zuordnung zum Funktionsaufruf des Makros eindeutig möglich. Schwieriger gestaltet sich die Anbindung an Einzelfunktionen bei Systemen zum Produktdatenmanagement und anderen, besonders kleineren Anwendungen der virtuellen Produktentstehung. In eingeschränktem Umfang ist die Kategorisierung aber auch in diesen Fällen möglich.

5.4.3 Formale und inhaltliche Anforderungen an die Erstellung von Prozess- und Methodenvorgaben

Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) sollen dem Produktentwickler eine praktische Handlungsanleitung für wiederkehrende Tätigkeiten bieten, die dem jeweiligen Kenntnisstand

und aktuellen Arbeitskontext entspricht. Auf diese Zielsetzung hin sind die Formulierung und Repräsentation von PMR zu gestalten.

Der Nutzen einer direkten Übertragung des Inhalts von Papierdokumenten in ein digitales Dokument ist stark begrenzt. Um die Möglichkeiten digitaler Informationsrepräsentation zu nutzen, ist es daher erforderlich, nicht ausschließlich computerisierte Bücher („computerized books“) zu schaffen. Nachteile der analogen oder quasi-analogen Darstellung von PMR sind eine beschwerliche Informationsaufnahme, mangelnde Passung üblicher Textdokumentformate wie DIN A 4 auf digitale Bildschirme im Querformat, eingeschränkte Aktualisierungsmöglichkeit [237] sowie die fehlende Möglichkeit zur dauerhaften Speicherung persönlicher Anmerkungen und kontextspezifischer Anpassungen. Die Untersuchung fokussiert ausschließlich auf die Erstellung digitaler PMR-Dokumente. Anforderungen an Druckversionen werden nicht betrachtet.

Der konkrete Zeitpunkt und Kontext der Anwendbarkeit einer PMR ist entscheidend für die konsistente Einhaltung der entsprechenden Vorgaben durch alle Entwicklungsbeteiligten über den gesamten Produktentwicklungsprozess hinweg. Neben der in Abschnitt 5.4.2 (S. 147) erarbeiteten Kategorisierung der Vorgaben zur Festlegung des Geltungsbereichs sind eine Reihe von Metainformationen notwendig. Sie ermöglichen die Darbietung detaillierter Zusatzinformationen, die Filterung von sowie die Suche in PMR und die erleichterte Orientierung in einer Vielzahl von PMR. Folgende Metainformationen sind für jede Prozess- und Methodenvorgabe erforderlich:

- Datum der Erstellung
- Verantwortlichkeiten und Kontaktdaten
- Dokumentenstatus
- Dokumenthistorie
- Aktualität und Gültigkeitsende
- Priorität
- Gleichzeitig geltende Dokumente
- Schlagwörter

Die Priorität stellt dabei einen Sonderfall dar, da eine Priorisierung nach unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen kann und kontextabhängig möglicherweise unterschiedlich zu bewerten ist. Ziel muss es sein, den Entwickler in die Lage zu versetzen, zwischen widersprüchlichen Vorgaben wie beispielsweise einzuhaltenden Arbeitsschritten und gesetzten Terminvorgaben abzuwägen. Eine entsprechende Systematik im Kontext der Methoden und Richtlinien der virtuellen Produktentstehung ist derzeit nicht bekannt. Hier existiert weiterer Forschungsbedarf.

Während viele der genannten Metainformationen mehr oder weniger vollständig bereits in den Prozess- und Methodenvorgaben der Praxis verwendet werden, soll auf die Verantwortlichkeiten sowie auf Aktualität und Gültigkeitsende näher eingegangen werden. Kurze Kommunikationswege zu verantwortlichen Personen können vielfach zu schnellen Prozessverbesserungen beitragen. Da Verantwortlichkeiten und Kontaktdaten in hohem Maße fortlaufenden Veränderungen unterworfen sind, ebenso wie dies bei der Aktualität der PMR und gleichzeitig geltenden Dokumente der Fall ist, sind diese Informationen nicht statisch im Inhalt der Vorgabe zu hinterlegen, sondern dynamisch zu gestalten. In Datenbanken gespeicherte Metainformationen bieten hierfür eine sehr gute Möglichkeit. Bei Ausscheiden oder Ablösung eines Verantwortungsträgers können die ihm zugeordneten Inhalte zentral dem entsprechenden Nachfolger zugewiesen werden. Aktuelle Praxis ist eine hart codierte Eintragung der Verantwortlichen in den PMR. Dies hat zur Folge, dass aufgrund der teilweise sehr langen Historie von Vorgaben bei auftretenden Rückfragen oftmals kein aktuell Verantwortlicher gefunden werden kann. Alle weiteren Metainformationen sind auf analoge Weise dynamisch anpassbar zu gestalten.

Abhängig von Einsatzfeld und Detailgrad einer Vorgabe ist grob absehbar, ob sich ein Vorgehen vermutlich binnen weniger Wochen, mehrere Monate oder erst nach vielen Jahren ändern wird. Diese Abschätzung dient als Indikator für Überprüfungszeitpunkte der PMR durch die Revision (vgl. Abschnitt 5.5.8, S. 172). Die Absicherung der Aktualität der PMR spielt darüber hinaus eine entscheidende Rolle bei der Vertrauensbildung seitens der Anwender. Ebenso wie fehlerhafte Vorgaben können auch veraltete PMR zu Frustration und Misstrauen mit erhöhten Transaktionskosten als Konsequenz führen. WIEDEMANN beschreibt zutreffend, dass in der Praxis Aktualisierungen häufig aus Zeitmangel vernachlässigt werden und somit weniger erfahrene Mitarbeiter „falsch angeleitet“ werden. Erfahrene Personen hingegen vertrauen auf ihre Erfahrung und Expertise. In der Folge werden oftmals „Richtlinien und Arbeitsanweisungen gänzlich missachtet“ [254].

Inhaltlich ist besonders die Art der Informationsbereitstellung von Relevanz. SCERBO ET AL. belegen, dass unabhängig von analoger oder digitaler Darbietung der unterstützenden Dokumentation prozedurale Beschreibungen zu einer Verbesserung der Aufgabenerfüllung

durch Mitarbeiter führen [255]. Durch die Kombination prozeduraler Informationen mit textuellen und grafischen Elementen wird die Aufgabenerfüllung nachweislich verbessert. Während grafische Repräsentationen schneller aufgefasst werden können, führt Text zu besseren Ergebnissen beim Transfer der dargestellten Informationen in ein unbekanntes Umfeld [237]. Transferleistungen sind wegen der sehr stark kontextgebundenen Prozess- und Methodenvorgaben jedoch eher die Ausnahme. Ein geeignetes Mittel zur Darstellung prozeduraler Dokumentationen sind Prozessnotationen. Bereits früher häufig eingesetzt wurden die aus der Software- und Informationstechnik stammenden Notationen wie die „Architektur integrierter Informationssysteme (ARIS)“ [256], die „Structured Analysis Design Technique (SADT)“ [257] sowie den unterschiedlichen daraus hervorgegangenen, fortlaufend nummerierten „Integrated Computer Aided Manufacturing Definitions (IDEF#)“ [258]. Aktuell sind besonders die „Business Process Modeling Notation (BPMN 1.2, BPMN 2.0 beta)“ [259, 260] und die vorwiegend im deutschsprachigen Raum verbreitete „Integrierte Unternehmensmodellierung (IUM)“ [261] gängig und geeignet zur Vermittlung von Prozesszusammenhängen und Handlungsvorgaben.

Für den optimalen Einsatz prozeduraler Dokumentationen sind Anwender-Schulungen (vgl. Abschnitt 5.3.5, S. 138) und aktive Unterstützung der Führungsebenen erforderlich. Bei mangelnder Unterweisung in die Benutzung prozeduraler Dokumente sind diese für den Anwender nicht nur nutzlos, sondern sogar subjektiv hinderlich. Nach gezielter Schulung haben sie positive Effekte auf Qualität und Produktivität der Arbeitsergebnisse [237]. Das Umfeld der virtuellen Produktentwicklung erfordert des Weiteren eine ausreichende Verwendung von Modelldarstellungen und Screenshots der betreffenden Software-Werkzeuge, sofern animierte Führungen durch die Systeme aus finanziellen oder anderen Gründen nicht in die PMR integriert werden können.

Zusätzlich zu den üblicherweise in PMR enthaltenen dargestellten Vorgaben sind folgende Informationen als Zusatzinformationen zu integrieren:

- Fachlicher Hintergrund der Anforderung
- Technischer Hintergrund der Anforderung
- Potenzieller Fehlleistungsaufwand für das Unternehmen
- Nennung und Beschreibung der entsprechenden Kontrollen

Neben den Vorgaben im Hinblick auf bestehende Anforderungen haben auch explizit nicht geregelte Vorgehensweisen Bedeutung. Handlungsabläufe, die nicht geregelt sind, sondern nach freiem Ermessen durchgeführt werden können, müssen klar als solche gekennzeichnet sein. Freiheitsgrade sind also explizit zu nennen, damit nicht Regelungen gesucht werden, die nicht getroffen wurden. Blessing beschreibt die Vorzüge der expliziten Ausweisung temporärer

Freiheitsgrade [213]. Es ist anzunehmen, dass diese Vorzüge für zeitlich nicht beschränkte Freiheitsgrade ebenso gelten.

Im Rahmen der Individualisierung von PMR soll die Möglichkeit zur Anpassung des Detailgrades und der Informationsvielfalt gegeben werden (vgl. Abschnitt 5.4.6, S. 158). Dazu sind Handlungsvorgaben von Hintergrundinformationen, Beispieldarstellungen und zusätzlichen Detailinformationen klar zu trennen und weiter in sinnvolle Teilkapitel zu unterteilen.

Neben den genannten strukturellen und inhaltlichen sind auch formale Anforderungen an Dokumente zu stellen, damit Lesbarkeit, Verständnis und angemessene Anwendbarkeit der Unterlagen gewährleistet werden können. Zur Erstellung ist deshalb auf ergonomische Kriterien und relevante Erkenntnisse der Forschung zum Thema Human Factors zu achten, die sich in Teilbereichen überschneiden und teilweise auch widersprechen können. Zielstellung ist es, die Informationsaufnahme in gewünschter Weise zu unterstützen (Human Factors), wobei zusätzlich entstehende Annehmlichkeiten aufseiten des Mitarbeiters (Ergonomie) teils als notwendige Voraussetzung und teils als positiver Nebeneffekt zu betrachten sind. Während in vielen Bereichen wie der Flugsicherung oder der Nukleartechnik bereits langjährige Erfahrungen in der Anwendung der Ergebnisse der Human Factors Forschung existieren [262], findet der interne Einsatz in der Produktentwicklung bisher nur selten statt. Für nähere Details zu Ergonomie und Human-Factors-Fragen sei auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

5.4.4 Bereitstellung von Prozess- und Methodenvorgaben

Bei erfolgreich erarbeiteter Klassifizierung der PMR ist die Bereitstellung im Unternehmensintranet und -extranet technisch keine große Herausforderung. Als Speicherort im Hintergrund sind Datenbankkonzepte zu bevorzugen. Eine Vielzahl unterschiedlicher Möglichkeiten von Eigenentwicklungen über angepasste auf dem Markt verfügbare bis hin zu Standardsoftwarelösungen (Commercials off-the-shelf, COTS) stehen alternativ zur Verfügung. Verwendbare Dokumentenmanagementsysteme sind häufig auch Bestandteil umfassender Wissensmanagement-Systeme. Eine weitere Möglichkeit bieten frei verfügbare Wiki-Anwendungen [29].

Neben dem statischen Anteil des Dokumentenmanagements enthalten die Vorgaben einen dynamischen Teil, der Informationen beinhaltet, die sich nicht auf die inhaltliche Ablaufbeschreibung beziehen. Dort sind organisatorische, häufig veränderliche Informationen enthalten wie zuständige Abteilungen, Ansprechpartner, Kontaktdaten von Ansprechpartnern, Status- und Aktualitätsinformationen der PMR. Ferner sind hier gleichzeitig geltende

Dokumente, Referenzen auf andere Dokumente, Ansprechpartner für Schulungsmöglichkeiten und Dokumentenhistorien zu integrieren.

Die Benutzeroberfläche für den Zugriff auf die PMR erfordert ein Mindestmaß an Bedienkomfort (Usability) sowie Such- und Filtermechanismen, um die Informationsvielfalt gezielt einschränken zu können. Eine lokale Speicherung von Kopien durch den Entwickler ist zu unterbinden. Andernfalls besteht nicht die Möglichkeit, einen jeweils aktuellen Stand der Vorgaben zu gewährleisten. Lokale Kopien können nicht ohne Weiteres in Aktualisierungsprozesse eingebunden werden. Der Bedarf des schnellen Zugriffs auf häufig verwendete Vorgaben kann jedoch mithilfe von Favorisierungen gewährleistet werden, ähnlich wie Browser dies für häufig besuchte Internetseiten anbieten.

Bereits EBERTS & EBERTS haben im Kontext der Mensch-Maschine-Interaktion empirisch festgestellt, dass der Mensch in der Regel nicht in der Lage ist, in Problemsituationen adäquate Fragestellungen zu formulieren. Es wurde geschlussfolgert, dass der Computer den Menschen bei der Fragestellung unterstützen müsse [161]. Diese Forderung wird dahin gehend modifiziert und noch erweitert, dass Antworten geliefert werden müssen, ohne dass der Anwender eine Frage zu formulieren hat. Eine verwertbare Antwort zu erhalten, scheitert oft daran, dass die Frage nicht mit ausreichender Genauigkeit gestellt wird. Kann der Entwickler nicht annehmen, dass es für eine bestimmte Aktion ein im Regelwerk formuliertes Vorgehen gibt, so ist er auch nicht in der Lage, eine Frage in Ansätzen dazu zu formulieren. In diesem Fall müssen Kontext-Informationen ausgewertet und Handlungsalternativen des Entwicklers identifiziert werden. Dadurch wird ermöglicht, dass der Situation entsprechende Antworten auf nicht gestellte Fragen gegeben werden können. Dieser Ansatz wird im Abschnitt 6.2 (S. 201) weiter detailliert und prototypisch in einem Unterstützungswerkzeug implementiert.

5.4.5 Verwendungshinweise mithilfe von Nutzungsstatistiken und Kompetenzmanagement-Informationen

Kommunikativer Austausch mit Kollegen ist die am häufigsten verwendete Entscheidungsgrundlage für die Auswahl zu verwendender Prozess- und Methodenvorgaben (PMR), wie die durchgeführte Industriebefragung gezeigt hat (vgl. Abschnitt 3.2, These 11, S. 48). Diese Erkenntnis wird unterstützt von anderen Studienergebnissen, die belegen, dass Hinweise auf die von erfahrenen Nutzern häufig verwendeten Vorgehensweisen hilfreich zur Unterstützung unerfahrener Nutzern sind [263]. Die Explizierung von Wissen in Form von Anforderungen bewirkt zudem eine Festigung und weitere Vertiefung vorhandenen Wissens. Darüber hinaus wirkt diese Explizierung hoch motivierend, wie STARFIELD ET AL. in empirischen Untersuchungen zu Expertensystemen an Studenten belegen [264] und DUDA & SHORTLIFFE breit diskutiert haben [265]. Kombiniert man diese Sachverhalte, so kann gesagt werden, dass

einerseits die direkte Formulierung von Anforderungen an die Vorgänger-Prozesse das Prozesswissen verbessert. Andererseits unterstützen statistische Informationen zur Nutzungshäufigkeit von Prozess- und Methodenvorgaben abhängig von der Expertise der Anwender die erfolgreiche Verwendung der Methoden durch unerfahrene Entwickler. Folgende Einflussgrößen auf die Relevanz von PMR sind demnach zu berücksichtigen:

- Kontext des Experten
- Kontext des Anwenders
- Favorisierung der Methode durch den Experten
- Häufigkeit der Anwendung durch Experten
- Häufigkeit der Anwendung in jüngster Vergangenheit
- Expertise der Anwender

Kontexte der Experten und Anwender können teils automatisch festgestellt werden und sind teils manuell zu setzen. Die Favorisierung entspricht der expliziten Auswahl einer Methode als anwendbar für den aktuellen Kontext. Verwendungshäufigkeiten können automatisch aufgezeichnet werden. Der Grad der Expertise für unterschiedliche Kontexte kann aus einem Kompetenzmanagement-System ausgelesen werden, in dem die Bewertung beispielsweise auf unternehmensbezogenen Kompetenzstrukturen basiert [266]. Die Berücksichtigung der Verwendungshäufigkeit in jüngster Vergangenheit dient der Zurückstufung überholter Vorgehensweisen hinter aktuell Relevante.

Aus der Kombination der genannten Einflussgrößen soll eine Einstufung jeder Einzelmethode für unterschiedliche Kontexte in Form eines numerischen Wertes gebildet werden. Im konkreten Fall bezieht sich diese Einstufung auf die in Abschnitt 5.4.2 (S. 147) für PMR formulierten Kontexte und wird als Rating 🕮 (R) bezeichnet. Das Rating gibt Auskunft darüber, für wie relevant die Summe aller Anwender eine Methode für einen bestimmten Kontext hält. Das Rating ist ein ordinal skalierendes Maß und kann damit nur im Vergleich zu anderen Ratingergebnissen interpretiert werden. Es errechnet sich aus der Kumulation individueller Einzelratings. Neben den bereits genannten Einflussgrößen enthält die Berechnungsfunktion des Einzelratings auch ein hyperbolisches Element. Ähnlich wie in der Vergessenskurve nach EBBINGHAUS [267] hat das hyperbolische Element die Funktion, die Relevanz nicht mehr verwendete Methoden im Laufe der Zeit zu reduzieren. Die folgende Formel wird zur Berechnung des individuellen Einzelratings (R_{nmk}) vorgeschlagen. Sie bezieht sich auf die Relevanz, die eine einzelne Person einer einzelnen Methode im gegebenen Kontext bemisst.

$$R_{nmk} = 10K_{nT} \sum_{d=d_0}^{h} \left[\left(\frac{1}{\sqrt[2]{1+h-d}} \right) A_{nmkd}\, K_{nmd} F_{nmd} \right] \qquad (5)$$

R	*Rating*
F	*Favorisierung*
T	*Tätigkeit*
m	*Methode*
n	*Nutzer*
k	*Kontext*
K	*Kompetenzausprägung*
h	*heutiges Datum*
d	*Datum der Methodenbenutzung*
d_0	*Datum der ersten Methodenbenutzung*
A	*Anwendungen*

Das Einzelrating (R_{nmk}) errechnet sich damit als die Summe der Einzelratings der vergangenen Tage. Jeder Tag geht mit der Anzahl der Verwendungen der Methode (A_{nmkd}), der auf die Methode bezogenen Kompetenz des Nutzers (K_{nmd}) sowie einem Faktor für die Favorisierung der Methode (F_{nmd}) in die Formel ein. Die Favorisierung bewirkt eine Erhöhung der Bewertung durch das gezielte Votum des Nutzers, wenn dieser die Methode als besonders geeignet einstuft. Mit zunehmender Anzahl der Tage, an denen die betreffende Methode nicht verwendet wird, reduziert sich das Rating durch die Verwendung des hyperbolischen Elements. Es berechnet sich wie dargestellt aus dem Kehrwert des Wurzelterms, der die Anzahl der seit der letzten Methodenanwendung vergangenen Tage und einen korrigierenden Summanden von eins. Zuletzt erfolgt die Multiplikation des Ergebnisses mit der Kompetenz des Nutzers (K_{nT}) im Hinblick auf die betreffende Tätigkeit und einen weiteren Faktor, der zur Justierung der Vergessensfunktion dient. Dieser Faktor ist in der dargestellten Formel mit zehn gewählt und umso kleiner zu wählen, je schneller nicht verwendete Methoden im Rating zurückgestuft werden sollen.

Das über alle Nutzer kumulierte Ratingergebnis einer Einzelmethode errechnet sich entsprechend folgender Formel:

$$R_{mk} = \sum_{n=0}^{n} R_{nmk} \qquad (6)$$

Um die Relevanz einzelner Methoden in Relation zu vergleichbaren Methoden setzen zu können, muss eine Variable für den Kontext aufgenommen und das absolute Rating auf 100 Prozent normiert werden. Die Normierung schränkt den Wertebereich auf $0 \leq R_{100_{nmk}} \leq 1$ ein und errechnet sich zu:

$$R_{100_{nmk}} = \frac{R_{nmk}}{R_{nk_{max}}} \qquad (7)$$

R_{100} *Auf 100 normiertes Rating*
k *Kontext*

Das globale Rating, das auch die Präferenzen und Erfahrungen der anderen Anwender einbezieht, errechnet sich zu:

$$R_{100_{mk}} = \frac{R_{mk}}{R_{k_{max}}} \qquad (8)$$

Die Implikationen dieser Formel für den jeweiligen Kontext lauten:

- Häufig verwendete Methoden haben erhöhte Relevanz
- Von Experten favorisierte Methoden haben erhöhte Relevanz
- Experten wählen adäquatere Methoden als Novizen
- Verringerte Anwendung einer Methode bedeutet reduzierte Relevanz

Um ein derartiges Rating-System effektiv verwenden zu können, ist eine gewisse Vorlaufzeit erforderlich. In dieser Zeit sollte lediglich eine Aufnahme der Verwendungsdaten erfolgen. Die Bereitstellung der noch sehr varianten und instabilen Ergebnisse und Anwendungsempfehlungen würden eher zu einer Verunsicherung hinsichtlich der Validität der Ratingmethode als zur Unterstützung der Anwender beitragen.

5.4.6 Individualisierung von Prozess- und Methodenvorgaben

Grundsätzlich sind zweierlei Arten der Individualisierung von Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) möglich: die kontextsensitive Anpassung für den Anwender und die individuelle Anpassung durch den Anwender. Beide Fälle zielen darauf ab, die Differenz zwischen der Qualität der verfügbaren Informationen und der vom Anwender geforderten Qualität der Informationen möglichst gering zu halten. Qualität ist hier, wie auch sonst, nicht als Güte misszuverstehen. Unterschieden werden die beiden Arten der Individualisierung durch eine vorgeschaltete Konzentration und Adaption der Informationen im ersten sowie eine nachgeschaltete Adaption und Erweiterung im zweiten Fall. Der zu den Informationen

passende Kontext ist, wie in Abschnitt 5.4.2 (S. 147) beschrieben, in den Metadaten der Informationen hinterlegt und wird Kontext adaptierend verwendet, dient also der Zuordnung zu einem speziellen Kontext. Die Arbeitsumgebung hingegen ist Kontext nutzend und nimmt auf, in welchem Kontext sich der Mitarbeiter aktuell bewegt.

Die individuelle Behandlung des einzelnen Entwicklers im Hinblick auf die von ihm verwendeten Methoden ist besonders wichtig, da bei der Vielzahl unterschiedlicher Aufgabenbereiche in großen Entwicklungsabteilungen jede Person unterschiedliche Methoden in unterschiedlichem Umfang zu unterschiedlichen Zwecken nutzt. Wer nur von Zeit zu Zeit nach einer bestimmten Methode arbeitet, wird diese jeweils nachschlagen und so auf eine Aktualisierung automatisch aufmerksam, wird eine Methode hingegen tagtäglich angewendet, so ist kein Nachschlagen nötig und eine veränderte Vorgabe wird nicht als solche erkannt. Deshalb ist es notwendig, nutzerspezifische Informationen zu aktualisierten, neuen und nicht mehr gültigen Methoden zu verteilen.

Mittels des in Abschnitt 6.2.1 (S. 202) beschriebenen Systems *PMR-Co-Pilot* in Verbindung mit den in Abschnitt 5.5.6 (S. 169) beschriebenen Checklisten ist leicht zu ermitteln, welcher Entwickler nach welchen Methoden arbeitet, sodass ihm per E-Mail, Really Simple Syndication Feed (RSS-Feed) oder individueller Systemmeldung beim Anmelden an das EDV-System Neuigkeiten zu von ihm verwendeten oder an seine Themengebiete angrenzenden Methoden mitgeteilt werden können. Ebenso erfassen Zugriffsstatistiken die regelmäßigen Nutzer einzelner Methoden, die entsprechend über Aktualisierungen zu informieren sind.

Das Nutzerprofil dient darüber hinaus dazu, Vorgaben für den in Abschnitt 5.4.3 (S. 149) beschriebenen Detaillierungsgrad der angezeigten Arbeitsanweisungen und die Anzeigeart einzelner Dokumente zu speichern. Möglichkeiten der softwaretechnischen Umsetzung dieser Art von Dokumentenindividualisierung mithilfe auf Metadaten basierender Zusatzinformationen wurden bisher nicht geprüft.

5.5 Konzepterarbeitung: Kontroll- und Überwachungssystem

Das Sprichwort „Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser“ impliziert die Widersprüchlichkeit von Vertrauen und Kontrolle. Diese Ansicht wird hier nicht vertreten. Wie in Abbildung 44 dargestellt, stehen sich die beiden Kostensteuerungsgrößen Vertrauen und Kontrolle nicht eindimensional gegenüber, sondern ergänzen sich in einer zweidimensionalen Beziehung sinnvoll. Sowohl Vertrauen als auch Kontrolle sind funktionsfähigen Prozessen dienlich und reduzieren verschiedene Arten von Kosten. Vertrauen reduziert Transaktionskosten [268, 269] (y-Achse), Kontrolle reduziert Fehlerkosten (x-Achse). Alle Punkt einer Iso-Kosten-Kurven zeigen jeweils den Bereich, in dem die Summe aus Fehlerkosten und Transaktionskosten

konstant ist. Mit einem ausgewogenen Einsatz von vertrauensstiftenden und kontrollierenden Maßnahmen kann demnach das Potenzial zur Kostenreduktion erheblich gesteigert werden. Sprenger löst die Wechselwirkung zwischen Vertrauen und Kontrolle auf und behauptet gar „Vertrauen ist Kontrolle“. Damit wertet er das Vertrauen selbst bereits als eine Kontrollmaßnahme, die eine „verpflichtende Kraft“ besitzt [270].

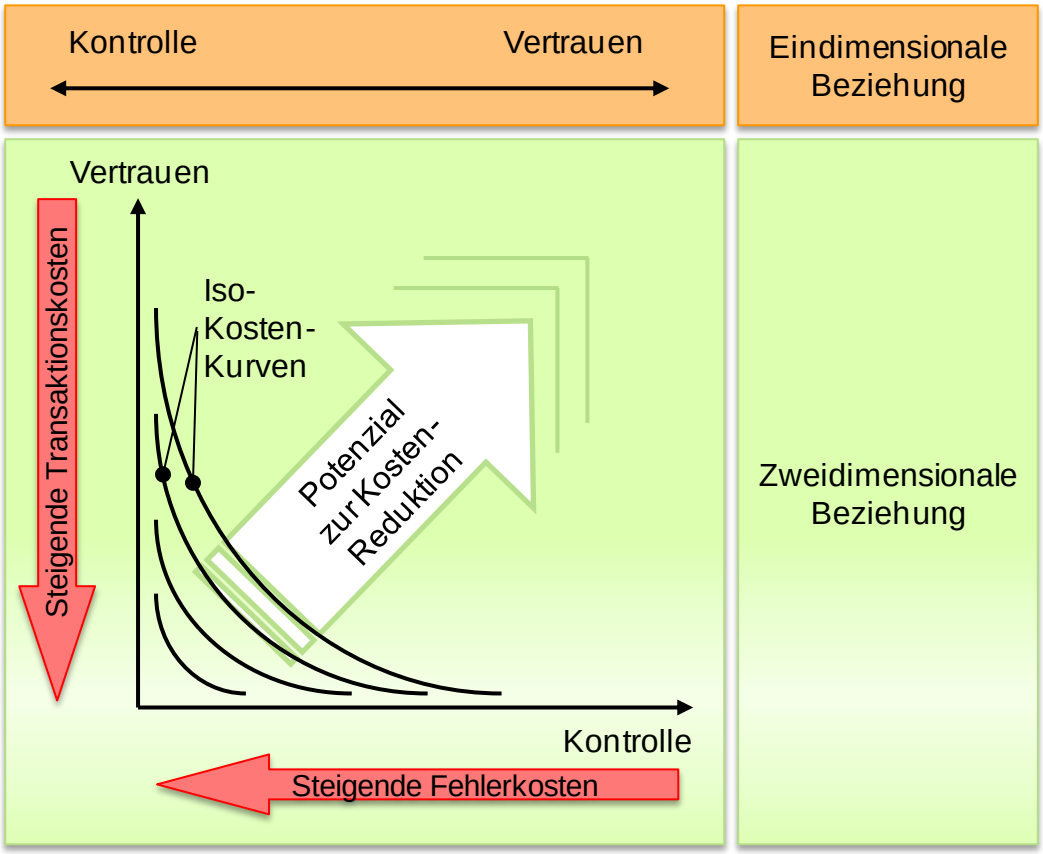


Abbildung 44: Vertrauen und Kontrolle sind keine Gegensätze

Auch der Begriff Überwachung ist, ähnlich wie Kontrolle, leider negativ vorbelastet, beschreibt die notwendige Vorgehensweise jedoch treffend. Um Fehler vermeiden zu können, müssen Prozesse und Prozessergebnisse überwacht werden, damit über Soll-Ist-Vergleiche mangelhafte Leistungen verbessert und gute Leistungen aufrechterhalten werden können. Ein ähnlich ausgeprägtes Bewusstsein um die Notwendigkeit sowie eine verbreitete Akzeptanz von Kontrollen, wie es in Berufen der Rechnungslegung, Wirtschaftsprüfung, Finanzbuchhaltung und anderen Verwaltungsbereichen selbstverständlich ist, sind in der Produktentwicklung nicht verbreitet, obgleich in der Produktentwicklung teils mit Verantwortungen für weit höhere finanzielle Risiken gehandelt wird.

Vertrauen bedeutet, sich in Erwartung auf ein positives Ergebnis auf eine andere Partei zu verlassen und sich dabei verletzbar zu machen [271]. Die Fehlerkommunikation ist ein

Beispiel, in dem Vertrauen benötigt wird, damit durch offen kommunizierte Fehler eine Verbesserung für die Zukunft erwirkt werden kann. PULM & STETTER beschreiben mit Druck in Form von Kosten-, Zeit- und Qualitätsdruck und Vertrauen („Pressure and Trust“) [272] ein ähnliches Tupel wie Kontrolle und Vertrauen. Kontrollmaßnahmen sind nicht zwingend damit verbunden, dass sich der Mitarbeiter unter Druck gesetzt fühlt. Somit sind die Erkenntnisse nur bedingt übertragbar, jedoch erkennen auch PULM & STETTER, dass selbst, wenn der Entwickler Druck empfindet, dies nicht in jedem Falle dazu führt, dass Vertrauen dadurch reduziert wird.

5.5.1 Internes Kontrollsystem

Während der Begriff der Kontrolle lediglich einen Soll-Ist-Vergleich beschreibt, ist ein internes Kontrollsystem im Sinne der englischen Begriffsherkunft (control, engl.: beherrschen, lenken, steuern; im Gegensatz zu check, engl.: kontrollieren) als Handlungssteuerung in der Produktentwicklung notwendig. Dabei stellen die Kontrollaktivitäten ein Teilelement des Kontrollsystems dar. Von interner Kontrolle wird gesprochen, wenn Abgleiche prozessintern und nicht prozessextern stattfinden. Weitere Elemente sind Planung, Steuerung und Informationsversorgung [273], wobei die Steuerung im technischen Sinne streng genommen selbst bereits wieder Kontrollen beinhaltet. Ebenso, wie ein internes Kontrollsystem im Bereich der Wirtschaftsprüfung die Effektivität und Effizienz der durchgeführten Tätigkeiten sowie die Einhaltung der anzuwendenden Gesetze, Normen und Richtlinien („Compliance“) gewährleisten soll [180], müssen ebendiese Anforderungen auch in der Produktentwicklung erfüllt werden. Die darüber hinaus in der Wirtschaftsprüfung erforderliche Zuverlässigkeit und Integrität der Finanzberichterstattung [180] ist zwar nicht direkt auf die Produktentwicklung übertragbar, weist aber Parallelen mit Berichtspflichten der Entwicklungsunternehmen gegenüber Prüfstellen auf, wie dies beispielsweise bei Zulassungsdaten für das Umweltbundesamt (UBA), das Luftfahrtbundesamt (LBA), das Kraftfahrtbundesamt (KBA), die European Aviation Safety Agency (EASA), die Federal Aviation Administration (FAA) oder andere nationale und internationale Behörden der Fall ist.

5.5.2 Anforderungen an das Kontrollumfeld

Dem Umfeld der durchgeführten Kontrollen kommt entscheidende Bedeutung zu, da die kontrollierten Verfahren, Verhalten und Ergebnisse immer mit der Unternehmens- und Mitarbeiterkultur sowie individuellen psychologischen Faktoren im Zusammenhang stehen. Eine wichtige Akzeptanzbedingung von Kontrollmaßnahmen stellt die gemeinsame Ausarbeitung der Kontrollkriterien mit den Betroffenen dar. Sie wirkt über eine Verbesserung der Ergebnis-Folge-Erwartung. Im weiteren Verlauf führt dies zu weniger selektiver Wahrnehmung von Rückkopplungen und trägt zu einem realistischeren Anspruchsniveau gegenüber den gestellten Aufgaben bei [274]. Auch NEWMAN unterstreicht die Wichtigkeit der Akzeptanzbedingung für erfolgreiche Kontrollen [275]. Da besonders die Erfahrung aus

Kontrollen in der Vergangenheit die Bildung der Erwartungshaltung in Bezug auf zukünftige Kontrollen beeinflusst [134], ist auf eine möglichst langfristige Konsistenz des Kontrollumfeldes zu achten. Die Kontrollpersonen können ebenfalls zur Akzeptanz von Kontrollmaßnahmen beitragen. Dazu sind neben fachlicher Kompetenz auch Kenntnisse und Fähigkeiten zur adäquaten Durchführung von Kontrollen vonnöten sowie speziell das Bewusstsein um die Wirkung, die von seiner Rolle ausgeht [276].

Im konkreten Kontext der verteilten Produktentwicklung sind die Kontrollkriterien gemeinsam vom Folgeprozess auf der Anforderungsseite und vom Vorgänger-Prozess auf der Umsetzungsseite zu erarbeiten. Die Entwickler sind ferner in Form von Selbstkontrollen [277] oder durch Übertragung von Aufgaben zur Datenaufnahme für Fremdkontrollen [131] in den Kontrollprozess einzubinden. Dies ermöglicht eine Reduktion der Zeitverzögerung zwischen potenziellen Fehlern und resultierenden Rückmeldungen und Korrekturmaßnahmen. Andernfalls können Rückkopplungsschleifen in der verteilten Produktentwicklung sehr lang werden. Die Transparenzbedingung erfordert, dass die Folgen negativ ausfallender Kontrollen offen kommuniziert werden [277]. Hierzu zählen einerseits die vom Unternehmen zu ziehenden Konsequenzen in Form von Gegenmaßnahmen und möglichen Konsequenzen sowie auch die impliziten Folgen der Fehler, die bereits als fachlicher oder technischer Hintergrund in Abschnitt 5.4.3 (S. 149) genannt wurden und die Entscheidungsfindung bei der Durchführung der kontrollierten Tätigkeit maßgeblich beeinflussen können. Im Einzelfall können zu erwartende Auswirkungen durch Verstöße gegen Vorgaben durch den Fachmann abgewogen werden.

Die Kontrolle von Verhaltensweisen schränkt die Handlungsfreiheit in der Produktentwicklung stärker ein, als dies bei Ergebniskontrollen der Fall ist. Ergebnisse statt Handlungsweisen zu kontrollieren, entspricht dem Führen durch Zielvereinbarungen („Management by Objectives“) [278], bei dem Ziele vorgegeben, Wege zum Ziel aber frei wählbar bleiben. Dies entspricht dem menschlichen Leistungsverhalten, das nicht auf das Befolgen von Regeln, sondern auf das Erreichen von Zielen gerichtet ist [279]. WEIBEL stellt hingegen fest, dass empirische Ergebnisse vorwiegend zum Ergebnis kommen, dass Verhaltenskontrollen weniger Autonomie einschränkend wirken als Ergebniskontrollen. Der beschriebene Widerspruch kann an dieser Stelle leider nicht aufgelöst werden. Eine Abwägung zwischen Ergebnis- und Verhaltenskontrollen ist daher im Einzelfall in Abstimmung mit den kontrollierenden und kontrollierten Personen zu treffen.

Die verteilte Produktentwicklung besteht aus langen Prozessketten mit vielen Parallelabläufen. Fehler können dort an unzähligen Prozessschritten auftreten und Auswirkungen teilweise erst sehr spät entdeckt werden. Meist relativ große Regelkreise sind daher in ein Kontrollsystem agiler, kleiner Regelkreise zu überführen. Dadurch können Fehler frühzeitig entdeckt und

behoben werden. Je später eine Fehlerkorrektur durchzuführen ist, umso wahrscheinlicher wird die Korrektur nicht vom ursprünglichen Bearbeiter umgesetzt. Sollte dieser doch für die Korrektur herangezogen werden können, so ist nach dem Verstreichen langer Zeiträume zwischen Entwicklung und Korrektur eine erneute Einarbeitung in das Problemfeld erforderlich. Die Vergessenskurve nach EBBINGHAUS [267] beschreibt diesen Sachverhalt. Zusätzlich ist anzunehmen, dass durch Versionierung, Variantenbildung und die Gabelung von Prozessen in mehrere Folgeprozesse eine Nachverfolgung aller Ableger des Fehlers nicht mehr möglich ist. Es entstehen dadurch nicht absehbare Ketten von Folgefehlern, die in der Regel nicht mehr zum Urheber zurückgeführt werden können und lokale Korrekturaufwände mit sich bringen.

