

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik am  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)

**Methode zur Reifebewertung und Priorisierung von Aufgaben in der  
Serienreifmachung komplexer Produkte**

**Tobias Steinhäuser**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen  
Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh

Prüfer der Dissertation:

1. Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

2. Prof. Dr.-Ing. Jan Aurich

Die Dissertation wurde am 12.07.2018 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 24.12.2018 angenommen.



## Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung, denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozess spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb* Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.

*Gunther Reinhart*

*Michael Zäh*



## Vorwort

*„Wir sehen die Dinge nicht, wie sie sind. Wir sehen sie so, wie wir sind.“*

– Anaïs Nin

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Arbeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh, den Leitern dieses Instituts, für ihre stets großzügige Unterstützung und Förderung. Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart bedanke ich mich darüber hinaus für die wohlwollende und konstruktive Betreuung meiner Arbeit sowie bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission. Weiterhin gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Jan C. Aurich, dem Leiter des Fachgebiets Fertigungstechnik und Betriebsorganisation der Technischen Universität Kaiserslautern, für die Übernahme des Koreferats und die aufmerksame Durchsicht meiner Arbeit.

Bei der MAN Truck & Bus AG, insbesondere bei Herrn Dr.-Ing. Jörg Grams, bedanke ich mich herzlich für die Förderung meines Dissertationsvorhabens und die Freiräume bei der Gestaltung des konzeptionellen Rahmens der Arbeit.

Wesentlicher Erfolgsfaktor bei der Erstellung einer ingenieurwissenschaftlichen Dissertation ist die Anleitung in fachlichen und persönlichen Belangen durch wohlwollende und erfahrene Kollegen. Dabei danke ich besonders meinen *iwb*-Kollegen Matthias Glonegger, Jan-Fabian Meis, Sebastian Schindler, Ulrich Teschemacher, Christopher Lock und Christan Plehn, die mir, jeder auf seine Weise und in bestimmter Hinsicht, ein Vorbild waren und sind. Den drei letztgenannten danke ich außerdem für die gründliche Durchsicht meiner Arbeit und ihre wertvollen Hinweise. Auch meinen Studenten, die ich während der Erstellung ihrer Studienarbeiten anleiten durfte, bin ich zu großem Dank verpflichtet. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit entstanden viele Ideen oder wurden dort weiterentwickelt. Diejenigen Studenten, deren Ergebnisse maßgeblich zum Erfolg der vorliegenden Arbeit beigetragen haben, sind in Anhang A.3 aufgeführt.

---

Bereits vor meiner Promotionszeit hatte ich das große Glück, auf viele inspirierende Menschen zu treffen, die mich gefördert und in meiner Entwicklung geprägt haben. Der Grundstein für meine Lust am Lernen und die Faszination für technische Fragestellungen wurde durch meine hervorragenden Lehrer gelegt, für die stellvertretend Herr Rainer Schmidt, Herr Horst Schaller und Herr Mathias Seifert stehen. Der Fürsprache meiner Studienarbeitsbetreuer Maik Holle und Fatos Elezi verdanke ich eine großartige Zeit als Gaststudent an der University of California at Berkeley, während der ich ein weltweites Netzwerk von Freunden aufbauen durfte. Meine Forschung dort und insbesondere die vielen Diskussionen mit Professorin Iris Tommelein zu den Themen Lean Thinking und Managementkybernetik verbleiben in lebhafter Erinnerung und stellen nicht selten die Reflexionsbasis meiner beruflichen Erfahrungen dar.

Mein Weg und damit letztendlich auch diese Arbeit wäre ohne Familie und Freunde nicht möglich gewesen. Meinen Eltern Manfred und Christiane danke ich dafür, dass sie mich immer bestärkt und unterstützt haben, meiner Schwester Sophia für ihre Anregungen bei der Erstellung des Fragebogens. Mit Simon, Philipp, Raphaela, Eva, Adrian und Josi teile ich viele schöne Erinnerungen an Schule, Sport und Hofer Wirtshäuser. Meine amerikanische Gastfamilie Mindy, Ed, Rob und Andy hat mich bei sich aufgenommen und mir eine andere Perspektive auf das tägliche Leben gegeben. Meine Studienfreunde Florian, Alexander, Tobias, Philipp, Moritz, Markus, Lenika, Johanna, Thomas, Philine, Valentin, Frank, Beatrice, Christin, Felix, Xavier, Katty und Hendrik waren mir Mitbewohner, Diskussionspartner, Schachgegner, Trainer und Trainingspartner, Reisebegleiter, Ausgehfreunde und Nachhausebringer. Ich verdanke Euch eine grandiose Studienzeit.

Liebe Claudia, Du warst stets für mich da und hast durch Deine Unterstützung, Deine unbekümmerte Art und Deine positive Einstellung wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Ich freue mich auf unsere gemeinsame Zukunft und widme Dir diese Arbeit.

München, im Januar 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Alwin', written in a cursive style.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>XI</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>XIII</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>XV</b>
<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>XVII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation . . . . .	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit . . . . .	4
1.3 Definition wesentlicher Begriffe und Eingrenzung des Betrachtungs- bereichs . . . . .	5
1.3.1 Inhaltsübersicht . . . . .	5
1.3.2 Begriffsdefinitionen . . . . .	5
1.3.3 Eingrenzung des Betrachtungsrahmens . . . . .	12
1.4 Wissenschaftstheoretische Einordnung und Forschungsmethodik . . . . .	14
1.5 Aufbau der Arbeit . . . . .	17
<b>2 Die Serienreifmachung als Teil des Produktentstehungsprozesses</b>	<b>19</b>
2.1 Inhaltsübersicht . . . . .	19
2.2 Der Produktentstehungsprozess . . . . .	19
2.3 Aufgaben zur Erreichung der Serienreife . . . . .	22
2.3.1 Produktbezogene Aufgaben . . . . .	23

2.3.2	Produktionsbezogene Aufgaben . . . . .	25
2.3.3	Projekt- und organisationsbezogene Aufgaben . . . . .	29
2.4	Herausforderungen in der Serienreifmachung . . . . .	31
<b>3</b>	<b>Anforderungen an Ansätze zur Bewertung der Serienreife und Ansätze zur Priorisierung von Aufgaben</b>	<b>35</b>
3.1	Übergeordnete Anforderungen in der anwendungsnahen Forschung . . .	35
3.2	Operationalisierung der übergeordneten Anforderungen . . . . .	36
3.2.1	Anforderungen an Ansätze zur Bewertung der Serienreife . . .	36
3.2.2	Anforderungen an Ansätze zur Priorisierung von Aufgaben . . .	37
3.2.3	Anforderungen an Bewertungs- und Priorisierungsansätze . . .	39
3.3	Metrik zur Bewertung der Anforderungserfüllung . . . . .	41
<b>4</b>	<b>Stand der Wissenschaft und Technik</b>	<b>43</b>
4.1	Inhaltsübersicht . . . . .	43
4.2	Bewertung der Serienreife . . . . .	43
4.2.1	Einfluss der Messmethode auf das Bewertungsergebnis . . . . .	43
4.2.2	Ansätze zur Reifebewertung aus dem Projektmanagement . . . . .	44
4.2.3	Spezielle Ansätze zur Bewertung der Serienreife . . . . .	49
4.2.4	Bewertung der Serienreife – Resümee . . . . .	57
4.3	Priorisierung von Aufgaben im Produktentstehungsprozess . . . . .	58
4.3.1	Allgemeines . . . . .	58
4.3.2	Ansätze zur Priorisierung von Aufgaben aus dem Projektmanagement . . . . .	59
4.3.3	Spezielle Ansätze zur Priorisierung von Aufgaben in der Serienreifmachung . . . . .	62
4.3.4	Priorisierung von Aufgaben – Resümee . . . . .	68
4.4	Resultierender Handlungsbedarf . . . . .	71



<b>5</b>	<b>Modell zur Bewertung der Serienreife und Priorisierung von Aufgaben</b>	<b>73</b>
5.1	Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung . . . . .	73
5.2	Aufbau der Modellierungsebenen, des Reifeverständnisses und der Aufgabenbeschreibung . . . . .	74
5.3	Teilmodell 1: Modell der Produktstruktur . . . . .	76
5.4	Teilmodell 2: Merkmale serienreifer Produktkomponenten . . . . .	76
5.4.1	Inhaltsübersicht . . . . .	76
5.4.2	Serienreifemerkmale von Produktkomponenten . . . . .	77
5.4.3	Validierung der Serienreifemerkmale . . . . .	82
5.5	Teilmodell 3: Aufgaben in der Serienreifmachung . . . . .	85
5.6	Teilmodell 4: Reifemodell Produktkomponenten . . . . .	88
5.7	Teilmodell 5: Reifemodell Produkt . . . . .	90
5.8	Sichtenübergreifendes Gesamtmodell der Serienreifmachung . . . . .	92
5.9	Validierung des Gesamtmodells . . . . .	94
<b>6</b>	<b>Methode zur Bewertung der Serienreife und Priorisierung von Aufgaben</b>	<b>95</b>
6.1	Inhaltsübersicht . . . . .	95
6.2	Schritt 1: Aufgaben operationalisieren . . . . .	96
6.3	Schritt 2: Daten zur Berechnung der Serienreife erheben . . . . .	98
6.3.1	Schritt 2.1: Bestimmung der Erfüllungswahrscheinlichkeit von Serienreife-Merkmalen . . . . .	98
6.3.2	Schritt 2.2: Nacharbeitskosten ermitteln . . . . .	103
6.4	Schritt 3: Serienreife berechnen . . . . .	107
6.4.1	Schritt 3.1: Berechnung der Serienreife von Produktkomponenten	107
6.4.2	Schritt 3.2: Berechnung der Serienreife des Produkts . . . . .	108
6.5	Schritt 4: Zielzustand der Serienreife bestimmen . . . . .	110
6.6	Schritt 5: Aufgaben priorisieren . . . . .	112

<b>7</b>	<b>Anwendung der Methode</b>	<b>115</b>
7.1	Inhaltsübersicht . . . . .	115
7.2	Implementierung als Software-Prototyp . . . . .	115
7.2.1	Vorgehen bei der Software-Entwicklung . . . . .	115
7.2.2	Funktionsumfang des Software-Prototyps . . . . .	116
7.3	Anwendungsbeispiele . . . . .	119
7.3.1	Anwendungsfall 1: Serienreifmachung eines neuen Bus- Hinterachssegments . . . . .	120
7.3.2	Anwendungsfall 2: Serienreifmachung eines neuen Bus-Dachs .	125
7.4	Bewertung der entwickelten Methode . . . . .	127
7.4.1	Richtigkeit der Ergebnisse . . . . .	127
7.4.2	Anwendbarkeit im industriellen Kontext . . . . .	130
7.4.3	Wirtschaftlichkeit . . . . .	131
7.4.4	Allgemeingültigkeit . . . . .	133
7.5	Grenzen und Risiken des Methodeneinsatzes . . . . .	134
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>135</b>
8.1	Zusammenfassung . . . . .	135
8.2	Ausblick . . . . .	137
	<b>Literatur</b>	<b>139</b>
	<b>Anhang</b>	<b>167</b>
A.1	Fragebogen zur Validierung der Serienreife-Merkmale . . . . .	167
A.2	Anwendungsbeispiele - Ergänzende Informationen . . . . .	173
A.3	Betreute Studienarbeiten . . . . .	178

## Abbildungsverzeichnis

1.1	Gemessene und tatsächliche Reife (qualitativer Verlauf) . . . . .	3
1.2	Produktstruktur und -komponenten . . . . .	8
1.3	Entstehung von Produktionsvarianz . . . . .	10
1.4	Entscheidungssituationen . . . . .	12
1.5	Wissenschaftstheoretische Einordnung . . . . .	15
1.6	Forschungsmethodik . . . . .	16
1.7	Aufbau der Arbeit . . . . .	18
2.1	Der Produktentstehungsprozess (PEP) . . . . .	20
2.2	Aufgaben während der Serienreifmachung . . . . .	23
2.3	Aufbau eines SE-Teams . . . . .	30
2.4	Verschleppung von Änderungen im PEP westlicher Unternehmen . . . . .	31
4.1	Vorgehen zur Reifebewertung . . . . .	44
4.2	Meilensteintrendanalyse . . . . .	46
4.3	Earned-Value-Analysis . . . . .	47
4.4	Reifegradsystematik nach VDA . . . . .	50
4.5	Ampellogik . . . . .	50
4.6	Dimensionen der Serienreifegradmessung . . . . .	53
4.7	Präferenzmatrix . . . . .	60
4.8	Binäre Priorisierung . . . . .	61
4.9	Raster zur Identifikation kritischer Aktivitäten . . . . .	64
4.10	Anlaufreifekritizität nach NAGEL . . . . .	66
5.1	Aufbau der Modellierungsebenen . . . . .	75
5.2	Modell der Produktstruktur . . . . .	76
5.3	Erfahrungshintergründe befragter Experten . . . . .	82
5.4	Zeitliche Entwicklung von Reifemerkmalen . . . . .	85
5.5	Übergangsgraph der Merkmalszustände . . . . .	88

5.6	Reifestufen von Produktkomponenten . . . . .	88
5.7	Reifeentwicklung des Produkts im Produktentstehungsprozess (PEP) . . . . .	92
5.8	Gesamtmodell der Serienreifmachung . . . . .	93
6.1	Übersicht über die entwickelte Methode . . . . .	95
6.2	Erhebung von Erfüllungswahrscheinlichkeiten . . . . .	102
6.3	Vorgehen bei einer Regressionsanalyse . . . . .	104
6.4	Darstellung der Produktserienreife . . . . .	110
7.1	Scrum-Vorgehensweise . . . . .	116
7.2	Implementierung der hierarchischen Produktgliederung . . . . .	118
7.3	Implementierung der Aufgabenpriorisierung . . . . .	119
7.4	PEP-Fortschritt der Anwendungsbeispiele . . . . .	120
7.5	Erhobene Erfüllungswahrscheinlichkeiten . . . . .	122
7.6	Erhobene Nacharbeitszeiten in Anwendungsfall 1 . . . . .	123
7.7	Erhobene Nacharbeitszeiten in Anwendungsfall 2 . . . . .	126
7.8	Ex post Betrachtung der erzielten Ergebnisse . . . . .	129

## Tabellenverzeichnis

3.1	Operationalisierung der übergeordneten Anforderungen . . . . .	40
3.2	Metrik zur Bewertung der operationalisierten Anforderungen . . . . .	41
3.3	Beispielhafte Anwendung der Bewertungsmethode . . . . .	41
4.1	Zielklassen und Anzahl beschreibender Kennzahlen nach RENNER . . .	52
4.2	Stufen der Serienreife von Bauteilen nach WANGENHEIM . . . . .	54
4.3	Reifekategorien auf Komponentenebene . . . . .	55
4.4	Vergleich von Ansätzen zur Bewertung der Serienreife . . . . .	58
4.5	Vergleich von Ansätzen zur Priorisierung von Aufgaben . . . . .	70
4.6	Handlungsbedarf der vorliegenden Arbeit und Herausforderungen in der Serienreifmachung . . . . .	72
5.1	Ergebnisse der Expertenbefragung . . . . .	84
5.2	Ergebnisse der Validierung des Modells der Serienreifmachung . . . . .	94
6.1	Vorlage zur Operationalisierung von Aufgaben . . . . .	97
6.2	Vierfeldertafel . . . . .	99
6.3	Einflussgrößen auf die Nacharbeitsdauer von Komponenten . . . . .	105
7.1	Finanzielle Aufwände der Methodenanwendung . . . . .	132
7.2	Bewertung der entwickelten Methode anhand der Anwendungserfah- rungen . . . . .	133
A.1	Kriterien zur Erfüllung der Werkstattfähigkeits-Merkmale . . . . .	173
A.2	Kriterien zur Erfüllung der Serienfähigkeits-Merkmale . . . . .	174
A.3	Ergebnis der Operationalisierung von Aufgaben . . . . .	175
A.4	Ermittelte Fehler, sortiert nach analysierten Projekten . . . . .	177
A.5	Betreute Studienarbeiten . . . . .	178



## Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
CAD	Computer Aided Design
CSV	Comma-separated values
DR	Design-Review
EWK	Ergebniswirksamkeit
EVA	Earned-Value-Analysis
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
GOM	Grundlagen ordnungsgemäßer Modellierung
IT	Informationstechnik
KPI	Key-Performance-Indicator
LMM	Leitmerkmal-Methode
MAN	Man Truck & Bus AG
MoSCoW	Must-Should-Could-Won't
MS	Microsoft
MTA	Meilenstein-Trend-Analyse
MTM	Methods-Time Measurement
NPV	Negative Predictive Value bzw. negativer Vorhersagewert
OLS	Ordinary Least Squares
PEP	Produktentstehungsprozess
PS	Produktionssystem
PSC	Project-Scorecard
PT	Personentage
QFD	Quality Function Deployment
RACI	Responsible / Accountable / Consult / Inform
ROI	Return on Investment
SE	Simultaneous Engineering
SOP	Start of Production
SvZ	System vorbestimmter Zeiten
UML	Unified Modelling Language

## Abkürzungsverzeichnis

---

VDA	Verband der Automobilindustrie
VR	Virtual Reality
VMI	Verantwortung-Mitarbeit-Information
W	Woche
WIS	Werker-Informationssystem



## Symbolverzeichnis

### Lateinische Symbole

$A$	Aufgabe
$a$	Anzahl nicht montierbarer Komponenten
$a_{max}$	Maximale Anzahl nicht montierbarer Komponenten bei SOP
$a_s$	Hilfsvariable
$C_{pk}$	Process Capability Index
$\mathbb{D}$	Definitionsbereich
$DB_P$	Deckungsbeitrag eines Produktionsprogramms $P$ pro Zeiteinheit
$E_P$	Erlös aus dem Verkauf eines Produkts $P$
$EG_i$	Einflussgröße $i$
$ES$	Relative Einsparung in einem betrachteten Zeitraum
$EWK_A$	Ergebniswirksamkeit einer Aufgabe $A$
$\vec{e}_x$	Einheitsvektor
$f_n$	Anzahl falsch-negativer Fälle
$f_p$	Anzahl falsch-positiver Fälle
$h$	Hilfsvariable
$h_{NK}$	Stundensatz zur Berechnung der Nacharbeitskosten
$i$	Laufvariable
$j$	Laufvariable
$K_i$	Komponente $i$ eines Produkts
$k_s$	Hilfsvariable
$K_{v,P}$	Variable Kosten des Produkts $P$ (exklusive Nacharbeitskosten)
$KE$	Eingesetztes Kapital
$M$	Anzahl verfügbarer Datensätze
$m$	Anzahl der Komponenten, aus denen ein Produkt besteht
$M_{j,K_i}$	Serienreifemerkmale $j$ der Komponente $K_i$
$N$	Mindestgröße einer Stichprobe für eine Regressionsanalyse
$n$	Anzahl Komponenten, für die ein bestimmtes Merkmal erzeugt wurde

$n_{EG}$	Anzahl Einflussgrößen
$n_{erf, pf}$	Anzahl der Komponenten, bei denen das Vorhandensein eines bestimmten Merkmals durch praxisferne Absicherung bestätigt wurde
$n_{erf, pn}$	Anzahl der Komponenten, bei denen das Vorhandensein eines bestimmten Merkmals durch praxisnahe Absicherung bestätigt wurde
$n_{K_i, P}$	Anzahl der Fälle, in denen $K_i$ im betrachteten Produktionsprogramm pro Zeiteinheit (z. B. pro Schicht) verbaut werden muss
$NK_P$	Nacharbeitskosten des Produkts
$NK_{K_i}$	Nacharbeitskosten der Komponente $K_i$
$nk$	Höhe der Nacharbeitskosten, die aufgrund von $K_i$ eintreten können. Es gilt $nk \in \{0, NK_{K_i}\}$
$NK_{max}$	Maximal zulässige Nacharbeitskosten des Produkts bei SOP
$P(\bar{E})$	Prävalenz einer Grundgesamtheit
$P(M_{j, K_i})_A$	Erfüllungswahrscheinlichkeit des Merkmals $j$ von Komponente $K_i$ nach Durchführung der Aufgabe $A$
$P(M_{j, K_i})$	Wahrscheinlichkeit, dass Serienreifemerkmal $j$ der Komponente $K_i$ erfüllt ist
$P(T^+ \bar{E})$	Sensitivität eines diagnostischen Tests
$P(T^- \bar{E})$	Spezifität eines diagnostischen Tests
$P_{\beta_i}$	P-Wert des Regressionskoeffizienten $\beta_i$
$\hat{p}_n$	Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses bei $n$ Beobachtungen
$P_{nach}(NK_P)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für die Nacharbeitskosten des Produkts
$P_{nach}^*(NK_P)$	Diskrete Näherungsfunktion für $P_{nach}(NK_P)$
$p_{nach, K_i}(nk)$	Abbildung der Wahrscheinlichkeit, dass die Komponente $K_i$ Nacharbeitskosten von $nk$ erzeugt, als diskrete Funktion
$P_{nmont, K_i}$	Wahrscheinlichkeit, dass Komponente $K_i$ nicht montierbar ist
$p_{nmont, K_i}(x)$	Abbildung der Wahrscheinlichkeit, dass $K_i$ nicht montierbar ist, als diskrete Funktion
$P_{nmont}(a)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Anzahl nicht montierbarer Komponenten
$P_{nmont}^*(a)$	Diskrete Näherungsfunktion von $P_{nmont}(a)$
$P_{ser, K_i}$	Wahrscheinlichkeit, dass Komponente $K_i$ serienfähig ist
$P_{werk, K_i}$	Wahrscheinlichkeit, dass Komponente $K_i$ werkstattfähig ist
$P_{zus, A}$	Zusätzliche Sicherheit, die bei Durchführung einer Aufgabe $A$ erreicht werden kann

---

<b>R</b>	Komponenten-Reifematrix
$R^2$	Bestimmtheitsmaß eines Regressionsmodells
$R_{adj}^2$	Adjustiertes Bestimmtheitsmaß eines Regressionsmodells
$\vec{R}_{K_i}$	Reifevektor der Komponente $K_i$
$r_n$	Anzahl richtig-negativer Fälle
$r_p$	Anzahl richtig-positiver Fälle
$s$	Laufvariable
$s_{max}$	Maximale Anzahl an Simulationsdurchläufen
$T_A$	Statische Amortisationszeit
$T_{K_i}$	Zeitdauer, die für die Nacharbeit von $K_i$ aufgebracht werden muss
$Var(Y)$	Varianz der Größe $Y$
$x$	Anzahl der Komponenten, die aufgrund von $K_i$ nicht montierbar sind. Es gilt $x \in \{0, 1\}$
$\bar{Y}$	Mittelwert von $M$ Datensätzen
$Y_i$	Erfasster Wert der Zielgröße bei Beobachtung $i$
$\hat{Y}_i$	Mit Regressionsfunktion berechneter Wert der Zielgröße
$z$	Zufallszahl

### Griechische Symbole

$\alpha$	Testniveau
$\alpha_a$	Konfidenzniveau für $a_{max}$
$\alpha_k$	Konfidenzniveau für $k_{max}$
$\beta_i$	Regressionskoeffizient der $i$ -ten Einflussgröße
$\epsilon$	Abweichung der Größe $\hat{p}_n$ von $\pi$ bei $n$ Beobachtungen
$\pi$	Tatsächliche oder angenommene Eintrittswahrscheinlichkeit des betrachteten Ereignisses
$\sigma$	Standardabweichung



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Produzierende Unternehmen sehen sich heute vielerorts mit gesättigten Märkten konfrontiert (WIENDAHL ET AL. 2004, S. 9). Folge dieser Entwicklung sind hochdifferenzierte Kundenwünsche (LINDEMANN ET AL. 2006, S. 1) und verschärfter Wettbewerb (BRACHT ET AL. 2009, S. 1). Unternehmen reagieren auf diese Entwicklung zum einen mit einer Individualisierung ihrer Produkte (REINHART & ZÄH 2013, S. V), was häufig zu einem Anstieg der Variantenvielfalt in der Produktion führt<sup>1</sup>. Zum anderen muss eine gesteigerte Anzahl an Produktionsanläufen bewältigt werden, da Produkte in immer kürzer werdenden Zeitabständen auf den Markt gebracht werden (ABELE & REINHART 2011, S. 5 ff.)

Vor diesem Hintergrund ist die ohnehin zeit- und ressourcenintensive Phase der Produktionsplanung und -vorbereitung zu einer noch anspruchsvolleren Herausforderung geworden. Unter Zeitdruck bearbeiten unterschiedliche Funktionsbereiche eines Unternehmens eine Vielzahl von Aufgaben und legen dabei einen erheblichen Teil der späteren Produktionskosten fest (LOTTER & WIENDAHL 2012, S. 5 ff.). Entsprechend sind Planungsfehler und übersehene Probleme während der Serienreife<sup>2</sup> vor Produktionsstart (engl. Start of Production, SOP) besonders kritisch und können den wirtschaftlichen Erfolg eines Produkts ernsthaft gefährden. Internationale Studien aus den Jahren 2003 bzw. 2004 legen nahe, dass solche Situationen in der Praxis keine Seltenheit sind. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass 60 % (FITZEK & STRAUBE 2005, S. 1 ff.) bzw. 67 % (ROLAND BERGER STRATEGY CONSULTANTS 2003, S. 21) der

---

<sup>1</sup> Das Ausmaß der Variantenvielfalt zeigt sich beispielsweise in der Automobilindustrie. Einer Untersuchung von SCHLOTT (2005, S. 38) zufolge wurden auf 1,1 Millionen Fahrzeuge lediglich zwei vollständig identische produziert.

<sup>2</sup> Diskussion und Definition der Begriffe *Serienreife* und *Serienreife* finden sich in Abschnitt 1.3.2. Teilweise wird der Begriff *Produktionsentwicklung* als Synonym für *Serienreife* verwendet (vgl. bspw. VIELHABER & STOFFELS 2014).

Serienanläufe die gesetzten technischen und/oder wirtschaftlichen Ziele verfehlen. Auch wenn neuere, quantitative Untersuchungen fehlen, weisen unterschiedliche Forschungsarbeiten darauf hin, dass diese Problematik nach wie vor besteht (vgl. bspw. SCHOLZ-REITER ET AL. 2010, S. 323; NEUMANN 2015, S. 70 ff.; STADLER 2016, S. 76 ff.).

Ein Erklärungsansatz für diese Situation ist, dass Planungsfehler bzw. Probleme während der Serienreifmachung entweder nicht, oder zu spät als solche erkannt werden. Dieser Mangel an Transparenz ist insbesondere in der frühen Phase der Produktentstehung darauf zurückzuführen, dass die zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Entwicklungsstände in wesentlichen Merkmalen nicht den späteren Serienlösungen entsprechen (VERWORN 2005, S. 165 f.). Mangelnde Transparenz in den späten Phasen der Produktentstehung resultiert hingegen häufig aus der Komplexität der Aufgaben (GARTZEN 2012, S. 129), einem hohen Maß an Interdisziplinarität (EVERSHEIM ET AL. 1997, S. 329) sowie nicht ausreichender Zusammenarbeit zwischen internen und externen Organisationseinheiten (MINDERHOUD & FRASER 2005, S. 128). Dieser Transparenzmangel wird als eines der Haupthindernisse für eine erfolgreiche Serienreifmachung in der Praxis angesehen (vgl. bspw. KUHN ET AL. 2002, S. 18 ff., ROMBERG & HAAS 2005, S. 21 oder FRANZKOCH & GOTTSCHALK 2008, S. 60). Intransparenz während der Serienreifmachung hat zur Folge, dass nur ein Teil der bestehenden Informationen in die Reifemessung eingehen und somit die tatsächliche Reife von Produkt und Produktionsprozess vor SOP nicht mehr exakt bestimmt werden kann, sondern mit Unsicherheit<sup>3</sup> behaftet ist.

Zusätzlich zu dieser Unsicherheit aufgrund *mangelnder Informationsverfügbarkeit* kommt Unsicherheit durch *mangelnde Informationserfassung*. Diese tritt auf, wenn das Verfahren zur Messung der Reife nicht alle relevanten Aspekte berücksichtigt und Probleme in angrenzenden Bereichen entsprechend übersehen werden. Bei der Informationserfassung kommt erschwerend hinzu, dass Produktkomponenten und Produktionsprozessschritte in der Praxis häufig einen hohen Vernetzungsgrad aufweisen. Die damit verbundene, wechselseitige Beeinflussung (CLARKSON ET AL. 2004, S. 1) kann dazu führen, dass sich Probleme bezüglich einzelner Komponenten oder Produktionsprozessschritte erst durch deren Zusammenspiel ergeben (GARTZEN 2012, S. 42). Darüber hinaus werden viele Messverfahren nicht kontinuierlich, sondern zyklisch angewendet und können die Entwicklung der Produkt- und Prozessreife zwischen zwei

---

<sup>3</sup> Eine Definition des Begriffs Unsicherheit erfolgt im Rahmen von Abschnitt 1.3.2.

Messungen nur unzureichend abbilden (RISSE 2003, S. 281 f.). Aufgrund der schwierigen Quantifizierbarkeit der genannten Unsicherheiten werden diese gegenwärtig bei der Bewertung der Serienreife neu entwickelter Produkte kaum betrachtet. Eine Nichtbeachtung dieser Unsicherheiten birgt dabei die Gefahr, dass die gemessene Reife signifikant von der tatsächlichen Reife abweicht. Ist die tatsächliche Reife bei Start of Production (SOP) zu gering, besteht das Risiko, die technischen und / oder wirtschaftlichen Ziele im Serienanlauf zu verfehlen (vgl. Abbildung 1.1).

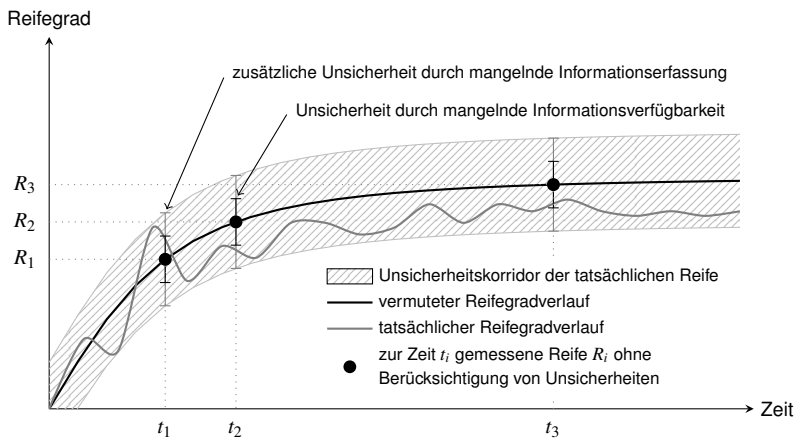


Abbildung 1.1: Beispielhafter, qualitativer Verlauf von gemessener und tatsächlicher Reife

Eng verknüpft mit der erreichten Qualität der Reifemessung ist die erreichbare Qualität bei der Planung und Priorisierung von Aufgaben während der Serienreifmachung, da diese auf Basis der gemessenen Reife erfolgt. Aufgrund der Tatsache, dass die Priorisierung von Aufgaben maßgeblichen Einfluss auf den Erfolg der Serienreifmachung hat (NAGEL 2011, S. 237), ist auch aus dieser Perspektive eine Erfassung der Unsicherheit bei der Reifemessung und Transparenz bezüglich der anfallenden Aufgaben erstrebenswert. Darüber hinaus eröffnet eine Quantifizierung der mit einer gemessenen Reife verknüpften Unsicherheit alternative Möglichkeiten bei der Priorisierung von Aufgaben. Diese kann dann nicht nur hinsichtlich einer Erhöhung der Reife, sondern auch mit dem Ziel erfolgen, eine definierte Reife mit einer bestimmten Sicherheit zu erreichen.

Vor diesem Hintergrund werden für die vorliegende Arbeit drei forschungsleitende Fragen abgeleitet:

Wie lässt sich die Serienreife unter Berücksichtigung von Unsicherheit, die aus mangelnder Informationsverfügbarkeit sowie aus mangelnder Informationserfassung resultiert, messen?

Wie lassen sich die Aufgaben zur Erreichung der Serienreife eines Produkts systematisieren, sodass bei Vorliegen von komplexen Produkten und interdisziplinärer Zusammenarbeit Transparenz bezüglich der noch zu erledigenden Aufgaben erzeugt werden kann?

Wie kann entschieden werden, welche Aufgaben zu priorisieren sind, um mit einer bestimmten Sicherheit eine bestimmte Reife zu erreichen und so die Grundlage für einen erfolgreichen Serienanlauf zu schaffen?

### 1.2 Zielsetzung der Arbeit

Ein wesentliches Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, produzierende Unternehmen bei der Bewertung der Serienreife komplexer Produkte methodisch zu unterstützen. Dabei steht insbesondere eine Quantifizierung der Unsicherheit bei der Reifemessung im Fokus der Betrachtung. Diese ermöglicht die Erhebung der Reife unter Angabe einer bestimmten Sicherheit und kann so als Instrument dienen, die Chancen eines erfolgreichen Serienanlaufs vorab einzuschätzen.

In diesem Kontext stellt sich darüber hinaus die Frage, welche Aufgaben im Falle einer zu geringen bzw. unter großer Unsicherheit ermittelten Reife durchzuführen sind. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist daher die Entwicklung eines Verfahrens, welches die Ermittlung geeigneter Aufgaben situativ ermöglicht. Für ein solches Priorisierungsverfahren ist dabei zunächst Transparenz hinsichtlich der erledigten und offenen Aufgaben während der Serienreifmachung zu schaffen.

Die zur Erreichung der beschriebenen Ziele zu entwickelnden Methoden sind so zu gestalten, dass sie in der industriellen Praxis wirtschaftlich angewendet werden können. Das bedeutet, ein möglichst günstiges Verhältnis von Aufwand und Nutzen zu schaffen, was beispielsweise durch softwaretechnische Unterstützung für automatisierbare Schritte unterstützt werden kann. Auf diesem Weg dienen die im Rahmen von Abschnitt 1.1 formulierten Fragen als Orientierungshilfe.



## 1.3 Definition wesentlicher Begriffe und Eingrenzung des Betrachtungsbereichs

### 1.3.1 Inhaltsübersicht

Für ein einheitliches Verständnis der Inhalte dieser Arbeit ist es unabdingbar, die wesentlichen Begriffe vorab zu definieren. Daher werden im Folgenden die in der Fachliteratur zum Teil unterschiedlich verwendeten Begriffe *Merkmal*, *Serienreife*, *Produktkomponente*, *Variantenvielfalt* sowie *Aufgabe* erläutert und Definitionen vorgestellt.

### 1.3.2 Begriffsdefinitionen

#### 1.3.2.1 Merkmal

Für die folgenden Definitionen sowie die in Kapitel 5 und 6 angestellten Überlegungen stellt der Merkmalsbegriff eine wesentliche Grundlage dar, weswegen er gesondert eingeführt wird. Unter einem *Merkmal* im Sinne der vorliegenden Arbeit wird eine Eigenschaft eines Objekts verstanden, welche unterschiedliche Ausprägungen aufweisen kann. Anhand der Ausprägung der Eigenschaft kann ein Betrachter zudem das Objekt in Hinblick auf einen bestimmten Aspekt von weiteren, gleichartigen Objekten unterscheiden. Es handelt sich bei einem Merkmal entsprechend um eine kennzeichnende Eigenschaft, welche inhärent oder zugeordnet und qualitativer oder quantitativer Natur sein kann. Darüber hinaus lassen sich Merkmale in unterschiedliche Klassen einteilen, beispielsweise physikalische, sensorische, verhaltens- oder zeitbezogene Merkmale. Von einem *Qualitätsmerkmal* spricht man, wenn es sich um eine inhärente, kennzeichnende Eigenschaft eines Objekts handelt, welche sich auf eine Anforderung an das Objekt bezieht. Eine dem Objekt zugeordnete Eigenschaft, beispielsweise dessen Marktpreis, ist demnach kein Qualitätsmerkmal (in Anlehnung an DIN EN ISO 9000, S. 52 f.).

---

**Definition:** Ein Merkmal beschreibt eine kennzeichnende Eigenschaft eines Objekts, welche inhärent oder zugeordnet und qualitativer oder quantitativer Natur sein kann (DIN EN ISO 9000, S. 52).

---

### 1.3.2.2 Serienreife

Der Begriff *Reife* bzw. *Fertigstellungswert* beschreibt allgemein den „Wert (z. B. geleistete Arbeit), der sich bei der Abwicklung eines Projekts zu einem bestimmten Stichtag ergibt und für Vorgänge, Arbeitspakete oder ein Projekt ermittelt werden kann“ (DIN 69901-5). Die Bestimmung der Reife erfolgt in der Regel anhand von definierten, zeitabhängigen Merkmalen, sog. *Reifeindikatoren* (WEINZIERL 2006, S. 44). Zur Messung von Reifeindikatoren werden meist Kennzahlen verwendet, die quantifizierbar, spezifisch für jeden Reifeindikator und unabhängig voneinander sind. Zudem ist erforderlich, dass sie als Anteil eines definierten Zielwerts dargestellt werden können (PFEIFER-SILBERBACH 2005, S. 61). Die Reife wird häufig anhand eines *Reifegrads* quantifiziert. Der Reifegrad beschreibt dabei den Ausprägungsgrad einer Sammlung zeitabhängiger Merkmale zu einem bestimmten Zeitpunkt, bezogen auf die Anforderungen, die zu diesem Zeitpunkt an die jeweiligen Merkmale gestellt werden (HELLING 2007, S. 50). Gemäß der in Abschnitt 1.3.2.1 getroffenen Definition entspricht das dem momentanen Ausprägungsgrad definierter Qualitätsmerkmale.

*Serienreife* wird in der Literatur unterschiedlich definiert. Nach WISSLER (2006, S. 28) ist die Serienreife eines Produkts dann erreicht, wenn es den Anforderungen bezüglich Funktion, Kosten, Gewicht, Herstellbarkeit, Zuverlässigkeit, Service, Dokumentation und Recycling genügt. WANGENHEIM (1998, S. 123) und TÜCKS (2010, S. 35 f.) hingegen beziehen ihre Definition der Serienreife auf die Dimensionen Produkt, Prozess und Kapazität. Demzufolge ist ein Produkt serienreif, wenn es in Form und Funktion den Kundenanforderungen entspricht sowie in ausreichender Qualität und Quantität hergestellt werden kann. NEUMANN (2015, S. 18) und WIENDAHL ET AL. (2004, S. 10) führen die Herstellkosten als weiteres Kriterium für die Serienreife eines Produkts auf: kann keine wirtschaftliche Produktion realisiert werden, ist keine Serienreife gegeben. GENTNER (1994) hingegen beschränkt sich in seiner Definition ausschließlich auf die Herstellbarkeit eines Produkts, indem er Serienreife als die „geschätzte Reife [eines Prototyps] in Bezug auf eine unmodifizierte Übernahme in die Serienproduktion“ (GENTNER 1994, S. 90) auffasst. Bei dieser Betrachtung kann die Serienreife quantifiziert werden als der Anteil serienwerkzeugfallender<sup>4</sup> Teile, bezogen auf die

---

<sup>4</sup> Als serienwerkzeugfallende Teile werden Bauteile bezeichnet, die bereits mit den späteren Serienwerkzeugen produziert werden. Nicht-serienwerkzeugfallende Teile werden hingegen auf Kleinserienwerkzeugen produziert, die oftmals nicht die geforderte Qualität erzeugen können (MARTENS 2008, S. 115).

Gesamtteilezahl eines Prototyps.

In Bezug auf die zu betrachtende Problemstellung wird unter dem Begriff *Serienreife* die Eignung eines Produkts hinsichtlich seiner Produzierbarkeit im dafür vorgesehenen Produktionssystem (PS)<sup>5</sup> verstanden, welches die Teilbereiche Fertigung und Montage umfasst (WARNECKE 1995, S. 1 f.). Es soll folgende Definition gelten:

---

**Definition:** Die Serienreife eines Produkts ist erreicht, wenn es im dafür vorgesehenem Produktionssystem in vorab definierter Qualität, zu vorab definierten Herstellkosten und in einer vorab bestimmten Zeit wiederholbar produziert werden kann (in Anlehnung an STEINHÄUSSER & REINHART 2015).

---

#### 1.3.2.3 Produktkomponente

Produkte bestehen in der Regel aus mehreren Komponenten. Bei einer Komponente kann es sich entweder um ein *Bauteil* bzw. *Einzelteil* oder um eine *Baugruppe* handeln<sup>6</sup>. Ein Bauteil ist ein physischer Bestandteil eines Produkts, das eine oder mehrere Funktionen erfüllt und mittels definierter Schnittstellen mit anderen Bauteilen oder Baugruppen verbunden ist. Gemäß DIN 6789-6 handelt es sich bei einem Bauteil um einen Gegenstand, der nicht zerstörungsfrei zerlegt werden kann. Im Gegensatz dazu ist eine Baugruppe eine vormontierte Einheit, bestehend aus mehreren Einzelteilen (K. ULRICH 1995). In der wissenschaftlichen Literatur wird synonym zum Begriff *Baugruppe* oftmals der Begriff *Produktmodul* verwendet (vgl. FUJITA & YOSHIDA 2004 bzw. KRIKKE ET AL. 2003), wobei hier der Gedanke der Austauschbarkeit einzelner Module zur Erzeugung variantenreicher Produkte im Vordergrund steht (FUJITA ET AL. 1999).

Die Anordnung der Produktkomponenten sowie deren Beziehungen zueinander werden mittels einer *Produktstruktur*<sup>7</sup> beschrieben. Abhängig vom Zweck der Modellierung

---

<sup>5</sup> Der Begriff *Produktionssystem* wird in der wissenschaftlichen Literatur auf unterschiedlichen Aggregations-ebenen verwendet. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Produktionssystem in Anlehnung an KUHN ET AL. (2002, S. 9) als Zusammenspiel der Ressourcen Betriebsmittel, Fläche, Personal, Material und Information in einer Produktionslinie aufgefasst.

<sup>6</sup> Eine Betrachtung immaterieller Produkte bzw. Dienstleistungen, wie beispielsweise Software, erfolgt im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht.

<sup>7</sup> Anstelle von *Produktstruktur* wird auch von *Erzeugnisgliederung* (DIN 199-1) bzw. *Erzeugnisstruktur* (VDI 2215) gesprochen.

kann die Produktstruktur nach unterschiedlichen Kriterien aufgebaut sein, was auch Auswirkungen auf die Bildung von Komponenten haben kann. Während im Zuge der Entwicklung eines Produkts häufig konstruktionsorientierte Erzeugnisstrukturen herangezogen werden, verwendet die Montage zusammenbauorientierte Erzeugnisgliederungen (WIENDAHL 2009, S. 139 ff.). Konstruktionsorientierte Erzeugnisstrukturen unterscheiden Komponenten nach Funktion und sind insbesondere im Rahmen der Produktentwicklung hilfreich. Vorteil von zusammenbau- bzw. montageorientierten Erzeugnisstrukturen ist hingegen, dass sie eine Steuerung des Montageprozesses ermöglichen (VDI 2215). Abbildung 1.2 zeigt die beschriebenen Zusammenhänge. Für die vorliegende Arbeit soll folgendes Verständnis gelten:

---

**Definition:** Eine Produktkomponente beschreibt einen Teil eines Produkts, der in der Montage als eine Einheit verbaut wird. Eine geeignete Zusammenstellung aller Produktkomponenten findet sich in einer montageorientierten Erzeugnisstruktur.

---

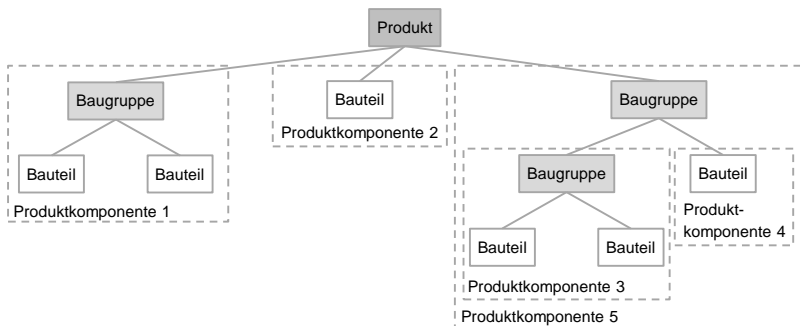


Abbildung 1.2: Produktkomponenten als Teil der Produktstruktur (in Anlehnung an LÖFFLER 2011, S. 101 und PFEIFER-SILBERBACH 2005, S. 45 f.)

### 1.3.2.4 Variantenvielfalt

Unter einer *Variante* versteht man „Gegenstände ähnlicher Form und /oder Funktion mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Gruppen oder Teile“ (DIN EN ISO 10209). LINGNAU (1994, S. 24) präzisiert diese Definition zusätzlich durch die Feststellung, dass Bauteile in Bezug auf mindestens eines der Merkmale Geometrie, Material oder Technologie Ähnlichkeiten aufweisen müssen, um als Varianten voneinander betrachtet

werden zu können. Vor diesem Hintergrund kann der Begriff der Variantenvielfalt oder *Varietät der Produktvarianten* als Anzahl und Grad der Unterschiedlichkeit (Varianz) der in einer durch verschiedene Merkmale charakterisierten Produktart enthaltenen Produktvarianten beschrieben werden (BUCHHOLZ 2012, S. 24). Da es jedoch kaum möglich ist zu definieren, ab wann Ähnlichkeit gegeben ist, ist eine exakte quantitative Bestimmung der Variantenanzahl und -vielfalt schwierig. So kommen BRÄUTIGAM & HAUPT (2004, S. 73) zu dem Schluss, dass Variantenbildung stets abhängig vom Beobachter und damit nicht global quantifizierbar ist.

WIEHENDAHL & GERST (2004, S. 7) adressieren diese Problematik, indem sie Kunde und Produktion als unterschiedliche Beobachter abgrenzen und entsprechend zwei Arten von Variantenvielfalt unterscheiden. Während die äußere Variantenvielfalt die für den Kunden wahrnehmbare Vielfalt (*Produktvielfalt*) beschreibt, stellt die innere Variantenvielfalt (*Produktionsvielfalt*) ein Maß für die in der Produktion auftretende Anzahl und Varianz unterschiedlicher Produktkomponenten dar. Maßgeblicher Treiber der Produktionsvielfalt ist dabei die Produktvielfalt (DAABOUL ET AL. 2011, S. 169 f.), wobei stets eine hohe Produktvielfalt bei geringer Produktionsvielfalt anzustreben ist.

Wie in Abbildung 1.3 dargestellt, unterscheidet LINGNAU (1994, S. 26 f.) bezüglich der Produktvarianz technische und strukturelle Varianten. Technische Varianten sind konstruktionsbedingt und umfassen Unterschiede in Geometrie, Material oder Technologie. Strukturvarianten hingegen entstehen durch die Zuordnung unterschiedlicher Komponenten und werden daher im Gegensatz zu technischen Varianten nicht in der Fertigung, sondern in der Montage erzeugt. Strukturvarianten können dabei entweder alternativen Charakter aufweisen, wenn zwischen zwei Optionen entschieden werden muss („Muss-Varianten“), oder additiver Natur sein, wenn sie optional hinzugefügt werden können („Kann-Varianten“). Sowohl technische als auch strukturelle Produktvarianten sind Treiber der Produktionsvarianz. Für die vorliegende Arbeit soll nachfolgende Definition gelten.

---

**Definition:** Variantenvielfalt beschreibt die Anzahl der aus Sicht des Produktionsprozesses unterschiedlichen Komponenten (in Anlehnung an WIEHENDAHL ET AL. 2004, S. 7). Entsprechend wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit lediglich die innere Variantenvielfalt betrachtet.

---

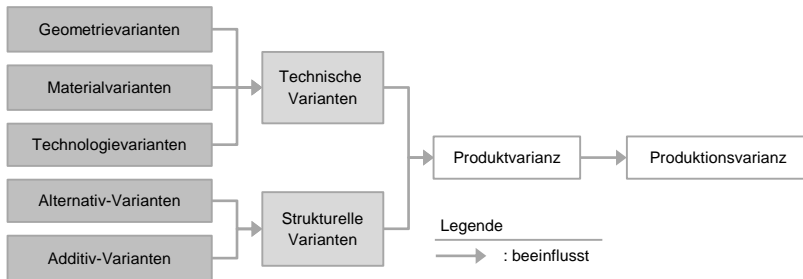


Abbildung 1.3: Entstehung von Produktionsvarianz (in Anlehnung an LINGNAU 1994, S. 26)

### 1.3.2.5 Aufgabe

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Priorisierung von Aufgaben (vgl. Abschnitt 1.2), weshalb zunächst eine Definition des Begriffs *Aufgabe* erfolgt. Im Kontext der Aufbauorganisation beschreibt eine Aufgabe eine „dauerhaft wirksame Aufforderung, etwas zu tun“ (MANGLER 2010, S. 20). Um eine Aufgabe zu beschreiben, ist zum einen festzulegen *was zu tun ist* (Verrichtungsvorgang) sowie zum anderen *woran etwas zu tun ist* (Arbeitsobjekt).

Damit eine Aufgabe in der betrieblichen Praxis ausgeführt werden kann, ist in Anlehnung an KOSIOL (1962, S. 43 f.) und MANGLER (2010, S. 24 f.) zudem festzulegen, durch wen die Aufgabe realisiert werden soll (Aufgabenträger<sup>8</sup>) sowie mit welchen Betriebsmitteln die Aufgabe zu erledigen ist (Arbeitsträger). Zudem sind zeitliche Aspekte (wann, wie lange und wie häufig die Aufgabe ausgeführt wird) sowie örtliche Aspekte (wo wird die Aufgabe ausgeführt) zu bestimmen. Die Begriffe *Aktivität* und *Tätigkeit* werden synonym zu *Aufgabe* gebraucht. Für Aufgaben im Sinne dieser Arbeit liegt das nachfolgend beschriebene Verständnis zugrunde:

---

**Definition:** Eine Aufgabe ist definiert als die Kombination aus einem Verrichtungsvorgang und zugehörigem Arbeitsobjekt. Zur Aufgabendurchführung sind zudem Aufgaben- und Arbeitsträger sowie zeitliche und örtliche Aspekte festzulegen.

---

<sup>8</sup> Aufgabenträger kann entweder eine konkrete Person, eine Kombination aus Mensch und Maschine oder eine Organisationseinheit im Unternehmen sein (MANGLER 2010, S. 24).

### 1.3.2.6 Unsicherheit und Risiko

Während der Serienreifmachung treten eine Vielzahl von *Unsicherheiten* auf (KOUF-TEROS ET AL. 2010, S. 54 f.). Unsicherheit wird in der Betriebswissenschaft häufig im Zusammenhang mit Entscheidungssituationen diskutiert (vgl. bspw. KREBS 2012, S. 18 ff.), weshalb auch im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein entsprechender Ansatz gewählt wird. Nach LAUX (2003, S. 22 f.) lassen sich grundsätzlich drei unterschiedliche Entscheidungssituationen beschreiben (vgl. Abbildung 1.4):

*Entscheidung unter Sicherheit:* In diesem Fall ist dem Entscheidenden<sup>9</sup> bekannt, welcher Zustand bei der Wahl jeder zur Auswahl stehenden Alternative eintreten wird.

*Entscheidung unter Unsicherheit im engeren Sinne (i. e. S.):* Sind dem Entscheidenden lediglich mögliche Zustände bekannt, die durch Wahl einer Alternative eintreten können, jedoch nicht deren Eintrittswahrscheinlichkeiten, erfolgt die Entscheidung unter Unsicherheit im engeren Sinne<sup>10</sup>.

*Entscheidung unter Risiko:* Bei Entscheidung unter Risiko ist der Entscheidende in der Lage, den denkbaren Zuständen Eintrittswahrscheinlichkeiten zuzuordnen. Eine Entscheidung unter Risiko stellt ebenfalls eine Entscheidung unter Unsicherheit dar.

Unsicherheit ist außerdem vom Begriff der *Unschärfe* abzugrenzen, wobei dieser in der Literatur unterschiedlich angewandt wird (FORTE 2002, S. 73). In der Regel beschreibt *Unschärfe* eine Unbestimmtheit, die auf eine linguistisch unvollständige Beschreibung der Entscheidungssituation zurückzuführen ist (SCHNEEWEISS 1991, S. 37 ff.).

---

**Definition:** Eine Unsicherheitssituation liegt vor, wenn der Entscheidende angeben kann, zu welchen unterschiedlichen Ergebnissen (bzw. Konsequenzen) die erwogenen Alternativen führen können. Sind zudem die Eintrittswahrscheinlichkeiten aller denkbaren Ergebnisse bekannt, handelt es sich um eine *Risikosituation*.

---

<sup>9</sup> Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beiderlei Geschlecht.

<sup>10</sup> Teilweise wird dieser Fall als *Entscheidung unter Ungewissheit* (vgl. bspw. FORTE 2002, S. 73) oder *Entscheidung unter Unwägbarkeiten* bezeichnet.

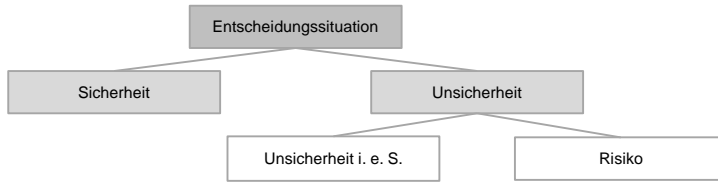


Abbildung 1.4: Denkbare Entscheidungssituationen (in Anlehnung an LAUX 2003, S. 23)

## 1.3.3 Eingrenzung des Betrachtungsrahmens

### 1.3.3.1 Serienreifmachung komplexer Produkte

Fokus der vorliegenden Arbeit ist die Serienreifmachung *komplexer* Produkte. Welche Kriterien ein Produkt erfüllen muss, damit es als komplex gilt, ist nicht einheitlich definiert (SCHUH 2014, S. 4). Vielmehr wird der Komplexitätsbegriff abhängig vom vorliegenden Anwendungsfall aus unterschiedlichen Perspektiven beschrieben<sup>11</sup>. EHRLENSPIEL (2007, S. 35 f.) befasst sich explizit mit der Komplexität eines technischen Systems, welche hauptsächlich von Anzahl und Unterschiedlichkeit der Systemelemente sowie deren Relationen abhängig ist. Diese Interpretation des Komplexitätsbegriffs ermöglicht eine objektive Messung der Komplexität, zumindest in der Theorie. Praktisch gestaltet sich insbesondere die Erfassung aller Beziehungen der Komponenten untereinander als schwer realisierbar und findet daher kaum statt. Von der Komplexität eines Systems ist dessen *Kompliziertheit* abzugrenzen, welche die subjektive Schwierigkeit einer Person im Umgang mit dem betrachteten System beschreibt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit gelten Produkte in Anlehnung an SNOWDEN & BOONE (2007, S. 2 ff.) als *komplex*, wenn Anzahl und Unterschiedlichkeit der Produktkomponenten und deren Relationen sowie der Umfang des beteiligten Expertenkreises eine Vorhersage künftiger Entwicklungen (bspw. Anzahl und Schwere auftretender Probleme im Anlauf) praktisch unmöglich machen.

---

<sup>11</sup> Eine detaillierte Vorstellung existierender Definitionen übersteigt den Rahmen der vorliegenden Arbeit. Eine ausführliche Beschreibung unterschiedlicher Perspektiven findet sich bspw. bei MAURER (2007).



### 1.3.3.2 Unsicherheit während der Serienreifmachung

Die während der Serienreifmachung auftretenden Unsicherheiten können externe Ursachen haben, also von außen auf den Prozess zur Erreichung der Serienreife einwirken, oder aus prozessinternen Entwicklungen resultieren. Exemplarisch für externe Ursachen sind Änderungen der Kundenwünsche, der Marktsituation oder politischen Rahmenbedingungen. Diese sind stetem Wandel unterlegen (OGAWA & PILLER 2006, S. 65), was zu schwer vorhersehbaren Entwicklungen führen kann. Gleichzeitig treten Unsicherheiten infolge der Handlungen der an der Serienreifmachung beteiligten Personen auf. Dazu gehören insbesondere Unsicherheiten durch mangelnde Informationserfassung sowie mangelnde Informationsverfügbarkeit (vgl. Abschnitt 1.1).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden Unsicherheiten betrachtet, die aus den Entwicklungen der Serienreifmachung an sich resultieren, also prozessinterne Ursachen haben. Zudem werden lediglich Unsicherheiten betrachtet, die sich als Risiko quantifizieren lassen, um bei der Priorisierung von Aufgaben auf eine quantitative Entscheidungsgrundlage aufbauen zu können.

### 1.3.3.3 Serienreifmachung für Fließmontagesysteme

Bei der Montage industrieller Produkte kommen, abhängig von Stückzahlen und Produkteigenschaften, unterschiedliche Organisationsformen zum Einsatz<sup>12</sup>. Primäres Unterscheidungskriterium ist die Bewegung des Montageobjekts (EVERSHEIM 1989a, S. 175). Ist das Montageobjekt unbewegt, spricht man von stationärer Montage. Diese kann als *Baustellenmontage* oder als *Gruppenmontage* ausgeführt sein. Während bei der Baustellenmontage Montageort und Montagepersonal stationär bleiben, bleibt bei der Gruppenmontage lediglich das Montageobjekt stationär, während das Montagepersonal nach einem vorgegebenen Ablaufplan von Montageobjekt zu Montageobjekt wechselt (LOTTER 2012, S. 147). Instationäre Montagesysteme können als *Reihenmontagesysteme* oder *Fließmontagesysteme* ausgeführt werden. Werden bewegte Objekte ohne zeitliche Verkettung sequenziell an stationären Arbeitsplätzen montiert, spricht man von

---

<sup>12</sup> Eine detaillierte Beschreibung möglicher Organisationsformen findet sich bspw. bei PRÖPSTER (2015).

