

Hamburger Schriftenreihe  
Produktentwicklung und Konstruktionstechnik

Technische Universität Hamburg-Harburg  
Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. D. Krause  
Denickestraße 17  
21073 Hamburg

Steffen Elstner

# **Eine Methode zur Bewertung von Anlauftrisiken in der Produktentwicklung für die Flugzeugindustrie**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen  
Nationalbibliothek; detaillierte Daten sind im Internet über <http://www.dnb.de> abrufbar.

## **Impressum**

### **TUTECH Verlag**

TUTECH INNOVATION GMBH  
Harburger Schloßstraße 6-12  
21079 Hamburg

Telefon: +49 40 76629-0  
Fax: +49 40 76629-6559  
E-Mail: [verlag@tutech.de](mailto:verlag@tutech.de)  
[www.tutechverlag.de](http://www.tutechverlag.de)

Nachdrucke, Vervielfältigungen, Speicherung oder Übertragung in elektronische, optische, chemische oder mechanische Datenhaltungs- oder Datenverarbeitungssysteme sind – auch auszugsweise – ohne ausdrückliche schriftliche Genehmigung von TUTECH INNOVATION GMBH verboten.

Die Verwertung von Informationen aus der Hamburger Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionstechnik zum Zweck der gewerblichen Informationsvermittlung ist nicht zulässig.

Alle Rechte vorbehalten.  
© TUTECH INNOVATION GMBH

Hamburger Schriftenreihe Produktentwicklung und Konstruktionstechnik  
ISSN 1868-6885

1.Auflage November 2017  
ISBN 978-3-946094-21-0

# **Eine Methode zur Bewertung von Anlauftrisiken in der Produktentwicklung für die Flugzeugindustrie**

Vom Promotionsausschuss der  
Technischen Universität Hamburg-Harburg  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)  
genehmigte Dissertation

von  
Steffen Elstner

aus  
Neubrandenburg

2017

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause

2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Thorsten Schüppstuhl

Tag der mündlichen Prüfung: 15. August 2017

# Vorwort

Die vorliegende Dissertation ist das Ergebnis meiner wissenschaftlichen Tätigkeit am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik der Technischen Universität Hamburg-Harburg. Den vielen Menschen, die mich während dieser Zeit fachlich und persönlich unterstützt haben, möchte ich an dieser Stelle herzlich danken.

Mein erster Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause. Seine tiefgehende und konstruktive Auseinandersetzung hat maßgeblich zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen. Für das entgegenbrachte Vertrauen, die Zusammenarbeit und die Förderung meiner Person möchte ich mich herzlich bedanken.

Prof. Dr.-Ing. Thorsten Schüppstuhl danke ich herzlich für die Übernahme des Zweitgutachtens sowie Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding für den Prüfungsvorsitz.

Für den Praxisbezug dieser Arbeit war die Zusammenarbeit mit der Airbus Operations GmbH von zentraler Bedeutung. Ich möchte mich hiermit für die vertrauensvolle Zusammenarbeit und den gewährten weitreichenden Einblicken in das Unternehmen im Rahmen des Forschungsprojektes SMART Ramp-up des Luftfahrtclusters Metropolregion Hamburg bei allen Beteiligten bedanken. Besonderer Dank gilt dabei meinem Projektpartner Alexander Biele für den fachlichen Austausch.

Meinen ehemaligen Kollegen und Studierenden gilt mein Dank für die fachliche Unterstützung und dem inhaltlichen Austausch. Besonders zu erwähnen sei an dieser Stelle Dr. Niklas Halfmann, der durch konstruktive Diskussionen zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat. Weiterhin möchte ich mich für den Erfahrungsaustausch bei Dr. Christoph Blees und Dr. Thomas Kipp bedanken. Für den fachlichen Austausch möchte ich mich besonders bei Dr. Conny Schillo, Dr. Max Brosch und Gregor Beckmann bedanken. Des Weiteren danke ich Dr. Jens Schmidt, Dr. Henry Jonas, Dr. Thomas Gumpinger und Gregor Beckmann, sowie allen anderen Kollegen, für das gute Miteinander und die gegenseitige Unterstützung.

Abschließend gilt mein größter Dank meiner Familie, die mich während der bereichernden und fordernden Zeit unterstützt und angespornt sowie mir jeglichen Freiraum dafür eingeräumt hat.

Steffen Elstner



## Summary

The acceleration of new product introduction is affected by increasing customisation, globalisation and shortening of life cycles. The ability to develop, produce and introduce new products faster than the competition is an important success factor for companies. As a result, manufacturers have to cut their development time and perform production ramp-up more frequently. Companies who are first in the market with new products can obtain first mover advantages, extending the selling period and increase their competitiveness. Deviations from the target can lead to significant economic consequences.

The development and market introduction of new products lead to high financial efforts and expenditure of resources for companies. Especially in the aircraft industry high unit costs, complexity and a long development time determines the high expenditures. It is becoming increasingly difficult to realize the payoffs of high development costs during the market cycle if problems occur during the industrialization phase of a product. Therefore it is essential to identify and manage potential ramp-up risks. Particular attention should be paid to new product technologies, as they imply high initial uncertainty. The transfer to production should be highly considered in the early stages of development due to the strong influence of the ramp-up phase on the success of the product.

As there are no sufficient methods for consideration of ramp-up aspects during the product development for complex products like in the aircraft industry, the aim of this contribution is to analyze possible ramp-up risk in an early stage of product development and support decision-making before and during transition to the serial production phase. Therefore a new methodical approach is developed which consists of two major phases. The focus within the first phase is to identify relevant influencing factors based on a comparison of the new product with the previous ones. For identification of influencing factors a new developed impact model will be used which is based on several empirical studies.