5.5.3 Organisatorische Funktionstrennung

Eine Funktionstrennung bedeutet die Aufteilung der Aufgaben Genehmigung, Durchführung, Verbuchung und Kontrolle auf verschiedene Funktionsträger im Unternehmen [280] mit der Zielsetzung, das Risiko von unbeabsichtigten Fehlern und gezielten Manipulationen zur eigenen Vorteilserzielung zu reduzieren. GAUSEMEIER fordert die Trennung von planenden und ausführenden Tätigkeiten aufgrund der zunehmenden Produkt- und Prozesskomplexität in der Produktentwicklung [281]. Die Unterteilung von Durchführung und Kontrolle gewährleistet zusätzlich eine verbesserte Qualität der Kontrolle, da dem Phänomen der Betriebsblindheit vorgebeugt wird. Wenn Personen sich tief mit einer Thematik beschäftigen, fällt es ihnen schwer eine objektive Position einzunehmen und Fehler als solche zu erkennen, besonders wenn keine intuitiv erkennbare objektive Trennlinie zwischen richtigen und falschen Ergebnissen besteht. Ebendies ist bei den meist formalen, prozessinternen Anforderungen häufig der Fall. Kleine Fehler oder Ungereimtheiten werden aufgrund der guten Fachkenntnis und Vertrautheit vom Betrachter automatisch mental korrigiert und bleiben somit unerkannt.

Mit der Entfernung der Kontrollfunktion aus der Arbeitstätigkeit des Entwicklungsingenieurs und damit der Verhinderung von Rückmeldungen über das Erreichen der eigenen Ziele darf jedoch nicht die Arbeitsbedingung der zyklischen Vollständigkeit nach HACKER [165] verletzt werden. Diese Bedingung besagt, dass zur Zufriedenheit des Bearbeiters und damit zur Erreichung hochwertiger Arbeitsergebnisse die Arbeitsschritte Zielsetzung, Planung, Durchführung und Kontrolle möglichst vollständig vom Handelnden abgedeckt werden sollten. Die Verletzung dieser Bedingung durch eine Funktionstrennung kann umgangen werden, indem der Entwickler eine Kontrollfunktion über gleichartige Arbeitsergebnisse überantwortet bekommt. Hierfür bieten sich die Arbeitsergebnisse von Entwicklern an, die inhaltsgleiche oder -ähnliche Tätigkeiten durchführen. Voraussetzung ist eine ausreichende Mindestgröße der Entwicklungsabteilung, sodass mehrere Personen mit vergleichbaren Tätigkeiten betraut sein können. Bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) kann auf Kontrollen zurückgegriffen werden, die zumindest fachverwandt sind. Dies führt ebenfalls zu einer verbesserten

Kontrollakzeptanz im Hinblick auf eigene Arbeitsergebnisse [282, 283]. Kontrollen zu unterliegen, ohne selbst Kontrollen durchzuführen, führt häufig zu Unbehagen, Widerständen und einem Gefühl ungerechtfertigter Dauerüberwachung. Im Gegenzug wird die Kontrollakzeptanz auch dadurch verbessert, dass auch kontrollierende Instanzen sichtbaren Kontrollen unterzogen werden [275]. Empirisch ist belegt, dass eine verbesserte Kontrollakzeptanz über alle Hierarchieebenen zu verbesserter Leistung und Arbeitszufriedenheit führt [284]. Für die verteilte Produktentwicklung bedeutet das konkret, dass Teilprozesse nicht vollständig in einer Hand liegen sollten, sondern eine Aufteilung von Anforderungsbeschreibung, Ausführung der Konstruktion und Kontrollmechanismen auf unterschiedliche Personen zu bevorzugen ist.

5.5.4 Definition und Zuweisung von Verantwortlichkeiten

Rund um den Kontrollprozess im weiteren Sinne müssen Verantwortlichkeiten definiert und einzelnen Personen zugewiesen werden. Andernfalls besteht die Gefahr einer Verantwortungsdiffusion: Zu viele Personen kommen als mögliche Handelnde in Frage, sodass im Ergebnis niemand eine Handlungsinitiative ergreift, obwohl die Notwendigkeit eines Vorgehens klar erkannt ist [285]. Diese Verantwortungsdiffusion ist vor allem aus der Forschung zur Gruppendynamik im Zusammenhang mithilfeleistungen in Notfallsituationen bekannt [286]. Nach detaillierter Analyse der Thematik sprechen keine Indizien gegen die Übertragbarkeit der Erkenntnisse in das industrielle Umfeld. Die Zuweisung von Verantwortung führt beim Betroffenen zur Entstehung von Engagement, Eintrittsverpflichtung („commitment“) und verantwortungsvollerem Handeln [287]. Zu unterscheiden ist hier von der Verantwortlichkeit für Mängel im Sinne einer Haftbarkeit, die dadurch nicht impliziert wird. Es handelt sich vielmehr um die Verantwortung, die jeweils notwendigen Schritte einzuleiten. Im Projektmanagement wird diese Unterscheidung als verantwortlich im rechtlichen Sinne („accountable“) und zuständig für die Durchführung („responsible“) deutlich herausgestellt [288]. Eine deutlichere begriffliche Trennung zwischen dem Gefühl der Verantwortlichkeit und der reinen Zuständigkeit im Sinne der übertragenen Tätigkeit ist im Deutschen leider nicht etabliert. Abseits der Schuldfrage im Schadensfall soll die Frage geklärt werden, wer Aktionen anstoßen und treiben soll, und wer der Ansprechpartner ist, bei dem Verantwortung abgegeben werden kann. Die Abgabe von Verantwortung bedeutet, dass erkannte Schwachstellen gemeldet werden und der Meldende damit von weiteren Verpflichtungen befreit ist. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Informationskette von der Aufdeckung eines Fehlers zum Ursprung des Fehlers nicht abreißt. Ziel ist der Aufbau einer lückenlosen Meldekette („reporting chain“) [289] von Verantwortungspersonen oder Ansprechpartnern, die jede Person jeweils wieder von ihrer Verantwortung befreien können, bis die Meldung an der Problemursache angelangt ist.

Verschiedene Arten und Umfänge von Verantwortlichkeiten können zugewiesen werden, bBeispielsweise die Verantwortung für einen Einzelprozess mit vor- und nachgelagerten Kontrollen, für eine Schnittstelle mit vor- und nachgelagerten Kontrollen, für die konsequente Rückmeldung aufgetretener Fehler an den Vorgänger-Prozess oder die bereichsübergreifende Verantwortung für Schnittstellen der Produktentwicklung im Unternehmen oder Entwicklungsnetzwerk. Die konkrete Zuordnung ist abhängig von der Anzahl der Kontrollstellen, der Unternehmensgröße sowie der Kooperationsform. Eine rein betriebsinterne Entwicklung stellt andere Anforderungen an das Schnittstellen-Management als lose gekoppelte Entwicklungskooperationen oder eng eingebundene Entwicklungsdienstleister vor Ort. GÄRTNER hat die Vor- und Nachteile dieser unterschiedlichen Integrationstiefen verteilter Entwicklung im Detail untersucht [290].

5.5.5 Präventive Kontrollmaßnahmen

Kontrollen, die dem Prozess der Fehlerentstehung vorgeschaltet sind, werden präventive Kontrollen genannt und sollen einen Fehler vermeiden, bevor dieser entstehen kann. Der Begriff Kontrolle ist hier nicht im engeren Sinne als Soll-Ist-Vergleich zu verstehen, da vor der Entstehung eines Fehlers noch kein Ergebnis vorliegt, das gegen eine Vorgabe geprüft werden könnte. Behelfen kann man sich durch die Vorstellung, die präventive Kontrolle sei die Kontrolle eines vorgelagerten Prozesses, also beispielsweise einer Vorbereitungstätigkeit. Auch eingeschränkte Zugriffsrechte und Passwortkontrollen sind dementsprechend als präventive Kontrollen zu verstehen. Wie Abbildung 45 zeigt, kann die präventive Kontrolle eines Prozesses gleichzeitig als detektive Kontrolle des vorgelagerten Prozesses verstanden werden. Die Begriffe sind demnach vom Standpunkt des Betrachters abhängig.

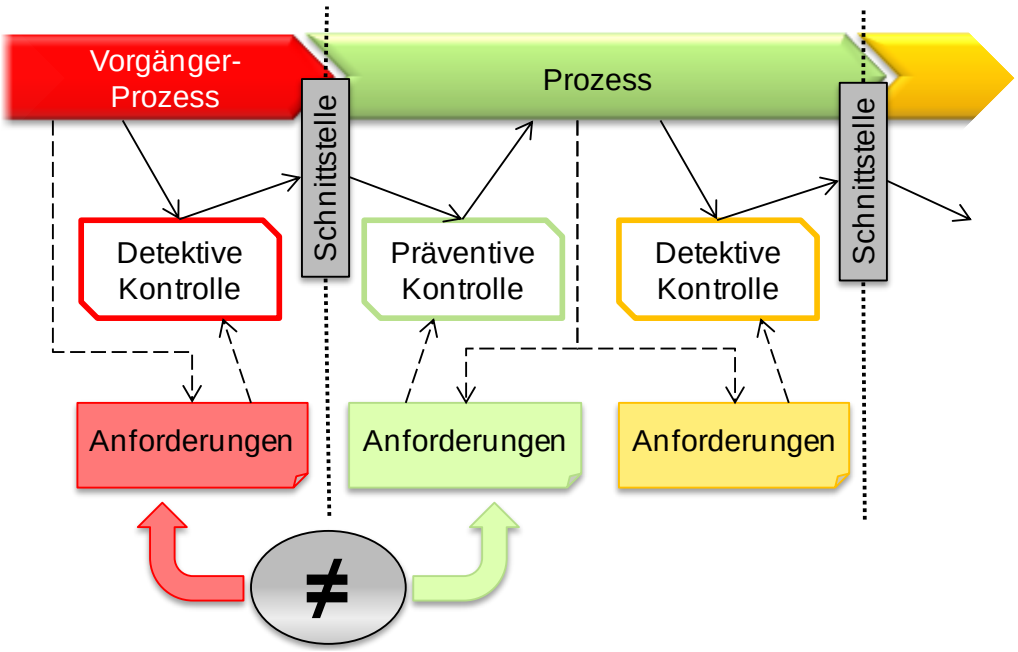


Abbildung 45: Präventive und detektive Kontrollen

Obwohl die Anforderungen auf beiden Seiten der Schnittstelle inhaltlich identisch sein müssten, da sie aus den Randbedingungen des Prozesses formuliert wurden, ist diese Konsistenz vielfach nicht gegeben. Anforderungen sind in der Regel prozessspezifisch und haben somit keine Gültigkeit über mehrere Prozesse hinweg. Die in Abschnitt 2.2 (S. 12) beschriebene Anforderung der Verwendung eines rechtshändischen Achsensystems für die ordnungsgemäße Bauteil-Positionierung in der Geometrieverwaltung bedeutet übersetzt als Anforderung des Vorgänger-Prozesses möglicherweise ein Verbot der Nutzung von Spiegelungsfunktionen im CAx-System. Relevant ist also, welchem Prozess die zu überprüfenden Anforderungen zugeordnet sind.

Präventive Kontrollen sind einzusetzen, wenn das Eintreten eines Fehlers mit hohem Korrekturaufwand oder einem großen Verlust an produktiver Arbeitszeit verbunden ist und die Auswirkungen eines potenziellen Fehlers also sehr groß sind. Ein Fehler, der eine Gefährdung der Stabilität eines großflächig eingesetzten Entwicklungswerkzeuges darstellen kann, ist zwingend zu vermeiden, sodass präventive Kontrollen einzusetzen sind und eine detektive Kontrolle nicht ausreichend wäre. Ebenso verhält es sich mit Fehlern, die in der Produktentwicklung entstehen und möglicherweise zu Fehlern in der Fertigung mit denkbaren Gefahren für Leben und Gesundheit betroffener Personen führen könnten. Das Risiko eines kritischen Fehlers ist demnach mithilfe präventiver Kontrollen zu begrenzen. Kritische Fehler sind hier aus Gründen der Vollständigkeit genannt. Prozess- und Methodenvorgaben betreffen in der Regel keine Prozesse, die zu kritischen Fehlern in diesem Sinne führen könnten.

Gegen einen durchgehenden und ausschließlichen Einsatz präventiver Kontrollen kann der Kontrollaufwand sprechen. Der Aufwand einer Fehlervermeidung in komplexen Prozessen kann wesentlich höher sein, als aus der Summe der Ergebnisse entstandene unbrauchbare Ergebnisse auszusortieren. Dieser Vergleich bezieht sich auf präventive und detektive Kontrollen eines gemeinsamen Prozesses (Abbildung 45: grün und gelb), nicht einer gemeinsamen Schnittstelle (Abbildung 45: rot und grün). Konkret hängt die Frage der Durchführung präventiver Kontrollen von der Relation des entstehenden Fehlleistungsaufwandes zu den Kosten der Kontrollmaßnahme ab. Neben den aus der Fertigung bekannten Quality-Gates sollen hier beispielhaft die Einschränkung des Funktionsumfangs und die Autorisation als präventive Kontrollmaßnahmen näher erläutert werden.

Einschränkung des Funktionsumfangs

CAD-Systeme wie CATIA® (Dassault Systèmes), AutoCAD® (Autodesk), Pro/Engineer® (PTC), Solid Works® (SolidWorks), Solid Edge® und NX® (Siemens PLM Software, vormals UGS) bieten durchgängig die Möglichkeit, eigenen Programmcode via Makro in das System einzubinden und diesen Programmcode bei laufendem Betrieb der CAD-Software auszuführen sowie mit dessen Schnittstellen zu interagieren. Dies bietet die Möglichkeit, vom Anwender ausgeführte Funktionen an User Exits spezifisch abzufangen und eigene Zwischenschritte in den Ablauf zu integrieren. Der User Exit beschreibt dabei die Stelle im Prozess, an der das Makro einsetzt. Nach Möglichkeit sind Funktionalitäten, die im Widerspruch zu vorgeschriebenen PMR stehen, wie das beispielsweise für die Verwendung von Spiegelungsfunktionen häufig der Fall ist, abzufangen, zu sperren und mit entsprechenden Hintergrundinformationen für den Entwickler zu versehen. Dass reduzierte Funktionalitäten zugleich die Aufgabenerfüllung beschleunigen können, wurde bereits empirisch belegt [291]. Ein Entfernen der auslösenden Schaltfläche oder Menüstruktur ist nicht zu empfehlen. Nach NIELSEN müssen nicht verfügbare Funktionen weiterhin dargestellt und als unverfügbar gekennzeichnet werden, um unnötige Suchprozesse zu vermeiden [292]. Funktionen, die lediglich zu Momentanfehlern und nicht zu Permanentfehlern führen, sollten gesondert betrachtet werden. Ein vollständiges Verbot der Anwendung derartiger Funktionen bedeutet eine starke Einschränkung der Handlungsfreiheit des Entwicklers im Entwicklungsprozess. Richtige Ergebnisse können häufig auch auf ungewöhnliche Weise erreicht werden, die mitunter fehlerhafte Zwischenergebnisse beinhalten können. Andererseits sind Widerstände seitens der Ingenieure zu erwarten, wie die psychologische Reaktanztheorie („psychological reactance theory“) beschreibt [293, 294].

Schlussfolgernd darf die Freiheit der Arbeitsweise nur im zwingenden Fall und mit ausreichender Argumentation eingeschränkt werden. Als Kompromisslösung bietet sich die Ausgabe von Warnmeldungen an, die darauf hinweisen, dass die gewählte Funktionalität zu Ergebnissen führt, die nicht vorgabenkonform sind und dass im Folgenden Korrekturschritte nötig sein werden, um wieder ein konformes Ergebnis erhalten zu können. Die Warnmeldung ist so lange aufrechtzuerhalten, bis die Situation rückgängig gemacht wurde, und sollte auf den konkret entstehenden Fehler hinweisen. Damit handelt es sich um ein erstes Element eines Fehlerhinweissystems. Die Kontrolle wird in Form einer automatisierten Verfahrenskontrolle implementiert. Der Umsetzungsaufwand ist gering, wobei eine fundierte Auseinandersetzung mit den zugrunde liegenden PMR sowie den individuellen Arbeitsprozessen der Anwender im Unternehmen erforderlich ist.

Autorisation

Während viele Elemente von Kontrollsystemen in der industriellen Produktentwicklung nicht verbreitet sind, werden Autorisationen, beispielsweise in Form von Freigabeprozessen, häufig eingesetzt. Das Freigabe-Management ist eine Standard-Funktionalität gängiger Produktdatenmanagement-Systeme (PDM). Die konkrete Umsetzung erfolgt dabei auf Basis umfangreicher Individualisierungen (Customizing). Fortlaufende Anpassungen des Freigabeprozesses an die aktuellen Anforderungen des Entwicklungsprozesses sind gängige Praxis.

Bei der Autorisation handelt es sich um eine operative Ausgestaltung des „Mehr-Augen-Prinzips“ [295], bei der die Überprüfungen nicht zeitgleich stattfinden. Umsetzungen des Mehr-Augen-Prinzips werden von Informationsmanagement-Systemen meist standardmäßig unterstützt [296]. Der Freigabeprozess als Vier-Augen-Prinzip oder Vier-Augen-Kontrolle setzt jedoch für die Fehlerreduktion an entwicklungsinternen Schnittstellen meist zu spät an. Die Kontrollen erfolgen bei fortgeschrittener Entwicklungstätigkeit, beispielsweise beim Datenimport von Zulieferunternehmen, bei der Datenintegration sowie als letzter Schritt vor Ableitung der Bauzeichnungen für die Fertigung wo die Prozesskette der virtuellen Produktentwicklung zunächst endet. Im Fehlerfall entstehen lange Korrekturschleifen. Die späte Fehlererkennung ist auch darauf zurückzuführen, dass vorwiegend auf konstruktive Fehler geprüft wird und der Fokus nicht auf der Erfüllung von Prozess- und Methodenvorgaben liegt. Teilweise werden mehrstufige Freigabeprozesse eingesetzt, die darauf abzielen, dass Kontrollen früher im Prozess stattfinden können. Eine weitere denkbare Form der Autorisation ist das Vier- oder Mehr-Augen-Prinzip mit Gleichzeitigkeit der Überprüfungszeitpunkte, wie es beispielsweise im Extreme

Programming angewandt wird, wo mehrere Programmierer gleichzeitig am selben Software-Quellcode arbeiten und ihre Arbeitsergebnisse somit jederzeit gegenseitig kontrollieren. Bei eindeutiger Zuweisung der Verantwortlichkeit handelt es sich um eine Kombination aus Selbst- und Fremdkontrolle. Grundsätzlich sind Freigabeprozesse als präventive Kontrollen zu verstehen, da das Hauptziel der Schutz der jeweils folgenden Prozesse vor fehlerhaften Eingaben ist.

Eine weitere Einschränkung aktueller Freigabeprozesse ist die Verletzung der Bedingung vollständiger Arbeitstätigkeit [165]. Marktgängige und oftmals bereits in PDM-Systeme integrierte Workflow-Engines erlauben eine rollenbasierte Zuordnung von Arbeitstätigkeiten. Diese Funktionalität erlaubt in Verbindung mit einer Rollendefinition auf Basis von Kompetenzprofilen eine Annäherung an die zyklische Vollständigkeit nach HACKER (vgl. Abschnitt 5.5.3, S. 163). Das Prinzip der Funktionstrennung kann dabei aufrechterhalten werden, wenn sichergestellt ist, dass Arbeitsergebnisse nicht zur Kontrolle an den Bearbeiter zurückverwiesen werden. Über die Kopplung eines Kompetenzmanagement-Systems an das Workflowmanagement wird gewährleistet, dass neben der zeitlichen Verfügbarkeit ausreichende fachliche Qualifikation und Erfahrung [266] sowie eine ausreichende Legitimation bei der Kontrollinstanz vorliegen.

5.5.6 Detektive Kontrollmaßnahmen

Kontrollen, die der Fehlerentstehung nachgeschaltet sind, werden als detektive oder Entdeckungskontrollen bezeichnet. Vorwiegend sollen nicht Fehler verhindert, sondern entstandene Fehler aufgedeckt werden, um eine Bereinigung oder Aussonderung zu ermöglichen. Die Anforderung wird dabei vom Prozess selbst ausgehend betrachtet. Ein Bezug zu möglichen negativen Einflüssen auf Folgeprozesse ist nur mittelbar und implizit gegeben. Detektive Kontrollen können als zusätzliche Sicherheit im Anschluss an einen Prozess mit präventiven Kontrollen durchgeführt werden, wenn anzunehmen ist, dass Fehler aus vorangehenden Arbeitsschritten einen Prozess passieren, ohne entdeckt zu werden. Als redundante Maßnahme kann damit die Fehlerfreiheit bei Bedarf maximiert werden. Ferner sind sie als ausschließliche Ergebniskontrolle denkbar, wenn der Verlust durch ein Ausschusselement gering ist und eine präventive Kontrolle damit wirtschaftlich nicht vertretbar wäre.

Checklisten:

Eine Checkliste ist ein Prüffragenkatalog, dessen Ziel es ist, den Bearbeiter im Hinblick auf alle aufgeführten Fragen an entsprechende Tätigkeiten zu erinnern, sodass im Ergebnis alle Fragen abgehakt, das heißt mit „Ja“ beantwortet werden können. Das

Abarbeiten einer Checkliste kann als Anwendung des „Zwei-Augen-Prinzips“ [297] verstanden werden, das auf ein bewusstes Hinsehen und eine Vergewisserung der jeweils abgeprüften Punkte abzielt. Vorteile von Checklisten liegen in ihrer einfachen und schnellen Handhabung sowie in der Flexibilität der Checklisten als Werkzeug. Sie können sehr umfangreich gestaltet werden und sind in der Regel kostengünstig, sodass der Prozessnutzen die Prozesskosten übersteigt. Darüber hinaus sind sie häufig im Einsatz [131], was durch den geringen Neuheitsgrad keine Berührungsängste mit dem Instrument auslöst. Nicht zuletzt schärfen Checklisten das Bewusstsein für die Relevanz einzelner Kriterien, die ohne ihre erneute Erwähnung möglicherweise als irrelevante Nebenanforderungen abgetan würden. Die Einfachheit der Kontrollmaßnahme verringert die Einschätzung, dass Kontrollen „zeitverschwendend und belastend“ [131] für den Bearbeiter sind. Mit zunehmendem Umfang der Checkliste relativiert sich dieser Vorteil und das Risiko gedankenloser Abzeichnung aller Einzelpunkte entsteht.

Die Frage, welche Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) im Entwicklungsprozess beachtet wurden, ist vor allem relevant für die Verbesserung bestehender PMR und die Vervollständigung dokumentierter PMR. Gleichzeitig bietet eine Checkliste eine Erinnerungsfunktion für gegebenenfalls noch zu beachtende Punkte. In diesem Sinne handelt es sich bei der Checkliste um eine detektive Kontrolle mit korrektiver Zusatzwirkung. Auf korrektive Kontrollen wird in Abschnitt 5.5.7 (S. 172) näher eingegangen.

Die Qualität der Checkliste ist abhängig von der Vollständigkeit und Exaktheit hinsichtlich der im Einzelfall anzuwendenden Methoden. Eine tatsächliche Erstellung von Checklisten für den konstruktiven Einzelfall ist in Anbetracht der Fülle verschiedenartiger zu konstruierender Modelle jedoch nicht realisierbar. Die schlechte Generalisierbarkeit der Vorgaben verhindert die Erstellung einer Checkliste aller zu beachtenden PMR für die Entwicklung einzelner Bauteile. Auch der fortlaufende Wandel prozessinterner Vorgaben spricht gegen den Einsatz klassischer Checklisten. Denn entgegen der Flexibilität des Werkzeuges an sich sind konkret erarbeitete Checklisten eher unflexibel.

Die Implementierung von Checklisten in Software-Systeme kann einen Vorteil im Hinblick auf die Flexibilität bieten. Das Problem der weiterhin nicht automatisierbaren Zuordnung von Vorgaben zu Entwicklungsaufgaben bleibt weiterhin ungelöst. Eine Ausnahme bilden Vorgaben für Einzelfunktionalitäten in CAx-Systemen. Diese können in der Regel automatisch zugeordnet werden.

Dokumentation des Entwicklungsprozesses

Dokumentationen können Grundlage für eine detektive Fremdkontrolle sein, wenn das Untersuchungsobjekt derart komplex ist, dass Fehler nicht ohne umfangreichen Vergleichsmaßstab festzustellen sind. Verstöße gegen prozessinterne Vorgaben fallen in diese Kategorie von Fehlern. Ohne genaue Kenntnis der Vorgaben sind Fehler nicht erkennbar. Gleichzeitig dient die Dokumentation der Selbstreflexion über durchgeführte Prozessschritte und ist damit als detektive Selbstkontrolle zu verstehen. In der Klassifikation der Kontrollmaßnahmen ist die Dokumentation als Selbstkontrolle einzuordnen, da sie vom bearbeitenden Entwicklungsingenieur selbst durchgeführt wird. Ferner handelt es sich um eine teils automatische, teils manuelle Verfahrenskontrolle, wenn der Kontrollzeitpunkt automatisch vom System vorgegeben wird. Durch das Vorziehen der Dokumentation in die Phase der Arbeitsvorbereitung wie es beispielsweise von DEMARCO vorgeschlagen wird [298], kann die Dokumentation auch präventiver Natur sein. Die Erstellung von Dokumentationen wird in der Praxis vorwiegend als unangenehme Tätigkeit empfunden. Eine Ursache dafür kann sein, dass die Dokumentationswissenschaft mit etwas über 100 Jahren eine sehr junge Disziplin ist [6] und daher in der Praxis noch ein Mangel an Selbstverständlichkeit der entsprechenden Methoden herrscht. Wo möglich, werden Dokumentationsprozesse automatisiert oder zumindest bestmöglich unterstützt, um den Menschen von dieser Tätigkeit zu entlasten.

Relevante, zu dokumentierende Informationen sind neben der Identität des Bearbeiters zur Nachvollziehbarkeit der Bearbeitungshistorie vor allem die bei der Bearbeitung explizit beachteten Vorgaben und angewandten Methoden. Diese Dokumentation kann parallel zur Entwicklungstätigkeit stattfinden und bedeutet daher nur einen geringen Zusatzaufwand. Bei Weitergabe des Arbeitsergebnisses an Folgeprozesse bleibt eine Referenz zu den entsprechenden Vorgaben und Methoden erhalten. Im Fehlerfall kann über diese Referenz festgestellt werden, welche Vorgehensweisen im Handlungsplan des Entwicklers integriert waren, welche dennoch nicht durchgeführt wurden und welche nicht als relevant erachtet wurden. Dies sind wertvolle Hinweise für die in Abschnitt 5.2.9 (S. 126) beschriebene Fehleranalyse. Darüber hinaus dienen sie bei Rückkopplung von Informationen an Entwickler zur Erleichterung gegebenenfalls notwendiger Korrekturen, teils über eine verbesserte Erinnerung der Umstände der jeweiligen Entwicklungsaufgabe durch hilfreiche Kontext-Informationen.

Der Aufwand dieser Maßnahme für den Entwickler ist als gering einzuschätzen und kann softwaretechnisch unterstützt werden (vgl. Abschnitt 6.2.2, S. 205). Als Grundlage der Maßnahme ist eine gut strukturierte Sammlung geltender Prozess- und

Methodenvorgaben erforderlich, die mit zunehmender Unternehmensgröße steigenden Aufwand bedeutet.

Wird ein Fehler dadurch entdeckt, dass er eine Prozessstörung hervorruft, so ist dies zwar kein wünschenswerter Zustand, genau genommen handelt es sich hierbei aber um eine implizite detektive Kontrolle. Fehler, die alle Folgeprozesse ohne Beeinträchtigungen passieren können, sind Nebenfehler B (vgl. Abschnitt 2.4.1, S. 19). Sie stellen keine Mängel dar und müssen nicht behoben werden.

5.5.7 Korrektive Kontrollen

Korrektive Kontrollmaßnahmen zielen darauf ab, nicht nur einen Prozess- oder Produktfehler aufzudecken, sondern diesen im selben Zuge auch zu beheben. ETTENGRUBER bezeichnet derartige Maßnahmen als „direkt gerichtete Kontrollen“ [299]. Umgesetzt als ein Auto-Korrektur-System würde dies die wohl komfortabelste Form der Kontrolle darstellen, da keinerlei Zusatzaufwand für den Entwickler zu verbuchen wäre. Fehler würden eigenständig erkannt und nicht nur kommuniziert, sondern im gleichen Zuge entsprechend geltender Vorgaben korrigiert. Da bereits die automatisierte Fehlererkennung im Bereich der prozessinternen Vorgaben ein noch nicht zufriedenstellend gelöstes Problem darstellt, sind automatisierte Korrektur-Systeme derzeit nicht absehbar. Ein in Abschnitt 5.5.6 (S. 169) erwähntes Fehler-Hinweis-System wäre ein erster Schritt in diese Richtung. Für Fehlerkorrekturen, die sich nicht auf unternehmensspezifische Prozessvorgaben, sondern auf mangelnde Datenqualität der CAD-Modelle im Hinblick auf eine erfolgreiche Vernetzung für FEM-Berechnungen beziehen, existieren jedoch bereits vielversprechende Ansätze [187]. Möglicherweise können dort entwickelte Grundlagen zukünftig für die Entwicklung von Auto-Korrektur-Systemen dienen, die auch die Kontrolle und Korrektur prozessinterner Vorgaben unterstützen werden.

5.5.8 Revision der Fehlervermeidung

Ein Kontrollsystem erkennt Fehler, die daraufhin korrigiert werden können. Eine automatische Verschärfung der Kontrollmaßnahmen ist bei Adäquatheit des Kontrollsystems nicht erforderlich; ebenso wenig unmittelbare Prozessanpassungen. Die Fehlererkennung ist eine Risikobehandlung und grundlegender Bestandteil der Fehlervermeidung. Eine absolute Abwesenheit von Risiken ist nicht denkbar. So stellt das unternehmerische Risiko ein Kernelement der Unternehmung selbst dar [180]. Die akzeptable Anzahl zulässiger Fehler hängt von den jeweiligen Umgebungsbedingungen ab und ist sinkt mit der Reifung der Prozesse. Durch wachsende Erfahrung und verbesserte technische Handhabbarkeit können Ziele an die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten angepasst werden. Ein bei Prozesseinführung als akzeptabel anzusehender hoher Fehleranteil wird sich im Laufe der Zeit

als verbesserungswürdig und -fähig erweisen. Um die Robustheit des Kontrollsystems auf Dauer zu gewährleisten und dabei hektische Anpassungen der Prozesse im üblichen Fehlerfall zu vermeiden, ist die geplante Durchführung von Revisionen nötig. Der Begriff Revision ist dabei als Überprüfung zu verstehen, nicht als Synonym zum Begriff der Version.

Angelehnt an die Wirtschaftsprüfung, wo die interne und externe Revision der Überprüfung des Internen Kontrollsystems dient [300], soll hier die Revision die Überwachung des Kontrollsystems bezeichnen. In besonderem Maße ist dies bei Kontrollen im Produktentwicklungsprozess erforderlich, da gültige Methoden, Normen, Vorgaben und Regeln aufgrund fortlaufender Innovationsbestrebungen rasch überholt sein können. Es bedarf deshalb einer ständigen Aktualisierung der zur Verfügung gestellten PMR, der daran geknüpften Kontrollen und der grundlegenden Struktur des Kontrollapparats. Besonderer Wert ist darauf zu legen, dass unnötige Vorgaben und andere Handlungseinschränkungen frühzeitig entfernt, generalisiert oder zusammengefasst werden, um Blindleistung möglichst zu vermeiden. Jede befolgte Maßnahme ohne positive Auswirkung auf den Prozess ist als Blindleistung zu sehen. Akut erfolgt dadurch eine unnötige Bindung von Ressourcen. Je länger eine unnötige Maßnahme durchgeführt wird, umso schwieriger wird es, diese endgültig zu entfernen. Mit zunehmendem Alter von Maßnahmen wissen immer weniger Personen um die Hintergründe der Einführung, sodass eine zunehmend stärker werdende normative Kraft vom besagten Instrument ausgeht, die eine Aufhebung auf Dauer verhindern kann. Umgangssprachlich wird dies als „Verkrustung“ oder „verkrusteter Prozess“ bezeichnet. ZUCKER & TOLBERT sprechen hier von der „Institutionalisierung der Vorgehensweise“, was bedeutet, dass eine Regel als anerkannt akzeptiert, nicht hinterfragt und fortlaufend weitergegeben wird [301]. Die von der Organisationsforschung empfohlenen kontinuierlichen Veränderungsprozesse werden auf Dauer unmöglich. Lediglich der steinige Weg diskontinuierlicher, schnittartiger Anpassung der Prozesse [302, 303] verbleibt.

Die Revision von PMR ist grundlegend für die darauf folgende Revision der Kontrollmaßnahmen, welche die Einhaltung der PMR gewährleisten sollen. Während die eigentliche Revision der Vorgaben ein Prozess ist, der ausschließlich manuell durchgeführt werden kann, kann die Wahl der Überprüfungszeitpunkte sowie die strukturierte Durchführung durch folgende Maßnahmen erleichtert werden:

- Statistische Auswertungen zur Fehlerhäufigkeit mit Bezug auf einzelne Vorgaben
- Festsetzung vorgabenspezifischer Gültigkeitsdauer bei Erstellung der Vorgaben
- Nutzung von Rückmeldungen der Anwender über zu installierende Kommunikationswege

Folgende Hauptfragestellungen können die Revision von Kontrollmaßnahmen unterstützen:

- Ist die Art der Kontrolle (noch) angemessen?
- Ist der Umfang der Kontrolle (noch) angemessen?
- Ist der Ort der Kontrolle (noch) angemessen?
- Kann die Kontrolle in andere Kontrollen integriert werden?
- Ist andernorts eine zusätzliche Kontrolle notwendig?
- Kann auf die Kontrolle gänzlich verzichtet werden?

Implizit ist die letzte Betrachtung von den vorhergehenden bereits abgedeckt. Da einmal eingeführte Vorgaben und Kontrollmaßnahmen jedoch nur selten wieder entfernt werden, gilt es, ein besonderes Augenmerk auf mögliche Reduktionen zu legen und diese gezielt zu suchen. Unter dem Stichwort „Bürokratieabbau“ wird dieses Vorgehen mittlerweile auch im politischen Umfeld verfolgt [304, 305]. Damit einher geht eine Überprüfung der ursprünglichen Ziele. Notwendig ist die Frage nach der Angemessenheit und grundlegender nach der weiter fortbestehenden Notwendigkeit der Zielsetzung. Durch Veränderung eines Folgeprozesses ist es denkbar, dass die Notwendigkeit einer Zielsetzung im Vorgänger-Prozess entfällt, das Ziel dort jedoch mit entsprechendem Aufwand weiterhin verfolgt wird. Es entsteht eine Blindleistung, die häufig als negativer Nebeneffekt durchgehender Prozessstandardisierung auftritt, sofern eine ausreichende Kommunikation über Schnittstellen hinweg nicht sichergestellt ist.

Bei der Umsetzung der Revisionstätigkeit bietet sich das aus der Unternehmensprüfung bekannte Instrument des „Control and Risk Self Assessment“ an. Hierbei wird die Bewertung der Risiken und der internen Kontrollen nicht von einer außen stehenden Revisionsabteilung geprüft, sondern vom betroffenen Bereich selbst [299]. Dies kommt der Skepsis gegenüber externen Kontrollen entgegen und fördert zudem die Akzeptanz bei der Revision als Kontrollmaßnahme wie auch grundsätzlich gegenüber allen Kontrollmechanismen. Betroffen von den Kontrollen ist der Daten liefernde Vorgänger-Prozess. Der Nachfolge-Prozess ist als Daten empfangender von den Risiken betroffen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit der Beteiligung beider Seiten der Schnittstelle. Zu erwarten ist eine verbesserte Qualität der Einschätzungen aufgrund der vorhandenen fachspezifischen Kenntnisse beider Seiten.

Mögliche Fehlanreize in Form der im Unternehmen vorhandenen Fehlerkultur können verhindern, dass Probleme im eigenen Arbeitsumfeld offen kommuniziert werden. Darüber hinaus tendieren Abteilungen zur Informationszurückhaltung gegenüber anderen Unternehmensteilen, um in Verhandlungssituationen mit Informationsvorsprüngen Vorteile ausspielen zu können [306]. Ein gezieltes Fehlermanagement ist in der Lage, diese Tendenzen mittels Einflussnahme auf die Fehlerkultur zu reduzieren. Es zielt dabei darauf ab, die aus Fehlern resultierenden negativen Konsequenzen zu minimieren [307]. Ist bekannt,

dass eine starke Tendenz zur Vermeidung von Fehlerkommunikation im Unternehmen vorhanden ist, so muss von der Verwendung eines Control Self Assessment als Revisionsmaßnahme abgesehen werden. Das probate Mittel ist in diesem Fall der Einsatz einer eigenständigen Revisionsabteilung. Im Hinblick auf die geforderte Funktionstrennung ist darauf zu achten, dass weiterhin die Revision wie auch die Kontrollen nicht von der im Einzelfall handelnden Person durchgeführt werden.