*Reihenmontage*. Besteht zusätzlich eine zeitliche Verkettung, liegt ein *Fließmontagesystem*<sup>13</sup> vor. Fließmontagesysteme erfordern eine detaillierte Aufteilung der Arbeitsinhalte auf einzelne Arbeitsplätze sowie deren strenge zeitliche Abstimmung (SCHUH 2007, S. 132). Fließmontagesysteme finden insbesondere bei der Montage komplexer Produkte in hohen Stückzahlen Anwendung (PRASCH 2010, S. 69), weshalb sie im Automobil- und Nutzfahrzeugsektor die bevorzugte Montageorganisationsform darstellen (BOYSEN 2007, S. 11).

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Serienreifmachung für *Fließmontagesysteme* betrachtet, da komplexe Produkte in hohen Stückzahlen meist mittels solcher Systeme produziert werden. Es erfolgt keine Betrachtung von Fertigungssystemen.

### 1.4 Wissenschaftstheoretische Einordnung und Forschungsmethodik

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, Unternehmen bei der Bewertung der Serienreife komplexer Produkte sowie bei der Priorisierung von Aufgaben methodisch zu unterstützen (vgl. Abschnitt 1.2). Zur Auswahl einer geeigneten Forschungsmethodik, um dieses Ziel zu erreichen, soll zunächst eine wissenschaftstheoretische Einordnung erfolgen. Gemäß P. ULRICH & HILL (1976, S. 305) wird die Entwicklung eines Entscheidungsmodells bzw. -prozesses zur Analyse menschlicher Handlungsalternativen den *angewandten Wissenschaften*<sup>14</sup> zugeordnet. Von den angewandten Wissenschaften sind die *Grundlagenwissenschaften* zu unterscheiden, welche die Erklärung von Ausschnitten der Wirklichkeit zum Ziel haben und im Gegensatz zum praxisorientierten Streben der angewandten Wissenschaften den theoretischen Erkenntnisgewinn in den Vordergrund stellen. Grundlagen- sowie angewandte Wissenschaften werden unter dem Begriff *Realwissenschaften* subsumiert und damit abgegrenzt von den *Formalwissenschaften* (bspw. Mathematik, Logik oder Philosophie), welche auf die Konstruktion von Zeichensystemen und Regeln zu deren Verwendung abzielen (vgl. Abbildung 1.5).

---

<sup>13</sup> Fließmontagesysteme können weiter in *taktgebundene Fließmontagesysteme* und Systeme, die nach dem *One-Piece-Flow Prinzip* organisiert sind, unterschieden werden. Während eine taktgebundene Fließmontage durch bewegte Montageobjekte und stationäre Zuordnung des Montagepersonals gekennzeichnet ist, bewegt sich beim One-Piece-Flow das Montagepersonal mit dem Montageobjekt (LOTTER 2012, S. 152 f.).

<sup>14</sup> Synonym zu *angewandte Wissenschaften* wird auch der Begriff *Handlungswissenschaften* (P. ULRICH & HILL 1976, S. 305) oder *anwendungsnahe bzw. anwendungsorientierte Forschung* gebraucht.

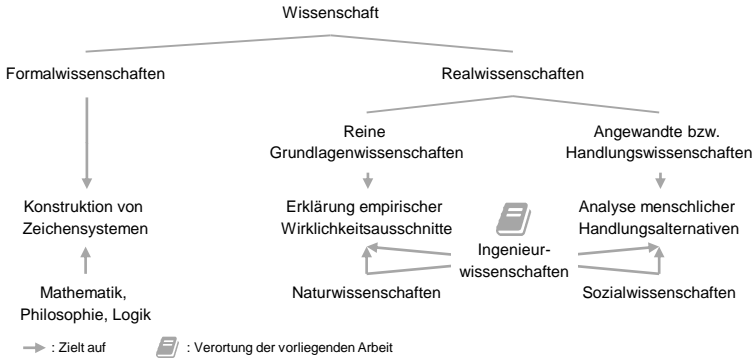


Abbildung 1.5: Wissenschaftstheoretische Einordnung der vorliegenden Arbeit (in Anlehnung an P. ULRICH & HILL 1976, S. 305)

Aufgrund ihrer Vielfältigkeit lässt sich die ingenieurwissenschaftliche Forschung innerhalb der Realwissenschaften nicht eindeutig zuordnen, vielmehr werden sowohl Themen aus dem Bereich der Grundlagenforschung als auch anwendungsorientierte Fragestellungen behandelt. Innerhalb einzelner ingenieurwissenschaftlicher Forschungsprojekte finden sich zumeist ebenfalls Aspekte beider Disziplinen, wie auch in der vorliegenden Arbeit: Vordergründiges Ziel ist die Analyse menschlicher Handlungsalternativen, wozu jedoch teilweise zunächst die Erklärung empirischer Wirklichkeitsausschnitte und damit die Entwicklung theoretischer Erklärungsmodelle erforderlich ist.

Die Ableitung einer für diesen Kontext geeigneten Forschungsmethodik kann aus den Merkmalen anwendungsorientierter Forschung erfolgen, welche nachfolgend beschrieben sind (vgl. H. ULRICH 1982, S. 3 f.).

*Praktischer Ursprung des betrachteten Problems:* Probleme in der Grundlagenforschung entstehen aus der Wissenschaft selbst, da sie im Zusammenhang mit Widersprüchen und Weiterentwicklungen von Theorien entdeckt werden. In der anwendungsorientierten Forschung hingegen entstehen Probleme aus der Praxis.

*Interdisziplinarität der Forschung:* Die Beweggründe für menschliches Handeln sind meist vielschichtig und daher in ihrer Gesamtheit kaum zu erfassen. Deshalb entzieht sich das Problem einer eindeutigen Klassifikation, wie dies im Bereich der Grundlagenwissenschaften (bspw. in physikalische oder chemische Probleme) möglich ist, sobald der Faktor Mensch im betrachteten Kontext eine Rolle spielt.

Entsprechend sind Erkenntnisse und Methoden aus unterschiedlichen Forschungsbereichen zu berücksichtigen.

*Präskriptiver Charakter der Forschung:* Während im Bereich der Grundlagenforschung bestehende Wirklichkeiten beobachtet und durch geeignete Theorien erklärt werden (deskriptive Forschung), zielt anwendungsorientierte Forschung auf die Entwicklung von Handlungsalternativen (präskriptive Forschung).

*Praktischer Nutzen der Forschung:* Aus den bereits beschriebenen Merkmalen anwendungsorientierter Forschung folgt, dass sich deren Erfolg an dem für die Praxis geschaffenen Nutzen bemisst. Die Grundlagenforschung hingegen orientiert sich an der Wahrheit wissenschaftlicher Aussagen.

*Forschungsleitende Nutzenkriterien:* Der für die Praxis geschaffene Nutzen kann nur durch eine Bewertung ermittelt werden. Entsprechend sind geeignete Bewertungskriterien zu entwickeln, welche als Anforderungen an die spätere Lösung eine Orientierungshilfe während des Forschungsprozesses darstellen.

Unter Berücksichtigung der genannten Merkmale wird in Anlehnung an PLEHN (2017, S. 18 f.) und H. ULRICH (1982, S. 3 f.) das in Abbildung 1.6 dargestellte Vorgehen angewendet.

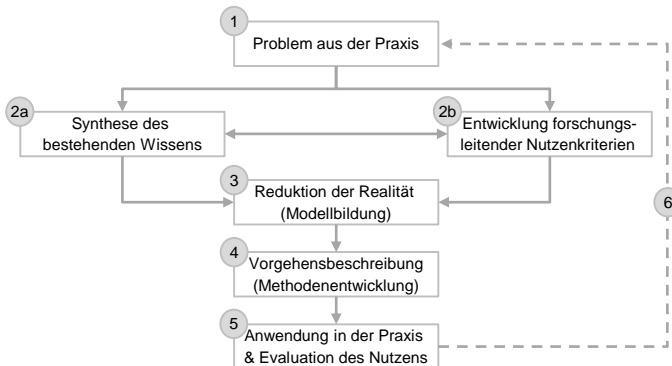


Abbildung 1.6: Im Rahmen der vorliegenden Arbeit angewandte Forschungsmethodik (in Anlehnung an PLEHN 2017, S. 18 f. und H. ULRICH 1982, S. 3 f.)

Erster Schritt des Forschungsprozesses ist die Identifikation eines in der Praxis vorliegenden Problems und dessen Beschreibung. Darauf aufbauend erfolgt die Anreicherung

und Zusammenführung des in diesem Kontext vorhandenen Wissens, wobei zwei Aspekte im Vordergrund stehen. Zum einen gilt es, weitere Belege für die praktische Relevanz der identifizierten Problemstellung zu finden. Zum anderen werden Konzepte, Modelle und Methoden, die zur Lösung ähnlich gelagerter Themen beschrieben sind, analysiert und mit Fokus auf deren Stärken und Schwächen in Bezug auf die vorliegende Problemstellung zusammengestellt. Im Zuge der dafür erforderlichen Literaturrecherche ist insbesondere auf die Interdisziplinarität praktischer Problemstellungen Rücksicht zu nehmen. Parallel dazu erfolgt die Entwicklung von forschungsleitenden Nutzenkriterien, welche als Anforderungen an eine Lösung des Problems formuliert werden. Die Synthese des bestehenden Wissens sowie die Entwicklung forschungsleitender Nutzenkriterien beeinflussen einander gegenseitig und erfolgen daher parallel und iterativ. Sobald die in den Schritten 1, 2a und 2b geschaffene Basis hinreichend gefestigt ist, kann mit dem präskriptiven Teil des Forschungsprozesses begonnen werden. Dabei wird zunächst ein Modell des praktischen Kontext geschaffen, in dem das identifizierte Problem auftritt. Ziel des Modellbildungsprozesses (Schritt 3) ist die Reduktion der Realität auf die im Problemkontext wesentlichen Aspekte, welche im Rahmen von Schritt 2 ermittelt wurden. Schließlich kann auf Basis des Modells eine Vorgehensbeschreibung zur Lösung der betrachteten Problemstellung abgeleitet werden (Schritt 4). Um den für die Praxis geschaffenen Nutzen der Forschung beurteilen zu können, ist schließlich in Schritt 5 eine Anwendung des Vorgehens in der Praxis sowie eine Evaluation des erzielten Nutzens durchzuführen. Dabei werden gegebenenfalls weitere Probleme identifiziert, welche wiederum den Ausgangspunkt für künftige Forschungsunterfangen stellen (Schritt 6).

### 1.5 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in acht Kapitel, welche die Ergebnisse der in Abschnitt 1.4 beschriebenen Forschungsmethodik dokumentieren (vgl. Abbildung 1.7). Im folgenden Kapitel 2 wird zunächst die *Serienreifmachung als Teil des Produktentstehungsprozesses* (PEP) diskutiert. Der Fokus liegt dabei zum einen auf deren zeitlicher Einordnung in den PEP, zum anderen auf den Aufgaben, die zur Serienreifmachung eines Produkts und dessen Komponenten durchzuführen sind. Auf dieser Basis werden in Kapitel 3 *Anforderungen an die Bewertung der Serienreife und die Priorisierung von Aufgaben* vorgestellt. Ausgehend von übergeordneten Anforderungen der anwendungsorientierten Forschung erfolgt eine Spezifikation für die betrachtete Problemstellung.

Außerdem wird eine Metrik zur Bewertung der Anforderungserfüllung bereitgestellt. Kapitel 4 beschäftigt sich mit der *Analyse des Stands der Technik zur Bewertung der Serienreife und Priorisierung von Aufgaben*. Anhand der in Kapitel 3 gestellten Anforderungen wird dieser anschließend bewertet und der resultierende Handlungsbedarf abgeleitet. In Kapitel 5 erfolgt die *Erarbeitung eines Modells der Serienreifmachung auf Produktkomponenten-Ebene*, damit ein einheitliches Verständnis für die Ableitung einer *Methode zur Bewertung der Serienreife und Priorisierung von Aufgaben* in Kapitel 6 geschaffen wird. Zudem werden die einzelnen Methodenschritte im Detail vorgestellt. Kapitel 7 befasst sich mit der *Anwendung der Methode*. Dabei werden mittels zweier Praxisbeispiele die in Kapitel 3 gestellten Anforderungen evaluiert. Unterstützt wird die Anwendung durch die Verwendung einer Software, welche die entwickelte Methode implementiert. Kapitel 8 stellt schließlich eine *Zusammenfassung der erreichten Ergebnisse sowie einen Ausblick* hinsichtlich künftiger Forschungsarbeiten zur Verfügung.

Kapitel	Titel	Hauptinhalte	Schritt*
1	Einleitung	Motivation, Definitionen, Betrachtungsrahmen, Zielsetzung	①
2	Serienreifmachung als Teil des PEP	PEP, Aufgaben der Serienreifmachung	②a
3	Anforderungen	Übergeordnete Anforderungen & Spezifikation	②b
4	Serienreifmachung als Teil des PEP	Bewertung der Serienreife, Priorisierung von Aufgaben	②a
5	Modell zur Bewertung & Priorisierung	Gesamtmodell, Beschreibung der Teilmodelle	③
6	Methode zur Bewertung & Priorisierung	Beschreibung der 5 Schritte zur Bewertung der Serienreife und Priorisierung von Aufgaben	④
7	Anwendung der Methode	Softwareprototyp, Beschreibung der Anwendungsfälle	⑤
8	Zusammenfassung & Ausblick	Synopsis der Arbeit, künftige Forschungsmöglichkeiten	⑥

\*bezieht sich auf die Ergebnisse der angewandten Forschungsmethodik (vgl. Abbildung 1.6) und kennzeichnet, in welchem Kapitel diese jeweils dokumentiert sind.

*Abbildung 1.7: Kapitel und Hauptinhalte der vorliegenden Arbeit*

## 2 Die Serienreifmachung als Teil des Produktentstehungsprozesses

### 2.1 Inhaltsübersicht

Ziel dieses Kapitels ist es, eine Grundlage für das Verständnis der vorliegenden Arbeit zu schaffen. Dazu wird zunächst der Produktentstehungsprozess erläutert und die Phase der Serienreifmachung eingeordnet (Abschnitt 2.2). Anschließend erfolgt eine detaillierte Betrachtung der Phase der Serienreifmachung, welche die Aufgaben, die im Rahmen der Serienreifmachung anfallen, fokussiert (Abschnitt 2.3). Schließlich werden in Abschnitt 2.4 Herausforderungen vorgestellt, die sich in diesem Kontext ergeben.

### 2.2 Der Produktentstehungsprozess

Die Serienreifmachung eines Produkts ist in der Regel kein isolierter Vorgang, sondern erfolgt im Rahmen eines *Produktentstehungsprozesses*<sup>1</sup> (LINDEMANN 2009, S. 22). Dieser beschreibt die Gesamtheit aller Teilprozesse und Aufgaben, angefangen bei der Produktidee, über die Gestaltung der Produktkomponenten und deren Integration in das Produkt bis hin zum Beginn der Serienproduktion (RISSE 2003, S. 24) bzw. bis zur Erreichung der Kammlinie<sup>2</sup> (LEHMANN & GRZEGORSKI 2008, S. 85) oder dem Auslaufen des Produkts (LINCKE 1995, S. 29). Während der Serienreifmachung wird versucht, die Entwicklung des Produkts und des Produktionsprozesses weitestgehend

---

<sup>1</sup> In der Literatur werden häufig die Begriffe „Auftragsabwicklungsprozess“, „gesamter Geschäftsprozess“, „Produktstellungsprozess“ oder „integrierter Produktionsprozess“ anstelle des Begriffs *Produktentstehungsprozess* verwendet (EHRENSPIEL (2007, S. 158). Vereinzelt wird auch der Begriff „Produktentwicklungsprozess“ synonym gebraucht (SEIDEL 2005, S. 6), obwohl dieser genau genommen lediglich ein Teilprozess des Produktentstehungsprozesses darstellt (FELDHUSEN & GROTE 2012, S. 11).

<sup>2</sup> Die Kammlinie beschreibt das Erreichen der geplanten Produktionsmenge und damit den Abschluss der Hochlaufphase (R. SCHMITT 2015, S. 11).

## 2 Die Serienreife als Teil des Produktentstehungsprozesses

zu parallelisieren (sog. *Simultaneous Engineering*<sup>3</sup>, vgl. EHRENSPIEL 2007, S. 218). Abbildung 2.1 zeigt den Aufbau des PEP.

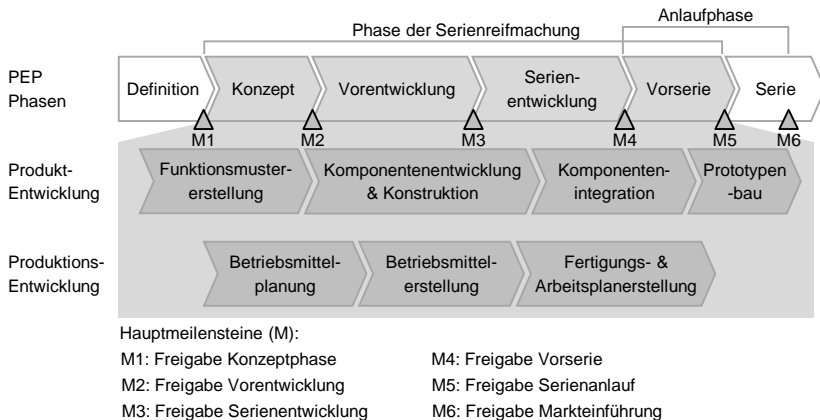


Abbildung 2.1: Der PEP in Anlehnung an STICH (2007, S. 7), BRAESS & SEIFFERT (2012, S. 881 ff.), SCHÖMANN (2012, S. 86), WANGENHEIM (1998, S. 10 ff.) und SCHOLZ-REITER & KROHNE (2010, S. 5 f.)

Die **Definitionsphase** beginnt mit der Analyse der Kundenbedürfnisse zum Zeitpunkt des geplanten SOP. Um diese bestmöglich abschätzen zu können, bedient man sich beispielsweise der Conjoint Analyse (vgl. bspw. ERHARDT 2009, S. 26 ff.) und der Szenariotechnik<sup>4</sup>. Eine große Herausforderung stellt dabei die Erfassung aller Produkteigenschaften (Conjoint Analyse) sowie der relevanten Einflussfaktoren (Szenariotechnik) dar, angefangen vom Alter der Kunden bis hin zur voraussichtlichen Entwicklung der globalen Märkte (BRAESS & SEIFFERT 2012, S. 885). Auf Grundlage der ermittelten Kundenpräferenzen und Szenarien ist anschließend ein Lastenheft bzw. eine Anforderungsliste zu erstellen, anhand derer die Freigabe der Konzeptphase erfolgen kann (EHRENSPIEL 2007, S. 172).

Im Rahmen der **Konzeptphase** werden erste Entwürfe des zu entwickelnden Produkts heutzutage in Form von Computer Aided Design (CAD)-Modellen erarbeitet und hin-

<sup>3</sup> Eine detaillierte Beschreibung existierender Methoden und Defizite des Simultaneous Engineering findet sich bspw. bei MEIS (2016, S. 11 ff.).

<sup>4</sup> Eine detaillierte Beschreibung der Szenariotechnik sowie Anwendungsbeispiele finden sich bei MIETZNER (2009) bzw. GREITEMANN (2016).



sichtlich der in der Definitionsphase spezifizierten Anforderungen geprüft (J. WEBER 2009, S. 33 ff.). Ab diesem Zeitpunkt beginnt die Phase der Serienreifmachung, da auf Basis von CAD-Modellen bereits erste Aussagen zu Qualität, Kosten und Herstellzeit (vgl. Definition in Abschnitt 1.3.2.2) getroffen werden können.

Mit dem Übergang in die **Vorentwicklungsphase** erfolgt das sog. „Packaging“, also die funktionale und geometrische Anordnung von Produktkomponenten, sowie eine grobe Abschätzung der benötigten Varianten und Technologien (LINDEMANN ET AL. 2013, S. 18). Ist die **Serientwicklung** freigegeben, beginnt die Detaillierung der festgelegten Packageumfänge sowie die Durchführung notwendiger Tests. Gleichzeitig erfolgt die Validierung der im Lastenheft beschriebenen Anforderungen. Die Serientwicklung ist abgeschlossen, wenn eine vollständige Produkt- und Prozessbeschreibung vorliegt (SCHÖMANN 2012, S. 88).

Anschließend werden in der **Vorserie** Prototypen in größeren Stückzahlen und unter seriennahen Bedingungen produziert (SCHUH ET AL. 2008, S. 2). Im Gegensatz zum Prototypenbau während der Serientwicklung kommen hier bereits Serienwerkzeuge zum Einsatz (S. SCHMITT 2012, S. 61). NAGEL (2011, S. 16) unterscheidet die Vorserienphase weiter in die Vorserie im eigentlichen Sinn sowie die Nullserie. Hauptunterscheidungsmerkmal – neben einer geringeren Produktionsstückzahl im Rahmen der Vorserie – ist die Verwendung der späteren Serienwerkzeuge. Während für die Vorserienproduktion der Einsatz von Versuchswerkzeugen in geringem Ausmaß zulässig ist, dürfen im Rahmen einer Nullserienproduktion lediglich Serienwerkzeuge verwendet werden<sup>5</sup>. Die Vorserie markiert gleichzeitig den Beginn der Anlaufphase (TÜCKS 2010, S. 28), welche mit dem Erreichen einer abgesicherten Produktion endet (DYCKHOFF ET AL. 2012, S. 1429).

Mit der Freigabe des Serienanlaufs bzw. dem SOP beginnt die **Serienphase**<sup>6</sup> (SCHOLZ-REITER ET AL. 2010, S. 324). Gleichzeitig endet die Phase der Serienreifmachung und der Produktionshochlauf beginnt. Dabei wird die pro Zeiteinheit produzierte Stückzahl über einen vorab definierten Zeitraum gesteigert, bis die Kammlinie erreicht ist (LAICK 2003, S. 11 f.).

---

<sup>5</sup> Vor- und Nullserie werden teilweise unter dem Begriff *Pilotserie* zusammengefasst (vgl. bspw. TÜCKS 2010, S. 28 bzw. LEHMANN & GRZEGORSKI 2008, S. 85).

<sup>6</sup> Die Markteinführung des Produkts erfolgt meist erst einige Zeit nach dem Serienanlauf, da vor Verkaufsbeginn erst die Distributionskanäle gefüllt werden müssen (CLARK & FUJIMOTO 2005, S. 175).

Die Steuerung der Produktentstehung erfolgt meist anhand von Meilensteinen<sup>7</sup>. So kann sichergestellt werden, dass zu definierten Zeitpunkten der Fortschritt des Projekts anhand bestimmter Qualitätskriterien bewertet werden kann. Allerdings birgt ein solches Vorgehen auch Gefahren. Einer Untersuchung von MINDERHOUD & FRASER (2005, S. 131) zufolge liegen in der Praxis teilweise eine hohe Zahl von Meilensteinen und Erfüllungskriterien vor, was zu Behelfslösungen und unkontrolliertem Auslassen von Meilensteinen führt, insbesondere bei Zeitdruck. Zudem ist die Durchführung von Meilenstein-Reviews aufwendig, womit eine Erhöhung nicht-wertschöpfender Zeitanteile einhergeht. Insbesondere die gestiegene Dynamik<sup>8</sup> in der Serienreifmachung komplexer Produkte (R. SCHMITT ET AL. 2010, S. 318) kann anhand des Stage-Gate-Vorgehens<sup>9</sup> und der damit einhergehenden, intermittierenden Bewertung des Projektfortschritts nur unzureichend berücksichtigt werden (WISSLER 2006, S. 48).

Aufgrund der beschriebenen Defizite des Stage-Gate-Vorgehens in der Produktentstehung wurden verschiedene alternative Lösungen publiziert. Ein gängiges Vorgehen ist dabei das sog. *Tailoring*, also eine Anpassung der Meilensteine und Phasen an den jeweiligen Projektkontext (DU PREEZ ET AL. 2009, S. 191 ff.). Andere Ansätze zielen darauf ab, bestehende Stage-Gate Lösungen flexibel und agil zu gestalten, bspw. durch die Einführung von eng aufeinanderfolgenden *build-test-revise-Zyklen* (COOPER 2014, S. 21). Dennoch ist das Stage-Gate-Vorgehen in der Praxis bei der Entwicklung neuer Produkte nach wie vor häufig anzutreffen, inklusive der beschriebenen Defizite.

### 2.3 Aufgaben zur Erreichung der Serienreife

Zur Erreichung der Serienreife ist die Bearbeitung einer Vielzahl unterschiedlicher Aufgaben nötig (WISSLER 2006, S. 26), was deren Beschreibung zu einer Herausforderung macht. Hinzu kommt, dass diese in der Literatur oft aus unterschiedlichen Perspektiven erfolgt und unterschiedliche Detaillierungsgrade aufweist (KORTHALS 2014, S. 26). Beispielsweise beschreibt SCHARER (2002, S. 71) lediglich sechs generische Aufgaben zur

---

<sup>7</sup> Teilweise wird anstelle von *Meilenstein* auch der englische Begriff *Quality-Gate* verwendet, wobei hier die Qualität der Ergebnisse im Vordergrund steht.

<sup>8</sup> Der Begriff *Dynamik* oder Veränderlichkeit bezeichnet in Anlehnung an SCHUH (2014, S. 5 ff.) den zeitlichen Verlauf sowie die Intensität der Veränderung von Systemelementen und deren Beziehungen.

<sup>9</sup> Das Stage-Gate-Vorgehen wurde Anfang der 1990er Jahre vorgeschlagen und beschreibt im Wesentlichen die Unterteilung eines Projekts anhand von Meilensteinen (Gates). Sind alle erforderlichen Qualitätskriterien eines Gates erfüllt, steht das Projekt auf der nächsten Stufe (Stage) (COOPER 1990, S. 45 f.).

Erreichung der Serienreife, während FAIRLIE-CLARKE & M. MÜLLER (2003, S. 263) insgesamt 67 Aufgaben identifizieren. Die in diesem Abschnitt folgende Beschreibung aggregiert häufig genannte Aufgaben in einer für das Verständnis der entwickelten Modelle und Methoden (vgl. Kapitel 5 und 6) notwendigen Detaillierungstiefe (vgl. Abbildung 2.2). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde eine Kategorisierung in produkt-, produktions- und projekt- bzw. organisationsbezogene Aufgaben vorgenommen. Die Zuordnung zu einer Kategorie ist abhängig davon, durch Veränderung welchen Arbeitsobjekts eine Erhöhung der Serienreife erfolgen soll.

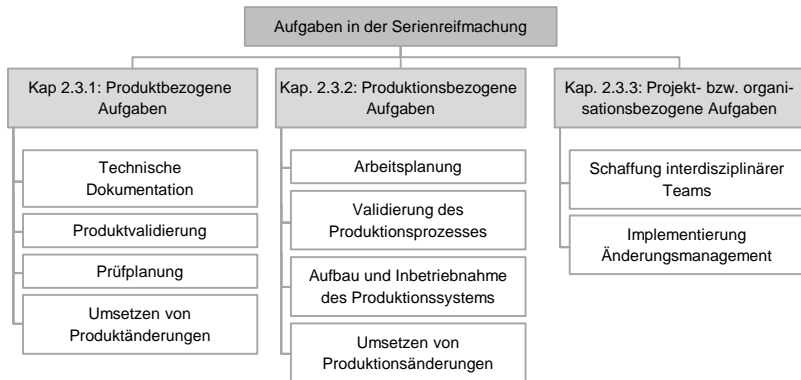


Abbildung 2.2: Aufgaben während der Serienreifmachung

### 2.3.1 Produktbezogene Aufgaben

#### 2.3.1.1 Technische Dokumentation des Produkts

Die technische Dokumentation des Produkts umfasst laut VDA (2011) die Bereitstellung eines Produkt-Datenmodells (Definition von Oberflächen, Radien, Fugenqualität sowie Bauteilübergängen) sowie die Dokumentation in Form von technischen Zeichnungen unter Angabe benötigter Normen und Bemaßungen. Dabei sind Material-, Design- und Qualitätsvorgaben entsprechend dem Lastenheft zu berücksichtigen. Bei der Bewertung der technischen Dokumentation eines Produkts während der Serienreifmachung ist zu beachten, dass diese in unterschiedlichen Reifegraden vorliegen kann (SCHUH ET AL. 2005, S. 407 f.).

### 2.3.1.2 Produktvalidierung

Ziel der Produktvalidierung ist es, den Nachweis zu erbringen, dass die im Lastenheft beschriebenen Anforderungen an das Produkt erfüllt sind. Die Nachweiserbringung erfolgt dabei auf Ebene einzelner Module oder Baugruppen, was eine entsprechende Aufschlüsselung der Produkthanforderungen erforderlich macht (EVERSHEIM & SCHUH 2005, S. 13). Zur Gewährleistung eines zeiteffizienten Entwicklungsprozesses erfolgt die Validierung von Baugruppen meist mehrfach auf Basis unterschiedlicher Reifestände (ROMBERG & HAAS 2005, S. 165). Kritisch für eine erfolgreiche Produktvalidierung ist die Teilnahme von Experten beteiligter Funktionsbereiche<sup>10</sup>, um Änderungsbedarfe möglichst frühzeitig im PEP zu identifizieren (EHRENSPIEL 2007, S. 218).

### 2.3.1.3 Prüfplanung

Die Prüfplanung bildet die Basis für die Erfüllung der gestellten Qualitätsanforderungen an eine Produktkomponente während der Serienproduktion. Nach BRÜGGEMANN & BREMER (2012, S. 160) umfasst die Prüfplanung die vier Schritte: (1) Festlegung des Prüfobjekts und des Prüfmerkmals, (2) Festlegung des Prüfzeitpunkts, der Prüfhäufigkeit sowie des Prüfumfangs, (3) Festlegung der Prüfmethode (inklusive der erforderlichen Qualifikation des Prüfers) und der Prüfmittel sowie (4) die Festlegung der Prüfdaten-Erfassungsmethode und Beschreibung der einzuleitenden Maßnahmen, wenn Messergebnisse außerhalb der geforderten Toleranzen liegen.

### 2.3.1.4 Umsetzen von Produktänderungen

Die Ergebnisse der Produktvalidierung führen in der Praxis häufig zu Produktänderungen. Die effiziente Umsetzung dieser Änderungen beeinflusst maßgeblich den Erfolg der Serienreifmachung (KUHNS ET AL. 2002, S. 24), da diese umso teurer wird, je weiter die technische Dokumentation des Produkts fortgeschritten ist (REINHART ET AL. 1996, S. 26). Hinzu kommt, dass eine Änderung weitere Modifikationen an benachbarten Bauteilen nach sich ziehen kann (CLARKSON ET AL. 2004, S. 1). Da das Auftreten von Änderungen während der Serienreifmachung unvermeidbar ist (GARTZEN 2012,

---

<sup>10</sup> Eine Beschreibung erforderlicher Funktionsbereiche findet sich in Abschnitt 2.3.3.1.

S. 205), sind Strategien und Methoden für den Umgang mit Produktänderungen erforderlich. In der betrieblichen Praxis wird häufig das sog. *Frontloading* angestrebt, was im Wesentlichen die Strategie beschreibt, Produktänderungen so früh wie möglich im PEP zu identifizieren und umzusetzen (MENGES 2005, S. 27). Projekt-übergreifender Wissenstransfer, Informationstransparenz für beteiligte Stakeholder und die schnelle Lösung von Problemen durch den Einsatz moderner Technologien sind Kernvoraussetzungen zur Erreichung dieses Ziels (THOMKE & FUJIMOTO 2000, S. 132). Neben der Vorverlagerung von Produktänderungen ist die Trennung von vermeidbaren und unvermeidbaren Änderungen ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Vermeidbare Änderungen sollten durch Anwendung präventiver Maßnahmen wie Quality Function Deployment (QFD), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) oder eines geeigneten Risikomanagements möglichst reduziert werden (SCHUH ET AL. 2002).

### 2.3.2 Produktionsbezogene Aufgaben

#### 2.3.2.1 Arbeitsplanung

Laut WIENDAHL (2009, S. 195) umfasst die Arbeitsplanung „alle einmalig auftretenden Planungsmaßnahmen, welche unter ständiger Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit die fertigungsgerechte Gestaltung eines Erzeugnisses oder die ablaufgerechte Gestaltung einer Dienstleistung sichern.“<sup>11</sup> Im Wesentlichen umfasst die Arbeitsplanung damit die Aufgaben *Arbeitsablaufplanung* und *Arbeitsplanerstellung*, welche im Folgenden erläutert werden (vgl. WIENDAHL 2009, S. 195 ff.).

**Arbeitsablaufplanung:** Zur Planung der Arbeitsabläufe muss in einem ersten Schritt die angestrebte Wertschöpfungstiefe festgelegt werden, da diese, in Verbindung mit den bereits vorhandenen Ressourcen, den Planungsumfang festlegt. Anschließend sind die nötigen organisatorischen Abläufe und technischen Verfahren zu bestimmen, welche wiederum die Grundlage für die Festlegung der Fertigungs- und Montagereihenfolgen bilden. Nach Auswahl und Beauftragung geeigneter Betriebsmittel sind die Arbeitsplätze unter Berücksichtigung ergonomischer

---

<sup>11</sup> Die Arbeits- bzw. Produktionssteuerung (WIENDAHL 2009, S. 246) wird im Gegensatz zur Arbeitsplanung nicht betrachtet, da sie sich um termin-, kapazitäts- und mengenbezogene Planung und Steuerung der Fertigungs- und Montageprozesse im Serienbetrieb kümmert (EVERSHEIM 1989b, S. 7).

Gesichtspunkte zu gestalten. Schließlich gilt es, die Qualifikation der für das Produktionssystem vorgesehenen Mitarbeiter zu planen. Ein weiterer Aspekt der Arbeitsablaufplanung ist die Planung der Materialversorgung. Dazu müssen zum einen Lieferanten bewertet und ausgewählt werden, zum anderen sind die innerbetrieblichen Lager- und Transporteinrichtungen festzulegen<sup>12</sup>.

**Arbeitsplanerstellung:** Im Arbeitsplan sind die zur Herstellung eines Bauteils bzw. einer Produktkomponente nötigen Vorgänge sowie deren Reihenfolge dokumentiert. Für jeden Arbeitsvorgang sind die benötigten Materialien, der entsprechende Arbeitsplatz und die zu verwendenden Betriebsmittel anzugeben. Zudem sind Vorgabezeiten<sup>13</sup> für die Dauer der Arbeitsvorgänge zu dokumentieren. Zur Auswahl geeigneter Mitarbeiter sind außerdem benötigte Qualifikationen zu hinterlegen.

### 2.3.2.2 Validierung des Produktionsprozesses

Ziel der Validierung des Produktionsprozesses ist es, die Ergebnisse der Arbeitsplanung zu prüfen und Herstellbarkeit bzw. Montierbarkeit eines Produkts unter Serienbedingungen auf dem dafür vorgesehenen Produktionssystem nachzuweisen. Die Notwendigkeit der Validierung des Produktionsprozesses – zusätzlich zur Produktvalidierung – ergibt sich aus der Tatsache, dass es trotz Erfüllung aller im Lastenheft beschriebenen Anforderungen zu Problemen im Zusammenspiel mehrerer Komponenten in der Produktion kommen kann (KUHNS ET AL. 2002, S. 62). Grundsätzlich kann die Validierung anhand von virtuellen oder physischen Absicherungsobjekten durchgeführt werden (RUDOLPH 2007, S. 30), welche nachfolgend erläutert sind.

**Virtuelle Validierung des Produktionsprozesses:** Bei der virtuellen Validierung des Produktionsprozesses erfolgt die Absicherung anhand von gerenderten CAD-Daten. Die Produktdaten müssen dabei im Kontext einer virtuellen Fertigungs- bzw. Montageumgebung dargestellt werden, in der alle produktionsrelevanten

---

<sup>12</sup> Die Materialversorgung ist Aufgabe der Logistik. Da der Funktionsbereich Logistik Teil der Produktion ist (BEETZ ET AL. 2008, S. 32), werden Logistik-Aufgaben im Rahmen dieser Arbeit als produktionsbezogene Aktivitäten diskutiert.

<sup>13</sup> Vorgabezeiten können durch Beobachten der Arbeitsaufgabe (REFA 1997), anhand von Systemen vorbestimmter Zeiten (BOKRANZ & LANDAU 2012) oder mittels heuristischer Verfahren (M. WEBER 1999) ermittelt werden. Für die genaue Funktionsweise der genannten Verfahren sei auf die jeweilige Literatur verwiesen.

Objekte einer realen Fabrik digital abgebildet sind. Die Qualität der erzielten Ergebnisse ist dabei maßgeblich abhängig von der Vollständigkeit der verwendeten Daten sowie deren Aktualität (BADE 2012, S. 31). Obwohl in der Literatur vereinzelt Ansätze zu finden sind, die eine ausschließliche Verwendung von virtuellen Techniken im Rahmen der Montagevalidierung propagieren (WATTENBERG ET AL. 2012, S. 92 ff.), ist die Mehrzahl der Autoren (vgl. bspw. ROMBERG & HAAS 2005, S. 165, FELDHUSEN & GROTE 2012, S. 52, KERBER 2016, S. 24 bzw. OTTO ET AL. 2016) der Auffassung, vorerst nicht auf den zusätzlichen Bau physischer Prototypen verzichten zu können. Konsens hingegen herrscht bezüglich der wachsenden Bedeutung sowie der stetig steigenden Abbildungsgenauigkeit virtueller Validierungstechniken.

**Physische Validierung des Produktionsprozesses:** Zweck der physischen Validierung des Produktionsprozesses ist sicherzustellen, dass durch die erzielten Produktentwicklungs- und Produktionsprozess-Planungsergebnisse ein in der Praxis serienreifes Produkt erzeugt wurde. Analog zur virtuellen Validierung kann auch die physische Validierung auf Basis unterschiedlicher Produkt- und Produktionsprozess-Reifestände erfolgen. Niedrige Reifestände führen dabei zu Ergebnissen, die mit Unsicherheit behaftet sind. Die Reife von Bauteilen wird meist anhand von Musterständen charakterisiert (vgl. BORGEEST 2010, S. 262 f.):

*A-Muster:* Bei A-Mustern handelt es sich um lediglich bedingt funktionsfähige Bauteile, die in der Regel in Handarbeit beziehungsweise serienfremden Werkzeugen erstellt wurden. A-Muster entsprechen dem späteren Serienbauteil häufig weder in Form noch Funktion.

*B-Muster:* B-Muster weisen ähnlich zu A-Mustern noch experimentellen Charakter auf, allerdings sollten Form und Funktion bereits weitestgehend dem angestrebten Serienbauteil entsprechen. Das B-Muster wird im Unterschied zum A-Muster in der Regel auf Basis der vorläufigen technischen Dokumentation des Bauteils erstellt.

*C-Muster:* Bauteile mit C-Musterstand entsprechen in Form und Funktion dem späteren Serienbauteil und dienen der Bestätigung der Serie, ohne allerdings auf Serienwerkzeugen gefertigt worden zu sein. Zu diesem Zeitpunkt

sollten nach Möglichkeit keine Änderungen mehr einfließen, was in der betrieblichen Praxis allerdings nicht immer eingehalten werden kann.

*D-Muster:* Serienwerkzeugfallende Bauteile werden als D-Muster bezeichnet. Weisen diese keine Fehler mehr auf, kann die Freigabe der Serienproduktion erfolgen.

Die ersten Prototypen werden in der Regel nach Abschluss der Entwicklungsphase unter Verwendung von B-Mustern gebaut. Da die Herstellung von Prototypen mit erheblichem Aufwand verbunden ist, ist die Anzahl benötigter Prototypen kritisch zu prüfen. Bei der Validierung gilt der Grundsatz: je höher die Musterstände der verwendeten Bauteile, desto höher die Entdeckungswahrscheinlichkeit von potenziellen Problemen für die spätere Serienproduktion. Prototypen, die zu einem frühen Stadium im PEP gebaut werden, bilden die Basis für die Planung der Serien-Produktionseinrichtungen (BRUNS 2010, S. 32). Während frühe Prototypen meist in einer Werkstattfertigung aufgebaut werden (M. MÜLLER 2007, S. 51), erfolgt die Vorserienproduktion (C- und D-Musterstände) unter seriennahen Bedingungen in möglichst großen Stückzahlen. Erfolgt zusätzlich die Produktion einer Nullserie, müssen alle Bauteile D-Musterstand aufweisen. Die Nullserien-Produktion kann sowohl in separaten Pilotlinien bzw. -werken, als auch auf Serienproduktionslinien stattfinden (SCHUH ET AL. 2008, S. 2).

### 2.3.2.3 Aufbau und Inbetriebnahme des Produktionssystems

Nach Abschluss der Arbeitsablaufplanung erfolgen Aufbau und Inbetriebnahme des Produktionssystems. Die Inbetriebnahme umfasst das funktionsgerechte, prozessintegrierte Einschalten sämtlicher Teilfunktionen des Produktionssystems sowie das Hochfahren der Leistung auf das geforderte Niveau. Durch die Inbetriebnahme wird die Funktionsbereitschaft der Einzelkomponenten sowie deren funktionales Zusammenwirken geprüft. Im Zuge dessen sind die jeweiligen Anlagendokumentationen zu vervollständigen, das Bedienpersonal zu schulen und einzuweisen, Betriebsparameter möglichst optimal einzustellen sowie Mängel aus Vorphasen zu beseitigen (ZEUGTRÄGER 1998, S. 29). Die Fortschritte im Bereich der Informationstechnik und insbesondere der Virtual Reality (VR) bzw. Augmented Reality (AR) erlauben heutzutage, Teile der Inbetriebnahme virtuell durchzuführen (WINKES & AURICH 2015). Eine erfolgreiche Inbetriebnahme bildet die Basis für den Probetrieb des Produktionssystems (WINKLER 2007,



S. 10), welcher wiederum durch die Kundenabnahme<sup>14</sup> abgeschlossen wird (BADE 2012, S. 31).

### **2.3.2.4 Umsetzen von Produktionsänderungen**

Im Zuge der Validierung sowie des Aufbaus und der Inbetriebnahme des Produktionssystems treten in der Praxis häufig Änderungsbedarfe hinsichtlich des Produktionssystems auf. Da diese teilweise erst zu einem Zeitpunkt im Produktentstehungsprozess offensichtlich werden, zu dem die Entwicklung des Produkts weitestgehend abgeschlossen ist (ASSMANN 2000, S. 31 ff.), sind bei der Lösungsfindung eine Vielzahl von produkt-spezifischen Restriktionen zu beachten. Hinzu kommen Restriktionen, die sich aufgrund der umgebenden Betriebsmittel und Montageprozesse ergeben (KOCH ET AL. 2014, S. 142 ff.). Das Umsetzen von Produktionsänderungen wird durch die Implementierung eines geeigneten Änderungsmanagements ermöglicht (vgl. Abschnitt 2.3.3.2).

## **2.3.3 Projekt- und organisationsbezogene Aufgaben**

### **2.3.3.1 Schaffung interdisziplinärer Teams**

Um die Dauer der Serienreifmachung möglichst gering zu halten, müssen produkt- und produktionsbezogene Aufgaben während der Serienreifmachung nach Möglichkeit parallel durchgeführt werden. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist ein möglichst reibungsfreier Informationsfluss zwischen beteiligten Stakeholdern (SURBIER ET AL. 2010). Dies kann durch die Verwendung eines Simultaneous Engineering (SE)-Ansatzes (EVERSHEIM 1989b) und der damit einhergehenden Schaffung interdisziplinärer SE-Teams erreicht werden. Regelmäßige Treffen der wichtigsten Stakeholder im Rahmen eines Kernteams erhöht die Informationstransparenz der Beteiligten und ermöglicht so eine Wandlung von einer starr sequenziell-prozessorientierten Vorgehensweise hin zu einer parallelisierten, maßnahmenorientierten Serienreifmachung (EVERSHEIM ET AL. 1997, S. 329). Je nach Bedarf können weitere Experten zu den Kernteam-Treffen eingeladen werden, beispielsweise aus den Bereichen Einkauf, Qualität oder Versuch (vgl. Abbildung 2.3). So kann erreicht werden, dass die in den jeweiligen Bereichen

---

<sup>14</sup> Kunde des Produktionssystems ist in der Regel dessen Betreiber.

vorhandenen Informationen zu Produkt bzw. Produktionsprozess allen Stakeholdern bekannt sind.

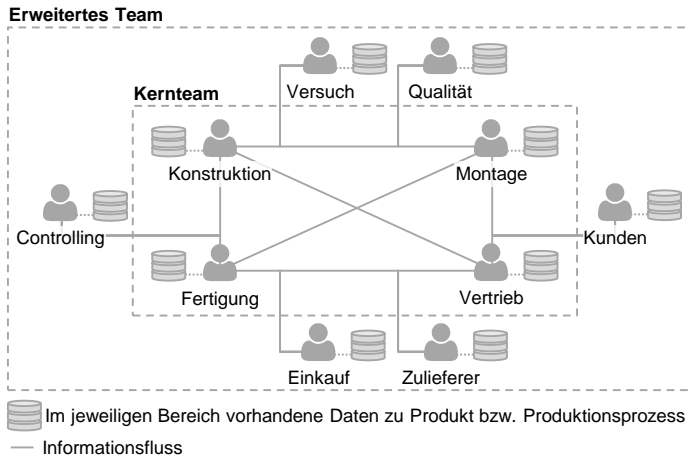


Abbildung 2.3: Aufbau eines SE-Teams (in Anlehnung an EHRENSPIEL 2007, S. 210 ff.)

### 2.3.3.2 Änderungsmanagement implementieren

Damit Produkt- und Produktionsänderungen umgesetzt werden können, muss ein geeignetes Änderungsmanagement vorhanden sein. In ihrer Studie zum Produktionsanlauf von Serienprodukten deutscher Unternehmen identifizieren KUHN ET AL. (2002, S. 17) das Änderungsmanagement als ein wesentliches Handlungsfeld für eine erfolgreiche Serienreifmachung. Als hauptsächliche Probleme werden dabei Kommunikation und Dokumentation von Änderungen genannt. Obwohl aufgrund möglicher, gravierender Änderungsauswirkungen eine möglichst frühzeitige Information betroffener Stakeholder erforderlich wäre, geschieht diese häufig erst verspätet. Als ein möglicher Grund dafür wird das Bestreben genannt, sich gegenüber Vertragspartnern nicht zu früh festzulegen (KUHN ET AL. 2002, S. 24). Das führt zu einer Verschleppung von Änderungen im Produktentstehungsprozess (vgl. Abbildung 2.4).

Damit Änderungen zeit- und kosteneffizient umgesetzt werden können, sollten – neben der organisatorischen Einbettung des Änderungsmanagements (SCHUH ET AL. 2002) – bei dessen Implementierung nachfolgend genannte Ziele verfolgt werden:

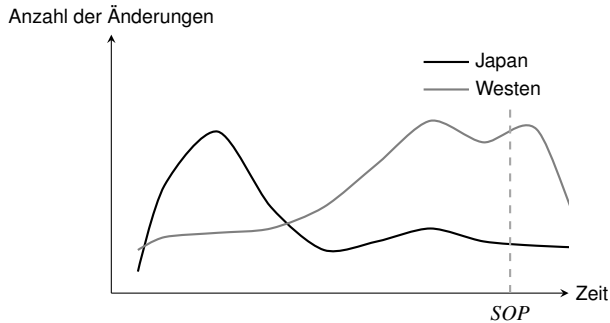


Abbildung 2.4: Verschiebung von Änderungen im PEP westlicher Unternehmen (in Anlehnung an REINHART ET AL. 1996, S. 49 und SCHUH ET AL. 2002)

- Jede Änderung sollte durchgehend von einem Mitarbeiter betreut werden. Dieser Änderungsverantwortliche ist zuständig für das Einholen der benötigten Fachkompetenzen, die Durchführung der Änderung sowie das Abstimmen von Konflikten (RIEDEL 2000, S. 153).
- Der Änderungsprozess sollte durchgängig in einem Informationssystem abgebildet sein, um etwaige Schnittstellenverluste zu minimieren (JONAS 2000, S. 101).
- Änderungen sollten stets im Team erarbeitet werden, beispielsweise in Form von sog. Optimierungsgesprächen mit Kunden (BISCHOFF 2007, S. 71) oder im Rahmen regelmäßig stattfindender SE-Team-Treffen (EVERSHEIM ET AL. 1997, S. 329).

## 2.4 Herausforderungen in der Serienreifmachung

Produktentstehungsprozesse werden in unterschiedlichen Varianten in nahezu allen produzierenden Unternehmen durchlaufen (EPPINGER & CHITKARA 2006, S. 22 ff.), ebenso wie die in Abschnitt 2.3 beschriebenen Aufgaben der Serienreifmachung. In diesem Kontext nennt die Fachliteratur verschiedene Herausforderungen, die dabei in der Praxis auftreten. Im Folgenden sind diejenigen Herausforderungen aufgeführt, welche im Rahmen dieser Arbeit adressiert werden.

**Mehr- und Doppelarbeit:** In der Praxis treten immer wieder unerwartete Probleme auf, die nur durch zusätzlichen Aufwand unter Kontrolle gebracht werden können. Dieses sog. „Fire-fighting“ tritt häufig sogar als de facto Prozess an Stelle des PEP und wird damit zu einem der Haupthindernisse für eine effiziente Projektdurchführung (REPENNING 2001, S. 286). Eine weitere Ursache für Mehrarbeit in PEP-gesteuerten Entwicklungsprojekten stellt die häufig in der Praxis vorzufindende, starke Detaillierung von Meilensteinen und insbesondere der zugehörigen Erfüllungskriterien dar. Das führt dazu, dass beträchtlicher Aufwand in Meilenstein-Reviews fließen muss, obwohl diese keine Wertschöpfung im Sinne des angestrebten Projektergebnisses erzeugen (MINDERHOUD & FRASER 2005, S. 131).

**Auslassen wichtiger Aufgaben:** Für das Auslassen wichtiger Aufgaben im PEP finden sich in der Literatur zwei wesentliche Gründe. Zum einen führt der stetig steigende Zeitdruck in der Entwicklung neuer Produkte (EVERAERT & BRUGGEMAN 2002) häufig zu einem Konflikt zwischen zeitlich dringenden und aus Projektsicht wichtigen Aufgaben. In solchen Fällen kann es vorkommen, dass wichtige Aufgaben nicht oder nur mit unzureichender Qualität erledigt werden (MINDERHOUD & FRASER 2005, S. 131). Zum anderen können konfliktäre Zielsysteme einzelner Stakeholder dazu führen, dass wichtige Aufgaben unzureichend bearbeitet werden (SANDER & BROMBACHER 2000, S. 39).

**Mangelhafter Austausch von Wissen:** Grundsätzlich kann Wissen innerhalb eines Projekts oder zwischen verschiedenen Projekten ausgetauscht werden. Ersteres wird vor allem durch den prinzipiell sequenziellen Aufbau des PEP (KUHN ET AL. 2002, S. 8) sowie einer starken Fragmentierung von Meilensteinen und Erfüllungskriterien behindert (MINDERHOUD & FRASER 2005, S. 131). Dem Wissensaustausch zwischen verschiedenen Projekten steht vor allem die Fokussierung des PEP auf *ein* Projekt entgegen. Da der Transfer von Wissen keinen Beitrag zur Zielerreichung des aktuellen Projekts darstellt, wird dieser häufig nicht durchgeführt, was unter Umständen ein Wiederholen bereits aufgetretener Fehler in Folgeprojekten nach sich zieht (THOMKE & FUJIMOTO 2000, S. 132). Darüber hinaus trägt die Nutzung von Erfahrungswissen im Allgemeinen maßgeblich zu einer schnellen Problemlösung bei, auch wenn es sich nicht um bereits aufgetretene Fehler handelt (RISSE 2004, S. 78).

**Spätes Auftreten von Problemen:** Spätes Auftreten von Problemen lässt sich zum Teil auf die bereits genannten Herausforderungen zurückführen, allerdings sind die Ursachen oft weitaus vielfältiger. So kommt es beispielsweise häufig erst im Zusammenspiel aller Komponenten zu Problemen, was im klassischen PEP teilweise erstmals sehr spät (in seriennahen Prototypen) bemerkt wird (KUHN ET AL. 2002, S. 24).

Verschiedene Ansätze zur Verbesserung des Produktentstehungsprozesses gründen auf den beschriebenen Herausforderungen, wie beispielsweise SE (EVERSHEIM ET AL. 1997) oder das *Front-loading* (THOMKE & FUJIMOTO 2000). Allerdings zeigt der Blick in die Praxis, dass die Umsetzung solcher Ansätze zum einen zögerlich erfolgt und diese zum anderen auch bei konsequentem Einsatz kaum in der Lage sind, die bestehenden Probleme vollständig zu lösen<sup>15</sup> (EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 232 ff.). Einen relativ neuen Ansatz zur Verbesserung des PEPs produzierender Unternehmen stellt das sog. SCRUM-Prinzip<sup>16</sup> dar (COOPER 2014, S. 21). Ob es geeignet ist, nachhaltige Verbesserungen zu erzielen, ist Gegenstand aktueller Forschung (vgl. bspw. GARTZEN ET AL. 2016) und aus heutiger Sicht nicht abschließend zu beurteilen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass trotz detailliert ausgearbeiteter Vorgehensbeschreibungen im PEP allgemein und speziell in der Serienreifmachung heute während der Serienreifmachung immer wieder Situationen auftreten, in denen *Unklarheit über das weitere Vorgehen* herrscht, *Mehrarbeit* anfällt und dabei teilweise *Aufgaben ausgelassen werden*. Außerdem wird *Wissen in unzureichendem Maße ausgetauscht*. Diese Faktoren sowie eine häufig späte Betrachtung des Zusammenspiels von Komponenten tragen in der Praxis dazu bei, dass *Probleme spät erkannt werden* und damit Dauer und Kosten des Projekts steigen.

Einen Ansatzpunkt zur Bewältigung der genannten Probleme stellt eine *verbesserte Koordination*<sup>17</sup> von Aufgaben dar (KUHN ET AL. 2002, S. 18 ff.). Wie gut diese erfolgen kann, hängt dabei wesentlich von der *Kenntnistiefe des Ist-Zustands eines Projekts* sowie dem zur *Priorisierung von Aufgaben* angewandten Vorgehen ab (STIRZEL 2010, S. 74 ff.). Deshalb werden im Folgenden zum einen der Stand der Forschung hinsichtlich

---

<sup>15</sup> Ein detailliertes Vorgehen zur Unterstützung des SE in der Praxis findet sich bspw. bei MEIS (2016).

<sup>16</sup> Das Vorgehen nach dem SCRUM-Prinzip organisiert Arbeitspakete in zyklischen „Sprints“. Eine detaillierte Beschreibung findet sich bspw. bei SUTHERLAND (2014).

<sup>17</sup> Der Begriff *Koordination* beschreibt die Abstimmung von Einzelaufgaben zu einer gemeinsamen Aufgabenerfüllung (BEA & GÖBEL 2010, S. 257)

der Erfassung und Bewertung des aktuellen Stands der Serienreifmachung eines Projekts analysiert (vgl. Abschnitt 4.2) und zum anderen gängige Ansätze zur Priorisierung von Aufgaben diskutiert (vgl. Abschnitt 4.3). Ziel ist zu untersuchen, inwiefern bestehende Ansätze dazu in der Lage sind, eine effiziente Koordination von Aufgaben zu ermöglichen. Dazu werden vorab – basierend auf dem im Rahmen dieses Kapitels erarbeiteten Verständnisses über die Aufgaben und Herausforderungen in der Serienreifmachung – Anforderungen erhoben, die an die zu analysierenden Ansätze gestellt werden (vgl. Kapitel 3). Auf Basis der Bewertung des Stands der Forschung und Technik erfolgt die Ableitung des Handlungsbedarfs für die vorliegende Arbeit (vgl. Abschnitt 4.4).

## 3 Anforderungen an Ansätze zur Bewertung der Serienreife und Ansätze zur Priorisierung von Aufgaben

### 3.1 Übergeordnete Anforderungen in der anwendungsnahen Forschung

Während grundlagenorientierte Forschung Erkenntnisgewinn in den Mittelpunkt des wissenschaftlichen Tuns stellt (PIELKE 2010, S. 923), hat anwendungsorientierte Forschung zum Ziel, „Regeln, Modelle und Verfahren für praktisches Handeln zu entwickeln“ (H. ULRICH 1982, S. 1). Letzterer ist die vorliegende Arbeit zuzuordnen (vgl. Abschnitt 1.4). Aus dem Ziel und den Merkmalen der anwendungsorientierten Forschung können nachfolgend genannte, übergeordnete Anforderungen abgeleitet werden, welche an deren Ergebnisse zu stellen sind.

**Richtigkeit der Ergebnisse:** Die durch das entwickelte Verfahren produzierten Ergebnisse müssen *richtig* sein. Das bestehende Problem muss demnach durch Anwendung der Forschungsergebnisse behoben oder zumindest gelindert werden.