Within the second main phase a detailed risk analysis for the identified areas will be conducted. Starting point for the assessment is an expert workshop which represents the input for a Monte-Carlo-Simulation. The aim of the simulation is to support a decision-making process for estimation under initial uncertainty. Afterwards different response strategies regarding the identified risks will be derived by the help of a new developed measures matrix. The matrix links the influencing factors with corresponding measures to achieve a target oriented risk reduction.

The approach is successfully applied to a case study of a new cabin lining integration within the aircraft industry. Applying the method shows an early identification of potential risks regarding the production ramp-up and helps to consider different measures within the early product development phase.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation.....	1
1.2	Aufgabenstellung.....	2
<b>2</b>	<b>Problemanalyse Serienanlauf.....</b>	<b>3</b>
2.1	Begriffliche Grundlagen .....	3
2.2	Forschungsfeld und Relevanz .....	7
2.2.1	Ziele der Serienanlaufphase .....	9
2.2.2	Einordnung der Serienanlaufphase in den Produktentstehungsprozess ..	11
2.2.3	Problem- und Handlungsfelder im Serienanlauf .....	13
2.3	Besonderheiten im Serienanlauf der Flugzeugindustrie .....	15
2.3.1	Produktentstehungsprozess in der Flugzeugindustrie .....	15
2.3.2	Randbedingungen im Serienanlauf der Flugzeugindustrie.....	18
2.3.3	Explorative Untersuchung des Serienanlaufs in der Flugzeugindustrie ....	22
2.4	Anforderungen an die Abschätzung von Anlauftrisiken im Flugzeugbau.....	25
<b>3</b>	<b>Stand der Technik.....</b>	<b>27</b>
3.1	Serienanlauf – Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktion.....	27
3.1.1	Untersuchung des Forschungsfeldes mit Hilfe der Kozitationsanalyse.....	28
3.1.2	Spezifische Ansätze zur Unterstützung der Serienanlaufphase .....	33
3.1.3	Bewertung der Methoden .....	45
3.2	Grundlagen des Risikomanagements .....	48
3.2.1	Aufgaben und Ziele .....	48
3.2.2	Systematik und Vorgehensweise des Risikomanagements.....	48
3.2.3	Risikoabsicherungsmethoden in der Produktentwicklung.....	50
3.2.4	Bewertung der Methoden .....	57
3.3	Produkt- und prozessbegleitende Bewertung in der Produktentwicklung.....	58
3.3.1	Grundlagen der technischen Bewertung.....	59
3.3.2	Ausgewählte Kennzahlen und Kennzahlensysteme .....	60
3.3.3	Bewertung der Kennzahlensysteme .....	67
3.4	Einordnung in den integrierten PKT-Ansatz .....	68
3.5	Forschungsbedarf .....	72
<b>4</b>	<b>Entwicklung eines Wirkmodells zur Erfassung von Einflussfaktoren .....</b>	<b>75</b>
4.1	Ableitung von Einflussfaktoren aus Sicht der Produktentwicklung .....	75

4.2	Ableitung von Indikatoren zur Erfassung der Einflussfaktoren .....	82
4.3	Zusammenfassende Darstellung des Wirkmodells .....	86
<b>5</b>	<b>Methode zur Bewertung von Anlauftrisiken .....</b>	<b>89</b>
5.1	Arbeitsschritte der Methode .....	90
5.2	Identifikation relevanter Einflussfaktoren auf die Zielerreichung .....	92
5.2.1	Ist-Soll Aufnahme der Produkt- und Prozessstrukturen .....	92
5.2.2	Abschätzung der Indikatoren .....	101
5.2.3	Visualisierung Risikobereiche .....	108
5.3	Risikoanalyse und Maßnahmenselktion .....	109
5.3.1	Risikoidentifikation in den relevanten Bereichen .....	109
5.3.2	Risikobewertung und –visualisierung unter Unsicherheiten .....	112
5.3.3	Auswahl und Zuordnung von Handlungsmaßnahmen .....	118
<b>6</b>	<b>Validierung am Fallbeispiel aus der Flugzeugindustrie .....</b>	<b>129</b>
6.1	Planung der Fallstudie .....	129
6.1.1	Prüfungshypothesen .....	129
6.1.2	Anwendungsfall .....	130
6.2	Durchführung der Fallstudie .....	131
6.2.1	Fallstudie einer Kabineninstallation in der Flugzeugindustrie .....	131
6.2.2	Identifikation der Risikobereiche .....	133
6.2.3	Risikoanalyse und Maßnahmenselktion .....	139
6.3	Auswertung der Fallstudie .....	146
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>149</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>153</b>
A.	Vorgehensweise Kozitationsanalyse .....	153
B.	Aufbau und Durchführung der Expertenbefragung .....	160
C.	Ist-Aufnahme des erklärenden Beispiels .....	163
D.	Risikobewertung anhand der Beta-PERT-Verteilung .....	169
E.	Generische Maßnahmenmatrix .....	172
F.	zusätzliche Informationen zur Fallstudie .....	174
	<b>Literatur .....</b>	<b>191</b>