5.6 Konzeptentwicklung: Justierung des Anreizsystems in der verteilten Produktentwicklung

Die Erwartung an eine bestimmte Situation nennt man Anreiz.

Die Anreiz- und Motivationsforschung ist ein äußerst umfangreiches Themengebiet im Fachgebiet der Allgemeinen Psychologie, welches in diesem Rahmen nicht vollständig erörtert werden kann. Daher beschränkt sich die Behandlung auf die bereits im bisherigen Verlauf der Arbeit in Erscheinung getretenen Anreize. Ein Anspruch auf Vollständigkeit der Betrachtung kann damit nicht erhoben werden.

Eine gezielte Schaffung von Anreizen zur Unterstützung prozess- und methodenkonformer Arbeitsweisen wird in der Produktentwicklung kaum durchgeführt. Das Problembewusstsein hinsichtlich der Auswirkungen fehlender und dysfunktionaler Anreize ist nicht in ausreichendem Maße vorhanden. FRIELING & SONNTAG kommen zu einer ähnlichen Einschätzung [34]. Auch der Mangel an entsprechender Literatur im Kontext der Ingenieurwissenschaften unterstreicht diese Tatsache.

Wie in Abschnitt 4.4.2 (S. 81) dargelegt, sind die Person und die Situation die beiden wichtigsten Einflussfaktoren auf persönliche Handlungsentscheidungen. Die Variable Person ist für die gezielte Steuerung von Aktivitäten im industriellen Kontext der Produktentwicklung nur schlecht geeignet, da deren Bedürfnisse, Motive und Ziele nicht direkt beeinflussbar sind. Eine Einflussnahme auf dieser therapeutischen Ebene ist außerdem nicht vorgesehen und wäre nur schwer von Versuchen zur Manipulation abzugrenzen, die dem Vertrauensverhältnis eher abträglich wären. Nicht die Person selbst, sondern ihre Handlungen sind Gegenstand der Untersuchung und sollen im Sinne des Unternehmens unterstützt werden. Erwartungen als situationsbeeinflussende Anreize sind zwar schwer justierbar, da sie über die vom Unternehmen vorgegebenen Ergebnisfolgen nur indirekt beeinflusst werden können. Jedoch führen sie langfristig zur Prägung der Mitarbeiter und haben damit einen großen Anteil an deren Handlungsentscheidungen. Kurzfristig ist der Einfluss noch stärker, da Erwartungen entscheidenden Einfluss auf die Handlung der Person haben [147]. Der Anreiz bleibt folglich die wichtigste Stellgröße bei der gezielten Unterstützung erwünschter Handlungsweisen in der

Produktentwicklung und ist kurz gesagt die Erwartung, die eine Person mit einer bestimmten Situation verbindet. Diese Erwartungen gilt es, durch die Ermittlung der wirkenden Verstärker und den gezielten Einsatz neuer Verstärker so zu gestalten, dass erwünschte Handlungen unterstützt und unerwünschte Handlungen blockiert werden.

5.6.1 Anreize in der verteilten Produktentwicklung

Im Verlauf der bisherigen Arbeit wurden bereits einige Anreize identifiziert, die Einfluss auf Handlungen in der verteilten Produktentwicklung haben. Diese Anreize beeinflussen die Handlungen der Produktentwickler in gewollter oder ungewollter Weise. Folgende Anreize konnten identifiziert werden:

- Aufwandsbegrenzung und Reduktion (vgl. Abschnitt 2.5.1, S. 30)
- Minimierung des persönlichen Risikos (vgl. Abschnitt 2.5.1, S. 30)
- Abschöpfung der Auszahlungen 🕮 verfügbarer Anreizinstrumente 🕮 (vgl. Abschnitt 2.5.1, S. 30)
- Informationsvorsprünge gegenüber Kollegen und Vorgesetzten (vgl. Abschnitt 2.5.2, S. 31)
- Aufwandsexternalisierung (vgl. Abschnitt 2.5.3, S. 32)
- Nutzeninternalisierung (vgl. Abschnitt 2.5.3, S. 32)
- Folgenlosigkeit (vgl. Abschnitt 4.4.2, S. 81)
- Negative Folgen ohne konkrete Ausprägung (vgl. Abschnitt 4.4.2, S. 81)
- Erhalt hoher Qualität zu geringen Kosten (vgl. Abschnitt 2.5.1, S. 30)
- Zeitersparnis
- Eigenverantwortlichkeit (vgl. Abschnitt 4.1.2, S. 65)
- Freude am Inhalt der Arbeitstätigkeit (vgl. Abschnitt 4.4.2, S. 81)
- Pflegen sozialer Kontakte (vgl. Abschnitt 4.4.2, S. 81)

In unterschiedlichem industriellen Kontext sowie an unterschiedlichen Positionen im Entwicklungsnetzwerk wie auch in der Organisationsstruktur und entsprechend verschiedener kultureller Hintergründe sind diese Anreize unterschiedlich stark ausgeprägt und finden unterschiedlich starke Entsprechung in den Motiven der betroffenen Personen. Darüber hinaus erhebt die Aufzählung keinen Anspruch auf Vollständigkeit und ist im jeweiligen Kontext unternehmensindividuell neu zu erheben. Alle in der Analysephase im Unternehmen identifizierten Anreize können als De-facto-Anreize verstanden werden, sofern sie nicht einem gezielten Anreizsystem des Unternehmens entspringen. Die unerwünschten Folgen der genannten Anreize sind bereits in der Problembeschreibung ausführlich formuliert.

5.6.2 Schaffung gezielter Anreize

Anreizsysteme als Maßnahme von Personalabteilungen basieren meist auf jährlicher oder vierteljährlicher Evaluation. Sie sind nicht in der Lage, adäquate Anreize für die Projektarbeit zu liefern, da sie, um entsprechende Anreizwirkungen erzielen zu können, als nicht fair und nicht zeitgerecht genug empfunden werden [306]. Die Produktentwicklung ist nach dem Project Management Body of Knowledge (PMBoK) per definitionem als Projektarbeit zu betrachten [308]; das gilt auch für Branchen, die vorwiegend programmbasiert vorgehen, wie dies beispielsweise in der Automobilindustrie der Fall ist.

Die Schaffung eines positiven Arbeitsumfelds zur Zufriedenheit der Mitarbeiter ist notwendig und wird als Grundvoraussetzung und „Hygienebedingung“ [159, 309] erfolgreicher Mitarbeiterführung betrachtet. Eine weitere Erörterung erfolgt daher nicht. Anreize sollen direkt mit der Tätigkeit des Betroffenen gekoppelt sein und nur jeweils seinen Handlungen entsprechend positive oder negative Auszahlungen bewirken, um positiv verstärkend zu wirken. Auszahlungen sind dabei nicht rein monetär zu verstehen, sondern beinhalten jegliche dem Mitarbeiter zukommende Rückmeldung. Eine gezielte Steuerung der Arbeitstätigkeit im Sinne des Unternehmens ist andernfalls nicht zu erwarten. Nach COENENBERG sind für die Wirksamkeit der zu schaffenden Anreize drei Grundvoraussetzungen zu erfüllen: die Anreizkompatibilität der Anforderungen, die Beeinflussbarkeit der Situation durch den Betroffenen sowie die Manipulationsfreiheit [310]. Im Folgenden werden verschiedene Arten von Anreizen zur Handlungsunterstützung auf ihre Anwendbarkeit im Kontext der verteilten Produktentwicklung untersucht.

Individualanreize

Als Individualanreize wirken Anreize, die dadurch als handlungsunterstützend für den Einzelnen gelten, dass sie seine Einzelhandlung bewerten und entsprechend vergüten oder bestrafen. Interaktionen mit weiteren Beteiligten sind möglich. Reaktionen des Anderen haben jedoch keinen Einfluss auf die Auszahlung. Mit dem Individualanreiz soll die Erwartung geschaffen werden, dass die Handlung nach Vorgabe zu einer positiveren Auszahlung führt als die Handlung entgegen der Vorgabe.

Es sind keine Situationen bekannt, in denen Individualanreize unerwünschte Nebeneffekte haben, sofern die Anreize adäquat ausgestaltet und platziert sind. Als nachteilig kann der hohe Aufwand dieser Ausgestaltung im konkreten Fall und für das einzelne Individuum angesehen werden sowie das Risiko der Schaffung von Fehlanreizen, wie dies beim Kobra-Effekt [154] und Peltzman-Effekt [151] der Fall ist. Individualanreize basieren auf persönlichen Motivationsstrukturen, wodurch sie besonders zur Attraktion und Selektion [311] geeignet sind und in diesem Fall auch mit

überschaubarem Aufwand ausgestaltet werden können. Da im betrachteten Kontext keine Selektion betrieben werden soll, sondern jede Einzelperson möglichst effektiv gefördert werden soll, sind in umfangreichem Maße psychologische Methoden notwendig, um diese Anreize zielgerecht zu entwickeln. Zu beachten ist, dass durch übermäßige Anreize zur Ausübung einer bestimmten Tätigkeit andere Tätigkeiten vernachlässigt werden, die relativ gesehen weniger Anreiz bieten. Anreize sind daher niemals isoliert, sondern immer in Gesamtheit mit all ihren Wechselwirkungen zu betrachten.

Gruppenanreize

Gruppenanreize zielen auf eine Handlungsunterstützung bei Mitgliedern einer Gruppe ab. Eine Gruppe soll dabei verstanden werden als eine Sammlung mindestens dreier oder manchmal zweier Personen, die neben weiteren Anforderungen ein gegenseitiges Existenzbewusstsein haben und miteinander interagieren müssen [312]. Die Ergebnisbewertung erfolgt nicht für die Einzelmitglieder, sondern ausschließlich für das in der Gruppe erzielte Gesamtergebnis.

Gruppenanreize sind prinzipiell als sinnvoll zu erachten, da sie individuelle Egoismen reduzieren und die Kollaboration fördern. Die in Abschnitt 2.5.1 (S. 30) beschriebene Prinzipal-Agenten-Konstellation wird dadurch reduziert. Jedoch ist die oben beschriebene Gruppensituation in den meisten Fällen der verteilten Produktentwicklung nicht gegeben. Die gegenseitige Kenntnis und Interaktionsmöglichkeit fehlt oftmals (vgl. Abschnitt 3.2, These 21, S. 55) und qualifiziert die betrachteten Personenkreise damit nicht als Gruppe, sondern lediglich als Organisation. Tatsächlich als Gruppe zu betrachten sind in der Regel Arbeitsgruppen, Projektteams und Abteilungen sowie Teilmengen derselben. Diese Konstellation existiert in der verteilten Produktentwicklung beispielsweise dann, wenn verteilt arbeitende Personen gezielt zu einem Team mit gemeinsamer Zielsetzung zusammengeführt werden.

Unternehmensanreize

Besonders in den Führungsebenen großer Organisationen sind Unternehmensanreize weit verbreitet. Dabei handelt es sich um eine Beteiligung der Einzelpersonen am Gesamterfolg der Unternehmung, meist in Form finanzieller Boni. Bei großen Entwicklungsorganisationen ist der Einsatz von Unternehmensanreizen nicht geeignet, um Schnittstellen-Prozesse effektiv zu unterstützen. Der Einfluss der einzelnen Handlung auf den Unternehmenserfolg ist zu gering und zeitlich stark entkoppelt. Im Fall kleiner Entwicklungsorganisationen ist der Übergang von Unternehmensanreizen zu Gruppenanreizen fließend. Eine Bindung von Anreizmaßnahmen an den

Unternehmenserfolg ist aber auch hier nur dann sinnvoll, wenn kurzfristige Erfolgskennzahlen verfügbar sind. Der Jahreserfolg ist aufgrund der Zeitdifferenz zwischen der einzelnen Handlung und der Ergebnisermittlung sowie des schwachen Gesamteinflusses der Einzelhandlung nicht als Indikator geeignet.

Turnierentlohnungen

Bei der Turnierentlohnung findet eine relative Erfolgsmessung statt, die unterschiedliche Teilnehmer des Turniers ordinal vergleichend betrachtet [313]. Speziell in Situationen, in denen die absolute Erfolgsmessung nur schlecht bis gar nicht möglich ist, bietet sich der Einsatz von Turnierentlohnungen an. Bei der Erfüllung interner Anforderungen in der verteilten Produktentwicklung ist der Zielerreichungsgrad deshalb nur schlecht messbar, weil aufgrund zahlreicher Randbedingungen wie Entwicklungskosten, schlecht definierter Anforderungen und zeitlicher Abhängigkeiten nicht bekannt ist, wie der Zielzustand exakt definiert ist und ob die Erreichbarkeit sichergestellt ist. Dies kann als eine Eigenschaft der nichtdeterministischen Produktentwicklungsprozesse verstanden werden [314].

Vorteile der Turnierentlohnung sind, dass gemeinsame Störeinflüsse keine Ergebnisrelevanz haben. Dieser Vorteil vermindert sich jedoch bei zunehmender Größe des Bereiches, in dem die Turnierteilnehmer tätig sind, da vermehrt individuelle Störeinflüsse auftreten. Ein Nachteil der Turnierentlohnung gegenüber anderen Anreizarten ist dies dennoch nicht, da sich bei kardinal vergleichenden Methoden alle Einflüsse direkt auf den Betroffenen auswirken und eine Kompensation kaum möglich ist. Als Nachteile der Turnierentlohnung in der verteilten Produktentwicklung sind mögliche Konflikte mit anderen Anreizarten wie beispielsweise den internalisierenden Anreizen zu nennen. Während die internalisierenden Anreize gemeinsames Handeln unterstützen, verschärfen Turnierentlohnungen die Wettbewerbssituation. Im schlechtesten Fall kann dies bis hin zu Kooperationsverweigerung und Sabotage durch Wettbewerber führen. Die Gefahr der Absprachen unter den Teilnehmern zur Kollusion 🕮 [315] in Form gemeinsamer Anstrengungsvermeidung ist bei ausgedehnten Entwicklungsnetzwerken nur gering, kann jedoch bei kleinen Unternehmen, gutem Kommunikationsklima unter den Wettbewerbern und schlechtem Kommunikationsklima zur Führungsebene gegeben sein. Turnierentlohnungen sind also in der verteilten Produktentwicklung besonders dort sinnvoll, wo ein angemessenes Betriebsklima herrscht und die Entfernung der Teilnehmer innerhalb der Organisation nicht zu groß ist.

Wie in Abschnitt 2.5.3 (S. 32) erläutert, führen externe Effekte dazu, dass das Verhalten einer Partei nicht kompensierte positive oder negative Auswirkungen auf andere Parteien hat. Die Antizipation externer Effekte kann beispielsweise dazu führen, dass eine Entwicklungsabteilung so handelt, dass sie ihren eigenen Nutzen maximiert und damit eine andere Entwicklungsabteilung in Mitleidenschaft zieht. Das in Abbildung 46 dargestellte und anschließend erläuterte Beispiel soll diese Problematik verdeutlichen.

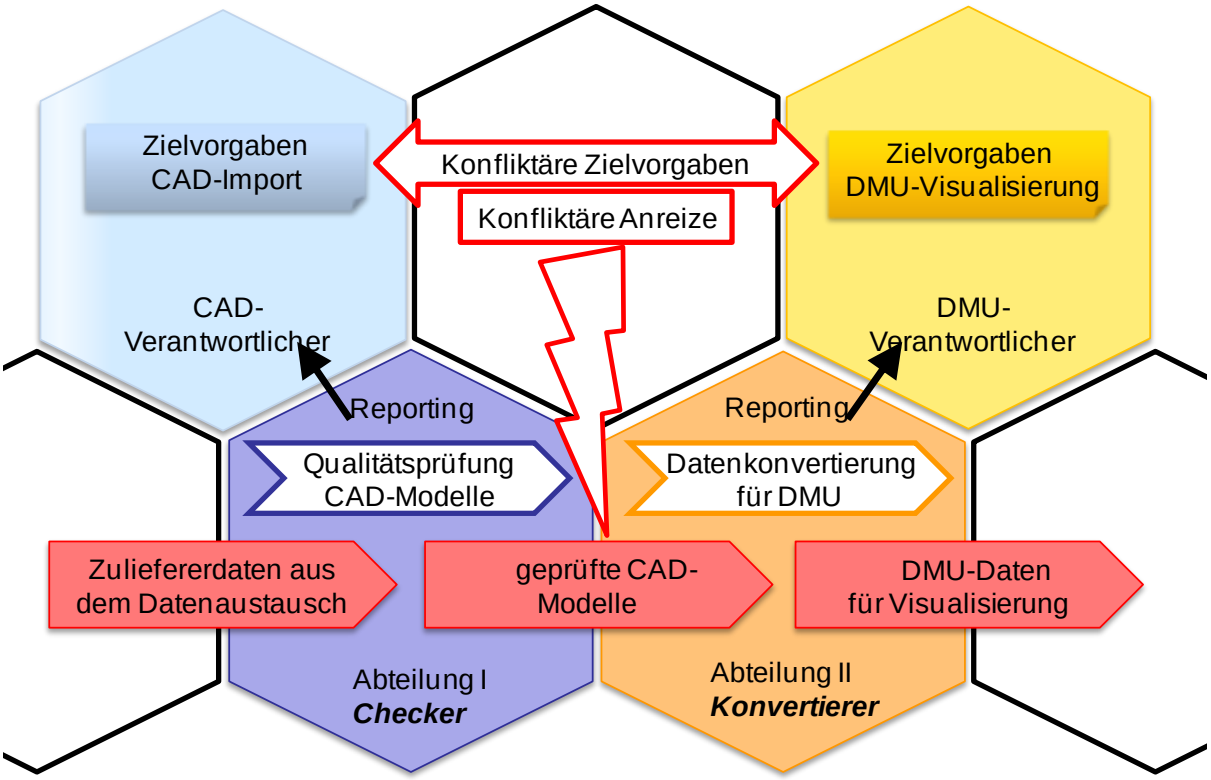


Abbildung 46: Konfliktäre Anreize in der verteilten Produktentwicklung

Zwei Entwicklungsabteilungen bearbeiten aufeinanderfolgende Prozesse. Die Mitarbeiter der Abteilungen (I) und (II) sollen im Folgenden als *Checker* bzw. *Konvertierer* bezeichnet werden. Die Checker der Abteilung (I) sind mit dem Datenaustausch befasst und führen Qualitätsprüfungen an CAD-Modellen von Zulieferunternehmen durch. Als Ergebnisse dieser Tätigkeit werden Modelle bereitgestellt, die von den Konvertierern aus Abteilung (II) weiterbearbeitet werden. Die Konvertierer sind auf die Korrektheit der CAD-Modelle angewiesen. Nur so kann eine erfolgreiche und effiziente Konvertierung in verschiedene Formate zur anschließenden 3D-Visualisierung im Digital Mock-up (DMU) erfolgen. Fehlerhafte Daten müssen andernfalls zeitaufwendig überarbeitet werden. Beide Abteilungen werden von ihrer jeweiligen Führungsebene an der Anzahl der abgelieferten Modelle gemessen. Die Forderungen nach DMU-Visualisierungen zu einem früheren Zeitpunkt und das Wissen um die Abteilung der Checker als Flaschenhals dieses Prozesses führen zu einer um

20 Prozent erhöhten Zielvorgabe hinsichtlich der täglich durch die Checker abzuliefernden CAD-Modelle. Um dieser Anforderung nachzukommen, kann die Modellprüfung nur mit reduzierter Genauigkeit durchgeführt werden. Im Ergebnis erhalten die Konvertierer mehr Daten in schlechterer Qualität. Aufgrund des dadurch entstehenden Mehraufwandes für die Konvertierer reduziert sich die Anzahl der fertiggestellten Visualisierungsdaten. Die DMU-Visualisierungen sind folglich erst zu einem noch späteren Zeitpunkt verfügbar als ursprünglich.

Die einzige Möglichkeit, das Gesamtergebnis, nämlich die effektiv erstellten Visualisierungsdaten, zu verbessern, besteht in der Bereitstellung weniger, aber korrekterer Daten durch die Checker. Jedoch hat diese Abteilung keinen Anreiz dazu. Die Zielvorgabe erzeugt einen Fehlanreiz im Hinblick auf das Gesamtergebnis. Entgegen der angestrebten Erhöhung des CAD-Modell-Durchsatzes erfolgt eine Reduktion. Die Auflösung dieser Problemsituation ist noch weitaus schwieriger, wenn sich die beteiligten Abteilungen der Checker und Konvertierer an unterschiedlichen Unternehmensstandorten oder gar in unterschiedlichen Unternehmen befinden. Eine Situationsverbesserung kann durch die Verwendung von Anreizen erreicht werden, die den Verursacher von Kosten dazu bewegen wird, entstehende Kosten in sein Handlungskalkül einzubeziehen (Internalisierung). Man sagt, vorhandene externe Effekte werden internalisiert.

Internalisierende Anreize

Internalisierende Anreize dienen dazu, Verursacher und Träger von Kosten in dasselbe Boot zu holen. Handlungsfolgen als Entscheidungsgrundlagen können stärker berücksichtigt werden, weil die Folgen vollständig oder zumindest teilweise auf den Verursacher zurückfallen. Externalitäten internalisierende Anreize sind folglich Anreize zur Gruppenbildung. Auf operativer Ebene konkurrierende und im Ergebnis durch eine gemeinsame Erfolgskennzahl messbare Parteien werden integriert. Parteien, die vormals durch die Beschaffenheit der Anreizsituation gezwungen waren, als Gegenspieler zu handeln, können dadurch gezielt kooperieren. Die Integration kann auf der Ebene der Kostenrechnung, der Performance-Messgrößen oder auch nur der Zielvorgaben geschehen. Je stärker die Integration, umso vollständiger ist die Internalisierung. Im Einzelfall ist der Integrationsgrad gegen die Komplexität der Gruppenkonstellation abzuwägen. Eine Gruppe, die aus mehreren über den Globus verstreuten Einzelpersonen besteht, kann faktisch nicht als Gruppe im Sinne der Definition funktionieren. Für das oben genannte Beispiel wären eine integrierte Zielvorgabe und Ergebnismessung anhand der insgesamt erstellten Visualisierungsdaten über beide Abteilungen hinweg denkbar. Zur Erreichung der Zielvorgabe müsste eine Abstimmung der Abteilungsprozesse sowie der Strategie zur

Umsetzung der neuen Vorgabe erfolgen. Die Anreize zu konkurrierenden Aktivitäten wären dadurch stark reduziert. Werden so die möglichen Auswirkungen der Handlung bereits vorab berücksichtigt, kommt dies einer Substitution detektiver Fremdkontrollen mit präventiven Selbstkontrollen gleich (vgl. Abschnitt 5.5.5 f., S. 165).

Ein in weiten Bereichen wirtschaftlicher Aktivitäten verbreiteter Internalisierungsanreiz ist die Verwendung der Kostenstellenrechnung als Kostenrechnungsmethode. Dadurch können unterstützende Aktivitäten einer Person einer Abteilung für eine andere Abteilung finanziell geltend gemacht werden. Externalitäten sind damit größtenteils ausgeschlossen. In der verteilten Produktentwicklung werden die Methoden der Kostenstellenrechnung in der Regel nicht oder nicht konsequent eingesetzt. Der Grund dafür ist unklar, kann jedoch an dieser Stelle nicht im Detail analysiert werden.

5.6.3 Spieltheoretische Betrachtung des veränderten Anreizsystems bei Transparenz der Kommunikationswege

Die Übermittlung von Informationen eines Spielers an einen anderen wird in der Spieltheorie als Signalisieren bezeichnet. Entwicklungsmitarbeiter in komplexen Entwicklungsnetzwerken können sich in diesem Sinne häufig nichts signalisieren, da kein persönlicher Kontakt besteht (vgl. Abschnitt 5.6.2, Gruppenanreize, S. 178). Sie sind damit faktisch isoliert und befinden sich in einer Situation, die dem Gefangenendilemma („Prisoners‘ Dilemma“) [316, 317] sehr ähnlich ist. Das Gefangenendilemma ist ein spieltheoretisches Modell und beschreibt zwei Parteien, die bei beiderseitig kooperativem Verhalten zu einer Maximierung ihrer Auszahlungen gelangen würden. Kooperiert nur eine Partei, so wird sie im Vergleich zur anderen Partei und im Vergleich zur beiderseitigen Kooperation ein schlechteres Ergebnis erzielen. Beide Parteien sind aufgrund mangelnder Abstimmungsmöglichkeit und der damit verbundenen individuellen Anreize gezwungen, unkooperativ (defektiv) zu handeln. Keine Partei wird in Kenntnis der Handlung der anderen Partei ihre Handlungsstrategie ändern. Man sagt, das Nash-Gleichgewicht des Spiels liegt bei beiderseitiger Defektion. Das Ziel der Spieler ist dabei die Unsicherheitsvermeidung, sodass keine Vorleistung erbracht wird, die nicht mit Sicherheit zu einer verbesserten Auszahlung führt. Im Ergebnis sind beide Parteien schlechter gestellt, als dies auf Basis stattfindender Kommunikation möglich wäre.

Im betrachteten Fall in der verteilten Produktentwicklung ist dem Entwickler nicht bekannt, mit welchen anderen Personen er interagiert und in welcher Weise die Interaktionspartner wechseln. Die Spielsituation ist intransparent. Übertragen auf die Spieltheorie handelt es sich daher um den speziellen Fall des Gefangenendilemmas ohne Spielwiederholung.

Die Situation kann dahin gehend verbessert werden, dass ein begrenzt wiederholtes Spiel mit unbekannter Rundenzahl oder ein quasi unbegrenzt wiederholtes Spiel geschaffen wird. Eine

Spielwiederholung bedeutet, dass sich die Parteien bewusst sind, welche Konstellation vorliegt und dass diese Konstellation zunächst auch weiterhin Bestand haben wird. Damit ergeben sich veränderte Anreize für die Parteien, die nun wissen, dass eine konkrete andere Partei existiert und damit ihre Handlungen entsprechend anders gestalten können. Beispielsweise kann eine Vorleistung erbracht werden, die darauf abzielt, dass die andere Partei eine positive Absicht erkennt und eine Gegenleistung erbringt. Die Erbringung einer Gegenleistung nach erhaltener Vorleistung wird als Reziprozität bezeichnet [318] und ist als Grundprinzip menschlichen Handelns anerkannt.

Wie beispielsweise BEAFUILS ET AL. belegen, können bei der Konstellation als wiederholtes Gefangenendilemma unterschiedliche Strategien zu einem Strategien-Gleichgewicht mit beiderseitiger Kooperation führen [319, 320] und somit ein Positivsummenspiel (Win-Win) ermöglichen. Übertragen auf die Produktentwicklung heißt das, dass die Transparenz der im Produktentwicklungsprozess existierenden Schnittstellenbeziehungen eine Verbesserung der Arbeitsergebnisse durch veränderte Handlungsweisen der Entwickler ermöglicht, ohne dass dadurch zusätzliche Kosten entstehen. Die positiven Auswirkungen beginnen auf unterster Ebene bei den Prozessschritten des Entwicklers. Beispielsweise kann der Vorgänger-Prozess den Nachfolge-Prozess derart beeinflussen, dass durch qualitativ hochwertigere Ergebnisse Arbeitserleichterungen entstehen oder gezielte Kommunikation Verständnisprobleme reduziert. Entstehende Verbesserungen können wiederum positive Effekte auf andere Abteilungen oder Unternehmen haben, wenn sich etwa termingerechte Abgaben positiv auf Auszahlungen aus der Fertigstellung für Dritte ergeben. In umgekehrter Prozessrichtung können nicht erforderliche Arbeitsaufwände reduziert, Anforderungen erläutert und mittels Terminplaninformationen kann Zeitdruck reduziert werden. Global betrachtet wird die Situation des Entwicklungsnetzwerks insgesamt verbessert.

5.6.4 Anreizinstrumente für die verteilte Produktentwicklung

Anreizinstrumente sind gezielt eingesetzte Verstärker in Verbindung mit definierten Bedingungen des Inkrafttretens der Verstärker für die jeweilige Zielgruppe. Ein Anreizsystem kann aus einer Vielzahl unterschiedlicher Einzelinstrumente bestehen, die je nach Kontext mehr oder weniger zielführend sein können. Die Literatur nennt hier eine Fülle monetärer und nicht-monetärer Anreize, die in verschiedensten Klassifizierungen dargestellt werden und hier nicht wiederholt werden sollen. Da es sich bei den erwünschten Handlungen zur Fehlervermeidung hauptsächlich um zeitlich stark begrenzte Aktionen ohne relevante Langzeitkomponenten handelt, gilt es auch bei den dafür verwendeten Anreizinstrumenten, hauptsächlich kurzfristige, also zeitnahe Auszahlungen zu verwenden. Unter einer Auszahlung sind dabei nicht nur finanzielle Entlohnungen zu verstehen, sondern grundsätzlich alle positiven wie negativen, materiellen und nicht materiellen Ergebnisse für den Teilnehmer. Weit

verbreitet, aber hier nicht effektiv ist beispielsweise das Anreizmittel der Beteiligung am Unternehmensgewinn über die Zuteilung von Aktien oder Aktienoptionen mit Dividendenausschüttung. Die konkrete Handlung eines vermiedenen Fehlers in der Produktentwicklung steht, wie bereits in Abschnitt 5.6.2 (S. 177) erläutert, nicht direkt genug im zeitlichen und kausalen Zusammenhang mit der Messgröße Unternehmensgewinn, als dass sich daraus ein effektiver Anreiz ergeben könnte. Ein Anstieg des Aktienkurses aufgrund einer adäquat erfüllten Prozessvorgabe stellt keine realistische Erwartung dar und fungiert somit nicht als Anreiz für die Erfüllung der Vorgabe.

Als funktional sind im betrachteten Kontext hauptsächlich Anreize in Verbindung mit kurzfristig ermittelbaren Zielgrößen zu betrachten, die sich direkt aus dem operationalen Betrieb ermitteln lassen. Für die Fehlervermeidung an Schnittstellen-Prozessen sind keine grundlegenden Einschränkungen bei den verwendbaren Anreizinstrumenten notwendig. Sowohl nicht-monetäre Anreizinstrumente wie Freizeitausgleich, Flexibilisierung der Arbeitszeit, Veränderungen der Arbeitsinhalte durch Job Enrichment und Job Enlargement oder Personalentwicklungsmaßnahmen als auch monetäre Anreizinstrumente wie Leistungsprämien und geldwerte Vorteilsgewährung sind einsetzbar. Neben den vergütenden Bonus-Maßnahmen sind prinzipiell auch Malus-Regelungen denkbar, die im Folgenden etwas näher untersucht werden sollen.

Finanzielle Bonus- und Malus-Regelungen nehmen eine besondere Stellung der diskutierten Anreizinstrumente ein, da hier eine direkte Kopplung mit den betrachteten Kosten von Schnittstellen-Fehlern und dem Nutzen der Fehlervermeidung möglich ist. Sie gehören damit zu den internalisierenden Anreizinstrumenten. Kosten und Erlöse werden auf den Verursacher zurückgeführt, wodurch eine Internalisierung negativer monetärer Externalitäten stattfindet. Der Malus ist daher ein mächtiges, jedoch oftmals gescheutes Anreizinstrument, da er sehr emotional als Strafe und als Manifestation einer Beziehung von Autoritätspersonen zu Untergebenen wahrgenommen wird. Diese Situation ist in der Regel unangenehm für den Untergebenen. Hinzu kommt der Effekt des „Framing“ [321]. Nach der Neuen Erwartungstheorie („Prospect Theory“) nach KAHNEMAN & TVERSKY [322-324] wiegt eine Strafzahlung in bestimmter Höhe psychologisch wesentlich schwerer als die Gewährung einer Bonuszahlung in identischer Höhe. Bleibt dieser Effekt unberücksichtigt, so wird der Malus zu hoch angesetzt. Die resultierenden negativen Effekte werden meist auf die Malus-Regelung an sich projiziert. Beide Risiken können minimiert werden, wenn der Malus nicht als Fehler, sondern als ein das Vorgehen legitimierender Obulus präsentiert und gegenüber den tatsächlich entstehenden Fehlerkosten auf eine symbolische Höhe reduziert wird. Schuldzuweisungen sind auszuschließen. Wie GNEEZY & RUSTICHINI beschreiben, können zu niedrige Abgeltungszahlungen zu Fehlanreizen durch Verlust des schlechten Gewissens bei

Regelübertretung führen. Der moralische Anreiz zur Vermeidung falschen Handelns wird als abgegolten erachtet [325]. Für das Unternehmen kann dies zur Erhöhung der Fehlerkosten führen. In diesem Fall wäre eine Anpassung des Malus erforderlich. In Führungsebenen bereits erprobte Bonusbanken [326, 327] könnten als Grundlage für kombinierte Bonus-Malus-Regelungen dienen. Bis zu welcher Höhe und in welcher Weise Malus-Regelungen in Angestelltenverhältnissen zulässig sind, wird teilweise als strittig erachtet [328] und kann an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden. Mit Gewissheit sind derartige Regelungen unter Beteiligung und im Einvernehmen mit dem Betriebsrat zu entwickeln.

Auf höherer als der individuellen Ebene können derlei Kompensationsansätze in Form von Vertragsstrafen für Kooperationspartner im Entwicklungsnetzwerk oder bei unternehmensinternen Schnittstellen als Schadensverbuchung auf Basis einer Kostenstellenrechnung verwendet werden. Bei diesen Szenarien entfällt die Problematik möglicher rechtlicher Unsicherheiten. Die Umsetzung ist jedoch nur mithilfe eines konsequenten Managements der Kooperationen im Entwicklungsnetzwerk möglich, welches sehr komplex und wiederum aufwendig sein kann. Die erforderliche Konsequenz zur Durchsetzung von Vertragsstrafen ist ebenfalls nicht zu unterschätzen. Hier entsteht erneut der bereits in Abschnitt 4.4.1 (S. 79) beschriebene Rollenkonflikt, der zu Vermeidungsstrategien bei den Parteien führt, die einen Malus durchsetzen sollen.

5.6.5 Auswahl zu verwendender Anreizinstrumente

Aus der Vielzahl der in der Literatur beschriebenen Anreizinstrumente sind geeignete Maßnahmen auszuwählen. Bei dieser Auswahl sind in erster Linie zwei Randbedingungen zu beachten. Zunächst sind Kombinationen inkompatibler, sich gegenseitig störender oder blockierender Instrumente zu vermeiden. Ein bekannter Konflikt entsteht beispielsweise bei der kombinierten Anwendung von Individual- und Gruppenanreizen. Empirisch ist belegt, dass die Leistung bei kombinierter Verwendung von Individual- und Gruppenanreizen im Vergleich zur Einzelanwendung der Anreize zurückfällt [329], was vermutlich auf einen entstehenden Zielkonflikt zwischen der Maximierung der Auszahlung aus zwei unterschiedlichen Zielvorgaben zurückzuführen ist.

Ferner ist ein pareto-optimales Ergebnis bezogen auf die Kosten des Unternehmens für eine Einzelmaßnahme und den Nutzen der von der Auszahlung betroffenen Person oder Gruppe zu schaffen. Andernfalls entstehen unnötige Effizienzverluste. Das anzustrebende Pareto-Optimum ist dabei nicht ausschließlich finanziell zu betrachten. Es wird beeinflusst von der individuellen Präferenzstruktur des Unternehmens und der Mitarbeiter im Entwicklungsnetzwerk. Dazu gehören Ausprägung wie Gegenwarts- oder Zukunftspräferenz, hauptsächlich intrinsische oder eher extrinsische Motivation sowie individuelle

Risikopräferenzen. SCHANZ beschreibt treffend, dass die Wirkung eines Anreizes maßgeblich von der subjektiven Empfindung der Person abhängt, an die sich der Anreiz richtet [153]. „Cafeteria-Systeme“ [330] ermöglichen die Integration dieser Präferenzstrukturen in das Anreizsystem. Anreizinstrumente können dabei von den betroffenen Personen nutzenmaximierend kombiniert werden. Für das Unternehmen sind alle Entscheidungen annähernd kostenäquivalent [331]. Die Vorteile liegen also in der Flexibilität und Kostenneutralität für das Unternehmen sowie Flexibilität und Bedarfsgerechtigkeit für den Mitarbeiter [158].

Auszeichnungen oder Ehrungen (Awards) stellen eine Sonderrolle unter den Anreizinstrumenten dar, da sie nicht in den Arbeitsalltag integrierbar sind, sondern per definitionem eine herausragende Stellung haben. Sie sind eine Sonderform der Turnierentlohnung, da sie ebenfalls auf einer relativen Erfolgsmessung aufbauen. Allerdings wird nicht der Wettbewerbsgedanke in den Vordergrund gestellt. Honoriert werden vielmehr außergewöhnliche Leistungen, die sich einem direkten Wettbewerbsverhalten entziehen. Auszeichnungen sind damit als Maßnahme zur Erzielung konkreter Verbesserungen der Fehlerfreiheit einzelner Prozesse nur mittelbar geeignet. Dennoch sollten Verdienste rund um die Fehlervermeidung an Schnittstellen der verteilten Produktentwicklung im Rahmen bestehender Award-Programme entsprechend Berücksichtigung finden.