**Anwendbarkeit im Problemkontext:** Eine Lösung des betrachteten Problems unter Laborbedingungen ist nicht ausreichend. Vielmehr müssen die Forschungsergebnisse den Anwender befähigen, das bestehende Problem *in dessen Kontext*, also unter Berücksichtigung der in der Praxis gegebenen Randbedingungen, zu lösen. Im Fall der vorliegenden Arbeit müssen die Forschungsergebnisse in der Lage sein, das Problem in seinem industriellen Kontext zu lösen.

**Wirtschaftlichkeit der Anwendung:** Die Lösung eines praktischen Problems ist kein Selbstzweck. Ziel eines auf Fortbestand ausgerichteten Unternehmens ist es, einen wirtschaftlichen Vorteil aus der Problemlösung zu ziehen und damit einen Beitrag zu seiner dauerhaften wirtschaftlichen Existenz zu leisten. Deshalb muss der wirtschaftliche Nutzen, welcher sich aus der Lösung des Problems ergibt, die Kosten der Problemlösung übersteigen.

**Allgemeingültigkeit:** Die erzielten Ergebnisse müssen *allgemein gültig* sein, also auf weitere Problemstellungen anwendbar sein, die sich in den gewählten Betrachtungsrahmen (vgl. Abschnitt 1.3.3) verorten lassen.

Einer direkten Anwendung der genannten Anforderungen steht deren mangelnde Eindeutigkeit in Bezug auf die betrachtete Problemstellung im Wege, weshalb sie zunächst für den jeweiligen Anwendungsfall operationalisiert<sup>1</sup> werden müssen. Dabei ist konkret festzulegen, bei Erfüllung welcher Kriterien bzw. welcher operationalisierten Anforderungen von einer Erfüllung der übergeordneten Anforderungen ausgegangen werden kann. In Anlehnung an REINHART & MEIS (2011) ist dabei darauf zu achten, dass operationalisierte Anforderungen (1) unzweideutig, (2) eindeutig verifizierbar und (3) erfüllbar sind. Außerdem darf (4) keine Anforderung im Widerspruch zu anderen Anforderungen stehen.

## 3.2 Operationalisierung der übergeordneten Anforderungen

Im Folgenden werden die in Abschnitt 3.1 beschriebenen, übergeordneten Anforderungen jeweils bezüglich Ansätzen zur Bewertung der Serienreife sowie Ansätzen zur Priorisierung von Aufgaben operationalisiert. Darüber hinaus werden Anforderungen genannt, die sowohl Bewertungs- als auch Priorisierungsansätze erfüllen müssen.

### 3.2.1 Anforderungen an Ansätze zur Bewertung der Serienreife

**Objektivität der Bewertung:** Sowohl das Vorgehen bei der Bewertung, als auch die Bewertungskriterien an sich sollten *objektiv* sein, das heißt weder abhängig von der die Bewertung durchführenden Person, noch von der zu bewertenden Sache an sich. Unabhängigkeit von der Person kann durch eindeutige Vorgabe eines Vorgehens zur Bewertung erreicht werden, während Unabhängigkeit von der bewerteten Sache durch Vorgabe von ausschließlich universal anwendbaren

---

<sup>1</sup> In Anlehnung an KROMREY ET AL. (2016, S. 176) beschreibt die Operationalisierung oder *Messbarmachung* eines Begriffs die Bereitstellung von Kriterien, anhand derer entschieden werden kann, in welchem Ausmaß der mit dem Begriff bezeichnete Sachverhalt erfüllt ist.



Bewertungskriterien<sup>2</sup> realisiert wird. Objektivität ist aus zweierlei Gründen wichtig: Zum einen birgt eine durch (teilweise) subjektive Einschätzungen erhaltene Bewertung die Gefahr, dass diese durch bewusste oder unbewusste Informationsselektion unvollständig oder verfälscht ist. Zum anderen fördert eine objektive Bewertung die Akzeptanz der Mitarbeiter, da im Vergleich unterschiedlicher Projekte alle Aspekte gleich gewichtet sind.

**Vollständigkeit:** Um den tatsächlichen Fortschritt der Serienreifmachung abbilden zu können, ist für dessen Bewertung *Vollständigkeit* zu fordern. Dazu ist der Fortschritt aller relevanten Aufgaben zu erfassen.

**Bewertung auf Produktkomponenten-Ebene:** Da bereits eine einzelne, nicht-serienreife Komponente eines Produkts dessen Serienreife maßgeblich beeinflussen kann (NAGEL 2011, S. 130 f.), muss ein Bewertungsverfahren eine Reifebewertung auf Produktkomponenten-Ebene ermöglichen. Gleichzeitig ist ein Instrument erforderlich, welches eine sinnvolle Aggregation der Reifegrade einzelner Produktkomponenten auf Ebene des Gesamtprodukts ermöglicht.

Aus den Anforderungen *Bewertung auf Produktkomponenten-Ebene* und *Vollständigkeit* ergibt sich für die Reifebewertung, dass diese den Fortschritt aller relevanten Aufgaben auf Produktkomponenten-Ebene abbilden muss.

### 3.2.2 Anforderungen an Ansätze zur Priorisierung von Aufgaben

**Priorisierung auf Produktkomponenten-Ebene:** Eine in der Praxis Mehrwert stiftende Priorisierung von Aufgaben muss bezogen auf einzelne Produktkomponenten erfolgen. Pauschale Priorisierungen, wie beispielsweise die zeitliche Priorisierung von Prozessschritten und Meilensteinen im PEP, sind zwar hilfreich, können aber nicht verhindern, dass fehlerhafte Komponenten teilweise zu spät als solche erkannt werden (SCHUH ET AL. 2002, S. 657 ff.). Um solche Fälle nach Möglichkeit auszuschließen, muss für die verantwortlichen Mitarbeiter jederzeit transparent sein, für welche Komponenten welche Aufgaben zu erledigen sind und wie wichtig diese in Hinblick auf den Erfolg des Gesamtprojekts sind.

---

<sup>2</sup> In Bezug auf den gewählten Betrachtungsrahmen

**Berücksichtigung aller relevanten Aufgaben:** Eine Priorisierung von Aufgaben kann nur effektiv geschehen, wenn sämtliche relevanten Aufgaben im Priorisierungsverfahren berücksichtigt werden.

**Objektives Priorisierungsverfahren:** Die Qualität eines Verfahrens zur Priorisierung von Aufgaben kann an zwei wesentlichen Faktoren festgemacht werden. Zum einen, wie exakt die noch zu erledigenden Aufgaben bestimmt werden können und zum anderen, wie gut die Wichtigkeit dieser Aufgaben eingeschätzt werden kann. Für beide Vorgänge ist größtmögliche Objektivität zu fordern, um das Risiko verfälschter Ergebnisse zu minimieren.

**Berücksichtigung von Dynamik:** Der PEP im Allgemeinen und die Serienreifmachung im Besonderen weisen ein hohes Maß an Dynamik auf (ABELE ET AL. 2003, S. 173). Diese manifestiert sich beispielsweise im Auftreten unvorhergesehener Änderungen am geplanten Produkt bzw. Produktionsprozess, welche wiederum direkten Einfluss auf die Priorität der im Nachgang durchzuführenden Aufgaben haben. Ein Ansatz zur Priorisierung von Aufgaben ist deshalb so umzusetzen, dass Informationen zu aktuellen Entwicklungen in der Serienreifmachung ohne hohen zusätzlichen Aufwand bei der Priorisierung berücksichtigt werden können.

**Quantifizierung von Kosten und Nutzen:** Die Anwendung von Methoden zur Lösung produktionsplanerischer Problemstellungen ist stets kritisch bezüglich ihres Nutzens sowie ihrer Kosten zu hinterfragen. Qualitative Bewertungen sind hierfür nach Möglichkeit zu vermeiden, da die der Bewertung immanente Subjektivität eine nicht uneingeschränkt geeignete Basis für Investitionsentscheidungen darstellen kann. Vor diesem Hintergrund ist eine quantitative Bewertung des monetären Gegenwerts einer (Nicht-)Einführung der entwickelten Lösung vorzuziehen.

**Kosten-Nutzen-Verhältnis <1:** Die Einführung eines Verfahrens zur Lösung eines Problems muss für das jeweilige Unternehmen von wirtschaftlichem Vorteil sein, das heißt der Nutzen muss die Kosten innerhalb eines angemessenen Zeitraums übersteigen.

Aus der Verknüpfung der Anforderungen *Priorisierung auf Produktkomponenten-Ebene* und *Berücksichtigung aller relevanten Aufgaben* folgt, dass durch das betrachtete Verfahren die Möglichkeit geschaffen werden muss, die Priorität relevanter Aufgaben für einzelne Komponenten des Produkts festzulegen.

### 3.2.3 Anforderungen an Bewertungs- und Priorisierungsansätze

**Berücksichtigung von Unsicherheiten:** Das Auftreten von Unsicherheiten ist ein wesentliches Merkmal der Serienreifmachung (EVERSHEIM & SCHUH 2005, S. 247), weshalb diese sowohl im Zuge der Reifebewertung als auch bei der Priorisierung von Aufgaben zu berücksichtigen sind.

**PEP-Integrierbarkeit:** Auf übergeordneter Ebene bildet der PEP gängigerweise den Rahmen für Serienreifmachungsprojekte (vgl. Abschnitt 2.2). Deshalb muss gewährleistet sein, dass die betrachteten Bewertungs- und Priorisierungsansätze in diesem Rahmen anwendbar sind.

**Robustheit bezüglich Benutzerfehlern:** Jedes Vorgehen ist anfällig für Fehler, insbesondere wenn ein großer Personenkreis mit unterschiedlichen, fachlichen Hintergründen beteiligt ist. Deshalb ist darauf zu achten, dass die Durchführung sämtlicher Schritte des betrachteten Ansatzes möglichst detailliert beschrieben und intuitiv gestaltet ist. Beispielsweise kann die Implementierung einer geeigneten Softwarelösung mit entsprechenden Plausibilitätsprüfungen Robustheit gegenüber Benutzerfehlern ermöglichen.

**Aufwandsarme Anwendbarkeit:** Grundvoraussetzung für eine regelmäßige Anwendung des entwickelten Vorgehens in der Praxis dessen aufwandsarme Anwendbarkeit. Stellhebel hierfür sind insbesondere die Anzahl beteiligter Stakeholder sowie Anzahl und Umfang nicht-automatisiert durchzuführender Tätigkeiten. Aufwandsarme Anwendbarkeit kann ebenfalls durch Implementierung einer geeigneten Softwarelösung unterstützt werden.

**Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien:** Innerhalb des gewählten Betrachtungsrahmens müssen Bewertungs- und Priorisierungsansätze auf beliebig gewählte Problemstellungen anwendbar sein.

**Akzeptanz der Anwender:** Nur wenn ein Verfahren von den Anwendern akzeptiert wird, kann es langfristig im Unternehmen zum Einsatz kommen. Zur Förderung der Anwenderakzeptanz sollte das Vorgehen in enger Zusammenarbeit mit diesen entwickelt und zunächst in kleinem Rahmen evaluiert werden (sog. Pilotanwendung). Erst nachdem das Feedback der Anwender angemessen adressiert wurde, sollte das Verfahren ausgerollt werden.

### 3 Anforderungen an Ansätze zur Bewertung der Serienreife und Ansätze zur Priorisierung von Aufgaben

Tabelle 3.1 fasst die operationalisierten Anforderungen zusammen und zeigt, zur Erfüllung welcher übergeordneten Anforderungen diese jeweils einen Beitrag leisten.

*Tabelle 3.1: Operationalisierung der übergeordneten Anforderungen*






operationalisierte Anforderungen	Übergeordnete Anforderungen			
	Richtigkeit	Anwendbarkeit	Wirtschaftlichkeit	Allgemeingültigkeit
<b>Bewertungsansätze</b>				
Objektivität der Bewertung	◆	◆		◆
Vollständigkeit	◆			◆
Bewertung auf Produktkomponenten-Ebene	◆			
<b>Priorisierungsansätze</b>				
Priorisierung auf Produktkomponenten-Ebene	◆			
Berücksichtigung aller relevanten Aufgaben	◆			◆
Objektives Priorisierungsverfahren	◆			◆
Berücksichtigung von Dynamik	◆	◆		
Quantifizierung von Kosten und Nutzen			◆	
Kosten-Nutzen-Verhältnis <1			◆	
<b>Bewertungs- und Priorisierungsansätze</b>				
Berücksichtigung von Unsicherheiten	◆			◆
PEP-Integrierbarkeit		◆		◆
Robustheit bezüglich Benutzerfehlern	◆	◆		
Aufwandsarme Anwendbarkeit		◆		
Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien		◆		◆
Akzeptanz der Anwender		◆		

Wie aus Tabelle 3.1 hervorgeht, werden Verfahren zur Bewertung der Serienreife nicht an ihrer Wirtschaftlichkeit gemessen. Zwar sind meist die Kosten einer Bewertung gut quantifizierbar, nicht jedoch deren direkter, monetärer Nutzen. Dieser ist abhängig davon, welche Schlüsse aus der durch die Bewertung erhaltenen Transparenz gezogen werden. Erfolgt beispielsweise eine Priorisierung von Aufgaben auf Basis der Ergebnisse einer Bewertung, so ist der wirtschaftliche Nutzen der Aufgabenpriorisierung in Relation zum Aufwand der zugrundeliegenden Bewertungs- und Priorisierungsverfahren zu betrachten.

### 3.3 Metrik zur Bewertung der Anforderungserfüllung






Ziel der Operationalisierung von Anforderungen ist es, den Stand der Technik hinsichtlich Möglichkeiten zur Bewertung der Serienreife und Priorisierung von Aufgaben zu evaluieren. Darüber hinaus wird die in Kapitel 6 entwickelte Methode anhand der operationalisierten Anforderungen evaluiert. Dafür soll die in Tabelle 3.2 dargestellte Metrik verwendet werden.

*Tabelle 3.2: Metrik zur Bewertung der operationalisierten Anforderungen*

Ausprägung der spezifizierten Anforderung	Symbol
nicht erfüllt	
teilweise erfüllt	
größtenteils erfüllt	
voll erfüllt	
nicht entscheidbar / geht aus Ausführungen nicht hervor	

Da in manchen Fällen nicht zweifelsfrei entschieden werden kann, ob ein Ansatz eine bestimmte Anforderung erfüllt, kann neben vier Ausprägungen der Anforderungserfüllung auch der Status „nicht entscheidbar / geht aus Ausführungen nicht hervor“ vergeben werden. Die Ausprägung der übergeordneten Anforderungen entspricht dem Durchschnitt aller jeweils relevanten, spezifizierten Anforderungen (vgl. Tabelle 3.1), die auf Basis der zur Verfügung stehenden Informationen bewertet werden können. Der Anteil der nicht entscheidbar bewertbaren Anforderungen wird gemäß Tabelle 3.2 in grau dargestellt. Tabelle 3.3 zeigt beispielhaft die Bewertung der Allgemeingültigkeit eines Ansatzes zur Priorisierung von Aufgaben.

*Tabelle 3.3: Beispielhafte Bewertung der Allgemeingültigkeit eines Priorisierungsansatzes*

Anforderung	Bewertung
Berücksichtigung aller relevanten Aktivitäten	
Objektive Entscheidungsgrundlage	
PEP-Integrierbarkeit	
Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien	
Allgemeingültigkeit des Ansatzes	



## **4 Stand der Wissenschaft und Technik**

### **4.1 Inhaltsübersicht**

Aufbauend auf die in Abschnitt 2.4 vorgestellten Herausforderungen während der Serienreifmachung werden im Rahmen dieses Kapitels Ansätze vorgestellt, die sich mit der Bewertung der Serienreife (Abschnitt 4.2) sowie mit der Priorisierung von Aufgaben (Abschnitt 4.3) beschäftigen. Unter Verwendung der in Kapitel 3 beschriebenen Anforderungen erfolgt eine kritische Würdigung bestehender Arbeiten. Auf dieser Basis wird schließlich in Abschnitt 4.4 erläutert, welche Defizite bestehende Ansätze aufweisen und wie deren Behebung zu einer Bewältigung der in Abschnitt 2.4 genannten Herausforderungen beitragen kann.

### **4.2 Bewertung der Serienreife**

*„If you can't measure it, you can't manage it.“*

– Robert Kaplan (KAPLAN ET AL. 1997, S. 223)

#### **4.2.1 Einfluss der Messmethode auf das Bewertungsergebnis**

Bei der Beschreibung von Methoden zur Bewertung der Serienreife ist zunächst festzuhalten, dass diese in der Regel auf einer Messung des Ist-Zustands beruhen. Infrage kommende Messmethoden können dabei unterschieden werden in

- quantitativ-metrisch,
- quantitativ-nichtmetrische und
- qualitative Messmethoden.

Während bei einer quantitativ-metrischen Messung eine eindeutige Zuordnung von Zahlen zu den jeweiligen Messkriterien erfolgt (beispielsweise anhand einer Intervallskala), wird bei einer quantitativ-nichtmetrischen Messung die Ausprägung eines Kriteriums anhand einer Ordinalskala bestimmt. Eine qualitative Messung hingegen beschreibt die Ausprägung eines Kriteriums in Worten (GERPOTT 2005, S. 91 ff.). Allen Messmethoden ist gemein, dass deren Ergebnisse stets mit Abweichungen behaftet sind (EDEN & GEBHARD 2012, S. 19 ff.)<sup>1</sup>. Eine auf einer Messung beruhende Bewertung der Reife kann dementsprechend den tatsächlichen Zustand lediglich als einen *auf die gemessenen Kriterien reduzierten* und mit einer *gewissen Unsicherheit behafteten* Sachverhalt darstellen.

Da die Serienreifmachung in der Regel Projektcharakter aufweist (vgl. Abschnitt 2.2), werden im Folgenden sowohl Ansätze zur Projektbewertung (Abschnitt 4.2.2) als auch speziell für den Kontext der Serienreifmachung entwickelte Ansätze (Abschnitt 4.2.3) diskutiert. Gemeinsamer Fokus der Ansätze liegt auf Möglichkeiten zur Fortschritts- und Reifebeschreibung<sup>2</sup>.

### 4.2.2 Ansätze zur Reifebewertung aus dem Projektmanagement

Das Vorgehen zur Bewertung der Reife im Projektmanagement kann in Anlehnung an MÖRS DORF (1998, S. 301 ff.) in drei Teilschritte untergliedert werden (vgl. Abbildung 4.1).

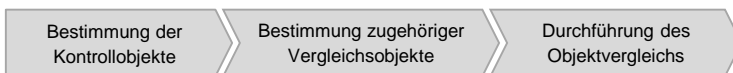


Abbildung 4.1: Drei-Schritt Vorgehen zur Reifebewertung im Projektmanagement in Anlehnung an MÖRS DORF (1998, S. 301 ff.)

Für Kontrollen eignen sich dabei insbesondere Objekte, bei denen (1) mit Abweichungen zwischen Soll- und Istzustand zu rechnen ist und (2) bei denen Abweichungen zu

---

<sup>1</sup> In der Literatur wird zwischen systematischen und zufälligen Messfehlern bzw. -abweichungen unterschieden. Für weiterführende Informationen sei auf DIN ISO 1319 bzw. EDEN & GEBHARD (2012, S. 19 ff.) verwiesen.

<sup>2</sup> Neben der Reife eines Projekts können auch die (Teil-)Prozesse der Serienreifmachung an sich bewertet werden. Solche Ansätze werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht betrachtet. Für weitere Informationen zur Prozessbewertung siehe bspw. BURNSTEIN ET AL. (1996), PAULK ET AL. (2002) und JACOBS & TRIENEKENS (2002).



einer maßgeblichen Zielbeeinträchtigung führen. Bei der Bestimmung der zugehörigen Vergleichsobjekte ist sicherzustellen, dass sich diese auf den gleichen Sachverhalt beziehen. Gegebenenfalls müssen Sollwerte entsprechend aufbereitet werden, um eine sinnvolle Bezugsgröße für den betrachteten Zeitpunkt darzustellen<sup>3</sup>. Schließlich wird im Rahmen des Objektvergleichs die Abweichung von Soll- und Ist-Wert ermittelt. Anstelle der Ermittlung der aktuellen Projektreife kann auch ein Soll-Wird Vergleich zur Prognose der Projektreife zum Einsatz kommen (STIRZEL 2010, S. 89). Die im Folgenden beschriebenen Ansätze stellen Umsetzungsmöglichkeiten des in Abbildung 4.1 beschriebenen Vorgehens dar. Im Anschluss an die Beschreibung erfolgt jeweils eine Reflexion der Eigenschaften des Ansatzes vor dem Hintergrund der in Kapitel 3 diskutierten Anforderungen.

Zur Beurteilung der Reifeentwicklung eines Projekts kann eine **Meilenstein-Trend-Analyse** (MTA) angewendet werden. Dazu muss vorab definiert werden (1) was im Rahmen eines Meilensteins erreicht werden soll, (2) wie, durch wen und womit das Ergebnis geprüft wird und (3) wann bzw. wie häufig die Prüfung erfolgt. In regelmäßigen Abständen wird nun der Stand des Projekts mit den Verantwortlichen diskutiert und auf Basis der aktuellen Informationen eine Abschätzung über den Zeitpunkt der Erreichung der betrachteten Meilensteine getroffen. Dieser wird in die MTA eingetragen, woraus sich im Zeitverlauf das in Abbildung 4.2 dargestellte Bild ergibt. Ein fallender Verlauf deutet dabei auf eine Planung mit zu hohen Sicherheitspuffern hin, da die Ergebnisse voraussichtlich früher als geplant erreicht werden können. Bei steigendem Verlauf liegen hingegen Terminverzögerungen vor (SUTORIUS 2009, S. 90 ff.).

Die MTA stellt eine vergleichsweise einfache Möglichkeit zur Überwachung des Projektfortschritts dar, da lediglich eine regelmäßige Abschätzung der Experten hinsichtlich der erwarteten Meilenstein-Abschlusstermine durchzuführen ist. Nachteil des Verfahrens ist, dass die Bewertung größtenteils auf der subjektiven Einschätzung des jeweiligen Experten beruht. Prinzipiell erscheint eine Beschreibung des Fortschritts aller erforderlichen Aufgaben mittels MTA als möglich, jedoch kaum auf Produktkomponenten-Ebene. Hier ist bei komplexen Produkten von hohem Aufwand und einer unübersichtlichen Visualisierung auszugehen. Eine explizite Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der Bewertung erfolgt nicht. Aufgrund des regelmäßigen Berichts von Meilenstein-

---

<sup>3</sup> Beispielsweise verhalten sich die Sollkosten eines Arbeitspakets im Zeitverlauf nicht notwendigerweise linear, insbesondere wenn größere Investitionen zu tätigen sind. Entsprechende Effekte sind bei der Bestimmung von Sollwerten zu berücksichtigen.

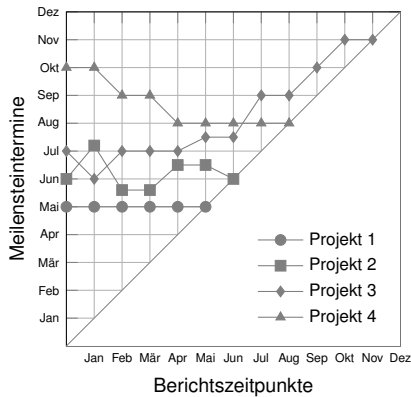


Abbildung 4.2: Visualisierung einer Meilensteintrendanalyse

Terminen ist die MTA gut in den PEP integrierbar. Durch die einfache Anwendbarkeit ist auch von Robustheit bezüglich Benutzerfehlern auszugehen. Ein Einsatz des Vorgehens in unterschiedlichen Szenarien in der Serienreifmachung ist ebenfalls denkbar. Die Anwenderakzeptanz des Verfahrens geht aus der zur Verfügung stehenden Literaturbasis nicht hervor.

Ein **Design-Review** (DR) klärt die Frage, ob ein erarbeitetes Resultat (beispielsweise das Ergebnis eines Meilensteins) die Anforderungen erfüllt. Um eventuelle Fehler zu entdecken, wird nach dem Vier-Augen-Prinzip vorgegangen. Ein gut vorbereiteter, fachlich kompetenter und unabhängiger Reviewer stellt dem Fachspezialisten möglichst viele offene Fragen zu dessen erzielttem Arbeitsergebnis. Die Ergebnisse des Reviews werden in einem Protokoll festgehalten, die Erledigung offener Aufgaben gemeinsam terminiert und an den Projektleiter weitergegeben. Ein Design-Review zeichnet sich durch ein gutes Aufwand-Nutzen-Verhältnis aus und ist daher ein gängiges Instrument zur Reifebewertung. Da ein zu häufiger Einsatz jedoch die Gefahr einer oberflächlichen Erledigung des Reviews birgt, sollte es lediglich sporadisch eingesetzt werden. Es empfiehlt sich daher, Design-Reviews zu den wichtigsten Meilensteinen durchzuführen (KUSTER 2011, S. 352 ff.).

Da die Bewertung im Design-Review durch zwei Personen erfolgt, ist nicht von Objektivität bei der Bewertung auszugehen. Allerdings bietet das Vier-Augen-Prinzip die Möglichkeit, subjektive Bewertungen kritisch zu hinterfragen und eine gemeinsame,

möglichst realistische Einschätzung der Situation zu erarbeiten. Eine Bewertung einzelner Produktkomponenten ist möglich und ein gängiges Anwendungsszenario. Da Design-Reviews nicht zu häufig eingesetzt werden sollten, ist ihre Eignung für die kontinuierliche Abbildung des Fortschritts aller Aufgaben der Serienreife auf Produktkomponenten-Ebene als eher gering einzuschätzen. Eine explizite Berücksichtigung von Unsicherheiten ist im Design-Review nicht vorgesehen. Allerdings finden sich verschiedene Belege, dass Design-Reviews gut im PEP – auch in unterschiedlichen Szenarien – anwendbar sind (vgl. bspw. NEPAL ET AL. 2015, S. 53 bzw. MILLSON & WILEMON 2008, S. 493). Bei mangelnder Vorbereitung des Reviewers sind Fehler der Anwender nicht auszuschließen, weshalb die Forderung nach Robustheit bezüglich Benutzerfehlern als lediglich teilweise gegeben betrachtet wird. Inwiefern das Verfahren seitens der Anwender akzeptiert wird, ist anhand der vorliegenden Literatur nicht eindeutig bewertbar.

Ein weiterer Ansatz zur Bewertung der Reife ist die sog. **Earned-Value-Analysis (EVA)** nach ANBARI (2003, S. 12 ff.). EVA basiert auf dem Vergleich des ursprünglich für die Fertigstellung einer Aufgabe festgelegten mit dem tatsächlich realisierten Budget. Bei konsequenter Anwendung ist sowohl ersichtlich, welche Arbeitspakete bereits abgeschlossen wurden („%-fertig“ in Abbildung 4.3), als auch ob das Projekt Gefahr läuft aus Budgetgründen eingestellt zu werden (wenn die tatsächlichen Kosten die geplanten Kosten stark übersteigen). Voraussetzung für die Anwendung der EVA-Methode ist eine detaillierte Vorkalkulation einzelner Arbeitspakete einerseits sowie andererseits die Kopplung der Fertigstellung jedes Arbeitspakets an messbare Ereignisse (GENTNER 1994, S. 70).

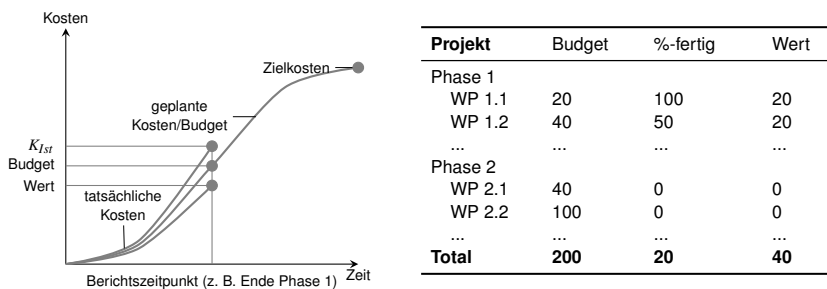


Abbildung 4.3: Reifebewertung nach der EVA-Methode (in Anlehnung an ANBARI 2003, S. 12 ff.)

EVA ermöglicht eine lediglich teilweise objektive Bewertung, da die Reife zwar am zur Verfügung stehenden Budget der betrachteten Aufgabe bemessen wird, deren Fertigstellungsgrad jedoch meist auf subjektiven Einschätzungen beruht. Das liegt unter anderem an der Tatsache, dass Zeitpunkt und Ausmaß der Wertschöpfung im PEP kaum bestimmbar sind (BROWNING ET AL. 2002, S. 443). Eine EVA kann prinzipiell zur Reifemessung aller Aufgaben der Serienreifmachung eingesetzt werden, weswegen die Forderung nach Vollständigkeit der Bewertung als erfüllt betrachtet wird. Eine EVA-Bewertung auf Produktkomponenten-Ebene erscheint hingegen schwierig, da der Aufwand zur Aufschlüsselung des Budgets bei vielen Produktkomponenten stark steigt. Eine Berücksichtigung von Unsicherheiten erfolgt nicht. Die PEP-Integrierbarkeit der Methode wird als gegeben erachtet. Benutzerfehler sind bei der Festlegung des Budgets sowie bei der Bewertung des Fertigstellungsgrads von Arbeitspaketen denkbar, jedoch nicht belegt. Insgesamt erscheint Einfachheit der Anwendung, auch in unterschiedlichen Szenarien, gegeben. Zur Beurteilung der Anwender-Akzeptanz der Methode liegen keine Informationen vor.

SELDERS (2009, S. 93 ff.) beschreibt mit seinem Konzept der **Project-Scorecard** (PSC) eine an die „Balanced Scorecard“ (KAPLAN ET AL. 1997) angelehnte Möglichkeit zum Management einzelner, strategischer Projekte. Dabei werden alle Ziele eines Projekts durch Kennzahlen und Zeitbezüge operationalisiert und anhand eines hierarchisch aufgebauten Perspektivenmodells an die Unternehmensstrategie gekoppelt. Um steuernd in den Verlauf eines Projekts eingreifen zu können, werden nach Möglichkeit Frühindikatoren für verwendete Kennzahlen gebildet. Das Projektergebnis wird in den vier Kategorien Umfang, Qualität, Zeit und Kosten gemessen. Durch das Aufstellen von Wirkbeziehungen zwischen Zielen unterschiedlicher Hierarchiestufen im Perspektivenmodell wird sichergestellt, dass kein Ziel isoliert steht und das Zielsystem dementsprechend konsistent ist.

Da die Methode von SELDERS weder konkrete Ziele noch Kennzahlen zur Bewertung der Projektreife enthält, ist eine Beurteilung der Objektivität bei der Bewertung nicht möglich, ebenso wenig wie eine Beurteilung der Vollständigkeit. Da die Methode für das Management strategischer Projekte entworfen wurde, ist nicht von einer Eignung für die Bewertung auf Produktkomponenten-Ebene auszugehen. Unsicherheiten werden nicht berücksichtigt, die PEP-Integrierbarkeit kann allerdings aufgrund der vorliegenden Beschreibung angenommen werden. Inwiefern das Verfahren robust hinsichtlich Benutzerfehlern und einfach in der Anwendung ist sowie von den Anwendern akzeptiert

wird, kann nicht beurteilt werden. Aufgrund des vergleichsweise allgemein gehaltenen Charakters der Verfahrensbeschreibung kann von Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien ausgegangen werden.

### 4.2.3 Spezielle Ansätze zur Bewertung der Serienreife

Ein in der Industrie häufig verwendeter Ansatz ist die **Reifegrad-Absicherung nach VDA** (VDA 2009, S. 15 ff.). Dabei werden Produktkomponenten anhand einer Ordinalskala bewertet, die aus acht Reifegradstufen aufgebaut ist. Um die Erfüllung eines Reifegrads zu bewerten, stehen insgesamt 44 Reifegradindikatoren zur Verfügung, für die wiederum detaillierte Messkriterien bereitgestellt werden (vgl. Abbildung 4.4). Jedes Messkriterium ist eindeutig mit „Ja“ oder „Nein“ beantwortbar und wird gemäß der in Abbildung 4.5 dargestellten Ampellogik bewertet. Die Bewertung des Reifegrads entspricht der schlechtesten Bewertung der einzelnen Messkriterien, bezogen auf den jeweiligen Reifegrad. Bei Änderungen, die sich auf das Projektziel auswirken, müssen alle vorhergehenden Reifegrade erneut durchlaufen werden.

Durch die Vorgabe von einheitlichen Bewertungskriterien sowie Richtlinien zur Bewertung kann das Verfahren nach VDA als größtenteils objektiv bewertet werden. Die Analyse der Reifegrad-Indikatoren und zugehörigen Messkriterien zeigt, dass die zur Serienreifmachung erforderlichen Aufgaben vollständig abgedeckt werden. Zudem wurde das Verfahren explizit für die Bewertung der Reife auf Produktkomponenten-Ebene entwickelt. Eine Berücksichtigung und entsprechende Abbildung von Unsicherheiten sind nicht Teil des Vorgehens. Da das Verfahren für die Produktentwicklungsphase konzipiert wurde, ist PEP-Integrierbarkeit gewährleistet. Durch die Vorgabe detaillierter Bewertungs- und Messkriterien kann von Robustheit bezüglich Benutzerfehlern ausgegangen werden. Einfachheit der Anwendung ist lediglich teilweise gegeben, da das Verfahren bei komplexen Produkten mit vielen Produktkomponenten hohen zeitlichen Aufwand mit sich bringt. Von Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien kann ausgegangen werden, da das Verfahren Teil einer VDA-Richtlinie ist. Zur Akzeptanz der Anwender kann auf Basis der vorliegenden Informationen keine fundierte Aussage getroffen werden.

Zur Bewertung der Reife in Entwicklungs- und Anlaufprojekten schlägt **GENTNER (1994, S. 157 ff.)** ein phasenbezogenes Kennzahlensystem vor. Dabei werden zwei Typen von Kennzahlen unterschieden:

## 4 Stand der Wissenschaft und Technik

RG 0	RG 1	RG 2	RG 3	RG 4	RG 5	RG 6	SOP	RG 7
Innovationsfreigabe für Serienentwicklung	Anforderungsmanagement für Vergabeumfang	Festlegung der Lieferkette und Vergabe der Umfänge	Freigabe technische Spezifikation	Produktionsplanung abgeschlossen	Serienwerkzeugfallende Teile & Serienanlagen vorh.	Produkt- und Prozessfreigabe		Projektabschluss, Übergabe an Serie
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Projektmanagement</li> <li>2. Innovation/ Konzept/ Zuverlässigkeit</li> <li>3. Beschaffungsprozess</li> <li>4. Risikomanagement</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Projektmanagement</li> <li>2. Beschaffungsprozess</li> <li>3. Produktentwicklung</li> <li>4. Innovation/ Konzept/ Zuverlässigkeit</li> <li>5. Lieferkette/ Teileversorgung</li> <li>6. Produktabsicherung</li> <li>7. Risikomanagement</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Produktentwicklung</li> <li>2. Beschaffungprozess</li> <li>3. Lieferkette/ Teileversorgung</li> <li>4. <b>Projektmanagement</b></li> <li>5. Prozessentwicklung</li> <li>6. Risikomanagement</li> <li>7. Produktabsicherung</li> <li>8. Produkt- &amp; Prozessfreigabe</li> <li>9. Prozessabsicherung</li> <li>10. Änderungsmanagement</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Produktentwicklung</li> <li>2. Prozessentwicklung</li> <li>3. Produktabsicherung</li> <li>4. Absicherung Serie</li> <li>5. Prozessabsicherung</li> <li>6. Lieferkette/ Teileversorgung</li> <li>7. Risikomanagement</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prozessentwicklung</li> <li>2. Prozessabsicherung</li> <li>3. Produkt- &amp; Prozessfreigabe</li> <li>4. Produktentwicklung</li> <li>5. Lieferkette/ Teileversorgung</li> <li>6. Beschaffungsprozess</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Produkt- &amp; Prozessfreigabe</li> <li>2. Lieferkette/ Teileversorgung</li> <li>3. Produktentwicklung</li> <li>4. Prozessabsicherung</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Produkt &amp; Prozessfreigabe</li> <li>2. Lieferkette/ Teileversorgung</li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Änderungsmanagement</li> <li>2. Projektmanagement</li> <li>3. Prozessabsicherung</li> <li>4. Absicherung Serie</li> </ol>

Beispiel: Detaillierung der Reifegradindikatoren

RG: Reifegrad

Reifegradindikator	Messkriterien
4. Projektmanagement	<ol style="list-style-type: none"> <li>4.1 Die Projektorganisation mit Ansprechpartnern auf Kundenseite ist festgelegt</li> <li>4.2 Die Projektorganisation mit Ansprechpartnern auf Lieferantenseite ist festgelegt</li> <li>4.3 Eskalationsregeln/ -vorgehen ist festgelegt</li> <li>4.4 Datenformate/Dokumente, Kommunikationswege und Projektsprache ist festgelegt</li> <li>4.5 Projektterminplan bezogen auf Lieferumfang für Gesamtfahrzeug und Aggregate liegt in abgestimmter und freigegebener Form vor</li> <li>4.6 Abweichungen zu den Projektzielen auf Lieferumfangsebene sind überprüft, aufgezeigt und mit Maßnahmen belegt worden</li> <li>4.7 Schnittstellen zu anderen Projekten und Bauteilverwendungen beim Lieferanten und Kunden sind geklärt</li> <li>4.8 Stärken- und Schwächenanalyse und Lessons Learned Dokumentation ist aktualisiert, Maßnahmen sind abgeleitet</li> </ol>

Abbildung 4.4: Reifegradsystematik nach VDA (2009, S. 15 f.)

<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: red;">●</span></li> <li><span style="color: gray;">●</span></li> <li><span style="color: gray;">●</span></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Messkriterium wird mit nein beantwortet und</li> <li>• Mindestens ein Projektziel ist nicht erreichbar und</li> <li>• Maßnahme beinhaltet eine Zeitanpassung</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: gray;">●</span></li> <li><span style="color: yellow;">●</span></li> <li><span style="color: gray;">●</span></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Messkriterium wird mit nein beantwortet und</li> <li>• Eine Maßnahme ist erforderlich und vereinbart und</li> <li>• Alle Projektziele werden mit den festgelegten Maßnahmen erreicht</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: gray;">●</span></li> <li><span style="color: gray;">●</span></li> <li><span style="color: green;">●</span></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Messkriterium wird mit ja beantwortet und</li> <li>• Keine zusätzlichen Aktivitäten nötig</li> </ul>

Abbildung 4.5: Ampellogik nach VDA (2009, S. 27) zur Bewertung von Maßnahmen

- Reale Outputkennzahlen (Typ 1): hierbei handelt es sich um physische und damit messbare Resultate, beispielsweise die Anzahl erstellter Dokumentationen oder gebauter Prototypen.
- Relative Potenzialkennzahlen (Typ 2): die Kennzahlen beziehen sich auf Parameter vergangener Entwicklungsprojekte (bspw. Verbesserung der Motorleistung in Bezug auf das Vorgängermodell).

Für die Anwendung des Kennzahlensystems wird der PEP in 13 Phasen unterteilt, welche mit insgesamt 39 Typ 1 und 28 Typ 2 Kennzahlen abgebildet werden. Aufgrund der hohen Anzahl der Kennzahlen wird für jede Phase eine Typ 1 Kennzahl als sog. „Spitzenkennzahl“ zur Messung der jeweiligen Phase herangezogen. Darüber hinaus werden sämtliche Typ 1 und 2 Kennzahlen in ein hierarchisch aufgebautes Kennzahlensystem zusammengefasst, welches um weitere, allgemeine Projektkennzahlen (bspw. ROI) ergänzt wird.

Aufgrund seiner detaillierten Beschreibung von insgesamt 67 Kennzahlen bietet der Ansatz von GENTNER (1994) eine gute Übersicht hinsichtlich möglicher Kennzahlen zur Messung der Serienreife. Da im Rahmen des Projektberichtswesens jedoch lediglich eine Spitzenkennzahl pro Phase herangezogen wird (GENTNER 1994, S. 99), deren Wahl nicht näher begründet wird, ist die Bewertung subjektiven Einflüssen unterworfen. Darüber hinaus stellt sich die Frage nach dem Mehrwert von 39 unterschiedlichen Typ 1 Kennzahlen, wenn nur eine Spitzenkennzahl berichtet wird. Das Kennzahlensystem berücksichtigt die meisten relevanten Aufgaben der Serienreifmachung, allerdings werden vereinzelte Aspekte nicht explizit aufgeführt (bspw. der Fortschritt der Montagevalidierung). Kennzahlen zur Anwendung auf Produktkomponenten-Ebene sind teilweise vorhanden. Eine Berücksichtigung von Unsicherheiten erfolgt nicht. Da das Kennzahlensystem auf den PEP aufbaut, ist von dessen Anwendbarkeit im Rahmen von PEP-Projekten auszugehen. Aufgrund des geringen Detaillierungsgrads der Vorgehensbeschreibung ist das Verfahren kaum als robust in Bezug auf Benutzerfehler einzuschätzen. Die hohe Anzahl der Kennzahlen lässt eine einfache Anwendbarkeit unwahrscheinlich erscheinen. Da die Arbeit von GENTNER kein Anwendungsbeispiel im industriellen Kontext beinhaltet, ist die Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien sowie die Akzeptanz des Verfahrens bei den Anwendern nicht zu beurteilen.

**RENNER (2012a, S. 24 ff.)** beschreibt ein umfangreiches, sog. *Performance Management System* für die Phase des Produktionsanlaufs. Dabei werden die fünf in Tabelle 4.1

beschriebenen Zielklassen unterschieden, welche jeweils durch eine Vielzahl operationalisierter Kennzahlen beschrieben werden.

*Tabelle 4.1: Zielklassen und Anzahl beschreibender Kennzahlen nach RENNER (2012a, S. 24 ff.)*

<b>Zielklasse</b>	<b>Anzahl Kennzahlen</b>
Monetäres Ergebnis	30
Produktbezogenes Ergebnis	31
Transformationsbezogenes Ergebnis	38
Personalbezogenes Ergebnis	44
Umfeldbezogenes Ergebnis	27

Um trotz der hohen Anzahl an Kennzahlen eine effektive Bewertung des Anlaufs zu ermöglichen, werden verschiedene Aggregationsmethoden aufgeführt. Die einfachste Form der Aggregation ist RENNER (2012a, S. 28 ff.) zufolge eine gewichtete Addition der einzelnen Kennzahlen. Bei Kennzahlen unterschiedlicher Einheiten ist dabei eine Skalentransformation erforderlich. Als weitere Aggregationsmethodik wird eine gewichtete Flächenaddition genannt, die allerdings nur auf kontinuierlich plan- und abbildbare Kennzahlen angewendet werden kann. Dabei wird für jede Kennzahl die Fläche zwischen Soll- und Ist-Verlauf gemessen und gewichtet addiert. Schließlich wird die Verwendung eines Ampelsystems als Aggregationsmöglichkeit genannt (vgl. auch Ansatz nach VDA bzw. Abbildung 4.5). Auf Basis der durch das Kennzahlensystem geschaffenen Transparenz kann RENNER (2012a, S. 30 ff.) zufolge eine Beeinflussung der Anlaufperformance erfolgen. Dies kann zum einen implizit geschehen, beispielsweise indem die Leistungsbereitschaft und Motivation der einzelnen Mitarbeiter durch die Veranschaulichung der eigenen Leistung erhöht wird. Zum anderen kann die Beeinflussung explizit durch einen 30 Maßnahmen umfassenden Katalog erfolgen, der im Rahmen einer qualitativen Studie ermittelt wurde.

Die insgesamt fünf Veröffentlichungen, die RENNER (2012b) im Rahmen seiner kumulativen Dissertation erarbeitet hat, bieten einen tiefgreifenden Überblick über Produktionstheorie, Ziele und Management des Produktionsanlaufs. Das zeigt sich beispielsweise an der detaillierten Analyse verschiedener Ansätze, die auf insgesamt 170 Kennzahlen zur Messung des Produktionsanlaufs führt (vgl. Tabelle 4.1). Die Analyse der Kennzahlen zeigt, dass diese teilweise auf subjektiven Einschätzungen basieren. Das Kennzahlensystem deckt im Wesentlichen alle in der Serienreifemachung relevanten Aufgaben ab,



allerdings erscheint es lediglich bedingt für einen Einsatz auf Produktkomponenten-Ebene geeignet. Unsicherheiten bei der Bewertung werden thematisiert, jedoch nur am Rande betrachtet. Insbesondere wird kein Instrument zur expliziten Berücksichtigung von Unsicherheiten im Rahmen der Kennzahlenerhebung zur Verfügung gestellt. Da das Konzept auf den PEP aufbaut (RENNER & DYCKHOFF 2012, S. 5 ff.), kann von dessen PEP-Integrierbarkeit ausgegangen werden. Vor dem Hintergrund der mehr als 100 Kennzahlen sowie kaum vorhandenen Anwendungsrichtlinien ist das Konzept weder als sonderlich robust hinsichtlich Benutzerfehlern einzuschätzen, noch als einfach in der Anwendung zu bewerten. Da keine Anwendungsbeispiele des Konzepts dokumentiert sind, kann darüber hinaus dessen Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien sowie die Akzeptanz des Verfahrens bei den Anwendern nicht bewertet werden.

WANGENHEIM (1998, S. 115 ff.) beschreibt ein Konzept zur Serienreifegradmessung basierend auf den drei Dimensionen Produkt, Prozess und Kapazität. Bei der Produktdimension steht die Erfüllung der Kundenanforderungen an das Produkt sowie die Konkretisierung des Produkts an sich im Vordergrund. Die Prozessdimension misst die Fähigkeit des Unternehmens, das Produkt in geforderter Qualität und Quantität bereitstellen zu können, während anhand der Kapazitätsdimension Transparenz hinsichtlich der zur Durchführung des Produktionsprozesses benötigten Ressourcen geschaffen wird. Der Serienreifegradzustand kann bei Kombination der drei Dimensionen als Vektor interpretiert werden (vgl. Abbildung 4.6).

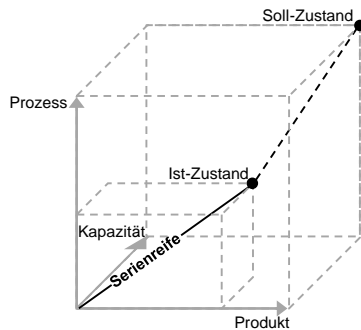


Abbildung 4.6: Dimensionen der Serienreifegradmessung (in Anlehnung an WANGENHEIM 1998, S. 116)

Ausgangsbasis für die Informationsstrukturierung bildet die Produktstruktur (vgl. Abschnitt 1.3.2.3), die um die zur Leistungserstellung nötigen Prozesse und Kapazitäten

ergänzt wird. Dieses erweiterte Produktstrukturmodell wird in einer Datenbank hinterlegt und muss von den beteiligten Mitarbeitern stets mit den aktuell verfügbaren Informationen zur Ermittlung des Serienreifegrads versorgt werden. Bedingt durch den hierarchischen Aufbau der Produktstruktur kann ein übergeordnetes Element (bspw. eine Komponente) höchstens den geringsten Serienreifegrad aus der Menge seiner Unterbauteile bzw. -komponenten aufweisen. Die Messung des Serienreifegrads erfolgt anhand von sechs Stufen auf Bauteilebene (vgl. Tabelle 4.2). Auf Komponentenebene erfolgt die Messung auf Grundlage der vier in Tabelle 4.3 dargestellten Reifekategorien.

*Tabelle 4.2: Stufen der Serienreife von Bauteilen (WANGENHEIM 1998, S. 125)*

---

<b>Reifestufe 1</b>	
Produkt	Funktionale Anforderungen voll erfüllt
Prozess	Passung und Oberfläche mit Serienwerkzeugen ohne Mängel reproduzierbar
Kapazität	Produktion auf Serienanlagen, hohe Stückzahlen ohne Nacharbeit produzierbar

---

<b>Reifestufe 2</b>	
Produkt	Funktionale Anforderungen innerhalb der Toleranzgrenzen erfüllt
Prozess	Serienwerkzeuge, maximal 3 Punkte Abweichung in Passung und Oberfläche
Kapazität	Produktion auf Serienanlagen, hohe Stückzahlen möglich, kurzfristig manuelle Nacharbeit

---

<b>Reifestufe 3</b>	
Produkt	Funktionale Anforderungen nach Nacharbeit erfüllt
Prozess	Serienwerkzeuge, Oberfläche und Passung nach Nacharbeit in Ordnung
Kapazität	Produktion auf Serienanlagen, manuelle Nacharbeit, geringe Stückzahlen

---

<b>Reifestufe 4</b>	
Produkt	Verwendungsfähiges Bauteil aus Serienmaterial, funktionale Anforderungen weitestgehend erfüllt
Prozess	Versuchswerkzeuge, Oberfläche in Ordnung, Passungen durch Nacharbeit erreichbar
Kapazität	Produktion auf Pilotanlage

---

<b>Reifestufe 5</b>	
Produkt	Verwendungsfähiges Bauteil aus seriennahem Material, funktionale Anforderungen nicht erfüllt
Prozess	Versuchswerkzeuge, Oberfläche und Passung entsprechen nicht den Anforderungen
Kapazität	Produktion auf Pilotanlage oder manuell, Serienanlage im Aufbau

---

<b>Reifestufe 6</b>	
Produkt	Bauteil aus Versuchsmaterial, Funktionsprüfung nicht möglich
Prozess	Musterbau, Prozessfähigkeit nicht prüfbar
Kapazität	Manuelle Produktion, Serienanlage nicht determiniert

---

Tabelle 4.3: Reifekategorien auf Komponentenebene (WANGENHEIM 1998, S. 125)

<b>Bauliche Reife</b>	
Produkt	(1) Anzahl Konstruktionsfreigaben (2) Anzahl bemusterte Bauteile
Prozess	(1) Umfang Materialspezifikation (2) Anzahl Prototypen
Kapazität	(1) Anzahl Lieferantenverträge (2) Anzahl geschulte Mitarbeiter
<b>Funktionale Reife</b>	
Produkt	(1) Auditnote Prototypbeurteilung (2) Mängelanzahl Crashsimulation
Prozess	(1) $C_{pk}$ -Werte (2) Ausschussquote Pilotmontage
Kapazität	(1) Realisierbares Produktionsvolumen
<b>Dokumentarische Reife</b>	
Produkt	(1) Anzahl CAD-Datensätze (2) Anzahl Serviceunterlagen
Prozess	(1) Anzahl Arbeitsanweisungen
Kapazität	(1) Anzahl Spezifikationen (2) Positionen Wartungspersonal
<b>Wirtschaftliche Reife</b>	
Produkt	(1) Herstellkosten (2) Wartungskosten (3) Kraftstoffverbrauch
Prozess	(1) Fertigungskosten
Kapazität	(1) Investitionsvolumen (2) Instandhaltungskosten

Durch die Vorgabe von Sollwerten kann zu unterschiedlichen Zeitpunkten die Abweichung eines betrachteten Umfangs quantifiziert und damit dessen Serienreife bewertet werden. Alternativ können mehrere Kennzahlen zu einer Größe aggregiert werden, wobei aufgrund der unterschiedlichen Einheiten der Kennzahlen diese entweder sämtlich in monetäre oder dimensionslose Kennzahlen überführt werden müssen. Die durch Aggregation erreichte Vereinfachung geht mit einem Verlust von Information und damit Genauigkeit einher.

Vordergründiges Ziel der Arbeit von WANGENHEIM (1998) ist eine empirische Analyse des Innovationsprozesses an der Schnittstelle zwischen OEM und Zulieferfirmen. Der Ansatz zur Serienreifegradmessung wird lediglich entwickelt, jedoch nicht einer praktischen Anwendung und Evaluation unterzogen. Inwiefern die Reifestufen und -kategorien eine ausreichende Grundlage für die Bewertung der Serienreife in unterschiedlichen Szenarien bilden und der Ansatz von den Anwendern akzeptiert wird, kann somit nicht beantwortet werden. Aufgrund des vergleichsweise geringen Detaillierungsgrads der Bewertungskriterien kann Unabhängigkeit des Bewertungsergebnisses von der bewertenden Person kaum gewährleistet werden. Die genannten Bewertungskriterien umfassen größtenteils die erforderlichen Aufgaben der Serienreifemachung. Durch den Fokus auf einzelne Bauteile ist eine Bewertung auf Produktkomponenten-Ebene

möglich. Eine Berücksichtigung von Unsicherheiten ist nicht Bestandteil des Vorgehens. Aufgrund der Betrachtung des Serienanlaufs ist PEP-Integrierbarkeit gegeben. Robustheit bezüglich Benutzerfehlern sowie einfache Anwendbarkeit kann auf Basis der beschriebenen, softwareseitigen Unterstützung des Ansatzes unterstellt werden.

**NIEDER (1995)** stellt die Herausforderung der hinreichend genauen Messung von Reifegradindikatoren in den Vordergrund seiner Arbeit und widmet sich darüber hinaus der Frage, wie das Ergebnis einer solchen Reifegradmessung zu interpretieren ist. NIEDER (1995, S. 34) zufolge sind quantifizierte Reifegradindikatoren (z. B. 153 aufgetretene Produktänderungen bei 30% freigegebenen Zeichnungen) dabei zu abstrakt, um als Entscheidungsgrundlage zu dienen. Zur Messung wird daher ein Fuzzy<sup>4</sup>-Ansatz vorgeschlagen. Leitende Mitarbeiter werden gebeten, ihre subjektive Einschätzung bezüglich des Erfüllungsgrads von insgesamt 19 Reifegradindikatoren abzugeben. Die prozentuale Skala der Indikatoren wird dazu zunächst durch die Definition von linguistischen Variablen *fuzzifiziert*. Anhand von Fuzzy „wenn-dann“-Regeln kann anschließend die Produktreife als linguistischer Wert berechnet werden (sog. „Fuzzy-Inferenz“). Um unterschiedliche Produktreifen miteinander zu vergleichen, muss die Produktreife schließlich noch *defuzzifiziert* werden, also in Form einer reellen Zahl angegeben werden.

Während NIEDER durch den Fuzzy-Ansatz die oft schwierige, quantitative Bestimmung von Reifegradindikatoren durch expertengestützte Erhebung von linguistischen Variablen umgeht, stellen sich anderweitige Herausforderungen. So ist die Auswahl der richtigen Experten für die Qualität der Bewertung von entscheidender Bedeutung. NIEDER schlägt dafür leitende Mitarbeiter vor. Hier stellt sich die Frage, ob nicht operativ tätige Mitarbeiter den gegenwärtigen Zustand des Projekts besser einschätzen können. Unabhängig davon sind subjektive Einflüsse verfahrensimmun. Die beschriebenen Reifeindikatoren decken zudem lediglich einen Teil der relevanten Aufgaben ab und scheinen für einen Einsatz zur Bewertung auf Produktkomponenten-Ebene nur bedingt geeignet. Durch die Anwendung der Fuzzy-Set Theorie werden linguistische Unsicherheiten berücksichtigt und PEP-Integrierbarkeit ist gegeben. Die für die Erhebung der Unsicherheiten notwendigen Experteninterviews sind als vergleichsweise aufwendig

---

<sup>4</sup> Durch Fuzzy-Logik können qualitative Aussagen, wie beispielsweise „die Anzahl der Änderungen ist sehr hoch“, quantifiziert werden. Eine detaillierte Beschreibung der Fuzzy-Logik sowie deren Anwendungsmöglichkeiten übersteigt den Fokus der vorliegenden Arbeit. Für weiterführende Informationen sei beispielsweise auf DUBOIS & PRADE (2000) oder KREBS (2012) verwiesen.

einzuschätzen. Da es sich um ein anspruchsvolles Verfahren handelt und kein detailliertes Anwendungsvorgehen beschrieben ist, kann das Verfahren kaum als robust in Bezug auf Benutzerfehler bewertet werden. Aufgrund des fehlenden Anwendungsbeispiels können keine Aussagen zur Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien sowie zur Akzeptanz des Verfahrens bei den Anwendern getroffen werden.

### 4.2.4 Bewertung der Serienreife – Resümee

Die Ausführungen im Rahmen der Abschnitte 4.2.2 und 4.2.3 zeigen, dass bereits verschiedene Ansätze zur Reifebewertung existieren. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden diese weiter unterteilt in allgemeine Ansätze zur Reifebewertung des Projektfortschritts, sowie Verfahren, die speziell für den Einsatz im PEP bzw. in der Serienreifmachung entwickelt wurden. Eine Übersicht über die vorgestellten Ansätze sowie deren Bewertung auf Basis der in Abschnitt 3.2 spezifizierten Anforderungen zeigt Tabelle 4.4.

Es zeigt sich, dass ansatzübergreifend Schwächen in Hinblick auf die Objektivität der Bewertung vorliegen. Die Berücksichtigung aller relevanten Aufgaben in der Serienreifmachung erfolgt vereinzelt. Insbesondere bei MTA und EVA werden die Aufgaben lediglich generisch als Arbeitspakete beschrieben, eine explizite Nennung weist nur der Ansatz nach VDA auf. Darüber hinaus zeigt der Vergleich der Ansätze, dass sich die Detaillierungsgrade der Aufgabenbeschreibungen stark unterscheiden. Eine Bewertung auf Produktkomponenten-Ebene ist in einem Teil der Ansätze vorgesehen, jedoch in keinem Fall mittels eines durchgängigen Anwendungsbeispiels nachgewiesen. Aufgrund des Fehlens von Anwendungsbeispielen können darüber hinaus keine Aussagen zur Akzeptanz der untersuchten Ansätze bei den Mitarbeitern getroffen werden. Eine Berücksichtigung von Unsicherheiten während der Serienreifmachung erfolgt lediglich durch NIEDER (1995) und teilweise von RENNER (2012b). Positiv hervorzuheben ist, dass die betrachteten Ansätze sämtlich gut im Rahmen von PEP-Projekten anwendbar sind und häufig auch für den Einsatz in unterschiedlichen Szenarien geeignet sind. Explizite Vorkehrungen zur Vermeidung von Anwenderfehlern wurden teilweise getroffen, auf Einfachheit der Anwendung wurde überwiegend geachtet.