# Abkürzungsverzeichnis

ARC	Areas of Relevance and Contribution
ATO	Authorisation to Offer
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CAP	Carry-over-Assignment Plan
CoC	Carry-over-Chart
CPI	Change Propagation Index
DMAIC	Define, Measure, Analyse, Improve, Control
DMU	Digital Mock-Up
DSM	Design Structure Matrix
EASA	European Aviation Safety Agency
ECO	Engineering Change Order
EIS	Entry-into-Service
ETO	Engineer-to-Order
FAA	Federal Aviation Administration
FAL	Final Assembly Line
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
FTA	Fehlerbaumanalyse (engl. Fault Tree Analysis)
iPAS	Integral Product and Assembly Structure
MIG	Module Interface Graph
MPC	Module Process Chart
MTM	Methods-Time Measurement
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OEM	Original Equipment Manufacturer
PERT	Program Evaluation and Review Technique
PKT	Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik
PMU	Physical Mock-Up
PSM	Program Structuring Model
QFD	Quality Function Deployment
SOP	Start of Production
TIE	Technology Infusion Effort
TLR	Top Level Requirements
TPM	Total Productive Maintenance
TUHH	Technische Universität Hamburg-Harburg
VAM	Variety Allocation Model
WBS	Work Breakdown Structure

## Formelzeichen

$C_k$	Konstante der Montagequalitätskontrolle
$\sum C_K$	Gesamtanzahl Carry-over-Komponenten vom Vorgängerprodukt
$C_{multi}$	Verhältnis Multiplikatoren zu Gesamtanzahl an Komponenten
$\sum C_P$	Gesamtanzahl der Carry-over-Prozesse vom Vorgängerprodukt
$\sum C_S$	Summe der unveränderten Schnittstellen vom Vorgängerprodukt
$d_i$	durchschnittliche Durchlaufzeit vom Prozessschritt i bis zur Fertigstellung
$d_1$	durchschnittliche Durchlaufzeit vom Prozessbeginn bis zur Fertigstellung
$D_{pi}$	Wahrscheinlichkeit, dass die i-te Komponente einen Fehler aufweist
$E_{I,ET}$	Erfüllungsgrad des Reifegrad-Indikators (I)
$\Delta E_{out,i}$	Anzahl der ausgehenden Änderungen durch die Komponente i
$\Delta E_{in,i}$	Anzahl der durch andere Komponenten induzierten Änderungen
$g_{I,ET}$	relative Gewichtung des Reifegrad-Indikators (I) je Einzelteil (ET)
$k$	Anzahl der parallel durchführbaren Prozessschritte
$k_1$	Exponent der Fehleranfälligkeit über die Montagezeit
$K_{Nach}$	Kopplungsgrad des Nachfolgeprodukts
$L_j$	Lieferantenausprägung mit dem Punktwert je Lieferant
$L_{krit}$	Verhältnis Lieferantenprozesse zur Anzahl der Prozesse auf dem kritischen Pfad
$M$	Anzahl Montageschritte
$M_A$	Anzahl der automatisierten Montageschritte
$M_E$	Montageschritte mit extern bezogenen Komponenten
$M_S$	Anzahl der sequentiell ablaufenden Montageschritte
$M_V$	Anzahl verschiedener Montageverfahren im Gesamtprozess
$n$	Anzahl der Teilprozesse
$n_1$	Anzahl der Montagetätigkeiten
$n_2$	Anzahl der Komponenten im System
$n_L$	Anzahl an Lieferanten
$NEC_{\Delta DSM}$	Anzahl nicht leerer Zellen in der Delta-DSM
$NEC_{DSM}$	Anzahl nicht leerer Zellen in der ursprünglichen DSM
$N1$	Anzahl Elemente in der ursprünglichen DSM
$N2$	Anzahl Elemente in der Delta-DSM
$N_E$	Extern entwickelte Komponenten
$N$	Anzahl Komponenten
$N_K$	Neuheitsgrad der Komponenten
$N_m$	Anzahl der Module in einer Produktvariante
$N_P$	Neuheitsgrad der Prozesse

---

$N_S$	Neuheitsgrad der Schnittstellen
$P_a$	Wahrscheinlichkeit eines fehlerfreien Montageergebnisses
$R_{BG}$	Reife der Baugruppe
$R_{BG,Vor}$	Reife der vorgelagerten Baugruppe
$R_{ET}$	Reife des Einzelteils
$R_V$	Reife der Verbindungstechnologie
$S$	Schicht-Nummer
$t_{pi}$	Zeitmenge des parallel durchführbaren Prozessschritts
$T$	gesamter zeitlicher Aufwand aller Prozessschritte
$T_{BDI_i}$	Montagezeit für eine Modul-Schnittstelle $i$
$T_{BDI_{opt}}$	optimale Montagezeit für eine Modul-Schnittstelle
$T_i$	benötigte Zeit für die $i$ -te Montagetätigkeit
$T_{ideal}$	ideale Montagezeit
$T_{int}$	durchschnittliche Montagezeit für ein Modul in der Endlinie
$T_{norm}$	durchschnittliche Montagezeit für ein Teil in der Vormontage
$T_{test}$	durchschnittliche Zeit für den Funktionstest eines Moduls
$v_i$	Anzahl der den Teilprozess $i$ verlassenden Varianten
$v_n$	Anzahl der angebotenen Produktvarianten
$u, v, w$	Gewichtungsfaktoren der Teilreifegrade