5.6.6 Implementierung des Anreizsystems

Ein nicht zu vernachlässigender Aspekt ist die Frage des Vorgehens bei der Implementierung und Veränderung von Anreizsystemen. Nicht nur ein organisatorisches System wird verändert, sondern mit ihm die Situation der darin tätigen Personen. Auf diese Weise entsteht zusätzlich eine psychologische Komponente als erfolgsbestimmende Einflussgröße, die gerade im technischen Umfeld häufig vernachlässigt wird.

Der Mensch ist kein im letzten Detail kalkulierbarer Produktionsfaktor. Sein subjektives Empfinden des von außen herbeigeführten Wechsels kann sich von der objektiven Veränderung stark unterscheiden und spielt eine große Rolle. Grundsätzlich ist bei Reorganisationsmaßnahmen mit Konflikten und Anpassungswiderständen aus der Belegschaft zu rechnen. Die Einführungen neuer Maßnahmen eines Anreizsystems und die Anpassung anreizstiftender Umgebungsbedingungen sind als solche zu betrachten. Entsprechende Erkenntnisse sind bekannt und empirisch belegt [332-335]. Diese Widerstände gehen zurück auf eine Angst induzierende Ungewissheit, die wiederum vielerlei Ursachen haben kann. Darunter fallen die Mehrdeutigkeit neuer Situationen, generell vorherrschender Informationsmangel und innere Bewertungskonflikte in Form „kognitiver Dissonanz“ [233, 336] durch die Gewahrwerdung sowohl positiver als auch negativer Aspekte der

Veränderungsmaßnahme. Weiterhin sind diffuse Verlustängste sowie Befürchtungen bezüglich der zukünftigen Befriedigung eigener Bedürfnisse, der zu erwartenden unangenehmeren Arbeitsbedingungen, verringerter sozialer Kontaktmöglichkeiten bis hin zum möglichen Arbeitsplatzverlust [337] zu nennen. Allgemein gesprochen handelt es sich um die Furcht vor Verlust des im Unternehmen erkämpften Status. In der Regel sind diese Verlustängste zumindest teilweise begründet, da durch Veränderungsprozesse explizit Effizienzsteigerungen angestrebt werden und implizit etablierte Annehmlichkeiten aufgedeckt und einer Neubewertung zugeführt werden. Ziel ist es jedoch, ein Positiv-Summen-Spiel zu etablieren. Es ist empirisch belegt, dass Positiv-Summen-Spiele nicht unmittelbar als solche erkannt werden können [338]. Sie müssen eingehend vermittelt und erfahren werden. Erforderlich ist daher die klare Herausstellung der Tatsache, dass pauschale Verschlechterungen der Situation der Mitarbeiter, speziell auch der finanziellen Situation, nicht angestrebt sind und nicht eintreten werden. Im entwickelten Rahmenwerk sind keine Maßnahmen enthalten, die zur pauschalen Verschlechterung der Arbeitsbedingungen führen würden.

Wird auf Maßnahmen der Kostenteilung zwischen Unternehmen und Mitarbeitern oder auf Malus-Regelungen zurückgegriffen, so können einzelne Personen nach der Veränderung schlechter gestellt sein. MANSOUR-COLE & SCOTT [166] wie auch BROCKNER & SIEGEL [339] belegen klar, dass dennoch die Möglichkeit besteht, Veränderungswiderstände zu reduzieren. Der Schlüssel liegt hierbei in der erlebten Fairness oder Verfahrensgerechtigkeit („procedural justice“) des Auswahl- und Implementierungsprozesses im Gegenzug zur möglicherweise reduzierten Verteilungsgleichheit („distributive justice“) der Auszahlungen. Im Ergebnis bedeutet dies, dass im Fall eines Verteilungskonfliktes ein als fair empfundenes Verfahren dennoch akzeptiert werden kann, auch wenn es zu schlechteren Auszahlungen führt, als dies in der Vergangenheit der Fall war oder als dies für Mitstreiter gilt. Die Ungünstigkeit eines Ergebnisses wird auf diese Weise durch die Fairness des Verfahrens beinahe kompensiert („Interaktionseffekt“ [339]). Als unfair empfundenes Vorgehen führt in starkem Maße zu Widerständen. Zur Herstellung des Empfindens von Verfahrensgerechtigkeit sind die beiden Legitimitäts-Kriterien der Transparenz und der Integration zu beachten. Integration beschreibt hier die Beteiligung der Betroffenen am Verfahren, nämlich der Verfahrensauswahl und -entwicklung. Die Transparenz stellt sicher, dass das Verfahren in vereinbarter Weise durchgeführt wird. So sind die Mechanismen erkennbar und Täuschungen werden als größtenteils ausgeschlossen erachtet. Es entsteht eine „Legitimität qua Verfahren“ [340], da die Transparenz der Entscheidungen besser akzeptierbar ist und die Beugung unter ein selbst mitbestimmtes Verfahren leichter fällt als die emotional belastete Beugung bei angenommener Willkür einer Autoritätsperson.

Für die Anwendung des Rahmenwerks zur Fehlervermeidung an Schnittstellen-Prozessen bedeutet dies, dass die betroffenen Mitarbeiter von Anbeginn über die Ansätze zur Analyse und Verbesserung der Anreizsysteme in Kenntnis gesetzt werden müssen und dauerhaft über den aktuellen Stand zu informieren sind (Transparenzbedingung). Abgesehen von dadurch entstehenden Zeitaufwänden sind keine negativen Folgen durch diese Offenlegung zu erwarten. Bei der Einbeziehung in die Entscheidung des Verfahrens (Integrationsbedingung) sind die Anreizmechanismen zu unterscheiden in Anreize mit und ohne persönliche Auszahlungen. Individuelle und Gruppenanreize beinhalten Auszahlungen, die den Mitarbeitern im Entwicklungsnetzwerk dem eigenen Verhalten entsprechend persönlich zufließen oder nicht. In diesem Fall ist es notwendig, dass die Mitarbeiter der Anwendung der Verfahren individuell oder als Gruppe zustimmen.

5.7 Diskussion des entwickelten Rahmenwerks

Die in den vorhergehenden Kapiteln entwickelten Maßnahmen sind in Abbildung 47 schlagwortartig zusammengefasst und werden in ihrem groben zeitlichen Ablauf dargestellt. Dieser zeitliche Ablauf bezieht sich auf die Ausgestaltung des Rahmenwerks im Unternehmenskontext und wird eingefasst von einem grundlegenden, systemtechnischen Ansatz.

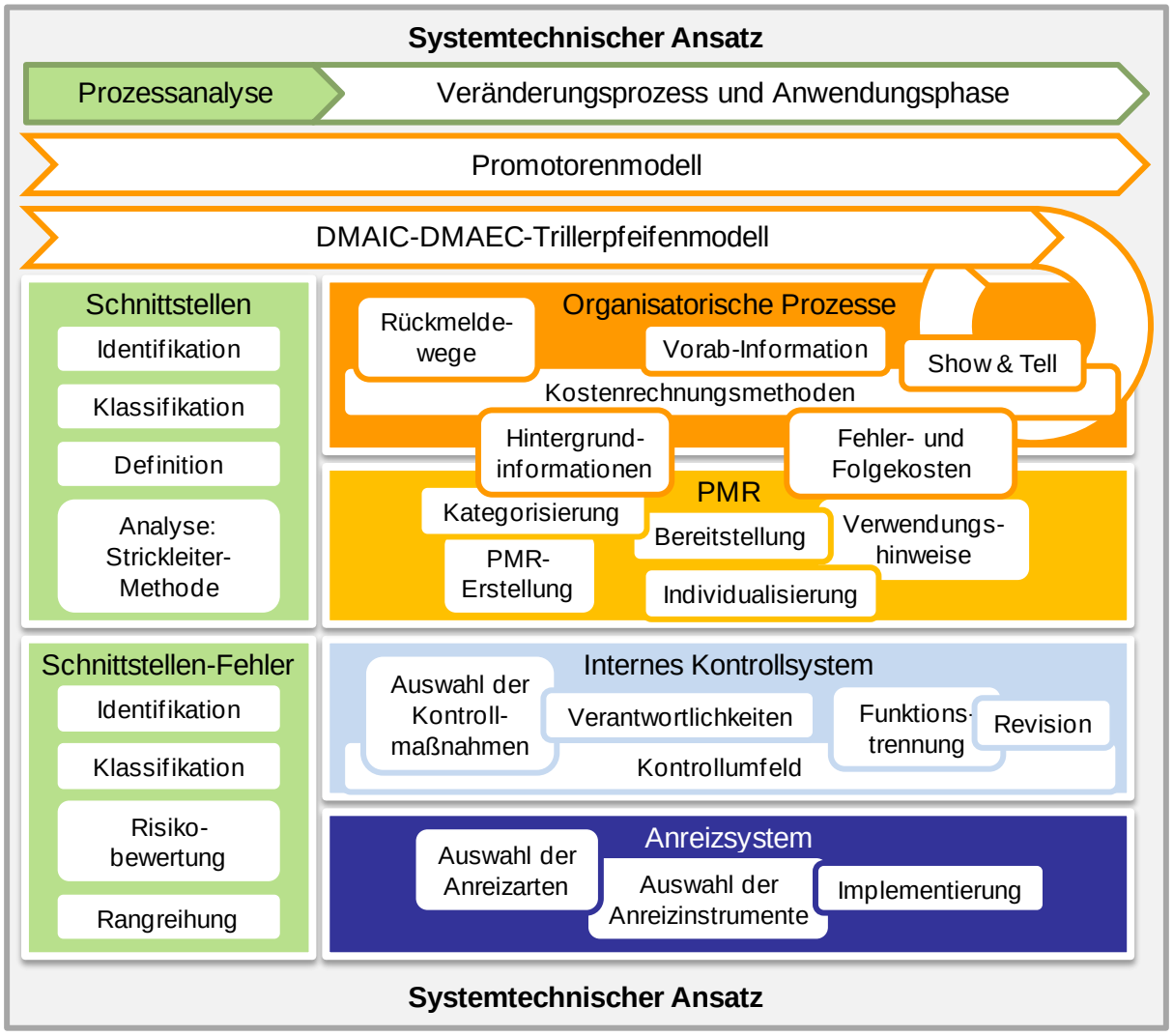


Abbildung 47: Elemente des Rahmenwerks im groben zeitlichen Ablauf

Die Prozessanalyse besteht aus mehreren Elementen zur Identifikation und Klassifikation von Schnittstellen und Schnittstellen-Fehlern. Auf eine scharfe Abgrenzung des Veränderungsprozesses von der Anwendungsphase wurde zugunsten der Übersichtlichkeit verzichtet. Beinahe alle Elemente der Anwendung im laufenden Betrieb des Unternehmens erfordern Vorarbeiten während des Veränderungsprozesses, sodass bei getrennter Betrachtung nahezu eine Verdoppelung der Elemente erfolgt wäre. Über den gesamten Zeitablauf hinweg erstrecken sich das an den Six-Sigma-Kernprozess angelehnte DMAIC-DMAEC-Trillerpfeifenmodell sowie das unterstützende Promotorenmodell. Im Anschluss an die Analysephase sind vier parallel verlaufende Hauptgruppen von Maßnahmen zu erkennen. Während explizite Überschneidungen nur zwischen Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) und organisatorischen Prozessen herausgestellt wurden, sind implizite Wechselwirkungen in vielen Fällen vorhanden. Beispielsweise gibt es keinen Punkt, der losgelöst vom Anreizsystem betrachtet werden kann. Die Vielzahl der Einzelmaßnahmen und der zu erwartende

Wechselwirkungen werfen Fragen zur Umsetzbarkeit in der Praxis auf. Negative Wechselwirkungen könnten der erfolgreichen Umsetzung im Weg stehen, eine Umsetzung in besonders großen oder kleinen Organisationen ist unter Umständen nicht mit vertretbarem Aufwand zu leisten und die selektive Auswahl weniger Methoden könnte möglicherweise die Zielerreichung auf ein Minimum reduzieren.

Sowohl die Analyse- als auch die Veränderungs- und Anwendungsphase können für die Umsetzung des Rahmenwerks als kritisch betrachtet werden. In der Analysephase können mangelnde Transparenz und Akzeptanz des Vorhabens zu passivem und aktivem Widerstand führen. Informationszurückhaltung, verdeckte oder offene Gegenbewegungen bis hin zur Sabotage sind mögliche Reaktionen, die das Projekt bereits zu Beginn scheitern lassen können. Im Laufe der Umsetzung der Methoden als Vorbereitung zur Anwendungsphase sind kompetente Fachkräfte und erfahrene Mitarbeiter erforderlich, die mögliche Seiteneffekte vorgesehener Maßnahmen sicher abschätzen könne. Ein Mangel an entsprechenden Ressourcen könnte dazu führen, dass vielversprechende Ansätze nicht zu Ende gedacht werden, der Zeitdruck aus dem Tagesgeschäft die konsistente Durchführung der Arbeiten beeinträchtigt und die Stringenz der Umsetzung zugunsten schneller Lösungen vernachlässigt wird. Erfolg in der Anwendungsphase setzt die Akzeptanz und die Mithilfe aller betroffenen Personen voraus. Informationen zu den neuen Prozessen müssen umfangreich kommuniziert werden. Bei Anlaufschwierigkeiten sind Nachbesserungen umgehend und entschieden durchzusetzen. Fehlen einige dieser Voraussetzungen, so besteht die Gefahr, dass Erfolg versprechende Anstrengungen nach einem ambitionierten Antritt versanden. Dadurch können noch weitaus mehr Fehler und andere Effizienzverluste auftreten, als dies im Ausgangszustand möglich gewesen wäre.

Der gewählte soziotechnische Ansatz hilft dabei, die genannten Risiken zu reduzieren, da möglichst viele Einflüsse auf den Umsetzungserfolg berücksichtigt und im Rahmen der Entwicklung der Maßnahmen bereits entsprechend behandelt wurden. Negative Wechselwirkungen zwischen Einzelelementen des Rahmenwerks sind daher nicht zu erwarten. Die Vereinbarkeit der vorgeschlagenen Vorgehensweisen mit Aspekten individueller Unternehmensstrategien wurde nicht untersucht und ist im Einzelfall zu prüfen.

Für große Unternehmen ist der Umsetzungsaufwand tatsächlich eine nicht zu vernachlässigende Größe. In Anbetracht der Tatsache, dass in der verteilten Produktentwicklung nur gut 25 Prozent der Arbeitszeit tatsächlich für Entwicklungstätigkeiten im engeren Sinne verwendet werden und somit ein hohes Potenzial für Leistungssteigerungen und -verbesserungen existiert, sind auch hohe Aufwände durchaus gerechtfertigt. Kleine Unternehmen können wiederum davon profitieren, dass die Umsetzung auf unbürokratische Weise durchgeführt werden kann und auch eine selektive Auswahl der Maßnahmen nicht

zwingend zu negativen Seiteneffekten führen muss. Abgesehen von aufeinander aufbauenden Maßnahmen wie beispielsweise der Schnittstellen-Klassifikation mit vorhergehender – Identifikation sind alle Maßnahmen auch selektiv anwendbar. Wechselwirkungen bestehen hauptsächlich dahin gehend, dass bei der parallelen Ausgestaltung Synergieeffekte entstehen, die im Falle nachträglicher Umsetzung weiterer Maßnahmen nicht mehr zum Tragen kommen. Die notwendige Akzeptanz des Vorhabens durch die betroffenen Mitarbeiter wurde bereits als kritischer Faktor genannt. Das Change Management ist die Disziplin der Betriebswirtschaftslehre, die sich mit eben diesen Risiken der Übertragung theoretisch funktionaler Konzepte in das praktische Unternehmensumfeld befasst. Mit dem entwickelten Promotorenmodell wurde bereits ein Grundstein für die erfolgreiche Umsetzung gelegt. Der Einsatz eines effektiven Projektmanagements und Change Managements ist dennoch unersetzlich, um alle Einzelrisiken im Blick zu behalten und mit einer erfolgreichen Umsetzung des Rahmenwerks die Fehlerfreiheit an Schnittstellen-Prozessen der verteilten Produktentwicklung entscheidend zu verbessern.

Neben den diskutierten Umsetzungsrisiken gibt es aufgrund der zugrunde gelegten Vorannahmen noch eine Reihe genereller Einschränkungen. Als Grundlage für die Erarbeitung des Rahmenwerks dienten die referenzierten Quellen in der Literatur, die Erkenntnisse aus der empirischen Studie (vgl. Abschnitt 3, S. 35) und die bereits explizit im Text genannten Prämissen. Die weiteren Prämissen der Entwicklung des Rahmenwerks lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die verteilte Entwicklung komplexer Produkte in Unternehmensnetzwerken hat bei Betrachtung aller Markt- und Umweltgegebenheiten eine Daseinsberechtigung.
- Die Probleme der heutigen verteilten Produktentwicklung lassen sich grundsätzlich aus dem Blickwinkel der Prozess-Schnittstelle betrachten und können mithilfe dieser Sichtweise effektiv reduziert werden.
- Entwickler handeln eigenverantwortlich und streben im Rahmen getroffener Vereinbarungen nach persönlicher Nutzenmaximierung.
- Anreize können durch gezielte organisatorische Veränderungen dahin gehend verändert werden, dass erwünschte Handlungen begünstigt und unerwünschte Handlungen gehemmt werden.
- Die Schädigung beteiligter Parteien ist nicht Ziel der Handelnden.
- Der effektivste und effizienteste Wissenstransfer findet im direkten Dialog zwischen Sender und Empfänger statt.
- Prozess- und Methodenvorgaben sind grundsätzlich geeignet, um die Erfüllung prozessinterner Anforderungen zu unterstützen.
- Gezielt kommunizierte Hintergrundinformationen verbessern die Fehlerfreiheit an Schnittstellenprozessen.

- Kapitalkosten spielen in der Produktentwicklung im Vergleich zu Zeitaufwand und Qualität nur eine untergeordnete Rolle.
- Kontrollen sind notwendig, um fehlerfreie Prozessergebnisse dauerhaft zu gewährleisten
- Langfristig konsistente Vorgaben sind weniger fehleranfällig als sich häufig verändernde oder wechselnde Vorgaben.
- Klare Verantwortlichkeiten begünstigen die Umsetzung von Vorgaben.

Sind einzelne oder mehrere dieser Prämissen ungültig, so kann die Anwendbarkeit der Methoden nicht gewährleistet werden. Beispielsweise wurden die entwickelten Methoden nicht darauf ausgerichtet, gezielten Schädigungsversuchen standzuhalten. Ebenso würden Methoden zum Kontroll- und Überwachungssystem ihre Sinnhaftigkeit verlieren, wenn ein organisatorisches System betrachtet würde, das Fehlerfreiheit ohne Kontrollen gewährleisten kann.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass keine Einschränkungen erkannt wurden, die eine Ausgestaltung des Rahmenwerks und die Umsetzung für den industriellen Einzelfall vollständig oder in großen Teilen verhindern würden. Als wichtigste unsichere Einflussgröße verbleiben die Unternehmensstrategie und Unternehmenskultur. Diese entscheiden ob die entwickelten Maßnahmen ideologiefrei umgesetzt werden können. Der nicht zu vernachlässigende Umsetzungsaufwand verspricht entscheidende Verbesserungen bei Schnittstellen-Prozessen und ist daher als gerechtfertigt einzuschätzen.

6 Evaluation der erarbeiteten Ergebnisse

Die erarbeiteten Ergebnisse wurden exemplarisch evaluiert. Dabei wurde eine summative Evaluation im Rahmen eines studentischen Experiments durchgeführt sowie ein Funktionsbeweis in Form einer softwaretechnischen Umsetzung erbracht. Entwicklungsbegleitend wurden formative Evaluationen durchgeführt.

6.1 Experimente mit studentischen Probanden

Die Wirksamkeit der Vermittlung von Hintergrundinformationen für die Verbesserung der Umsetzung von Prozess- und Methodenvorgaben (vgl. Abschnitt 5.3.1, S. 130) wurde mithilfe eines Studentenexperiments untersucht. Hierbei handelte es sich um eine summative Evaluation. Überprüft wurden die Auswirkungen der verwendeten Methode. Darüber hinaus konnte in diesem Experiment der aktuelle Kenntnisstand einer studentischen Stichprobe zu den in dieser Arbeit behandelten Problemstellungen der verteilten Produktentwicklung untersucht werden. Die geringe Stichprobengröße lässt hier keine Verallgemeinerung auf Basis statistischer Repräsentativität zu, liefert jedoch wertvolle Hinweise auf die aktuellen Ausbildungsschwerpunkte.

Schwerpunkt der Untersuchung ist die These, dass die Vermittlung von Hintergrundinformationen zu Prozess- und Methodenvorgaben die Erfüllung der Anforderungen positiv unterstützt. Zu diesem Zweck wurde die Projektübung einer Lehrveranstaltung auf die Umgebungsbedingungen der industriellen verteilten Produktentwicklung angepasst.

6.1.1 Versuchsaufbau und Szenario des Experiments

Die Untersuchungen fanden während des Wintersemesters von Oktober 2008 bis Februar 2009 am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der Technischen Universität Berlin statt. Teilnehmer waren Studenten neun unterschiedlicher Studiengänge und -schwerpunkte mit technischer Ausrichtung. Sie haben sich zur Teilnahme an der Projektübung der Lehrveranstaltungen *Anwendungen der Industriellen Informationstechnik (II2)* und *Entwicklung und Management digitaler Produktentstehungsprozesse (EMP)* des Fachgebiets *Industrielle Informationstechnik* entschlossen. Zur Zeit der Entscheidung für die Teilnahme an der Veranstaltung war den Studenten nicht bekannt, dass eine Untersuchung stattfinden wird. Keine Personen sind aufgrund der Untersuchung hinzugekommen oder ausgeschieden. Die Art der Ziehung klassifiziert die Auswahl der Probanden als Gelegenheitsstichprobe.

Die aus 29 Studenten bestehende Probandengruppe wurde in sieben fachlich ähnlich gut qualifizierte Kleingruppen zu je vier bis fünf Personen eingeteilt. Zu bearbeiten war ein

Produktentwicklungsprojekt der fiktiven Unternehmung *Berlin Brain Technologies* von der Idee bis zum virtuellen Prototyp. Für Zukunftsszenarien in drei unterschiedlichen Ausprägungen galt es, innovative Konzepte zur innerstädtischen Mobilität zu entwerfen, ein Konzept auszuwählen und dieses umzusetzen. Die Umsetzung erforderte dabei neben den betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten wie Marktanalyse, Kostenabschätzung und Produktpräsentation hauptsächlich Aufgaben der virtuellen Produktentwicklung von der Konzeption über die Anforderungsanalyse hin zur Modellierung als Schwerpunkt der Aufgabe.

Ergänzend zu wöchentlichen teils fakultativen Übungsterminen fanden fünf obligatorische Veranstaltungen statt:

- Projekt Kickoff
- Design Review 1
- Design Review 2
- Vorbereitung der Abschlusspräsentation
- Abschlusspräsentation

Diese Pflichttermine konnten unter anderem genutzt werden, um Informationen gezielt an alle Untersuchungsteilnehmer zu kommunizieren und den Schwierigkeitsgrad der Projektaufgabe entsprechend der jeweils aktuellen Belastung zu steuern. Abgaben von Teilergebnissen wurden über ein Online-System der Technischen Universität (TU) Berlin koordiniert. Die abgegebenen Arbeitsergebnisse wurden auf Konformität hinsichtlich der geforderten Vorgaben untersucht. Wöchentliche Fragebögen zur Dokumentation des Projektstandes wurden ebenfalls im Online-System verwaltet. In diesem Rahmen konnten auch wertvolle Informationen über die aktuellen Arbeitstätigkeiten der Untersuchungsgruppen gewonnen werden. Nach Beendigung des Projektes wurde ein Abschluss-Fragebogen ausgegeben, um die von den Probanden erlebte Situation zu erfragen. Dies diente unter anderem der Feststellung, ob das Experiment die vorgesehene Situation in ausreichendem Maße simulieren konnte.

Die Probanden sollten in die Lage von Produktentwicklern in der virtuellen Produktentwicklung versetzt werden. Relevant waren dafür die Kollaboration mit mehreren Projektteilnehmern unterschiedlicher Disziplinen und Organisationseinheiten, ein festgelegtes Projektmanagement mit engem Zeitplan, Abgabeterminen und definierten Deliverables, konstruktive Anforderungen an das zu erarbeitende Ergebnis sowie dem Untersuchungsgegenstand entsprechende Prozess- und Methodenvorgaben. Die Verteiltheit wurde hauptsächlich durch Heimarbeit der Einzelteilnehmer abgebildet. Der Daten- und Informationsaustausch erfolgte ebenfalls über das Online-System der TU Berlin. Software-Systeme zur Integration verteilter Produktentwicklung wurden nicht eingesetzt, womit die Kooperation der Beteiligten als lose

Kopplung zu bezeichnen ist [290]. Für den einzelnen Entwickler findet diese Projektsituation auch im Rahmen der beispielsweise im Automobilsektor üblichen Programmorganisation statt, somit beschränken sich die Analogien nicht ausschließlich auf die projektbasierte Produktentwicklung.

Die Situation *Unternehmen* wurde im Experiment nicht explizit erzeugt, sondern durch die gewählten Randbedingungen implizit simuliert. Das Hochschulfachgebiet fungiert dabei als Unternehmen und Arbeitgeber. Die Probanden sind mittelbar abhängig vom Fachgebiet, da es über die Rolle des wissenschaftlichen Mitarbeiters und des unterstützenden Tutors, die als Vorgesetzte in Form des Projektleiters und stellvertretenden Projektleiters auftreten, die Leistungsbewertung der Ergebnisse vornimmt. Diese direkten Vorgesetzten waren wiederum derart in die Organisationsstruktur eingebunden, dass an sie selbst ebenfalls Anforderungen gestellt wurden, nämlich die Prozess- und Methodenvorgaben, die sie lediglich an die Probanden weiterreichten und teilweise inhaltlich nicht erläutern konnten. Der Kontakt zum Anforderungssteller hätte bei Bedarf aufgenommen werden können. Eine Abhängigkeit des Fachgebiets von den Probanden, wie es der in der Realität existierenden Abhängigkeit des Unternehmens von den Beschäftigten entspricht, wurde durch die Wahl der Prozess- und Methodenvorgaben sowie die dazu kommunizierten Hintergrundinformationen erzeugt. Die Abhängigkeit beinhaltete den Plan zur fachgebietsinternen Weiternutzung der Arbeitsergebnisse, was die Erfüllung bestimmter Vorgaben voraussetzte. Ergänzend nahmen Kursteilnehmer der Veranstaltung EMP die Rolle des Entwicklungscontrollings ein. Entgegen der in der Praxis vorherrschenden unternehmensübergreifenden Entwicklungsnetzwerke konnte lediglich eine innerbetriebliche, Organisationseinheiten übergreifende Kollaboration simuliert werden. Diese Einschränkung wurde angesichts der begrenzten Anzahl der zur Verfügung stehenden Probanden und unterstützenden Personen in Kauf genommen. Es ist nicht anzunehmen, dass das Untersuchungsszenario maßgeblich unter dieser Einschränkung gelitten hat.

Die Übertragbarkeit der Untersuchungsergebnisse auf die industrielle Praxis ist insofern gegeben, als die an Hochschulen ausgebildeten Studenten zunächst als Berufseinsteiger in der Industrie beginnen. Nach erfolgter Integration im Unternehmen und der individuellen Anpassung der Verhaltensweisen an die im Betrieb geltenden Prozesse sowie die Einführung in die vorherrschenden Prozesse durch Kollegen und Vorgesetzte werden sich die Berufseinsteiger zu erfahrenen Entwicklern gewandelt haben. Eine Übertragbarkeit auf erfahrenere Produktentwickler ist möglicherweise nur mit Einschränkungen möglich.

6.1.2 Ergebnisse der Untersuchung

Um die Aussagekraft dieser Evaluation sicherzustellen, war es nötig, zunächst den Zielerreichungsgrad hinsichtlich der Schaffung der vorgesehenen Rahmenbedingungen zu überprüfen. Die Problematik der Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) in der industriellen Produktentwicklung konnte größtenteils durch die Versuchsbedingungen wiedergegeben werden. Beispielsweise ist es ist gut gelungen, den geplanten Zeitdruck in das Szenario des Experiments zu transportieren. Bestätigt wird dies durch mehrere Indikatoren. Beim Verstoß gegen PMR wurde Zeitmangel als das größte Hindernis für die adäquate Umsetzung der Vorgaben genannt, dicht gefolgt von der inhaltlichen Schwierigkeit sowie dem Zeitaufwand für das Nachschlagen der relevanten Vorgaben. Auch die Unklarheit darüber, ob es bestehende Regelungen gibt, sowie Schwierigkeiten beim Auffinden der Regelungen wurden als hinderlich eingestuft. Als wenig hinderlich wurden fehlende Ansprechpartner, die Verständlichkeit der Vorgaben sowie Widersprüchlichkeiten innerhalb einer oder zwischen mehreren Anforderungen eingestuft. Ebenso ist es gelungen, die Unsicherheit über die aktuelle Anforderungssituation zu simulieren. Wie in Abbildung 48 dargestellt, fühlten sich die Probanden über die gesamte Projektlaufzeit in dieser Hinsicht annähernd konstant gefordert. Im Bereich der PMR sowie bei den im Rahmen dieser Studie nicht untersuchten Marketing- und Kostenmodell-Anforderungen ist eine geringe Steigerung der gefühlten Belastung zu verzeichnen. Lediglich die konstruktiven Produktanforderungen scheinen gegen Ende der Projektlaufzeit von geringerer subjektiver Schwierigkeit gewesen zu sein.

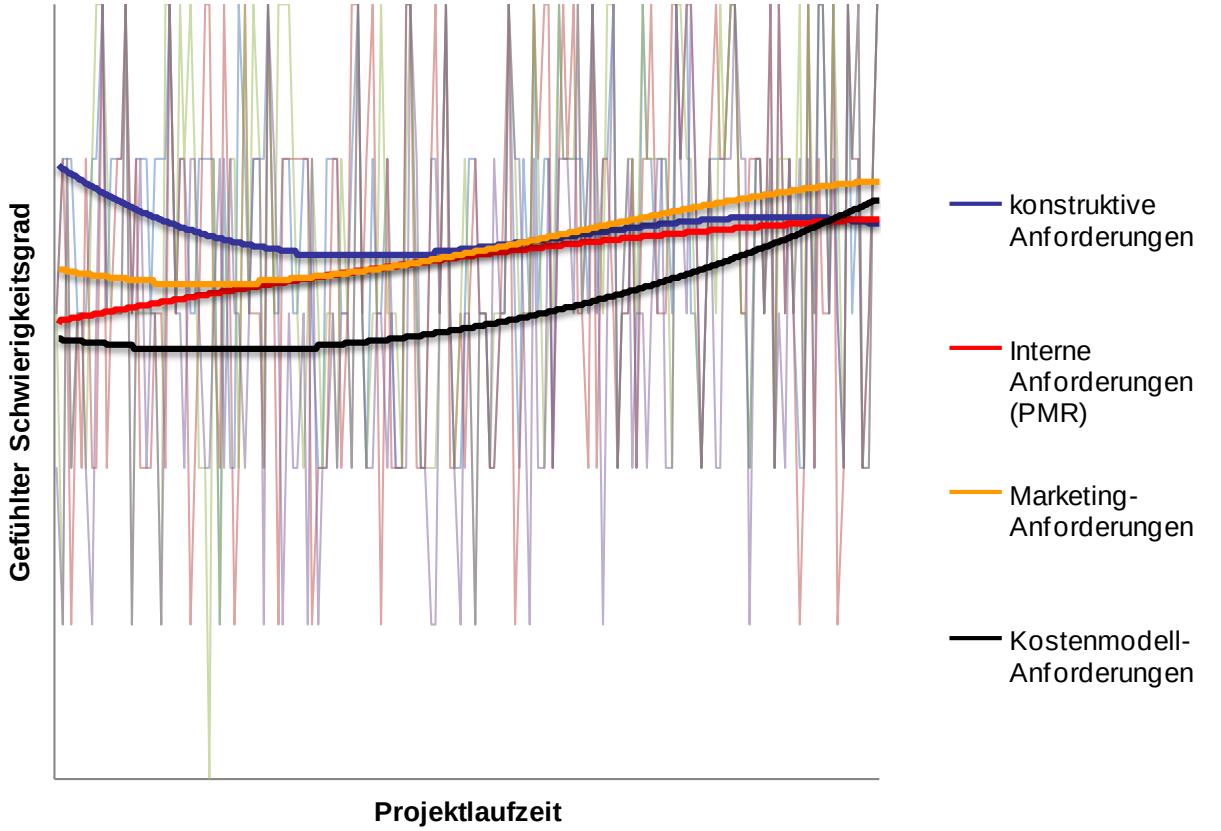


Abbildung 48: Gefühlter Schwierigkeitsgrad der Anforderungen

Dass das Fehlen von Ansprechpartnern nicht als Problem angesehen wurde, rührt vermutlich daher, dass eine Kontaktaufnahme offenbar nicht in Erwägung gezogen wurde (vgl. Abschnitt 6.1.2, These 1, S. 40). Obgleich neben den konstruktiven, Marketing- und Kostenmodell-Anforderungen nur eine sehr geringe Anzahl von sieben Prozess- und Methodenvorgaben verwendet wurde, konnte die auch im industriellen Kontext vorherrschende Unsicherheit im Bezug auf Umfang und Vorhandensein dieser internen Anforderungen erzeugt werden. Ein hohes Maß an Widersprüchlichkeiten konnte den Probanden nicht erfolgreich vermittelt werden. Dies scheint jedoch das Experiment nicht negativ beeinflusst zu haben.

Die interdisziplinäre Kollaboration zwischen unterschiedlichen Abteilungen des Unternehmens konnte ebenfalls gut simuliert werden. Wie der abschließende Fragebogen ergab, übernahmen in jeder Gruppe ein bis zwei Personen schwerpunktmäßig die betriebswirtschaftlich orientierten Aufgaben und fungierten damit als entsprechende Unternehmensabteilungen.

Im Folgenden wird jeweils die These oder explorative Fragestellung genannt, bevor die zugehörigen Untersuchungsergebnisse und Interpretationen beschrieben werden.

Explorative Fragestellung:
Welche Kollaborationsaspekte werden als besonders problemanfällig angesehen?

Prozess- und Methodenvorgaben sowie das Weiterarbeiten mit Ergebnissen von Vorgänger-Prozessen werden an letzter Stelle genannt und damit als eher unbedeutende Einflussgrößen betrachtet. Als besonders problematisch werden die Aspekte der virtuellen Produktentstehung im Allgemeinen eingeschätzt, dicht gefolgt von Problemen der internationalen und zwischenmenschlichen Zusammenarbeit. Als weniger relevant werden spezielle informationstechnische Probleme der virtuellen Produktentstehung angesehen.

Interpretation:

Das eher geringe Problembewusstsein für die genannten Kollaborationshindernisse spiegelt die daraus resultierenden Probleme in der Praxis wieder. Auch in den Lehrplänen nehmen diese Fragestellungen nur einen geringen Stellenwert ein, obgleich viele Hochschulen im Begriff sind, diese Situation aktiv zu verändern. Ein schwacher statistischer Trend deutet darauf hin, dass das Problembewusstsein im Laufe des Studiums zunimmt. Das lässt darauf schließen, dass die Studenten entweder im Rahmen von Lehrveranstaltungen oder im Rahmen studienbegleitender Praktika auf die Situation in der Praxis eingestimmt werden. Eine gezielte Anpassung der Ausbildungsinhalte hin zur aktiven Vermittlung der tatsächlichen Inhalte beruflicher Alltagsproblematiken in der Produktentwicklung ist dringend erforderlich. Dazu gehört die Abkehr des alleinigen Fokus vom Ingenieur als alleinverantwortlichem Entwickler von Gesamt-Produkten hin zur verstärkten Vermittlung der Fähigkeiten, die in globalen Entwicklungsnetzwerken erforderlich sind.

These 1:
Trotz auftretender Probleme bei der Umsetzung der Prozess- und Methodenvorgaben werden vorhandene Kommunikationswege nicht genutzt, wenn sie nicht explizit kommuniziert wurden

These bestätigt

Trotz einer Vielzahl von Unklarheiten im Bezug auf die gestellten Anforderungen wurde die Quelle der Anforderungen in keinem einzigen Fall kontaktiert. Der Kontakt hätte über eine Nachfrage beim zuständigen Tutor problemlos hergestellt werden können.