Unter Anwendung der in Abschnitt 3.3 vorgestellten Metrik ergibt sich, dass keiner der diskutierten Ansätze eine vollständige Richtigkeit der Bewertungsergebnisse im Sinne der operationalisierten Anforderungen gewährleisten kann. Auch gibt es Defizite in

Hinblick auf die industrielle Anwendbarkeit, was meist auf mangelnde Fehlerrobustheit und Einfachheit bei der Anwendung, sowie die Unklarheit bezüglich der Akzeptanz der Ansätze bei den Anwendern zurückzuführen ist. Die Allgemeingültigkeit der Ansätze variiert ebenfalls, abhängig von unklarer Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien sowie mangelnder Vollständigkeit der betrachteten Aufgaben.

Tabelle 4.4: Vergleich von Ansätzen zur Bewertung der Serienreife

	Bewertung der Serienreife									
	allgemeine Ansätze					spezielle Ansätze				
	MTA	DR	EVA	PSC	VDA	GENTNER	RENNER	WANGENHEIM	NIEDER	
<b>operationalisierte Anforderungen</b>										
Objektivität der Bewertung	☐	☐	☐	●	●	●	●	●	●	●
Vollständigkeit	●	☐	●	●	●	●	●	●	●	●
Bewertung auf Produktkomponenten-Ebene	☐	●	☐	○	●	●	●	●	●	●
Berücksichtigung von Unsicherheiten	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
PEP-Integrierbarkeit	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●
Robustheit bezüglich Benutzerfehlern	●	☐	●	●	●	●	●	●	●	●
Einfache Anwendbarkeit	●	●	●	●	☐	☐	☐	●	●	●
Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Akzeptanz der Mitarbeiter	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
<b>übergeordnete Anforderungen</b>										
Richtigkeit der Ergebnisse	☐	☐	☐	○	●	●	●	●	●	●
Anwendbarkeit im industriellen Kontext	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Allgemeingültigkeit	●	☐	●	●	●	●	●	●	●	●
○ nicht gegeben      ☐ teilweise gegeben      ● größtenteils gegeben ● gegeben              ● nicht bewertbar / Erfüllung unklar										

### 4.3 Priorisierung von Aufgaben im Produktentstehungsprozess

#### 4.3.1 Allgemeines

Allgemein bezeichnet eine Priorität den Rang eines Elements einer Menge, welcher aus einer quantitativen Bewertung aller Elemente der Menge resultiert (WERMKE ET AL.

2010, S. 847). Eine Priorisierung von Aufgaben kann dabei nach zwei Gesichtspunkten erfolgen:

- **Dringlichkeit:** Eine Priorisierung nach Dringlichkeit liegt vor, wenn die Bewertung in Hinblick auf den erforderlichen Beginn- bzw. Abschlusszeitpunkt der betrachteten Aufgaben erfolgt. Die Ermittlung dieser Zeitpunkte wiederum kann von unterschiedlichen subjektiven und objektiven Kriterien abhängen.
- **Wichtigkeit:** Erfolgt die Priorisierung nicht in Hinblick auf zeitliche Aspekte, so handelt es sich um eine Priorisierung nach Wichtigkeit bzw. der Frage, wie groß der Beitrag einer Aufgabe zur Erreichung eines bestimmten Ziels ist. Eine Priorisierung nach Wichtigkeit kann Grundlage für die Festlegung von Abschlusszeitpunkten und damit für eine Priorisierung nach Dringlichkeit sein.

Die meisten Ansätze zur Priorisierung von Aufgaben sind dabei nicht eindeutig einer Kategorie zuzuordnen, da häufig – zumindest implizit – vorgeschlagen wird, die *wichtigsten* Aufgaben auch *zuerst* abzuschließen. Ausnahme bilden sog. Scheduling-Ansätze, deren Ziel die Erstellung einer zeitlichen Abfolge von Aufgaben unter verschiedenen Randbedingungen ist, jedoch mit *a priori* verfügbarem Wissen hinsichtlich der Wichtigkeit der Aufgaben (LIU ET AL. 2016). Auf Grundlage der in Abschnitt 2.4 beschriebenen Argumentation liegt der Fokus der vorliegenden Arbeit auf der Bestimmung der tatsächlichen *Wichtigkeit* von Aufgaben in der Serienreifmachung, weshalb die in Abschnitt 4.3.2 und Abschnitt 4.3.3 beschriebenen Ansätze ausschließlich Priorisierungen nach Wichtigkeit umfassen. Scheduling-Ansätze sind dementsprechend nicht Teil der Betrachtung. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde eine Unterscheidung in Ansätze aus dem Umfeld des Projektmanagements sowie speziell für einen Einsatz im Rahmen der Serienreifmachung entwickelte Ansätze gewählt.

### 4.3.2 Ansätze zur Priorisierung von Aufgaben aus dem Projektmanagement

Grundlage vieler Vorgehen zur Priorisierung und gleichzeitig deren einfachste Art ist der **paarweise Vergleich** bzw. **Paarvergleich**. Um einen Paarvergleich durchzuführen, müssen mindestens ordinal-skalierte Variablen vorliegen sowie das Merkmal, hinsichtlich dessen priorisiert werden soll, eindeutig definiert sein. Die zu priorisierenden Aufgaben werden in die Zeilen und Spalten einer Matrix eingetragen und anschließend

paarweise miteinander verglichen. Dabei wird stets die Nummer des wichtigeren Elements in die jeweilige Zelle eingetragen. Die so erhaltene Gesamtzahl der Nennungen jedes Elements stellt eine Maßzahl für dessen jeweilige Priorität dar. Das Ergebnis eines Paarvergleichs wird häufig als sog. *Präferenzmatrix* dargestellt (vgl. Abbildung 4.7, in Anlehnung an FELDHUSEN & GROTE 2012, S. 395).

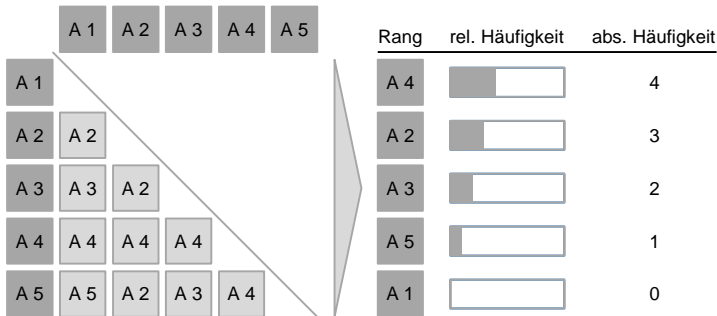


Abbildung 4.7: Präferenzmatrix in Anlehnung an FELDHUSEN & GROTE (2012, S. 395)

Grundsätzlich ist der Paarvergleich auch auf die Priorisierung von Aufgaben in der Serienreifemachung anwendbar, allerdings ist das Vorgehen aufgrund der quadratischen Abhängigkeit der Anzahl durchzuführender Vergleichsoperationen von der Anzahl der Aufgaben mit hohem Aufwand verbunden<sup>5</sup>.

Um die hohe Anzahl an Vergleichsoperationen zu verringern, kann anstelle eines Paarvergleichs auch eine **binäre Priorisierung** erfolgen (BEBENSEE ET AL. 2010, S. 70 ff.). Dabei wird jedes Element der Menge binär (wichtig / nicht wichtig) im Verhältnis zu den anderen Elementen der Menge bewertet. Abhängig vom erforderlichen Detaillierungsgrad der Priorisierung kann das Vorgehen mehrfach ausgeführt werden (vgl. Abbildung 4.8). Außerdem ist es möglich, eine binäre Priorisierung vor einem Paarvergleich durchzuführen. Dieser wird dann nur auf die Menge der als wichtig eingestuft Elemente angewendet, was in der Regel zu einer Reduktion der insgesamt erforderlichen Vergleichsoperationen führt<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Für  $n$  zu priorisierende Aufgaben ergibt sich die Anzahl durchzuführender Vergleichsoperationen zu  $N = \frac{n \cdot (n-1)}{2}$ .

<sup>6</sup> Bei  $n$  zu priorisierenden Aufgaben, von denen im Rahmen einer binären Priorisierung eine Anzahl  $A_w$  als wichtig eingestuft wurde, ergibt sich die Anzahl insgesamt durchzuführender Vergleichsoperationen in einem paarweisen Vergleich zu  $N = A_w + \frac{(A_w) \cdot (A_w-1)}{2}$ .



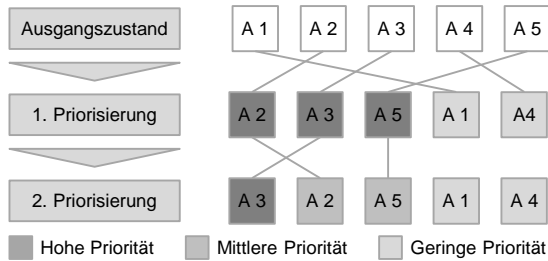


Abbildung 4.8: Binäre Priorisierung bei zwei Priorisierungsiterationen in Anlehnung an BEBENSEE ET AL. (2010, S. 70 ff.)

Sowohl der paarweise Vergleich als auch die binäre Priorisierung ermöglichen eine Priorisierung von Aufgaben für einzelne Produktkomponenten. Da die Ansätze nicht für einen spezifischen Anwendungsfall entwickelt wurden, erfolgt keine explizite Berücksichtigung relevanter Aufgaben in der Serienreifmachung. Beide Priorisierungsverfahren sind als wenig objektiv einzuschätzen, da die Priorisierung von der subjektiven Einschätzung weniger Mitarbeiter abhängt. Eine Berücksichtigung der Dynamik während der Serienreifmachung ist in beiden Verfahren kaum möglich, da jede Änderung an der Grundgesamtheit der Aufgaben eine vollständige Neupriorisierung durch die Mitarbeiter erfordert. Da kein durchgängiges Anwendungsbeispiel in der Serienreifmachung identifiziert werden konnte, ist eine Quantifizierung von Kosten und Nutzen und damit die Bestimmung eines Kosten-Nutzen-Verhältnisses nicht möglich. Eine Berücksichtigung von Unsicherheiten ist in beiden Verfahren nicht vorgesehen. Eine Integration der Verfahren in den PEP ist denkbar und in der Literatur beschrieben (vgl. bspw. HSIAO 2002, S. 47 ff.). Beide Verfahren sind leicht anwendbar und deshalb als robust hinsichtlich Benutzerfehlern einzuschätzen, allerdings ist der zeitliche Anwendungsaufwand, insbesondere bei einer hohen Zahl zu priorisierender Aufgaben, beträchtlich. Stärke der Verfahren ist deren Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien, welche in der Literatur vielfach belegt ist. Zur Akzeptanz der Verfahren bei den Mitarbeitern liegen keine Untersuchungsergebnisse vor.

Eine weitere Möglichkeit der Priorisierung ist die sog. **Must-Should-Could-Won't (MoSCoW)-Priorisierung** nach PINKSTER (2004, S. 27 ff.). Im Gegensatz zur vergleichenden Priorisierung werden Aufgaben hier für sich genommen betrachtet und dabei unterteilt in (1) *Must-*, (2) *Should-*, (3) *Could-* und (4) *Won't-Aufgaben*. *Must-*Aufgaben bezeichnen dabei Arbeitspakete, deren Nichtausführung zu einem Misslingen

des Projekts führen. *Should*-Aktivitäten bezeichnen Aufgaben, die nur im Notfall – beispielsweise wenn sich das Projekt stark im Verzug befindet – nicht durchgeführt werden sollten. *Could*-Aufgaben haben keinen entscheidenden Einfluss auf den Erfolg des Projekts und sind damit optional. Als *Won't*-Aufgaben werden Arbeitspakete klassifiziert, die nicht zum gegenwärtigen Zeitpunkt bzw. im betrachteten Zeitraum, wohl aber später erledigt werden sollten. Solche Aufgaben werden entsprechend in regelmäßigen Abständen neu bewertet und gegebenenfalls anders klassifiziert.

Die Must-Should-Could-Won't (MoSCoW)-Priorisierung ist ähnlich dem paarweisen Vergleich bzw. der binären Priorisierung zu bewerten, da sie ebenfalls nicht für einen spezifischen Anwendungsfall entwickelt wurde. Unterschiede bestehen hinsichtlich der Robustheit in Bezug auf Benutzerfehler, da das Verfahren durch die regelmäßig erforderliche Neubewertung der als *Won't*-Aufgaben eingestuftten Arbeitspakete komplizierter in der Anwendung ist. Auch wurden keine Belege gefunden, die eine Bewertung der Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien ermöglichen. Da auch für die MoSCoW Priorisierung kein durchgängiges Anwendungsbeispiel in der Serienreifmachung vorliegt, sind Mitarbeiterakzeptanz sowie Kosten und Nutzen des Verfahrens in diesem Kontext nicht zu bewerten.

### 4.3.3 Spezielle Ansätze zur Priorisierung von Aufgaben in der Serienreifmachung

GARTZEN ET AL. (2016, S. 19 ff.) beschreiben ein Vorgehen zur Priorisierung von zu bauenden Prototypen im Entwicklungsprozess. Ziel des Baus von Prototypen ist es, die Unsicherheit bezüglich des Entwicklungsvorhabens zu reduzieren, welche sich den Autoren zufolge in drei Kategorien unterteilen lässt:

- Marktunsicherheit: Unsicherheit hinsichtlich der Zielmärkte, des Marktpotenzials und der Kundenanforderungen.
- Technologische Unsicherheit hinsichtlich des Produkts: Unsicherheit in Bezug auf die technische Machbarkeit und die Entwicklungskosten.
- Technologische Unsicherheit hinsichtlich des Produktionsprozesses: Unsicherheit bezüglich Produktionsalternativen und -kosten.

In Anlehnung an das Scrum-Entwicklungsverfahren wird zur Durchführung des Verfahrens in einem ersten Schritt ein sog. *Product-Backlog*<sup>7</sup> erstellt. Für die Priorisierung des Backlogs wird vorgeschlagen, den Quotienten aus Reduktion der Unsicherheit und zu investierenden Ressourcen für den Bau des Prototypen heranzuziehen. Die Reduktion der Unsicherheit soll dabei anhand von vorab zu definierenden KPIs quantifiziert werden, während die zu investierenden Ressourcen auf Grundlage eines Fähigkeitsprofils des Unternehmens zu ermitteln sind. Als weitere Priorisierungsregel wird vorgeschlagen, zuerst Marktunsicherheit, anschließend Unsicherheit hinsichtlich des Produkts und schließlich Unsicherheit bezüglich des Produktionsprozesses zu reduzieren.

Das von GARTZEN ET AL. (2016) vorgeschlagene Verfahren wurde für die Priorisierung von Prototypen entwickelt und ist deshalb lediglich eingeschränkt auf Produktkomponenten-Ebene anwendbar. Auch erfolgt keine Betrachtung relevanter Aufgaben, die über den gewählten Fokus hinausgehen. Die Priorisierung erfolgt, aufbauend auf einen Product-Backlog, durch die beteiligten Experten und ist deshalb subjektiven Einflüssen unterlegen. Eine Stärke des Verfahrens ist die weitgehende Berücksichtigung der auftretenden Dynamik durch Anwendung der Scrum-Vorgehensweise. Da die Ausarbeitung des Vorgehens überwiegend auf konzeptioneller Ebene erfolgt und kein Anwendungsbeispiel beschrieben wird, können Kosten-Nutzen-Verhältnis, Akzeptanz des Verfahrens bei den Mitarbeitern und die Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien nicht bewertet werden. Eine Berücksichtigung von Unsicherheiten erfolgt teilweise, da diese zwar zur Priorisierung herangezogen werden, deren Quantifizierung jedoch unklar ist. Das Verfahren wurde für eine Anwendung im Rahmen des PEP entwickelt und erscheint weitestgehend einfach anwendbar. Der zeitliche Anwendungsaufwand ist auf Grundlage der vorliegenden Beschreibung nicht einzuschätzen.

SCHARER (2002, S. 48 ff.) stellt einen Ansatz zur Identifikation von Aktivitäten vor, die im Rahmen eines Risikomanagementprozesses im Produktentstehungsprozess besonders zu beachten sind. Maßgeblich sind dabei die Dimensionen *Auswirkungsgrad* und *Erfahrungsgrad*. Der Erfahrungsgrad wird dabei als gewichtete Summe der Größen Wiederholhäufigkeit, Komplexität und Kernkompetenzübereinstimmungsgrad bestimmt. Die Komplexität ist abhängig von der Anzahl der an der Aktivitätsdurchführung beteiligten Personen, während der Kernkompetenzübereinstimmungsgrad daran gemessen

---

<sup>7</sup> Das Product-Backlog ist eine Liste, welche alle gewünschten Eigenschaften des Produkts enthält (SUTHERLAND 2014, S. 12).

wird, inwiefern neues Knowhow für die Durchführung der Aktivität erforderlich ist. Der Auswirkungsgrad wird hingegen mittels der Parameter Zeitbedarf, Bedeutung für den Projekterfolg und Ressourcenverbrauch berechnet. Während der Zeitbedarf anhand des Projektablaufplans ermittelt werden kann, hängt die Bedeutung für den Projekterfolg davon ab, ob die jeweilige Aktivität einen wichtigen Beitrag für die Realisation von Alleinstellungsmerkmalen des Produkts leistet. Im Ergebnis sind solche Aktivitäten zu priorisieren, die eine hohe Auswirkung auf das Projekt haben und für die gleichzeitig lediglich geringe Erfahrungswerte vorliegen (vgl. Abbildung 4.9).

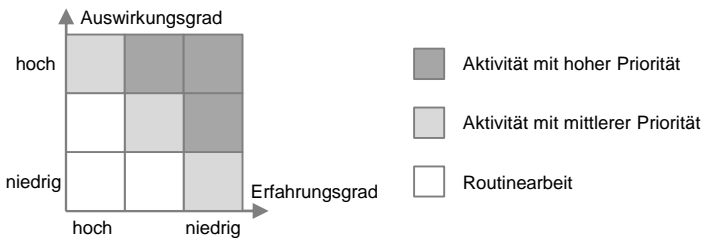


Abbildung 4.9: Raster zur Identifikation kritischer Aktivitäten (in Anlehnung an SCHARER 2002, S. 49)

Im Verfahren nach SCHARER werden Aktivitäten nicht für einzelne Produktkomponenten priorisiert, auch werden relevante Aufgaben nur vereinzelt betrachtet. Durch Vorgabe der Bewertungsgrößen und des Verfahrens zur quantitativen Ermittlung von Auswirkungs- und Erfahrungsgrad können subjektive Einflüsse weitestgehend minimiert werden. Es finden sich keine Hinweise auf den Umgang mit Dynamik in der Serienreifmachung, ebenso liegen keine Informationen zum Kosten-Nutzen-Verhältnis vor. Unsicherheiten werden teilweise implizit durch die Einbeziehung des Erfahrungsgrads berücksichtigt und Integrierbarkeit in den PEP scheint gegeben. Zur Bewertung der Akzeptanz des Verfahrens bei den Mitarbeitern sowie der Frage, inwiefern eine aufwandsarme Anwendung möglich ist, liegen keine ausreichenden Informationen vor. Ob das Verfahren in unterschiedlichen Szenarien zur Anwendung gebracht werden kann, geht aus den Ausführungen nicht hervor.

**BUSSWOLDER ET AL. (2016, S. 44 ff.)** stellen einen wissenschaftsbasierten Ansatz zur Priorisierung von Zielen im Anlauf vor. Dabei wird in einem ersten Schritt eine Sammlung möglicher Ziele erstellt, welche anschließend von Experten anhand einer Präferenzmatrix (vgl. Abschnitt 4.3.2) priorisiert werden. Zudem wird festgelegt, welche Phasen des

Anlaufs betrachtet werden sollen und es werden anhand von Ishikawa-Diagrammen<sup>8</sup> Einflussfaktoren auf die festgelegten Ziele bestimmt. In Expertengesprächen erfolgt des Weiteren eine phasenbezogene Gewichtung der Einflussfaktoren, welche mit der ermittelten Priorität aus der Präferenzmatrix multipliziert werden. Im Ergebnis führt das Verfahren auf eine Rangfolge von Einflussfaktoren, welche in der jeweiligen Phase besonders zu beachten sind.

Das Verfahren nach BUSSWOLDER ET AL. (2016) wurde für die Priorisierung von Einflussfaktoren auf die Anlaufphase entwickelt, weshalb es für eine Priorisierung von Aufgaben für einzelne Produktkomponenten nur eingeschränkt nutzbar ist. Es erfolgt eine teilweise Betrachtung relevanter Aufgaben für die Serienreifmachung und die Bewertung ist aufgrund der Expertengespräche als überwiegend subjektiv einzuschätzen. Stärken des Verfahrens liegen zum einen in seinem modularen Aufbau, welcher eine vergleichsweise einfache Berücksichtigung von Änderungen und damit der Dynamik ermöglicht. Zum anderen ist die Gefahr von Benutzerfehlern aufgrund der detaillierten Vorgehensbeschreibung als gering einzustufen. Darüber hinaus ist von guter Integrierbarkeit des Verfahrens in den PEP und vergleichsweise aufwandsarmer Anwendung auszugehen. Eine Berücksichtigung von Unsicherheiten erfolgt nicht und aufgrund des Fehlens eines Anwendungsbeispiels können keine Aussagen zu Kosten-Nutzen-Verhältnis, der Akzeptanz des Verfahrens bei den Mitarbeitern sowie der Anwendbarkeit in unterschiedlichen Situationen getroffen werden.

NAGEL (2011, S. 237 ff.) schlägt mit dem Konzept der *Anlaufreifekritizität* ein qualitatives Maß zur Beurteilung der Ergebniswirksamkeit von Aktivitäten in Hinblick auf die Zeit-, Qualitäts- und Kostenziele des Produktionsanlaufs vor. Dabei werden Aktivitäten hinsichtlich ihres inhaltlichen sowie ihres organisationalen Niveaus bewertet. Das inhaltliche Niveau setzt sich dabei zusammen aus Komplexität und Neuheitsgrad der im Rahmen der Aktivitäten zu behandelnden Inhalte, während das organisationale Niveau anhand der Dimensionen Ressourcenqualität und Ressourcenverfügbarkeit gemessen wird. Unter Ressourcen werden dabei sowohl Betriebsmittel, als auch Roh-, Betriebs- und Hilfsstoffe sowie Produktionsflächen und Mitarbeiter gezählt. Darüber hinaus werden die Niveaus von Anlaufplanung, Produktionsvorbereitung und -durchführung sowie

---

<sup>8</sup> Durch Ishikawa-Diagramme können systematisch Einflussfaktoren auf Ziele bzw. Problemstellungen ermittelt werden. Eine detaillierte Erklärung findet sich bspw. bei ISHIKAWA (1991).

der Qualität des Arbeitsvermögens als Ressourcen gezählt. Alle Bewertungen erfolgen dabei auf einer quantitativ-nichtmetrischen Skala (vgl. Abbildung 4.10).

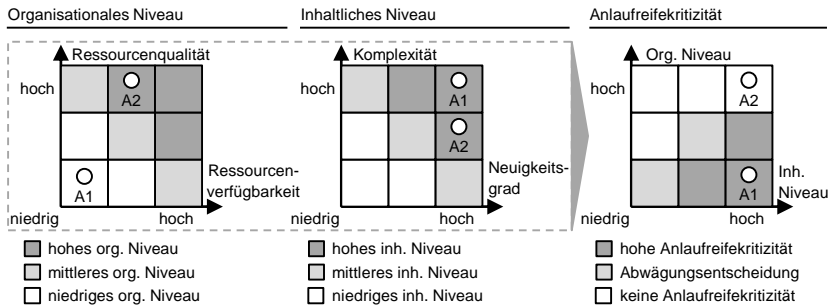


Abbildung 4.10: Bestimmung der Anlaufkritisizität nach NAGEL (2011, S. 239)

Das durch NAGEL beschriebene Vorgehen ist insbesondere für die Priorisierung von Aktivitäten und Aktivitätenfolgen im Rahmen des Managements von PEP-Großprojekten geeignet. Eine Anwendung auf einzelne Produktkomponenten erscheint nur eingeschränkt möglich, da die meisten Bewertungskriterien den dafür erforderlichen Detaillierungsgrad nicht aufweisen. Durch den Fokus auf die Anlaufphase werden die zur Serienreifelegung relevanten Aufgaben teilweise berücksichtigt. Stärke des Verfahrens ist die Vorgabe von Bewertungskriterien und die damit verbundene Minimierung subjektiver Einflüsse bei der Priorisierung sowie die vereinfachte Anwendung. Dennoch erscheint diese zeitaufwendig, insbesondere bei der Priorisierung einer großen Zahl von Aktivitäten. Auf den Umgang mit Dynamik wird ebenfalls eingegangen, allerdings ausschließlich in Hinblick auf zeitliche Änderungen von Planungsannahmen. Da die Anwendung des Vorgehens lediglich anhand eines fiktiven Beispiels erfolgt, sind Kosten-/Nutzenverhältnis sowie Akzeptanz der Anwender und Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien nicht bewertbar. Unsicherheiten in Hinblick auf die Zeitdauer von Aktivitäten werden betrachtet, nicht jedoch weitere, wie beispielsweise Unsicherheiten in Bezug auf das zu erreichende Ergebnis.

**HAMMERS & R. SCHMITT (2009, S. 206 ff.)** beschreiben einen Ansatz zur Priorisierung und Festlegung von Prüftätigkeiten im PEP. Dazu wird zunächst ein detaillierter Stage-Gate-Prozess für ein betrachtetes Projekt erstellt. Anschließend werden Aktivitäten zur Erfüllung der im Prozess festgelegten Meilensteine erarbeitet und in eine

Prozessstrukturmatrix eingetragen. Unter Zuhilfenahme einer sog. Informationseinflussmatrix werden zudem Informationsflüsse bezüglich ihres Einflusses auf einzelne Aktivitäten analysiert. Dadurch können HAMMERS & R. SCHMITT (2009) zufolge sowohl Informationsflüsse identifiziert werden, die eine Synchronisation erfordern, als auch solche, die einen hohen Einfluss auf die ermittelten Aktivitäten haben. Schließlich werden Prüftätigkeiten so festgelegt, dass Stellen, an denen mehrere kritische Informationsflüsse bzw. Informationsflüsse mit hohem Synchronisationsbedarf zusammenkommen, abgedeckt sind.

Auf Basis der Beschreibung von HAMMERS & R. SCHMITT zur weiteren Detaillierung von PEP-Aufgaben in einzelne, sog. *Deliverables* wird die Möglichkeit einer Priorisierung von Aufgaben auf Produktkomponenten-Ebene als gegeben erachtet. Da der Fokus des Ansatzes auf Prüftätigkeiten liegt, werden relevante Aufgaben der Serienreifmachung nur teilweise betrachtet. Es erfolgt keine detaillierte Vorgabe von Bewertungskriterien, entsprechend ist mit Priorisierungsergebnissen zu rechnen, welche mit subjektiven Einflüssen der Anwender behaftet sind. Auf Basis der vorliegenden Beschreibung erscheint die Anwendung des Verfahrens zeitlich und inhaltlich aufwendig. Außerdem finden sich weder Strategien zum Umgang mit der auftretenden Dynamik, noch zur Behandlung von Unsicherheiten. Ein Anwendungsbeispiel wird ebenfalls nicht zur Verfügung gestellt, weshalb keine Aussagen zum Kosten-/Nutzenverhältnis, der Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien oder Akzeptanz des Verfahrens bei den Mitarbeitern getroffen werden können.

**BAUER ET AL. (2008)** beschreiben ein Verfahren zur Priorisierung von Testfällen in der Softwareentwicklung. Da ein erschöpfender Test eines Softwaresystems in der Realität kaum möglich ist, wird eine risikobasierte Priorisierung der Testfälle vorgeschlagen. Dabei wird umso intensiver getestet, je höher das Risiko eines nicht vernachlässigbaren Schadens ist. Dafür werden zuerst Anwendungsfälle der Software aufgenommen, standardisiert in Unified Modelling Language (UML) beschrieben und bezüglich ihres Risikos<sup>9</sup> bewertet. Anschließend erfolgt eine Verfeinerung hin zu anwendungsfallspezifischen, risikobewerteten Verhaltensdiagrammen. Diese werden benötigt, um ein risikoorientiertes Testmodell aufzubauen. Testfälle werden dabei nach ihrer *Risikoabdeckung* priorisiert, also welche Risiken im Testfall potenziell auftreten können.

---

<sup>9</sup> Risiko beschreibt hier das Produkt aus *Schadenswahrscheinlichkeit* und *Schadensausmaß*. Beide Faktoren werden durch Experteninterviews erhoben.

BAUER ET AL. beschreiben einen Ansatz, der auf Produktkomponenten-Ebene gut anwendbar scheint. Da sich das Verfahren lediglich auf die Priorisierung von Tests bezieht, werden die meisten relevanten Aufgaben der Serienreifmachung nicht erfasst. Im Verfahren zur Priorisierung, insbesondere bei der Erhebung von Schadenswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß, wird auf subjektive Einschätzungen zurückgegriffen. Durch die Implementierung des Vorgehens als Software ist es BAUER ET AL. möglich, Änderungen jederzeit zu berücksichtigen und damit der Dynamik wirkungsvoll zu begegnen. Zudem ist durch die softwarebasierte, automatisierte Ableitung von Testfällen eine aufwandsarme und gleichzeitig in Bezug auf Benutzerfehler robuste Anwendung des Vorgehens im Rahmen von Entwicklungsprojekten möglich. Auf Basis eines industriellen Anwendungsfalls werden die Aufwände der Implementierung diskutiert, jedoch erfolgt keine Quantifizierung des Nutzens. Auf Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien kann auf Basis der vorliegenden Beschreibung nicht geschlossen werden. Die Akzeptanz bei den Mitarbeitern zeigt sich im Anwendungsfall als gegeben.

### 4.3.4 Priorisierung von Aufgaben – Resümee

Die vorgestellten Ansätze zur Priorisierung von Aufgaben unterteilen sich in drei Ansätze zur Priorisierung aus dem Umfeld des Projektmanagements sowie sechs Ansätze, die speziell für eine Anwendung in der Serienreifmachung konzipiert wurden. Tabelle 4.5 zeigt die Bewertung der diskutierten Ansätze anhand der in Abschnitt 3.2 operationalisierten Anforderungen.

Es zeigt sich, dass insbesondere die Projektmanagement-Ansätze für die Priorisierung auf Produktkomponenten-Ebene geeignet sind. Spezifisch für die Phase der Serienreifmachung entwickelte Ansätze behandeln meist die Priorisierung von Aufgaben auf übergeordneter Ebene, lediglich HAMMERS & R. SCHMITT sowie BAUER ET AL. bilden hiervon eine Ausnahme. Eine explizite Berücksichtigung sämtlicher relevanter Aufgaben in der Serienreifmachung erfolgt in keinem der vorgestellten Ansätze. Die Problematik subjektiver Einflüsse wird von SCHARER und NAGEL durch die Vorgabe detaillierter Kriterien zur Priorisierung behandelt, kann aber nicht vollständig behoben werden. Eine aufwandsarme Berücksichtigung dynamischer Entwicklungen ist lediglich im Ansatz von BAUER ET AL. durch die Automatisierung des Vorgehens im Rahmen einer Software zu attestieren. Der jeweilige Nutzen wurde in keinem der vorgestellten



Ansätze quantifiziert, lediglich BAUER ET AL. machen Angaben zum Implementierungsaufwand. Eine Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der Priorisierung von Aufgaben erfolgt vereinzelt und mit unterschiedlichen Fokussen. PEP-Integrierbarkeit ist in allen vorgestellten Ansätzen gewährleistet. Robustheit in Bezug auf Fehler der Benutzer wird entweder durch einfache, gut beschriebene Vorgehensweisen (vgl. Paarvergleich bzw. binäre Priorisierung) oder durch Plausibilisierung des Anwenderverhaltens im Rahmen einer Softwarelösung (vgl. BAUER ET AL.) erreicht. Aufwandsarme Anwendbarkeit ist häufig nur möglich, wenn die Priorisierung nicht auf Produktkomponenten-Ebene erfolgt. Eine Ausnahme stellt der Ansatz von BAUER ET AL. dar, die durch weitgehende Automatisierung eine signifikante Verkürzung der Anwendungsdauer erreichen. Für die Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien finden sich lediglich für Paarvergleich und binäre Priorisierung Belege – insbesondere die speziellen Ansätze werden häufig nicht oder nur anhand eines Praxisbeispiels validiert. Auf die Akzeptanz der jeweiligen Vorgehen bei den Anwendern wird nur bei BAUER ET AL. eingegangen.

Durch Anwendung der in Abschnitt 3.3 vorgestellten Metrik ergibt sich, dass der Großteil der vorgestellten Ansätze lediglich in der Lage ist, teilweise richtige Ergebnisse im Sinne der operationalisierten Anforderungen zu produzieren. Die industrielle Anwendbarkeit ist häufig mit Unsicherheit behaftet, während die Wirtschaftlichkeit der Ansätze meist gänzlich unklar ist. Darüber hinaus sind Defizite hinsichtlich der Gültigkeit der vorgestellten Ansätze festzustellen (vgl. Tabelle 4.5).

Tabelle 4.5: Vergleich von Ansätzen zur Priorisierung von Aufgaben

	Ansätze zur Priorisierung von Aufgaben									
	allg. Ansätze			spezielle Ansätze						
	Paarvergleich	binäre Priorisierung	MoSCoW-Priorisierung	GARTZEN ET AL.	SCHARER	BUSSWOLDER ET AL.	NAGEL	HAMMERS & R. SCHMITT	BAUER ET AL.	
<b>operationalisierte Anforderungen</b>										
Priorisierung auf Produktkomponenten-Ebene	●	●	●	◐	○	◐	◐	●	●	
Berücksichtigung aller relevanten Aufgaben	○	○	○	◐	◐	◐	◐	◐	◐	
Objektives Priorisierungsverfahren	○	○	○	◐	◐	◐	◐	◐	◐	
Berücksichtigung von Dynamik	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	○	●	
Quantifizierung von Kosten und Nutzen	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	
Kosten-Nutzen-Verhältnis <1	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	
Berücksichtigung von Unsicherheiten	○	○	○	◐	○	◐	◐	◐	◐	
PEP-Integrierbarkeit	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
Robustheit bezüglich Benutzerfehlern	●	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	●	
Aufwandsarme Anwendbarkeit	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	
Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien	●	●	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	
Akzeptanz der Mitarbeiter	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	●	
<b>übergeordnete Anforderungen</b>										
Richtigkeit der Ergebnisse	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	
Anwendbarkeit im industriellen Kontext	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	
Wirtschaftlichkeit der Anwendung	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	
Allgemeingültigkeit	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	
<p>○ nicht gegeben      ◐ teilweise gegeben      ● größtenteils gegeben</p> <p>● gegeben      ◐ nicht bewertbar/ Erfüllung unklar</p>										

#### 4.4 Resultierender Handlungsbedarf

Auf Basis der untersuchten Ansätze zur Bewertung der Serienreife und Priorisierung von Aufgaben im Rahmen der Serienreifmachung lässt sich der Handlungsbedarf in nachfolgend genannte Punkte zusammenfassen.

**Integrale Betrachtung von Reifebewertung und Priorisierung von Aufgaben:**

Die Beurteilung der Qualität von Verfahren zur Priorisierung von Aufgaben in der Serienreifmachung ist ohne Analyse des dabei angewandten Verfahrens zur Reifebewertung kaum möglich (vgl. Abschnitt 3.2.2), gleichzeitig erfolgt die Betrachtung dieser Aspekte im Stand der Technik meist isoliert. Die Entwicklung eines Vorgehens zur ganzheitlichen Betrachtung von Reifebewertungs- und Priorisierungsverfahren ist ein Hauptanliegen der vorliegenden Arbeit.

**Durchgängige Berücksichtigung von Unsicherheiten:** Das Auftreten von Unsicherheiten ist essentieller Bestandteil der Serienreifmachung, gleichzeitig erfolgt deren Berücksichtigung im Stand der Technik lediglich vereinzelt. Bei der Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Bewertung der Reife und Priorisierung von Aufgaben ist daher auf eine durchgängige Berücksichtigung von Unsicherheiten zu achten.

**Betrachtung relevanter Aufgaben auf Produktkomponenten-Ebene:** Die Betrachtung relevanter Aufgaben der Serienreifmachung auf Produktkomponenten-Ebene erfolgt weder in bestehenden Verfahren zur Reifebewertung, noch bei gängigen Priorisierungsverfahren in ausreichendem Maße. Ziel der zu entwickelnden Methode ist es, diese Lücke zu schließen.

**Objektivität von Bewertung und Priorisierung:** Bestehende Bewertungs- und Priorisierungsansätze stützen sich großteils auf Expertenbefragungen und gründen damit auf subjektiven Einschätzungen. Bei der Entwicklung eines neuen Verfahrens ist weitestgehende Objektivität bei Bewertung und Priorisierung erstrebenswert.

**Akzeptanz der Anwender:** Akzeptanz der Anwender ist eine der Hauptvoraussetzungen für eine nachhaltige industrielle Anwendbarkeit eines Konzepts und bei bisherigen Bewertungs- und Priorisierungsansätzen kaum betrachtet. Die zu entwickelnde Methode ist daher in Zusammenarbeit mit potenziellen Anwendern kritisch zu hinterfragen und gegebenenfalls anzupassen.

**Betrachtung der Wirtschaftlichkeit:** Keiner der im Rahmen von Kapitel 4 betrachteten Ansätze setzt sich mit einer Bewertung von Kosten und Nutzen im Speziellen bzw. einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung im Allgemeinen auseinander. Da diese jedoch einen integralen Bestandteil für die Rechtfertigung einer dauerhaften Anwendung darstellt, ist sie essentiell für die Entwicklung einer neuen Methode.

Tabelle 4.6 stellt die Aspekte des abgeleiteten Handlungsbedarfs den in Abschnitt 2.4 genannten Herausforderungen in der Serienreifmachung gegenüber und zeigt auf, an welchen Stellen deren Umsetzung zu einer Bewältigung dieser Herausforderungen beitragen kann.

*Tabelle 4.6: Handlungsbedarf der vorliegenden Arbeit und Herausforderungen in der Serienreifmachung*

Handlungsbedarf	Herausforderungen der Serienreifmachung			
	①	②	③	④
Integrale Betrachtung von Reifebewertung und Priorisierung von Aufgaben			◆	◆
Durchgängige Berücksichtigung von Unsicherheiten	◆	◆		
Betrachtung relevanter Aufgaben auf Produktkomponenten-Ebene		◆		◆
Objektivität von Bewertung und Priorisierung	◆		◆	◆
Akzeptanz der Anwender sicherstellen	◆		◆	
Betrachtung der Wirtschaftlichkeit	◆			

① Mehr- und Doppelarbeit                      ② Nichtdurchführung von Aufgaben  
 ③ Mangelhafter Austausch von Wissen      ④ Spätes Auftreten von Problemen  
 ◆ Trägt zur Bewältigung der entsprechenden Herausforderung bei

## 5 Modell zur Bewertung der Serienreife und Priorisierung von Aufgaben

### 5.1 Grundsätze ordnungsgemäßer Modellierung

Zur Ableitung einer Methode zur Lösung einer bestimmten Herausforderungen ist ein Modell<sup>1</sup> erforderlich, welches die grundlegenden Zusammenhänge innerhalb des gewählten Betrachtungsrahmens ordnet (EVERSHEIM ET AL. 1997, S. 329 ff.). Bei der Konstruktion eines Modells ist dabei auf verschiedene Aspekte zu achten, welche als Grundlagen ordnungsgemäßer Modellierung (GOM) bezeichnet werden (BECKER ET AL. 1995, S. 437 ff.):

- *Grundsatz der Richtigkeit*<sup>2</sup>: Ein Modell muss so konstruiert sein, dass es der Realität angemessen ist, also die modellierten Aspekte korrekt wiedergibt. Diese sog. *semantische* Richtigkeit ist abhängig von der Struktur- und Verhaltenstreu des Modells und kann auf Basis von sachlogischen Gegebenheiten und Zusammenhängen festgestellt werden<sup>3</sup>.
- *Grundsatz der Relevanz*<sup>2</sup>: Bei der Modellierung ist zu beachten, dass nur *relevante*, also dem Zweck der Untersuchung dienliche Aspekte, abgebildet werden. Dazu müssen die Ziele der Modellierung entsprechend beschrieben sein, da diese die Basis für die Auswahl einer geeigneten Modellierungstechnik sowie eines geeigneten Abstraktionsniveaus der darzustellenden Sachverhalte bilden.

---

<sup>1</sup> Ein Modell bezeichnet ein bezüglich ausgewählter Aspekte vereinfachtes Abbild der Realität (EDMONDS 2000, S. 382).

<sup>2</sup> Teilweise werden die Grundsätze der Richtigkeit und der Relevanz auch als *Konstruktionsadäquanz* bzw. *Sprachadäquanz* bezeichnet (SCHÜTTE 1998, S. 119 ff.).

<sup>3</sup> Wird das betrachtete Modell aus einem Metamodell abgeleitet, ist darüber hinaus die *syntaktische* bzw. formale Richtigkeit zu prüfen, also die Konsistenz des Modells mit dem zugrundeliegenden Metamodell. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Modelle werden lediglich auf ihre semantische Richtigkeit geprüft, da sie nicht aus einem übergeordneten Metamodell abgeleitet werden.

- *Grundsatz der Wirtschaftlichkeit*: Der für die Modellerstellung betriebene Aufwand darf den zu erwartenden Nutzen des Modells nicht übersteigen. Die Wirtschaftlichkeit der Modellbildung kann beispielsweise durch die Erstellung wiederverwendbarer Modelle (sog. *Referenzmodelle*) gefördert werden (FETKE & LOOS 2004, S. 331 ff.).
- *Grundsatz des systematischen Aufbaus*: Zur Reduktion der Komplexität ist es häufig erforderlich, unterschiedliche Sichten auf das zu modellierende Objekt abzubilden. Der Grundsatz des systematischen Aufbaus trägt der Forderung Rechnung, diese konsistent zueinander aufzubauen. Eine solche *Inter-Modellkonsistenz* kann beispielsweise durch die Erstellung eines sichtenübergreifenden Meta- bzw. Gesamtmodells erreicht werden.
- *Grundsatz der Klarheit*: Ein Modell kann nur Nutzen stiften, wenn es für den bzw. die Anwender verständlich und eindeutig ist. SCHÜTTE (1998, S. 131) beschreibt die Ziele *adressatengerechte Hierarchisierung*, *Layoutgestaltung* und *Filterung* als wesentlich für die Erfüllung des Grundsatzes der Klarheit.
- *Grundsatz der Vergleichbarkeit*: existieren mehrere Modelle, müssen diese untereinander vergleichbar sein. Die Forderung nach Vergleichbarkeit ist insbesondere für die Gegenüberstellung von Ist- und Sollmodellen erforderlich, um Handlungsempfehlungen ableiten zu können.

### **5.2 Aufbau der Modellierungsebenen, des Reifeverständnisses und der Aufgabenbeschreibung**

Ziel dieses Kapitels ist es, zunächst einen Überblick über den Aufbau der im Folgenden vorgestellten Modellierungsebenen und des Reifeverständnisses sowie die Beschreibung von Aufgaben zu geben. Was die Modellierungsebenen betrifft, wird ein Produkt auf drei unterschiedlichen Ebenen betrachtet:

- auf Gesamtprodukt-Ebene, auf der es eine bestimmte (unsicherheitsbehaftete) Reife aufweist,
- auf Komponentenebene, wobei verschiedene Komponenten jeweils unterschiedliche, ebenfalls mit Unsicherheiten behaftete Reifezustände aufweisen können und schließlich

- auf Ebene sog. Serienreifemerkmale, die – abhängig von der betrachteten Komponente – erfüllt bzw. nicht erfüllt sein können (vgl. Abbildung 5.1).

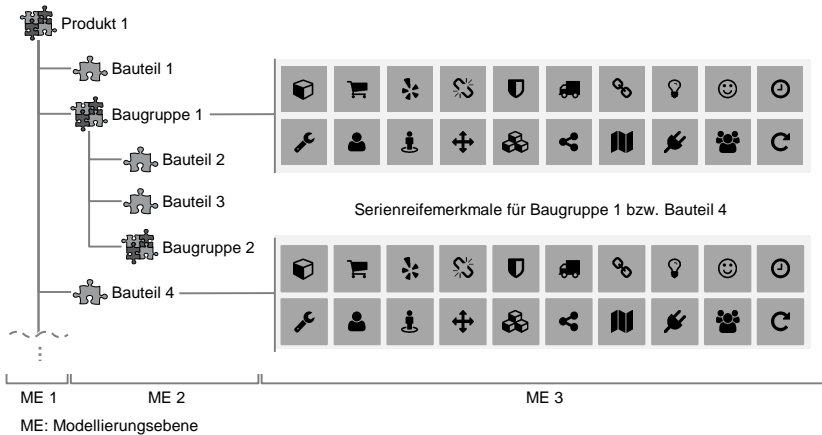


Abbildung 5.1: Aufbau der Modellierungsebenen

Wie die Produktstruktur modelliert werden kann, um diese drei Ebenen abzubilden, ist Inhalt von Abschnitt 5.3. Die im Anschluss folgenden Abschnitte beschäftigen sich mit dem Reifeverständnis und der Beschreibung von Aufgaben. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass die Reife einer Produktkomponente auf die Erfüllung einer bestimmten Anzahl von Reifemerkmale zurückgeführt werden kann (vgl. Modellierungsebene 3). In Abschnitt 5.4 wird die literaturbasierte Ableitung dieser Merkmale (Abschnitt 5.4.2) sowie das Ergebnis ihrer interviewbasierten Validierung vorgestellt (Abschnitt 5.4.3). Darüber hinaus bietet die Betrachtung von Serienreifemerkmale die Grundlage für die Formulierung zielgerichteter Aufgaben auf Komponentenebene (*ein bestimmtes Merkmal soll für eine bestimmte Komponente erfüllt werden*). Darauf aufbauend behandelt Abschnitt 5.5, welche komponenten- und merkmalsbezogenen Aufgaben konkret identifiziert werden können und wie sich die Durchführung dieser Aufgaben auf die Sicherheit auswirkt, mit der das entsprechende Merkmal als erfüllt betrachtet werden kann. Diese Betrachtung bildet wiederum die Basis für die Bestimmung der Reife einer Komponente in Abhängigkeit der bereits erledigten Aufgaben, welche in Abschnitt 5.6 beschrieben ist (vgl. Modellierungsebene 2). Liegt die Reife aller Komponenten eines Produkts entsprechend vor, kann schließlich auf Modellierungsebene 1 die Reife des Gesamtprodukts ermittelt werden (vgl. Abschnitt 5.7).

### 5.3 Teilmodell 1: Modell der Produktstruktur

Die Modellierung der Produktstruktur erfolgt unabhängig von dessen Reife analog zu Abbildung 1.2. Jeder Bauteilumfang, der in der Montage in einer Einheit verbaut werden soll, wird in einer Produktkomponente zusammengefasst (vgl. Definition in Abschnitt 1.3.2.3) und als eine Entität in der Produktstruktur dargestellt (vgl. Abbildung 5.2). Dabei kann es – insbesondere bei niedrigen Reifegraden – vorkommen, dass Anzahl und Umfang der Produktkomponenten noch nicht final feststehen. In solchen Fällen ist die Modellierung auf Basis der vorhandenen Informationen durchzuführen und bei Änderungen entsprechend anzupassen.

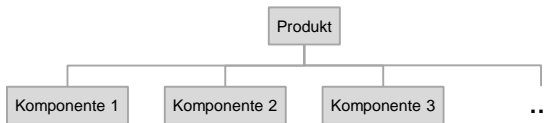


Abbildung 5.2: Modell der Produktstruktur

### 5.4 Teilmodell 2: Merkmale serienreifer Produktkomponenten

#### 5.4.1 Inhaltsübersicht

Die Ausführungen der Kapitel 2 und 4 zeigen, dass die Serienreife eines Produkts aus mehreren Perspektiven, mit unterschiedlichen Zielsetzungen und auf Basis verschiedener Ansätze bewertet werden kann. Ziel dieses Abschnitts ist daher, ein einheitliches Reifeverständnis zu entwickeln. Zu diesem Zweck wird zunächst auf Basis der Fachliteratur sowie denklogischer Argumentation analysiert, welche Merkmale eine Produktkomponente erfüllen muss, um als serienreif gemäß der in Abschnitt 1.3 getroffenen Definitionen und Einschränkungen zu gelten (Abschnitt 5.4.2). Eine Herausforderung ist dabei, *alle* Merkmale zu beschreiben. Ein abschließender Nachweis über die Vollständigkeit der Merkmale ist dabei kaum zu erbringen, allerdings kann das Ergebnis anhand von Experteninterviews validiert werden. Das Vorgehen bei der Evaluation sowie deren Ergebnis ist in Abschnitt 5.4.3 beschrieben.



### 5.4.2 Serienreifemerkmale von Produktkomponenten

Während der Serienreifmachung kann eine Produktkomponente in drei Zuständen vorliegen. Sie ist (1) entweder nicht montierbar, oder aber sie ist (2) montierbar, allerdings nicht unter den Bedingungen der Serienmontage, oder sie ist (3) montierbar, auch unter Serienbedingungen. Komponenten, die unter (2) fallen, sollen im Folgenden als *werkstattfähig* bezeichnet werden. Eine Werkstattumgebung zeichnet sich gegenüber der Serienmontage insbesondere durch fehlende Taktbindung aus, weswegen ausreichend Zeit für zusätzliche Tätigkeiten, wie beispielsweise das Ausprobieren unterschiedlicher Montagereihenfolgen, besteht<sup>4</sup>. Damit eine Komponente werkstattfähig ist, muss sie die folgenden Merkmale erfüllen:

**📦 Komponente erzeugt:** Eine Grundvoraussetzung dafür, dass eine Komponente montiert werden kann, ist deren vorherige Erzeugung. Dazu muss die Komponente konstruiert und hinsichtlich ihrer Herstellbarkeit analysiert werden. Da die Konstruktion ein iterativer Prozess ist (LINDEMANN 2009, S. 46 ff.) und Bauteilentwürfe aus frühen Phasen des PEP deshalb häufig nicht in allen Aspekten den späteren Serienbauteilen gleichen (LINDEMANN & MAURER 2006, S. 41 ff.), gilt das Merkmal „Komponente erzeugt“ als erfüllt, wenn diese – in allen für die Montage wesentlichen Aspekten hinsichtlich Form und Funktion – der angestrebten Serienkomponente entspricht.

**📦 Komponente in Werkstattumgebung bereitstellbar:** Damit eine Komponente in einer Werkstattumgebung verbaut werden kann, muss diese montagegerecht<sup>5</sup> und in der benötigten Stückzahl zum geplanten Montagezeitpunkt am Montageort zur Verfügung stehen. Hinzu kommen Hilfs- und Betriebsstoffe, die für die Montage der betrachteten Komponente erforderlich sind. In der Praxis erfordert die Erfüllung dieses Merkmals in der Regel die Planung des entsprechenden Logistikprozesses (KLUG 2010, S. 359 ff.).

---

<sup>4</sup> Für eine detaillierte Beschreibung der Werkstattfertigung sei auf weiterführende Literatur verwiesen. Eine Übersicht bietet bspw. NIEHUES (2016, S. 3 ff.).

<sup>5</sup> Eine montagegerechte Bereitstellung von Komponenten umfasst nach KONOLD & REGER (2003, S. 37) die geordnete Bereitstellung in Magazinen, in richtigen Behältergrößen und nach dem 2-Kisten-Prinzip.

**🔗 Fügstellen der Komponenten untereinander adaptiert:** Die Fügstellen<sup>6</sup> der betrachteten Komponente sowie die des jeweiligen Fügepartners müssen aufeinander abgestimmt sein. Diese Voraussetzung kann als erfüllt betrachtet werden, wenn eine mangelfreie Herstellung der Komponentenverbindung wiederholbar gewährleistet ist.

**⚡ Kollisionsfreiheit gegeben:** Während des gesamten Montageprozesses<sup>7</sup> muss sichergestellt sein, dass die betrachtete Komponente nicht mit anderen Komponenten kollidiert. Ein kollisionsfreier Montageprozess ist zum einen wesentlich für die Erzeugung eines hochwertigen Montageergebnisses, zum anderen stellen Kollisionen ein erhebliches Gefahrenpotenzial für die an der Montage beteiligten Mitarbeiter dar.

**👤 Mitarbeiterzugänglichkeit gegeben:** Die für die Montage einer Komponente erforderlichen Mitarbeiter benötigen ausreichend Platz, um die Montageaufgabe in der geforderten Qualität erledigen zu können (EVERSHEIM 1989a, S. 219 ff.). Dabei ist zu beachten, dass Mitarbeiter in der Regel unterschiedliche physische und qualifikatorische Voraussetzungen mitbringen (LOTTER ET AL. 2012), was zu einer individuellen Zugänglichkeit bzw. Nicht-Zugänglichkeit führen kann.

**🔗 Schnittstellen zwischen Komponente und Betriebsmittel adaptiert:** Damit ein Betriebsmittel für die Montage einer Komponente verwendet werden kann, müssen Betriebsmittel und Komponente zueinander passen. So ist beispielsweise das Vorhandensein einer Schraubanlage alleine nicht ausreichend, es müssen auch die richtigen Schraubennüsse für sämtliche vorgesehenen Schraubfälle vorliegen.

**🔧 Betriebsmittel (Werkstatt) bereitgestellt:** Betriebsmittel, die während des Montageprozesses einer Komponente benötigt werden, müssen am Montageort bereitgestellt sein. Der Zusatz *Werkstatt* bedeutet in diesem Kontext, dass die Betriebsmittel nicht für eine Montage unter Serienproduktionsbedingungen geeignet sein müssen, sondern lediglich zum Verbau der Komponente an sich. Bei

---

<sup>6</sup> Die Fügstelle bezeichnet diejenige Position, an der zwei Komponenten zu einem neuen Ganzen auf Dauer miteinander verbunden werden (FELDMANN ET AL. 2014, S. 27).

<sup>7</sup> Der Montageprozess umfasst sämtliche Tätigkeiten zum Fügen, Justieren, Kontrollieren und Handhaben von Komponenten sowie Sondertätigkeiten wie bspw. Reinigen oder Markieren von Komponenten (WARNECKE 1995, S. 40).

der Betriebsmittelbereitstellung sind neben Montagetätigkeiten auch eventuell erforderliche Prüftätigkeiten zu berücksichtigen.

- ✚ **Betriebsmittel-Zugänglichkeit gegeben:** Analog zur Mitarbeiter-Zugänglichkeit müssen auch die zur Montage benötigten Betriebsmittel kollisionsfrei zur jeweiligen Fügestelle geführt werden können. Sind die Betriebsmittel an der richtigen Position, sollte die Fügestelle zudem für den Mitarbeiter einsehbar sein, um Fehlern vorzubeugen.
- ⚠ **Arbeitssicherheit gegeben:** Eine weitere Voraussetzung für die Montage einer Komponente ist, dass die Arbeitssicherheit der beteiligten Mitarbeiter gewährleistet ist<sup>8</sup>.
- 👤 **Montagepersonal (Werkstatt) bereitgestellt:** Schließlich muss ausreichend qualifiziertes Personal zur Verfügung stehen, damit die Montage der Komponente erfolgen kann.

Erfüllt eine Komponente diese zehn *Werkstattfähigkeits-Merkmale*, kann sie verbaut werden, allerdings nicht unter den Bedingungen eines Serien-Fließmontagesystems. Dazu müssen zusätzlich die nachfolgend beschriebenen *Serienfähigkeitsmerkmale* erfüllt sein.

- 🏭 **Komponente in Serienstückzahl bereitstellbar:** Soll die betrachtete Komponente unter Serienbedingungen montiert werden, muss sie in der entsprechenden Stückzahl zum geforderten Zeitpunkt am Montageort bereitstehen. Im Unterschied zur Bereitstellung im Rahmen einer Werkstatt-Montage ist dabei darauf zu achten, dass die Taktbindung einer Serienmontage in der Regel vergleichsweise hohe Ansprüche an das zugrundeliegende Logistikkonzept stellt.
- 🔄 **Montagesequenz festgelegt:** Für einen Umfang verschiedener Komponenten sind in der Regel verschiedene Verbaureihenfolgen denkbar. Bei komplexen Produkten mit hoher Variantenvielfalt können unterschiedliche, mögliche Verbaureihenfolgen während eines Takts zu Verwirrung und schließlich zu Fehlern führen. Um solche Produkte dennoch unter Serienbedingungen montieren zu können, muss

---

<sup>8</sup> Was die Arbeitssicherheit betrifft, sind sowohl Europäische Gesetze im Allgemeinen als auch Deutsche Gesetze im Speziellen einzuhalten. Einen Überblick hierzu bieten bspw. SPELTEN ET AL. (2004, S. 114 ff.).

deshalb vorab für jede Komponente Vorgänger und Nachfolger festgelegt werden (EVERSHEIM 1996, S. 133 f.).