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Produzierende Unternehmen sehen sich heute branchenübergreifend mit einer steigenden Produktvarianz als Folge der Kundenindividualität und verkürzten Produktlebenszyklen, die sich aus der gestiegenen Innovationsgeschwindigkeit ergeben, konfrontiert. Als Folge dessen sind die Unternehmen gezwungen, immer häufiger neue Produkte oder Produktgenerationen erfolgreich in den Markt einzuführen. Insbesondere bei Serienprodukten entwickelt sich der Serienanlauf zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor und kann zu einem großen Maß den wirtschaftlichen Erfolg des Produktes bestimmen. Eine verspätete Markteinführung führt nicht nur aufgrund verzögerter Produkteinführung zu entgangenen Gewinnen, sondern das Unternehmen kann nur noch schwierig die gewünschten Produktrenditen über den verkürzten Produktlebenszyklus erzielen. Einer internationalen Studie der Automobilindustrie zufolge verfehlten zwei Drittel aller Serienanläufe ihre Ziele. Davon waren 47% der Projekte weder technisch noch wirtschaftlich erfolgreich [Ris02]. Eine gestiegene Bedeutung des Serienanlaufs ist auch innerhalb der Luftfahrtindustrie zu beobachten. Aktuelle Neuentwicklungen verdeutlichen die beschriebenen Randbedingungen und die Probleme, mit denen sich die Unternehmen bei einer verzögerten Markteinführung konfrontiert sehen [Sod12a]. Im Vergleich zu anderen Industrien stellen die erhöhte Komplexität der Produkte und Fertigungsprozesse, der hohe Innovationsdruck, das Fehlen von Null- und Vorserie und vor allem die geringe Anzahl von Prototypen große Herausforderungen für den Serienanlauf dar. Neben den enormen Entwicklungskosten führt eine verspätete Produkteinführung gegebenenfalls zu zusätzlichen Kompensationszahlungen an den Kunden. Dies verschärft den Kosten- und Zeitdruck. Als Reaktion auf den Zeitdruck ist zu beobachten, dass eine verstärkte Parallelisierung der Entwicklungstätigkeiten stattfindet. Dies führt speziell bei innovativen Technologien zu zahlreichen Iterationen und späten Änderungen während des Entwicklungsprozesses.

Die Komplexität des Serienanlaufs ist auf das Zusammenspiel verschiedener Disziplinen und Gestaltungsobjekte entlang der Wertschöpfungskette zurückzuführen [Sch08]. Dabei treten zahlreiche Änderungen und Probleme im Übergang vom Konzept über Prototypen bis hin zum marktreifen Produkt auf. Für zukünftige Serienanläufe ergibt sich daraus die Herausforderung, die anfängliche Unsicherheit und die damit verbundenen Risiken der Zielerreichung frühzeitig zu berücksichtigen. Mögliche Risiken, die zu einer Abweichung der zentralen Zielgrößen Zeit, Kosten und Qualität führen, gilt es bereits in der Entwicklungsphase zu erkennen und zu begegnen, um somit möglichst späte Änderungen und Verzögerungen innerhalb der Produktion zu reduzieren.

## 1.2 Aufgabenstellung

Die im Kapitel 1.1 beschriebenen Herausforderungen, die sich insbesondere im Rahmen des Serienanlaufs im Flugzeugbau ergeben, führen zu der Problemstellung möglichst früh in der Produktentstehung eine Aussage über potentielle Risiken im Serienanlauf treffen zu können. Dabei besteht vor allem das Problem mit der anfänglichen Unsicherheit, hinsichtlich der Produkteinführung umzugehen und diese zu reduzieren. Kern des methodischen Ansatzes soll es deshalb sein, frühzeitig eine Abschätzung und Identifizierung von Risiken innerhalb des Serienanlaufs mit Hilfe eines Wirkmodells zu ermöglichen. Aufbauend auf einem generischen Wirkmodell können bereits innerhalb der Produktentstehung Rückschlüsse über mögliche Zusammenhänge zwischen Einflussfaktoren und Zielgrößen getroffen werden. Weiterhin soll der Ansatz zielgerichtete Handlungsmaßnahmen zur Risikovermeidung und -reduzierung bereitstellen. Zur Erreichung dieser Ziele muss die methodische Vorgehensweise die Aufnahme und Analyse einzuführender Produkt- und Prozessstrukturen im Vergleich zur bestehenden Ist-Situation im Unternehmen unterstützen sowie die Identifizierung und Visualisierung relevanter Risikobereiche ermöglichen.

Der zu entwickelnde Ansatz ordnet sich in den Schnittstellenbereich zwischen Produktentwicklung und der Überführung der Entwicklungsergebnisse in die Produktion ein. Die wissenschaftliche Vorgehensweise orientiert sich an dem Ansatz von BLESSING ET AL. [Ble09]. Zunächst erfolgt im zweiten Kapitel eine Problemanalyse des Forschungsfeldes Serienanlauf. Weiterhin wird anhand einer ersten deskriptiven Studie in Form einer Interviewreihe eine detaillierte Untersuchung des Problemfeldes Serienanlauf innerhalb der Flugzeugindustrie durchgeführt. Ausgehend von der Analyse werden die relevanten Anforderungen an die zu entwickelnde Methode beschrieben.

Im anschließenden dritten Kapitel erfolgt die Vorstellung der Analyse des Stands der Technik. Dazu zählen vor allem bestehende spezifische Methoden und Ansätze aus den Bereichen des Serienanlaufs, des Risikomanagements sowie der Bewertungsansätze aus der Produktentwicklung. Für eine ganzheitliche Übersicht zu den verschiedenen Bereichen des Serienanlaufs werden die einzelnen Forschungsrichtungen mit Hilfe einer Kozitationsanalyse untersucht. Die in diesem Kapitel identifizierten Defizite führen zu der Detaillierung des Forschungsbedarfs der vorliegenden Arbeit.