Interpretation:

Es ist von entscheidender Notwendigkeit, Kommunikationswege transparent zu machen und die Möglichkeit zur Kontaktaufnahme mit verantwortlichen Personen explizit zu vermitteln. Andernfalls hindern der im Entwicklungsalltag vorherrschende Zeitdruck sowie die Fülle von abzuarbeitenden Aufgaben den Entwickler daran, Probleme und offene Fragen direkt mit verantwortlichen Personen zu klären. Hier besteht die Möglichkeit, Fehlerpotenziale

kostengünstig und unbürokratisch zu reduzieren. Einige Industrievertreter wendeten in Interviews hingegen ein, dass die direkte Kommunikation zwischen einzelnen Personen im Entwicklungsnetzwerk hinderlich wäre, da möglicherweise Absprachen getroffen würden, die den ursprünglichen Anforderungen nicht gerecht werden könnten. Ziel ist nicht, Anforderungen als verhandelbar zu kommunizieren, sondern Möglichkeiten zu schaffen, um Fragen der Umsetzung zu klären. Eine Umgehung der übergeordneten Verantwortlichkeiten um illegitime Absprachen zu treffen (Kollusion) ist als prinzipielles Risiko zu betrachten. Ob es sich bei diesen Einwänden um Einzelfälle handelt, oder ob es tatsächlich eine starke Tendenz zu Kollusionen in der Praxis gibt, bleibt zu prüfen.

These 2:
Das inhaltliche Verständnis von Vorgaben erhöht die Konformität der Ergebnisse.

These bestätigt:

Die in unterschiedlichen Gruppen erläuterten Anforderungen wurden in diesen Gruppen jeweils besser erfüllt als in den Kontrollgruppen. Ergebnisverzerrungen durch grundsätzlich höher und geringer anforderungskonform arbeitende Gruppen konnten aufgrund der relativ geringen Anzahl von 7 Gruppen nicht alleine durch die zufällige Zuordnung zu Versuchs- und Kontrollgruppe ausgeschlossen werden. Daher wurde jede Gruppe für einzelne umzusetzende Anforderungen als Versuchs- und für andere Anforderungen als Kontrollgruppe eingesetzt. Im Mittel wurden je Gruppe zwei Drittel der Prozess- und Methodenvorgaben erfüllt. Anforderungen, die um eine inhaltliche Begründung der Notwendigkeit ergänzt worden waren, wurden signifikant ($p<0,05$) häufiger erfüllt, als kommentarlos an die Probanden übermittelte Vorgaben.

Interpretation:

Die Vermittlung von Hintergrundinformationen zu Anforderungen fördert die Konformität der Umsetzung. Diese Wirkung wird über zwei Wege erreicht. Einerseits über die verbesserte Akzeptanz beim Adressaten, andererseits über das inhaltliche Verständnis und den daraus resultierenden Zugewinn an Kontext-Wissen, der eine bessere Einschätzung der Situation und angemessenere Reaktionen auf Anforderungen zur Folge hat. Ein Rückzug auf die von dieser Erkenntnis unberührten Weisungsbefugnisse des Auftrag- oder Arbeitgebers wirkt sich kontraproduktiv auf die erwünschten Ergebnisse aus. Bei der Vermittlung von Erläuterungen zum inhaltlichen Hintergrund gestellter Anforderungen handelt es sich um eine kostengünstige Maßnahme, die auch in großen bis sehr großen Entwicklungsnetzwerken relativ leicht umzusetzen ist. Mit dieser Maßnahme zusammenhängende zusätzliche Zeitaufwände können angesichts der ohnehin hohen Overhead-Anteile in der verteilten Produktentwicklung (vgl. Abschnitt 3.2, These 17, S. 53) vernachlässigt werden. Die Gefahr der Offenlegung von

Betriebsgeheimnissen oder angreifbaren kritischen Schwachstellen scheint nicht gegeben zu sein.

6.2 Funktionsbeweis durch prototypische Software-Implementierung

Ausgewählte, im Rahmen der Problemstellung der Informationsbereitstellung entwickelte Methoden wurden prototypisch in einem Software-Assistenzsystem, dem *PMR-Co-Piloten* umgesetzt.

Der Engpass der menschlichen Verarbeitungsleistung im kognitiven Bereich ist in der Kapazität des Arbeitsgedächtnisses zu sehen [110]. Basierend auf unterschiedlichen theoretischen Fundamenten wie etwa der Ein-Ressourcen-Theorie („single resource theory“) von KAHNEMAN [341] oder der Mehr-Ressourcen-Theorie („multiple resources theory“) von NAVON & GOPHER [342] sowie WICKENS [343] herrscht Einigkeit über die bereits von MORAY [344] formulierte Beschränkung der Verarbeitungskapazität. Es erfolgt eine Abnahme dieser Verarbeitungsleistung bei Überforderung durch zu hohen Durchsatz oder zu hohe Komplexität. Dieser Erkenntnis entsprechend müssen Prozess- und Methodenvorgaben (PMR), Suchfunktionalitäten sowie die anforderungsgerechte Bereitstellung und Darbietung so gestaltet sein, dass sie zur Entlastung des Arbeitsgedächtnisses beitragen können. Das Teilkonzept zur Bereitstellung interner Anforderungen an die Produktentwicklung in Form von PMR wurde im Rahmen einer Studienarbeit in eine mögliche Software-Architektur überführt. Die prototypische Implementierung wurde im Anschluss daran funktional erweitert und verbessert. Dabei wurden ebendiese Anforderungen berücksichtigt. Das Risiko, dass die ebenfalls in den gleichen Theorien beschriebene mangelnde Verarbeitungsleistung durch Unterforderung eintritt, scheint im untersuchten Kontext nicht z u bestehen und bleibt daher unberücksichtigt.

HIGGINS ET AL. sehen die Randpunkte der Computerunterstützung in der manuellen Steuerung („Manual Control“) und der Überwachung des selbstständig handelnden Computers („Supervisory Control“) [219]. Für den PMR-Co-Piloten wurde indes die Rolle des Beraters gewählt, die der des Trainers („Coach“) [345] nach YOUNG sehr ähnlich ist, jedoch keine gezielte Rückmeldung zum Lernerfolg gibt. Der partnerschaftliche Ansatz zwischen Mensch und Computer [346] wurde explizit nicht verfolgt. Damit wird das Automatisierungsproblem („Automation Problem“) [111] im Hinblick auf die klassische Fragestellung nach der Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine dahin gehend gelöst, dass der Mensch immer das letzte Wort hat. Das erweiterte Automatisierungsproblem, das die Art der Kooperation zwischen Mensch und Maschine adressiert [111], wurde hier nicht weiter betrachtet.

Im Ergebnis stellt das entwickelte System eine Abwandlung des dritten Levels von Mensch-Computer-Dialogen [111] zur Verfügung. Der Computer hilft dabei, eine Entscheidungsalternative auszuwählen und schlägt eine Vorgehensweise vor, die der Mensch nicht notwendigerweise durchzuführen braucht. Die Abwandlung besteht darin, dass die vorgeschlagenen Alternativen nicht mithilfe künstlicher Intelligenz erzeugt oder ausgewählt werden, sondern auf mathematischer Basis aus den vergangenen Handlungen anderer Kompetenzträger unter Berücksichtigung ihrer Kompetenzausprägung ermittelt werden. Im betrachteten Kontext werden also die von Entwicklern herangezogenen PMR entsprechend der Expertise der Entwickler gewichtet und als *best practice* vorgeschlagen. Die Übergabe des Vorschlagsrechts an eine künstliche Intelligenz erscheint aufgrund der hohen Vielfalt der Entscheidungssituationen und der schlechten Generalisierbarkeit nicht sinnvoll. Eine computergestützte Entscheidungsfähigkeit, die an die menschliche Erfahrung heranreicht, ist hier nicht anzunehmen.

6.2.1 Architektur des PMR-Co-Piloten

Repräsentation und Funktionalität des PMR-Co-Piloten folgen den Anforderungen an ein „intelligentes Interface“. Dies sind die angemessene Repräsentation und Kommunikation mit dem Anwender [291], die Fähigkeit, mehrere Informations- und Wissensquellen innerhalb einer Oberfläche zu kombinieren [347], Sensitivität bezüglich des Interaktionskontexts [348] und die Verwendbarkeit der Werkzeuge und Methoden bei verschiedenen Intentionen und in unterschiedlichen Entwicklungsstadien des Benutzers [349]. Dem entsprechend wurde das System konzipiert, um die Vielzahl der internen Anforderungen in der verteilten Produktentwicklung dem Anwender kontextsensitiv und vorausgewählt bereitzustellen.

Grundlegend verknüpft die entwickelte Software-Architektur Funktionalitäten eines Web 2.0 Kollaborationssystems, eines Peer-Review-Ratings, eines Kompetenzmanagement-Systems und einer teilautomatisierten Kontext-Erfassung. Die entwickelte Architektur ist schematisch in Abbildung 49 dargestellt und weist die Kardinalitäten der Einzelkomponenten aus.

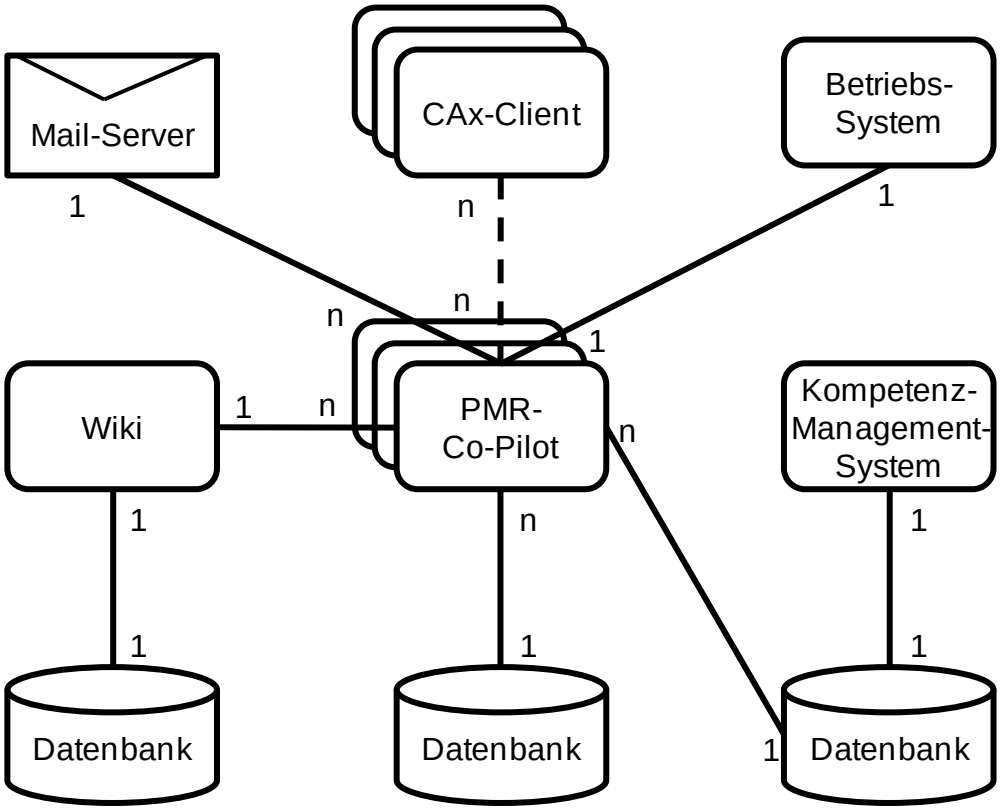


Abbildung 49: Architektur des PMR-Co-Piloten

Im Zentrum der Architektur steht der PMR-Co-Pilot, der als eigenständiges oder an CAx-Systeme gekoppeltes Programm lauffähig ist. Die Kopplung zu CAx-Systemen ermöglicht die automatische Kontext-Erkennung hinsichtlich der verwendeten Systeme, sowie der in den Applikationen verwendeten Funktionen. Als weitere Kontexte werden die Identität des Benutzers über das Betriebssystem-Login und die Expertise des Benutzers über eine Datenbank-Anbindung zu einem Kompetenzmanagement-System erfasst. Das Wiki 🕮 dient als Plattform für die zu verwaltenden Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) sowie zur Erstellung neuer Anforderungen durch die Anwender. Für den direkten Kontakt der Anwender untereinander kann ein vorhandener Mailserver verwendet werden. Abbildung 50 zeigt grundlegend, welche Aktivitäten der Entwicklungsingenieure in welcher Weise durch den PMR-Co-Pilot auf Basis der gewählten Architektur unterstützt werden können.

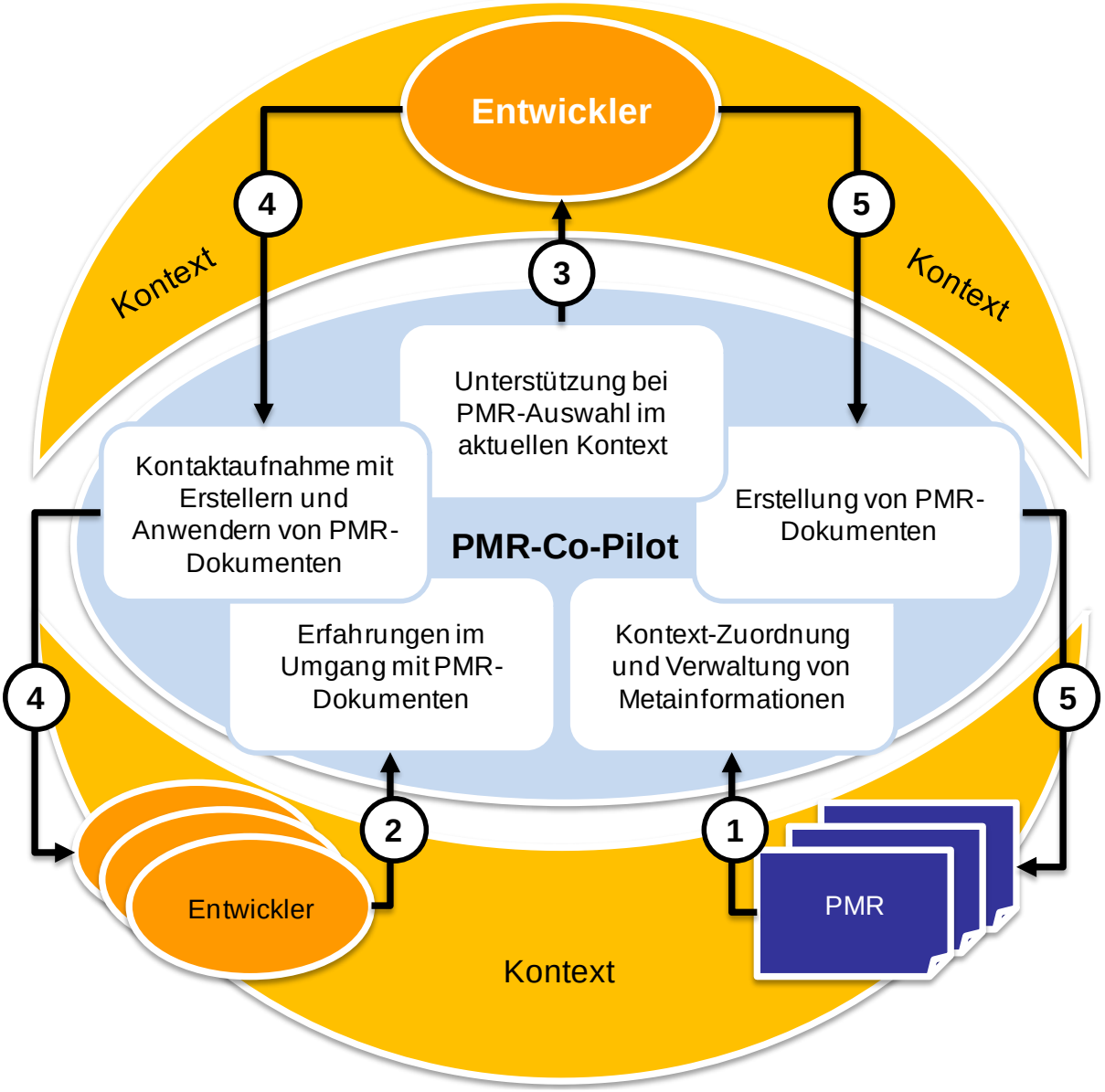


Abbildung 50: Unterstützung des Entwicklungsingenieurs durch den PMR-Co-Piloten

Alle von Entwicklern (Abbildung 50 unten) verwendeten Prozess- und Methodenanforderungen (PMR) werden durch das System mit Metainformationen und Kontextbezug versehen (1). Dadurch fließen die Erfahrungen der Entwickler in den PMR-Co-Piloten ein (2). Diese Erfahrungen dienen wiederum einem beliebigen anderen Entwickler (Abbildung 50 oben) im konkreten Problemfall bei der Auswahl der relevanten PMR (3). Bei Rückfragen kann Kontakt zu Entwicklern aufgenommen werden, die bereits Erfahrungen als Autor oder Anwender der Methoden haben (4). Neue Anforderungen zur Verbesserung der Fehlerfreiheit nimmt das System im gewählten Kontext direkt entgegen (5).

6.2.2 Prototypische Realisierung des PMR-Co-Piloten

Im Rahmen mehrerer Studienarbeiten [350, 351] wurden die Möglichkeiten zur technischen Umsetzung des PMR-Co-Piloten evaluiert und mit unterschiedlichen Schwerpunkten implementiert. Die Programmierung erfolgte jeweils in der Programmiersprache C#. Nach Evaluationen mehrerer Optionen der Informationsverwaltung wurde ein Wiki zu diesem Zweck gewählt. Entscheidend waren dafür die aufwandsarme Umsetzung und die Bereitstellung der wichtigsten Funktionalitäten einer kollaborativen Informationsverwaltung. Im Anschluss erfolgten die Weiterentwicklung eines der Entwicklungsansätze sowie die Erarbeitung und Integration weiterer Funktionalitäten. Die automatische Kontext-Erkennung hinsichtlich der CAx-Anwendung und der darin aufgerufenen Funktionen wurde exemplarisch für das CAD-System SpaceClaim® (SpaceClaim Corporation) in den Versionen 2008.0 SP4 (2008.0.4.11191) 32bit und 2009.0 SP3 (2009.0.3.08212) 32bit, jeweils in der Student Edition, implementiert. Alle Funktionalitäten, die keine direkte Abfrage von Ereignissen aus diesem CAD-System enthalten, sind auch als eigenständige Anwendung lauffähig. Zur Bereitstellung der Wiki-Funktionalität wurde die quelloffene Software Mediawiki 1.14.0 mit PHP 5.2.9 verwendet. Als Datenbanken kamen MySQL 5.1.33 für das Wiki und Oracle 10.2.0 Express (10g; B25610-01) für das Kompetenzmanagement-System sowie für den PMR-Co-Piloten zum Einsatz. Die Webserver-Funktionalität wurde über das quelloffene Softwarepaket XAMPP 1.7.1 mit dem Webserver Apache 2.2.11 sowie weiteren Modulen umgesetzt. Das Gesamtsystem wurde im Betriebssystem Microsoft® Windows XP SP3 implementiert und getestet. Abbildung 51 zeigt die Benutzeroberfläche des PMR-Co-Piloten.



Abbildung 51: Benutzeroberfläche des PMR-Co-Piloten

Die Oberfläche besteht aus der rechtsseitigen Einbettung von Prozess- und Methodenvorgaben mithilfe des Wikis sowie den in Abbildung 52 dargestellten, links und oben angeordneten proprietären Darstellungs- und Bedienelementen. Die proprietären Elemente werden im Folgenden anhand eines Anwendungsszenarios kurz erläutert.

Zur Vereinfachung der Beschreibung sei angenommen, dass der PMR-Co-Pilot bereits in vorherigen Arbeitsschritten zum Einsatz kam und die Anwendung daher bereits läuft. Die folgende Beschreibung nimmt Bezug auf Abbildung 52 sowie die darin gezeigte Nummerierung: Ein Entwickler arbeitet mit dem CAD-System Spaceclaim® und verwendet die Spiegelungsfunktion, um eine gesamte Baugruppe zu spiegeln. Der PMR-Co-Pilot erkennt die gewählte Funktion im laufenden Programm und zeigt eine diesem Kontext entsprechende Benutzeroberfläche (Abbildung 52). Sie enthält die Identität des Benutzers und seine Fachkompetenz im Bezug auf den aktuellen Kontext (1). Das zugrunde liegende objektive Kompetenzbewertungsverfahren [352, 353] wurde bereits in der Praxis evaluiert und für den Einsatz in der Produktentwicklung als tauglich befunden [212, 266]. In der Struktur der Funktionalitäten des aktiven CAD-Systems (6) ist die aktuell gewählte Funktionalität vorausgewählt und die hierfür definierten Methoden werden angezeigt (3).

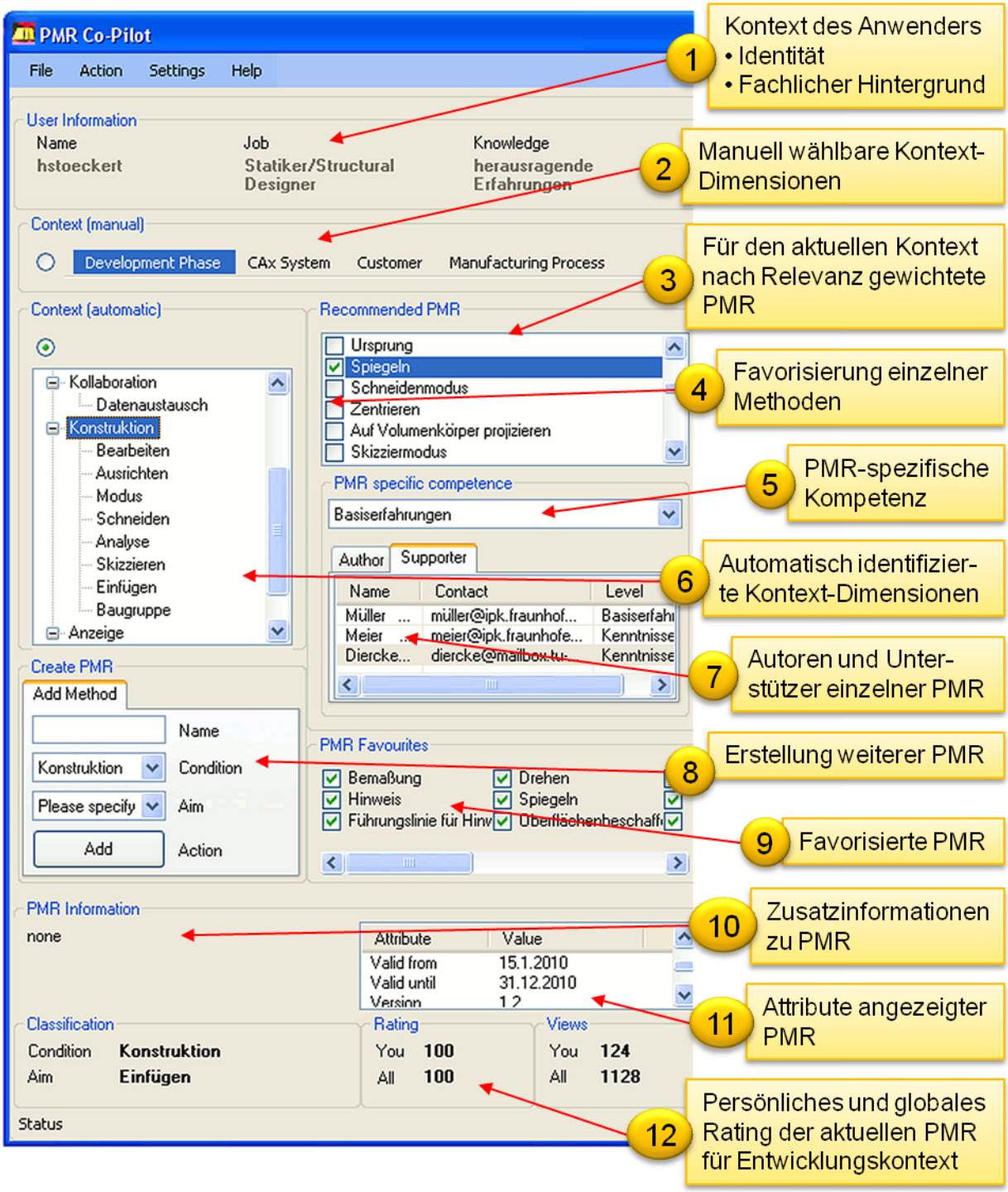


Abbildung 52: Einzelelemente der Benutzeroberfläche des PMR-Co-Piloten

Ein mehrdimensionaler Filter (2) erlaubt die gezielte Auflistung der für den aktuellen Kontext relevanten Methoden. So kann beispielsweise ein bestimmtes Unternehmen als Auftraggeber, die aktuelle Entwicklungsphase oder die Entwicklung für einen bestimmten Fertigungsprozess diesen Kontext näher beschreiben. Basierend auf dem Ranking (12) aller Vorgaben für diesen

Kontext wird die am besten geeignete Vorgabe in der PMR-Liste (3) markiert und vollständig im eingebetteten Wiki dargestellt. Das Ranking basiert auf der Verwendungshäufigkeit durch Entwickler mit unterschiedlich hohen Rollen- und PMR-spezifischen Kompetenzen (vgl. Abschnitt 5.4.5, S. 155). Zeitschranken für die Bewertung einer PMR als verwendet können individuell vom Anwender gesetzt werden. Bei Unklarheiten kann sich der Entwickler per Mailserver-Verlinkung (7) direkt an den Autor der Methode oder andere Personen wenden, die diese Methode in ihre Favoritenliste (4, 9) für häufig verwendete Methoden hinzugefügt haben. Dies entspricht einem unmittelbaren Feedback und trägt damit zur schnellen Fehlerkorrektur und Beschleunigung der Lernzyklen bei. Fehlerfolgekosten können dadurch reduziert werden. Eine Selbstbewertung hinsichtlich der Erfahrung mit der jeweiligen Methode (5) kann die Auswahl des Ansprechpartners unterstützen. Des Weiteren werden hilfreiche Zusatzinformationen zur angezeigten Methode dargestellt (10, 11). Dies können beispielsweise das Datum der Erstellung der Methode, die Dauer der Gültigkeit, der definierte Geltungsbereich, Schlagwörter, die Methodenhistorie und Beziehungen zu weiteren Methoden sein.

Die Erstellung neuer PMR ist nicht im vorangegangenen Szenario abgebildet. Erkannte Anforderungen an Vorergebnisse aus anderen Prozessen können auf diesem Wege unmittelbar dokumentiert und kommuniziert werden. Eine unternehmensspezifische Entscheidung für die Verwendung von Freigabeprozessen für PMR bleibt davon unberührt und kann über Workflow-Systeme umgesetzt werden. Ebenfalls nicht betrachtet wurde die manuelle Verwendung des Filters für CAx-Systeme als manuelle Kontext-Dimension. Diese Funktionalität ermöglicht die Verwendung des PMR-Co-Piloten für alle im Unternehmen eingesetzten Systeme auch ohne Implementierung anwendungsspezifischer Plug-ins. Automatische Kontext-Erkennungen werden dadurch jedoch auf die Dimension des anwendenden Entwicklers reduziert.

Das entwickelte System unterstützt den Produktentwickler durch kontextgerechte Informationsbereitstellung hinsichtlich geltender Methoden und interner Anforderungen des Produktentwicklungsprozesses. Gegenüber heute in der Regel verwendeten pdf-Dokumenten ohne erweiterte Funktionalitäten ermöglicht der PMR-Co-Pilot eine zielgerichtete Komplexitätsreduktion im Hinblick auf eine Vielzahl geltender Prozess- und Methodenvorgaben (PMR). Bei der Unterstützung wird dabei sowohl auf Berechnungsalgorithmen als auch auf die Expertise der verbundenen Entwickler, Entwicklungsabteilungen und -unternehmen zurückgegriffen sowie die direkte Anforderungsstellung und -klärung gefördert. Beiden Ausprägungen der Limitierung menschlicher Verarbeitungskapazität, der Ressourcenlimitierung und der Informationslimitierung (vgl. Abschnitt 4.4, S. 79), werden so entgegengewirkt. Die

Verfügbarkeit andernfalls unbekannter Anforderungen reduziert die Informationslimitierung, die kontextsensitive Filterung die Ressourcenlimitierung. Eine direkte Anwendbarkeit der bereitgestellten Informationen mit möglichst geringen Anteilen notwendiger Transferleistung wird dadurch unterstützt.

7 Zusammenfassung und Diskussion

Die Hauptziele der vorliegenden Arbeit waren:

(1) Beschreibung der Problematik von Fehlern an Schnittstellen-Prozessen in der industriellen verteilten Produktentwicklung

(2) Analyse der Ursachen für mangelhafte Schnittstellen-Prozesse in der Produktentwicklung

(3) Entwicklung eines Rahmenwerks zur Vermeidung von Schnittstellen-Fehlern in der verteilten Produktentwicklung

Es konnte gezeigt werden, dass die verteilte Produktentwicklung eine mit vielerlei Schwierigkeiten verbundene Vorgehensweise ist, ohne die jedoch die industrielle Entwicklung komplexer Produkte nicht stattfinden könnte. Obgleich die Begriffe Produktentwicklung und Produktentstehung klar abgegrenzt sind, erwies sich die Abgrenzung im Kontext der Arbeit, besonders im Bezug auf Praxisbeispiele, teilweise als schwierig. Dies kann als Indiz dafür gewertet werden, dass die Integration der Prozesskette in der Produktentstehung weiter voranschreitet, was grundsätzlich als positiv zu betrachten ist. Ein Beleg branchenübergreifender Relevanz der in Einzelfällen identifizierten Probleme konnte mithilfe einer empirischen Studie in Form einer Online-Befragung erbracht werden. Trotz der relativ geringen Rücklaufquote von rund vier Prozent konnte eine gute Verteilung der Stichprobe über die ausgewählten Zielgruppen erreicht werden. Die Resonanz der Teilnehmer verdeutlichte nochmals die Relevanz der Problematik im Arbeitsalltag der Entwicklungsingenieure.

Erstmals wurde die verteilte Produktentwicklung aus dem Blickwinkel der Schnittstellen beleuchtet. Diese Betrachtungsweise wird bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt hauptsächlich in der Betriebswirtschaft vertreten. Die Übertragung dieser Perspektive auf die Ingenieurwissenschaften ermöglichte eine tief greifende Analyse der Prozesszusammenhänge obgleich hier häufig das Zusammenspiel technischer Systeme mit entsprechenden Hindernissen im Vordergrund steht. Besonders die unterschiedlichen Befindlichkeiten der am Entwicklungsprozess beteiligten Rollen konnten herausgestellt und in ihren Wechselwirkungen erläutert werden.

Um einen Beitrag zur Fehlervermeidung an Schnittstellen-Prozessen leisten zu können, war eine klare, kontextbezogene Abgrenzung und Definition des Fehlerbegriffs erforderlich. Im Ergebnis ist eine Fehlerklassifikation entstanden, die geeignet ist, unterschiedliche Fehler eindeutig voneinander abzugrenzen und die jeweiligen Auswirkungen auf potenzielle Fehlerkosten im Unternehmen aufzuzeigen. Des Weiteren wurde gezeigt, dass Fehler teilweise notwendige Zwischenschritte im Entwicklungsprozess darstellen, dass exzessiv betriebene Fehlervermeidung kontraproduktiv wirken kann und dass es stark kontextabhängig

ist, ob es sich tatsächlich um einen relevanten Fehler handelt, der auch als solcher zu bezeichnen ist. Gleichwohl können als geringfügig oder belanglos erscheinende Fehler in der virtuellen Produktentstehung weitreichende Folgen nach sich ziehen.

Die Modellierung der Problemstellung mithilfe von Methoden aus der Mikroökonomik erlaubte es, die Handelnden stärker als bisher als maßgebliche Gestaltungsfaktoren der verteilten Produktwicklung zu berücksichtigen. Individuelle Interessen, Gruppeninteressen und marktwirtschaftliche Betrachtungen wurden somit als zusätzliche Blickwinkel eingeführt. Dadurch wurde die Analyse der Problemstellung komplettiert und umfasst nunmehr ebenfalls die jeweiligen Eigeninteressen von Individuen und Gruppen sowie auch die Ziele des Unternehmens. Betrachtet werden diese Rollen im Entwicklungsnetzwerk als Marktplatz mit entsprechenden Marktregeln und Unvollkommenheiten. Auf diese unterschiedlichen Blickwinkel wurde im weiteren Verlauf der Arbeit mehrfach referenziert und sie dienten der fundierten Erarbeitung verschiedener Lösungsansätze.

Zur Ergründung der Ursachen möglicher Schnittstellen-Fehler wurden fachliche, informationstechnische, organisatorische und verhaltenspsychologische Ursachen in Betracht gezogen. Die historische Entwicklung des Ingenieurberufs als fachliche Ursache wurde in erster Linie für den deutschsprachigen Raum untersucht, sodass eine Übertragbarkeit ins europäische oder gar außereuropäische Ausland nicht zwingend gegeben sein muss. Bei der allgemeinen Entwicklung der Domäne der Produktentwicklung hinsichtlich verwendeter Vorgehensweisen, Methoden und Zielstellungen sind die länderspezifischen Eigenheiten geringer, sodass hier die Möglichkeit zur Übertragbarkeit auf internationaler Ebene angenommen werden kann.

Die informationstechnischen Probleme der verteilten Zusammenarbeit sind weitgehend bekannt und werden im Rahmen wissenschaftlicher und vor allem industrieller Anstrengungen bereits umfangreich adressiert. Unter den organisatorischen Ursachen von Schnittstellen-Fehlern sind Kommunikationsprobleme ein über die Grenzen der Produktentwicklung hinaus bekanntes Phänomen. Prozess- und Methodenvorgaben als Ansatz zur Unterstützung der Fehlerfreiheit komplexer Prozesse sind hingegen von speziellerer Natur. Grundsätzlich können sie als geeignetes Mittel zur Komplexitätsreduktion, zur Entlastung der Entwicklungsingenieure von häufig wiederkehrenden Entscheidungsproblemen und zur Gewährleistung prozessinterner Anforderungen dienen. Sie sind jedoch mit einer Reihe spezifischer Probleme verbunden, die eine ausführliche Behandlung der Thematik erforderte. Die schiere Anzahl der Vorgaben in teilweise mehrere Tausend Seiten zählenden Sammlungen sind nur das augenscheinlichste Problem.

Die erkannten Problemstellungen und analysierten Ursachen dienten als Grundlage für das entwickelte Rahmenwerk zur Fehlervermeidung an Schnittstellen-Prozessen, das unter anderem folgende Bestandteile umfasst:

- Die entwickelte Fehlerklassifikation
- Einen soziotechnischen Systemansatz als Grundlage
- Die Anwendung eines Promotorenmodells auf die Fehlervermeidung
- Eine Methodik zur Identifikation, Klassifizierung und Definition von Schnittstellen in der industriellen Praxis sowie zu einer entsprechenden Konsistenzanalyse
- Die Bewertung von Fehlervermeidungsmethoden im Hinblick auf die Effizienz der Maßnahmen mithilfe geeigneter Vergleichs- und Kostenrechnungsmethoden
- Ein Instrumentarium zur verbesserten Kommunikation und Bereitstellung interner Anforderungen des Produktentwicklungsprozesses
- Eine Analyse anwendbarer Kontroll- und Revisionsmechanismen für unterschiedliche Einsatzzwecke
- Eine Auswahl unterschiedlicher Anreizmechanismen zur Handlungsunterstützung der beteiligten Parteien
- Ein Werkzeug zur Reduktion von Schnittstellen-Fehlern durch Entlastung und Unterstützung der Entwickler im Umgang mit Prozess- und Methodenvorgaben

Das Rahmenwerk bietet damit eine umfangreiche Sammlung an Einzelmaßnahmen, mit deren Hilfe alle Phasen von der Prozessanalyse über die Ausgestaltung, Umsetzung und Anwendung der Methoden bis hin zur stetigen Revision der neu eingeführten Maßnahmen abgedeckt werden können. Alle Betrachtungen erfolgten unter Berücksichtigung des soziotechnischen Systemansatzes und ziehen daher Aufgabenstellungen, Technologien, Individuen und Rollenverteilungen sowie entsprechende Wechselwirkungen in Betracht. Großer Wert wurde darauf gelegt, Win-Win-Situationen hervorzuheben und nicht eine Bevorteilung einzelner Parteien zum Nachteil anderer zu propagieren. Das Bewusstsein der Möglichkeit von Win-Win-Situationen ist jedoch nicht leicht zu erzeugen. Neue, wegweisende Erkenntnisse konnten auf diesem Gebiet nicht erzielt werden. Durch die Adaption des Promotorenmodells auf die verteilte Produktentwicklung besteht jedoch die Chance, dieses bereits bekannte Mittel der Organisationslehre effektiv in der Produktentwicklung zu etablieren.

Zur Umsetzung des Rahmenwerks in Industrieunternehmen wurde der Six-Sigma-Kernprozess modifiziert und ausgestaltet. Die Wahl des DMAIC-Modells wurde aufgrund der expliziten Abdeckung von Prozessentwicklungen und -verbesserungen sowie des hohen Verbreitungs- und Standardisierungsgrades getroffen. Das Vorgehen könnte vermutlich auch mithilfe des Design for Six Sigma (DfSS) oder anderen ähnlichen Prozessen unterstützt werden. Entsprechende Evaluierungen wurden nicht durchgeführt.