**🔧 Verteilung der Montageaufgaben:** Um Verwirrung vorzubeugen, sollten die bei der Serienmontage jeder Komponente anfallenden Montageaufgaben vorab auf die Mitarbeiter der betrachteten Station verteilt werden (ALTEMEIER 2009, S. 38). Insbesondere wenn personal-organisatorische Maßnahmen zum Ausgleich von Montagezeitschwankungen, wie beispielsweise das *Driften*<sup>9</sup> von Montagemitarbeitern, zum Einsatz kommen, sollte eine klare Aufgabenteilung vorhanden sein.

**🔗 Komponentenspezifischer Montageprozess festgelegt:** Zusätzlich zur Festlegung der Montagesequenz, welche die zeitliche Abfolge des Komponentenverbaus beschreibt, muss der komponentenspezifische Montageprozess festgelegt werden (EVERSHEIM 1996, S. 136). Das bedeutet festzulegen, welche Tätigkeiten beim Verbau einer Komponente der Reihe nach durchzuführen sind. Die entsprechende Information ist in der Praxis meist im Arbeitsplan hinterlegt.

**🕒 Montagezeit bestimmt:** Um die Montage einer Komponente sinnvoll auf Montagestationen verteilen zu können, sind vorab die jeweiligen Arbeitsinhalte mit Zeiten zu hinterlegen<sup>10</sup>. Damit die ermittelten Zeiten im Unternehmen verwendet werden können, ist bei deren Erhebung besonders auf die Einbindung der betroffenen Montagemitarbeiter bzw. deren Vertretung (Betriebsrat) zu achten (REFA 2016, S. 125).

**📖 Montageinformationen bereitgestellt:** Bei komplexen Produkten hoher Variantenvielfalt ist es für Montagemitarbeiter kaum möglich, die zur Montage benötigten Informationen auswendig zu wissen. Diese werden in der Regel komponentenspezifisch anhand eines sog. Werker-Informationssystem (WIS) bereitgestellt und sind meist für das Erreichen der geforderten Montagequalität von essentieller Bedeutung (TEUBNER ET AL. 2017, S. 66 ff.).

---

<sup>9</sup> Eine detaillierte Betrachtung des Umgangs mit Montagezeitschwankungen variantenreicher Montagelinien findet sich bspw. bei PRÖPSTER (2015).

<sup>10</sup> Die Bestimmung von Montagezeiten kann entweder durch ein sog. System vorbestimmter Zeiten (SvZ, vgl. bspw. BOKRANZ & LANDAU 2012) oder durch Zeitstudien (vgl. bspw. REFA 1992) erfolgen. Für weiterführende Informationen sei auf genannte Literatur verwiesen.

- ✂ **Serienfähige Betriebsmittel bereitgestellt:** Die Bereitstellung serienfähiger Betriebsmittel<sup>11</sup> ist eine notwendige Voraussetzung für die Produktion unter Serienbedingungen. ABELE ET AL. (2003, S. 174) zufolge stellt die nicht rechtzeitige Bereitstellung serienfähiger Betriebsmittel teilweise sogar den Hauptgrund für Probleme nach SOP dar.
- ☺ **Ergonomische Montage möglich:** Für eine Montage unter Serienbedingungen ist die Gewährleistung von Arbeitssicherheit *alleine* nicht ausreichend. Durch den hohen Anteil repetitiver Tätigkeiten eines Fließmontagesystems müssen diese nach ergonomischen Gesichtspunkten gestaltet sein<sup>12</sup>. Konkret ist für „schädigungslose, ausführbare, erträgliche und beeinträchtigungsfreie Arbeitsbedingungen“ (LUCZAK 1998, S. 7) im Umgang mit jeder Komponente des Produkts Sorge zu tragen.
- 👤 **Montagepersonal befähigt:** Je vielfältiger die Arbeitsinhalte bei der Montage einer Komponente sind, desto höher sind die Anforderungen an die Qualifikation des Montagepersonals (EVERSHEIM 1989a, S. 178). Damit also eine betrachtete Komponente in Serie montiert werden kann, müssen die dafür vorgesehenen Mitarbeiter entsprechend geschult worden sein.
- 👥 **Montagepersonal (Serie) bereitgestellt:** Analog zur Montage unter Werkstattbedingungen muss auch für die Serienmontage ausreichend Personal für die Montage des betrachteten Komponentenumfangs bereitgestellt sein.
- 🕒 **Prozesssicherheit (Wiederholbarkeit) gegeben:** Eine Komponente ist *prozesssicher* montierbar, wenn sie über einen längeren Zeitraum hinweg den Anforderungen entsprechend verbaut werden kann. Prozesssicherheit kann beispielsweise durch die Produktion von Prototypen in größeren Stückzahlen im Rahmen einer Vor- bzw. Nullserie nachgewiesen werden (SCHUH ET AL. 2008, S. 2).

Erfüllt eine Komponente alle genannten Merkmale, ist sie als *serienreif* anzusehen. Im folgenden werden daher Werkstattfähigkeits- und Serienfähigkeitsmerkmale unter dem Begriff *Serienreifemerkmale* subsumiert.

---

<sup>11</sup> Im Kontext dieser Arbeit gelten Betriebsmittel in Anlehnung an PETERS & HOFSTETTER (2008, S. 10) als serienfähig, wenn sie die Produktion der geforderten Stückzahl in vorab definierter Qualität ermöglichen.

<sup>12</sup> Richtlinien für eine ergonomische Arbeitsplatzgestaltung finden sich bspw. bei BULLINGER (1994, S. 89 ff.).

### 5.4.3 Validierung der Serienreifemerkmale

Die in Abschnitt 5.4.2 beschriebenen Merkmale serienreifer Komponenten wurden anhand der Fachliteratur sowie denklögender Argumentation erarbeitet, weshalb Vollständigkeit und Richtigkeit der erarbeiteten Merkmale nicht erwiesen ist. Deshalb wurden Interviews mit insgesamt 14 Experten geführt, deren fachlicher Hintergrund in Abbildung 5.3 dargestellt ist. Auf die Einhaltung ethischer Kriterien (Befragung auf freiwilliger Basis, Anonymisierung der Ergebnisse und Schutz vor Beeinträchtigung und Schädigung, vgl. SALES 2010) wurde während der Befragung geachtet. Der voll-

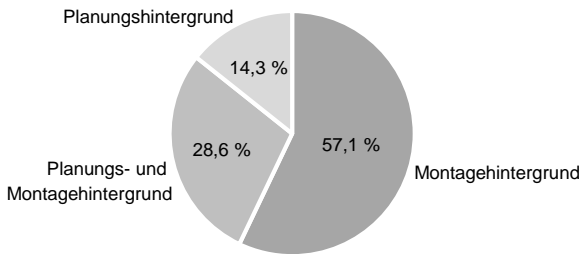


Abbildung 5.3: Erfahrungshintergründe der befragten Experten

ständige Fragebogen findet sich in Anhang A.1. Alle in Abschnitt 5.4.2 identifizierten Merkmale wurden durch eine entsprechend formulierte Hypothese bezüglich ihrer Validität geprüft. Bei der Formulierung der Hypothesen wurde darauf geachtet, dass diese den von DÖRING & BORTZ (2016, S. 56 ff.) beschriebenen Anforderungen genügen:

- *Bezug zur Realität:* Die Hypothese muss sich auf einen realen Sachverhalt beziehen, der empirisch untersuchbar ist.
- *Allgemeingültigkeit:* eine Hypothese ist als allgemeine Behauptung formuliert (sog. „All-Satz“). Damit kann sich eine Hypothese nicht auf einen Einzelfall beziehen.
- *Konditionalität:* Die Formulierung einer wissenschaftlichen Hypothese muss, wenn auch implizit, der Struktur eines Konditionalsatzes entsprechen („Wenn-dann-Satz“ bzw. „Je-desto-Satz“).

- *Falsifizierbarkeit*: Die Hypothese muss falsifizierbar sein, das heißt es müssen Ereignisse denkbar sein, die dem zugrundeliegendem Konditionalsatz widersprechen.

Da eine Hypothese entweder richtig oder falsch ist, wurden als Antwortmöglichkeiten lediglich Zustimmung, Ablehnung und Enthaltung (zur Sicherstellung der Freiwilligkeit) vorgesehen. Als Beispiel sei das Merkmal *Mitarbeiterzugänglichkeit gegeben* genannt. Die zugehörige Hypothese lautet:

Hypothese: Wenn während des gesamten Montageprozesses einer Komponente *Mitarbeiterzugänglichkeit gegeben* ist, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, dass die Komponente überhaupt montiert werden kann.

Anmerkung: *Mitarbeiterzugänglichkeit* bedeutet, dass der Mitarbeiter zu keinem Zeitpunkt bei der Ausführung der Tätigkeiten zur Montage der Komponente durch Produkt, Betriebsmittel oder andere Mitarbeiter behindert wird.

ich stimme zu       ich stimme nicht zu       kann oder möchte ich nicht beurteilen

Eine Befragung kann grundsätzlich schriftlichen oder mündlichen Charakter aufweisen. Zusätzlich wird nach Art der Befragung unterschieden, diese kann (1) nicht-standardisiert, (2) teil-standardisiert oder (3) voll-standardisiert<sup>13</sup> erfolgen. Eine Befragung wird als standardisiert bezeichnet, wenn bei allen Teilnehmern dieselben Fragen in derselben Reihenfolge gestellt werden. Diese Vorgehensweise wird bei teil-standardisierten Befragungen entsprechend teilweise, bei nicht-standardisierten Erhebungen nicht eingehalten (STIER 1999, S. 171).






















Um Missverständnisse zu vermeiden, wurden mündliche Befragungen (Interviews) durchgeführt. Diese haben den Vorteil, dass Rückfragen des Teilnehmers direkt beantwortet werden können. Um sicherzustellen, dass den Befragten die Hypothesen richtig vorgetragen werden, wurde ein voll-standardisiertes Format gewählt. Im Anschluss an die Befragung wurden die Teilnehmer gebeten, weitere Voraussetzungen für die Montage von Produktkomponenten unter Serienbedingungen zu nennen. Die gemachten Ergänzungen konnten sämtlich den identifizierten Merkmalen zugeordnet werden, weshalb diese als vollständig betrachtet werden. Die Sinnhaftigkeit der Unterteilung der Merkmale in solche, die zur Erreichung der Montierbarkeit in einer Werkstatsumgebung

---

<sup>13</sup> Teilweise wird in der Literatur anstelle von *standardisiert* auch der Begriff *strukturiert* verwendet (STIER 1999, S. 171).

nötig sind und solche, die zur Erreichung der Montierbarkeit unter Serienbedingungen erforderlich sind, konnte ebenfalls bestätigt werden. Die Ergebnisse der Erhebung sind in Tabelle 5.1 dargestellt. Lehnen mehr als 50 % der befragten Experten eine Hypothese ab, wird diese im Modell nicht berücksichtigt.

Tabelle 5.1: Ergebnisse der Expertenbefragung zu den ermittelten Serienreifemerkmale (vgl. auch STEINHAEUSSER ET AL. 2016)

<b>Merkmale werkstattfähiger Komponenten</b>				
Symbol	Merkmal	Zustimmung	Valide	ID*
	Komponente erzeugt	100%	ja	1
	Komponente bereitstellbar	100%	ja	2
	Fügestellen der Komponenten untereinander adaptiert	100%	ja	3
	Kollisionsfreiheit gegeben	100%	ja	4
	Mitarbeiterzugänglichkeit gegeben	93%	ja	5
	Schnittstellen zwischen Komponente und Betriebsmittel adaptiert	100%	ja	6
	Betriebsmittel (Werkstatt) bereitgestellt	100%	ja	7
	Betriebsmittel-Zugänglichkeit gegeben	93%	ja	8
	Arbeitsicherheit gegeben	100%	ja	9
	Montagepersonal (Werkstatt) bereitgestellt	100%	ja	10
<b>Merkmale serienfähiger Komponenten</b>				
Symbol	Merkmal	Zustimmung	Valide	ID*
	Komponente in Serienstückzahl bereitstellbar	100%	ja	11
	Montagesequenz festgelegt	86%	ja	12
	Verteilung der Montageaufgaben	43%	nein	–
	Komponentenspezifischer Montageprozess festgelegt	86%	ja	13
	Montagezeit bestimmt	57%	ja	14
	Montageinformationen bereitgestellt	100%	ja	15
	Serienfähige Betriebsmittel bereitgestellt	100%	ja	16
	Ergonomische Montage möglich	100%	ja	17
	Montagepersonal befähigt	100%	ja	18
	Montagepersonal (Serie) bereitgestellt	100%	ja	19
	Prozessicherheit (Wiederholbarkeit) gegeben	93%	ja	20

\*Die Merkmal-ID wird für die Beschreibung des Reifemodells der Produktkomponenten in Abschnitt 5.6 benötigt.



## 5.5 Teilmodell 3: Aufgaben in der Serienreifmachung

Die Merkmale serienreifer Produktkomponenten bilden die Grundlage für die Beschreibung von Aufgaben. Diese lassen sich in die in Abbildung 5.4 dargestellten vier Typen unterscheiden, welche nachfolgend erläutert werden.

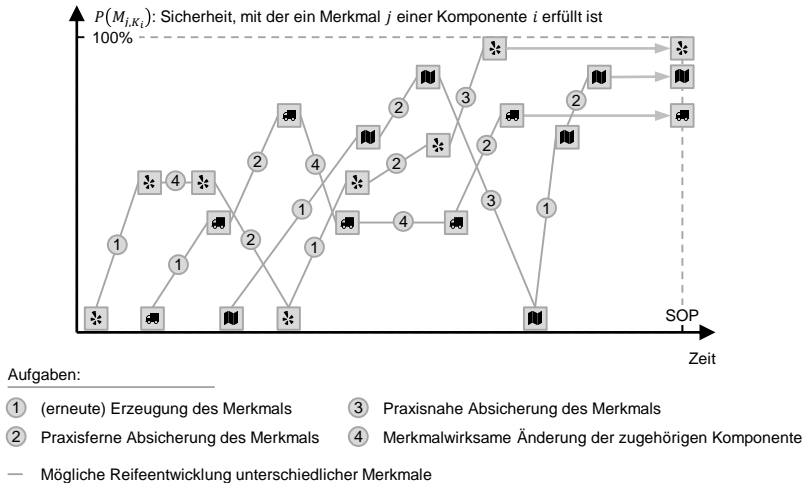


Abbildung 5.4: Zeitliche Entwicklung von Reifemerkmale (Beispiel)

- ① **Erzeugung des Merkmals:** Während der Serienreifmachung sind die in Tabelle 5.1 genannten, validen Merkmale *zu erzeugen*. Das bedeutet, dass die dafür erforderlichen Tätigkeiten nach bestem Wissen und Gewissen von dem bzw. den zuständigen Mitarbeiter(n) erledigt werden müssen. Beispielsweise kann es für die Erzeugung des Merkmals *Fügestellen der Komponenten untereinander adaptiert* erforderlich sein, dass die Dokumentation der betrachteten Komponente sowie von deren unmittelbaren Fügepartnern erstellt und in den unternehmensspezifischen Informationstechnik (IT)-Systemen entsprechend hinterlegt wurde<sup>14</sup>. Wie in Abbildung 5.4 dargestellt, liegt die Wahrscheinlichkeit, dass das Merkmal

<sup>14</sup> Die sog. *Operationalisierung* der Merkmale, also die Bestimmung derjenigen Kriterien, die zur Erzeugung, praxisfernen oder praxisnahen Absicherung eines Merkmals erledigt sein müssen, hängt vom betrachteten Unternehmen ab und wird daher im Rahmen von Kapitel 6 diskutiert.

nach dessen *Erzeugung* tatsächlich erfüllt ist, unterhalb von 100 %<sup>15</sup>. Die erreichte Sicherheit bei der Erzeugung eines Merkmals ist dabei *merkmalspezifisch*, unterschiedliche Merkmale können also unterschiedliche Sicherheitsniveaus erreichen. Dieses Verständnis trägt der Tatsache Rechnung, dass die Erzeugung eines Ergebnisses nicht die Erbringung eines objektiven Nachweises beinhaltet, dass das erzielte Ergebnis den originär beabsichtigten Zweck der Aufgabe tatsächlich erfüllt (EVERSHEIM & SCHUH 2005, S. 40 ff.). Aus diesem Grund sind zusätzliche Absicherungsaufgaben<sup>16</sup> erforderlich. Die Absicherung eines Arbeitsergebnisses kann unter unterschiedlichen Bedingungen durchgeführt werden, die sich in praxisferne- und praxisnahe Absicherung unterteilen lassen.

- ② **Praxisferne Absicherung des Merkmals:** Absicherung unter praxisfernen Bedingungen umfasst sämtliche Prüfmaßnahmen, bei denen das abzusichernde Objekt bzw. die Objekte, mit denen dieses unmittelbar interagiert, *in wesentlichen Eigenschaften nicht denen der Realität entsprechen*. Als Beispiel für eine praxisferne Absicherung kann die virtuelle Montagevalidierung (vgl. Abschnitt 2.3.2.2) genannt werden. Die dabei verwendeten, virtuellen CAD-Umfänge von Komponenten sowie der Montageumgebung entsprechen nicht deren eigentlichen, physischen Repräsentanzen, weswegen die Absicherung als praxisfern einzustufen ist. Es ist zu beachten, dass im Rahmen einer praxisfernen Absicherung stets die Möglichkeit besteht, Fehler zu übersehen. Wird also beispielsweise das Merkmal „Mitarbeiterzugänglichkeit gegeben“ einer Komponente praxisfern abgesichert, kann die Unsicherheit bezüglich dessen Serienreife zwar reduziert, jedoch nicht beseitigt werden (RADEMACHER 2014, S. 3). In Abbildung 5.4 ist dieser Zusammenhang durch die höhere Sicherheit dargestellt, mit der bei erfolgreicher praxisferner Absicherung davon ausgegangen werden kann, dass das Merkmal erfüllt ist. Kommt die Absicherung hingegen zu dem Ergebnis, dass das Merkmal nicht erfüllt ist, fällt das Merkmal auf 0 % zurück.
- ③ **Praxisnahe Absicherung des Merkmals:** Eine Absicherung unter praxisnahen Bedingungen findet statt, wenn das abzusichernde Objekt bzw. die Objekte, mit

---

<sup>15</sup> Die Quantifizierung der Erfüllungswahrscheinlichkeiten hängt von der Operationalisierung der Merkmale und damit dem betrachteten Unternehmen ab. Deshalb wird sie ebenfalls in Kapitel 6 betrachtet.

<sup>16</sup> Absicherung bezeichnet in Anlehnung an RADEMACHER (2014, S. 64) die Reduktion der Unsicherheit eines Zustands durch den Einsatz geeigneter Prüfmaßnahmen. Durch eine Absicherung werden mögliche Fehler frühzeitig erkannt.

denen dieses unmittelbar interagiert, in allen wesentlichen Eigenschaften denen der Realität entspricht. So ist die physische Montagevalidierung auf Basis von C-Mustern ein Beispiel für eine praxisnahe Absicherung, da im Vergleich zur Verwendung von B-Mustern keine Änderungen mehr einfließen (vgl. Abschnitt 2.3.2). Im Folgenden wird angenommen, dass im Unterschied zur Absicherung unter praxisfernen Bedingungen die Unsicherheit bezüglich der Merkmalerfüllung bei praxisnaher Absicherung nicht *reduziert*, sondern *ausgeräumt* wird. Das bedeutet, dass – falls während der Absicherung unter praxisnahen Bedingungen keine Fehler festgestellt werden – das betrachtete Merkmal als *mit Sicherheit erfüllt* betrachtet werden kann. Stellt sich hingegen heraus, dass das Merkmal nicht erfüllt ist, wird es analog zur Absicherung unter praxisfernen Bedingungen auf den Ausgangszustand (Erfüllungswahrscheinlichkeit 0 %) zurückgesetzt.

- ④ **Merkmalwirksame Änderung der zugehörigen Komponente** Während der Serienreifmachung können immer wieder Änderungen von Produktkomponenten erforderlich werden. Bei jeder Änderung ist kritisch zu prüfen, welche Merkmale der Komponente betroffen sind. Absicherungsergebnisse, die vor der Änderung hinsichtlich betroffener Merkmale erzielt wurden, verlieren mit der Änderung ihre Gültigkeit. Eine merkmalwirksame Änderung einer Komponente entspricht demnach einer erneuten Erzeugung des Merkmals.

Die Betrachtung der Sicherheit, mit der ein Merkmal nach der Durchführung einer Aufgabe erfüllt ist, trägt letztlich der in Abschnitt 1.1 angesprochenen Problematik der mangelnden Informationsverfügbarkeit Rechnung. Wie aus Abbildung 5.4 ersichtlich wird, muss nicht jedes Merkmal vor SOP abgesichert werden. Abhängig vom bereits erreichten Sicherheitsniveau kann entschieden werden, einen SOP mit Restrisiko durchzuführen. Darüber hinaus wird die zeitliche Abfolge der Aufgaben durch die Dynamik in der Serienreifmachung bestimmt und ist damit nicht von vorneherein festgelegt. Der in Abbildung 5.5 dargestellte Übergangsgraph zeigt sämtliche möglichen Aufgabenfolgen und resultierenden Merkmalszustände.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass im Kontext der vorliegenden Arbeit eine Aufgabe  $A_{M_j, K_i}$  stets auf eine Zustandsänderung eines Serienreifmerkmals  $M_{j, K_i}$  einer Komponente  $K_i$  bezogen ist<sup>17</sup>.

---

<sup>17</sup> Der Index  $j$  bezieht sich auf die Indizierung der Merkmale gemäß Tabelle 5.1.

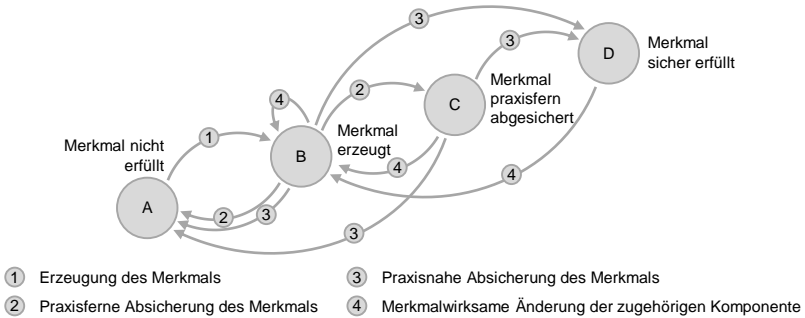


Abbildung 5.5: Aufgaben in der Serienreife und Übergangsgraph der zugehörigen Merkmalszustände

### 5.6 Teilmodell 4: Reifemodell Produktkomponenten

Wie in Abschnitt 5.4.2 erläutert, kann die Reife einer Komponente anhand von drei Zuständen beschrieben werden. Jede Produktkomponente ist entweder (1) nicht montierbar, oder sie ist (2) montierbar, allerdings nur unter den Bedingungen einer Werkstattmontage, oder sie ist (3) montierbar unter Serienbedingungen (vgl. Abschnitt 5.4). Abbildung 5.6 zeigt beispielhaft mögliche Entwicklungen des Reifezustands von Komponenten im zeitlichen Verlauf.

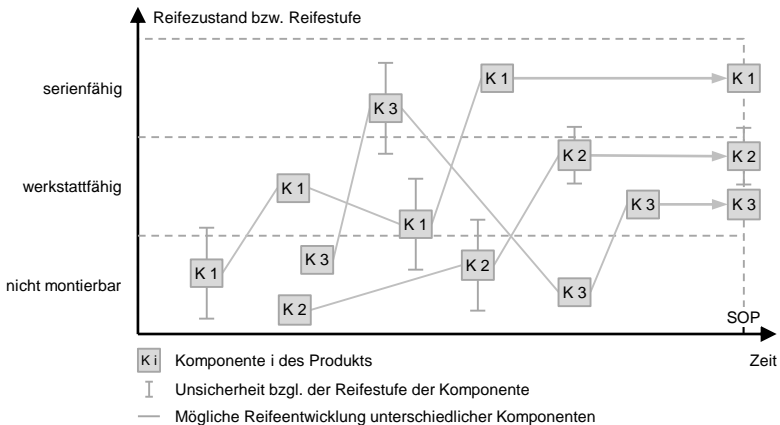


Abbildung 5.6: beispielhafte Entwicklungen des Komponenten-Reifezustands

Da die Reifestufe von Produktkomponenten abhängig ist von den Sicherheiten, mit denen ihre jeweiligen Serienreifemerkmale erfüllt sind, ist der Zustand mit Unsicherheit behaftet.

Mathematisch kann die Reife einer Produktkomponente als Vektor  $\vec{R}_{K_i}$  dargestellt werden. Dieser beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der eine Komponente eine bestimmte Reifestufe aufweist. Da die Komponente einen der drei Zustände aufweisen *muss*, gilt

$$\vec{R}_{K_i} * \vec{e}_1 + \vec{R}_{K_i} * \vec{e}_2 + \vec{R}_{K_i} * \vec{e}_3 = 1. \quad (5.1)$$

$\vec{R}_{K_i}$  : Reife der Komponente  $K_i$

$\vec{e}_x$  : Einheitsvektor

Auf Basis der in Abschnitt 5.4.2 getroffenen Unterscheidung der Serienreifemerkmale in Werkstattfähigkeits- und Serienfähigkeitsmerkmale kann  $\vec{R}_{K_i}$  gemäß Gleichung (5.2) formuliert werden<sup>18, 19</sup>.

$$\vec{R}_{K_i} = \begin{pmatrix} P_{nmont,K_i} \\ P_{werk,K_i} \\ P_{ser,K_i} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - \prod_{j=1}^{j=10} P(M_{j,K_i}) \\ \prod_{j=1}^{j=10} P(M_{j,K_i}) - \prod_{j=1}^{j=20} P(M_{j,K_i}) \\ \prod_{j=1}^{j=20} P(M_{j,K_i}) \end{pmatrix}. \quad (5.2)$$

$P_{nmont,K_i}$  : Wahrscheinlichkeit, dass Komponente  $K_i$  nicht montierbar ist

$P_{werk,K_i}$  : Wahrscheinlichkeit, dass Komponente  $K_i$  werkstattfähig ist

$P_{ser,K_i}$  : Wahrscheinlichkeit, dass Komponente  $K_i$  serienfähig ist

$M_{j,K_i}$  : Serienreifemerkmal  $j$  der Komponente  $K_i$

$P(M_{j,K_i})$  : Wahrscheinlichkeit, dass Serienreifemerkmal  $j$  der Komponente  $K_i$  erfüllt ist

Wenn ein Serienfähigkeitsmerkmal noch nicht erzeugt wurde, gilt für die zugehörige Erfüllungswahrscheinlichkeit  $P(M_{j,K_i}) = 0$  und es ergeben sich zwei Sonderfälle:

<sup>18</sup> Zunächst werden die Wahrscheinlichkeiten  $P(M_{j,K_i})$  als bekannt vorausgesetzt. Wie diese erhoben werden können, wird in Kapitel 6 behandelt.

<sup>19</sup> Die Laufvariable  $j$  bezieht sich auf die Merkmal-ID aus Tabelle 5.1. Somit beschreibt  $j \in [1, \dots, 10]$  Merkmale werkstattfähiger Komponenten,  $j \in [11, \dots, 20]$  Merkmale serienfähiger Komponenten.

**Sonderfall 1:** Für die betrachtete Komponente  $K_i$  ist mindestens ein für die Werkstattfähigkeit erforderliches Serienreifemerkmal ( $M_{j,K_i}$  mit  $0 < j \leq 10$ ) nicht erzeugt. In diesem Fall ist  $K_i$  mit Sicherheit weder werkstatt- noch serienfähig. Somit ergibt sich

$$\vec{R}_{K_i} = \vec{e}_1 = (1, 0, 0). \quad (5.3)$$

**Sonderfall 2:** Für die betrachtete Komponente  $K_i$  ist mindestens ein für die Serienfähigkeit erforderliches Merkmal ( $M_{j,K_i}$  mit  $10 < j \leq 20$ ) nicht erzeugt. In diesem Fall ist  $K_i$  mit Sicherheit nicht serienfähig. Somit ergibt sich

$$\vec{R}_{K_i} = \begin{pmatrix} 1 - \prod_{j=1}^{j=10} P(M_{j,K_i}) \\ \prod_{j=1}^{j=10} P(M_{j,K_i}) \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (5.4)$$

Die Reife aller Produktkomponenten lässt sich schließlich als Reifematrix  $\mathbf{R}$  gemäß Gleichung (5.5) zusammenfassen.

$$\mathbf{R} = \left[ \vec{R}_{K_1}; \vec{R}_{K_2}; \dots; \vec{R}_{K_m} \right]. \quad (5.5)$$

$\mathbf{R}$  : Komponenten-Reifematrix

$m$  : Anzahl der Komponenten, aus denen das Produkt besteht

## 5.7 Teilmodell 5: Reifemodell Produkt

Die Serienreife eines Produkts ist erreicht, wenn es auf dem entsprechenden Produktionssystem in vorab definierter Qualität, zu vorab definierten Herstellkosten und in einer vorab bestimmten Zeit produziert werden kann (vgl. Abschnitt 1.3.2.2). Ein Mangel an Serienreife äußert sich hingegen in Nacharbeit, sofern die auftretenden Mängel grundsätzlich zu beheben sind bzw. in Produktionsstillständen, wenn dies nicht der Fall ist (GARTZEN 2012, S. 120 ff.). Als Messgrößen der Serienreife eines Produkts können dementsprechend zum einen die *Anzahl nicht montierbarer Komponenten* sowie zum anderen die *Kosten der Nacharbeit bei Produktionsstart* herangezogen werden. Da bereits die Erfüllungswahrscheinlichkeiten der Serienreifemerkmale sowie die Reife der Komponenten eines Produkts Unsicherheiten unterliegt (vgl. Abschnitte 5.5 und

5.6), können für beide Messgrößen lediglich unsicherheitsbehaftete Werte in Form von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen angegeben werden. Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Anzahl nicht montierbarer Komponenten  $P_{nmont}(a)$  des Produkts kann in zwei Schritten ermittelt werden. Zunächst ist jede Komponente als diskrete Funktion  $p_{nmont,K_i}(x)$  gemäß Gleichung (5.6) zu modellieren<sup>20</sup>, welche sich direkt aus  $\vec{R}_{K_i}$  ableiten lässt. Anschließend ist eine diskrete Faltung aller  $p_{nmont,K_i}$  durchzuführen (vgl. Gleichung (5.7), in Anlehnung an BEHREND 2013, S. 149 ff.).

$$p_{nmont,K_i}(x) = \begin{cases} 1 - P_{nmont,K_i} & \text{für } x = 0. \\ P_{nmont,K_i} & \text{für } x = 1. \end{cases} \quad (5.6)$$

$$P_{nmont}(a) = (p_{nmont,K_1} * p_{nmont,K_2} * \dots * p_{nmont,K_m})(a). \quad (5.7)$$

$a$  : Anzahl nicht montierbarer Komponenten des Produkts

$p_{nmont,K_i}$  : Abbildung der Wahrscheinlichkeit, dass  $K_i$  nicht montierbar ist, als diskrete Funktion

$P_{nmont}(a)$  : Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für  $a$

$m$  : Anzahl der Komponenten, aus denen das Produkt besteht

$x$  : Anzahl der Komponenten, die aufgrund von  $K_i$  nicht montierbar sind. Unter den getroffenen Annahmen gilt  $x \in \{0, 1\}$ .

Die Faltung zweier diskreter Funktionen  $f$  und  $g$  berechnet sich dabei gemäß

$$(f * g)(a) = \sum_{j \in \mathbb{D}} f(j) \cdot g(a - j). \quad (5.8)$$

Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für die Nacharbeitskosten des Produkts kann auf Basis der Nacharbeitskosten seiner Komponenten bestimmt werden. Komponenten sind dabei in einer Serien-Fließmontage immer dann nachzuarbeiten, wenn sie den Zustand *werkstattfähig* aufweisen<sup>21</sup>. Dazu ist ebenfalls eine diskrete Funktion  $p_{nach,K_i}(nk)$  zu definieren, welche der Wahrscheinlichkeit, dass  $K_i$  werkstattfähig ist,

<sup>20</sup> Zur Ermittlung von  $P_{nmont,K_i}$  siehe Gleichung (5.2).

<sup>21</sup> Zunächst werden die Nacharbeitskosten jeder Produktkomponente als bekannt vorausgesetzt. Wie diese bereits vor SOP abgeschätzt werden können, wird in Kapitel 6 behandelt.

einen Wert für die Nacharbeitskosten  $NK_{K_i}$  zuordnet, wie in Gleichung (5.9) dargestellt. Die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für die Nacharbeitskosten des Gesamtprodukts ergeben sich ebenfalls durch eine diskrete Faltung aller  $p_{nach,K_i}$  gemäß Gleichung (5.10). Abbildung 5.7 stellt die Reife des Produkts graphisch dar.

$$p_{nach,K_i}(nk) = \begin{cases} 1 - P_{werk,K_i}, & nk = 0. \\ P_{werk,K_i}, & nk = NK_{K_i}. \end{cases} \quad (5.9)$$

$$P_{nach}(NK_P) = (p_{nach,K_1} * p_{nach,K_2} * \dots * p_{nach,K_m})(NK_P) \quad (5.10)$$

$NK_P$  : Nacharbeitskosten des Produkts

$NK_{K_i}$  : Nacharbeitskosten der Komponente  $K_i$

$p_{nach,K_i}$  : Abbildung der Wahrscheinlichkeit, dass  $K_i$   $NK_{K_i}$  erzeugt, als diskrete Funktion

$nk$  : Nacharbeitskosten, die aufgrund von  $K_i$  auftreten. Unter den getroffenen Annahmen gilt  $nk \in \{0, NK_{K_i}\}$

$P_{nach}(NK_P)$  : Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für  $NK_P$

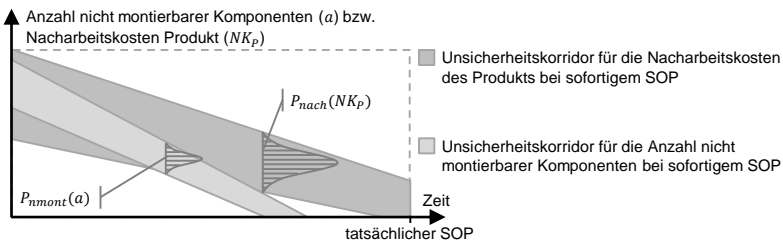


Abbildung 5.7: Reifeentwicklung des Produkts im PEP

## 5.8 Sichtenübergreifendes Gesamtmodell der Serienreifmachung

Die in den Abschnitten 5.3 bis 5.7 beschriebenen Teilmodelle können in ein sichtenübergreifendes Gesamtmodell integriert werden (vgl. Abbildung 5.8). Auf den drei Betrachtungsebenen Serienreifemerkmale, Komponenten und Gesamtprodukt ist das jeweilige Verständnis der Serienreife sowie deren Entwicklung über den Zeitverlauf bis SOP dargestellt.



## 5.8 Sichtenübergreifendes Gesamtmodell der Serienreifmachung

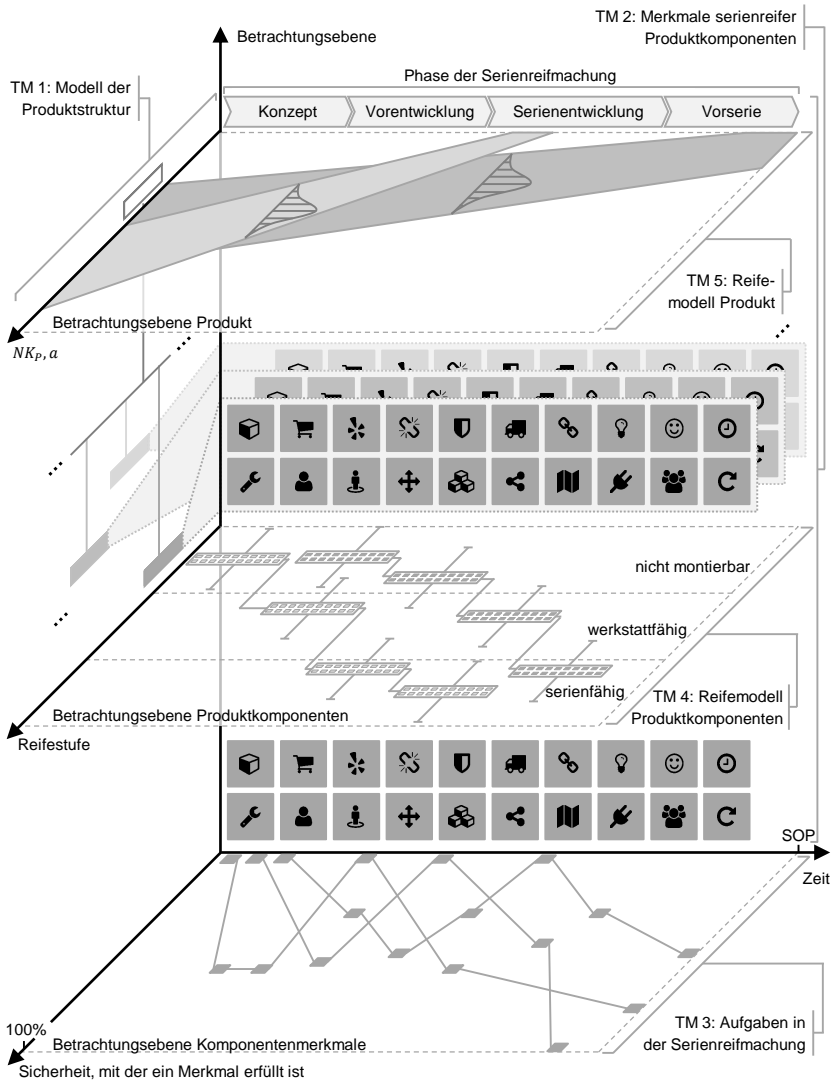


Abbildung 5.8: Sichtenübergreifendes Gesamtmodell der Serienreifmachung

## 5.9 Validierung des Gesamtmodells

Welche Tätigkeiten zur Validierung eines Modells durchzuführen sind, kann nicht objektiv festgelegt werden und ist dementsprechend situativ zu entscheiden (RABE ET AL. 2008, S. 2 f.). Das bedeutet, dass ein *validiertes* Modell keinen Anspruch auf objektive Gültigkeit erheben kann, sondern lediglich von den an der Modellierung beteiligten Experten als glaubwürdig eingeschätzt wird (SARGENT 2015, S. 1733 f.).

Die Validierung des entwickelten Modells basiert auf den in Abschnitt 5.1 vorgestellten GOM und wurde im Rahmen eines Expertenworkshops durchgeführt. Dabei konnte die *Richtigkeit des Modells* bestätigt werden. Hinsichtlich des Modellierungszwecks bzw. der *Relevanz der Modellierung* erfolgte überwiegende Zustimmung. Kritisiert wurde, dass das Reifemodell der Komponentenmerkmale fehleranfällig sein könnte, da die Abgrenzung von Erzeugung, praxisferner und praxisnaher Absicherung in der Praxis eine Herausforderung darstellt. Diesem Aspekt widmet sich Schritt 1 der entwickelten Methode (vgl. Abschnitt 6.2), indem dieses Risiko durch Definition von eindeutigen Erfüllungskriterien minimiert wird. Zur Bewertung der *Wirtschaftlichkeit* ist eine Quantifizierung des Modellnutzens erforderlich, was im vorliegenden Fall nicht erfolgte. Dem Grundsatz des *systematischen Aufbaus* wurde durch die Entwicklung eines sichtenübergreifenden Gesamtmodells Rechnung getragen, in welches sämtliche Teilmodelle zueinander konsistent integriert werden konnten. Die *Klarheit des Modells* wurde im Workshop überwiegend als gegeben bewertet, wobei eine kurze Einführung seitens des Autors erforderlich war. Aufgrund des Fehlens vergleichbarer Modelle der Serienreifmachung konnte keine Bewertung in Bezug auf den *Grundsatz der Vergleichbarkeit* erfolgen. Tabelle 5.2 fasst die Ergebnisse der Validierung zusammen.

Tabelle 5.2: Ergebnisse der Validierung des Modells der Serienreifmachung

GOM-Kriterium	Bewertung
Richtigkeit des Modells	●
Relevanz der Modellierung	◐
Wirtschaftlichkeit	○
systematischer Aufbau	●
Klarheit des Modells	◐
Vergleichbarkeit	○

○ nicht gegeben	◐ teilweise gegeben	● größtenteils gegeben
● gegeben	○ nicht bewertbar / Erfüllung unklar	

## 6 Methode zur Bewertung der Serienreife und Priorisierung von Aufgaben

### 6.1 Inhaltsübersicht

Ziel dieses Kapitels ist es, aufbauend auf das in Kapitel 5 beschriebene Modell der Serienreifmachung, eine Methode zur Bewertung der Reife und Priorisierung von Aufgaben während der Serienreifmachung komplexer Produkte zu entwickeln. Abbildung 6.1 gibt einen Überblick über die Struktur der folgenden Abschnitte.

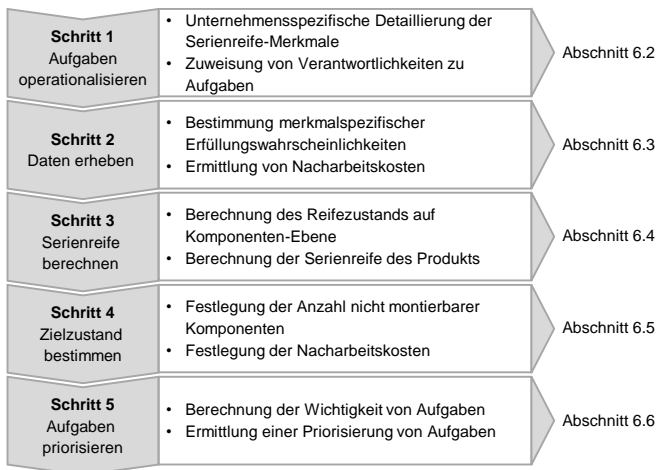


Abbildung 6.1: Übersicht über die entwickelte Methode

Voraussetzung für die Bestimmung der Reife und die Priorisierung von Aufgaben ist zunächst deren unternehmensspezifische Operationalisierung. Dieser Schritt beinhaltet insbesondere die Detaillierung der Aufgaben durch Erfüllungskriterien sowie die Zuweisung von Verantwortlichkeiten zu Aufgaben (**Schritt 1**). Anschließend wird beschrieben, wie merkmalspezifische Erfüllungswahrscheinlichkeiten erhoben und die

Nacharbeitskosten auf Komponentenebene abgeschätzt werden können (**Schritt 2**). Wie die in den Abschnitten 5.6 und 5.7 beschriebenen Reifezustände und Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen in der Praxis berechnet werden können, wird in **Schritt 3** beschrieben. Zur Priorisierung von Aufgaben ist schließlich die Angabe eines Zielzustands hinsichtlich der Anzahl nicht-montierbarer Komponenten sowie die Festlegung von akzeptablen Nacharbeitskosten erforderlich (**Schritt 4**). Abschließend wird die Berechnung der Aufgaben-Wichtigkeit sowie die Ermittlung einer Priorisierung von Aufgaben in **Schritt 5** beschrieben.

### 6.2 Schritt 1: Aufgaben operationalisieren

Um auf Basis des in Kapitel 5 erarbeiteten Modellverständnisses eine Priorisierung von Aufgaben auf Komponentenebene vornehmen zu können, müssen in einem ersten Schritt die in Abschnitt 5.5 formulierten Aufgaben operationalisiert werden. Das bedeutet konkret, unternehmensspezifisch für jedes Merkmal Erfüllungskriterien festzulegen, wann dieses als (1) erzeugt, (2) unter praxisfernen Bedingungen abgesichert oder (3) unter praxisnahen Bedingungen abgesichert gilt. Damit die im zweiten Schritt der Methode erhobenen Wahrscheinlichkeiten vergleichbar sind, ist zudem zu hinterlegen, welche Rollen<sup>1</sup> im Unternehmen welchen Beitrag zur Erfüllung der Aufgaben leisten. Ein gängiges Vorgehen hierfür bieten sog. Responsible / Accountable / Consult / Inform (RACI)-Matrizen<sup>2</sup> (JACKA & KELLER 2012, S. 255 ff.):

- *Responsible (R)*: Diejenige Rolle, welche für die *eigentliche Durchführung* der Aufgabe zuständig ist.
- *Accountable (A)*: Diejenige Rolle, welche die *Verantwortung trägt*. Dabei kann es sich um die gleiche Rolle bzw. Person handeln, die auch für die eigentliche Durchführung zuständig ist.
- *Consult (C)*: Für die Durchführung einer Aufgabe kann es erforderlich sein, die Expertise weiterer Unternehmensrollen hinzuzuziehen. Rollen, die als „Consult“ vermerkt sind, müssen *vor* Abschluss der Aufgabe hinzugezogen werden.

---

<sup>1</sup> Eine Zuordnung zu Rollen hat im Vergleich zu einer Zuordnung zu Mitarbeitern den Vorteil, dass im Falle von Mitarbeiterwechseln die Zuordnung unverändert bleibt (HIRNER ET AL. 2016).

<sup>2</sup> Im deutschen Sprachgebrauch wird teilweise auch die Bezeichnung Verantwortung-Mitarbeit-Information (VMI)-Matrix verwendet (PFEIFER & R. SCHMITT 2014, S. 423).

- *Inform (I)*: Rollen, die über eine Aktivität informiert werden müssen, ohne aktiv an deren Durchführung teilzunehmen, werden in einer RACI-Matrix in der Spalte „Inform“ vermerkt.

Die Festlegung der Erfüllungskriterien sowie die Zuordnung von Rollen erfolgt im Rahmen von Workshops mit Experten des betrachteten Unternehmens. Bei der Formulierung der Erfüllungskriterien ist darauf zu achten, dass diese einen eindeutigen Zielzustand beschreiben, der anhand der zur Verfügung stehenden Ressourcen überprüfbar ist<sup>3</sup>. Tabelle 6.1 stellt eine Vorlage für die Operationalisierung von Aufgaben bereit.

Tabelle 6.1: Vorlage für die Operationalisierung von Aufgaben

	RACI-Zuordnung			
	Responsible	Accountable	Consult	Inform
<b>📦 Komponente erzeugt</b>				
Merkmal erzeugt				
Kriterium 1	A	A	B, E	C
...	...	...	...	...
Merkmal praxisfern abgesichert				
Kriterium 5	D	D	B	E, A, F
...	...	...	...	...
Merkmal praxisnah abgesichert				
Kriterium 7	F	C	E	A
...	...	...	...	...
<b>📦 Komponente bereitstellbar</b>				
...				

A-F: Rollen

<sup>3</sup> In diesem Zusammenhang spricht man auch von *verifizierbaren* Erfüllungskriterien (vgl. KERZNER 2013, S. 571 f.).

## 6.3 Schritt 2: Daten zur Berechnung der Serienreife erheben

### 6.3.1 Schritt 2.1: Bestimmung der Erfüllungswahrscheinlichkeit von Serienreife-Merkmalen

Die Priorisierung von Aufgaben während der Serienreifmachung setzt voraus, dass belastbare Information darüber vorliegt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Merkmal tatsächlich erfüllt ist, wenn die jeweils hinterlegten Kriterien (vgl. Abschnitt 6.2) bearbeitet wurden. So kann es in der Praxis beispielsweise vorkommen, dass die für die Beschaffung einer Komponente in Serienstückzahl Verantwortlichen zwar aus ihrer Sicht alles notwendige getan haben, eine bestimmte Komponente dennoch im Moment des geplanten Einbaus nicht verfügbar ist. Wie häufig ein solcher Fall auftritt, ist stark von der Qualität der zugrundeliegenden Prozesse abhängig und damit unternehmensspezifisch. Ziel dieses Abschnitts ist es daher, ein Vorgehen zur Quantifizierung der Erfüllungswahrscheinlichkeit von Serienreifemerkmalen (entspricht dem Wert  $P(M_{j,K_i})$  in Kapitel 5) zu erarbeiten.

Grundsätzlich können die Verantwortlichen bei der Beurteilung des Ergebnisses einer Aufgabe entweder zu dem Ergebnis kommen, dass das betreffende Merkmal nun erfüllt ist, oder aber dass es nicht erfüllt ist (bspw. aufgrund von Fehlern in vorangehenden Arbeitsschritten). In der Regel wird es sich bei der Bewertung des Ergebnisses um eine Einschätzung des bzw. der jeweiligen Rolleninhaber handeln, die vor dem Hintergrund verschiedener Unwägbarkeiten getroffen werden muss (bspw. anhand einer virtuellen Repräsentanz einer Komponente, ohne diese physisch vor sich zu haben). Das führt dazu, dass das Bewertungsergebnis nicht notwendigerweise der tatsächlich vorliegenden Situation entspricht. Somit ergeben sich vier unterschiedliche Fälle, welche in Tabelle 6.2 dargestellt sind<sup>4,5</sup>.

---

<sup>4</sup> Die dargestellte Vierfeldertafel wird meist im Kontext eines diagnostischen Tests in der Medizin angewandt (vgl. bspw. SIMEL ET AL. 1991), weshalb im Rahmen dieser Arbeit auf die in diesem Kontext gängige Notation zurückgegriffen wird. Demnach ist das Ergebnis eines (diagnostischen) Tests positiv, wenn eine Krankheit festgestellt wurde. Analog ist bei der Bewertung von Komponenten das Testergebnis positiv, wenn festgestellt wird, dass ein Serienreife-Merkmal nicht erfüllt ist.

<sup>5</sup> Methoden der medizinischen Forschung in der Produktionswissenschaft und speziell in der Serienreifmachung sowie im Anlauf einzusetzen, wird beispielsweise von CHRISTENSEN (2016) vorgeschlagen.

Tabelle 6.2: Denkbare Bewertungsergebnisse und tatsächliche Situation (HEDDERICH & SACHS 2016, S. 180), dargestellt als Vierfeldertafel

Ergebnis der Bewertung	Tatsächliche Situation	
	Merkmal nicht erfüllt ( $\bar{E}$ )	Merkmal erfüllt ( $E$ )
Merkmal nicht erfüllt $T^+$	richtig positiv ( $r_p$ )	falsch positiv ( $f_p$ )
Merkmal erfüllt $T^-$	falsch negativ ( $f_n$ )	richtig negativ ( $r_n$ )

Anhängig von der vorliegenden Situation ergeben sich unterschiedliche Einstufungen in der Praxis (STEINHAEUSSER & REINHART 2017):

**Richtig positiv:** Wenn die Bewertung der Situation *richtigerweise* ergibt, dass ein Merkmal *nicht* erfüllt ist, so liegt ein richtig positives Ergebnis ( $r_p$ ) vor. In der Praxis erfolgt in diesem Fall die Beauftragung einer Änderung oder Nachbesserung der betroffenen Komponente. Sofern der Änderungsprozess des Unternehmens funktioniert, kann davon ausgegangen werden, dass die erforderliche Änderung auch umgesetzt wird. Um für ein betrachtetes Unternehmen nun zu bewerten, wie häufig eine richtig-positive Bewertung der realen Situation erfolgt, muss auf Vergangenheitsdaten zurückgegriffen werden. Als richtig positiv sind dabei alle Fälle einzustufen, in denen Änderungen durchgeführt wurden, welche auf eine Nichterfüllung des betrachteten Merkmals zurückzuführen sind.

**Falsch positiv:** Im Falle eines falsch positiven Ergebnisses ( $f_p$ ) wird *fälschlicherweise* festgestellt, dass ein Merkmal *nicht* erfüllt ist. In der Praxis erfolgt auch in diesem Fall die Beauftragung einer Änderung bzw. Nachbesserung des Bauteils, allerdings ohne das dies notwendig wäre. Fällt der Fehler vor Umsetzung der Änderung auf, wird der Änderungsantrag zurückgewiesen. Fällt der Fehler nicht auf, wird die Änderung umgesetzt und damit unnötiger Aufwand betrieben. Letztgenannter Fall ist in der Praxis allerdings kaum erfassbar, da es sich dabei um konkurrierende Expertenmeinungen handeln würde<sup>6</sup>. Aufgrund der schwierigen Quantifizierbarkeit falsch positiver Bewertungsfälle ist es daher wünschenswert, bei der Bestimmung der Erfüllungswahrscheinlichkeit von

<sup>6</sup> Im Gegensatz zur Anwendung eines diagnostischen Tests in der Medizin, wo durch aufwendige Voruntersuchungen die tatsächliche Situation ermittelt werden kann, ist man bei der Ermittlung der tatsächlichen Situation in der Serienreifmachung auf Expertenmeinungen angewiesen.

Serienreife-Merkmalen auf eine Verrechnung der Anzahl dieser Fälle verzichten zu können.

**Richtig negativ:** Richtig negative Fälle sind dadurch gekennzeichnet, dass die Bewertung *richtigerweise* zu dem Schluss kommt, dass das betreffende Merkmal erfüllt ist. In diesem Fall wird also richtigerweise kein Änderungsantrag gestellt. In der Praxis kann die Anzahl dieser Fälle ebenfalls anhand von Vergangenheitsdaten ermittelt werden: Sämtliche Komponenten, an denen sich nach der Bewertung keine Änderungsbedarfe bezüglich des betrachteten Merkmals ergeben haben, fallen unter diese Kategorie.

**Falsch negativ:** Falsch negative Bewertungsergebnisse bergen das vergleichsweise höchste Risiko im Hinblick auf zusätzliche Kosten, da die Bewertung *fälschlicherweise* zu dem Schluss kommt, das betreffende Merkmal sei erfüllt. Eine eigentlich notwendige Änderung wird nicht in Auftrag gegeben und muss damit zu einem späteren Zeitpunkt und gemäß der „Rule-of-Ten“<sup>7</sup> zu wesentlich höheren Kosten umgesetzt werden. Die Anzahl dieser Fälle kann ebenfalls anhand von Vergangenheitsdaten quantifiziert werden: Fälle, in denen an ursprünglich als fehlerfrei eingestuften Komponenten Änderungen aufgrund einer Nichterfüllung des betrachteten Serienreife-Merkmals durchgeführt werden müssen, sind als falsch negative Fälle zu werten.

Die Brauchbarkeit eines diagnostischen Tests zur Erkennung einer Abweichung vom Sollzustand wird allgemein an dessen *Sensitivität*  $P(T^+|\bar{E})$  sowie dessen *Spezifität*  $P(T^-|E)$  gemessen (HEDDERICH & SACHS 2016, S. 180). Dabei beschreibt die Sensitivität den Anteil der Fälle, in denen eine fehlerhafte Komponente tatsächlich als solche erkannt wird, während die Spezifität den Anteil der als fehlerfrei bewerteten Komponenten bezogen auf alle fehlerfreien Komponenten angibt (vgl. Gleichungen 6.1 und 6.2):

$$P(T^+|\bar{E}) = \frac{r_p}{r_p + f_n} \quad (6.1)$$

$$P(T^-|E) = \frac{r_n}{r_n + f_p} \quad (6.2)$$

---

<sup>7</sup> Die „Rule-of-Ten“ besagt, dass mit jeder Phase im PEP, um die die Umsetzung einer notwendigen Änderung nach hinten verschoben wird, die Kosten der Änderung um den Faktor 10 steigen (EHRENSPIEL & MEERKAMM 2013, S. 143).



Eine weitere wichtige Kenngröße ist die sog. *Prävalenz*  $P(\bar{E})$ . Sie beschreibt, wie viele Komponenten einer betrachteten Grundgesamtheit tatsächlich fehlerbehaftet sind und errechnet sich zu:

$$P(\bar{E}) = \frac{r_p + f_n}{r_p + r_n + f_p + f_n} \quad (6.3)$$

Anhand von Sensitivität, Spezifität und Prävalenz kann der Anteil *tatsächlich* fehlerfreier Komponenten, bezogen auf alle als fehlerfrei eingestuften Komponenten bestimmt werden. Dieser sog. Negative Predictive Value bzw. negativer Vorhersagewert (NPV) berechnet sich gemäß Gleichung (6.4):

$$NPV = \frac{(1 - P(\bar{E})) * P(T^-|E)}{(1 - P(\bar{E})) * P(T^-|E) + P(\bar{E}) * (1 - P(T^+|\bar{E}))} \quad (6.4)$$

Der NPV kann auch interpretiert werden als Maß für die Verlässlichkeit der Aussage, dass eine Komponente fehlerfrei ist, wenn sie im Rahmen der Bewertung als solche eingestuft wurde (STEINHAEUSSER & REINHART 2017). Damit beschreibt der NPV auch die Wahrscheinlichkeit, dass ein Merkmal nach entsprechend erfolgter Bewertung tatsächlich erfüllt ist. Durch Einsetzen der Gleichungen (6.1) bis (6.3) in Gleichung (6.4) kann außerdem gezeigt werden, dass gilt

$$NPV = \frac{r_n}{r_n + f_n} \quad (6.5)$$

und der NPV demnach unabhängig von der in der Praxis kaum bestimmbar Anzahl  $f_p$ -Fälle ist.