Aufbauend auf der deskriptiven Studie und den beschriebenen empirischen Untersuchungen in der Literatur und Praxis erfolgt im vierten Kapitel die Entwicklung eines Wirkmodells der relevanten Einflussfaktoren auf die entsprechenden Zielgrößen des Serienanlaufs. Das Modell bildet die Grundlage für den zu entwickelten methodischen Ansatz. Die Methode zur Bewertung von Anlauftrisiken wird im fünften Kapitel beschrieben. Dazu erfolgt die detaillierte Beschreibung der einzelnen Prozessschritte anhand eines durchgängigen Erläuterungsbeispiels. Das sechste Kapitel beinhaltet die Validierung der entwickelten Methode anhand einer Fallstudie. Das Untersuchungsobjekt der Fallstudie stellt die Kabineninstallation im Flugzeugbau dar. Abschließend werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst und potentielle zukünftige Forschungsrichtungen aufgezeigt.

## 2 Problemanalyse Serienanlauf

In diesem Kapitel wird die Problemstellung des Serienanlaufs herausgearbeitet. Dazu werden zunächst wesentliche, in der vorliegenden Arbeit verwendeten, Begriffe definiert. Anschließend wird die Relevanz der Serienanlaufphase im Produktlebenszyklus und deren Auswirkung auf den Erfolg der Unternehmen genauer analysiert. Aufbauend auf dieser Analyse erfolgt eine Abgrenzung der Besonderheiten des Serienanlaufs im Flugzeugbau. Abschließend werden die Anforderungen an eine Methode zur Bewertung von Anlauftrisiken abgeleitet.

### 2.1 Begriffliche Grundlagen

Einige in dieser Arbeit verwendeten Begriffe werden in der Wissenschaft und in der betrieblichen Praxis unterschiedlich definiert. Daher werden im Folgenden zuerst einige Begriffsdefinitionen vorgestellt.

#### **Serienanlaufphase**

Der Begriff der Serienanlaufphase wird in der Literatur häufig synonym mit dem Begriff Produktionsanlauf oder im englischsprachigen mit dem Begriff Ramp-up verwendet. TERWIESCH ET AL. beschreiben die Phase als einen Übergang in der das Produkt von der Entwicklung in die Produktion überführt wird. Dabei ist die Ausbringungsmenge und das Prozessverständnis der Produktionsprozesse zu Beginn der Phase niedrig und wird mit Hilfe der Lernkurve sukzessiv gesteigert [Ter01a]. Identisch beschreibt GUSTMANN ET AL. das Wesen des Serienanlaufs als einen Lernprozess. Dieser beginnt mit der Aufnahme des neuen Produkts in die Produktion und endet mit dem Erreichen der technischen und ökonomischen Zielparameter [Gus89]. Eine weitere allgemeingültige Definition lässt sich der Automobilindustrie entnehmen. Die Serienanlaufphase bezeichnet den Zeitraum zwischen der Produktentwicklung und der Serienproduktion, in der das Produktentwicklungsergebnis stufenweise über Vor-, Nullserie und Produktionshochlauf (Start of Production - SOP) in die Produktion überführt wird [Cla91]. Die Zeitspanne von der Entwicklung bis hin zum ersten kundenfähigen Produkt wird allgemein als Time-to-Market bezeichnet. Die Zeitspanne bis zur Erreichung der gewünschten Stückzahlen kann als Time-to-Volume beschrieben werden [Ris02].

Aufbauend auf der zuvor durchgeführten zeitlichen und inhaltlichen Einordnung des Serienanlaufs erfolgt die Definition des Anlaufmanagements in Anlehnung an *Kuhn et al.* Demnach beinhaltet das Anlaufmanagement alle produkt- und prozessbezogenen Tätigkeiten und Maßnahmen zur Planung, Steuerung und Durchführung des Serienanlaufs. Dabei werden auch vor- und nachgelagerte Prozesse, die Einfluss auf die Produkt- und Prozessreife haben, berücksichtigt [Kuh02].

## Komplexität

Der Komplexitätsbegriff wird in der Literatur vielfach diskutiert [Abd08], [Sch05b], [Lin09b], [Ulr95], [Web05]. ULRICH ET AL. definiert Komplexität über die verschiedenen möglichen Zustände eines Systems innerhalb einer Zeitspanne. Ein kompliziertes System ist dabei durch seine Vielzahl und Vielfalt an Elementen sowie der Elementbeziehungen gekennzeichnet. Durch eine zusätzliche zeitliche Veränderlichkeit (Dynamik) des Systems entsteht ein komplexes System [Ulr95]. WEBER fasst die technische Definition von ULRICH ET AL. unter dem Begriff der Produktkomplexität bzw. Systemkomplexität zusammen. Diese setzt sich aus den drei Dimensionen der numerischen (Anzahl an Elementen), relationalen (Elementbeziehungen) und variablen Komplexität (Anzahl an Varianten) zusammen. Darüber hinaus erweitert WEBER die Begriffsdefinition bezogen auf die Prozesskomplexität um die zwei Dimensionen disziplinarische und organisatorische Komplexität. Die disziplinarische Komplexität beschreibt die Vielzahl an unterschiedlichen Disziplinen die beispielsweise in der Entwicklung beteiligt sind. Die organisatorische Komplexität wird z.B. durch die Arbeitsteilung innerhalb eines globalen Entwicklungsprojekts beschrieben [Web05]. Neben der technischen Perspektive des Begriffs Komplexität, gibt es weitere verschiedene Sichten auf den Begriff. BROSCHE unterteilt die Sichten verschiedener Autoren in die vier Perspektiven konstruktive Eigenschaften, Erscheinungsformen, Bezugsobjekte und Wirkung. Unter konstruktive Eigenschaften werden die Vielfalt und Vielzahl von Systemelementen, die Elementbeziehungen und die zeitliche Veränderlichkeit zusammengefasst. Die Sicht der Erscheinungsformen unterscheidet zwischen objektiver und subjektiver wahrgenommener Komplexität des Betrachters. Bezugsobjekte beziehen sich auf die Gliederungstiefe der zu betrachtenden Komplexität. Unter der Sicht der Wirkung wird die Relevanz und Auswirkung von Komplexität im Unternehmen zusammengefasst [Bro14]. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit verwendete Sichtweise konzentriert sich auf die konstruktive Eigenschaft der Komplexität nach BROSCHE bzw. der technischen Definition nach ULRICH ET AL. und WEBER.