Systemanalyse und Prozessaufnahme sind die ersten im Anwendungsfall operativ durchzuführenden Schritte. Dafür wurden Klassifikationen der im Entwicklungsprozess vorhandenen Schnittstellen und der mit ihnen verbundenen Elemente erarbeitet. Auf Basis dieser Informationen kann die entwickelte Strickleiter-Methode angewandt werden. Sie basiert zum großen Teil auf Design Struktur Matrizen (DSM) und hilft dabei, Inkonsistenzen unterschiedlicher Beziehungstypen zu identifizieren, zu bewerten und entsprechende Verbesserungsanpassungen an den Schnittstellen-Prozessen vorzunehmen. Es ist anzunehmen, dass weitergehende Funktionalitäten der DSM zum Ausbau der Strickleiter-Methode geeignet sind. Des Weiteren bleibt zu untersuchen, ob eine Unterscheidung in unterstützende und Behindernde Zusammenhänge die zusätzliche Analyseergebnisse liefern kann. Ein denkbarer Anwendungsfall ist die störende statt unterstützende Wirkung einer informellen Kommunikationsbeziehung, wenn diese Auf der Abneigung der beteiligten Parteien zueinander basiert.

Für die Identifikation von Fehlerrisiken wurde eine Reihe von Indikatoren erarbeitet, die auf erhöhte Fehlerwahrscheinlichkeiten an Schnittstellen-Prozessen hinweisen. Die Abschätzung der von erkannten Fehlerpotenzialen ausgehenden Risiken kann mit üblichen Mitteln der Risikobewertung erfolgen. Die erarbeitete Klassifikation von Schnittstellen-Fehlern erlaubt es, Verbesserungspotenziale zu identifizieren, um gleichartige und ähnliche Fehler zukünftig zu vermeiden. Um Fehlerrisiken und entgegenwirkende Fehlervermeidungsmaßnahmen monetär bewerten zu können, wurde eine Formel zur Kosten-Nutzen-Rechnung vorgeschlagen. Im gleichen Zug erfolgte ein Vergleich anwendbarer Kostenrechnungsmethoden.

Dem Umgang mit Information, Wissen und Kompetenz wurde eine hohe Aufmerksamkeit geschenkt, da die These vertreten wurde, dass der Faktor Mensch die entscheidende Einflussgröße in der gewählten Aufgabenstellung darstellt. Dass die Schaffung von Transparenz im Hinblick auf Hintergrundinformationen zu Entwicklungsvorgaben sowie zu Fehler- und Folgekosten zur Verbesserung der Fehlerfreiheit beträgt, konnte im studentischen Experiment belegt werden. Der gewählte Versuchsaufbau konnte jedoch keinen Aufschluss darüber geben, welchen Beitrag die genannten Einzelkomponenten dabei leisten. Zur weiteren Verbesserung der Kommunikation wurde erstmals nicht explizierbares Wissen um komplexe Prozesse detailliert untersucht und ein Vorschlag zur Behandlung desselben erarbeitet, der dem Themenkomplex Wissenstransfer zugeordnet werden kann. Als weitere Maßnahme im Umfeld der Unternehmenskommunikation wurde die Notwendigkeit ausdrücklich formulierter Rückmeldewege und weiterer Kommunikationswege diskutiert und mit Praxisbeispielen belegt. Die Wirkungsweise transparenter Kommunikationswege wurde in Analogie zum Gefangenendilemma spieltheoretisch untersucht.

Prozess- und Methodenvorgaben (PMR) sind als ein Hauptaspekt der robusten Gestaltung von Schnittstellen-Prozessen zu betrachten. Dementsprechend wurden Fragestellungen zur Eingliederung in den methodischen Konstruktionsprozess, zur Gestaltung, zur Bereitstellung und zur Individualisierung von PMR umfangreich bearbeitet. Eine Möglichkeit zur Unterstützung der Entwicklungsingenieure im Umgang mit PMR auf der Basis von Nutzungsstatistiken und Verwendungshinweisen konnte entwickelt und mit dem PMR-Co-Piloten prototypisch implementiert werden. Der Prototyp integriert dabei den Großteil der im Rahmen dieser Arbeit diskutierten Anforderungen. Mit dem entwickelten System ist ein entscheidender Beitrag zur vielfach diskutierten kontextsensitiven Informationsbereitstellung verbunden. Es kann als Basis für Weiterentwicklungen zur Informationsbereitstellung beispielsweise im Rahmen des Wissens- oder Innovationsmanagements dienen. Besonders auch die Bereicherung der rechnerunterstützten Produktentwicklung mittels Assistenzsystemen jenseits klassischer Hilfefunktionen ist denkbar.

Zur effektiven Reduktion von Schnittstellen-Fehlern wurden die Anforderungen an ein angemessenes, von den Betroffenen akzeptiertes Kontrollumfeld sowie verschiedene Typen von Kontrollmaßnahmen untersucht. Mögliche Einzelmaßnahmen wurden auf ihre Anwendbarkeit in unterschiedlichen Situationen bewertet. Die Einbeziehung der Betroffenen bei der Auswahl und Umsetzung der Kontrollmaßnahmen ist ein Haupterfolgskriterium. Obgleich in der Praxis eine Vielzahl an Kontrollmaßnahmen Einsatz findet, scheint eine übergreifende Systematik der Kontrollprozesse in der Regel nicht vorzuliegen. Hier besteht Potenzial zur Verbesserung der Schnittstellenrobustheit mit relativ geringem Mehraufwand. Zu beachten ist, dass Kontrollen sowohl von den kontrollierten als auch von den kontrollierenden Personen tendenziell als unangenehm empfunden werden und daher für die Umsetzung entsprechender Methoden kein Enthusiasmus zu erwarten ist.

Selbst ohne Enthusiasmus hängt jede Motivation zur Durchführung einer Tätigkeit entscheidend von der Anwesenheit unterstützender oder hemmender Anreize ab. Um vorgabenkonforme Arbeitsweisen zu unterstützen, wurden bestehende Anreize in der verteilten Produktentwicklung grundlegend untersucht. Anschließend erfolgte die Erörterung der Anwendbarkeit unterschiedlicher Arten von Anreizen auf verschiedene Problemstellungen. Weiterhin wurden einsetzbare Anreizinstrumente sowie Vorgehensweisen zur Auswahl und Implementierung der Instrumente diskutiert. Bei der Diskussion der Thematik waren vermehrt Schwierigkeiten festzustellen, da sowohl in den Ingenieurwissenschaften als auch in der industriellen Praxis der Eindruck vorherrscht, ein Anreiz sei etwas Künstliches und könne mithilfe eines Anreizsystems beliebig geschaffen und nach der Zielerreichung wieder entfernt werden. Dieses Verständnis- und Kommunikationsproblem stellt mit Sicherheit ein großes Hindernis für die effektive Gestaltung von Anreizsystemen dar. Ein Beitrag zur verbesserten

Kommunikation der Thematik ist dringend notwendig, um die erarbeiteten Ergebnisse noch zielführender umsetzen zu können.

Betrachtet man die einzelnen entwickelten Methoden im Wechselspiel, so ist festzustellen, dass nur wenige Abhängigkeiten voneinander bestehen. Ausnahmen bilden Vorgehensweisen, die auf speziellen Klassifizierungen oder Definitionen basieren. Ferner sind Aktivitäten, die auf die Schaffung eines angemessenen Umfeldes sowie auf die Unterstützung durch die Betroffenen abzielen als besonders notwendig zu erachten. Sie werden speziell in den Ingenieurwissenschaften oftmals zugunsten technischer Details vernachlässigt. Die wissenschaftliche Evaluation konnte bisher nur exemplarisch für die genannten Aspekte erfolgen. Ob ein Beleg der Wirksamkeit des gesamten Rahmenwerks in Form einer industriellen Studie erbracht werden kann, ist fraglich. Im Idealfall erfordert dies ein ausreichend großes Entwicklungsnetzwerk, das die entwickelten Analysen und Methoden parallel zu bestehenden Unternehmensprozessen umsetzt. Aus praktischen Gesichtspunkten scheint dieser Weg nicht gangbar, da es sich bei den behandelten Prozessen um erfolgsentscheidende Kernprozesse des Unternehmens handelt, die großflächig in den betreffenden Unternehmen verteilt sind. Realistischer scheint eine partielle Evaluation, bei der ein Unternehmen eine für Erfolg versprechend erachtete Methode auswählt und Ihre Unternehmensprozesse in einer einmaligen Aktion entsprechend umgestaltet. Durch das Fehlen einer Kontrollgruppe als Vergleichsmaßstab könnte als Bewertungsmaßstab jedoch nur der subjektive Erfolgseindruck der Beteiligten dienen.

Das Ziel der Arbeit, basierend auf einer ausführlichen Problembeschreibung und nachfolgender Ursachenanalyse ein Rahmenwerk zur Fehlervermeidung an Schnittstellenprozessen der verteilten Produktentwicklung zu erarbeiten, kann als erreicht betrachtet werden. Auf dieser Basis können Blindleistungen, Korrekturschleifen und administrativer Aufwand in der verteilten Produktentwicklung reduziert werden, sodass ein höherer Arbeitsanteil für die Entwicklung innovativer Produkte erbracht werden kann. Die zusätzlichen Phasen der Produktentstehung wurden nicht fokussiert betrachtet. Eine Übertragbarkeit der Erkenntnisse und Vorgehensweisen ist dennoch in vielen Fällen anzunehmen.

8 Ausblick

Der Trend zur Entwicklung komplexer Produkte mit geringen Fertigungs- und Entwicklungstiefe sowie größer werdenden Kooperationsnetzwerken ist ungebrochen. Ein gegenläufiger Trend ist weder in der industriellen Praxis noch in der konzeptionellen Forschung der Ingenieurwissenschaften erkennbar. Die beschriebene Problematik wird also auch auf lange Sicht bestehen und weiter verstärkt werden. Mit zunehmender Komplexität der Prozesse steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Ambiguitäten durch gegenläufige Teilziele entstehen. STEGER bezeichnet diese im betriebswirtschaftlichen Kontext als „Managerial Dilemmata“, die nicht mit vorhandenen Mitteln und Methoden aufhebbar sind, sondern langfristig gehandhabt werden müssen [354] oder einer grundlegend veränderten Vorgehensweise bedürfen. Die verteilte Produktentwicklung umfasst eine Vielzahl von Ambiguitäten und unterliegt damit ebendiesen Rahmenbedingungen, die nicht abschließend gelöst werden können, sondern mit den jeweils verfügbaren Mitteln gehandhabt werden müssen. Das Management von Schnittstellen-Prozessen in der verteilten Produktentwicklung stellt für alle Parteien in Entwicklungsnetzwerken also eine große Herausforderung dar und wird mit weiter wachsender Komplexität der zu entwickelnden Produkte und Kooperationsszenarien zukünftig noch erfolgsentscheidender für Unternehmen jeder Größe. Rund um das bearbeitete Problemfeld der Schnittstellen-Fehler in der verteilten Produktentwicklung gibt es noch auf absehbare Zeit Forschungsbedarf.

Auf Basis der erarbeiteten Ergebnisse können folgende weitergehende Forschungsziele abgeleitet werden:

- Branchenübergreifende Standardisierung entwicklungsprozessinterner Anforderungen zur Verbesserung der Konformität an Prozess-Schnittstellen
- Verallgemeinerung der Forschungsansätze auf die bisher nicht berücksichtigten Branchen wie beispielsweise den Schiffbau
- Veränderung der Lehre dahin gehend, dass Produktentwickler bereits in der Ausbildung ihre Rolle in der alltäglichen Praxis besser antizipieren können und damit besser auf die Realitäten vorbereitet werden
- Erarbeitung einer Methodik zur Priorisierung interner Anforderungen zur transparenten Abwägung der Aufwände für interne Qualität gegen Zeit, Kosten, externe Qualität sowie andere Restriktionen und Nebenbedingungen
- Weiterentwicklung bestehender Prozessanalyse-Ansätze und Werkzeuge hin zu einer dezentral durchführbaren Prozessanalyse, die gesammelte Informationen zentralisierend zusammenführt
- Entwicklung intelligenter Assistenzsysteme, die dem Menschen die Erfüllung rein formaler Anforderungen in der Produktentwicklung vollständig abnehmen und die Konformität selbstständig gewährleisten

Zu beachten bleibt jedoch, dass standardisierende Verfahren immer auch Einschränkungen für die Kreativität und möglicherweise auch die Innovativität mit sich bringen. Ferner wird die Abkehr vom Streben nach Gleichgewichtszuständen in der Organisationstheorie mittlerweile vielfach als nicht mehr zeitgemäß erachtet. Vielmehr handelt es sich um einen fortlaufenden Wandlungsprozess [355] mit Pendelbewegungen zwischen Extremen [356]. Dies deutet darauf hin, dass ein Zielzustand nicht erreicht werden kann, sondern fortlaufende flexible Anpassungen an die konkreten Problemstellungen der Abteilung, des Unternehmens, des Entwicklungsnetzwerkes, der Branche, der Domäne und allgemein der Volkswirtschaft eine grundlegende Notwendigkeit zum Erhalt von Innovativität und Wettbewerbsfähigkeit darstellen. Der entwickelte Ansatz dezentraler Verantwortung mithilfe zentraler Infrastruktur verspricht, diese Wellenbewegungen ohne die Notwendigkeit der vollständigen Neukonzipierung zu bestehen.

Die Dezentralisierung, wie sie im Rahmen der Verbreitung von Communities, Open-Source, Open-Access, Creative-Commons und anderen Strömen der OPEN-Bewegung [357] derzeit voranschreitet, ist in Einzelfällen bereits in der Produktentwicklung angekommen [358-361]. Der verstärkte Einsatz freiberuflicher Entwickler in virtuellen Teams (E-Lancer) ist ein Trend mit ähnlichen Auswirkungen. Ansätze des Web 2.0 und 3.0 als Bestandteil der OPEN-Bewegung können in der industriellen Produktentwicklung genutzt werden um, das kreative Potenzial, die Innovativität, Flexibilität und Wandlungsfähigkeit zu verbessern. Auch diese Entwicklung, sofern sie sich in der Produktentwicklung etablieren sollte, wird die Anzahl und Komplexität der Schnittstellenbeziehungen nicht reduzieren. Eine höhere Autonomie der Beteiligten könnte sogar gegenteilige Effekte mit sich bringen. Veränderungen in der eher konservativen Ingenieurswelt hin zu noch stärkerer, auch konzernübergreifender Kollaboration sind damit angestoßen, werden jedoch noch lange unterstützt werden müssen. Die Stärkung der Selbstständigkeit und Verantwortungsteilung innerhalb der Entwicklungsnetzwerke kann hier einen entscheidenden Beitrag leisten. Die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen liegt dabei weiterhin hauptsächlich in der Verantwortung der Arbeitgeber oder Projektleiter, die über entsprechende Autorität und Mittel für die Umsetzung verfügen. Schließlich wird jegliche Motivation, ob in der weltweiten Community oder im Entwicklungsnetzwerk, durch Anreize gesteuert und ist damit abhängig von den entsprechenden Rahmenbedingungen. Letztlich gilt auch für die Konstruktion der Rahmenbedingungen der verteilten Produktentwicklung weiterhin:

Anwendungsfehler sind Konstruktionsfehler.

9 Quellen

1. Gage, N.L.; Berliner, D.C.: *Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Beltz, 1996.

2. Heckhausen, J.; Heckhausen, H.: *Motivation and action*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

3. Watzlawick, P.; Beavin, J.H.; Jackson, D.D.: *Menschliche Kommunikation*. Bern: Huber, 1996.

4. Thiemann, P.: *Benutzerfreundliche Online-Hilfen : Grundlagen und Umsetzung mit MadCap Flare*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2008.

5. Porter, M.E.: *Competitive strategy : techniques for analyzing industries and competitors*. New York: Free Press, 1980.

6. Otlet, P.H.: Die Dokumentation. In: Frank, P.R. (Hrsg.): *Von der Systematischen Bibliographie zur Dokumentation*, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1978. S. 353-362.

7. Steiner, R.: *Kompetenzzellenbasierte Produktentwicklung* (Berichte aus dem IWU): Verlag Wissenschaftliche Scripten, 2006.

8. Birger, H.; rland; Hanne, A.: Toward a new horizon in information science: domain-analysis. In: *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, Wiley, 46(6), 1995. S. 400-425.

9. Deutsches Institut für Normung: *DIN EN ISO 9000:2005 Qualitätsmanagementsysteme*. Berlin: Beuth, 2005.

10. Blanckenburg, C.v.: *Leitfaden für interdisziplinäre Forschergruppen : Projekte initiieren, Zusammenarbeit gestalten* (Blickwechsel, 3). Stuttgart: Steiner, 2005.

11. IEEE Computer Society. Standards Coordinating Committee.: *IEEE standard computer dictionary : a compilation of IEEE standard computer glossaries, 610*. New York, NY, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1990.

12. Schanz, S.: *Auktionen und kollusives Verhalten*. München: Grin Verlag, 2007.

13. Dey, A.K.; Abowd, G.D.: Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. In: *Proceedings of the 1st international symposium on handheld and ubiquitous computing*. Karlsruhe: Springer, 1999. S. 304-307.

14. Arentzen, U.; Winter, E.; Alisch, K.: *Gabler Wirtschafts-Lexikon*. Wiesbaden: Gabler, 2005.

15. Krause, F.-L.: Auf dem Weg zur Anwendung von Produktentstehungsmethoden. In: Haupt, U.; Sánchez Ruelas, J.G. (Hrsg.): *Konstruktionsmethodik für Fahrzeugkonzepte. Kolloquium anlässlich des Ausscheidens von Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Franke aus dem aktiven Dienst und Übergabe des Instituts an Prof. Dr.-Ing. Thomas Vietor. Bericht Nr. 74*, Braunschweig: Technische Universität Braunschweig, Institut für Konstruktionsmethodik, 2009.

16. Lindemann, U.: *Methodische Entwicklung technischer Produkte : Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden*. Berlin: Springer, 2007.

17. Herbig, P.A.; O'Hara, B.S.: The Future of Orignial Equipment Manufacturers. In: *Journal of Business & Industrial Marketing*, MCB UP Ltd, 9(3), 1994. S. 38-43.

18. van Hoek, R.: E-supply chains - virtually non-existing. In: *Supply Chain Management*, MCB UP Ltd, 6(1), 2001. S. 21-28.

19. Möller, K.: Supply Chain Valuation - Wertschöpfung in und durch Supply Chain Networks. In: Stölzle, W.; Otto, A. (Hrsg.): *Supply Chain Controlling in Theorie und Praxis*, Wiesbaden: Gabler, 2003. S. 49-81.

20. Krause, F.-L.; Franke, H.-J.; Gausemeier, J.: *Innovationspotenziale in der Produktentwicklung*. München: Hanser, 2007.

21. Sachs, S.; Hauser, A.: *Das ABC der betriebswirtschaftlichen Forschung : Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten*. Zürich: Versus, 2002.

22. Bossel, H.: *Modellbildung und Simulation : Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme ; ein Lehr- und Arbeitsbuch*. Braunschweig: Vieweg, 1994.

23. Vajna, S.; Bley, H.; Hehenberger, P.; Weber, C.; Zeman, K.: *CAx für Ingenieure - Eine praxisbezogene Einführung*. Berlin: Springer, 2009.

24. Stark, R.; Stöckert, H.: Interface Errors - An issue in complex virtual product creation. In: *International Conference on Engineering Design, ICED'09*. Stanford, CA, USA: Bertrams Print on Demand,, 2009. S. 465-476.

25. Klaus, G.; Buhr, M.: *Philosophisches Wörterbuch*. Leipzig: Verl. Enzyklopädie, 1964.

26. Lu, S.C.-Y.; Elmaraghy, W.; Schuh, G.; Wilhelm, R.: A scientific foundation of collaborative engineering. *Annals of the CIRP*: Elsevier, 2007. S. 605-634.

27. Stöckert, H.; Lindow, K.; Stark, R.: Collaborative Engineering - Issues and Evidence from Industrial Practice. In: *11th International Design Conference - DESIGN 2010*. Dubrovnik: 2010, im Druck.

28. Stöckert, H.; Gärtner, H.; Hayka, H.; Stark, R.: Enhanced Decision Making Processes using Ad hoc Collaboration Tools. In: *6th International Conference on Product Lifecycle Management, PLM09*. Bath, UK: 2009, im Druck.

29. *Wiki* (Wikipedia - Die freie Enzyklopädie), Wikimedia Foundation Inc., http://de.wikipedia.org/wiki/Wiki, letzter Aufruf: 15.03.2010.

30. Stark, R.; Krause, F.-L.; Kind, C.; Rothenburg, U.; Müller, P.; Stöckert, H.: Competing in Engineering Design – the Role of Virtual Product Creation. In: *Competitive Design. Proceedings of the 19th CIRP Design Conference,*. Cranfield, UK: Cranfield University, 2009.

31. Krause, F.-L.; Hayka, H.; Kind, C.; Rothenburg, U.: Nachhaltigkeit durch virtuelle Produktentwicklung. In: *XII. Internationales Produktionstechnischens Kolloquium (PTK)*. Berlin: 2007. S. 191-201.

32. Stöckert, H.; Kind, C.; Debitz, U.; Hacker, W.: Kompetenzentwicklung in der Produktentwicklung. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, Hanser, 103(11), 2008. S. 755-758.

33. Gaiser, B.: *Schnittstellencontrolling bei der Produktentwicklung : Entwicklungszeitverkürzung durch Bewältigung von Schnittstellenproblemen* (Controlling-Praxis). München: Vahlen, 1998.

34. Frieling, E.; Sonntag, K.: *Lehrbuch Arbeitspsychologie* (Aus dem Programm Huber: Psychologie-Lehrbuch). Bern: Huber, 1999.

35. Trommsdorff, V.; Steinhoff, F.: *Innovationsmarketing*. München: Vahlen, 2007.

36. Brockhoff, K.: *Management organisatorischer Schnittstellen : unter besonderer Berücksichtigung der Koordination von Marketingbereichen mit Forschung und Entwicklung ; vorgelegt in der Sitzung am 30. April 1994 in Kiel* (Berichte aus den Sitzungen der Joachim-Jungius-Gesellschaft der Wissenschaften e.V, Jg. 12, H. 2). Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1994.

37. Brockhoff, K.; Hauschildt, J.: Schnittstellen-Management – Koordination ohne Hierarchie. In: *Zeitschrift Führung und Organisation*, (6), 1993. S. 396-403.

38. Meckl, R.: *Schnittstellenmanagement bei unternehmungsübergreifender Zusammenarbeit* (Regensburger Diskussionsbeiträge zur Wirtschaftswissenschaft). Regensburg: Univ., Wirtschaftswiss. Fak., 1994.

39. Katila, R.: Measuring innovation performance. In: *International Journal of Entrepreneurial Behaviour & Research*, 6(1), 2002. S. 295-309.

40. Pahl, G.; Beitz, W.: *Konstruktionslehre : Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung; Methoden und Anwendung*. Berlin: Springer, 2007.

41. Krause, F.-L.; Tang, T.; Ahle, U. (Hrsg.): *integrierte Virtuelle Produktentstehung - Abschlußbericht*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2002.

42. Linthicum, D.S.: *Enterprise application integration* (Addison-Wesley information technology series.). Reading, MA: Addison-Wesley, 2000.

43. Eschenbächer, J.; Seifert, M.; Thoben, K.-D.: Identifikation und Planung von verteilten Innovationsprozessen. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, Hanser Verlag, 12(104), 2009. S. 1081-1086.

44. Zunk, B.M.; Marchner, A.: Verbesserung der Kooperation zwischen Beschaffung und Produktentwicklung. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, Hanser Verlag, 12(104), 2009. S. 1087-1092.

45. Ross, L.: The intuitive psychologist and his shortcomings: Distortions in the attribution process. In: Berkowitz, L. (Hrsg.): *Advances in experimental social psychology*, New York: Academic Press, 1977. S. 173-220.

46. Gilbert, D.T.; Malone, P.S.: The correspondence bias. In: *Psychological Bulletin*, (117), 1995. S. 21-38.

47. Devine, P.G.: Overattribution effect: The role of confidence and attributional complexity. In: *Social Psychology Quarterly*, (52), 1989. S. 149-158.

48. Nisbett, R.; Ross, L.: *Human inference : strategies and shortcomings of social judgement*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1980.

49. Ross, L.; Nisbett, R.E.: *The person and the situation : perspectives of social psychology*. Philadelphia: Temple University Press, 1991.

50. Deutsches Institut für Normung. Normenausschuß Qualitätsmanagement Statistik und Zertifizierungsgrundlagen: *DIN EN ISO 9000 : Qualitätsmanagementsysteme*. Berlin: Beuth, 2000.

51. Brown, M.; Convey, M.C.; Rayner, B.: *Original Equipment Manufacturer Law & Legal Definition*, http://definitions.uslegal.com/o/original-equipment-manufacturer/, letzter Aufruf: 06.10.2009.

52. Deutsches Institut für Normung: *DIN EN ISO 9000:2000 Qualitätsmanagementsysteme*. Berlin: Beuth, 2000.

53. Shingo, S.; Dillon, A.P.; Bodek, N.: *Zero quality control : Source inspection and the poka-yoke system*. Cambridge, MA: Productivity Press, 1986.

54. Reason, J.; Grabowski, J.: *Menschliches Versagen : psychologische Risikofaktoren und moderne Technologien* (Spektrum Psychologie). Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl., 1994.

55. Klumb, P.L.: *Attention, action, absent minded aberrations : a behaviour economic approach* (European university studies Ser. 6, Psychology). Frankfurt am Main: Lang, 1995.

56. Norman, D.: Categorization of action slips. In: *Psychological Review*, (88), 1981. S. 1-15.

57. Deutsches Institut für Normung: *DIN 55350-31:1985-12* (Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik; Begriffe der Annahmestichprobenprüfung). Berlin: Beuth-Verlag, 1985.

58. Geiger, W.; Kotte, W.: *Handbuch Qualität : Grundlagen und Elemente des Qualitätsmanagements: Systeme - Perspektiven*. Wiesbaden: Vieweg, 2008.

59. Deutsches Institut für Normung: *DIN 55350-12:1989-03* (Begriffe der Qualitätssicherung und Statistik; Merkmalsbezogene Begriffe). Berlin: Beuth-Verlag, 1989.

60. Reason, J.T.: *Human error*. Cambridge [England]: Cambridge University Press, 1990.

61. Reason, J.T.: Human error: models and management. In: *British Medical Journal*, (320), 2000. S. 768-770.

62. VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb: *Wissensbasierte Systeme für Konstruktion und Arbeitsplanung*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1992.

63. Bullinger, H.-J.: Technologische Ansätze. In: Luczak, H. (Hrsg.): *Handbuch Arbeitswissenschaft*, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1997. S. 82-86.

64. Koriat, A.: The Feeling of Knowing: Some metatheoretical implications for consciousness and control. In: *Conscious and Cognition*, (9), 2000. S. 149-171.

65. Kamiske, G.F.: Das untaugliche Mittel der "Qualitätskostenrechnung". In: *Qualität und Zuverlässigkeit (QZ)*, (März), 1992.

66. Masing, E.W.: Fehlleistungsaufwand. In: *Qualität und Zuverlässigkeit (QZ)*, (Januar), 1988. S. 11-12.

67. Füermann, T.; Dammasch, C.: *Prozessmanagement : Anleitung zur Steigerung der Wertschöpfung*. München: Hanser, 2002.

68. Wappis, J.; Jung, B.; Brunner, F.: *Taschenbuch Null-Fehler-Management : Umsetzung von Six Sigma* (Praxisreihe Qualitätswissen). München: Hanser, 2006.

69. Dumke, R.; Bundschuh, M.; Software-Metrik-Kongress; Deutschsprachige Anwendergruppe für Software-Metrik und Aufwandschätzung: *Software-Metriken in der Praxis : Tagungsband des DASMA Software Metrik Kongresses METRIKON 2001, 25. - 26. Oktober, 2001, Dortmund* (Magdeburger Schriften zum empirischen Software Engineering). Aachen: Shaker, 2002.

70. Fritsch, M.; Wein, T.; Ewers, H.-J.r.: *Marktversagen und Wirtschaftspolitik : mikroökonomische Grundlagen staatlichen Handelns* (Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften). München: Vahlen, 2007.

71. Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U.: *Kostengünstig entwickeln und konstruieren: Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung*. Berlin: Springer, 2007.

72. Gallaher, M.P.; O'Connor, A.C.; Dettbarn, J.L.J.; Gilday, L.T.: *Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry*: National Institute of Standards & Technology (NIST), 2004.

73. Verband der Automobilindustrie e.V.: *VDA-Empfehlung 4955: Umfang und Qualität von CAD/CAM-Daten*. Frankfurt am Main1999.

74. Brunnermeier, S.B.; Sheila, M.A.: *Interoperability Cost Analysis of the U.S. Automotive Supply Chain - Final Report*: National Institute of Standards & Technology (NIST), 1999.

75. Proff, H.; Proff, H.V.: Automobilindustrie - eine faszinierende Branche im Stimmungstief. In: Proff, H.; Proff, H.V. (Hrsg.): *Dynamisches Automobilmanagement*, Wiesbaden: Gabler, 2008. S. 17-21.

76. Hock, M.: *Daimler-Aktie: Ein Stern geht neu auf*, FAZ.net, http://www.faz.net/s/RubF3F7C1F630AE4F8D8326AC2A80BDBBDE/Doc~EABE57FD239D540B3A5A4B9B2EC75A754~ATpl~Ecommon~Scontent.html, letzter Aufruf: 25.02.2010.

77. Prem, K.P.: *Partnerschaft und Wissenstransfer: Determinanten der Innovationsstärke in der deutschen Automobilindustrie*, Informationsdienst Wissenschaft (idw), http://idw-online.de/pages/de/news4126, letzter Aufruf: 25.02.2010.

78. Mock, W.: In letzter Minute doch noch zum Erstflug abgehoben. In: *VDI-Nachrichten*, VDI-Verlag, 51/52/53, 2010. S. 5.

79. Varian, H.R.: *Intermediate microeconomics : a modern approach*. New York: Norton, 2006.

80. Nienhüser, W.: Die Entwicklung theoretischer Modelle als Beitrag zur Fundierung der Personalwirtschaftslehre. Überlegungen am Beispiel der Erklärung des Zustandekommens von Personalstrategien. In: Weber, W. (Hrsg.): *Grundlagen der Personalwirtschaft : Theorien und Konzepte*, Wiesbaden: Gabler, 1999. S. 39-88.

81. Miebach, B.: *Organisationstheorie Problemstellung - Modelle - Entwicklung* (Soziologische Theorie). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH, 2007.

82. Pratt, J.W.; Zeckhauser, R.J.: *Principals and agents : the structure of business* (Research colloquium Harvard Business School). Boston, Mass.: Harvard Business School Press, 1991.

83. Neus, W.: *Ökonomische Agency-Theorie und Kapitalmarktgleichgewicht* (Beiträge zur betriebswirtschaftlichen Forschung ; 65). Wiesbaden: Gabler, 1989.

84. Williamson, O.E.: *The economic institutions of capitalism : firms, markets, relational contracting*. New York, London: Free Press, Collier Macmillan, 1985.

85. Gächter, S.: Unvollständige Verträge und Effizienzlöhne im Experiment. In: Held, M.; Kubon-Gilke, G.; Sturn, R. (Hrsg.): *Normative und institutionelle Grundfragen der Ökonomik*, Marburg: Metropolis-Verl., 2003. S. 39-68.

86. Williamson, O.E.; Winter, S.G.; Coase, R.H.: *The Nature of the firm : origins, evolution, and development*. New York: Oxford University Press, 1991.

87. Meyer, B.: Applying "Design by Contract". In: *Computer*, IEEE Computer Society Press, 25(10), 1992. S. 40-51.

88. Stritzke, H.: *Internetgestütztes Informations- und Kommunikationssystem für verteilte Projektteams am Beispiel der Produktentstehung*. Düsseldorf: VDI-Verl., 1999.

89. Richter, K.; Rost, J.-M.: *Komplexe Systeme*. Frankfurt am Main: Fischer-Taschenbuch-Verl., 2004.

90. Shapiro, C.; Varian, H.R.: *Information rules : a strategic guide to the network economy*. Boston, Mass.: Harvard Business School Press, 2006.

91. Karis, R.O.: Mit 828 m Höhe ein echter Wolkenkratze. In: *VDI-Nachrichten*, VDI-Verlag, 1, 2010. S. 1.

92. Mercer-Management-Consulting; Fhg-IPA: *Future Automotive Industry Structure (FAST) 2015 - die neue Arbeitsteilung in der Automobilindustrie* (Materialien zur Automobilindustrie, 32). Frankfurt am Main: VDA, 2004.

93. Geisler, B.: Airbus wächst auf 56 000 Mitarbeiter. In: *Hamburger Abendblatt*, Springer, 2005.

94. Mester, V.: Airbus: Nur noch 500 statt 3000 Lieferanten. In: *Hamburger Abendblatt*, Springer, 2006.

95. Müller, P.; Uhlmann, E.; Geisert, C.; Stelzer, C.; Knothe, T.: Kernprozess hybrider Leistungsbündel. In: *wt Werkstatttechnik online*, Springer-VDI-Verlag, 98(7/8), 2008. S. 581-586.

96. Suvarna, S.; Stöckert, H.; Stark, R.: Project and Design Reviews in IPS². In: *CIRP IPS² '10 International Conference Proceedings*. Linköping: 2010, im Druck.

97. Krause, F.-L.; Hayka, H.; Langenberg, D.: Collaborative Engineering. In: Krause, F.-L.; Franke, H.-J.; Gausemeier, J. (Hrsg.): *Innovationspotenziale in der Produktentwicklung*, München: Hanser, 2007. S. 61-87.

98. Thomke, S.; Fujimoto, T.: The Effect of "Front Loading" Problem Solving on Product Development Performance. In: *Journal of Product Innovation Management*, Blackwell Publishing, 17(2), 2000. S. 128-142.

99. Dankwort, C.W.; Ovtcharova, J.; Weidlich, R.: A Concept of Engineering Objects for Collaborative Virtual Engineering: Automotive Case Study. In: *Proceedings of the ProSTEP iViP Science Days*. Dresden: Fraunhofer IRB, 2003. S. 161-172.

100. Piller, F.T.: *Mass Customization : ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter*. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl., 2008.

101. Handelsblatt: *A380-Verzögerung kostet EADS Milliarden*, http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/a380-verzoegerung-kostet-eads-milliarden;1144160;0, letzter Aufruf:

102. FAZ.net: *Neue Verzögerungen bei Airbus und Boeing*, http://www.faz.net/s/RubD16E1F55D21144C4AE3F9DDF52B6E1D9/Doc~E908964FF76724C759E23B5366E5D0B65~ATpl~Ecommon~Scontent.html, letzter Aufruf:

103. Pine, B.J.; Davis, S.: *Mass customization : the new frontier in business competition*. Boston, Mass.: Harvard Business School Press, 1999.

104. Kaiser, W.; König, W.: *Geschichte des Ingenieurs ein Beruf in sechs Jahrtausenden*. München: Hanser, 2006.

105. König, W.; Gorges, I.; Helfert, R.; Niemitz, H.-U.; Oelsner, R.F.: Die Entwiclung des Konstruierens im internationalen Vergleich. In: Mackensen, R. (Hrsg.): *Konstruktionshandeln : nicht-technische Determinanten des Konstruierens bei zunehmendem CAD-Einsatz*, München: Hanser, 1997. S. 1-81.

106. Mock, W.: *Technische Intelligenz im Exil Vertreibung u. Emigration dt.-sprachiger Ingenieure nach Gro*britannien 1933 bis 1945*. Düsseldorf: Verl. d. Vereins Dt. Ingenieure, 1986.

107. Ratner, S.; Soltow, J.H.; Sylla, R.: *The evolution of the American economy growth, welfare, and decision making*. New York: BasicBooks, 1979.

108. Stahlschmidt, R.: *Quellen und Fragestellungen einer deutschen Technikgeschichte des frühen 20. Jahrhunderts bis 1945* Göttingen: Vandenhoeck + Ruprecht, 1977.

109. Weisberg, D.E.: *The Engineering Design Revolution*, http://www.cadhistory.net/, letzter Aufruf:

110. Müller, T.: Planung und Entwicklung. In: Luczak, H. (Hrsg.): *Handbuch Arbeitswissenschaft*, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1997. S. 636-640.

111. Card, S.K.: Human Factors and Artificial Intelligence. In: Hancock, P.A.; Chignell, M. (Hrsg.): *Intelligent interfaces*, Amsterdam, New York: North-Holland, 1989. S. 27-48.

112. Eigner, M.: IT-Lösungen für den Produktentwicklungsprozess. In: Bullinger, H.-J.; Spath, D.; Warnecke, H.-J.; Westkämper, E. (Hrsg.): *Handbuch Unternehmensorganisation. Strategien, Planung, Umsetzung*, Berlin: Springer, 2009. S. 247-260.

113. Huet, G.; Fortin, C.; McSorley, G.; Toche, B.: Information Structures and Processes to Support Data Exchange between Product Development and Resource Planning Systems. In: *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IESM'09*. Montreal, Canada: 2009.

114. Weston, R.H.; Cui, Z.: Next Generation Manufacturing Systems. In: Yan, X.T.; Eynard, B.; Ion, W.J. (Hrsg.): *Global Design to Gain a Competitive Edge*, London: Springer, 2008. S. 701-710.

115. Belkadi, F.; Troussier, N.; Huet, F.; Gidel, T.; Bonjour, E.; Eynard, B.: Innovative PLM-based approach for collaborative design between OEM and suppliers: a case study of aeronautic industry. In: Cascini, G. (Hrsg.): *Computer-Aided Innovation*, London: Springer, 2008. S. 157-168.