Essentiell für die richtige Bestimmung der Wahrscheinlichkeiten ist deren konsistente Erhebung. So ist darauf zu achten, *den gleichen Komponentenumfang* für die Erhebung der Erfüllungswahrscheinlichkeiten der in Abschnitt 5.5 formulierten Aufgaben zu verwenden. Das entsprechende Vorgehen ist in Abbildung 6.2 dargestellt.

Ausgangspunkt der Betrachtung bildet eine Grundgesamtheit von  $n$  Komponenten, für die das betrachtete Merkmal gemäß der Operationalisierung der Aufgaben (vgl. Abschnitt 6.2) erzeugt wurde. Bei Durchführung der praxisfernen Absicherung ergibt sich eine Anzahl Komponenten  $n_{erf,pf}$ , für die in der praxisfernen Absicherung keine Mängel bezüglich des betrachteten Merkmals festgestellt werden sowie eine Anzahl Komponenten  $n - n_{erf,pf}$ , für die die praxisferne Absicherung eine Nichterfüllung des

		Merkmal erfüllt	Merkmal nicht erfüllt	$\Sigma$
Zu erhebende Daten	Merkmal praxisfern abgesichert	$n_{erf,pf}$	$n - n_{erf,pf}$	$n$
	Merkmal praxisnah abgesichert	$n_{erf,pn}$	$n_{erf,pf} - n_{erf,pn}$	$n_{erf,pf}$

		Tatsächliche Situation	
Aufgabe	Bewertung	Merkmal nicht erfüllt	Merkmal erfüllt
Merkmal erzeugt	Merkmal nicht erfüllt	---	---
	Merkmal erfüllt	$n - n_{erf,pn}$	$n_{erf,pn}$
praxisferne Absicherung	Merkmal nicht erfüllt	---	---
	Merkmal erfüllt	$n_{erf,pf} - n_{erf,pn}$	$n_{erf,pn}$
praxisnahe Absicherung	Merkmal nicht erfüllt	---	---
	Merkmal erfüllt	0	$n_{erf,pn}$

--- nicht benötigter Wert zur Ermittlung der Erfüllungswahrscheinlichkeiten mittels des NPV

Abbildung 6.2: Vorgehen zur Erhebung der Erfüllungswahrscheinlichkeiten nach Aufgabendurchführung

entsprechenden Serienreife-Merkmals konstatiert. Anschließend sind die Ergebnisse der praxisnahen Absicherung aller  $n_{erf,pf}$  Komponenten zu untersuchen. Dabei ergeben sich wiederum  $n_{erf,pn}$  Komponenten, bei denen das Vorhandensein des betrachteten Merkmals unter praxisnahen Bedingungen bestätigt werden konnte, sowie eine Anzahl  $n_{erf,pf} - n_{erf,pn}$  Komponenten, in denen das Fehlen des Serienreife-Merkmals festgestellt wurde. Auf dieser Basis können schließlich, wie in Abbildung 6.2 dargestellt, die Vierfeldertafeln für die Aufgaben *Merkmal erzeugt*, *Merkmal praxisfern abgesichert* und *Merkmal praxisnah abgesichert* erstellt werden sowie die NPVs jeder Aufgabe unternehmensspezifisch gemäß Gleichung (6.5) berechnet werden.

Um den NPV jeder Aufgabe *exakt* zu bestimmen wäre es erforderlich, *sämtliche* praxisfernen und praxisnahen Absicherungsvorgänge der Vergangenheit entsprechend dem beschriebenen Vorgehen zu analysieren. Da die Daten in der Praxis selten vollständig vorhanden sind und die Analyse zudem beliebig zeitaufwendig werden kann, stellt sich die Frage, wie viele Datensätze *mindestens* analysiert werden müssen, um belastbare Ergebnisse zu erhalten. HEDDERICH & SACHS (2016, S. 324 f.) zufolge gilt für die Anzahl  $n$  zu analysierender Daten:

$$n \geq \frac{\pi * (1 - \pi)}{[1 - P(|\hat{p}_n - \pi| < \epsilon)] * \epsilon^2} \quad (6.6)$$

$\pi$  : Tatsächliche oder angenommene Eintretens-Wahrscheinlichkeit des betrachteten Ereignisses. Wenn die Eintretens-Wahrscheinlichkeit unbekannt ist, stellt  $\pi = 0,5$  die konservativste Annahme dar.

$\hat{p}_n$  : beobachtete Eintretens-Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses bei  $n$  Beobachtungen

$\epsilon$  : Abweichung der Größe  $\hat{p}_n$  von  $\pi$  bei  $n$  Beobachtungen

### 6.3.2 Schritt 2.2: Nacharbeitskosten ermitteln

Um die Reife des Produkts zu bestimmen, sind zunächst die Nacharbeitskosten der Komponenten abzuschätzen (vgl. Abschnitt 5.7). Diese können näherungsweise mittels Gleichung (6.7) bestimmt werden.

$$NK_{K_i} = n_{K_i,p} * h_{NK} * T_{K_i} \quad (6.7)$$

$NK_{K_i}$  : Nacharbeitskosten der Komponente  $K_i$  in einem betrachteten Zeitraum

$n_{K_i,p}$  : Anzahl der Fälle, in denen  $K_i$  im betrachteten Produktionsprogramm pro Zeiteinheit (z. B. pro Schicht) verbaut werden muss.

$h_{NK}$  : Stundensatz der Nacharbeit

$T_{K_i}$  : Zeitdauer, die für die Nacharbeit von  $K_i$  aufgebracht werden muss

$n_{K_i,p}$  kann auf Grundlage einer Mengentückliste sowie einer Absatzprognose der einzelnen Produktvarianten vergleichsweise einfach ermittelt werden. Gleiches gilt für  $h_{NK}$ , die Kosten einer Stunde Nacharbeit können bei den entsprechenden Kostenstellen im Unternehmen erfragt werden<sup>8</sup>. Die Ermittlung der Nacharbeitsdauer  $T_{K_i}$  ist hingegen nicht ohne Weiteres möglich, da in der Serienreifmachung befindliche Komponenten in der Regel noch nie montiert wurden. Um dennoch eine Aussage zu  $T_{K_i}$  treffen zu können erfolgt die Annahme, dass  $T_{K_i}$  als Funktion einer bestimmten Anzahl von Einflussgrößen  $EG_1, \dots, EG_n$  dargestellt werden kann<sup>9</sup>:

---

<sup>8</sup> Wenn keine Stundensätze vorhanden sind, können diese gemäß dem von HARTEL & LOTTER (2012, S. 382) beschriebenen Vorgehen berechnet werden.

<sup>9</sup> Laut REFA (1997, S. 10) ist diese Voraussetzung erfüllt.

$$T_{K_i} = f(EG_1, \dots, EG_n) \quad (6.8)$$

Ein gängiges Verfahren zur Ermittlung eines solchen funktionalen Zusammenhangs ist die Regressionsanalyse<sup>10</sup>. Abbildung 6.3 zeigt das prinzipielle Vorgehen:

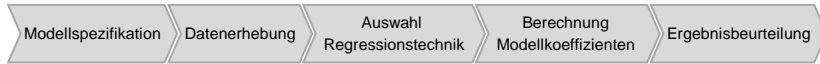


Abbildung 6.3: *Prinzipielles Vorgehen zur Durchführung einer Regressionsanalyse (in Anlehnung an URBAN & MAYERL 2011, S. 22 ff.)*

Im Rahmen der *Modellspezifikation* müssen zunächst relevante Einflussgrößen identifiziert werden. Sinnvolle Ergebnisse können nur dann erzielt werden, wenn lediglich Einflussgrößen in die Betrachtung aufgenommen werden, denen aufgrund von analytischen oder theoretischen Überlegungen eine Bedeutsamkeit in Bezug auf den betrachteten Zusammenhang unterstellt werden kann (URBAN & MAYERL 2011, S. 19). In Bezug auf die Nacharbeitszeit von Komponenten stellt Tabelle 6.3 identifizierte Einflussgrößen dar. Sind diese nicht unmittelbar quantifizierbar, kann deren Messung anhand eines Index erfolgen (vgl. URBAN & MAYERL (2011, S. 30) bzw. Abschnitt 4.2.1).

Zur Gewährleistung einer hohen Prognosegenauigkeit ist die *Datenerhebung* in einem Nacharbeitssystem durchzuführen, welches sich in möglichst wenig Aspekten von demjenigen unterscheidet, welches für das neu entwickelte Produkt zur Verfügung stehen wird. Für jeden Datensatz sind dabei die Ausprägungen der im Rahmen der Modellspezifikation identifizierten Einflussgrößen zu erheben. Für die Mindestgröße der benötigten Stichprobe  $N$  existieren verschiedene Faustregeln<sup>11</sup>, beispielsweise die von GREEN (1991):

$$N \geq 50 + 8 * n_{EG} \quad (6.9)$$

$n_{EG}$  : Anzahl Einflussgrößen

$N$  : Mindestgröße der für die Regressionsanalyse benötigte Stichprobe

---

<sup>10</sup> Ziel dieses Kapitels ist es, das grundsätzliche Vorgehen zur Durchführung einer Regressionsanalyse zur Ermittlung von Nacharbeitszeiten zu beschreiben. Für weiterführende Informationen zur Regressionsanalyse sei auf URBAN & MAYERL (2011) bzw. SEN & SRIVASTAVA (1990) verwiesen.

<sup>11</sup> Eine detaillierte Beschreibung der Implikationen unterschiedlicher Stichprobengrößen sowie Tabellen zur Stichprobengröße in Abhängigkeit der erwünschten Modellierungsgüte findet sich beispielsweise bei KNOFCZYNSKI & MUNDFROM (2007) oder AUSTIN & STEYERBERG (2015).

Tabelle 6.3: Einflussgrößen auf die Nacharbeitsdauer einer Komponente (in Anlehnung an HARTEL & LOTTER 2012, S. 368 ff., SACKERMANN 2009, LUCZAK 1998, S. 172 ff., DEUSE & BUSCH 2012, S. 82, EVERSHEIM 1989a, S. 179, SCHILLER 1998, S. 156 ff., R. MÜLLER 2012, S. 712 f. und MÖNIG 2005, S. 34 ff.)

<b>Einflussgrößen zur Handhabung</b>	
$EG_1$	Anzahl der manuell zu handhabenden Komponenten
$EG_2$	Anzahl der maschinell zu handhabenden Komponenten
$EG_3$	Gewicht der zu handhabenden Komponenten
$EG_4$	Abmessungen der zu handhabenden Komponenten
$EG_5$	Formstabilität der zu handhabenden Komponenten
<b>Einflussgrößen zu Komponentenverbindungen</b>	
$EG_6$	Anzahl zerstörungsfrei aufzulösender Verbindungen
$EG_7$	Länge zerstörungsfrei aufzulösender Verbindungen
$EG_8$	Anzahl zerstörend aufzulösender Verbindungen
$EG_9$	Länge zerstörend aufzulösender Verbindungen
<b>Einflussgrößen zu Montagebedingungen</b>	
$EG_{10}$	Erforderliche Präzision beim Einbau
$EG_{11}$	Ergonomische Gestaltung des Arbeitsumfelds
<b>Weitere Einflussfaktoren</b>	
$EG_{12}$	Erforderliche Prüf- und Einstelltätigkeiten
$EG_{13}$	Aufwand zur Fehleridentifikation

Im Rahmen der *Auswahl der Regressionstechnik* gilt es festzustellen, ob dem Regressionsmodell Linearität unterstellt werden kann<sup>12,13</sup>. Ist dies der Fall, gilt

$$T_{K_i} = \beta_0 + \beta_1 * EG_1 + \beta_2 * EG_2 + \dots + \beta_n * EG_n \quad (6.10)$$

$\beta_i$  : Regressionskoeffizient der  $i$ -ten Einflussgröße

Für lineare Regressionsmodelle kann die optimale Regressionsgleichung mittels der Methode der kleinsten Quadrate (Ordinary Least Squares (OLS)-Methode) bestimmt werden.

<sup>12</sup> Methoden zur Linearitätsprüfung finden sich bspw. in URBAN & MAYERL (2011, S. 202 ff.).

<sup>13</sup> Auf Basis der identifizierten Einflussgrößen und der zugrundeliegenden Problemstellung werden lediglich lineare Zusammenhänge unterstellt. Für die Lösung nicht-linearer Problemstellungen sei auf weiterführende Literatur verwiesen.

Im Schritt *Berechnung der Modellkoeffizienten* ist das sich aus der OLS-Methode ergebende, lineare Gleichungssystem zu lösen. Im Gleichungssystem sind dabei lediglich solche Einflussfaktoren zu berücksichtigen, die *signifikant*<sup>14</sup> sind. Zu diesem Zweck erfolgt zunächst eine schrittweise Modellreduktion.

Als Kriterium zur Beurteilung des Regressionsmodells kann schließlich das sog. *Bestimmtheitsmaß*  $R^2$  bzw. *adjustierte Bestimmtheitsmaß*  $R^2_{adj}$  herangezogen werden (HEDDERICH & SACHS 2016, S. 778 f.).  $R^2$  beschreibt, welcher Anteil der Varianz der Zielgröße ( $T_{k_i}$ ) durch das Regressionsmodell erklärt wird und berechnet sich gemäß Gleichung (6.11).

$$R^2 = \frac{Var(\hat{Y})}{Var(Y)} = \frac{\sum_{i=1}^M (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^M (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (6.11)$$

- $R^2$  : Bestimmtheitsmaß eines Regressionsmodells
- $M$  : Anzahl verfügbarer Datensätze
- $\hat{Y}_i$  : Mit Regressionsfunktion berechneter Wert der Zielgröße
- $\bar{Y}$  : Mittelwert der  $M$  Datensätze
- $Y_i$  : Erfasster Wert der Zielgröße bei Beobachtung  $i$
- $Var(Y)$  : Varianz der Größe  $Y$

Das adjustierte Bestimmtheitsmaß  $R^2_{adj}$  berücksichtigt zusätzlich die Anzahl der identifizierten Einflussgrößen und die Stichprobengröße (vgl. Gleichung 6.12). Grundsätzlich gilt, dass je größer  $R^2$  und  $R^2_{adj}$ , desto besser bildet die ermittelte Funktionsgleichung die erhobenen Daten ab und ermöglicht damit eine umso genauere Abschätzung von  $T_{k_i}$ .

$$R^2_{adj} = R^2 - \frac{n}{M-n-1} * (1-R^2) \quad (6.12)$$

Schließlich erfolgt die *Ergebnisbeurteilung*, welche sich in zwei Schritte unterteilen lässt. Zum einen ist zu prüfen, ob die für die Berechnung der Modellkoeffizienten festgelegten

---

<sup>14</sup> Zur Beurteilung der Signifikanz von Einflussfaktoren wird der P-Wert  $P_{\beta_i}$  ermittelt. Da zur Ermittlung des P-Werts die Auswertung von Teststatistiken erforderlich ist, erfolgt diese meist softwarebasiert ROOCH (2014, S. 135). Ein Einflussfaktor  $i$  ist signifikant, wenn der zugehörige  $P_{\beta_i}$ -Wert unterhalb eines Testniveaus  $\alpha$  liegt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird  $\alpha = 5\%$  angenommen.

Grenzwerte eingehalten wurden, und zum anderen müssen sich die Ergebnisse in das zugrundeliegende Theoriemodell integrieren lassen (URBAN & MAYERL 2011, S. 23 f.).

## 6.4 Schritt 3: Serienreife berechnen

In diesem Abschnitt wird zunächst beschrieben, wie auf Basis des in Abschnitt 5.6 beschriebenen Modellverständnisses die Berechnung der Serienreife von Produktkomponenten in der Praxis erfolgen kann (Abschnitt 6.4.1). Anschließend beschäftigt sich Abschnitt 6.4.2 mit der Ermittlung der Serienreife des Produkts auf der Grundlage von Teilmodell 5 (vgl. Abschnitt 5.7).

### 6.4.1 Schritt 3.1: Berechnung der Serienreife von Produktkomponenten

Zur Berechnung der Komponenten-Reifematrix  $\mathbf{R}$  in der Praxis kann das in Algorithmus 1 beschriebene Vorgehen angewandt werden. Damit die Berechnung effizient erfolgt, sind zunächst die beiden in Abschnitt 5.6 genannten Sonderfälle zu prüfen. Sind diese erfüllt, vereinfacht sich die Berechnung von  $\vec{R}_{K_i}$  erheblich.

---

#### Algorithmus 1 Berechnung der Serienreife von Produktkomponenten

---

**Input:** Erfüllungswahrscheinlichkeiten  $P(M_{j,K_i})$  aller Merkmale  $M_j$  mit  $j \in \{1, 2, \dots, 20\}$  aller Komponenten  $K_i$  mit  $i \in \{1, 2, \dots, m\}$

**Output:** Komponenten-Reifematrix  $\mathbf{R}$

- 1: Setze  $i, j = 1$
  - 2: Setze Hilfsvariable  $h = 1$
  - 3: **while**  $i < m$  **do**
  - 4:     **if** nicht Sonderfall 1 **then**
  - 5:         **for**  $j \leq 10$  **do**
  - 6:              $h \leftarrow h * P(M_{j,K_i})$
  - 7:             Erhöhe  $j$  um 1
  - 8:         **end for**
  - 9:      $P_{mont,K_i} = 1 - h$
-

**Algorithmus 1** Berechnung der Serienreife von Produktkomponenten (Fortsetzung)

---

```
10:      if nicht Sonderfall 2 then
11:          for  $j \leq 20$  do
12:               $h \leftarrow h * P(M_{j,K_i})$ 
13:              Erhöhe  $j$  um 1
14:          end for
15:               $P_{ser,K_i} = h$ 
16:               $\vec{R}_{K_i} = [P_{nmont,K_i}; 1 - (P_{nmont,K_i} + P_{ser,K_i}); P_{ser,K_i}]$ 
17:          else
18:               $\vec{R}_{K_i} = [P_{nmont,K_i}; 1 - P_{nmont,K_i}; 0]$ 
19:          end if
20:      else
21:           $\vec{R}_{K_i} = [1; 0; 0]$ 
22:      end if
23:       $\mathbf{R} \leftarrow \vec{R}_{K_i}$ 
24:      Erhöhe  $i$  um 1
25: end while
```

---

### 6.4.2 Schritt 3.2: Berechnung der Serienreife des Produkts

Die Reifematrix  $\mathbf{R}$  eines betrachteten Komponentenumfangs bildet die Grundlage für die Berechnung der Serienreife des Produkts. Dafür sind zunächst sämtliche Einträge  $\vec{R}_{K_i}$  gemäß der Gleichungen (5.6) und (5.9) zu formulieren und anschließend  $P_{nmont}(a)$  und  $P_{nach}(NK_P)$  durch diskrete Faltung der Ergebnisse (vgl. Gleichungen 5.7 und 5.10) zu bestimmen. Da die Berechnung einer diskreten Faltung analytisch aufwendig ist (BEHREND'S 2013, S. 150), wird eine *Monte-Carlo-Simulation*<sup>15</sup> zur Hilfe genommen. Mittels einer Monte-Carlo-Simulation kann eine Abschätzung eines Funktionswerts durch wiederholte Auswahl zufällig verteilter Größen getroffen werden, entsprechend können  $P_{nmont}(a)$  und  $P_{nach}(NK_P)$  durch die diskreten Funktionen  $P_{nmont}^*(a)$  und  $P_{nach}^*(NK_P)$  approximiert werden. Algorithmus 2 zeigt das Vorgehen zur Berechnung der Produktserienreife.

---

<sup>15</sup> Im Rahmen dieser Arbeit wird lediglich auf die für die vorliegende Problemstellung wichtigen Aspekte der Monte-Carlo-Simulation eingegangen. Detaillierte Erläuterungen zur Funktionsweise einer Monte-Carlo-Simulation, ihrer Grenzen sowie Anwendungsbeispiele finden sich bspw. bei BRONŠTEJN ET AL. (2008, S. 848 ff.) oder RUBINSTEIN ET AL. (2011).



**Algorithmus 2** Berechnung der Serienreife des Produkts**Input:** Komponenten-Reifematrix  $\mathbf{R}$ **Output:** Diskrete Näherungsfunktionen  $P_{nmont}^*(a)$  und  $P_{nach}^*(k)$ 

```

1: Setze  $s = 1$ ;  $s_{max} = 10^7$ 
2: while  $s < s_{max}$  do
3:   Setze Hilfsvariablen  $a_s, k_s = 0$ 
4:   for each  $\vec{R}_{K_i}$  in  $\mathbf{R}$  do
5:     ziehe Zufallszahl  $z, z \in [0; 1]$ 
6:     if  $z \leq P_{nmont, K_i}$  then
7:        $a_s \leftarrow a_s + 1$ 
8:     else
9:       if  $z \leq P_{nmont, K_i} + P_{prot, K_i}$  then
10:         $k_s \leftarrow k_s + NK_{K_i}$ 
11:       end if
12:     end if
13:   end for
14:    $P_{nmont}^*(a) \leftarrow \langle a_s, \frac{1}{s_{max}} \rangle$ 
15:    $P_{nach}^*(k) \leftarrow \langle k_s, \frac{1}{s_{max}} \rangle$ 
16:   Erhöhe  $s$  um 1
17: end while

```

 $s$  : Laufvariable $s_{max}$  : Maximale Anzahl an Simulationsdurchläufen $z$  : Zufallszahl

Um mit der Monte-Carlo-Methode aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, muss Algorithmus 2 hinreichend oft durchlaufen werden. Für die exakte Bestimmung einer ausreichenden Anzahl  $s_{max}$  ist dabei Kenntnis der Standardabweichung  $\sigma$  der zu approximierenden Funktion erforderlich. Da dies vor der Simulation meist nicht der Fall ist (vgl. MÜLLER-GRONBACH ET AL. 2012, S. 56 ff.), wird häufig eine hohe Zehnerpotenz angesetzt (bspw.  $s_{max} = 10^7$ ). Abbildung 6.4 zeigt ein beispielhaftes Ergebnis des in Algorithmus 2 beschriebenen Verfahrens.

Auf Grundlage von  $P_{nmont}^*(a)$  und  $P_{nach}^*(k)$  kann schließlich für ein vorgegebenes Konfidenzniveau  $\alpha_a$  bzw.  $\alpha_k$  die höchstmögliche Anzahl nicht-montierbarer Komponenten ( $a_{max}$ ) bzw. die höchstmöglichen Nacharbeitskosten ( $NK_{max}$ ) angegeben werden (vgl. Gleichungen 6.13 und 6.14), was wiederum die Basis für die Beurteilung der Serienreife des Produkts darstellt.

$$\alpha_a = \sum_0^{a_{max}} P_{nmont}^*(a) \quad (6.13)$$

$$\alpha_k = \sum_0^{NK_{max}} P_{nach}^*(k) \quad (6.14)$$

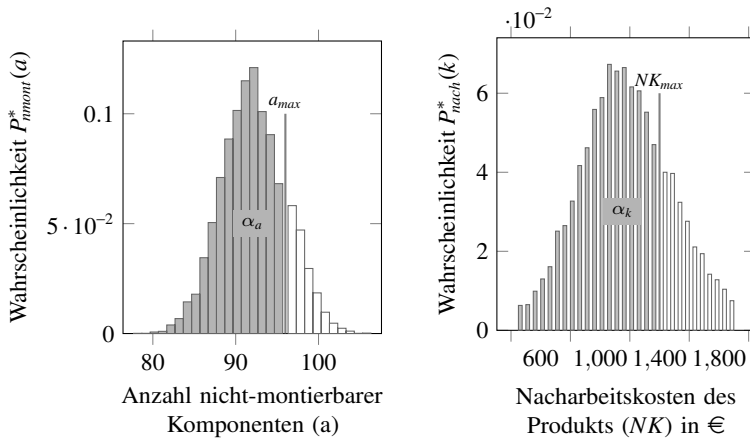


Abbildung 6.4: Beispielhaftes Ergebnis von Algorithmus 2

## 6.5 Schritt 4: Zielzustand der Serienreife bestimmen

Die Ergebnisse der Berechnung der Serienreife (vgl. Methodenschritt 3, Abschnitt 6.4) bilden die Grundlage für die Priorisierung von Aufgaben in der Serienreifmachung. Dafür ist zunächst die Festlegung eines Zielzustands erforderlich. Es stellt sich also die Frage: „Wie serienreif  *muss* bzw.  *soll*  das Produkt bei Beginn der Serienproduktion sein?“

Die Frage wie serienreif das Produkt sein  *muss* , kann anhand der Anzahl nicht montierbarer Komponenten beantwortet werden. Da das Produkt  *nicht montiert werden kann* , solange nicht montierbare Komponenten vorliegen, gilt:

**Priorisierungsziel 1:** Es ist mit möglichst hoher Sicherheit auszuschließen, dass zum SOP nicht montierbare Komponenten im Sinne des in Abschnitt 5.6 dargelegten Verständnisses vorliegen ( $a_{max} = 0$ ;  $\alpha_a \rightarrow 1$ ).

Wie serienreif das Produkt sein soll, hängt von den akzeptablen Nacharbeitskosten zu SOP ab. Bei der Festlegung dieser Kosten können neben betriebswirtschaftlichen Überlegungen auch strategische Aspekte eine Rolle spielen, beispielsweise die zeitorientierte Wettbewerbsstrategie eines Unternehmens<sup>16</sup>. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht kann der Deckungsbeitrag Orientierung bei der Festlegung von akzeptablen Nacharbeitskosten geben (vgl. Gleichung 6.15)<sup>17</sup>.

$$DB_P = E_P - K_{v,P} - NK_{max} \quad (6.15)$$

$DB_P$  : Deckungsbeitrag eines Produkts  $P$

$E_P$  : Erlös des Produkts

$K_{v,P}$  : variable Kosten des Produkts (exklusive Nacharbeitskosten)

$NK_{max}$  : Maximal akzeptable Nacharbeitskosten aller Komponenten des Produkts

In der Deckungsbeitragsrechnung sollten die variablen Kosten nicht die Erlöse übersteigen (HORSCH 2015, S. 198). Mit  $DB_P \geq 0$  ergibt sich aus Gleichung (6.15) der in Gleichung (6.16) dargestellte Richtwert für die maximal akzeptablen Nacharbeitskosten:

$$NK_{max} \leq E_P - K_{v,P} \quad (6.16)$$

Das Priorisierungsziel in Hinblick auf die zu erwartenden Nacharbeitskosten kann demnach wie folgt formuliert werden:

<sup>16</sup> Wird bspw. eine sog. „First-Mover“ Strategie verfolgt, ist das Unternehmen unter Umständen bereit, höhere Kosten in Kauf zu nehmen, um das Produkt als erster am Markt platzieren zu können (BAYUS ET AL. 1997, S. 54).

<sup>17</sup> In der vorgestellten Deckungsbeitragsrechnung wird ein Produkt betrachtet. Denkbar ist auch, ein Produktionsprogramm bestehend aus verschiedenen Produkten zu betrachten. In diesem Fall sind die im betrachteten Produktionsprogramm produzierten Stückzahlen anteilig zu verrechnen.

**Priorisierungsziel 2:** Es ist mit ausreichender Sicherheit  $\alpha_k$  zu gewährleisten, dass die maximal zu erwartenden Nacharbeitskosten  $NK_{max}$  unterhalb eines akzeptablen Werts liegen. Als Richtwert kann dafür der potenziell erzielbare Deckungsbeitrag ( $DB_p$ ) mit der Nebenbedingung  $DB_p \geq 0$  herangezogen werden.

---

Auf die Angabe eines Richtwerts für  $\alpha_k$  wird an dieser Stelle verzichtet, da dieser letztlich die vom Anwender geforderte Sicherheit repräsentiert. Grundsätzlich gilt, dass die Ergebnisgenauigkeit mit dem Sicherheitsniveau steigt.

## 6.6 Schritt 5: Aufgaben priorisieren

Vor dem Hintergrund des in Kapitel 5 beschriebenen Modellverständnisses sowie der formulierten Priorisierungsziele können zwei Kriterien für die Priorisierung von Aufgaben in der Serienreifmachung angewandt werden.

**1. Zusätzliche Sicherheit  $P_{zus,A}$ :**  $P_{zus,A}$  beschreibt diejenige zusätzliche Sicherheit, die in Bezug auf die Werkstattfähigkeit einer Komponente bei Durchführung einer betrachteten Aufgabe  $A$  erreicht werden kann. Eine Priorisierung nach  $P_{zus,A}$  stellt sicher, dass diejenigen Aufgaben, die einen hohen Beitrag zur Erreichung von Priorisierungsziel 1 leisten können, bevorzugt werden.  $P_{zus,A}$  berechnet sich gemäß Gleichung (6.17).

$$P_{zus,A} = P(M_{j,K_i})_A - P(M_{j,K_i}) \text{ mit } j \in \{1, 2, \dots, 10\} \quad (6.17)$$

$P_{zus,A}$  : Zusätzliche Sicherheit, die durch eine Aufgabe hinsichtlich der Werkstattfähigkeit einer betrachteten Komponente erreicht werden kann

$P(M_{j,K_i})_A$  : Erfüllungswahrscheinlichkeit des Merkmals  $j$  der betrachteten Komponente  $K_i$  nach Durchführung der Aufgabe  $A$

$P(M_{j,K_i})$  : Erfüllungswahrscheinlichkeit des Merkmals  $j$  der betrachteten Komponente  $K_i$  vor Durchführung der Aufgabe  $A$

**2. Ergebniswirksamkeit (EWK):** Die EWK einer Aufgabe ist proportional zu der zusätzlichen Sicherheit, die in Bezug auf die Serienfähigkeit einer Komponente bei Durchführung einer betrachteten Aufgabe  $A$  erreicht werden kann, sowie zu

den Nacharbeitskosten der zugehörigen Komponente  $NK_{K_i}$  (vgl. Gleichung 6.18). Eine Priorisierung nach EWK stellt sicher, dass diejenigen Aufgaben, die einen hohen Beitrag zur Erreichung von Priorisierungsziel 2 leisten können, bevorzugt werden.

$$EWK_A \propto (P(M_{j,K_i})_A - P(M_{j,K_i})) * NK_{K_i} \text{ mit } j \in \{11, 12, \dots, 20\} \quad (6.18)$$

$EWK_A$  : EWK einer Aufgabe  $A$

$NK_{K_i}$  : Nacharbeitskosten der betrachteten Komponente  $K_i$

Die Priorisierung von Aufgaben erfolgt in drei Schritten. Zunächst werden (1) alle bisher nicht durchgeführten Aufgaben identifiziert. Anschließend erfolgt (2) eine Sortierung der nicht durchgeführten Aufgaben gemäß der vorgestellten Kriterien. Dabei wird zunächst nach  $P_{zus,A}$  sortiert, anschließend nach Ergebniswirksamkeit (EWK). Schließlich erfolgt (3) die eigentliche Priorisierung der Aufgaben. Bei der Identifikation ergibt sich die Menge nicht durchgeführter Aufgaben als Differenz der Menge aller möglichen sowie der Menge bereits durchgeführter Aufgaben<sup>18</sup>. Im Zuge der auf die Sortierung folgenden Priorisierung stellt sich schließlich die Frage, welche der sortierten Aufgaben erledigt werden *müssen*, und welche in Anbetracht der Priorisierungsziele lediglich *optional* sind. Dabei gilt, dass die sortierten Aufgaben sukzessive zu erledigen sind, bis die durch die Priorisierungsziele festgelegten Werte für  $a_{max}$ ,  $NK_{max}$ ,  $\alpha_a$  und  $\alpha_k$  erfüllt sind (vgl. Algorithmus 3).

<sup>18</sup> Da für jede Komponente 20 Merkmale erfüllt werden müssen (vgl. Abschnitt 5.4) und für jede Komponente drei reifestergernde Aufgaben durchgeführt werden können (vgl. Abschnitt 5.4), ergeben sich pro Komponente 60 Aufgaben.

**Algorithmus 3** Priorisierung von Aufgaben in der Serienreifmachung

---

**Input:** Menge bereits erledigter Aufgaben  $X$  sowie  $a_{max}$ ,  $NK_{max}$ ,  $\alpha_a$  und  $\alpha_k$

**Output:** Liste zu priorisierender Aufgaben  $L_{Prio}$

```

1: Erzeuge sortierte Liste  $L_{Sort} \leftarrow \emptyset$ 
2: Erzeuge Liste zu priorisierender Aufgaben  $L_{Prio} \leftarrow \emptyset$ 
3: Setze  $j = 1$ 
4: Erstelle Liste nicht durchgeführter Aufgaben  $L_O$  aus  $X$ 
5: for each Aufgabe  $A$  in  $L_O$  do
6:   while  $j \leq 20$  do
7:     if  $j \leq 10$  then
8:       Berechne  $P_{zus,A}$ 
9:     else
10:      Berechne  $EWK_A$ 
11:    end if
12:  end while
13: end for
14:  $L_{Sort} \leftarrow$  Sortiere  $L_O$  nach  $P_{zus,A}$  (absteigend) then
15:  $L_{Sort} \leftarrow$  Sortiere  $L_O$  nach  $EWK_A$  (absteigend)
16: for each Aufgabe  $A$  in  $L_{Sort}$  do
17:    $L_{Prio} \leftarrow A$ 
18:   Bestimme  $\mathbf{R}$  für Aufgabenmenge  $X \cup L_{Prio}$  ▷ vgl. †
19:   Bestimme  $P_{nmoni}^*(a)$  und  $P_{nach}^*(k)$  für  $\mathbf{R}$  ▷ vgl. Algorithmus 2
20:   if  $\alpha_a = \sum_0^{a_{max}} P_{nmoni}^*(a)$  then ▷ vgl. Gleichung (6.13)
21:     if  $\alpha_k = \sum_0^{k_{max}} P_{nach}^*(k)$  then ▷ vgl. Gleichung (6.14)
22:       return
23:     end if
24:   end if
25: end for

```

---

† auf Basis einer Aufgabenmenge  $X \cup L_{Prio}$  kann unter Zuhilfenahme von Abbildung 5.5 auf den Input für Algorithmus 1 und damit wiederum auf  $\mathbf{R}$  geschlossen werden.

## 7 Anwendung der Methode

### 7.1 Inhaltsübersicht

Die Anwendung der entwickelten Methode ist wie folgt gegliedert: Zunächst wird die Implementierung der Methode als Software-Prototyp vorgestellt, welche die Grundlage für eine Anwendung im industriellen Umfeld schafft. Anschließend werden exemplarisch zwei Anwendungsfälle vorgestellt, anhand derer die Evaluation der Methode erfolgt. Dabei handelt es sich um die Serienreifmachung eines neuen Hinterachssegments sowie eines neuen Dachs, jeweils für eine neue Busgeneration. Beide Anwendungsfälle wurden in Kooperation mit der MAN TRUCK & BUS AG (MAN)<sup>1</sup> durchgeführt. Schließlich erfolgt die Bewertung der entwickelten Methode anhand der in Kapitel 3 definierten Anforderungen.

---

**Hinweis:** Aus Geheimhaltungsgründen wurden sensitive, unternehmensspezifische Daten mit einem Skalierungsfaktor versehen.

---

### 7.2 Implementierung als Software-Prototyp

#### 7.2.1 Vorgehen bei der Software-Entwicklung

Um die beschriebene Methode anwenden zu können, wurde diese in eine Softwarelösung umgesetzt. Die Implementierung der Methode erfolgte nach dem Scrum-Prinzip (vgl. SUTHERLAND 2014). Dabei wurde zunächst in Zusammenarbeit mit den späteren Anwendern der Software ein Product-Backlog erstellt, der sämtliche Anforderungen

---

<sup>1</sup> Die MAN TRUCK & BUS AG ist das größte Unternehmen der MAN Gruppe und ein führender Anbieter von Nutzfahrzeugen und Transportlösungen von 3 bis 250 t (MAN TRUCK & BUS AG 2016, S. IV). MAN ist seit 2011 Teil der VOLKSWAGEN AG.

an die Softwarelösung in Form einer priorisierten Liste enthält. Anschließend erfolgte die Implementierung des Product-Backlogs im Rahmen sog. *Sprints*<sup>2</sup>. Nach jedem Sprint wurden im Rahmen eines *Sprint-Reviews*<sup>3</sup> die erzielten Ergebnisse bewertet, gegebenenfalls der Produkt-Backlog angepasst sowie über die nächsten Schritte entschieden. Abbildung 7.1 zeigt das Vorgehen bei der Softwareentwicklung nach dem Scrum-Prinzip.

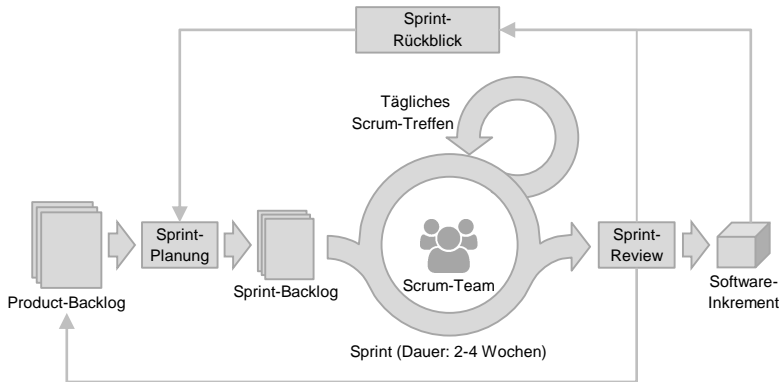


Abbildung 7.1: Vorgehen bei der Entwicklung nach dem Scrum-Prinzip (in Anlehnung an SUTHERLAND & SCHWABER 2007, S. 12)

### 7.2.2 Funktionsumfang des Software-Prototyps

Mittels des in Abschnitt 7.2.1 beschriebenen Vorgehens wurde in Zusammenarbeit mit den späteren Anwendern eine Softwarelösung in der Programmiersprache C# erstellt, deren Implementierung durch den Autor erfolgte. Die Software umfasst drei Hauptfunktionen:

- Übersicht über den aktuellen Stand der Serienreife eines Projekts.


<sup>2</sup> *Sprints* sind Zyklen von einer bis vier Wochen Dauer, im Rahmen derer Teile des Product-Backlogs implementiert werden. Der im Rahmen eines Sprints entwickelte Code muss integriert, vollständig getestet und damit potenziell dem Kunden lieferbar sein. Während eines Sprints erfolgen keine Änderungen der Spezifikationen und Sprints werden, unabhängig vom Erreichen des geplanten Ergebnisses, nicht verlängert.


<sup>3</sup> Am Sprint-Review nehmen neben dem SCRUM-Team auch Kunden bzw. Anwender teil.





- Aktualisierung des Projektstatus (Pflege durchgeführter Aufgaben).
- Priorisierung von Aufgaben auf Basis des aktuellen Stands der Serienreifmachung eines Projekts.

Die Hauptfunktionen wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit in drei Reiter aufgeteilt. Im Rahmen der Anwenderworkshops wurde festgelegt, dass beim Laden eines Projekts dem Anwender zuerst der aktuelle Stand der Serienreifmachung gemäß Abbildung 6.4 dargestellt wird. Eine Herausforderung bei der Implementierung stellte insbesondere die anwenderfreundliche und gleichzeitig prozesssichere Umsetzung der Aktualisierung des Projektstatus dar. So ist zu gewährleisten, dass der aktuelle Zustand aller Merkmale aller Komponenten des Projekts stets entsprechend dem in Abbildung 5.5 dargestellten Schema gepflegt werden kann. Zu diesem Zweck wurde folgendes Ampelsystem implementiert:

○○○ Ausgangszustand aller Merkmale. So lange die Erzeugung des Merkmals noch nicht abgeschlossen wurde, bleibt das entsprechende Merkmal im Status *Rot*. Dieser Status wird auch vergeben, wenn im Rahmen von praxisferner oder praxisnaher Absicherung Änderungsbedarfe bezüglich des betrachteten Merkmals entstehen (vgl. Abbildung 5.5).

○○○○ Wurde ein Merkmal erzeugt, jedoch noch keine praxisfernen oder praxisnahen Absicherungstätigkeiten durchgeführt, findet der Status *gelb* Anwendung. Ebenfalls als *gelb* gekennzeichnet werden Merkmale, an deren zugehörigen Komponenten eine Änderung durchgeführt wurde (vgl. Abbildung 5.5).

○○○ Nachdem ein Merkmal praxisfern abgesichert wurde, wird Status *hellgrün* vergeben, sofern die Absicherung keine Änderungsbedarfe ergeben hat.

○○○ Wurde die korrekte Erzeugung eines Merkmals im Rahmen einer praxisnahen Absicherung nachgewiesen, ist Status *dunkelgrün* zu vergeben.

Die Pflege eines Produkts auf der Ebene einzelner Merkmale kann, insbesondere im Falle komplexer Produkte, mit hohem Aufwand verknüpft sein. Deshalb wurde für die Aktualisierung des Projektstatus eine hierarchische Produktgliederung hinterlegt, anhand derer die gesammelte Aktualisierung mehrerer Komponenten gleichzeitig erfolgen kann (vgl. Abbildung 7.2)

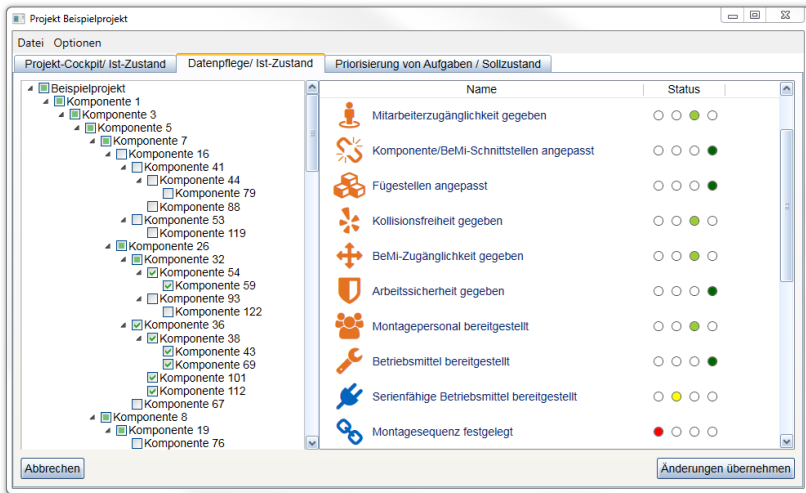


Abbildung 7.2: Die Implementierung der hierarchischen Produktgliederung gestattet gleichzeitige Aktualisierung mehrerer Merkmale unterschiedlicher Komponenten.

Die Darstellung der Priorisierung von Aufgaben im Software-Prototyp ist in Abbildung 7.3 dargestellt. Die vorzuziehenden Priorisierungsziele (vgl. Abschnitt 6.5) können vom Anwender eingetragen werden, anschließend erfolgt die Priorisierung gemäß Abschnitt 6.6. Das Ergebnis der Priorisierung ist in der linken Spalte dargestellt. Anhand des Ampelsystems wird die Art der Aufgabe visualisiert, also ob das jeweilige Merkmal erzeugt, praxisfern oder praxisnah abgesichert werden sollte. Die rechte Spalte zeigt die Ergebnisse der Monte-Carlo Simulationen nach Umsetzung der priorisierten Aufgaben und entsprechend unter Einhaltung der vorgegebenen Priorisierungsziele. Darüber hinaus wurde eine Schnittstelle implementiert, welche den Export der Simulationsergebnisse im Microsoft (MS)-Excel Format ermöglicht.

Zusätzlich wurde ein Menü vorgesehen, welches die Grundfunktionalitäten *bestehendes Projekt laden*, *neues Projekt anlegen* sowie das *Speichern des Projekts* ermöglicht. Auf die Implementierung einer Datenbanklösung zur Verwaltung gespeicherter Projekte wurde aufgrund des Prototypcharakters der Softwarelösung verzichtet. Die Datenverwaltung erfolgt im CSV-Format.

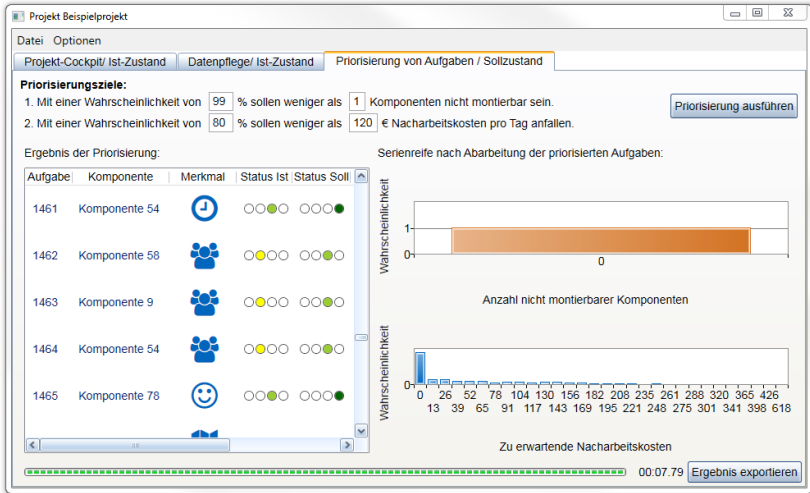


Abbildung 7.3: C#-Softwarelösung zur Priorisierung von Aufgaben in der Serienreifmachung komplexer Produkte, dargestellt anhand eines Beispielprojekts.

## 7.3 Anwendungsbeispiele

Nutzfahrzeuge weisen in der Regel hohe Varianz auf, da unterschiedliche Transportaufgaben häufig individuelle Fahrzeugkonzepte erfordern (HOEPKE & BREUER 2013, S. 125). So kann es leicht vorkommen, dass Nutzfahrzeuge bis zu 12.000 Bauteile enthalten, aus denen mehrere tausend Varianten generiert werden (JUNGE 2003, S. 92). Aus dieser Komplexität resultiert eine Vielzahl von Herausforderungen, die es während der Serienreifmachung zu bewältigen gilt. Zudem ist aufgrund der vergleichsweise hohen Zeitspanne zwischen zwei Neuentwicklungen die Erfahrung der Mitarbeiter im Umgang mit der Serienreifmachung neuer Produkte teilweise geringer ausgeprägt als beispielsweise in der PKW-Industrie.

Die Anwendung der entwickelten Methode erfolgte im Vorseriencenter der MAN TRUCK & BUS AG anhand von zwei Projekten. Im Folgenden wird zunächst die Ausgangssituation des jeweiligen Projekts beschrieben, anschließend erfolgt eine Beschreibung der Umsetzung der entwickelten Methode und schließlich eine kritische Betrachtung der Anwendungserfahrung. Die Bewertung der Methode wird auf Basis der gemachten

Erfahrungen im Rahmen von Abschnitt 7.4 vorgestellt. Der PEP-Fortschritt der im folgenden beschriebenen Anwendungsfälle ist in Abbildung 7.4 dargestellt.

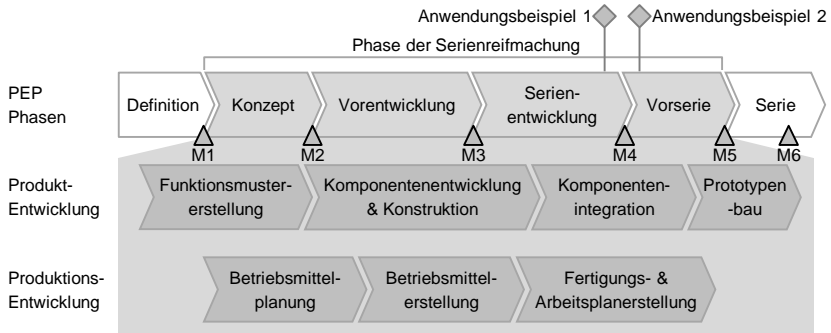


Abbildung 7.4: PEP-Fortschritt der Anwendungsbeispiele zum Zeitpunkt der Methodenanwendung

### 7.3.1 Anwendungsfall 1: Serienreifmachung eines neuen Bus-Hinterachssegments

#### 7.3.1.1 Ausgangssituation

Das betrachtete Hinterachssegment ist Teil einer neuen Busgeneration, welche derzeit zur Serienreife geführt wird. Sowohl Entwicklung als auch Serienreifmachung des Produkts sind auf unterschiedliche Standorte verteilt: Während ein Großteil der Entwicklungs- sowie praxisfernen Absicherungsaufgaben am Hauptstandort in Deutschland durchgeführt werden, erfolgt die praxisnahe Absicherung anhand von physischen Prototypen größtenteils in einem ausländischen Werk. Die an der Anwendung beteiligten Mitarbeiter waren parallel zur Serienreifmachung des vorliegenden Projekts an verschiedenen weiteren Projekten und an Änderungen von Serienprodukten beteiligt.

#### 7.3.1.2 Umsetzung

Zunächst wurde das Projektteam festgelegt, das die Pilotierung der entwickelten Methode begleitete. Zur Abdeckung aller Funktionsumfänge und Schnittstellen des Hinter-

achssegments wurden je ein sog. *Anlaufmanager*<sup>4</sup> aus den Bereichen Motor, Gerippe, Interieur, Exterieur und Elektrik hinzugezogen. Geleitet wurde die Umsetzung der Methode durch den Autor.

Die Umsetzung erfolgte gemäß der in Kapitel 6 beschriebenen Methode. Zur Durchführung von **Schritt 1 (Aufgaben operationalisieren)** wurde zunächst in einem Workshop bestimmt, welche Kriterien bei MAN erfüllt sein müssen, damit die in Tabelle 5.1 beschriebenen Merkmale als (1) erzeugt, (2) unter praxisfernen Bedingungen abgesichert oder (3) unter praxisnahen Bedingungen abgesichert gelten können. Bei der Formulierung der Kriterien wurde darauf geachtet, möglichst wenig Spielraum für Interpretationen zu lassen. Das Ergebnis dieses Workshops findet sich in Anhang A.2 und kann als Leitlinie für zukünftige Anwendungen der Methode in anderen Unternehmen herangezogen werden. Darüber hinaus wurde ein Workshop mit dem Projektteam abgehalten, um die Verantwortlichkeiten gemäß der in Abschnitt 6.2 diskutierten RACI-Beschreibung zu dokumentieren. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse findet sich ebenfalls in Anhang A.2.

Im Rahmen von **Schritt 2.1 (Bestimmung der Erfüllungswahrscheinlichkeit von Serienreife-Merkmalen)** musste zunächst eine geeignete Datenbasis identifiziert werden, die als Grundlage für die Ermittlung der entsprechenden Wahrscheinlichkeiten herangezogen werden konnte. Nachdem die Daten zu aufgetretenen Fehlern in der Vergangenheit weder explizit in Bezug auf fehlerhafte Merkmale dokumentiert wurden, noch hinsichtlich der Absicherungsart (entdeckt während praxisferner bzw. praxisnaher Absicherung oder nach SOP), mussten diese Informationen manuell rekonstruiert werden. Da unterschiedliche Datenbanken für die Dokumentation der Fehlerdaten aus praxisferner und praxisnaher Absicherung sowie für nach SOP aufgetretene Fehler zum Einsatz kamen, konnte die Absicherungsart vergleichsweise aufwandsarm bestimmt werden. Die von den aufgetretenen Fehlern betroffenen Serienreife-Merkmale wurden aus den vorliegenden Fehlerbeschreibungen ermittelt. Dabei ist festzuhalten, dass aufgrund der nachträglichen Zuordnung sowie der teilweise mehrdeutigen Fehlerbeschreibungen vereinzelte Falschzuordnungen nicht ausgeschlossen werden können.

Die Ermittlung der merkmalspezifischen NPV-Werte gemäß Abbildung 6.2 stellte sich im betrachteten Anwendungsfall als schwer realisierbar heraus, da die Fragmentierung

---

<sup>4</sup> Eine gute Beschreibung der Aufgaben eines Anlaufmanagers, welche sich größtenteils mit den Aufgaben der Anlaufmanager bei MAN deckt, findet sich bei ROMBERG & HAAS (2005, S. 63 ff.).

der Datenbasis eine eindeutige Einteilung der aufgetretenen Fehler in die Kategorien  $n$ ,  $n_{erf,pf}$  und  $n_{erf,pn}$  nicht zweifelsfrei ermöglichte. Deshalb wurden die Wahrscheinlichkeiten als Quotient der aufgetretenen Fehler und der Gesamtzahl abgesicherter Komponenten bestimmt. Die zu diesem Zweck erhobenen Daten sind ebenfalls in Anhang A.2 aufgeführt. Insgesamt wurden 685 Mängel analysiert, die während der Absicherung von rund 1400 Komponenten auftraten. 623 Mängel konnten auf Basis der Fehlerbeschreibungen einem Merkmal zugeordnet werden. Dieses Vorgehen erlaubte eine Bestimmung der benötigten Wahrscheinlichkeiten für 16 der 20 Merkmale, lediglich für die Merkmale *Betriebsmittel (Werkstatt) bereitgestellt*, *Montagepersonal (Werkstatt) bereitgestellt*, *Montagezeit bestimmt* und *Montagepersonal (Serie) bereitgestellt* lagen keine ausreichend belastbaren Informationen zur Ermittlung der Erfüllungswahrscheinlichkeiten vor. Abbildung 7.5 fasst die Ergebnisse der Erhebung der Wahrscheinlichkeiten zusammen.

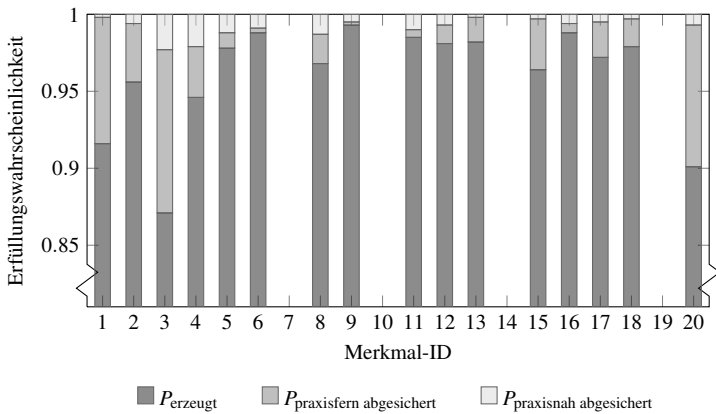


Abbildung 7.5: Im Rahmen des Anwendungsfalls erhobene Erfüllungswahrscheinlichkeiten. Für vier Merkmale konnten keine Werte bestimmt werden

Zur Durchführung von **Schritt 2.2 (Nacharbeitskosten ermitteln)** war zunächst eine Regressionsanalyse auf einem Nacharbeitssystem durchzuführen, welches demjenigen ähnelt, das im Rahmen der Serienproduktion des betrachteten Hinterachssegments eingesetzt werden wird. Im Zuge dessen stellten sich von den in Tabelle 6.3 genannten Einflussgrößen vier als signifikant heraus. So konnte die Nacharbeitszeit als Funktion der *Anzahl manuell zu handhabender Komponenten* ( $EG_1$ ), der *Anzahl zerstörungsfrei auflösbarer Verbindungen* ( $EG_6$ ), der *Anzahl zerstörend aufzulösender Verbindungen*

( $EG_8$ ) sowie einer Kenngröße zur *erforderlichen Präzision beim Einbau* ( $EG_{10}$ ) beschrieben werden. Anschließend mussten die Ausprägungen der relevanten Parameter aus dem verfügbaren CAD-Modell extrahiert werden. Prinzipiell ist dafür eine automatisierte Lösung, beispielsweise anhand eines Makros, zu bevorzugen. Aufgrund des erheblichen Zeitaufwands zur Umsetzung einer solchen Lösung wurde jedoch beschlossen, diese im Rahmen der Pilotanwendungen nicht zu implementieren. Stattdessen erfolgte eine manuelle Erhebung, was aufgrund des Umfangs des Anwendungsbeispiels (36 Komponenten) zeitlich besser darstellbar war<sup>5</sup>. Abbildung 7.6 zeigt die Häufigkeit der ermittelten Nacharbeitszeiten im betrachteten Anwendungsfall.

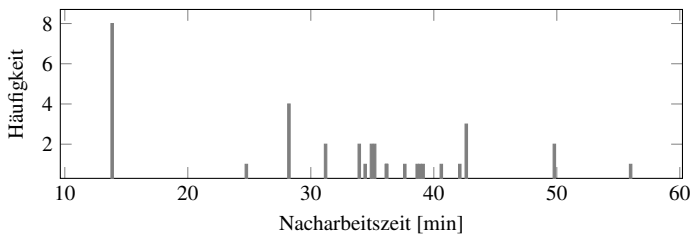


Abbildung 7.6: Häufigkeiten der im Rahmen von Anwendungsfall 1 ermittelten Nacharbeitszeiten

Die Schritte 2.1 und 2.2 bildeten die Basis für die in **Schritt 3.1** beschriebene **Berechnung der Serienreife von Produktkomponenten**. Zu diesem Zweck wurde der im beschriebenen Software-Prototypen (vgl. Abschnitt 7.2) implementierte Algorithmus 1 verwendet. Dazu musste die Komponentenstruktur des Hinterachssegments zunächst im CSV-Format aufbereitet und in den Software-Prototypen importiert werden. Da die Methodenanwendung erst nach Beginn der Serienreifmachung des Hinterachssegments erfolgte, musste zusätzlich der zu diesem Zeitpunkt bestehende Fortschritt der Serienreifmachung nachträglich eingepflegt werden. Die im Programm hinterlegte, hierarchische Produktstruktur stellte sich dabei als hilfreich heraus, da die Möglichkeit einer gleichzeitigen Bearbeitung mehrerer Komponenten den Prozess erheblich beschleunigte.