## Risiko

Definitionen des Begriffs Risiko finden sich, entsprechend den verschiedenen Anwendungsbereichen in zahlreichen unterschiedlichen Ausprägungen in der Literatur wieder. Grundsätzlich lassen sich die Ansichten in eine ursachenbezogene und eine wirkungsbezogene Begriffsauffassung unterteilen [Sch97a], [Rog02]. Die ursachenbezogene Betrachtung des Risikobegriffs entstammt der Entscheidungstheorie und geht davon aus, dass alle zukünftigen unternehmerischen Entscheidungen aufgrund von Informationsdefiziten mit Unsicherheiten behaftet sind [Bam08]. Daraus entsteht eine Risikosituation, die bei Kenntnis der Wahrscheinlichkeiten abgeschätzt werden kann. Andernfalls spricht man von Ungewissheit. Die wirkungsbezogene Ansicht beinhaltet die Auswirkung von Risiken als eine negative Zielverfehlung [Wol03]. Dies setzt allerdings eine zuvor festgelegte Zielstellung voraus. Die ursachenbezogene und wirkungsbezogene Betrachtungsweise werden in der Regel nicht getrennt betrachtet. Daher hat sich, im Rahmen der quantifizierbaren Risiken, die Beschreibung der Risiken als Produkt von Schadeneintrittswahrscheinlichkeit (ursachenbezogen) und Schadensausmaß (wirkungsbezogen) etabliert [Hof85], [Dah02], [Lüh05], [Sch97a].

Eine weitere Ausprägung der Definition des Risikobegriffs unterscheidet zwischen einem spekulativen und reinen Risiko (vgl. Bild 2.1) [Rog02]. Dabei handelt es sich beim reinen Risiko um eine Verlustgefahr, die sich nur auf den Eintritt des Schadensfalls bezieht [Wil08]. Unter dem spekulativen Risiko wird die zukünftige Entwicklung verstanden, die zu einem Nichterreichen der Unternehmensziele führen kann [Wol03]. Dabei wird zwischen Risiko im weiteren Sinne und im engeren Sinne unterschieden. Das Risiko im weiteren Sinne betrachtet die Abweichung einer Zielerreichung als Chance (positiv) oder als Risiko (negativ). Das Risiko im engeren Sinne betrachtet nur den negativen Anteil einer möglichen Zielabweichung. Synonym wird auch von symmetrischem (Chance und Risiko) und asymmetrischem (nur Risiko) Risikobegriff gesprochen [Sch97a],[Lüh05].

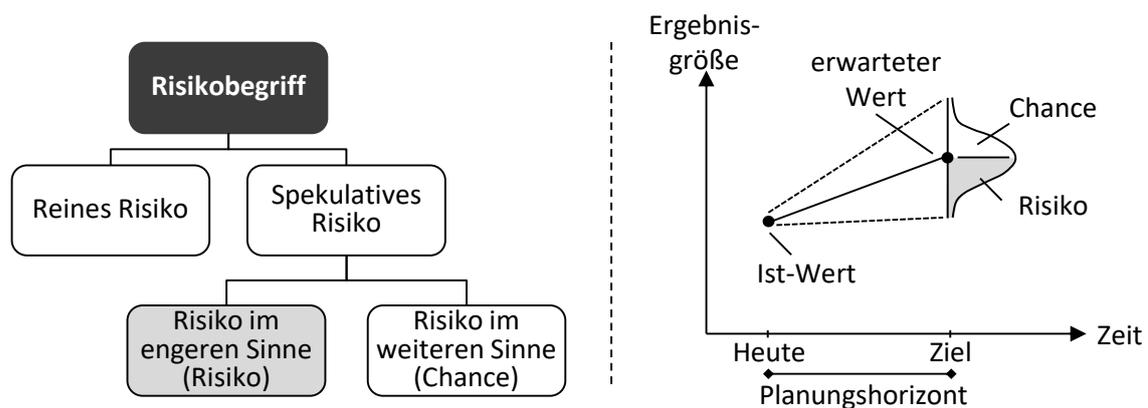


Bild 2.1: Definition des Risikobegriffs in Anlehnung an [Lüh05], [Wil08]

In der vorliegenden Arbeit wird der Risikobegriff als eine negative Abweichung von zuvor definierten Zielen in den Dimensionen Zeit, Kosten und Qualität verstanden (vgl. Bild 2.1, rechts). Damit wird nur der negative Anteil der Zielabweichung betrachtet und somit dem Risikobegriff im engeren Sinne gefolgt.