116. Merlo, C.; Eynard, B.; Girard, P.; Odinot, A.; Gallet, T.: Compared Implementations of PDM Systems based on UML Specifications. In: *International Journal of Product Lifecycle Management*, 1(1), 2005. S. 52-69.

117. Abramovici, M.; Schulte, S.: Product Lifecycle Management - Ein strategischer Lösungsansatz für durchgängige Prozessketten und Informationsflüsse. In: *CAD CAM*, 2, 2005. S. 32-35.

118. McKinney, D.: *Impact of Commercial Off-The-Shelf (COTS) Software and Technology* INCOSE, http://www.incose.org/northstar/2001Slides/McKinney%20Charts.pdf, letzter Aufruf: 21.01.2010.

119. Trott, P.: *Innovation management and new product development*. Harlow: Prentice Hall, 2005.

120. Dong, A.: *The language of design theory and computation*. London: Springer, 2009.

121. Dong, A.: The latent semantic approach to studying design team communication. In: *Design Studies*, Elsevier, 26(5), 2005. S. 445-461.

122. Kleinsmann, M.S.: *Unterstanding Collaborative Design*. Delft: Delft University of Technology, 2006.

123. Luther, M.: *1. Moses, 11, 1-9,* (Die Bibel). Stuttgart: Dt. Bibelges., 2008.

124. Homburg, C.; Schäfer, H.; Schneider, J.: *Sales Excellence : Vertriebsmanagement mit System*. Wiesbaden: Gabler, 2008.

125. Plowman, E.G.: *Lectures on elements of business logistics*. Stanford, CA: Stanford University, Graduate School of Business, 1964.

126. Schömig, D.: *Fehlerreduzierung durch die Einbindung eines Qualitäts-Informationssystems in die Konstruktion* (Schriftenreihe des IWF). Essen: Vulkan-Verlag, 2001.

127. Fournies, F.F.: *Why employees don't do what they're supposed to do*. New York: McGraw-Hill, 1999.

128. Williams, V.: *Why Employees Fail to Meet Performance Expectations*: Empowerment Publishers, 2005.

129. Carrol, J.M.; Mack, R.L.: Learning to use a word processor: by doing, by thinking and by knowing. In: Thomas, J.C.; Schneider, M.L. (Hrsg.): *Human Factors in Computing Systems*, Norwood: Ablex, 1984. S. 13-51.

130. Dasberg, J.: *PLM Mega Trends - Industry Challenges and Solutions*, Accenture, http://www.digital-engineering-magazin.de/fachbeitraege/Accenture_PLM_Mega_Trends.pdf, letzter Aufruf:

131. Thieme, H.-R.: *Verhaltensbeeinflussung durch Kontrolle : Wirkung von Kontrollmaßnahmen und Folgerungen für die Kontrollpraxis* (Betriebswirtschaftliche Studien). Berlin: Schmidt, 1982.

132. Polson, M.C.; Wickens, C.D.; Klapp, S., T.; Colle, H.A.: Humen Interactive Informational Processes. In: Hancock, P.A.; Chignell, M.H. (Hrsg.): *Intelligent interfaces*, Amsterdam, New York: North-Holland, 1989. S. 129-164.

133. Luhmann, N.: *Soziale Systeme : Grundriß einer allgemeinen Theorie* (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft). Frankfurt am Main: Suhrkamp, 2001.

134. Churchill, N.C.; Cooper, W.W.: Auditing Records: Individual Task. Accomplishment and Organization Objectives. In: Cooper, W.W.; Leavitt, H.J.; Shell, M.W. (Hrsg.): *New perspectives in organization research*, New York, NY: Wiley, 1964. S. 270-275.

135. Churchill, N.C.; Cooper, W.W.: A Field Study of Auditing as a Mechanism for Organizational Control - A Hypothesis. In: Lawrence, J.R.; International Conference on Operational Research and the Social Sciences (Hrsg.): *Operational research and the social sciences*, London: Tavistock, 1966.

136. Osterloh, B.W.: *Die betriebliche Investitionskontrolle : Probleme der Kontrolle betrieblicher Investitionen unter besonderer Berücksichtigung der Kontrolle der Investitionsplanung*. Stuttgart1974.

137. Churchill, N.C.; Cooper, W.W.: *Effects of auditing records : Individual task accomplishment and organization objectives*1964.

138. Lattmann, C.: *Die Leistungsbeurteilung als Führungsmittel* (Management-Forum). Heidelberg: Physica-Verlag, 1994.

139. Meyer, H.H.; Kay, E.; French, J.R.P.: Split Roles In Performance Appraisal. In: *Harvard Business Review*, (January/February), 1965. S. 123-129.

140. Kubon-Gilke, G.; Sturn, R.; Held, M.: Experimente in der Ökonomik. In: Held, M.; Kubon-Gilke, G.; Sturn, R. (Hrsg.): *Normative und institutionelle Grundfragen der Ökonomik*, Marburg: Metropolis-Verl., 2003. S. 7-38.

141. Schwietring, T.: *Was ist Gesellschaft? Einführung in soziologische Grundbegriffe* (UTB L (Large-Format) UTB L (Large-Format) 8430). Stuttgart: UTB, 2009.

142. Weber, M.: *Soziologische Grundbegriffe* (UTB für Wissenschaft : Uni-Taschenbücher UTB für Wissenschaft Uni-Taschenbücher 541 : Soziologie). Tübingen: Mohr, 1984.

143. Weber, M.: *Wirtschaft und Gesellschaft* (Grundriß der Sozialökonomik 3). Tübingen: Mohr, 1922.

144. Lewin, K.; Cartwright, D.; Lang, A.; Lohr, W.: *Feldtheorie in den Sozialwissenschaften : ausgewählte theoretische Schriften*. Bern: Huber, 1963.

145. Heckhausen, J.; Heckhausen, H.: *Motivation und Handeln*. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg, 2006.

146. Mohr, L.B.: Determinanten der Innovation in Organisationen. In: Schmidt, P. (Hrsg.): *Innovation : Diffusion von Neuerungen im sozialen Bereich*, Hamburg: Hoffmann und Campe, 1976. S. 169-197.

147. Rheinberg, F.: Bezugsnorm-Orientierung. In: Rost, D.H. (Hrsg.): *Handwörterbuch pädagogische Psychologie*, Weinheim: Beltz, PVU, 2001. S. 39-43.

148. Schanz, G.: Motivationale Grundlagen der Gestaltung von Anreizsystemen. *Handbuch Anreizsysteme*, Stuttgart: Poeschel, 1991. S. 3-30.

149. Lewin, K.: *Principles of topological psychology*: Munshi Press, 2007.

150. Rheinberg, F.; Selg, H.: *Motivation* (Grundriß der Psychologie : eine Reihe in 22 Bänden / hrsg. von Herbert Selg ...). Stuttgart: Kohlhammer, 1995.

151. Peltzman, S.: The Effects of Automobile Safety Regulation. In: *Journal of Political Economy*, University of Chicago Press, 83(4), 1975. S. 677-725.

152. Sobel, R.S.; Nesbit, T.M.: Automobile Safety and the Incentive to Drive Recklessly. In: *Southern Economic Journal*, Southern Economic Association, 74(1), 2007. S. 71-84.

153. Schanz, G.: *Handbuch Anreizsysteme*. Stuttgart: Poeschel, 1991.

154. Siebert, H.: *Der Kobra-Effekt*. Darmstadt: Wiss. Buchges., 2001.

155. Becker, F.G.: Innovationsfördernde Anreizsysteme. In: Schanz, G. (Hrsg.): *Handbuch Anreizsysteme*, Stuttgart: C. E. Poeschel Verlag, 1999. S. 567-593.

156. Watzlawick, P.; Beavin, J.H.; Jackson, D.D.A.: *Pragmatics of human communication; a study of interactional patterns, pathologies, and paradoxes*. New York,: Norton, 1967.

157. Rosenstiel, L.v.: *Die motivationalen Grundlagen des Verhaltens in Organisationen : Leistung und Zufriedenheit* (Wirtschaftspsychologische Schriften der Universitäten München und Augsburg). Berlin: Duncker & Humblot, 1975.

158. Scholz, U.: *Anreize und Auswirkungen variabler Vergütungsinstrumente : eine praktische Untersuchung monetärer Anreizmodelle bei der DaimlerChrysler Ludwigsfelde GmbH*2002.

159. Herzberg, F.; Mausner, B.; Snyderman, B.B.: *The motivation to work*. New Brunswick, NJ: Transaction Publishers, 2008.

160. Kantowitz, B.H.: Interfacing Human and Machine Intelligence. In: Hancock, P.A.; Chignell, M.H. (Hrsg.): *Intelligent interfaces*, Amsterdam, New York: North-Holland, 1989. S. 49-68.

161. Eberts, R.E.; Eberts, C.G.: Four Approaches to Human Computer Interaction. In: Hancock, P.A.; Chignell, M.H. (Hrsg.): *Intelligent interfaces*, Amsterdam, New York: North-Holland, 1989. S. 69-128.

162. Sydow, J.r.: *Der soziotechnische Ansatz der Arbeits- und Organisationsgestaltung : Darstellung, Kritik, Weiterentwicklung* (Campus Forschung). Frankfurt a.M.: Campus-Verl., 1985.

163. Geels, F.W.: *Technological transitions and system innovations: a co-evolutionary and socio-technical analysis*. Cheltenham: Elgar, 2005.

164. Chems, A.B.: Die Tavistock-Untersuchungen und ihre Auswirkungen. In: Greif, S.; Holing, H.; Nicholson, N. (Hrsg.): *Arbeits- und Organisationspsychologie: internationales Handbuch in Schlüsselbegriffen*, München: Psychologie-Verlags-Union, 1989. S. 483-488.

165. Hacker, W.: *Allgemeine Arbeitspsychologie : psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit*. Bern: Huber, 2005.

166. Mansour-Cole, D.M.; Scott, S.G.: Hearing It Through The Grapevine, The Influence Of Source, Leader-Relations, And The Legitimacy On Survivors' Fairness Perceptions. In: *Personnel Psychology*, 51(1), 1988. S. 25-54.

167. Rawls, J.: *A theory of justice*. Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard University Press, 1999.

168. Rawls, J.; Kelly, E.: *Justice as fairness : a restatement*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2001.

169. Deutsch, M.; Krauss, R.M.: Studies of Interpersonal Bargaining. In: *The Journal of Conflict Resolution*, 6(1), 1962. S. 52-76.

170. Thomas, W.I.; Thomas, D.S.: *The child in America : behavior problems and programs*. New York: Knopf, 1938.

171. Witte, E.: Das Promotoren-Modell. In: Hauschildt, J.; Gemünden, H.-G. (Hrsg.): *Promotoren - Champions der Innovation*, Wiesbaden: Gabler, 1999. S. 9-42.

172. Hauschildt, J.; Chakrabarti, A.K.: Arbeitsteilung im Innovationsmanagement. In: Hauschildt, J.; Gemünden, H.-G. (Hrsg.): *Promotoren - Champions der Innovation*, Wiesbaden: Gabler, 1999. S. 67-88.

173. Howell, J.M.; Higgins, C.A.: Champions of change: Identifying, understanding and supporting champions of technological innovations. In: *Organizational Dynamics*, 19, 1990. S. 40-55.

174. Scholl, W.: *Innovation und Information : wie in Unternehmen neues Wissen produziert wird*. Göttingen: Hogrefe, 2004.

175. Zwicker, E.: *untitled*, http://www.controlling.tu-berlin.de/de/forschung/, letzter Aufruf: 13.05.2009.

176. Walter, A.: *Der Beziehungspromotor. Ein personaler Gestaltungsansatz für das Relationship Marketing*. Wiesbaden: Gabler, 1998.

177. Gemünden, H.-G.; Walter, A.: Förderung des Technologietransfers durch Beziehungspromotoren. In: *Zeitschrift Führung und Organisation*, 65(4), 1996. S. 237-245.

178. De Feo, J.A.; Barnard, W.W.: *Juran Institute's Six Sigma*. New York: McGraw-Hill, 2004.

179. Shingo, S.; Liker, J.K.: *Kaizen and the art of creative thinking*. Bellingham, Vancouver: PCS Inc. and Enna Products Corporation, 2007.

180. O'Reilly, V.M.; National Commission on Fraudulent Financial Reporting. Committee of Sponsoring Organizations: *Internal control - integrated framework*. New York, NY: Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission, 1994.

181. Maslow, A.H.: *The psychology of science* (John Dewey Society lecture ; 8). New York: Harper and Row, 1966.

182. Stark, R.; Lindow, K.; Beier, G.; Kind, C.; Özgen, K.: Quantitative Studien über die Nutzung informationstechnischer Systeme im Produktentstehungsprozess. In: *7. Gemeinsames Koloquium Konstruktionstechnik - KT2009*. Bayreuth: Universität Bayreuth, 2009. S. 241-248.

183. Jacka, J.M.; Keller, P.J.: *Business process mapping : improving customer satisfaction*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2009.

184. Deutsches Institut für Normung: *DIN EN ISO 9000:2008 Qualitätsmanagementsysteme*. Berlin: Beuth, 2008.

185. Bailey, R.: Tool, Media, Communication: Sharpening the blur in Design Education. In: *Design Communication Conference*. Atlanta: Southern Polytechnic State University, 2009. S. 228-233.

186. Frindte, W.: *Einführung in die Kommunikationspsychologie*. Weinheim: Beltz, 2001.

187. Krause, F.-L.; Wöhler, T.: Effiziente Aufbereitung von CAD-Modellen für FEM-Berechnungen. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, 96(5), 2001. S. 266.

188. Wöhler, T.; Pries, M.; Stark, R.: Effiziente Verfahren zur Aufbereitung von Geometriemodellen für die virtuelle Absicherung In: *3. Internationales Symposium Geometrisches Modellieren*. Stuttgart: Hochschule für Technik, 2009, im Druck.

189. Freeman, L.C.: *The development of social network analysis*. Vancouver: Empirical Press, 2004.

190. Kant, I.; Jäsche, G.B.: *Immanuel Kants Logik ein Handbuch zu Vorlesungen*. Königsberg: Nicolovius, 1800.

191. Sager, J.C.; NetLibrary Inc.: *Essays on definition* (Terminology and lexicography research and practice, v. 4). Amsterdam ; Philadelphia, PA: J. Benjamins, 2000.

192. Robinson, R.: *Definition*. Oxford: Clarendon Press, 1950.

193. Mitchell, R.; McKim, J.: *Design by contract by example*. Harlow U.K.: Addison-Wesley, 2001.

194. Sosa, M.E.; Eppinger, S.D.; Rowles, C.M.: Are your engineers talking to another when they should? In: *Harvard Business Review*, (November), 2007.

195. Danilovic, M.; Browning, T.R.: Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices. In: *International Journal of Project Management*, Elsevier, 25(3), 2007. S. 300-314.

196. Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T.: *Structural complexity management an approach for the field of product design*. Berlin u.a.: Springer, 2009.

197. Maurer, M.: *Structural awareness in complex product design*. München: Dr-Hut, 2007.

198. Tekinerdogan, B.; Scholten, F.; Hofmann, C.; Aksit, M.: Concern-oriented analysis and refactoring of software architectures using dependency structure matrices. In: *Proceedings of the 15th Workshop on Early Aspects - EA '09*. Charlottesville, Virginia, USA: ACM, 2009. S. 13-17.

199. Steinbach, J.: *Chemische Sicherheitstechnik*. Weinheim: VCH, 1995.

200. Kamiske, G.F.: Die sieben elementaren Werkzeuge der Qualität. In: Kamiske, G.F. (Hrsg.): *Die hohe Schule des total-quality-Managements*, Berlin [u.a.]: Springer, 1994. S. X, 383 S.

201. Ehrlenspiel, K.; Seidenschwarz, W.: Target Costing, ein Rahmen für kostenzielorientiertes Konstruieren - eine Praxisdarstellung. In: Vertrieb, G.E.K. (Hrsg.): *VDI-Berichte, 1097: Konstrukteure gestalten Kosten : Tagung Offenburg, 2. und 3. Dezember 1993*, Düsseldorf: VDI-Verl., 1993. S. 167-187.

202. Schmidt, A.: *Kostenrechnung : Grundlagen der Vollkosten-, Deckungsbeitrags-, Plankosten- und Prozesskostenrechnung*. Stuttgart: Kohlhammer, 2005.

203. Oettel, A.; Weidlich, D.; Neugebauer, R.: Bewertungsvorgehen in kompetenzzellenbasierten Produktionsnetzen - Einflussgrößen in der Produktentwicklung. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, Hanser Verlag, 12(104), 2009. S. 1072-1075.

204. Juran, J.M.: Pareto, Lorenz, Cournot, Bernoulli, Juran and Others. In: *Industrial Quality Control*, American Society for Quality Control, 17(4), 1950. S. 25.

205. Crosby, P.B.: *Quality is still free : making quality certain in uncertain times*. New York: McGraw-Hill, 1996.

206. Juran, J.M.: Universals in Management Planning and Control. In: *Management Review*, American Management Association, Nov, 1954.

207. Juran, J.M.: *Quality control handbook*. New York u.a.: McGraw-Hill, 1988.

208. Wehner, T.: Fehler und Fehlhandlungen. In: Luczak, H. (Hrsg.): *Handbuch Arbeitswissenschaft*, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1997. S. 468-472.

209. Volpert, W.; Moldaschl, M.: *Wie wir handeln - was wir können : ein Disput als Einführung in die Handlungspsychologie* (Innovatop Buchreihe Positionen). Sottrum: Artefact-Verl. Weber, 2003.

210. Zeithaml, V.A.; Parasuraman, A.; Berry, L.L.: *Delivering quality service balancing customer perceptions and expectations*. New York: Free Press, 1990.

211. North, K.: *Wissensorientierte Unternehmensführung*. Wiesbaden: Gabler, 2002.

212. Kind, C.; Stark, R.; Stöckert, H.: Identification and Management of Competence for Product Development. In: *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, Politehnica University of Timisoara, 6(2), 2008. S. 74-79.

213. Blessing, L.T.M.: *A Process-Based Approach to Computer-Supported Engineering Design*. Cambridge, UK: Black Bear Press Ltd., 1994.

214. Solso, R.L.: *Cognitive Psychology*. Boston: Allyn & Bacon, 2008.

215. Reinmann-Rothmeier, G.; Mandl, H.: Wissen. In: Hanser, H. (Hrsg.): *Lexikon der Neurowissenschaften*, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2001. S. 466.

216. Anderson, J.R.: *The architecture of cognition*. Cambridge: Harvard University Press, 1983.

217. Binsack, M.: *Akzeptanz neuer Produkte Vorwissen als Determinante des Innovationserfolgs*. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl., 2003.

218. Tajfel, H.; Billig, M.G.; Bundy, R.P.; Plament, C.: Social categorization and intergroup behaviour. In: *European Journal of Social Psychology*, 1, 1971. S. 149-178.

219. Higgins, T.J.; Chignell, M.H.; Hancock, P.A.: Knowledge-based Supervisory Control for Aerospace Applications. In: Hancock, P.A.; Chignell, M.H. (Hrsg.): *Intelligent interfaces*, Amsterdam, New York: North-Holland, 1989. S. 333-364.

220. Brauer, M.: The Role of Corporate-Level Managers in Divestitures. In: Lang, R.; Schmidt, A. (Hrsg.): *Individuum und Organisation*, Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 2007. S. 97-130.

221. Gebert, D.: Führung und Innovation. In: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, Fachverlag der Verlagsgruppe Handelsblatt GmbH, 39(10), 1987. S. 941-951.

222. Fehr, E.; Schmidt, K.M.: *The economics of fairness, reciprocity and altruism : experimental evidence and new theories*2006.

223. Lemyre, L.; Smith, P.M.: Intergroup discrimination and self-estemm in the minimal group-paradigm. In: *Journal of Personality and Social Psychology*, 49, 1985. S. 660-670.

224. Schräpler, J.-P.; Wagner, G.G.; Ott, N.: Internet-Experimente mit Survey-Teilnehmern - Lässt sich unterschiedliches Verhalten bei Common Pool Resource Spielen erklären? In: Held, M.; Kubon-Gilke, G.; Sturn, R. (Hrsg.): *Normative und institutionelle Grundfragen der Ökonomik*, Marburg: Metropolis-Verl., 2003.

225. Pfeffer, J.: *Managing with power : politics and influence in organizations*. Boston, Massachusetts: Harvard Business School, 1994.

226. Reinker, S.: *Unkündbar*. Berlin: Ullstein Tb, 2007.

227. Feuerstein, M.; Natter, M.; Mild, A.; Taudes, A.: *Incentives to cooperate in new product development* (Working paper series / SFB Adaptive Information Systems and Modelling in Economics and Management Science). Vol. 70. Wien: Vienna University of Economics and Business Administration, 2000.

228. Semar, W.: Incentive Systems in Knowledge Management to Support Cooperative Distributed Forms of Creating and Acquiring Knowledge. In: *Proceedings of the International Conference on Information and Knowledge Engineering - IKE'04*. Las Vegas: CSREA Press, 2004. S. 406-411.

229. Kandel, E.R.: *In search of memory : the emergence of a new science of mind*. New York: W.W. Norton, 2007.

230. Pasmore, W.A.: *Designing effective organizations : the sociotechnical systems perspective* (Wiley series on organizational assessment and change). New York: Wiley, 1988.

231. Dombois, R.: *Gesellschaftliche Modernisierung und Regulierung von Arbeit : Abschlussbericht des Projektverbunds "Gesellschaftlicher Wandel und neue Regulierungsmuster von Arbeit"* (IAW-Forschungsbericht ; 13). Bremen: Inst. Arbeit und Wirtschaft, 2007.

232. Zillmann, D.; Bryant, J.: *Selective exposure to communication* (Communication). Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1985.

233. Festinger, L.: *A theory of cognitive dissonance*. Stanford, Calif.: Stanford Univ. Press, 1976.

234. Moser, K.; Wolff, H.-G.; Kraft, A.: Eskalierendes Commitment von Entscheidern: Methodologische Probleme. In: Held, M.; Kubon-Gilke, G.; Sturn, R. (Hrsg.): *Normative und institutionelle Grundfragen der Ökonomik*, Marburg: Metropolis-Verl., 2003.

235. Fank, M.; Döring-Katerkamp, U.; Trojan, J.: *Aktivierung der Mitarbeiter beim Knowledge-Management* (Schriftenreihe Knowledgemanagement in der Praxis). Köln: Institut für e-Management e.V., 2002.

236. Butz, M.T.-N., G.: Lernen durch Lehren formt die Netzwerkbildung im Gehirn. Simulation struktureller Entwicklungen in neuronalen und sozialen Netzwerken. In: *Praxis der Naturwissenschaften*, 55(5), 2006. S. 39.

237. Myers, G.L.; Scerbo, M.W.; Limanowski, J.J.; Fisk, A.D.: Unterstanding and Enhancing "On-Line" Procedural Documentation Usage. In: Hancock, P.A.; Chignell, M. (Hrsg.): *Intelligent interfaces*, Amsterdam, New York: North-Holland, 1989. S. 313-323.

238. Krüger, W.: *Excellence in change : Wege zur strategischen Erneuerung*. Wiesbaden: Gabler, 2009.

239. Lazarus, R.S.: *Psychological stress and the coping process*. New York: McGraw-Hill, 1966.

240. Lazarus, R.S.: *Fifty years of research and theory by R.S. Lazarus : an analysis of historical and perennial issues*. Mahwah, N.J.: Lawerence Erlbaum Associates, 1998.

241. Gebert, D.: Innovation - organisationsstrukturelle Bedeingungen innovatorischen Verhaltens. In: *Zeitschrift für Organisation*, Gesellschaft für Organisation (GfürO) i.V.m. Arbeitsgemeinschaft für wirtschaftliche Verwaltung (AWV), 5, 1979. S. 283-292.

242. Landau, K.: *Lexikon Arbeitsgestaltung : best practice im Arbeitsprozess*. Stuttgart: Gentner, 2007.

243. Kanigel, R.: *The one best way : Frederick Winslow Taylor and the enigma of efficiency* (Sloan technology series). New York, NY: Viking, 1997.

244. Autorenkollektiv: *Lexikon der Wirtschaft : Arbeit, Bildung, Soziales*. Berlin: Verlag Die Wirtschaft, 1982.

245. Deutsches Institut für Normung: *DIN EN ISO 14001:2005-06 Umweltmanagementsysteme*. Berlin: Beuth, 2008.

246. Loffing, C.: Die Verfahrensanweisung - Das zweite wichtige Instrument. In: *background*, Bundesverband Ambulante Dienste und Stationäre Einrichtungen e.V., 3/2005, 2005. S. 18-19.

247. Vogelmann, M.: Collaboration Engineering in der Aerospace Industrie. In: *ProduktDatenJournal*, (1), 2007. S. 26.

248. Strebel, M.: *Kompetenzabhängiges Simulationsverfahren zur Optimierung von Produktentwicklungsprozessen*. Berlin: Dissertation TU Berlin, eingereicht.

249. Verband deutscher Ingenieure (VDI): *Richtlinie VDI 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischere Systeme und Produkte*. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993.

250. Gagne, R.M.; Medsker, K.L.: *The conditions of learning*. New York: Wadsworth Publishing, 1995.

251. Good, R.: Artificial intelligence and science education. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 24, 1987. S. 325-342.

252. Trollip, S.R.; Lippert, R.C.: Constructing Knowledge Bases. In: Hancock, P.A.; Chignell, M. (Hrsg.): *Intelligent interfaces*, Amsterdam, New York: North-Holland, 1989. S. 27-48.

253. Argyris, C.; Schön, D.A.; Rhiel, W.: *Die lernende Organisation*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2009.

254. Wiedemann, H.: Prüfungstechnik. In: Geib, G.; Gelhausen, H.F.; Gelhausen, W.D. (Hrsg.): *WP Handbuch 2006 : Wirtschaftsprüfung, Rechnungslegung, Beratung*, Düsseldorf: IDW Verlag, 2006.

255. Scerbo, M.W.; Fisk, A.D.; Limanowski, J.J.: Procedural on-line documentation. In: Mital, A. (Hrsg.): *Trends in Ergonomics/Human Factors*, New York: North Holland, 1984. S. 101-106.

256. Scheer, A.-W.: *Architektur integrierter Informationssysteme : Grundlagen der Unternehmensmodellierung*. Berlin: Springer, 1992.

257. Ross, D.T.: Structured Analysis (SA): A Language for Communicating Ideas. In: *IEEE transactions on software engineering*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, SE-3(1), 1977. S. 16-34.

258. Hanrahan, R.P.: *The IDEF Process Modeling Methodology*, http://www.stsc.hill.af.mil/crosstalk/1995/06/IDEF.asp, letzter Aufruf: 07.01.2010.

259. Object Management Group: *Business Process Model and Notation (BPMN) v1.2*. Vol. Version 1.2 (Januar 2009): OMG, 2009.

260. Object Management Group: *Business Process Model and Notation (BPMN) v2.0*. Vol. FTF Beta 1 for Version 2.0 (August 2009): OMG, 2009.

261. Mertins, K.; Jaekel, F.-W.: MO²GO: User Oriented Enterprise Models for Organizational and IT Solutions. In: Bernus, P.; Mertins, K.; Schmidt, G. (Hrsg.): *Handbook on architectures of information systems*, Berlin: Springer, 2006. S. 649-663.

262. Watson, C.D.; Eastman, M.C.; Woods, D.D.: Man-machine interface issues in the design of an automated decision system. In: *Proceedings of the Human Factors Society*1985. S. 864.

263. Elkerton, J.; Williges, R.C.: The effectiveness of a performance based assistant in information retrieval environment. In: *Proceedings of the Human Factors Society*1984. S. 634-638.

264. Starfield, A.M.; Butala, K.L.; England, M.L.; Smith, K.A.: Mastering engineering concepts by building an expert system. In: *Engineering Education*, 1983. S. 104-107.

265. Duda, R.O.; Shortliffe, E.H.: Expert System Research. In: *Science*, 220, 1983. S. 261-268.

266. Stöckert, H.; Debitz, U.; Kind, C.; Defounga, N.; Hacker, W.: Management von Mitarbeiterkompetenzen: Wie technische Entwicklungsaufgaben nachhaltig unterstützt werden können. In: *VDI Konstruktion*, Springer, 62(1/2), 2010. S. 62-66.

267. Copeland, D.E.; Radvansky, G.A.; Goodwin, K.A.: A novel study: Forgetting curves and the reminiscence bump. In: *Memory*, Psychology Press, 17(3), 2009. S. 323 - 336.

268. Gebert, D.; Ulrich, J.G.: *Erfolgreiches Führen im Kreditbereich*. Wiesbaden: Gabler, 1990.

269. Masters, J.K.; Miles, G.; D'Souza, D.; Orr, J.P.: Risk Propensity, Trust and Transaction Cots in Relational Contracting. In: *Journal of Business Strategies*, 21, 2004. S. 47-67.

270. Sprenger, R.K.: *Vertrauen führt worauf es im Unternehmen wirklich ankommt*. Frankfurt am Main: Campus-Verl., 2007.

271. Cloonan, J.; Matheus, T.; Sellini, F.: The Impact Of Trust And Power On Knowledge Sharing In Design Projects: Some Empirical Evidence From The Aerospace Industry. In: *Proceedings of the 10th International Design Conference - DESIGN 2008*. Dubrovnik: 2008. S. 1071-1078.

272. Pulm, U.; Stetter, R.: Pressure and Trust in Competitive Engineering. In: *International Conference on Engineering Design, ICED'09*. Stanford, CA, USA: Bertrams Print on Demand,, 2009. S. 69-80.

273. Serfling, K.: *Controlling - State of the Art*2001.

274. Zander, A.; Curtis, T.: Effects of social power on aspiration setting and striving. In: *Journal of Abnormal and Social Psychology*, American Psychological Association, 64, 1962. S. 63-74.

275. Newman, W.H.: *Constructive control : design and use of control systems*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1975.

276. Siegwart, H.; Menzl, I.: *Kontrolle als Führungsaufgabe: Führen durch Kontrolle von Verhalten und Prozessen*. Bern: UTB für Wissenschaft, 1990.

277. Gabele, E.: Vom "technischen Soll-Ist-Vergleich" zur "Aktiven Kontrolle" in Organisationen. In: Thieme, H.-R. (Hrsg.): *Verhaltensbeeinflussung durch Kontrolle : Wirkung von Kontrollmaßnahmen und Folgerungen für die Kontrollpraxis*, Berlin: Schmidt, 1982. S. VII-XV.

278. Drucker, P.F.: *Praxis des Managements : ein Leitfaden für die Führungs-Aufgaben in der modernen Wirtschaft*. Düsseldorf: ECON, 1998.

279. Steinle, C.: *Führung : Grundlagen, Prozesse und Modelle der Führung in der Unternehmung* (Sammlung Poeschel). Stuttgart: Poeschel, 1978.

280. Klinger, M.A.; Klinger, O.: *Das Interne Kontrollsystem (IKS) im Unternehmen : Praxisbeispiele, Checklisten, Organisationsanweisungen und Muster-Prüfberichte für alle Unternehmensbereiche*. München: Vahlen, 2000.

281. Gausemeier, J.; Lindemann, U.; Reinhart, G.; Wiedendahl, H.: *Kooperatives Produktengineering - Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens*. Vol. Band 79. Paderborn: Heinz-Nixdorf-Institut, 2000.

282. Lieberman, S.: Die Auswirkung von Rollenänderungen auf die Einstellungen der Rolleninhaber. In: Rohr, C. (Hrsg.): *Verhaltensänderung : psychologische Theorien der Veränderung menschlichen Verhaltens*, München: Nymphenburger Verlag, 1982. S. 189-215.

283. Rosenstiel, L.v.: *Motivation im Betrieb : mit Fallstudien aus der Praxis* (Der Mensch im Unternehmen). Leonberg: Rosenberger Fachverl., 2001.

284. Tannenbaum, A.S.: *Control in organizations : Individual adjustment and organizational performance*. New York: McGraw-Hill, 1968.

285. Dovidio, J.F.; Piliavin, J.A.; Schroeder, D.A.; Penner, L.A.: *The Social Psychology of Prosocial Behaviour*. Philadelphia: Lawrence Erlbaum Associates, 2006.

286. Hudson, J.M.; Bruckman, A.S.: The Bystander Effect: A Lens for Understanding Patterns of Participation. In: *Journal of Learning Sciences*, 13(2), 2004. S. 165-195.

287. Argyris, C.: *Integrating the individual and the organization*. New York: Transaction Publishers, 1990.

288. International Institute of Business Analysis: *A Guide to the Business Analysis Body of Knowledge (BABoK Guide)*. Toronto: International Institute of Business Analysis,, 2009.

289. Gunn, J.: XBRL: Opportunities and Challenges in Enhancing Financial Reporting and Assurance Processes. In: *Current Issues in Auditing*, American Accounting Association, 1(1), 2007. S. A36-A43.

290. Gärtner, H.: *Optimierte Zulieferintegration in der Produktentwicklung durch Ad-hoc-Kooperationswerkzeuge*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008.

291. Elkerton, J.; Williges, R.C.: Dialogue Design for Intelligent Interfaces. In: Hancock, P.A.; Chignell, M.H. (Hrsg.): *Intelligent interfaces*, Amsterdam, New York: North-Holland, 1989. S. 213-264.

292. Nielsen, J.: *Usability engineering*. Amsterdam {[u.a.]: Kaufmann, 2003.

293. Brehm, J.W.: Control, its loss, and psychological reactance. In: Weary, G.; Gleicher, F.H.; Marsh, K.L. (Hrsg.): *Control motivation and social cognition*, New York: Springer, 1993. S. 3-30.

294. Quick, B.L.; Stephenson, M.T.: Further Evidence That Psychological Reactance Can Be Modeled as a Combination of Anger and Negative Cognitions. In: *Communication Research*, 34(3), 2007. S. 255-276.

295. Friedrich, J.; Hammerschall, U.; Kuhrmann, M.; Sihling, M.: *Das V-Modell® XT für Projektleiter und QS-Verantwortliche kompakt und übersichtlich* (Informatik im Fokus). Dordrecht: Springer, 2009.

296. Scheer, A.-W.; Boczanski, M.; Muth, M.; Schmitz, W.-G.; Segelbacher, U.: *Prozessorientiertes Product Lifecycle Management*. Berlin: Springer, 2006.

297. Hartmann, G.; Schmidt, U.: *mySAP Product Lifecycle Management - Strategie, Technologie, Implementierung* (SAP Press). Bonn: Galileo Press, 2004.

298. DeMarco, T.: *The deadline - a novel about project management*. New York: Dorset House Publishing, 1997.

299. Ettengruber, R.: Einsatz von Control Self Assessment (CSA) für die Interne Revision heute. In: Förschler, D. (Hrsg.): *Innovative Prüfungstechniken und Revisionsvorgehensweisen*, Frankfurt am Main: Bankakademie-Verlag, 2007. S. 435-474.

300. Widmer, D.; Pfyffer, H.-U.: *Handbuch Corporate Governance, Teil 6: Interne Kontrolle*, KPMG, http://www.sgvw.ch/schwerpunkt/archiv/dossier22_pfyffer_handbuch.pdf, letzter Aufruf:

301. Zucker, L.G.; Tolbert, P.S.: The institutionalization of institutional theory. In: Clegg, S.; Hardy, C.; Nord, W.R. (Hrsg.): *Handbook of organization studies*, London: Sage, 1996. S. 175-190.

302. Tushman, M.L.; Romanelli, E.: Organizational Evolution: A Metamorphosis Model of Convergence and Reorientations. In: *Research in Organizational Behaviour*, 7, 1985. S. 171-222.

303. Gebert, D.; Rosenstiel, L.v.: *Organisationspsychologie Person und Organisation* (Kohlhammer-Standards Psychologie). Stuttgart u.a.: Kohlhammer, 2002.

304. Council of the European Union: *Brussels European Council 8/9 March 2007 - Presidency Conclusions*, Council of the European Union, http://www.consilium.europa.eu/ueDocs/cms_Data/docs/pressData/en/ec/93135.pdf, letzter Aufruf: 13.04.2010.

305. Kommission der Europäischen Gemeinschaften: *Aktionsprogramm zur Verringerung der Verwaltungslasten in der Europäischen Union* (Mitteilung der Kommision an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen), Kommission der Europäischen Gemeinschaften, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/com/2007/com2007_0023de01.pdf, letzter Aufruf: 13.04.2010.

306. Yang, T.; Chen, C.-W.: An incentive pay system for project management based on responsiblity assignment matrix and fuzzy linguistic variables. In: *Expert Systems with Applications*, Pergamon Press, 36(10), 2009. S. 12585-12591.

307. van Dyck, C.; Frese, M.; Baer, M.; Sonnentag, S.: Orgnizational Error Management Culture and Its Impaact on Performance. In: *Journal of Applied Psychology*, American Psychological Association, 90(6), 2005. S. 1228-1240.

308. Project Management Institute: *A guide to the project management body of knowledge PMBoK guide*. Newtown Square, Pa.: Project Management Institute,, 2008.

309. Ulich, E.: *Arbeitspsychologie*. Zürich: vdf, 2005.

310. Coenenberg, A.G.; Fischer, T.M.; Günther, T.: *Kostenrechnung und Kostenanalyse*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2009.