**Schritt 3.2 (Berechnung der Serienreife des Produkts)** konnte – anhand der bis zu

<sup>5</sup> Im Vergleich zu einer automatisierten Lösung können bei einer manuellen Bewertung subjektive Einflüsse nicht ausgeschlossen werden. In Hinblick auf die Wiederholbarkeit der Ergebnisse und damit der Validität der Methode ist eine automatisierte Lösung anzustreben.

diesem Schritt erarbeiteten Datenbasis sowie des im Software-Prototypen implementierten Funktionsumfangs – vollständig automatisiert gemäß dem in Algorithmus 2 beschriebenen Vorgehen ablaufen.

Der zur Priorisierung von Aufgaben erforderliche **Schritt 4 (Zielzustand der Serienreife bestimmen)** erfolgte im vorliegenden Fall nicht in Hinblick auf den SOP, sondern bezogen auf den Bau des nächsten Prototypfahrzeugs. Deshalb wurde beschlossen, für *Priorisierungsziel 1* eine Sicherheit von 90 % zu akzeptieren. Für *Priorisierungsziel 2* wurde ein Betrag von 120 € bei einer Sicherheit von 80% festgelegt.

Anhand der beschriebenen Vorarbeiten konnte schließlich im Rahmen von **Schritt 5 (Aufgaben priorisieren)** eine Priorisierung der offenen Aufgaben vorgenommen werden. Die Diskussion der Ergebnisse erfolgt im Rahmen von Abschnitt 7.4.1.

### 7.3.1.3 Kritische Betrachtung des Anwendungsfalls

Im beschriebenen Anwendungsbeispiel wurde die entwickelte Methode zum ersten Mal angewandt, was den Umgang mit verschiedenen Herausforderungen erforderlich machte. Zunächst mussten verschiedene Einmalaufwände aufgebracht werden, beispielsweise die Operationalisierung der Aufgaben, die Durchführung einer Regressionsanalyse zur Ermittlung eines funktionalen Zusammenhangs zwischen Komponenteneigenschaften und benötigter Nacharbeitszeit sowie die Erhebung der Wahrscheinlichkeitswerte<sup>6</sup>. Da die Daten bisher nicht in einer für die entwickelte Methode geeigneten Form dokumentiert wurden<sup>7</sup>, mussten diese manuell aufbereitet werden. Während dies in Anbetracht des Umfangs des Anwendungsfalls mit vertretbarem Aufwand realisierbar war, ist ein industrieller Einsatz der Methode ohne entsprechende Automatisierung schwer vorstellbar. Eine vorherige Konsolidierung der Datenbasis ist dafür empfehlenswert. Da es sich im vorliegenden Anwendungsfall um ein fortgeschrittenes Projekt handelte (vgl. Abbildung 7.4) und dementsprechend bereits eine Vielzahl von Aufgaben erledigt war, musste der aktuelle Stand der Serienreifmachung zunächst im Software-Prototyp abgebildet werden. Um solche Zusatzaufwände zu vermeiden empfiehlt es sich, die Methode

---

<sup>6</sup> Eine detaillierte Betrachtung der Aufwände erfolgt im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Abschnitt 7.4.3.

<sup>7</sup> Beispielsweise waren Fehler nicht einzelnen Serienreife-Merkmalen zugeordnet und wurden in unterschiedlichen Datenbanken dokumentiert.



bereits ab Projektbeginn anzuwenden. Insgesamt konnte die entwickelte Methode unter den vorgestellten Rahmenbedingungen erfolgreich angewendet werden.

## 7.3.2 Anwendungsfall 2: Serienreifmachung eines neuen Bus-Dachs

### 7.3.2.1 Ausgangssituation

Das betrachtete Dach ist ebenfalls Teil der neuen Busgeneration, weshalb die Rahmenbedingungen des Anwendungsfalls dem bereits beschriebenen ähneln. Das Projekt lief parallel zum ersten Anwendungsfall und ebenfalls in einem Team mit mehreren Anlaufexperten. Auch in diesem Fall wurde standortübergreifend gearbeitet, weswegen eine enge Abstimmung zwischen Hauptstandort und dem ausländischen Werk erforderlich war.

### 7.3.2.2 Umsetzung

Aufbauend auf den Ergebnissen von Anwendungsfall 1 wurde im Rahmen von **Schritt 1 (Aufgaben operationalisieren)** auf die bereits erarbeiteten, unternehmensspezifischen Kriterien sowie die vorhandene RACI-Zuordnung zurückgegriffen (vgl. Anhang A.2). Im Zuge von **Schritt 2.1 (Bestimmung der Erfüllungswahrscheinlichkeit von Serienreife-Merkmalen)** wurde ebenfalls auf die bereits in Anwendungsfall 1 ermittelten Erfüllungswahrscheinlichkeiten aufgebaut, da das Projekt beim selben Unternehmen bearbeitet wurde. Auch zur Durchführung von **Schritt 2.2 (Nacharbeitskosten ermitteln)** konnten die Ergebnisse der Regressionsanalyse aus Anwendungsbeispiel 1 wiederverwendet werden, da es sich im zweiten Anwendungsfall lediglich um einen unterschiedlichen Komponentenumfang des gleichen Produkts handelte, welches im selben Montage- und Nacharbeitssystem produziert werden würde. Auf Basis der Eigenschaften des betrachteten Bauteilumfangs wurden die in Abbildung 7.7 dargestellten Nacharbeitszeiten errechnet. Wie bereits im ersten Anwendungsfall basieren die Eingangsparameter auf einer manuellen Datenerhebung, da keine automatisierte Lösung (bspw. ein Makro für die verwendete CAD-Umgebung) zur Verfügung stand.

**Schritt 3.1 (Berechnung der Serienreife von Produktkomponenten)** sowie **Schritt 3.2 (Berechnung der Serienreife des Produkts)** erfolgten analog zu Anwendungsbeispiel 1. Da auch in Anwendungsfall 2 die Methode nicht ab Beginn des Projekts

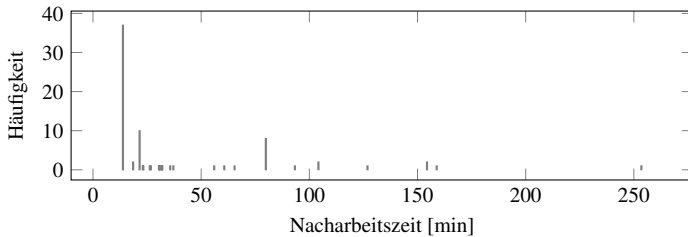


Abbildung 7.7: Häufigkeiten der im Rahmen von Anwendungsfall 2 ermittelten Nacharbeitszeiten.

zum Einsatz kam, musste der aktuelle Fortschritt der Serienreifmachung ebenfalls nachträglich in den Software-Prototyp eingepflegt werden. Im Rahmen von **Schritt 4 (Zielzustand der Serienreife bestimmen)** wurde für *Priorisierungsziel 1* eine Sicherheit von 99 % festgelegt, für *Priorisierungsziel 2* 200 € bei einer Sicherheit von 80%. Die Ergebnisse von **Schritt 5 (Aufgaben priorisieren)** werden im Rahmen von Abschnitt 7.4.1 diskutiert.

### 7.3.2.3 Kritische Betrachtung des Anwendungsfalls

Im Rahmen der Anwendungserfahrung zeigte sich, dass die entwickelte Methode grundsätzlich auf unterschiedliche Komponentenumfänge anwendbar ist. Insbesondere wenn bereits Daten zu den benötigten Erfüllungswahrscheinlichkeiten der Serienreife-Merkmale vorliegen sowie die Analyse des Nacharbeitssystems bereits stattgefunden hat, ist eine Anwendung der Methode mit wesentlich reduziertem Aufwand möglich<sup>8</sup>. Mit den vorliegenden Daten musste lediglich die Erhebung der Nacharbeitskosten, wie bereits im ersten Anwendungsfall, manuell erfolgen und verdeutlicht die Notwendigkeit einer automatisierten Lösung für diesen Teilschritt.

---

<sup>8</sup> Eine detaillierte Betrachtung der Aufwände erfolgt im Rahmen von Abschnitt 7.4.3

## 7.4 Bewertung der entwickelten Methode

Ziel dieses Abschnitts ist, die entwickelte Methode zur Priorisierung von Aufgaben in der Serienreifemachung vor dem Hintergrund der im Rahmen der Anwendungsfälle gemachten Erfahrungen zu bewerten. Dabei erfolgt die Betrachtung hinsichtlich der in Abschnitt 3.1 vorgestellten, übergeordneten Anforderungen (1) Richtigkeit der Ergebnisse, (2) Anwendbarkeit im industriellen Kontext, (3) Wirtschaftlichkeit der Anwendung und (4) Allgemeingültigkeit sowie unter Verwendung der zugehörigen Bewertungsmetrik (vgl. Abschnitt 3.3).

### 7.4.1 Richtigkeit der Ergebnisse

Ziel dieses Kapitels ist es, die im Rahmen der vorgestellten Anwendungsbeispiele erzeugten Priorisierungsergebnisse hinsichtlich ihrer Richtigkeit zu überprüfen. In diesem Zusammenhang kann zwischen *methodischer* („Wurden die Ergebnisse gemäß den in Kapitel 3 gestellten Anforderungen erzeugt?“) und *inhaltlicher* („Spiegelt das Ergebnis die tatsächliche Priorität der Aufgaben wider?“) Richtigkeit unterschieden werden<sup>9</sup>. In Hinblick auf die methodische Richtigkeit der Ergebnisse sind die neun in Tabelle 3.1 beschriebenen Anforderungen hinsichtlich ihrer Erfüllung zu beurteilen.

Zunächst ist in Hinblick auf *Objektivität der Bewertung* festzustellen, dass durch Vorgabe von 20 Experten-validierten Serienreife-Merkmalen (Tabelle 5.1) sowie den in Kapitel 6 beschriebenen Vorgehensweisen, subjektive Bewertungen aus methodischer Sicht prinzipiell ausgeschlossen werden können. Im Rahmen der Anwendungsbeispiele konnte die Vorgehensweise zur Erhebung der Erfüllungswahrscheinlichkeiten jedoch aufgrund der beschriebenen Fragmentierung der Datenbasis nicht durchgängig angewendet werden. Da durch die alternative Vorgehensweise zur Erhebung subjektive Einflüsse nicht vollständig ausgeschlossen werden können, ist die Bewertung als lediglich größtenteils objektiv einzuschätzen. Durch die literaturgestützte Entwicklung des Beschreibungsmodells (Abschnitt 5.4.2) und dessen Validierung mit insgesamt 14 Experten (vgl. Abschnitt 5.4.3) kann davon ausgegangen werden, dass sämtliche Aufgaben

<sup>9</sup> Die Überprüfung der gestellten Anforderungen entspricht gemäß VDI (VDI 3633) einer *Verifikation*, während es sich bei der Prüfung hinsichtlich inhaltlicher Richtigkeit –also ob hinreichende Übereinstimmung mit der Realität besteht– um eine *Validierung* handelt.

zur Erreichung der Serienreife bei deren Bewertung berücksichtigt wurden und damit *Vollständigkeit* gegeben ist. Die Anforderung *Bewertung auf Komponentenebene* wurde ebenfalls in beiden Anwendungsbeispielen erfüllt.

Im Rahmen der Anwendungsfälle wurde gezeigt, dass die implementierten Algorithmen in der Lage sind, eine *Priorisierung auf Komponentenebene* abzubilden. Die Forderung nach *Berücksichtigung aller relevanten Aufgaben* kann auf Grundlage der Evaluation der Priorisierungsergebnisse als erfüllt angesehen werden. Da die Bewertung der Serienreife aufgrund der beschriebenen Fragmentierung der Datenbasis nicht vollständig objektiv erfolgen konnte, ist entsprechend von einer größtenteils *objektiven Entscheidungsgrundlage* auszugehen. Aufgrund der Tatsache, dass die Auswirkung jeder Änderung der Komponentenreife auf die Priorisierung von Aufgaben softwaregestützt innerhalb weniger Sekunden bestimmt werden kann, wird die Anforderung *Berücksichtigung der Dynamik während der Serienreifmachung* als vollständig erfüllt betrachtet.

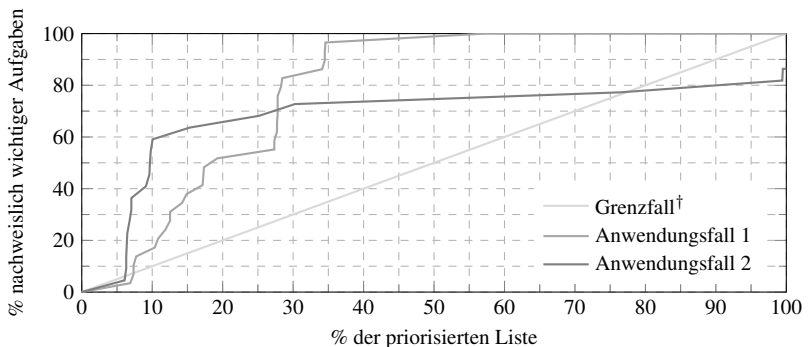
Durch die Quantifizierung der nach Erledigung merkmalspezifischer Aufgaben vorliegenden Risiken gemäß der Gleichungen (6.13) bzw. (6.14) ist die *Berücksichtigung von Unsicherheiten* prinzipiell gewährleistet. Da allerdings im Rahmen der beschriebenen Anwendungsfälle lediglich für 16 der 20 Serienreife-Merkmale die entsprechenden Erfüllungswahrscheinlichkeiten erhoben werden konnten, wird diese Anforderung lediglich als größtenteils erfüllt betrachtet. In Bezug auf die *Robustheit bezüglich Benutzerfehlern* zeigen die Anwendungserfahrungen, dass der entwickelte Software-Prototyp eine fehlerlose Anwendung der Methode ermöglicht. Seitens der Benutzer wurden keine Fehler gemacht, die von der Software nicht als solche erkannt wurden<sup>10</sup>. Allerdings ist der Erfahrungsumfang aus zwei Pilotanwendungen zu gering, um Benutzerfehler mit Sicherheit ausschließen zu können. Insgesamt wird die *Robustheit bezüglich Benutzerfehlern* deshalb als größtenteils gegeben eingestuft. Tabelle 7.2 fasst die Bewertung der Erfüllung der Anforderungen zusammen.

Die Bewertung der inhaltlichen Richtigkeit erfolgte jeweils im Rahmen eines Reviews in Anlehnung an das von RABE ET AL. (2008, S. 97 f.) beschriebene Vorgehen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Frage, *ob* eine ermittelte Priorität von Aufgaben in der Serienreifmachung die tatsächliche Priorität der Aufgaben widerspiegelt, kaum

---

<sup>10</sup> In den entsprechenden Fällen wurde eine Fehlermeldung samt Hinweis ausgegeben, wie die richtige Bedienung erfolgen sollte.

eindeutig mit ja oder nein beantwortet werden kann. Vor dem Hintergrund der Anwendungserfahrungen ist es durchaus denkbar, dass sich eine andere Priorisierung der Aufgaben ebenfalls als zielführend hätte erweisen können. Stattdessen soll deshalb die Frage diskutiert werden, *inwiefern* eine ermittelte Priorisierung als korrekt erachtet werden kann. Als Indikator dafür kann der Vergleich zwischen priorisierten Aufgaben und nachweislich wichtigen Aufgaben herangezogen werden. Zu diesem Zweck wurde im Rahmen der vorgestellten Anwendungsbeispiele wie folgt vorgegangen: Zunächst erfolgte die Priorisierung von Aufgaben zum Zeitpunkt  $t_0$ . Anschließend wurden die in der folgenden Absicherung (Zeitpunkt  $t_1$ ) gewonnen Erkenntnisse analysiert und die identifizierten Änderungsanträge den priorisierten Absicherungsaufgaben zugeordnet. So kann bestimmt werden, an welcher Position der priorisierten Liste diejenige Absicherungsaufgabe zu finden war, die zu einer Änderung von Produkt oder Produktionsprozess geführt hat und damit nachweislich eine hohe Priorität hatte. Abbildung 7.8 zeigt die im Rahmen der Anwendungsfälle erzielten Ergebnisse<sup>11</sup>.



† beschreibt den Fall, dass eine Priorisierung der Aufgaben keinen Mehrwert bietet. Im Grenzfall sind nachweislich wichtige Aufgaben über die priorisierte Liste gleich verteilt (bspw. wären dann 10% der nachweislich wichtigen Aufgaben in den ersten 10% der Liste enthalten usw.). Der Abstand der Ergebnisse eines Anwendungsfalls vom Grenzfall nach oben kann als Maß für die Qualität der Priorisierung interpretiert werden.

Abbildung 7.8: Ex post Betrachtung der erzielten Ergebnisse

Aus Abbildung 7.8 wird ersichtlich, dass in beiden Anwendungsfällen nachweislich

<sup>11</sup> Auf der X-Achse ist der Anteil der priorisierten Liste aufgetragen (beginnend bei der höchsten Priorität), während die Y-Achse den Anteil der nachweislich wichtigen Aufgaben zeigt. Beispielsweise waren also in Anwendungsfall 2 knapp 60% der nachweislich wichtigen Aufgaben in den ersten 10% der priorisierten Liste zu finden.

wichtige Absicherungsaufgaben hoch priorisiert wurden. Das erste Drittel der priorisierten Liste enthielt jeweils mehr als 70% (Anwendungsbeispiel 2) bzw. mehr als 80% (Anwendungsbeispiel 1) der nachweislich wichtigen Aufgaben. Dabei ist zu beachten, dass in der priorisierten Liste auch Absicherungsaufgaben vorkommen, die in den betrachteten Anwendungsfällen zwar zu keinen Änderungen geführt haben, jedoch deren Durchführung aufgrund der unternehmensspezifischen Erfüllungswahrscheinlichkeiten der Serienreife-Merkmale sowie der Nacharbeitskosten der zugrundeliegenden Komponenten dennoch mit hoher Priorität versehen war. Vor diesem Hintergrund wird die inhaltliche Richtigkeit der erreichten Ergebnisse insgesamt als gegeben erachtet.

### 7.4.2 Anwendbarkeit im industriellen Kontext

Zur Evaluation der Anwendbarkeit im industriellen Kontext werden die in Tabelle 3.1 genannten, relevanten Anforderungen hinsichtlich ihrer Erfüllung geprüft. Die *Objektivität der Bewertung*, die *Berücksichtigung der Dynamik während der Serienreifmachung* sowie die *Robustheit bezüglich Benutzerfehlern* wurde dabei bereits im Rahmen von Abschnitt 7.4.1 diskutiert. Hinsichtlich der *Integrierbarkeit in den PEP* ist festzustellen, dass sich beide Anwendungsbeispiele in unterschiedlichen Phasen der Serienreifmachung und damit des PEP befanden und während der Methodendurchführung keine Kompatibilitätsprobleme festgestellt wurden. Darüber hinaus wurden von Seiten der beteiligten Projektteams keine Gründe genannt, die gegen eine Verwendung der entwickelten Methode im Rahmen von PEP-Projekten sprechen. Somit wird die Anforderung als erfüllt erachtet. Hinsichtlich der *Einfachheit der Anwendung* zeigte sich während der Aufnahme des aktuellen Fortschritts der Serienreifmachung, dass das im Softwareprototyp implementierte Ampelsystem von den Anwendern zunächst vereinzelt fehlinterpretiert wurde. Da solche Fehler durch eine entsprechende Schulung der Anwender behoben werden können, wird die Anforderung als größtenteils erfüllt betrachtet. Da die *Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien* im Rahmen zweier Anwendungsfälle unter Beweis gestellt wurde und keine Argumente gegen weitere Anwendungen innerhalb des gewählten Betrachtungsrahmens sprechen, gilt diese Anforderung als erfüllt. In Bezug auf die *Akzeptanz der Mitarbeiter* kann insgesamt ein positives Fazit gezogen werden.

Auf Basis der gemachten Erfahrungen wird für die Einführung der Methode ein pilotier-

ter Roll-out<sup>12</sup> empfohlen. Dabei erfolgt eine Anwendung zunächst an genau einem Ort und für eine Unternehmensfunktion, die später als Vorbild für weitere Einführungen dient. Eine solche Einführung hat den Vorteil, dass gemachte Erfahrungen genutzt werden können, um die einzuführenden Prozesse oder das Umsetzungsvorgehen weiter zu verbessern. Aufgrund der Eingrenzung der Einführung auf einen Pilotbereich wird zudem dafür Sorge getragen, dass Auswirkungen eventuell auftretender Fehler kontrollierbar bleiben (HANSMANN ET AL. 2003, S. 278 ff.).

### 7.4.3 Wirtschaftlichkeit

Neben qualitativen Vorteilen, wie beispielsweise einer Bewertung der Serienreife auf Komponentenebene unter Berücksichtigung unternehmensspezifischer Risiken, kann auch ein wirtschaftlicher Nutzen aus dem Einsatz der entwickelten Methode gezogen werden. In Anlehnung an HARTEL & LOTTER (2012, S. 381 ff.) wird zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit die statische Amortisationszeit herangezogen, da diese für die Entscheidungsfindung in der Regel ausreichend ist. Dabei wird der Zeitraum errechnet, in dem der Kapitaleinsatz für eine Investition durch die Erlöse aus der Investition wieder zurückgeführt ist (vgl. Gleichung 7.1).

$$T_A = \frac{KE}{ES} \quad (7.1)$$

$T_A$  : statische Amortisationszeit in Jahren

$KE$  : eingesetztes Kapital in €

$ES$  : relative Einsparung in € pro Jahr

Zur Berechnung von  $T_A$  wurden zunächst die Kosten der Methodenanwendung erfasst (vgl. Tabelle 7.1). Dabei wurde unterschieden in Einmalaufwände (entspricht  $KE$ ) sowie laufende Aufwände, die zur Berechnung von  $ES$  benötigt werden. Den Aufwänden stehen die Einsparungen gegenüber, welche bei Anwendung der Methode erzielt werden können. Diese setzen sich zusammen aus (1) dem verringertem Aufwand zur Reifebewertung sowie (2) der Möglichkeit, Aufgaben schneller priorisieren zu können. Zudem

<sup>12</sup> Vorgehensweisen zur Einführung neuer Prozesse finden sich beispielsweise bei HANSMANN ET AL. (2003, S. 278 ff.).

ist anzunehmen, dass (3) weniger Abstimmungsaufwand zur Aufgabenplanung nötig ist, da auf Grundlage einer einheitlichen Entscheidungsgrundlage gehandelt wird. Der Aufwand zur Reifebewertung beträgt heute ungefähr 0,2 Personentage (PT) / Woche (W), während für die Priorisierung von Aufgaben ein wöchentlicher Aufwand von ca. 0,1 PT anfällt. Die Reduktion des Abstimmungsaufwands wird zu wöchentlich 2 Stunden geschätzt, was 0,25 PT / W entspricht. Unter Berücksichtigung der in Tabelle 7.1 aufgeführten Aufwände ergibt sich bei *einmaliger* Methodenanwendung gemäß Gleichung (7.1) eine Amortisationszeit von  $T_A \approx 4,5$  Jahren. Liegen – wie im Fall der vorliegenden Arbeit – mehrere ähnliche Projekte vor, steigen die Einsparungen proportional zur Anzahl der Anwendungsfälle. So ergibt sich bei Anwendung in zwei Projekten bereits eine Amortisationszeit von  $T_A \approx 2,3$  Jahren.

Tabelle 7.1: Finanzielle Aufwände der Methodenanwendung

Aufwandstreiber	Aufwand		Kosten
	[PT]	[€/PT]	[€]
<b>Einmalaufwände (KE)</b>			
Implementierung des Software-Prototyps	47	480	22.560
Operationalisierung der Serienreife-Merkmale	5	600	3.000
Bestimmung der merkmalspezifischen Erfüllungswahrscheinlichkeiten	30	80	2.400
Bestimmung der Nacharbeitskosten	5	480	2.400
Durchführung Regressionsanalyse	28	80	2.240
<b>Summe</b>			<b>32.600</b>
<b>Laufende Aufwände</b>			
Datenpflege	0,1	600	60
Berechnung der EWK	0,01	600	6
Priorisierung von Aufgaben	0,01	600	6
Zielzustand der Serienreife ermitteln	0,2	600	120
<b>Summe</b>			<b>192</b>

In Hinblick auf die in Kapitel 3 operationalisierten Anforderungen zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit kann zusammenfassend festgestellt werden, dass (1) sowohl eine *Quantifizierung von Kosten und Nutzen* der entwickelten Methode erfolgt sowie (2) unter den gegebenen Randbedingungen und nach einer entsprechenden Amortisationszeit auch die Forderung nach einem *Kosten-Nutzen-Verhältnis* von  $<1$  erfüllt ist. Für weitere Anwendungsfälle ist zu beachten, dass der Programmieraufwand unter Umständen höher zu veranschlagen ist, insbesondere wenn diese Leistung von extern zugekauft wird.



### 7.4.4 Allgemeingültigkeit

Die Evaluation der Allgemeingültigkeit der entwickelten Methode für die Bewertung der Reife und die Priorisierung von Aufgaben in der Serienreifmachung erfolgt vor dem Hintergrund der entsprechend operationalisierten Anforderungen. Einfluss auf die Allgemeingültigkeit gemäß Tabelle 3.1 haben die Forderungen nach (1) *Objektivität der Bewertung*, (2) *Vollständigkeit*, (3) *Berücksichtigung aller relevanten Aufgaben*, (4) *objektiver Entscheidungsgrundlage*, (5) *Berücksichtigung von Unsicherheiten*, (6) *PEP-Integrierbarkeit* sowie die (7) *Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien*. Inwiefern diese Forderungen erfüllt sind, wurde bereits im Rahmen der Abschnitte 7.4.1 bis 7.4.3 diskutiert und findet sich zusammengefasst in Tabelle 7.2.

Tabelle 7.2: Bewertung der entwickelten Methode anhand der Anwendungserfahrungen

<b>Operationalisierte Anforderungen</b>	
<b>Anforderungen an die Bewertung der Serienreife</b>	
Objektivität der Bewertung	●
Vollständigkeit	●
Bewertung auf Bauteilebene	●
<b>Anforderungen an die Priorisierung von Aufgaben</b>	
Priorisierung auf Bauteilebene	●
Berücksichtigung aller relevanten Aktivitäten	●
Objektive Entscheidungsgrundlage	●
Berücksichtigung der Dynamik während der Serienreifmachung	●
Quantifizierung von Kosten und Nutzen	●
Kosten-Nutzen-Verhältnis <1	●
<b>Anforderungen an Bewertung und Priorisierung</b>	
Berücksichtigung von Unsicherheiten	●
PEP-Integrierbarkeit	●
Robustheit bezüglich Benutzerfehlern	●
Einfache Anwendbarkeit	●
Anwendbarkeit in unterschiedlichen Szenarien	●
Akzeptanz der Mitarbeiter	●
<b>Übergeordnete Anforderungen</b>	
Richtigkeit der Ergebnisse	●
Anwendbarkeit im industriellen Kontext	●
Wirtschaftlichkeit der Anwendung	●
Allgemeingültigkeit	●
○ nicht gegeben      ● teilweise gegeben      ● größtenteils gegeben ● gegeben      ● nicht bewertbar/ Erfüllung unklar	

## 7.5 Grenzen und Risiken des Methodeneinsatzes

Die entwickelten Modelle sowie die Methode zur Bewertung der Serienreife und Priorisierung von Aufgaben konnten im Rahmen der zwei vorgestellten Anwendungsfälle erfolgreich angewendet werden. Dabei zeigten sich auch Grenzen und Risiken des Methodeneinsatzes, die im Folgenden vorgestellt werden.

**Unmittelbare Einsetzbarkeit der Methode:** Aufgrund der Komplexität des zugrundeliegenden Modells sowie der Methode ist diese nur schwer ohne eine Vorabschulung der Anwender einsetzbar. Insbesondere ein einheitliches Verständnis aller Beteiligten über die Erfüllungskriterien der Serienreifemerkmale stellt dabei einen wesentlichen Erfolgsfaktor dar. Darüber hinaus sind einmalig verschiedene Vorbereitungen zu treffen (bspw. die Durchführung der Regressionsanalyse der Nacharbeitszeiten sowie die Erhebung der Erfüllungswahrscheinlichkeiten der Serienreifemerkmale), die hohen zeitlichen Aufwand mit sich bringen können. Deshalb ist die Methode nicht unmittelbar in der Praxis einsetzbar, sondern bedarf einer entsprechenden Vorbereitung.

**Starke Fragmentierung der Datenbasis:** Anhand der entwickelten Methode können nur dann sinnvolle Ergebnisse erzielt werden, wenn die erforderlichen Daten in ausreichender Qualität vorliegen. Die Aufbereitung der Daten wird erheblich erleichtert, wenn diese in einer einheitlichen Datenbasis vorzufinden sind und unter Anwendung gleicher Maßstäbe eingepflegt wurden. Ist die Datenbasis zu stark fragmentiert, wirkt sich das auf die Qualität der erzielten Ergebnisse aus.

**Entscheidung ohne Expertenbewertung:** Im Rahmen der Anwendungsbeispiele konnte gezeigt werden, dass die entwickelte Methode für die Praxis mehrwertstiftende Ergebnisse erzeugt. Gleichzeitig ist es nicht empfehlenswert, Aufgaben *ausschließlich* auf Basis der Methodenergebnisse zu priorisieren, da diese lediglich die *Wichtigkeit* von Aufgaben betrachtet und zeitliche Aspekte (*Dringlichkeit*) vernachlässigt. Die Ergebnisse dienen der Vorbereitung und Unterstützung der Entscheidungsfindung durch geeignete Experten und stellen sicher, dass keine wichtigen Aufgaben vernachlässigt werden.

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

### 8.1 Zusammenfassung

Die zunehmende Verschärfung des Wettbewerbs durch gesättigte Märkte und globale Konkurrenz zwingt produzierende Unternehmen, neue Produkte in immer kürzeren Abständen und größerer Variantenvielfalt anzubieten. In einem solchen Umfeld können Unternehmen nur bestehen, wenn neu entwickelte Produkte schnell und zu möglichst geringen Kosten zur Serienreife gebracht werden können. Da zur Serienreifebringung komplexer Produkte eine Vielzahl von Aufgaben in unterschiedlichen Funktionsbereichen eines Unternehmens realisiert werden muss, bestehen noch immer verschiedene Herausforderungen. So tritt Mehr- und Doppelarbeit auf, wichtige Aufgaben werden ausgelassen, es findet häufig kein ausreichender Austausch von Wissen statt und Probleme treten spät im Produktentstehungsprozess auf. Die Bewältigung dieser Herausforderungen ist wesentlich abhängig von der *Kenntnis der Reife eines Entwicklungsprojekts* (inklusive der mit der Bewertung verbundenen Unsicherheiten) sowie dem zur *Priorisierung von Aufgaben angewandten Vorgehen* (vgl. Kapitel 2).

Die Analyse des Stands der Technik (vgl. Kapitel 4) vor dem Hintergrund der Anforderungen an ein verbessertes Konzept (vgl. Kapitel 3) zeigt, dass verschiedene Aspekte bisher nur unzureichend berücksichtigt wurden. So findet keine integrale Betrachtung von Reifebewertung und Aufgabepriorisierung statt, ebenso wenig wie eine ausreichende Berücksichtigung von Unsicherheiten. Darüber hinaus werden Aufgaben nur unzureichend auf Produktkomponenten-Ebene priorisiert, was erheblich zu den in Kapitel 2 genannten Herausforderungen beiträgt. Auch weist die Objektivität der bestehenden Bewertungs- und Priorisierungsverfahren, deren Akzeptanz bei den Anwendern sowie eine explizite Berücksichtigung ihrer jeweiligen Wirtschaftlichkeit Defizite auf.

Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine Methode entwickelt, um einen Beitrag zur Behebung der genannten Handlungsbedarfe zu leisten. Fokus der Methode liegt dabei auf einer kontinuierlichen Reifemessung unter Berücksichtigung

von Unsicherheiten sowie, abhängig von der ermittelten Produktreife, einer Identifikation wichtiger Aufgaben in Form einer Priorisierung. Zur Konzeption der Methode war zunächst der Aufbau eines geeigneten Modellverständnisses erforderlich. In Kapitel 5 wurde deshalb ein Modell entwickelt und validiert, welches die Reife eines Produkts auf den Ebenen *Gesamtprodukt*, *Produktkomponente* und *Serienreife-Merkmale einzelner Komponenten* beschreibt. Darüber hinaus enthält das Modell die mathematischen Zusammenhänge zur konsistenten Behandlung auftretender Unsicherheiten auf den genannten Ebenen.

Die in Kapitel 6 beschriebene Methode ist in fünf Schritte gegliedert und ermöglicht, aus dem entwickelten Modellverständnis einen praktischen Mehrwert zu erzielen. Zu diesem Zweck wird zunächst beschrieben, wie die Serienreife-Merkmale unternehmensspezifisch operationalisiert werden können. Darauf aufbauend stellt die Methode ein Vorgehen zur Verfügung, *wie* die in Kapitel 5 beschriebenen Unsicherheiten praktisch erhoben werden können. Ein weiterer Schwerpunkt der Methodenbeschreibung ist die Überführung der im Modell enthaltenen, mathematischen Zusammenhänge zur Reifebewertung und Priorisierung von Aufgaben in Algorithmen, um diese einer softwaretechnischen Implementierung zugänglich zu machen. Schließlich wird ein Vorgehen präsentiert, um Richtwerte für den Zielzustand der Serienreifmachung zu ermitteln.

Die Anwendbarkeit der Methode in der Praxis wurde anhand von zwei Fällen bei der MAN TRUCK & BUS AG gezeigt (vgl. Kapitel 7). Um diese zu vereinfachen, wurden zunächst die wesentlichen Aspekte des Vorgehens als C#-Softwaretool umgesetzt. Es zeigte sich, dass die Methode erfolgreich anwendbar ist, allerdings insbesondere bei erstmaliger Durchführung Kapazität für die Erhebung und Aufbereitung notwendiger Daten erforderlich ist. Die Bewertung der Anwendung erfolgte gemäß der in Kapitel 3 genannten Anforderungen. Dabei stellte sich heraus, dass sowohl die *methodische* als auch die *inhaltliche* Richtigkeit der erzielten Ergebnisse gegeben sind, ebenso wie die Anwendbarkeit im industriellen Kontext, die Wirtschaftlichkeit<sup>1</sup> sowie die Allgemeingültigkeit der Methode.

Aus wissenschaftlicher Sicht leistet die vorliegende Arbeit zum einen durch die Bereitstellung praktisch validierter Serienreifemerkmale einen Beitrag zur Bewältigung der *mangelnden Informationserfassung* heutiger Serienreifmachungsprojekte. Zum

---

<sup>1</sup> Nach einer Amortisationszeit der Implementierungsaufwände von  $T_A \approx 2,3$  Jahren bei zwei Anwendungsfällen.

anderen wird durch die Operationalisierung der Serienreifemerkmale, die Erhebung unternehmensspezifischer Erfüllungswahrscheinlichkeiten sowie die softwaretechnische Umsetzung der Informationspflege und -bereitstellung eine Verbesserung der *mangelnden Informationsverfügbarkeit* erzielt (vgl. Abschnitt 1.1). Bei konsequenter Anwendung ermöglicht die Methode darüber hinaus, den in Abbildung 1.1 dargestellten Unsicherheitskorridor zu quantifizieren, Aufgaben unter dessen Berücksichtigung zu priorisieren und so das Risiko eines Fehlschlagens des Produktionsanlaufs zu reduzieren. Dabei ist zu beachten, dass diese Potenziale nur abgeschöpft werden können, wenn die Einhaltung der beschriebenen Vorgehensweisen einen gelebten Prozess im Unternehmen darstellt.

## 8.2 Ausblick

*„Wichtig ist, dass man nie aufhört zu fragen.“*

– Albert Einstein

Vor dem Hintergrund der vorliegenden Arbeit bieten sich insbesondere die nachfolgend genannten Untersuchungsbereiche als Gegenstand künftiger Forschungsunterfangen an.

**Langzeitstudie mit mehreren Anwendungspartnern:** In Kapitel 7 wurden zwei Pilotanwendungen durchgeführt, anhand derer Richtigkeit der Ergebnisse, Anwendbarkeit im industriellen Kontext sowie Wirtschaftlichkeit und Allgemeingültigkeit der Methode im gewählten Betrachtungsrahmen bestätigt werden konnten. Allerdings erlauben diese Ergebnisse nur eingeschränkt Rückschlüsse auf die Vorteile, die langfristig durch den Einsatz der Methode erzielt werden können. Ziel künftiger Forschung sollte daher die parallele Anwendung mit mehreren Partnern und damit unterschiedlichen Projekten über einen längeren Zeitraum sein, um noch fundiertere Aussagen zur Wirksamkeit treffen zu können.

**Priorisierungsalgorithmus:** Der implementierte Algorithmus zur Priorisierung kategorisiert Aufgaben nach ihrer *Wichtigkeit*, also nach deren Ergebniswirksamkeit bzw. Erkenntnisgewinn. Ein Ziel künftiger Forschung kann sein, die *Dringlichkeit* von Aufgaben sowie Restriktionen, die sich aus deren Bearbeitungsfolge

ergeben, in die Priorisierung aufzunehmen. Insbesondere die Auflösung des Konflikts zwischen Dringlichkeit und Wichtigkeit von Aufgaben stellt dabei einen interessanten und aus Praxissicht relevanten Aspekt dar.

**Übertragbarkeit auf weitere Branchen:** Die entwickelten Modelle und Methoden sind im Umfeld der Automobil- sowie der Nutzfahrzeugindustrie entstanden und wurden dort validiert. Gegenstand künftiger Untersuchungen sollte sein, inwiefern die Inhalte der vorliegenden Arbeit in weiteren Branchen anwendbar bzw. welche Modifikationen dafür erforderlich sind. Ziel könnte ein Konzept darstellen, welches allgemeingültige Module und branchenspezifische Erweiterungen enthält.

Die genannten Bereiche für weitere Untersuchungen sind nicht als exklusiv, sondern als Vorschlag zu verstehen. Besonders vor dem Hintergrund der beschriebenen Entwicklungen und im Sinne des genannten Zitats müssen produzierende Unternehmen viele weitere Herausforderungen bei der Serienreifemachung neuer Produkte lösen, um langfristig erfolgreich am Markt bestehen zu können.

## Literatur

ABELE & REINHART 2011

Abele, E.; Reinhart, G.: Zukunft der Produktion. Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. München: Hanser. 2011.

ABELE ET AL. 2003

Abele, E.; Elzenheimer, J.; Rüstig, A.: Anlaufmanagement in der Serienproduktion. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 98 (2003) (4), S. 172–176.

ALTEMEIER 2009

Altemeier, S.: Kostenoptimale Kapazitätsabstimmung in einer getakteten Variantenfließlinie unter expliziter Berücksichtigung des Unterstützereinsatzes und unterschiedlicher Planungszeiträume. Diss. Universität Paderborn (2000). Paderborn: HNI. 2009.

ANBARI 2003

Anbari, F. T.: Earned Project Value Management and Extensions. Project Management Journal 34 (2003) (4), S. 12–23.

ASSMANN 2000

Assmann, G.: Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung. Diss. Technische Universität, München (2000). München: Utz. 2000.

AUSTIN & STEYERBERG 2015

Austin, P. C.; Steyerberg, E. W.: The number of subjects per variable required in linear regression analyses. Journal of Clinical Epidemiology 68 (2015) (6), S. 627–636.

BADE 2012

Bade, C.: Untersuchungen zum Einsatz der Augmented-Reality-Technologie für Soll-Ist-Vergleiche von Betriebsmitteln in der Fertigungsplanung. Diss. Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg (2012). Berlin: Logos. 2012.

### BAUER ET AL. 2008

Bauer, T.; Stallbaum, H.; Metzger, A.; Eschbach, R.: Risikobasierte Ableitung und Priorisierung von Testfällen für den modellbasierten Systemtest. *Software Engineering* 121 (2008), S. 99–111.

### BAYUS ET AL. 1997

Bayus, B. L.; Jain, S.; Roa, A. G.: Too Little, Too Early: Introduction Timing and New Product Performance in the Personal Digital Assistant Industry. *Journal of Marketing Research (JMR)* 34 (1997) (1), S. 50–63.

### BEA & GÖBEL 2010

Bea, F. X.; Göbel, E.: *Organisation. Theorie und Gestaltung*. Stuttgart: UTB. 2010.

### BEBENSEE ET AL. 2010

Bebensee, T.; van de Weerd, I.; Brinkkemper, S.: Binary Priority List for Prioritizing Software Requirements. In: *Requirements engineering: foundation for software quality. Proceedings of the 16th international working conference, REFSQ 2010*. Hrsg. von R. Wieringa; A. Persson. *Lecture notes in computer science*. Berlin: Springer. 2010.

### BECKER ET AL. 1995

Becker, J.; Rosemann, M.; Schütte, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung. *Wirtschaftsinformatik* 37 (1995) (5), S. 435–445.

### BEETZ ET AL. 2008

Betz, R.; Grimm, A.; Eickmeyer, T.: Die Strategie der Integrierten Wertschöpfungskette zur Anlaufsteuerung bei der Vorserienlogistik der AUDI AG. In: *Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen. Ein Leitfaden für die Praxis*. Hrsg. von G. Schuh; W. Stölzle; F. Straube. 1. Aufl. Berlin: Springer. 2008.

### BEHRENDTS 2013

Behrendts, E.: *Elementare Stochastik. Ein Lernbuch - von Studierenden mitentwickelt*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner. 2013.

### BISCHOFF 2007

Bischoff, R.: *Anlaufmanagement. Schnittstelle zwischen Projekt und Serie*. 1. Aufl. Konstanz: HTWG. 2007.



**BOKRANZ & LANDAU 2012**

Bokranz, R.; Landau, K.: Handbuch Industrial Engineering. Produktivitätsmanagement mit MTM. 2. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel. 2012.

**BORGEEST 2010**

Borgeest, K.: Elektronik in der Fahrzeugtechnik. Hardware, Software, Systeme und Projektmanagement. 2 Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner. 2010.

**BOYSEN 2007**

Boysen, N.: Produktionsplanung bei Variantenfließfertigung. In: Operations Research Proceedings 2006. Hrsg. von K.-H. Waldmann; U. M. Stocker. 1. Aufl. Bd. 2006. Karlsruhe: Springer. 2007, S. 11–15.

**BRACHT ET AL. 2009**

Bracht, U.; Wenzel, S.; Geckler, D.: Digitale Fabrik. Methoden und Praxisbeispiele. 1. Aufl. Berlin: Springer. 2009.

**BRAESS & SEIFFERT 2012**

Braess, H.-H.; Seiffert, U.: Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik. 6. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner. 2012.

**BRÄUTIGAM & HAUPT 2004**

Bräutigam, L.-P.; Haupt, R.: Kostenverhalten bei Variantenproduktion. 1. Aufl. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag. 2004.

**BRONŠTEJN ET AL. 2008**

Bronštejn, I. N.; Semendjaev, K. A.; Musiol, G.; Mühlig, H.: Taschenbuch der Mathematik. 7. Aufl. Frankfurt am Main: Europa-Lehrmittel. 2008.

**BROWNING ET AL. 2002**

Browning, T. R.; Deyst, J. J.; Eppinger, S. D.; Whitney, D. E.: Adding value in product development by creating information and reducing risk. IEEE Transactions on Engineering Management 49 (2002) (4), S. 443–458.

**BRÜGGEMANN & BREMER 2012**

Brüggemann, H.; Bremer, P.: Grundlagen Qualitätsmanagement. Von den Werkzeugen über Methoden zum TQM. Wiesbaden: Springer Vieweg. 2012.

### BRUNS 2010

Bruns, H.: Organisation des Anlaufmanagements. Diss. Technische Universität, Braunschweig (2010). Essen: Vulkan. 2010.

### BUCHHOLZ 2012

Buchholz, M.: Theorie der Variantenvielfalt. Ein produktions- und absatzwirtschaftliches Erklärungsmodell. Diss. Technische Universität, Ilmenau (2012). Wiesbaden: Gabler. 2012.

### BULLINGER 1994

Bullinger, H.-J.: Ergonomie. Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung. Wiesbaden: Vieweg+Teubner. 1994.

### BURNSTEIN ET AL. 1996

Burnstein, I.; Suwanassart, T.; Carlson, R.: Developing a Testing Maturity Model for software test process evaluation and improvement. In: International Test Conference. Test and Design Validity (Washington). Hrsg. von International Test Conference. 1996, S. 581–589.

### BUSSWOLDER ET AL. 2016

Bußwolder, P.; Burgahn, F.; Hübner, M.; Werker, M.: Classification of Company-specific Influence Factors as Part of a Knowledge Management System for Ramp-up Projects. *Procedia CIRP* 51 (2016), S. 44–50.

### CHRISTENSEN 2016

Christensen, I.: Clinical Research - Fieldwork Perspective on Ramp-up Management Studies. *Procedia CIRP* 51 (2016), S. 51–56.

### CLARK & FUJIMOTO 2005

Clark, K. B.; Fujimoto, T.: Product development performance. Strategy, organization, and management in the world auto industry. Boston: Harvard Business School Press. 2005.

### CLARKSON ET AL. 2004

Clarkson, P. J.; Simons, C.; Eckert, C.: Predicting Change Propagation in Complex Design. *Journal of Mechanical Design* 126 (2004) (5), S. 788.

COOPER 1990

Cooper, R. G.: Stage-gate systems. A new tool for managing new products. *Business Horizons* 33 (1990) (3), S. 44–54.

COOPER 2014

Cooper, R. G.: What's Next?: After Stage-Gate. *Research-Technology Management* 57 (2014) (1), S. 20–31.

DAABOUL ET AL. 2011

Daaboul, J.; Da Cunha, C.; Bernard, A.; Laroche, F.: Design for mass customization. Product variety vs. process variety. *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 60 (2011) (1), S. 169–174.

DEUSE & BUSCH 2012

Deuse, J.; Busch, F.: *Zeitwirtschaft in der Montage*. In: *Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis*. Hrsg. von B. Lotter; H.-P. Wiendahl. 2. Aufl. Berlin: Springer. 2012.

DIN 199-1

DIN 199-1: *Begriffe im Zeichnungs- und Stücklistenwesen*. Berlin: Beuth. 1984.

DIN 69901-5

DIN 69901-5: *Projektmanagement – Projektmanagementsysteme – Teil 5: Begriffe*. Berlin: Beuth. 2009.

DIN 6789-6

DIN 6789-6: *Dokumentationssystematik - Verfälschungssicherheit und Qualitätskriterien für die Freigabe digitaler Produktdaten*. Berlin: Beuth. 2013.

DIN EN ISO 10209

DIN EN ISO 10209: *Technische Produktdokumentation - Vokabular - Begriffe für technische Zeichnungen, Produktdefinition und verwandte Dokumentation*. Berlin: Beuth. 2012.

DIN EN ISO 9000

DIN EN ISO 9000: *Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe*. Berlin: Beuth. 2015.

DIN ISO 1319

DIN ISO 1319: Grundlagen der Messtechnik. Berlin: Beuth. 2005.

DÖRING & BORTZ 2016

Döring, N.; Bortz, J.: Wissenschaftstheoretische Grundlagen der empirischen Sozialforschung. In: Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Hrsg. von N. Döring; J. Bortz. 5. Aufl. Berlin: Springer. 2016, S. 31–80.

DU PREEZ ET AL. 2009

Du Preez, N.; Lutters, D.; Nieberding, H.: Tailoring the development process according to the context of the project. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 1 (2009) (3), S. 191–198.

DUBOIS & PRADE 2000

Dubois, D.; Prade, H., Hrsg. (2000): Fundamentals of Fuzzy Sets. Boston: Springer. 2000.

DYCKHOFF ET AL. 2012

Dyckhoff, H.; Müser, M.; Renner, T.: Ansätze einer Produktionstheorie des Serienanlaufs. Zeitschrift für Betriebswirtschaft 82 (2012) (12), S. 1427–1456.

EDEN & GEBHARD 2012

Eden, K.; Gebhard, H.: Dokumentation in der Mess- und Prüftechnik. 1. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner. 2012.

EDMONDS 2000

Edmonds, B.: Complexity and Scientific Modelling. Foundations of Science 5 (2000) (3), S. 379–390.

EHRLENSPIEL 2007

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 3. Aufl. München: Hanser. 2007.

EHRLENSPIEL & MEERKAMM 2013

Ehrlenspiel, K.; Meerkamm, H.: Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 5. Aufl. München: Hanser. 2013.

EPPINGER & CHITKARA 2006

Eppinger, S. D.; Chitkara, A. R.: The New Practice of Global Product Development. MIT Sloan Management Review 47 (2006) (4), S. 22–30.

ERHARDT 2009

Erhardt, B.: Conjoint-Analyse. Ein Vergleich der klassischen Profilmethode und der auswahlbasierten Analyse. Spiegelberg: Beingoo. 2009.

EVERAERT & BRUGGEMAN 2002

Everaert, P.; Bruggeman, W.: Cost targets and time pressure during new product development. International Journal of Operations & Production Management 22 (2002) (12), S. 1339–1353.

EVERSHEIM 1989a

Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik. Band 4: Fertigung und Montage. Düsseldorf: VDI. 1989.

EVERSHEIM 1989b

Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik. Arbeitsvorbereitung. Berlin: Springer. 1989.

EVERSHEIM 1996

Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik. Band 1: Grundlagen. 3. Aufl. Berlin: Springer. 1996.

EVERSHEIM & SCHUH 2005

Eversheim, W.; Schuh, G.: Integrierte Produkt- und Prozessgestaltung. 1. Aufl. Berlin: Springer. 2005.

EVERSHEIM ET AL. 1997

Eversheim, W.; Bochtler, W.; Grässler, R.; Kölscheid, W.: Simultaneous engineering approach to an integrated design and process planning. European Journal of Operational Research 100 (1997) (2), S. 327–337.

FAIRLIE-CLARKE & M. MÜLLER 2003

Fairlie-Clarke, T.; Müller, M.: An activity model of the product development process. Journal of Engineering Design 14 (2003) (3), S. 247–272.

FELDHUSEN & GROTE 2012

Feldhusen, J.; Grote, K.-H., Hrsg. (2012): Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Aufl. Berlin: Springer. 2012.

FELDMANN ET AL. 2014

Feldmann; Klaus; Schöppner; Volker; Spur, G.: Handbuch Fügen, Handhaben, Montieren. 2. Aufl. München: Hanser. 2014.

FETTKE & LOOS 2004

Fettke, P.; Loos, P.: Referenzmodellierungsforschung. Wirtschaftsinformatik 46 (2004) (5), S. 331–340.

FITZEK & STRAUBE 2005

Fitzek, D.; Straube, F.: Logistkorientiertes Management von Serienanläufen - Erfolgskonzepte und Handlungsfelder für Automobilzulieferer. In: Branchenreport Automobilzulieferer. Hrsg. von Ohne Verfasser. Stadelheim: E. Klock. 2005.

FORTE 2002

Forste, M.: Unschärfen in Geschäftsprozessen. Diss. Universität Hannover (2002). Berlin: Weißensee. 2002.

FRANZKOCH & GOTTSCHALK 2008

Franzkoch, B.; Gottschalk, S.: Anlauforganisation. In: Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen. Ein Leitfaden für die Praxis. Hrsg. von G. Schuh; W. Stölzle; F. Straube. 1. Aufl. Berlin: Springer. 2008, S. 55–64.

FUJITA & YOSHIDA 2004

Fujita, K.; Yoshida, H.: Product Variety Optimization. Simultaneously Designing Module Combination and Module Attributes. Concurrent Engineering 12 (2004) (2), S. 105–118.

FUJITA ET AL. 1999

Fujita, K.; Sakaguchi, H.; Akagi, S.: Product Variety Deployment And Its Optimization Under Modular Architecture And Module Commonalization. In: Proceedings of the 1999 ASME Design Engineering Technical Conferences. 11th International Conference on Design Theory and Methodology (Las Vegas). Hrsg. von K. Otto; D. L. Thurston. 1999.

---

GARTZEN ET AL. 2016

Gartzen, T.; Brambring, F.; Basse, F.: Target-oriented Prototyping in Highly Iterative Product Development. *Procedia CIRP* 51 (2016), S. 19–23.

GARTZEN 2012

Gartzen, T.: Diskrete Migration als Anlaufstrategie für Montagesysteme. Diss. Technische Universität, Aachen (2012). Aachen: Apprimus. 2012.

GENTNER 1994

Gentner, A.: Entwurf einer Kennzahlensystems zur Effektivitäts- und Effizienzsteigerung von Entwicklungsprojekten. Dargestellt am Beispiel der Entwicklungs- und Anlaufphase der in der Automobilindustrie. München: Franz Vahlen. 1994.

GERPOTT 2005

Gerpott, T. J.: Strategisches Technologie- und Innovationsmanagement. 2. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel. 2005.

GREEN 1991

Green, S. B.: How Many Subjects Does It Take To Do A Regression Analysis. *Multivariate behavioral research* 26 (1991) (3), S. 499–510.

GREITEMANN 2016

Greitemann, J.: Methodik für die systematische Identifikation von Produktionstechnologien. Diss. Technische Universität, München (2016). München. 2016.

HAMMERS & R. SCHMITT 2009

Hammers, C.; Schmitt, R.: Governing the process chain of product development with an enhanced Quality Gate approach. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 1 (2009) (3), S. 206–211.

HANSMANN ET AL. 2003

Hansmann, H.; Laske, M.; Luxem, R.: Einführung der Prozesse. Prozess-Roll-out. In: *Prozessmanagement. Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung*. Hrsg. von J. Becker; M. Kugeler; M. Rosemann. Berlin: Springer. 2003, S. 277–308.

HARTEL & LOTTER 2012

Hartel, M.; Lotter, B.: Planung und Bewertung von Montagesystemen. In: *Montage in*

der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. Hrsg. von B. Lotter; H.-P. Wiendahl. 2. Aufl. Berlin: Springer. 2012.

HEDDERICH & SACHS 2016

Hedderich, J.; Sachs, L.: Angewandte Statistik. Methodensammlung mit R. 15. Aufl. Berlin: Springer Spektrum. 2016.

HELLING 2007

Helling, H.: Konzept eines integrierten Produkt- und Prozessmodells zur effizienten Steuerung der Entwicklungsreife am Beispiel der Automobilentwicklung. Diss. Technische Universität, Kaiserslautern (2006). Kaiserslautern: VPE. 2007.

HIRNER ET AL. 2016

Hirner, M.; Reinhart, G.; Steinhäuser, T.: Mitarbeiterrollen in indirekten Bereichen produzierender Unternehmen. *wt Werkstattstechnik online* 106 (2016) (6), S. 457–461.

HOEPKE & BREUER 2013

Hoepke, E.; Breuer, S.: Nutzfahrzeugtechnik. Grundlagen, Systeme, Komponenten. 7. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner. 2013.

HORSCH 2015

Horsch, J.: Kostenrechnung. Klassische und neue Methoden in der Unternehmenspraxis. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler. 2015.

HSIAO 2002

Hsiao, S. W.: Concurrent design method for developing a new product. *International Journal of Industrial Ergonomics* 29 (2002) (1), S. 41–55.

ISHIKAWA 1991

Ishikawa, K.: Introduction to Quality Control. Dordrecht: Springer. 1991.

JACKA & KELLER 2012

Jacka, J. M.; Keller, P. J.: Business Process Mapping. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. 2012.

JACOBS & TRIENEKENS 2002

Jacobs, J.; Trienekens, J.: Towards a Metrics Based Verification and Validation Maturity Model. In: Computer safety, reliability, and security (SAFECOMP 2002). Proceedings



---

of the 21st International Conference, Catania, Italy. Hrsg. von S. Anderson; M. Felici; S. Bologna. Berlin: Springer. 2002, S. 175–185.

JONAS 2000

Jonas, C.: Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen. Diss. Technische Universität, München (2000). München: Utz. 2000.

JUNGE 2003

Junge, M.: Modularisierung in der Automobilindustrie. Neue Trends erfordern neue Methoden. In: Perspektiven und Facetten der Produktionswirtschaft. Schwerpunkte der Mainzer Forschung. Hrsg. von K. Junge; U. Mildenerger; J. Wittmann. 1. Aufl. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag. 2003.

KAPLAN ET AL. 1997

Kaplan, R. S.; Norton, D. P.; Horváth, P.: Balanced scorecard. Strategien erfolgreich umsetzen. Stuttgart: Schäffer-Poeschel. 1997.

KERBER 2016

Kerber, S.: Prozessgestaltung zum Einsatz digitaler Fabrikgesamtmodelle: Anwendung in der Produktionsplanung eines Automobilherstellers. Diss. Technische Universität, Chemnitz (2015). Wiesbaden: Springer. 2016.

KERZNER 2013

Kerzner, H.: Project management. A systems approach to planning, scheduling and controlling. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. 2013.

KLUG 2010

Klug, F.: Logistikmanagement in der Automobilindustrie. Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Berlin: Springer. 2010.

KNOFCZYNSKI & MUNDFROM 2007

Knofczynski, G. T.; Mundfrom, D.: Sample Sizes When Using Multiple Linear Regression for Prediction. *Educational and Psychological Measurement* 68 (2007) (3), S. 431–442.

KOCH ET AL. 2014

Koch, J.; Maisenbacher, S.; Maurer, M.; Reinhart, G.; Zäh, M. F.: Structural Modeling

of Extended Manufacturing Systems – An Approach to Support Changeability by Reconfiguration Planning. *Procedia CIRP* 17 (2014), S. 142–147.