### Unsicherheit

Der Begriff der Unsicherheit wird in verschiedenen Bereichen der Literatur diskutiert und ist eng verbunden mit dem Risikobegriff. Im Bereich der Produktentwicklung führen Unsicherheiten, aufgrund von fehlenden Informationen zu sogenannten Entscheidungsunsicherheiten. Dies macht einen inkrementellen und iterativen Entwicklungsprozess unausweichlich, um die technischen und wirtschaftlichen Ziele zu erreichen [Ehr09], [Lor09]. JETTER beschreibt diesen Informationsmangel für Entwicklungsaufgaben als eine Kombination aus fehlender Vorerfahrung und schwer zu überblickender Entscheidungssituation [Jet05]. Dabei unterscheidet JETTER objektive und subjektive Unsicherheit. Die objektive Unsicherheit beschreibt die Situation, in der die zur Verfügung stehenden Informationen nicht den für die Aufgabe notwendigen Informationen entsprechen. Der subjektive Aspekt der Unsicherheit entspricht der Festlegung der für notwendig erachteten Informationen. Diese Festlegung ist geprägt durch die Erfahrung des Entscheiders bzw. Entwicklers [Jet05], [Gal73]. Aufbauend auf dem Informationsmangel klassifiziert DE WECK ET AL. Ursachen für die Entstehung von Unsicherheiten im Entwicklungsprozess in einen endogenen und exogenen Bereich (vgl. Bild 2.2) [Wec07].

Die endogenen Faktoren werden durch den Produkt- und Unternehmenskontext beschrieben. Exogene Ursachen finden sich im Nutzungs-, Markt-, politischen und kulturellen Kontext wieder [Wec07].

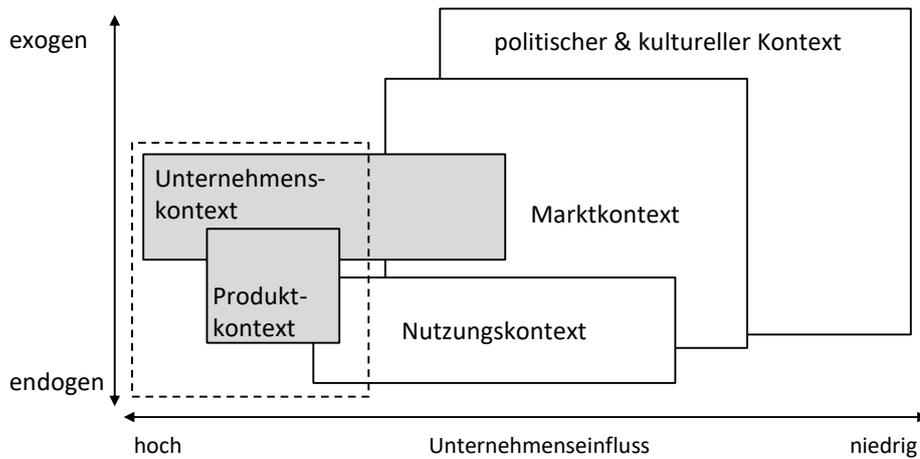


Bild 2.2: Klassifizierung von Ursachen von Unsicherheiten in der Produktentwicklung nach [Wec07]

Im Produktkontext sind mögliche Ursachen für Unsicherheiten unter anderem technische Risiken, die sich durch den Neuheitsgrad ergeben, die Granularität der Subsysteme, die damit verbundenen Interaktionen, die nicht abgebildeten Abhängigkeiten in der Produktstruktur und die Zuverlässigkeit der Komponenten [Wec07], [Tat00]. Der Unternehmenskontext bezieht sich auf strategische Entscheidungen, wie zum Beispiel vertragliche Randbedingungen, Standortwahl oder das Produktportfolio [Wec07a]. Unsicherheiten aus der Nutzungsphase können unterschiedliche Einsatzszenarien sein, deren Anforderungen nicht oder nur unzureichend berücksichtigt wurden. Im Marktkontext sind Ursachen für Unsicherheiten vor allem Markttrends, Wettbewerber und Lieferanten und führen damit zu möglichen Änderungen während der Entwicklung. Unter dem politischen und kulturellen Kontext fasst DE WECK ET AL. gesetzliche und gesellschaftliche Veränderungen zusammen, die beispielsweise durch neue Regularien Einfluss auf die Produktentwicklung nehmen könnten [Wec07].

### Kennzahlen und Kennzahlensysteme

Unter dem Begriff Kennzahlen können alle Größen verstanden werden, die quantitativ oder qualitativ erfassbare Sachverhalte in verdichteter Form wiedergeben [Hor03]. Sie dienen dazu, Aussagen über Zusammenhänge und Sachverhalte zu gewinnen, um somit eine Grundlage für eine zielorientierte Entscheidung zu schaffen. Generell kann zwischen absoluten Kennzahlen und Verhältniskennzahlen unterschieden werden (vgl. Bild 2.3). Absolute Kennzahlen beschreiben einen unmittelbaren Zustand, einen Vorgang oder eine Entscheidung die in keinen Bezug zu einer anderen Größe gesetzt wird. Dagegen stellen Verhältniskennzahlen eine relative Größe dar [Rei11].