311. Schneider, B.; Goldstein, H.W.; Smith, D.B.: The ASA Framework: An Update. In: *Pesronnel Psychology*, Blackwell Publishing, 48(4), 1995. S. 747-773.

312. Sader, M.: *Psychologie der Gruppe* (Grundlagentexte Psychologie). Weinheim u.a.: Juventa, 2008.

313. Passardi-Allmendinger, S.: *Corporate governance und Gehaltstransparenz eine spieltheoretische Analyse*. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl., 2006.

314. Meißner, M.; Blessing, L.T.M.: Gestaltung von Produktentwicklungsprozessen. In: Krause, F.-L.; Franke, H.-J.; Gausemeier, J. (Hrsg.): *Innovationspotenziale in der Produktentwicklung*, München: Hanser, 2007. S. 89-95.

315. Backes-Gellner, U.; Lazear, E.P.; Wolff, B.: *Personalökonomik - Fortgeschrittene Anwendungen für das Management*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2001.

316. Gibbons, R.: *A primer in game theory*. Harlow u.a.: Financial Times u.a., 2001.

317. Poundstone, W.: *Prisoner's dilemma*. New York: Doubleday, 1992.

318. Regan, D.T.: Effects of a Favor and Liking on Compliance. In: *Journal of Experimental Social Psychology*, American Psychological Association, 7(6), 1971. S. 627-639.

319. Beafuils, B.; Delahaye, J.-P.; Mathieu, P.: Our Meeting With Gradual: A Good Strategy For The Iterated Prisoner's Dilemma. In: *Artificial Life V: Proceedings of the Fifth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems*. Nara-shi, Japan: MIT Press, 1996. S. 202-209.

320. Fischer, M.: *Einführung in die nicht-kooperative Spieltheorie der Nichtnullsummenspiele*. Ravensburg: GRIN Verlag, 2004.

321. Frisch, D.: Reasons for Framing Effects. In: *Organizational Behaviour and Human Decisions Processes*, Academic Press, 54(3), 2003. S. 399-429.

322. Schmidt, U.; Starmer, C.; Sugden, R.: Third-generation prospect theory. In: *Journal of risk and uncertainty (JRU)*, Springer, 36(3), 2008. S. 203-223.

323. Kahneman, D.; Tversky, A.: Prospect Theory: An analysis of decision under risk. In: *Econometrica*, Wiley-Blackwell, 47(2), 1979. S. 263-291.

324. Kahneman, D.; Tversky, A.: Choices, values and frames. In: Kahneman, D.; Tversky, A. (Hrsg.): *Choices, values and frames*, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., 2009. S. 1-16.

325. Gneezy, U.; Rustichini, A.: A Fine is a Price. In: *Journal of Legal Studies*, University of Chicago Press, 29(1), 2000. S. 1-17.

326. Plaschke, F.J.: Wertorientierte Management-Incentivesysteme auf Basis interner Wertkennzahlen und Bonusbanken. In: Schweickart, N.; Töpfer, A. (Hrsg.): *Wertorientiertes Management*, Berlin u.a.: Springer, 2006. S. 561-583.

327. Plaschke, F.J.: *Wertorientierte Management-Incentivesysteme auf Basis interner Wertkennzahlen*. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl., 2003.

328. Cramer, C.: Der Bonus als Malus - Zur Überwälzung von Geschäftsverlusten auf Arbeitnehmer. In: *Aktuelle Juristische Praxis (AJP/PJA)*, Dike Verlag(5), 2008. S. 535-541.

329. Wageman, R.: Interdependence and group effectiveness. In: *Science Quarterly*, (40), 1995. S. 145-180.

330. Beyer, H.-T.: *Betriebliche Arbeitszeitflexibilisierung : zwischen Utopie und Realität*. Mün̈chen: Vahlen, 1986.

331. Dilk, A.: Cafeteria-Systeme. In: Eyer, E. (Hrsg.): *Report Vergütung. Entgeltgestaltung für Mitarbeiter und Manager*, Düsseldorf: Symposion Publishing, 2002. S. 153-157.

332. Knopf, R.H.: *Dimensionen des Erfolgs von Reorganisationsprozessen*. Bamberg: Difo-Druck, 1975.

333. Gabele, E.: *Die Einführung von Geschäftsbereichsorganisationen* (Empirische Theorie der Unternehmung, 13). Tübingen: Mohr, 1981.

334. Gabele, E.; Liebel, H.J.; Oechsler, W.A.: *Führungsgrundsätze und Mitarbeiterführung*. Wiesbaden: Gabler, 2001.

335. Witte, E.: Mikroskopie einer unternehmerischen Entscheidung : Bericht aus der empirischen Forschung. In: *IBM Nachrichten*, (139), 1969.

336. Irle, M.: *Lehrbuch der Sozialpsychologie*. Göttingen: Hogrefe, 1975.

337. Böhnisch, W.: Anreize für passiv Innovierende. In: Schanz, G. (Hrsg.): *Handbuch Anreizsysteme*, Stuttgart: C. E. Poeschel Verlag, 1999. S. 705-731.

338. Deutsch, M.; Krauss, R.M.: The effect of threat on interpersonal bargaining. In: *Journal of Abnormal and Social Psychology*, American Psychological Association, 61, 1960. S. 181-189.

339. Brockner, J.; Siegel, P.: Understanding the Interaction Between Procedural and Distributive Justice: The Role of Trust. In: Kramer, R.M. (Hrsg.): *Trust in organizations - frontiers of theory and research*, Thousand Oaks, CA: Sage Publ., 1996. S. 357-389.

340. Gebert, D.: *Führung und Innovation*. Stuttgart: Kohlhammer, 2002.

341. Kahneman, D.: *Attention and effort* (Prentice-Hall series in experimental psychology.). Englewood Cliffs ; [Hemel Hempstead]: Prentice-Hall, 1973.

342. Navon, D.; Gopher, D.: On the economy of the human processing system. In: *Psychological Review*, 86, 1979. S. 214-253.

343. Wickens, C.D.: The structure of attentional ressources. In: Nickerson, R. (Hrsg.): *Attention and performance VIII*, Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1980. S. 239-257.

344. Moray, N.: Where is attention limited? A survey and a model. In: *Acta Psychologica*, 27, 1967. S. 84-92.

345. Young, R.M.: *Human interface aspects of expert systems*. Cambridge: MRC Applied Psychology Unit, 1984.

346. Press, L.: Toward balanced machine-man systems. In: *International Journal of Man-Machine Studies*, Elsevier, 3(1), 1971. S. 61-73.

347. Miller, L.H.; Devillez, G.; Vidal, J.: Adaptive user interfaces for distributed information management. In: Salvendy, G. (Hrsg.): *Human computer interaction*, Amsterdam: Elsevier, 1984. S. 77-81.

348. Croft, W.B.: The role of context and adaptation in user interfaces. In: *International Journal of Man-Machine Studies*, Elsevier, 21(4), 1984. S. 283-292.

349. Norman, D.A.: Stages and levels in human-machine interaction. In: *International Journal of Man-Machine Studies*, Elsevier, 21(4), 1984. S. 365-375.

350. Oppermann, M.: *Entwicklung eines Add-In für das CAD-Programm SpaceClaim* (Wirtschaftswissenschaften II - Angewandte Informatik). Berlin: Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, 2009. Bachelorarbeit, unveröffentlicht.

351. Diercke, D.: *Kontextsensitivität und Dokumentenindividualisierung zur Unterstützung von Schnittstellenprozessen in der verteilten Produktentwicklung* (Wirtschaft- und Management - Industrielle Informationstechnik). Berlin: Technische Universität Berlin, 2009. Studienarbeit, unveröffentlicht.

352. Krause, F.-L.; Hacker, W.; Debitz, U.; Kind, C.; Strebel, M.: Competence Management for the Optimisation of Product Development Processes. In: *CIRP Annals*, Elsevier, 55(1), 2006. S. 135-138.

353. Strebel, M.: *Kompetenzabhängiges Simulationsverfahren zur Optimierung von Produktentwicklungsprozessen*. Stuttgart: IRB-Verlag, 2007.

354. Steger, U.; Amann, W.; Maznevski, M.L.: *Managing complexity in global organizations*. Chichester {[u.a.]: Wiley, 2007.

355. Schreyögg, G.; Noss, C.: Von der Episode zum fortwährenden Prozeß - Wege jenseits der Gleichgewichtslogik im Organisatorischen Wandel. In: Schreyögg, G.; Conrad, P. (Hrsg.): *Organisatorischer Wandel und Transformation*, Wiesbaden: Gabler, 2000. S. 33-62.

356. Gebert, D.: Zwischen Freiheit und Reglementierung - Widersprüchlichkeiten als Motor inkrementalen und transformationalen Wandels in Organisationen. In: Schreyögg, G.; Conrad, P. (Hrsg.): *Organisatorischer Wandel und Transformation*, Wiesbaden: Gabler, 2000. S. 1-32.

357. Lutterbeck, B.; Bärwolff, M.; Gehring, R.A.: *Open Source Jahrbuch 2008 - Zwischen freier Software und Gesellschhaftsmodell*. Berlin: Lehmanns Media, 2008.

358. Anderson, C.: In The Next Industrial Revolution - Atoms Are The New Bits. In: *WIRED*, Condé Nast International Ltd,(2/2010), 2010. S. 77-85.

359. Tucker, M.J.; Schumacher, M.: Moving New Venture New Product Development from Information Push to Pull Using Web 2.0. In: *International Conference on Engineering Design, ICED'09*. Stanford, CA, USA: Bertrams Print on Demand, 2009. S. 287-296.

360. Koch, M.D.; Turner, I.Y.: Towards Open Design: the Emergent Face of Engineering - A Position Paper. In: *International Conference on Engineering Design, ICED'09*. Stanford, CA, USA: Bertrams Print on Demand, 2009. S. 97-108.

361. The 40 Fires Foundation: *The 40 Fires Foundation develops energy-efficient technology using an open source approach*, http://www.40fires.org/, letzter Aufruf: 30.03.2010.

A Anhang

A.1 Online-Fragebogen

CE-Studie * Collaborative Engineering Studie**

Die **verteilte Produktentwicklung** (Collaborative Engineering) ermöglicht die Entwicklung innovativer Produkte unter Beteiligung vieler Fachkräfte an unterschiedlichen Standorten.

Diese Studie befasst sich mit der Frage, wie die **Zusammenarbeit in der verteilten Produktentwicklung** derzeit abläuft und wie sie noch verbessert und reibungsloser gestaltet werden kann.

Bitte nehmen Sie Kontakt mit uns auf, wenn **Fragen oder Schwierigkeiten** im Bezug auf diese Studie auftreten sollten.

Die Anonymität Ihrer Antworten ist gewährleistet.
Eine Kontaktaufnahme, zum Beispiel zur Benachrichtigung über die Ergebnisse der Studie, erfolgt nur auf ausdrücklichen Wunsch. Diesen Wunsch können Sie uns bei Interesse am Ende der Umfrage mitteilen.

Eingangsfragen

*Arbeiten Sie in erster Linie für einen **OEM** oder einen **Zulieferbetrieb**?

- ○ OEM
- ○ Zulieferbetrieb

In welcher **Branche** Sind Sie für Ihr Unternehmen **hauptsächlich** tätig?

- ☐ Automobilindustrie
- ☐ Luft- und Raumfahrtindustrie
- ☐ Anlagenbau
- ☐ Sonstiges:

Wieviele **interne Mitarbeiter** (Führungskräfte eingeschlossen) sind in der **Produktentwicklung** Ihres Unternehmens beschäftigt?

Wieviele **externe Mitarbeiter** sind in der **Produktentwicklung** Ihres Unternehmens beschäftigt?

Welche **Position** besetzen Sie in Ihrem **Unternehmen**?

_____

_____.

*Nehmen Sie eher Aufgaben als **Entwickler** oder Aufgaben als **Manager** wahr?

- Entwickler / Konstrukteur / Berechnungsingenieur
- Manager / Consultant / Administration

Bitte nennen Sie in **Stichpunkten** Ihre **Hauptaufgaben** in der Produktentwicklung.

_____

_____.

Welche konkreten **Probleme** fallen Ihnen beim Stichwort "**verteilte Produktentwicklung**" ein?

_____

_____.

Sie könnten dabei beispielsweise an Kosten, Zeit, Qualität oder psychische Belastung denken.

Regelwerke für Prozess- und Methodenvorgaben

Gibt es in Ihrem Unternehmen ein **Regelwerk** für **Arbeitsprozesse und -methoden** (in der Produktentwicklung)?

	Ja	Nein	Keine Angabe
Regelwerk des **eigenen** Unternehmens	☐	☐	☉
Regelwerk von **anderen** Unternehmen (z.B. OEM) vorgegeben	☐	☐	☉

Geregelt sein könnten dort Benennungsregeln, Entwicklungsprozesse, Produktstruktur, Check-In- und Check-Out-Prozesse, usw.

In **welcher Form** sind diese **Regelwerke** für Prozesse und Methodenen in Ihrem Unternehmen vorhanden? Bitte schätzen Sie jeweils einen **Prozentsatz**.

☐ auf **Papier**
☐ **eingescanntes Papier** (nicht durchsuchbar)
☐ Fließtext in **digitalen Dokumenten** (doc, pdf, rtf, txt, html) (durchsuchbar)
☐ in **Spezialsystemen**
☐ in Form von **Prozessdarstellungen** (grafisch)
☐ **Sonstige**

Relevant sind sowohl eigene Regelwerke, als auch solche, die von anderen Unternehmen vorgegeben wurden.

Beispiel:
"30" wird gewertet als "30 Prozent".

Welche **sonstigen Repräsentationsformen** für Prozesse und Methoden werden in Ihrem Unternehmen verwendet?

○ Folgende:

_____

_____.

○ Keine.
◉ Keine Angabe

Wie lautet die **Bezeichnung** für derartige **Regelwerke** in Ihrem Unternehmen?

_____

_____.

Welcher **Anteil des Wissens** über Produktentwicklungsprozesse liegt in Ihrem Unternehmen **in Form von Dokumentationen oder Prozessbeschreibungen** vor? (**Prozentzahl**)

Welcher Anteil ist also **nicht** ausschließlich "in den Köpfen der Mitarbeiter" gespeichert?

Beispiel:
"20" wird gewertet als "20 Prozent des Wissens über Produktentwicklungsprozesse ist dokumentiert".

Welcher **Anteil des Wissens über Produktentwicklungsprozesse** könnte in Ihrem Unternehmen **bestenfalls** in Form von Dokumentationen und Prozessbeschreibungen gespeichert werden? (**Prozentzahl**)

Beispiel:

"40" wird gewertet als "40 Prozent des Wissens über Produktentwicklungsprozesse könnte **bestenfalls** dokumentiert werden".

Bearbeitung von Prozess- und Methodenvorgaben

Szenario
Bitte lesen Sie die folgende Frage und beantworten Sie **möglichst spontan** ohne Berechnung: **Es herrscht Zeitdruck**. Die zu erledigenden Aufgaben stapeln sich und der Überblick geht langsam verloren. Es müssen **Prioritäten** gesetzt werden. Sie nehmen die Aufgabe zur Hand, die als nächstes abgegeben werden muss. Es ist ein CAD-Modell, das demnächst dem Auftraggeber übersendet werden muss. Sie stellen fest, **dass mehrere Regelvorgaben nicht beachtet** wurden und **korrigiert** werden müssten. Es bleibt aber nur Zeit, **genau einen** Regelverstoß noch **nachträglich zu korrigieren**.

Entscheiden Sie **spontan**, welche Korrekturmaßnahme Sie durchführen und **kreuzen Sie an**.

Die Fälle unterscheiden sich hinsichtlich
- Korrekturaufwand
- Vertragsstrafe wenn nicht korrigiert wird
- Entdeckungswahrscheinlichkeit wenn nicht korrigiert wird.

Folgende 3 Regeln wurden nicht beachtet:

☐ Regel 1
- Korrekturaufwand: 40 Minuten,
- Vertragsstrafe, die durch die Korrektur abgewendet werden kann: 6000 Euro
- der Mangel wird zu 100% entdeckt

☐ Regel 2
- Korrekturaufwand: 90 Minuten,
- Vertragsstrafe, die durch die Korrektur abgewendet werden kann: 13500 Euro
- der Mangel wird zu 100% entdeckt

☐ Regel 3
- Korrekturaufwand: 55 Minuten
- Vertragsstrafe, die durch die Korrektur abgewendet werden kann: 11000 Euro
- der Mangel wird mit 75%iger Wahrscheinlichkeit entdeckt

◉ Keine Angabe

Szenario: Ihre Entwickler stehen vor der im Folgenden beschriebenen Aufgabe. Wie sollten Ihre Entwickler entscheiden?

Bitte lesen Sie die folgende Frage und beantworten Sie **möglichst spontan** ohne Berechnung: **Es herrscht Zeitdruck**. Die zu erledigenden Aufgaben stapeln sich und der Überblick geht langsam verloren. Es müssen **Prioritäten** gesetzt werden. Sie nehmen die Aufgabe zur Hand, die als nächstes abgegeben werden muss. Es ist ein CAD-Modell, das demnächst dem Auftraggeber übersendet werden muss. Sie stellen fest, **dass mehrere Regelvorgaben nicht beachtet** wurden und **korrigiert** werden müssten. Es bleibt aber nur Zeit, **genau einen** Regelverstoß noch **nachträglich zu korrigieren**.

Entscheiden Sie **spontan**, welche Korrekturmaßnahme Sie durchführen und **kreuzen Sie an**.

Die Fälle unterscheiden sich hinsichtlich
- Korrekturaufwand
- Vertragsstrafe wenn nicht korrigiert wird
- Entdeckungswahrscheinlichkeit wenn nicht korrigiert wird.

Folgende 3 Regeln wurden nicht beachtet:

☐ Regel 1
- Korrekturaufwand: **40 Minuten**,
- **Vertragsstrafe**, die durch die Korrektur abgewendet werden kann: **6000 Euro**
- der Mangel wird zu **100% entdeckt**

☐ Regel 2
- Korrekturaufwand: **90 Minuten**,
- **Vertragsstrafe**, die durch die Korrektur abgewendet werden kann: **13500 Euro**
- der Mangel wird zu **100% entdeckt**

☐ Regel 3
- Korrekturaufwand: **55 Minuten**
- **Vertragsstrafe**, die durch die Korrektur abgewendet werden kann: **11000 Euro**
- der Mangel wird mit **75%**iger Wahrscheinlichkeit **entdeckt**

◉ Keine Angabe

Was nehmen Sie an, wie Ihre **Entwickler entschieden hätten**?

○ Regel 1
- Korrekturaufwand: **40 Minuten**,
- **Vertragsstrafe**, die durch die Korrektur abgewendet werden kann: **6000 Euro**
- der Mangel wird zu **100% entdeckt**

○ Regel 2
- Korrekturaufwand: **90 Minuten**,
- **Vertragsstrafe**, die durch die Korrektur abgewendet werden kann: **13500 Euro**
- der Mangel wird zu **100% entdeckt**

○ Regel 3
- Korrekturaufwand: **55 Minuten**
- **Vertragsstrafe**, die durch die Korrektur abgewendet werden kann: **11000 Euro**
- der Mangel wird mit **75%**iger Wahrscheinlichkeit **entdeckt**

◉ Keine Angabe

Was hat Ihre **Entscheidung** zur Korrektur der Regel 1, 2 oder 3 am stärksten **beeinflusst**?

Einflussgrößen:	**Reihenfolge:**
Entdeckungsw ahrscheinlichkeit Höhe der Vertragsstrafe für das Unternehmen Zeitaufw and	1: 2: 3:

Wie groß ist der **Einflus** der **vom OEM** vorgegebene **Prozesse und Methoden** auf den Produktentwicklungsprozess?

- ○ Es gibt **keine Vorgaben** des OEM
- ○ Die Vorgaben des OEM haben nur **geringen Einfluss** auf unsere Prozesse
- ○ Die Vorgaben des OEM haben **spürbaren Einfluss** auf unsere Prozesse
- ○ Die Vorgaben des OEM haben **starken Einfluss** auf unsere Prozesse
- ○ Der **gesamte Produktentwicklungsprozess** ist vom OEM **vorgegeben**
- ◉ Keine Angabe

Welche **Rahmenbedingungen** werden **vom OEM vorgeschrieben**?

- ☐ Datenformate
- ☐ Entwicklungsmethoden
- ☐ Entwicklungswerkzeuge
- ☐ Zertifizierungen
- ☐ Sonstiges: _____

Wie groß ist der **Einfluss** der **vom Unternehmen vorgegebenen** Prozesse und Methoden auf den Produktentwicklungsprozess?

- ○ Es gibt keine Vorgaben
- ○ Die Vorgaben haben nur **geringen Einfluss** auf unsere Prozesse
- ○ Die Vorgaben haben **spürbaren Einfluss** auf unsere Prozesse
- ○ Die Vorgaben haben **starken Einfluss** auf unsere Prozesse
- ○ Der **gesamte Produktentwicklungsprozess** ist **vorgegeben**
- ◉ Keine Angabe

Mit welchem **zusätzlichen Aufwand** ist die Erfüllung der **Prozess- und Methodenvorgaben** verbunden (**Prozent Mehraufwand**)?

Beispiel:

"50" wird gewertet als "50 Prozent Mehraufwand durch die Erfüllung der Prozess- und Methodenvorgaben"

Bereitet die **Umsetzung** der Prozess- und Methodenvorgaben **inhaltlich Schwierigkeiten**?

- ○ **keine** Schwierigkeiten
- ○ **geringe** Schwierigkeiten
- ○ **spürbare** Schwierigkeiten
- ○ **große** Schwierigkeiten
- ○ **sehr große** Schwierigkeiten
- ◉ Keine Angabe

Zu welchem **Zeitpunkt** in der Entwicklungsarbeit sind den Entwickler **alle relevanten Prozess- und Methodenvorgaben bekannt**?

- ○ Bereits **vor Beginn** der Arbeitsaufnahme
- ○ In einer **frühen** Arbeitsphase
- ○ Etwa zur **Mitte** der Bearbeitung
- ○ In einer **späten** Bearbeitungsphase
- ○ **Niemals**. Auch nicht nach Abschluss der Arbeiten.
- ◉ Keine Angabe

Gefragt ist nach dem Zeitpunkt, zu dem der Entwickler die tatsächlichen Inhalte der Prozess- und Methodenvorgaben kennt.

Wie **umfangreich** ist die **Vorgabe** des Produktentwicklungsprozesses **für Zulieferer**?

- ○ Es gibt **keine Vorgaben** für die Zulieferer
- ○ Es gibt **wenig Vorgaben** für die Zulieferer
- ○ Es gibt **eineige Vorgaben** für die Zulieferer
- ○ Es gibt **sehr viele Vorgaben** für die Zulieferer
- ○ Der **gesamte Produktentwicklungsprozess** ist **vorgegeben**
- ◉ Keine Angabe

Welche **Rahmenbedingungen** werden dem **Zulieferer vorgeschrieben**?

- ☐ Datenformate
- ☐ Entwicklungsmethoden
- ☐ Entwicklungswerkzeuge
- ☐ Zertifizierungen
- ☐ Sonstiges:

Wie **filtern** Sie Prozess- und Methodenvorgaben nach **Anwendbarkeit** beim aktuellen Arbeitsgang?

- ☐ **Volltextsuche**
- ☐ **Durchblättern** von Inhaltsverzeichnissen
- ☐ **Kollegen fragen**, welche Methoden relevant sind
- ☐ Abruf der **relevanten Methoden aus dem Gedächtnis** (welche Methode relevant ist)
- ☐ Abruf der **Inhalte** der Methoden **aus dem Gedächtnis** (wie vorzugehen ist)
- ☐ Sonstiges:

Digitale Informationen (Dokumente und Modelle)

Mit welchen **digitalen Informationen** (Dokumente und Modelle) arbeiten Sie?

- ☐ Keine Angabe
- ☐ 3D-CAD
- ☐ 2D-CAD
- ☐ FEM (Finite Elemente Methode)
- ☐ MKS (Mehrkörpersimulation)
- ☐ VR (Virtuelle Realität)
- ☐ AR (Autmented Reality)
- ☐ DMU (Digital Mockup)
- ☐ Clash (Geometrieüberschneidungen)
- ☐ Bounding-Box-Modelle
- ☐ RP (Rapid Prototyping)
- ☐ CAM (Computer Aided Manufacturing)
- ☐ NC (Numerical Control)
- ☐ NVH (Noise-Vibration-Harshness)
- ☐ Ergnonomiemodelle
- ☐ HIL (Hardware in the Loop)
- ☐ CAS (Computer Aided Styling)
- ☐ Workflow-Modelle
- ☐ Dienstleistungs-Modelle
- ☐ RE (Requirements Engineering)
- ☐ CM (Change Management)
- ☐ BOM (Stückliste)
- ☐ PS (Produktstruktur)
- ☐ Produktdokumentation
- ☐ QFD (Quality Function Deployment)
- ☐ CFD (Computational Fluid Dynamics)

- ☐ FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)
- ☐ FTA (Fehlerbaumanalyse)
- ☐ CAE (Computer Aided Engineering)
- ☐ FATIGUE (Materialermüdungsmodell)

Welche **weiteren** in Ihrem Unternehmen verwendeten digitalen Informationsarten (**Dokumente, Modelle**) sind Ihnen **bekannt**?

_____

_____.

Wie hoch **schätzen** Sie die **Gesamtzahl** der unterschiedlichen Informationsarten (**Dokumente, Modelle**) in Ihrem Unternehmen?

☐

Hinweis:
Mehrere CAD-Modelle sind eine Informationsart.

Unterschiedliche Dateiformate sind unterschiedliche Informationsarten.

Welche Aussagen treffen für Sie zu?

	Ja, trifft vollständig zu	Trifft größten-teils zu	Trifft teilweise zu	Trifft ein wenig zu	Nein, trifft nicht zu.	Keine Angabe
Digitale Dokumente und Modelle **meines** Unternehmens sind den **Erstellern** eindeutig zuzuordnen	○	○	○	○	○	◉
Diese **Zuordnung bleibt erhalten**, wenn die Dateien **an andere Unternehmen** (OEM oder Zulieferer) gesendet werden	○	○	○	○	○	◉
Digitale Dokumente und Modelle **anderer** Unternehmen (OEM, Zulieferer) sind den **Unternehmen** eindeutig zuzuordnen	○	○	○	○	○	◉
Digitale Dokumente und Modelle **anderer** Unternehmen (OEM, Zulieferer) sind den **erstellenden Personen** eindeutig zuzuordnen	○	○	○	○	○	◉

Fehler in der Produktentwicklung

Woran **erkennen** Sie, ob einzelne Tätigkeiten in der Entwicklungsphase eine **hohe oder niedrige Fehlerwahrscheinlichkeit** aufweisen?

- ☐ Es gibt keine verwendbaren Indikatoren für die Abschätzung der Fehlerwahrscheinlichkeit
- ☐ Indikatoren sind: _____
- ◉ Keine Angabe

Angenommen es ist ein **Fehler in der Produktentwicklung** entstanden. Ist anzunehmen, dass dieser Fehler bei weiteren Entwicklungen **erneut auftritt**, oder wird jeder Fehler **nur einmal** gemacht?

- ☐ Der Fehler wird **erneut** auftreten
- ☐ Der Fehler wird wahrscheinlich erneut auftreten
- ☐ teils teils
- ☐ Der Fehler wird **wahrscheinlich nicht** erneut auftreten
- ☐ Der Fehler wird **nicht** erneut auftreten
- ◉ Keine Angabe

Bitte schätzen Sie:
Wieviel **Prozent** der in der Produktentwicklung unterlaufenden **Fehler** werden **entdeckt**, bevor Zwischenergebnisse an andere Personen **weitergegeben** werden?

_____

Beispiel:

Während der Produktentwicklung unterlaufen dem Entwickler 100 (auch kleine) Fehler. Davon bleiben 3 Fehler unerkannt und bestehen noch, wenn das Zwischenergebnis weitergegeben wird -->

Eingabe: "97"
Wird gewertet als: "97% der Fehler werden vorab erkannt"

Software in der Produktentwicklung

Kennen Sie **Software** in Ihrem Unternehmen, bei der die Verwendung mancher **Funktionalitäten nicht erlaubt/erwünscht** ist?

Welche Software-Anwendung(en) und welche verbotenen/unerwünschtenFunktionalitäten sind Ihnen bekannt?

☐ Es handelt sich dabei um folgende **Funktionalitäten** in folgenden **Anwendungen**:

_____

_____.

☐ Mir ist derartiges **nicht bekannt**

◉ Keine Angabe

Wie werden **nicht erlaubte / nicht erwünschte Programmfunktionen** in den genannten Anwendungen **behandelt**?

☐ Blockiert

☐ Warnung

☐ Blockiert und Warnung

☐ Nicht Blockiert, keine Warnung

◉ Keine Angabe

Kommt es vor, dass Sie nicht erwünschte / nicht erlaubte Funktionen **trotzdem verwenden**? Was könnten **Gründe** dafür sein?

☐ Nein, ich verwende **niemals** unerwünschte / nicht erlaubte Funktionen

☐ Ja, es **kann vorkommen**, dass ich nicht erwünschte / nicht erlaubte Funktionen benutze. Mögliche Gründe sind:

_____

_____.

☐ Keine Angabe

Kontrollen in der Produktentwicklung (vorletzter Fragenblock)

Bitte wählen Sie, ob die **folgenden Aussagen** für Sie **zutreffen**.

	Ja, trifft vollständig zu	Trifft größten-teils zu	Trifft teilweise zu	Trifft ein wenig zu	Nein, trifft nicht zu.	Keine Angabe
Es ist mir **unangenehm**, wenn **meine** Arbeits**ergebnisse** kontrolliert werden	☐	☐	☐	☐	☐	⊙
Es ist mir **unangenehm**, wenn meine Arbeits**weise** kontrolliert wird	☐	☐	☐	☐	☐	⊙
Es gehört zu **meinen Aufgaben**, Arbeits**ergebnisse Anderer** zu kontrollieren	☐	☐	☐	☐	☐	⊙
Es gehört zu **meinen Aufgaben**, Arbeits**weisen Anderer** zu kontrollieren	☐	☐	☐	☐	☐	⊙
Es ist mir **unangenehm**, Arbeits**ergebnisse Anderer** zu kontrollieren	☐	☐	☐	☐	☐	⊙
Es ist mir **unangenehm**, Arbeits**weisen Anderer** zu kontrollieren	☐	☐	☐	☐	☐	⊙

Organisation (letzter Fragenblock)

Die **verteilte Produktentwicklung** ist mit einer Vielzahl von Tätigkeiten verbunden, die **zur Abstimmung der Beteiligten** erforderlich ist. Darunter fallen beispielsweise

- Prozess- und Methodenvorgaben
- Benennungsregeln
- Einschränkungen im Vorgehen
- Abstimmungsgespräche
- entstehende Wartezeiten
- Nacharbeiten und Korrekturen
- Sprach- und Verständnisbarrieren zwischen Personen, Abteilungen und Unternehmen
- ...

Wieviel **Prozent** Ihrer Zeit bleibt Ihnen für **tatsächliche Entwicklungsaufgaben**? (Prozentzahl)




Beispiel:
"30"
wird gewertet als
"30 Prozent meiner verfügbaren Zeit kann ich tatsächlich für Entwicklungsarbeit verwenden"

Wovon hängt es ab, ob **Budget** für eine gezielte **Verbesserung des Produktentwicklungsprozesses** gewährt wird?

	Ja, trifft vollständig zu	Trifft größten-teils zu	Trifft teilweise zu	Trifft ein wenig zu	Nein, trifft nicht zu.	Keine Angabe
Kapitalmarktzins	☐	☐	☐	☐	☐	◉
Amortisationsdauer	☐	☐	☐	☐	☐	◉
Persönlicher Einfluss/Kontakte des Initiators	☐	☐	☐	☐	☐	◉
Augenscheinliche Attraktivität der Lösung	☐	☐	☐	☐	☐	◉

Wovon hängt es **noch** ab, ob **Budget** für eine **gezielte Verbesserung des Produktentwicklungsprozesses** gewährt wird?

_____

_____.

Bis zu welcher **Amortisationsdauer** werden Investitionen in Verbesserungen des Produktentwicklungsprozesse in Ihrem Unternehmen **akzeptiert**?

Arbeitsunterweisungen sind **gezielte persönliche Gespräche** zur Vermittlung von Wissen und Anweisungen für eine **konkrete Tätigkeit**.
Wie oft finden Arbeitsunterweisungen im Bereich Produktentwicklung statt? (**Stunden pro Monat**)

Wie sehr **trifft** die **folgende Aussage** Ihrer Meinung nach die **Praxis** in der verteilten Produktentwicklung?

Wenn eine Regelung getroffen ist, so ist es die Aufgabe des Mitarbeiters, diese Regelung zu befolgen.
Einer weiteren Begründung für die Regelung bedarf es daher nicht.

	Ja, trifft vollständig zu	Trifft größten-teils zu	Trifft teilweise zu	Trifft ein wenig zu	Nein, trifft nicht zu.	Keine Angabe
Für Regeln, die aus dem **eigenen** Unternehmen kommen:	☐	☐	☐	☐	☐	◉
Für Regeln, die von **anderen** Unternehmen (z.B. OEM) kommen:	☐	☐	☐	☐	☐	◉

In der Produktentwicklung erfolgt vielfach die **Weitergabe von Zwischenergebnissen** an weitere (**unternehmensinterne**) Bearbeiter.

Wie sehr **treffen** folgende Aussagen auf Sie persönlich **zu**?

	Ja, trifft vollständig zu	Trifft größten-teils zu	Trifft teilweise zu	Trifft ein wenig zu	Nein, trifft nicht zu.	Keine Angabe
Mir sind **alle Personen** bekannt, die mit meinen Arbeitsergebnissen weiterarbeiten werden	☐	☐	☐	☐	☐	☉
Mir ist bekannt, wer jeweils der **Vorgesetzte** dieser Personen ist (die mit meinen Arbeits-ergebnissen weiterarbeiten)	☐	☐	☐	☐	☐	☉
Mir ist bekannt, welche Personen die **Vorarbeiten** erstellt haben, mit denen ich weiterarbeite.	☐	☐	☐	☐	☐	☉
Mir ist bekannt, wer jeweils der **Vorgesetzte** dieser Personen ist (mit deren Vorarbeiten ich weiterarbeite)	☐	☐	☐	☐	☐	☉
Mir ist bekannt, wer **verantwortlich** ist für die **Vorgaben** zu Entwicklungs-methoden und Prozessen	☐	☐	☐	☐	☐	☉
Mir ist bekannt, wen ich zu **inhaltlichen Fragen** bei der Erfüllung der Vorgaben zu Entwicklungsmethoden und -prozessen kontaktieren kann	☐	☐	☐	☐	☐	☉

In der Produktentwicklung erfolgt vielfach die **Weitergabe von Zwischenergebnissen** an weitere (**unternehmensexterne**) Bearbeiter.

Wie sehr **treffen** folgende Aussagen auf Sie persönlich **zu**?

	Ja, trifft vollständig zu	Trifft größten-teils zu	Trifft teilweise zu	Trifft ein wenig zu	Nein, trifft nicht zu.	Keine Angabe
Mir sind **alle Personen** bekannt, die mit meinen Arbeitsergebnissen weiterarbeiten werden	☐	☐	☐	☐	☐	◉
Mir ist bekannt, wer jeweils der **Vorgesetzte** dieser Personen ist (die mit meinen Arbeits-ergebnissen weiterarbeiten)	☐	☐	☐	☐	☐	◉
Mir ist bekannt, welche Personen die **Vorarbeiten** erstellt haben, mit denen ich weiterarbeite.	☐	☐	☐	☐	☐	◉
Mir ist bekannt, wer jeweils der **Vorgesetzte** dieser Personen ist (mit deren Vorarbeiten ich weiterarbeite)	☐	☐	☐	☐	☐	◉
Mir ist bekannt, wer **verantwortlich** ist für die **Vorgaben** zu Entwicklungs-methoden und Prozessen	☐	☐	☐	☐	☐	◉
Mir ist bekannt, wen ich zu **inhaltlichen Fragen** bei der Erfüllung der Vorgaben zu Entwicklungsmethoden und -prozessen kontaktieren kann	☐	☐	☐	☐	☐	◉

Abschluss

Ihre E-Mail Adresse wird **nicht** an Dritte weitergegeben und ausschließlich in dem Rahmen verwendet, dem Sie ausdrücklich zustimmen.

E-Mail Adresse

Wie dürfen wir Ihre **E-Mail** Adresse **verwenden**?

- ☐ Informieren Sie mich über die **Ergebnisse** der Studie
- ☐ **Zuordnung** meiner Antworten zu meinem **Unternehmen** (aus der Mail-Adresse)
- ☐ **Zuordnung** meiner Antworten zu meiner **Person**
- ☐ Informieren Sie mich über **weitere Studien**
- ☐ Kontaktieren Sie mich für **Rückfragen** zum Thema der Studie

Wollen Sie diese Studie weiteren Personen **empfehlen**, die teilnehmen oder Interesse an den **Ergebnissen** haben könnten (**E-Mail-Adresse**)?

Haben Sie **weitere Kommentare**?

_____

_____.