KONOLD & REGER 2003

Konold, P.; Reger, H.: *Praxis der Montagetechnik. Produktdesign, Planung, Systemgestaltung*. 2. Aufl. Wiesbaden: Vieweg+Teubner. 2003.

KORTHALS 2014

Korthals, K.: *Wertstromanalyse in der Produktentwicklung*. Diss. Technische Universität, Aachen (2014). 1. Aufl. Produktionssystematik. Aachen: Apprimus. 2014.

KOSIOL 1962

Kosiol, E.: *Organisation der Unternehmung*. Wiesbaden: Gabler. 1962.

KOUFTEROS ET AL. 2010

Koufteros, X. A.; Rawski, G. E.; Rupak, R.: *Organizational Integration for Product Development. The Effects on Glitches, On-Time Execution of Engineering Change Orders, and Market Success*. *Decision Sciences* 41 (2010) (1), S. 49–80.

KREBS 2012

Krebs, P.: *Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten*. Diss. Technische Universität, München (2011). München: Utz. 2012.

KRIKKE ET AL. 2003

Krikke, H.; Bloemhof-Ruwaard, J.; van Wassenhove, L. N.: *Concurrent product and closed-loop supply chain design with an application to refrigerators*. *International Journal of Production Research* 41 (2003) (16), S. 3689–3719.

KROMREY ET AL. 2016

Kromrey, H.; Roose, J.; Strübing, J.: *Empirische Sozialforschung. Modelle und Methoden der standardisierten Datenerhebung und Datenauswertung mit Annotationen aus qualitativ-interpretativer Perspektive*. 13. Aufl. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH. 2016.

KUHN ET AL. 2002

Kuhn, A.; Wiendahl, H.-P.; Eversheim, W.; Schuh, G., Hrsg. (2002): *Schneller Produk-*

tionsanlauf von Serienprodukten. Ergebnisbericht der Untersuchung "fast ramp-up". Dortmund: Verlag Praxiswissen. 2002.

KUSTER 2011

Kuster, J.: Handbuch Projektmanagement. Dordrecht: Springer. 2011.

LAICK 2003

Laick, T.: Hochlaufmanagement - sicherer Produktionshochlauf durch zielorientierte Gestaltung und Lenkung des Produktionsprozesssystems. Diss. Technische Universität, Kaiserslautern (2003). 2003.

LAUX 2003

Laux, H.: Entscheidungstheorie. 5. Aufl. Berlin: Springer. 2003.

LEHMANN & GRZEGORSKI 2008

Lehmann, F.; Grzegorski, A.: Anlaufmanagement in der Nutzfahrzeugindustrie am Beispiel Daimler Trucks. In: Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen. Ein Leitfaden für die Praxis. Hrsg. von G. Schuh; W. Stölzle; F. Straube. 1. Aufl. Berlin: Springer. 2008.

LINCKE 1995

Lincke, W.: Simultaneous engineering. Neue Wege zu überlegenen Produkten. München: Hanser. 1995.

LINDEMANN 2009

Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. 3. Aufl. Dordrecht: Springer. 2009.

LINDEMANN & MAURER 2006

Lindemann, U.; Maurer, M.: Entwicklung und Strukturplanung individualisierter Produkte. In: Individualisierte Produkte-Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Hrsg. von U. Lindemann; R. Reichwald; M. F. Zäh. 1. Aufl. Berlin: Springer. 2006.

LINDEMANN ET AL. 2006

Lindemann, U.; Reichwald, R.; Zäh, M. F., Hrsg. (2006): Individualisierte Produkte-Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. 1. Aufl. Berlin: Springer. 2006.

### LINDEMANN ET AL. 2013

Lindemann, U.; Baumberger, C.; Freyer, B.; Gahr, A.; Ponn, J.; Plum, U.: Entwicklung individualisierter Produkte. In: Marktchance Individualisierung. Hrsg. von G. Reinhart; M. F. Zäh. Berlin: Springer. 2013, S. 13–39.

### LINGNAU 1994

Lingnau, V.: Variantenmanagement. Produktionsplanung im Rahmen einer Produktdifferenzierungsstrategie. Berlin: E. Schmidt. 1994.

### LIU ET AL. 2016

Liu, Z.; Xiao, L.; Tian, J.: An activity-list-based nested partitions algorithm for resource-constrained project scheduling. *International Journal of Production Research* 54 (2016) (16), S. 4744–4758.

### LÖFFLER 2011

Löffler, C.: Systematik der strategischen Strukturplanung für eine wandlungsfähige und vernetzte Produktion der variantenreichen Serienfertigung. Diss. Universität Stuttgart (2011). Heimsheim: Jost-Jetter. 2011.

### LOTTER 2012

Lotter, B.: Manuelle Montage von Großgeräten. In: Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. Hrsg. von B. Lotter; H.-P. Wiendahl. 2. Aufl. Berlin: Springer. 2012.

### LOTTER & WIENDAHL 2012

Lotter, B.; Wiendahl, H.-P., Hrsg. (2012): Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. 2. Aufl. Berlin: Springer. 2012.

### LOTTER ET AL. 2012

Lotter, B.; Hartung, J.; Wiendahl, H.-P.: Altersneutrale Montagegestaltung. In: Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. Hrsg. von B. Lotter; H.-P. Wiendahl. 2. Aufl. Berlin: Springer. 2012.

### LUCZAK 1998

Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. Berlin: Springer. 1998.

### MAN TRUCK & BUS AG 2016

MAN Truck & Bus AG: Geschäftsbericht 2016. München. 2016. URL: <https://>

---

[www.corporate.man.eu/de/presse-und-medien/publikationen/annual-report/Veroeffentlichung-Geschaeftsbericht-2016.html](http://www.corporate.man.eu/de/presse-und-medien/publikationen/annual-report/Veroeffentlichung-Geschaeftsbericht-2016.html).

MANGLER 2010

Mangler, W.-D.: Aufbauorganisation. 2. Aufl. Norderstedt: Books on Demand. 2010.

MARTENS 2008

Martens, B.: Fahrzeuganlaufmanagement bei Volkswagen am Beispiel des VW Tiguan. In: Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen. Ein Leitfaden für die Praxis. Hrsg. von G. Schuh; W. Stölzle; F. Straube. 1. Aufl. Berlin: Springer. 2008, S. 107–119.

MAURER 2007

Maurer, M.: Structural awareness in complex product design. Diss. Technische Universität, München (2007). 1. Aufl. München: Dr. Hut. 2007.

MEIS 2016

Meis, J.-F.: Produktionsseitiges Anforderungsmanagement. Diss. Technische Universität, München (2016). München: Universitätsbibliothek der TU München. 2016.

MENGES 2005

Menges, R.: Frühzeitige Produktbeeinflussung und Prozessabsicherung. Die Digitale Fabrik ist der Schlüssel zum Erfolg. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 100 (2005) (1-2), S. 25–31.

MIETZNER 2009

Mietzner, D.: Strategische Vorausschau und Szenarioanalysen. Methodenevaluation und neue Ansätze. Diss. Universität Potsdam (2009). Wiesbaden: Gabler. 2009.

MILLSON & WILEMON 2008

Millson, M. R.; Wilemon, D.: Impact of new product development (NPD) proficiency and NPD entry strategies on product quality and risk. R&D Management 38 (2008) (5), S. 491–509.

MINDERHOUD & FRASER 2005

Minderhoud, S.; Fraser, P.: Shifting paradigms of product development in fast and dynamic markets. Reliability Engineering & System Safety 88 (2005) (2), S. 127–135.

### MÖNIG 2005

Mönig, O.: Ermittlung von Tätigkeitszeiten mit unscharfen Informationen am Beispiel der manuellen Demontage. Diss. Technische Universität, Dortmund (2005). Aachen: Shaker. 2005.

### MÖRSDORF 1998

Mörsdorf, M.: Konzeption und Aufgaben des Projektcontrolling. Diss. Otto-Friedrich-Universität, Bamberg (1998). Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag. 1998.

### MÜLLER-GRONBACH ET AL. 2012

Müller-Gronbach, T.; Novak, E.; Ritter, K.: Monte Carlo-Algorithmen. Berlin: Springer. 2012.

### M. MÜLLER 2007

Müller, M.: Reifegradbasierte Optimierung von Entwicklungsprozessen am besonderen Beispiel der produktionsbezogenen Produktabsicherung in der Automobilindustrie. Diss. Universität des Saarlandes (2007). Saarbrücken: LKT. 2007.

### R. MÜLLER 2012

Müller, R.: Gestaltungsrichtlinien. In: Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. Hrsg. von J. Feldhusen; K.-H. Grote. 8. Aufl. Berlin: Springer. 2012, S. 583–753.

### NAGEL 2011

Nagel, J.: Risikoorientiertes Anlaufmanagement. Diss. Brandenburgische Technische Universität, Cottbus (2010). 1. Aufl. Wiesbaden: Springer. 2011.

### NEPAL ET AL. 2015

Nepal, B. P.; Yadav, O. P.; S., R.: Improving the NPD Process by Applying Lean Principles. A Case Study. Engineering Management Journal 23 (2015) (1), S. 52–68.

### NEUMANN 2015

Neumann, M.: Methode für eine situationsbasierte Adaption und Absicherung der Produktionsfähigkeit in der Serienmontage. Diss. Universität Stuttgart (2014). Stuttgart: Fraunhofer. 2015.

## NIEDER 1995

Nieder, A.: Reifebestimmung zur Optimierung von Entwicklungsprozessen. In: Fuzzy logic. Hrsg. von H.-J. Zimmermann; C. v. Altrock. 2.Aufl. München: Oldenbourg. 1995.

## NIEHUES 2016

Niehues, M.: Adaptive Produktionssteuerung für Werkstattfertigungssysteme durch fertigungsbegleitende Reihenfolgebildung. Diss. Technische Universität, München (2016). München. 2016.

## OGAWA &amp; PILLER 2006

Ogawa, S.; Piller, F.: Reducing the Risks of New Product Development. MIT Sloan Management Review 47 (2006) (2), S. 65–71.

## OTTO ET AL. 2016

Otto, M.; Prieur, M.; Agethen, P.; Rukzio, E.: Dual Reality for Production Verification Workshops. A Comprehensive Set of Virtual Methods. Procedia CIRP 44 (2016), S. 38–43.

## PAULK ET AL. 2002

Paulk, M. C.; Curtis, B.; Chrissis, M. B.; Weber, C. V.: Capability Maturity Model for Software. In: Encyclopedia of software engineering. Hrsg. von J. J. Marciniak. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2002.

## PETERS &amp; HOFSTETTER 2008

Peters, N.; Hofstetter, J.: Konzepte und Erfolgsfaktoren für Anlaufstrategien in Netzwerken der Automobilindustrie. In: Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen. Ein Leitfaden für die Praxis. Hrsg. von G. Schuh; W. Stölzle; F. Straube. 1. Aufl. Berlin: Springer. 2008, S. 9–30.

## PFEIFER-SILBERBACH 2005

Pfeifer-Silberbach, U.: Ein Beitrag zum Monitoring des Reifegrades in der Entwicklung eines Produktes. Diss. Technische Universität, Darmstadt (2005). Aachen: Shaker. 2005.

## PFEIFER &amp; R. SCHMITT 2014

Pfeifer, T.; Schmitt, R.: Masing Handbuch Qualitätsmanagement. 1. Aufl. München: Hanser. 2014.

PIELKE 2010

Pielke, R.: In Retrospect. Science — The Endless Frontier. *Nature* 466 (2010) (7309), S. 922–923.

PINKSTER 2004

Pinkster, I.: *Successful test management. An integral approach*. 1. Aufl. Berlin: Springer. 2004.

PLEHN 2017

Plehn, C.: *A Method for Analyzing the Impact of Changes and their Propagation in Manufacturing Systems*. iwb. Dissertation. München: Technische Universität. 2017.

PRASCH 2010

Prasch, M.: *Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage*. Diss. Technische Universität, München (2010). München: Utz. 2010.

PRÖPSTER 2015

Pröpster, M.: *Methodik zur kurzfristigen Austaktung variantenreicher Montagelinien am Beispiel des Nutzfahrzeugbaus*. Diss. Technische Universität, München (2015). München: Utz. 2015.

RABE ET AL. 2008

Rabe, M.; Spiekermann, S.; Wenzel, S.: *Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik*. Berlin, Heidelberg: Springer. 2008.

RADEMACHER 2014

Rademacher, M. H.: *Virtual reality in der Produktentwicklung. Instrumentarium zur Bewertung der Einsatzmöglichkeiten am Beispiel der Automobilindustrie*. Diss. Technische Universität, Ilmenau (2014). Wiesbaden: Springer Vieweg. 2014.

REFA 1992

REFA, Hrsg. (1992): *Methodenlehre des Arbeitsstudiums*. 7. Aufl. München: Hanser. 1992.

REFA 1997

REFA, Hrsg. (1997): *Datenermittlung. Methodenlehre der Betriebsorganisation*. München: Hanser. 1997.



REFA 2016

REFA, Hrsg. (2016): Arbeitsorganisation erfolgreicher Unternehmen - Wandel in der Arbeitswelt. München: Hanser. 2016.

REINHART & MEIS 2011

Reinhart, G.; Meis, J.-F.: Requirements Management as a Success factor for Simultaneous Engineering. In: Enabling manufacturing competitiveness and economic sustainability. Proceedings of the 4th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual production (CARV2011). Hrsg. von H. A. ElMaraghy. Berlin: Springer. 2011, S. 221–226.

REINHART & ZÄH 2013

Reinhart, G.; Zäh, M. F., Hrsg. (2013): Marktchance Individualisierung. Berlin: Springer. 2013.

REINHART ET AL. 1996

Reinhart, G.; Lindemann, U.; Heinzl, J.: Qualitätsmanagement. Berlin: Springer. 1996.

RENNER 2012a

Renner, T.: Performance Management im Produktionsanlauf. Ein konzeptioneller Leitfaden. In: Performance Management im Produktionsanlauf. Diss. Technische Hochschule. Hrsg. von T. Renner. Aachen. 2012.

RENNER 2012b

Renner, T., Hrsg. (2012b): Performance Management im Produktionsanlauf. Diss. Technische Hochschule. Aachen. 2012.

RENNER & DYCKHOFF 2012

Renner, T.; Dyckhoff, H.: Ziele des Produktionsanlaufs. In: Performance Management im Produktionsanlauf. Diss. Technische Hochschule. Hrsg. von T. Renner. Aachen. 2012.

REPENNING 2001

Repenning, N. P.: Understanding fire fighting in new product development. Journal of Product Innovation Management 18 (2001) (5), S. 285–300.

RIEDEL 2000

Riedel, D.: Standortverteiltes Änderungsmanagement. Explorative Analyse zur Gestal-

tung standortübergreifender Produktänderungen. Diss. Technische Universität, München (2000). 1. Aufl. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag. 2000.

### RISSE 2003

Risse, J.: Time-to-Market-Management in der Automobilindustrie. Ein Gestaltungsrahmen für ein logistikorientiertes Anlaufmanagement. Diss. Technische Universität, Berlin (2003). Bern: Haupt. 2003.

### RISSE 2004

Risse, J.: Anlaufmanagement in der Supply Chain. In: Supply Chain Steuerung und Services. Logistik-Dienstleister managen globale Netzwerke - Best Practices. Hrsg. von H. Baumgarten; I.-L. Darkow; H. Zadek. Berlin: Springer. 2004.

### ROLAND BERGER STRATEGY CONSULTANTS 2003

Roland Berger Strategy Consultants: Zu hohe Kosten bei Fahrzeuganläufen. Automobilwoche (2003) (25).

### ROMBERG & HAAS 2005

Romberg, A.; Haas, M.: Der Anlaufmanager. Effizient arbeiten mit Führungssystem und workflow; von der Produktidee bis zur Serie. Stuttgart: LOG\_X. 2005.

### ROOCH 2014

Rooch, A.: Statistik für Ingenieure. Wahrscheinlichkeitsrechnung und Datenauswertung endlich verständlich. Berlin: Springer Spektrum. 2014.

### RUBINSTEIN ET AL. 2011

Rubinstein, R. Y.; Kroese, D. P.; Botev, Z. I.; Taimre, T.: Simulation and the Monte Carlo Method. 2. Aufl. Somerset: John Wiley & Sons, Inc. 2011.

### RUDOLF 2007

Rudolf, H.: Wissensbasierte Montageplanung in der digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie. Diss. Technische Universität, München (2007). München: Utz. 2007.

### SACKERMANN 2009

Sackermann, R.: Eine wissensbasierte Methode zur Zeitermittlung in der Einzel- und Kleinserienfertigung. Diss. Technische Universität, Dortmund (2009). Aachen: Shaker. 2009.

## SALES 2010

Sales, B. D., Hrsg. (2010): Ethics in research with human participants. Washington: American Psychological Association. 2010.

## SANDER &amp; BROMBACHER 2000

Sander, P. C.; Brombacher, A. C.: Analysis of quality information flows in the product creation process of high-volume consumer products. *International Journal of Production Economics* 67 (2000) (1), S. 37–52.

## SARGENT 2015

Sargent, R. G.: An introductory tutorial on verification and validation of simulation models. In: *Proceedings of the 2015 Winter Simulation Conference (Huntington Beach)*. Hrsg. von L. Yilmaz. Piscataway, NJ: IEEE. 2015, S. 1729–1740.

## SCHARER 2002

Scharer, M.: *Quality-Gate-Ansatz mit integriertem Risikomanagement. Methodik und Leitfaden zur zielorientierten Planung und Durchführung von Produktentstehungsprozessen*. Diss. Karlsruher Institut für Technologie (2002). Karlsruhe: WBK. 2002.

## SCHILLER 1998

Schiller, E. F.: *Ein Beitrag zur adaptiv-dynamischen Arbeitsplanung in der Demontage*. Diss. Karlsruher Institut für Technologie (1998). Aachen: Shaker. 1998.

## SCHLOTT 2005

Schlott, S.: *Wahnsinn mit Methode. Automobil-Produktion* (2005) (1), S. 38–42.

## R. SCHMITT ET AL. 2010

Schmitt, R.; Schuh, G.; Gartzten, T.; Schmitt, S.: *Das Aachener Modell zum interdisziplinären Anlaufmanagement. Entwicklung von Entscheidungsmodellen im Produktionsanlauf*. *wt Werkstattstechnik online* 100 (2010) (4), S. 317–322.

## R. SCHMITT 2015

Schmitt, R., Hrsg. (2015): *Anlaufmanagement - Begriffe und Definitionen*. Aachen: Apprimus. 2015.

## S. SCHMITT 2012

Schmitt, S.: *Gestaltungsmodell zum qualitätsorientierten Management von Serienanläufen*. Diss. Technische Hochschule, Aachen (2012). 1. Aufl. Aachen: Apprimus. 2012.

SCHNEEWEISS 1991

Schneeweiß, C.: Planung. Systemanalytische und entscheidungstheoretische Grundlagen. Berlin: Springer. 1991.

SCHOLZ-REITER & KROHNE 2010

Scholz-Reiter, B.; Krohne, F.: Ramp-Up Excellence. Ein skalierbares Anlaufmanagementprozessmodell für Elektronik Zulieferer. Bremen. 2010.

SCHOLZ-REITER ET AL. 2010

Scholz-Reiter, B.; Krohne, F.; Ebert, K.; Helmich, J.: Reaktionsstrategiemodell für ein effizientes Anlaufmanagement. Maßnahmen und Methoden zur systematischen Verbesserung von Produktanläufen bei KMU. wt Werkstattstechnik online 100 (2010) (4), S. 323–328.

SCHÖMANN 2012

Schömann, S. O.: Produktentwicklung in der Automobilindustrie. Managementkonzepte vor dem Hintergrund gewandelter Herausforderungen. Diss. Universität Eichstätt-Ingolstadt (2011). 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler. 2012.

SCHUH 2007

Schuh, G.: Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung Und Konzepte. Dordrecht: Springer. 2007.

SCHUH 2014

Schuh, G.: Produktkomplexität managen. Strategien ; Methoden ; Tools. 1. Aufl. München: Hanser. 2014.

SCHUH ET AL. 2002

Schuh, G.; Riedel, H.; Abels, I.; Desoi, J.: Serienanlauf in branchenübergreifenden Netzwerken. Eine komplexe Planungs- und Kontrollaufgabe. wt Werkstattstechnik online 92 (2002) (11), S. 656–661.

SCHUH ET AL. 2005

Schuh, G.; Kampker, A.; Franzkoch, B.: Anlaufmanagement. Kosten senken – Anlaufzeit verkürzen – Qualität sichern. wt Werkstattstechnik online 95 (2005) (5), S. 405–409.

SCHUH ET AL. 2008

Schuh, G.; Stölzle, W.; Straube, F.: Grundlagen des Anlaufmanagements: Entwicklungen und Trends, Definitionen und Begriffe, Integriertes Anlaufmanagementmodell. In: Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen. Ein Leitfaden für die Praxis. Hrsg. von G. Schuh; W. Stölzle; F. Straube. 1. Aufl. Berlin: Springer. 2008, S. 1–8.

SCHÜTTE 1998

Schütte, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung. Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Wiesbaden: Gabler. 1998.

SEIDEL 2005

Seidel, M.: Methodische Produktplanung. Grundlagen, Systematik und Anwendung im Produktentstehungsprozess. Diss. Karlsruher Institut für Technologie (2005). Karlsruhe: Universitäts-Verlag. 2005.

SELDERS 2009

Selders, M.: Project Scorecard. Ein Instrument zur Unterstützung des Managements von strategischen Projekten. Diss. Technische Hochschule, Aachen (2009). Aachen: Shaker. 2009.

SEN & SRIVASTAVA 1990

Sen, A.; Srivastava, M.: Regression Analysis. Theory, Methods, and Applications. New York: Springer. 1990.

SIMEL ET AL. 1991

Simel, D. L.; Samsa, G. P.; Matchar, D. B.: Likelihood ratios with confidence. Sample size estimation for diagnostic test studies. *Journal of Clinical Epidemiology* 44 (1991) (8), S. 763–770.

SNOWDEN & BOONE 2007

Snowden, D.; Boone, M.: A leader's framework for decision making. *Harvard business review* 85 (2007) (11), S. 65–77.

SPELTEN ET AL. 2004

Spelten, C.; Schaub, K.; Landau, K.: IAD-Toolbox körperliche Arbeit. In: Montageprozesse gestalten. Fallbeispiele aus Ergonomie und Organisation: Vorträge des Kollo-

quiums Ergonomie und Organisation in der Montage. Hrsg. von K. Landau. Stuttgart: Ergonomia. 2004.

STADLER 2016

Stadler, M.: Optimierung von Anlaufmanagement und Entwicklungsprozessen. Hamburg: disserta Verlag. 2016.

STEINHAEUSSER & REINHART 2017

Steinhaeusser, T.; Reinhart, G.: Ensuring Time-saving and Effective Production Planning by Prioritizing Activities based on Company-specific Validation Success Rates. *Procedia CIRP* 61 (2017), S. 505–510.

STEINHAEUSSER ET AL. 2016

Steinhaeusser, T.; Reinhart, G.; Intra, C.: Quantifying the Degree of Assembly-readiness of High-variant Low-volume Products During the New Product Development Process. *Procedia CIRP* 57 (2016), S. 85–91.

STEINHÄUSSER & REINHART 2015

Steinhäüßer, T.; Reinhart, G.: Serienreifmachung in der Nutzfahrzeug-Industrie. *wt Werkstattstechnik online* 105 (2015) (3), S. 152–155.

STICH 2007

Stich, C.: Produktionsplanung in der Automobilindustrie: Optimierung des Ressourceneinsatzes im Serienanlauf. Diss. Universität zu Köln (2007). Köln: Kölner Wissenschaftsverlag. 2007.

STIER 1999

Stier, W.: *Empirische Forschungsmethoden*. 2. Aufl. Berlin: Springer. 1999.

STIRZEL 2010

Stirzel, M.: Controlling von Entwicklungsprojekten. Dargestellt am Beispiel mechatronischer Produkte. Diss. Universität Stuttgart (2009). Wiesbaden: Gabler. 2010.

SURBIER ET AL. 2010

Surbier, L.; Alpan, G.; Blanco, E.: Interface modeling and analysis during production ramp-up. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 2 (2010) (4), S. 247–254.

SUTHERLAND 2014

Sutherland, J.: *The Scrum Handbook*. Cambridge: Scrum Inc. 2014.

SUTHERLAND & SCHWABER 2007

Sutherland, J.; Schwaber, K.: *The Scrum Papers. Nuts, Bolts, and Origins of an Agile Process*. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1.108.814&rep=rep1&type=pdf> (besucht am 08.04.2017).

SUTORIUS 2009

Sutorius, R.: *Checkbook Projektmanagement*. Freiburg: Haufe. 2009.

TEUBNER ET AL. 2017

Teubner, S.; Bengler, K.; Reinhart, G.; Rimpau, C.; Intra, C.: *Individuelle, dynamische Werkerinformationssysteme*. In: *Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik*. Hrsg. von G. Reinhart. München: Hanser. 2017, S. 66–77.

THOMKE & FUJIMOTO 2000

Thomke, S.; Fujimoto, T.: *The Effect of “Front-Loading” Problem-Solving on Product Development Performance*. *Journal of Product Innovation Management* (2000) (17), S. 128–142.

TÜCKS 2010

Tücks, G.: *Ramp-Up Management in der Automobilindustrie*. Diss. Technische Hochschule, Aachen (2010). 1. Aufl. Aachen: Apprimus. 2010.

H. ULRICH 1982

Ulrich, H.: *Anwendungsorientierte Wissenschaft. Die Unternehmung* 36 (1982) (1), S. 1–10.

K. ULRICH 1995

Ulrich, K.: *The role of product architecture in the manufacturing firm*. *Research Policy* 24 (1995) (3), S. 419–440.

P. ULRICH & HILL 1976

Ulrich, P.; Hill, W.: *Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil 1)*. *Wirtschaftswissenschaftliches Studium: Zeitschrift für Ausbildung und Hochschulkontakt* 5 (1976) (7), S. 304–309.

URBAN & MAYERL 2011

Urban, D.; Mayerl, J.: Regressionsanalyse. Theorie, Technik und Anwendung. 4. Aufl. Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften. 2011.

VDA 2009

VDA, Hrsg. (2009): Produktentstehung - Reifegradabsicherung für Neuteile. Methoden, Messkriterien, Dokumentation. 2. Aufl. Berlin: VDA QMC. 2009.

VDA 2011

VDA, Hrsg. (2011): Das gemeinsame Qualitätsmanagement in der Lieferkette. Produktentstehung, Produktherstellung und Produktlieferung. Berlin: VDA QMC. 2011.

VDI 2215

VDI 2215: Datenverwaltung in der Konstruktion, Organisatorische Voraussetzungen und allgemeine Hilfsmittel (VDI-Richtlinie). Berlin: Beuth 1980.

VDI 3633

VDI 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen (VDI-Richtlinie). Berlin: Beuth 2016.

VERWORN 2005

Verworn, B.: Die frühen Phasen der Produktentwicklung. Eine empirische Analyse in der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag. 2005.

VIELHABER & STOFFELS 2014

Vielhaber, M.; Stoffels, P.: Product Development vs. Production Development. Procedia CIRP 21 (2014), S. 252–257.

WANGENHEIM 1998

Wangenheim, S. v.: Planung und Steuerung des Serienanlaufs komplexer Produkte. Dargestellt am Beispiel der Automobilindustrie. Diss. Universität Stuttgart (1998). Frankfurt a. M.: P. Lang. 1998.

WARNECKE 1995

Warnecke, H.-J.: Der Produktionsbetrieb 2. Produktion, Produktionssicherung. Dritte, unveränderte Auflage. Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg: Springer. 1995.



WATTENBERG ET AL. 2012

Wattenberg, K.; Mahler, K.; Wiehe, L.; Breitling, T.; Dragon, L.; Bauer, W.: Ohne Prototypen schneller zum Ziel. *ATZextra* 17 (2012) (4), S. 92–96.

J. WEBER 2009

Weber, J.: *Automotive Development Processes. Processes for Successful Customer Oriented Vehicle Development*. Berlin: Springer. 2009.

M. WEBER 1999

Weber, M.: *Vorgabezeitermittlung mit künstlichen neuronalen Netzen für die variantenreiche Kleinserienmontage*. Diss. Universität Stuttgart (1999). Heimsheim: Jost-Jetter. 1999.

WEINZIERL 2006

Weinzierl, J.: *Produktreifegrad-Management in unternehmensübergreifenden Entwicklungsnetzwerken. Ein ganzheitlicher Ansatz zur Entscheidungsunterstützung im strategischen Anlaufmanagement*. Diss. Technische Universität, Dortmund (2006). 1. Aufl. Dortmund: Praxiswissen. 2006.

WERMKE ET AL. 2010

Wermke, M.; Kunkel-Razum, K.; Scholze-Stubenrecht, W., Hrsg. (2010): *Duden, Fremdwörterbuch. Auf der Grundlage der neuen amtlichen Rechtschreibregeln*. 10. Aufl. Mannheim: Dudenverl. 2010.

WIEHENDAHL & GERST 2004

Wiehdahl, H.-P.; Gerst, D.: *Variantenbeherrschung in der Montage. Konzept und Praxis der flexiblen Produktionsendstufe*. Berlin: Springer. 2004.

WIENDAHL 2009

Wiendahl, H.-P.: *Betriebsorganisation für Ingenieure*. München: Hanser. 2009.

WIENDAHL ET AL. 2004

Wiendahl, H.-P.; Gerst, D.; Keunecke, L.: *Variantenbeherrschung in der Montage. Konzept und Praxis der flexiblen Produktionsendstufe*. Berlin: Springer. 2004.

WINKES & AURICH 2015

Winkes, P. A.; Aurich, J. C.: *Method for an Enhanced Assembly Planning Process with Systematic Virtual Reality Inclusion*. *Procedia CIRP* 37 (2015), S. 152–157.

### WINKLER 2007

Winkler, H.: Modellierung vernetzter Wirkbeziehungen im Produktionsanlauf. Diss. Leibnitz Universität, Hannover (2007). Garbsen: PZH. 2007.

### WISSLER 2006

Wißler, F. E.: Ein Verfahren zur Bewertung technischer Risiken in der Phase der Entwicklung komplexer Serienprodukte. Diss. Universität Stuttgart (2006). 1. Aufl. Heimsheim: Jost-Jetter. 2006.

### ZEUGTRÄGER 1998

Zeugträger, K.: Anlaufmanagement für Grossanlagen. Diss. Leibnitz Universität, Hannover (1998). Düsseldorf: VDI Verlag. 1998.

## Anhang

### A.1 Fragebogen zur Validierung der Serienreife-Merkmale

---

#### Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer,

vielen Dank, dass Sie sich für unsere Studie, die im Rahmen eines Dissertationsprojekts durchgeführt wird, interessieren. Ziel des Projektes ist es, Merkmale serienreifer Produktkomponenten zu bestimmen. Zu diesem Zweck werden Ihnen nachfolgend 21 Hypothesen präsentiert, zu denen wir Sie um Ihre Meinung bitten (stimme zu / stimme nicht zu). Falls Sie trotz der Anmerkung Rückfragen haben, wenden Sie sich bitte an Ihren Interviewpartner. Sollten Ihnen im Anschluss an die Befragung weitere Merkmale serienreifer Bauteile einfallen, bitten wir Sie, diese auf der letzten Seite zu notieren.

Die Befragung dauert nicht länger als 10 Minuten. Die Teilnahme an dieser Studie ist freiwillig und kann jederzeit ohne Angabe von Gründen abgebrochen werden. Zudem haben Sie die Möglichkeit, einzelne Fragen nicht zu beantworten. Ihre Antworten werden streng vertraulich behandelt und anonym gespeichert. Sie werden ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke ausgewertet. Rückschlüsse auf Ihre Person sind zu keiner Zeit möglich.

Bei Fragen und/oder Anmerkungen senden Sie uns gerne eine E-Mail an Tobias.Steinhaeusser@iwb.mw.tum.de.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

---

Fachlicher Hintergrund: Bitte geben Sie an, ob Ihr fachlicher Hintergrund in der Planung und / oder in der Montage liegt. Eine Mehrfachnennung ist möglich!

Planung                       Montage                                       kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

---

Es folgen 10 Hypothesen zu Merkmalen, welche erfüllt sein müssen damit *eine Komponente überhaupt montiert werden kann*. Dabei ist explizit nicht von einer Montage unter Serienbedingungen auszugehen, sondern von einer Montage in einer Werkstattumgebung, wie beispielsweise einem Nacharbeitsbereich oder einer Versuchswerkstatt (keine Taktbindung).

---

Hypothese: Wenn eine *Komponente erzeugt* wurde, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente überhaupt montiert werden kann.

- 1 Anmerkung: *Komponente erzeugt* bedeutet, dass die Komponente gemäß den Konstruktionsrichtlinien des Unternehmens erstellt wurde, die Anforderungen des Pflichtenhefts berücksichtigt wurden und der Konstruktionsstand nicht mehr geändert wird.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn eine Komponente *bereitstellbar* ist, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente überhaupt montiert werden kann.

- 2 Anmerkung: *Bereitstellbar* bedeutet, dass sowohl Haus- als auch Kaufteile IT-technisch gesteuert werden können, sodass sie in definierter Zeit und in ausreichender Stückzahl in einer Werkstattumgebung zur Verfügung gestellt werden können.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn die *Fügestellen der Komponenten untereinander adaptiert* sind, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente überhaupt montiert werden kann.

- 3 Anmerkung: Die Fügestellen der Komponenten untereinander gelten als adaptiert, wenn die für den Verbau der betreffenden Komponenten erforderlichen Toleranzketten definiert wurden und in der Realität eingehalten werden können.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn *Kollisionsfreiheit gegeben* ist, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente überhaupt montiert werden kann.

- 4 Anmerkung: Kollisionsfreiheit gilt als gegeben, wenn der Einbau einer Komponente, inklusive des erforderlichen Handlings der Komponente vor und während des Einbaus, in der Realität möglich ist.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn während des gesamten Montageprozesses einer Komponente *Mitarbeiterzugänglichkeit* gegeben ist, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente überhaupt montiert werden kann.

- 5 Anmerkung: *Mitarbeiterzugänglichkeit* bedeutet, dass der Mitarbeiter zu keinem Zeitpunkt bei der Ausführung der Tätigkeiten zur Montage der Komponente durch Produkt, Betriebsmittel oder andere Mitarbeiter behindert wird.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn die *Schnittstellen zwischen Komponente und Betriebsmitteln adaptiert* sind ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente überhaupt montiert werden kann.

- 6 Anmerkung: Die Schnittstellen von Komponente und zugehörigen Betriebsmitteln gelten als aufeinander adaptiert, wenn der Verbau der Komponente mit den dafür vorgesehenen Betriebsmitteln problemlos durchgeführt werden kann.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn *Betriebsmittel bereitgestellt sind* ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente überhaupt montiert werden kann.

- 7 Anmerkung: Unter *Bereitstellung von Betriebsmitteln* wird in diesem Kontext die Verfügbarkeit passender Betriebsmittel am Verbauport der betreffenden Komponente in einer Werkstatsumgebung verstanden. Es muss sich dabei nicht um Serienbetriebsmittel handeln.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn *Betriebsmittelzugänglichkeit gegeben ist*, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente überhaupt montiert werden kann.

- 8 Anmerkung: *Betriebsmittelzugänglichkeit gegeben* bedeutet, dass Vor, während und im direkten Anschluss an den Verbau einer Komponente problemloses Handling der Betriebsmittel möglich ist.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn *Arbeitssicherheit gegeben* ist, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente überhaupt montiert werden kann.

- 9 Anmerkung: Arbeitssicherheit gilt als gegeben, wenn das entsprechende Audit erfolgreich absolviert wurde und gegebenenfalls verhängte Auflagen bearbeitet wurden. Darüber hinaus ist zu prüfen, ob für alle kritischen Punkte der P-FMEA wirkungsvolle Gegenmaßnahmen implementiert wurden.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn ausreichend *Montagepersonal in einer Werkstatsumgebung bereitgestellt* wurde ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente überhaupt montiert werden kann.

- 10 Anmerkung: Unter der Bereitstellung von ausreichend Montagepersonal in einer Werkstatsumgebung ist zu verstehen, dass ausreichend viele und entsprechend qualifizierte Mitarbeiter zum Verbaupunkt der betrachteten Komponente in der Werkstatt zur Verfügung stehen.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Es folgen nun 11 Hypothesen zu Merkmalen, welche erfüllt sein müssen damit *eine Komponente unter Serienbedingungen montiert werden kann*. Dabei ist explizit nicht von einer Montage unter Werkstattbedingungen auszugehen, sondern von einer Montage im „Hauptband“ (mit Taktbindung).

---

Hypothese: Wenn die *Bereitstellung der Komponente in Serienstückzahl möglich ist*, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente unter Serienbedingungen („im Hauptband“) montiert werden kann.

- 11** Anmerkung: Eine Komponente gilt als *in Serienstückzahl bereitstellbar*, wenn sie IT-technisch so gesteuert werden kann, dass sie in definierter Zeit, Qualität und Quantität am Serienmontageband zur Verfügung steht.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn die *Montagesequenz der Komponenten festgelegt* ist, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente unter Serienbedingungen („im Hauptband“) montiert werden kann.

- 12** Anmerkung: Die Montagesequenz für eine Komponente gilt als festgelegt, wenn definiert wurde, an welcher Position die Komponente in Relation zu ihren umgebenden Komponenten (potenzielle Kollisions- und Fügepartner) verbaut wird.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn die *Festlegung der Montageaufgaben stattgefunden hat*, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente unter Serienbedingungen („im Hauptband“) montiert werden kann.

- 13** Anmerkung: Die *Festlegung* der Montageaufgaben gilt als abgeschlossen, wenn definiert wurde, welcher Mitarbeiter bei der Montage einer Komponente welche Tätigkeiten durchführt.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn der *komponentenspezifische Montageprozess festgelegt wurde*, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente unter Serienbedingungen („im Hauptband“) montiert werden kann.

- 14** Anmerkung: Die Festlegung des *komponentenspezifischen Montageprozesses* umfasst die Fertigstellung des Arbeitsplans für die Montage der Komponente sowie die Realisierung der dort definierten Einbauzeit und -qualität.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn die *Montagezeit bestimmt* ist, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente unter Serienbedingungen („im Hauptband“) montiert werden kann.

- 15 Anmerkung: Die Bestimmung der Montagezeit erfolgt durch die Ermittlung der Vorgabezeit zum Verbau der betrachteten Komponente (Ermittlung der entsprechenden MTM- bzw. REFA-Zeiten)

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn die entsprechende *Montageinformation bereitgestellt* ist, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente unter Serienbedingungen („im Hauptband“) montiert werden kann.

- 16 Anmerkung: Die *Bereitstellung der Montageinformation* gilt als gegeben, wenn die zum Verbau einer Komponente erforderliche Information zum richtigen Zeitpunkt und in angemessener Qualität für den Montagemitarbeiter ergonomisch dargestellt werden.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn *serienfähige Betriebsmittel bereitgestellt* wurden, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente unter Serienbedingungen („im Hauptband“) montiert werden kann.

- 17 Anmerkung: Die *Bereitstellung serienfähiger Betriebsmittel* gilt als erfolgt, wenn alle für die Montage einer betrachteten Komponente erforderlichen Betriebsmittel aufgebaut und deren Inbetriebnahme erfolgt ist.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn *ergonomische Montage möglich* ist, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente unter Serienbedingungen („im Hauptband“) montiert werden kann.

- 18 Anmerkung: eine *ergonomische Montage* gilt als möglich, wenn alle zum Verbau der betrachteten Komponente erforderlichen Arbeitsschritte nach LMM bewertet wurden und für kritische Tätigkeiten Abhilfemaßnahmen implementiert wurden.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn das *Montagepersonal befähigt* wurde, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente unter Serienbedingungen („im Hauptband“) montiert werden kann.

- 19 Anmerkung: Das Montagepersonal gilt als *befähigt* für den Verbau einer Komponente, wenn es entsprechend geschult wurde sowie Zeit- und Qualitätsanforderungen beim Verbau erreicht werden.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

---

Hypothese: Wenn das *Serien-Montagepersonal bereitgestellt wurde*, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente unter Serienbedingungen („im Hauptband“) montiert werden kann.

- 20 Anmerkung: Serien-Montagepersonal gilt als *bereitgestellt*, wenn ausreichend viele und entsprechend qualifizierte Mitarbeiter zum Verbaupunkt der betrachteten Komponente am Serienmontageband zur Verfügung stehen.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

Hypothese: Wenn *Prozesssicherheit gegeben* ist, ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung gegeben, damit die Komponente unter Serienbedingungen („im Hauptband“) montiert werden kann.

- 21 Anmerkung: Die Prozesssicherheit beim Verbau einer Komponente gilt als gegeben, wenn diese beliebig oft zu der im Arbeitsplan festgelegten Vorgabezeit und in erforderlicher Qualität im Serienmontageband verbaut werden kann.

ich stimme zu     ich stimme nicht zu     kann oder möchte ich nicht beurteilen

---

**Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer,**

herzlichen Dank für Ihre Teilnahme an unserer Studie. Sollten Ihnen weitere Merkmale einfallen, die erfüllt sein müssen, damit eine Komponente überhaupt bzw. unter Serienbedingungen montiert werden kann, bitten wir Sie, diese auf der Rückseite des Fragebogens zu notieren.

---



## A.2 Anwendungsbeispiele - Ergänzende Informationen

Tabelle A.1: Kriterien zur Erfüllung der Werkstattfähigkeits-Merkmale

Komponentenbeschreibung		Merkmalszustände	
Merkmal	Merkmal erzeugt	Merkmal praxisfern abgesichert	Merkmal praxisnah abgesichert
 Komponente erzeugt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entwurf gemäß den Konstruktionsrichtlinien des Unternehmens in CAD-erstellt</li> <li>Pflichtenheftanforderungen berücksichtigt</li> <li>Bauteilentwurf eingefroren (<i>Design freeze</i>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bestätigung der Pflichtenheftanforderungen durch virtuelle Absicherung erfolgt</li> <li>Freigabe physischer Prototyp erfolgt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bestätigung der Pflichtenheftanforderungen durch physischen Prototypen erfolgt</li> <li>ggf.: Zeichnungsänderungen abgeschlossen</li> </ul>
 Komponente bereitstellbar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lastenheft für Lieferant vollständig</li> <li>Lieferant festgelegt</li> <li>Bauteil kann IT-seitig gesteuert werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bauteilsteuerung geprüft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>reale Beschaffung des Bauteils erfolgt</li> </ul>
 Fügestellen der Komponenten untereinander adaptiert	<ul style="list-style-type: none"> <li>direkte Bauteilumgebung in CAD erstellt</li> <li>Toleranzketten definiert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>virtueller Einbauversuch erfolgreich durchgeführt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bauteileinbau physisch möglich</li> </ul>
 Kollisionsfreiheit gegeben	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bauteil &amp; direkte Umgebung in CAD erstellt</li> <li>Montagekonzept erstellt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>virtueller Einbauversuch erfolgreich durchgeführt</li> <li>Bauteilhandling virtuell geprüft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bauteileinbau physisch möglich</li> <li>Bauteilhandling physisch problemlos möglich</li> </ul>
 Mitarbeiterzugänglichkeit gegeben	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bauteil &amp; direkte Umgebung in CAD erstellt</li> <li>Montagekonzept erstellt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Platzbedarf eines Mitarbeiters bei virtuellem Einbauversuch geprüft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bauteilverbau in der Praxis problemlos möglich</li> </ul>
 Schnittstellen zwischen Komponente und Betriebsmittel adaptiert	<ul style="list-style-type: none"> <li>BeMi für Bauteilmontage festgelegt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>virtueller Einbauversuch erfolgreich durchgeführt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verbau mit vorgesehenem BeMi erfolgreich praktisch durchgeführt</li> </ul>
 Betriebsmittel (Werkstatt) bereitgestellt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prototyp-BeMi festgelegt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>virtueller Einbauversuch mit Prototyp-BeMi möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>physischer Einbau mit Prototyp-BeMi möglich</li> </ul>
 Betriebsmittel-Zugänglichkeit gegeben	<ul style="list-style-type: none"> <li>BeMi festgelegt</li> <li>Montagesequenz festgelegt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vor, bei und nach Einbau problemloses Handling von BeMIs in virtueller Umgebung möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vor, bei und nach Einbau problemloses Handling von BeMIs in physischer Umgebung möglich</li> </ul>
 Arbeitssicherheit gegeben	<ul style="list-style-type: none"> <li>Richtlinien des Unternehmens bei Konstruktion berücksichtigt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Hinweise auf Mitarbeitergefährdung während virtuellem Einbau</li> <li>Prozess-FMEA enthält keine entsprechenden Punkte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Audit der Produktionslinie bzgl. Arbeitssicherheit</li> </ul>
 Montagepersonal (Werkstatt) bereitgestellt	<ul style="list-style-type: none"> <li>Personaleinsatzplan vorhanden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Personaleinsatzplan mit Betreiber und Betriebsrat beschlossen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bandantritt für Montage ausreichend</li> </ul>













Tabelle A.2: Kriterien zur Erfüllung der Serienfähigkeits-Merkmale









Komponentenbeschreibung		Merkmalszustände		
ID	Merkmal	Merkmal erzeugt	Merkmal praxisfern abgesichert	Merkmal praxisnah abgesichert
	Komponente in Stückzahl bereitstellbar	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Lastenheft für Lieferant vollständig</li> <li>● Lieferant festgelegt</li> <li>● Bauteil kann IT-seitig gesteuert werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bauteilsteuerung geprüft (Serienbetrieb)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Praxistest: Bereitstellung des Bauteils möglich</li> </ul>
	Montagesequenz festgelegt	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Montagereihenfolge dokumentiert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Montagereihenfolge durch Produktionsexperten bestätigt (virtueller Einbauversuch)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Praxistest: Montagesequenz in Praxis realisierbar</li> <li>● Einhaltung der geplanten Taktzeit möglich</li> </ul>
	Komponentenspezifischer Montageprozess festgelegt	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Montagesequenz dokumentiert</li> <li>● Arbeitsplan erstellt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Arbeitsplan durch Produktionsexperten bestätigt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Praxistest: Montageprozess in Praxis realisierbar</li> <li>● Einhaltung der geplanten Einbauzeit möglich</li> </ul>
	Montagezeit bestimmt	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Planzeit bestimmt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Planzeit durch Produktionsexperten bestätigt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Praxistest: Planzeit wird eingehalten</li> </ul>
	Montageinformationen bereitgestellt	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Informationen IT-technisch verfügbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aufbau des Informationssystems erfolgt</li> <li>● Inbetriebnahme erfolgreich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Praxistest: richtige Informationen rechtzeitig verfügbar</li> </ul>
	Serienfähige Betriebsmittel bereitgestellt	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Vergabe erfolgt</li> <li>● Aufbau und Inbetriebnahme: Zeitplan festgelegt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aufbau erfolgt</li> <li>● Inbetriebnahme erfolgt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Praxistest: Alle Anforderungen erfüllt</li> </ul>
	Ergonomische Montage möglich	<ul style="list-style-type: none"> <li>● P-FMEA<sup>†</sup> durchgeführt</li> <li>● Ergonomische Montage erscheint möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ergonomische Montage durch Produktionsexperten bestätigt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● alle Arbeitsschritte nach LMM<sup>††</sup> bewertet</li> <li>● keine „roten“ Arbeitsplätze</li> </ul>
	Montagepersonal befähigt	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Schulungsunterlagen erstellt</li> <li>● Schulungen des Montagepersonals terminiert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Schulungen des Montagepersonals erfolgreich durchgeführt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Praxistest: Personal kann unter Montage unter Serienbedingungen ausführen</li> </ul>
	Montagepersonal (Serie) bereitgestellt	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Personal-Einsatzplan erstellt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Personaleinsatzplan bestätigt (inkl. Betriebsrat)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Praxistest: Bandantritt entspricht Personal-Einsatzplan</li> </ul>
	Prozesssicherheit (Wiederholbarkeit) gegeben	<ul style="list-style-type: none"> <li>● P-FMEA durchgeführt</li> <li>● Maßnahmen für kritische Punkte aus P-FMEA definiert &amp; terminiert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● P-FMEA: Maßnahmen für alle kritischen Punkte erledigt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Praxistest: Prozesssicherheit gegeben</li> </ul>

<sup>†</sup> „P-FMEA“ steht für *Prozess-Fehlermöglichkeits- und -influssanalyse*, eine bei MAN gängige Methode. Sie ist unter anderem zur Identifikation von Ergonomieproblemen geeignet.

<sup>††</sup> „LMM“ steht für *Leitmerkmal-Methode* und beschreibt eine bei MAN gängige Methode zur Bewertung der Ergonomie einer bestehenden Montagelinie.

Tabelle A.3: Ergebnis der Operationalisierung von Aufgaben

Merkmal	$P_W$	$A_Z$	$K$	$L_Z$	$L_W$	$S_L$	IT
 Komponente erzeugt							
Merkmal erzeugt		I	R,A				I
Merkmal praxisfern abgesichert		R,A	C				C
Merkmal praxisnah abgesichert		R,A	I				C
 Komponente in Werkstattumgebung bereitstellbar							
Merkmal erzeugt		I	I	I	R,A		I
Merkmal praxisfern abgesichert		I	R,A		C		I
Merkmal praxisnah abgesichert	I	I	I	R,A	I		I
 Fügestellen der Bauteile untereinander adaptiert							
Merkmal erzeugt		I	R,A				I
Merkmal praxisfern abgesichert		R,A	C				C
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A	C					I
 Kollisionsfreiheit gegeben							
Merkmal erzeugt	C	I	R,A				I
Merkmal praxisfern abgesichert	C	R,A	C				I
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A	I	I				I
 Mitarbeiterzugänglichkeit gegeben							
Merkmal erzeugt		I	R,A				I
Merkmal praxisfern abgesichert	I	R,A	C				C
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A	C					I
 Schnittstellen Bauteil/Betriebsmittel adaptiert							
Merkmal erzeugt	C	I	R,A				I
Merkmal praxisfern abgesichert	C	R,A	C				C
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A	I					
 Betriebsmittel (Werkstatt) bereitgestellt							
Merkmal erzeugt	C	C	R,A				I
Merkmal praxisfern abgesichert	C	R,A					I
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A	I					I
 Betriebsmittel-Zugänglichkeit gegeben							
Merkmal erzeugt	C	I	R,A				I
Merkmal praxisfern abgesichert	C	R,A	C				C
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A	C					I
 Arbeitssicherheit gegeben							
Merkmal erzeugt	C	C	R,A				C
Merkmal praxisfern abgesichert	C	R,A	C				C
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A	I					I
 Montagepersonal (Werkstatt) bereitgestellt							
Merkmal erzeugt	R,A	I					I
Merkmal praxisfern abgesichert	R,A	I					I
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A	I					I
 Bauteil in Serienstückzahl bereitstellbar							
Merkmal erzeugt	I	I		R,A	C		I
Merkmal praxisfern abgesichert	I	I		R,A	C		I
Merkmal praxisnah abgesichert	I	I		R,A	C		I
 Montagesequenz festgelegt							
Merkmal erzeugt	R,A	I		C	C		
Merkmal praxisfern abgesichert	R,A	I		C	C		

Merkmal praxisnah abgesichert	R,A I	C	C		
 Bauteilspezifischer Montageprozess festgelegt					
Merkmal erzeugt	R,A I	C	C	I	
Merkmal praxisfern abgesichert	R,A I	C	C	I	
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A I	C	C	I	
 Montagezeit bestimmt					
Merkmal erzeugt	R,A C			I	
Merkmal praxisfern abgesichert	C R,A			I	
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A I			I	
 Montageinformationen bereitgestellt					
Merkmal erzeugt	R,A C	C	C	I	C
Merkmal praxisfern abgesichert	C I			I	R,A
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A I			I	C
 Serienfähige Betriebsmittel bereitgestellt					
Merkmal erzeugt	R,A I			I	
Merkmal praxisfern abgesichert	R,A I			I	
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A I			I	
 Ergonomische Montage möglich					
Merkmal erzeugt	R,A I			I	
Merkmal praxisfern abgesichert	R,A I			I	
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A I			I	
 Montagepersonal befähigt					
Merkmal erzeugt	R,A C	C	C	I	
Merkmal praxisfern abgesichert	R,A I			I	
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A I			I	
 Montagepersonal (Serie) bereitgestellt					
Merkmal erzeugt	R,A I			I	
Merkmal praxisfern abgesichert	R,A I			I	
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A I			I	
 Prozesssicherheit (Wiederholbarkeit) gegeben					
Merkmal erzeugt	R,A C	C	C	I	
Merkmal praxisfern abgesichert	R,A C	C	C	I	
Merkmal praxisnah abgesichert	R,A I	C	C	I	

*P<sub>W</sub>*: Produktionsplanung (Werk)

*K*: Konstrukteur

*S<sub>L</sub>*: SET-Leitung

*A<sub>Z</sub>*: Anlaufmanager (zentral)

*L<sub>Z</sub>*: Logistikplanung (zentral)

IT: IT-Planung

Tabelle A.4: Ermittelte Fehler, sortiert nach analysierten Projekten

Merkmal	Projekte praxisferne Absicherung				Projekte praxisnahe Absicherung					
	<i>P</i> <sub>1</sub>	<i>P</i> <sub>2</sub>	<i>P</i> <sub>3</sub>	<i>P</i> <sub>4</sub>	<i>P</i> <sub>5</sub>	<i>P</i> <sub>6</sub>	<i>P</i> <sub>7</sub>	<i>P</i> <sub>8</sub>	<i>P</i> <sub>9</sub>	<i>P</i> <sub>10</sub>
	Bauteil erzeugt	33	17	9	12	0	1	0	0	0
Komponente in Werkstattumgebung bereitstellbar	27	4	2	4	0	2	0	0	0	1
Fügestellen der Bauteile untereinander adaptiert	58	25	19	8	6	2	2	0	2	1
Kollisionsfreiheit gegeben	14	16	14	2	5	1	3	0	1	2
Mitarbeiterzugänglichkeit gegeben	9	3	6	1	1	2	0	3	0	1
Schnittstellen Bauteil/Betriebsmittel adaptiert	9	1	0	0	1	0	2	1	0	1
Betriebsmittel (Werkstatt) bereitgestellt	0	0	0	0	1	1	1	2	0	0
Betriebsmittel-Zugänglichkeit gegeben	15	4	7	1	1	2	1	2	1	0
Arbeitssicherheit gegeben	1	3	2	0	0	1	1	0	0	1
Montagepersonal (Werkstatt) bereitgestellt	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Bauteil in Serienstückzahl bereitstellbar	7	4	2	0	2	0	0	4	0	0
Montagesequenz festgelegt	10	1	3	2	0	3	0	0	1	0
Bauteilspezifischer Montageprozess festgelegt	12	1	1	1	0	1	0	0	0	0
Montagezeit bestimmt	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Montageinformationen bereitgestellt	22	6	1	2	0	1	0	0	0	1
Serienfähige Betriebsmittel bereitgestellt	7	2	1	0	0	0	1	0	1	1
Ergonomische Montage möglich	23	1	0	0	0	1	1	0	0	1
Montagepersonal befähigt	14	0	0	4	0	1	0	0	1	0
Montagepersonal (Serie) bereitgestellt	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Prozesssicherheit (Wiederholbarkeit) gegeben	1	0	0	83	0	0	1	2	0	1

### A.3 Betreute Studienarbeiten

Im Rahmen dieser Dissertation entstanden am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München (TUM) in den Jahren von 2013 bis 2017 unter wesentlicher wissenschaftlicher, fachlicher und inhaltlicher Anleitung des Autors zahlreiche studentische Arbeiten. Diejenigen, deren Ergebnisse maßgeblich zur vorliegenden Dissertation beigetragen haben oder eine wesentliche Inspiration waren, sind in Tabelle A.5 dargestellt. Der Autor dankt allen Studierenden für ihr Engagement bei der Unterstützung dieser wissenschaftlichen Arbeit.

*Tabelle A.5: Studienarbeiten, die maßgeblich zur vorliegenden Dissertation beigetragen haben<sup>†</sup>.*

<b>Studierende</b>	<b>Titel der Studienarbeit</b>	<b>Beigetragen zu</b>
Enders, B.	Erarbeitung einer Methode zur Risikobestimmung von Montageobjekten während der Serienreifmachung	Kapitel 5 & 6
Festner, M.	Methodik zur Kategorisierung produktionsrelevanter Anforderungen im Serienreifmachungsprozess hochvarianter Kleinserien hinsichtlich des optimalen Absicherungszeitpunkts	Kapitel 2 & 5
Hirner, M.	Entwicklung einer Methode zur Definition von Rollen in der Serienreifmachung	Kapitel 6
Höllthaler, G.	Modell zur Priorisierung von Aktivitäten bezüglich ihres Beitrags zur Serienreifmachung von seriell zu montierenden Bauteilen	Kapitel 5 & 6
Höllthaler, G.	Methode zur Identifikation der Kritikalität von Bauteilen für ihre Priorisierung in der Serienreifmachung	Kapitel 5 & 6
Panzer, N.	Identifikation von Handlungsfeldern bei der Serienreifmachung in der Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie	Kapitel 2 & 4
Ralsler, F.	Reifegradbestimmung von Produkt- und Produktionsprozess-Entwicklungsständen	Kapitel 4 & 5

<sup>†</sup>Alphabetisch sortiert