Die Unterteilung der Verhältniskennzahlen kann in drei Arten erfolgen. Die Gliederungszahlen beschreiben den Anteil einer Größe an einer Gesamtmenge (z.B. Entwicklungskosten zu Gesamtkosten). Beziehungskennzahlen stellen Daten verschiedenster Art einander in Beziehung (z.B. Gewinn zu Eigenkapital). Bei Indexzahlen dagegen werden Größen gleichen Merkmals (z.B. sachlich, zeitlich oder räumlich) ins Verhältnis zueinander gesetzt (z.B. Entwicklungskosten im Jahr 2012 zu 2013) [Ben07].

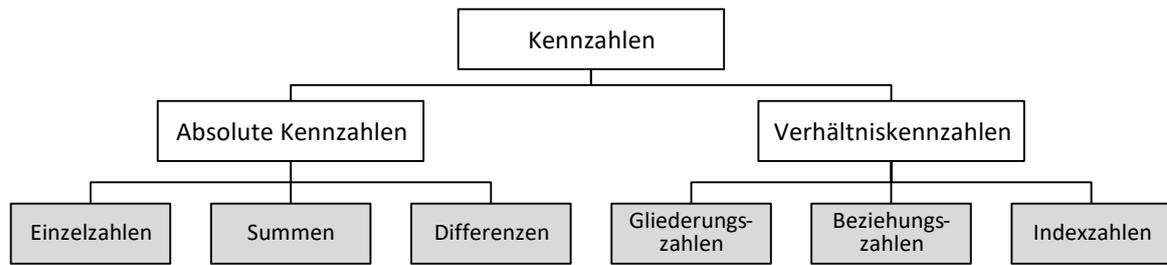


Bild 2.3: Übersicht der Kennzahlenarten

Die Aussagekraft einzelner Kennzahlen, bei der Bewertung komplexer Sachverhalte, kann durch die Verdichtung einzelner Kennzahlen zu einem Kennzahlensystem gesteigert werden. Dabei werden Kennzahlen unterschiedlicher Herkunft und Aggregationsebene miteinander verknüpft. Es entsteht durch die Verdichtung eine „Schlüsselkennzahl“, die über die Gesamtheit eines bestimmten Sachverhaltes informiert [Rei11].

## 2.2 Forschungsfeld und Relevanz

Die Bedeutung des Serienanlaufs ergibt sich aus dem Zusammenspiel verschiedener Trends und führt zu einer gestiegenen Bedeutung in der Forschung und Praxis. Nach den Studien von COOPER ET AL. gehört der Serienanlauf zu den wichtigsten Faktoren für eine erfolgreiche Produkteinführung [Coo88], [Kle91]. Innerhalb verschiedener Industrien ist vor allem die zunehmende *Verkürzung der Produktlebenszyklen* ein wesentlicher Treiber zur Fokussierung auf den Serienanlauf [Wan98], [Kuh02], [Spi01]. Dies zeigt sich auch in der wirtschaftlichen Bedeutung dieser Phase. Laut einer Studie aus der Automobilindustrie führt beispielsweise eine Verspätung der Markteinführung von sechs Monaten zu einem potentiell entgangenen Gewinn von bis zu 30% über den gesamten Produktlebenszyklus [Sei95]. Durch die verkürzte Amortisationszeit sind die Unternehmen nicht mehr in der Lage, die entgangenen Gewinne zu kompensieren. Unternehmen sehen sich gezwungen, durch Beschleunigung der Produktentwicklung und des Serienanlaufs eine Verkürzung des Markteintrittszeitpunkts zu realisieren. Durch eine Erhöhung der Ausbringungsmenge oder frühzeitige Produkteinführung können sogenannte Pioniereffekte realisiert und damit das Zeitfenster der Gewinnerzielung maximiert werden (Bild 2.4).

Mit Hilfe einer steileren Anlaufkurve kann bei anfänglich hoher Produktnachfrage, der Zeitraum der Gewinnerzielung erhöht werden (vgl. Bild 2.4, Mitte). In Kombination mit dem Pioniereffekt kann aufgrund des Alleinstellungsmerkmals zusätzlicher Ertrag durch eine erhöhte Preisgestaltung erzielt werden (vgl. Bild 2.4, rechts). In der zivilen Luftfahrtindustrie wird den Pioniereffekten eine besondere Bedeutung zugeschrieben. Laut Experteneinschätzung führt ein frühzeitiger Markteintritt zu einem quasi Monopol und einem Marktanteil von bis zu 70% im ersten Jahr [Spi01]. Dadurch ist das Unternehmen in der Lage, durch Skaleneffekte und Produktionsoptimierung die Wettbewerbsposition weiter auszubauen.

Ein weiterer wesentlicher Treiber, der zur Relevanz des Forschungsfeldes beiträgt, ist die *gestiegene Variantenvielfalt* im Unternehmen [Kip12], [Bro14], [Fit05], [Geb16]. Ursächlich dafür sind die Heterogenität der Märkte und die damit verbundenen Kundenbedürfnisse. Dies führt wiederum zu einer gestiegenen Anzahl von Serienanläufen und einer zunehmenden Produkt- und Prozesskomplexität im Unternehmen [Kuh02], [Wil09]. Die geforderte In-

dividualität der Produkte erhöht zusätzlich den Innovationsdruck und die Einführung neuer Technologien. Diese sind allerdings aufgrund fehlender Erfahrungen mit gewissen Entwicklungsrisiken verbunden, wie sich besonders in der Luftfahrtindustrie gezeigt hat [Spi01], [Tal10c]. Aufgrund der Komplexität steigen die Zeitbedarfe für Forschung und Entwicklung an und verschärfen so die Problematik der kürzeren Produktlebenszyklen weiter [Hün10], [Den07].

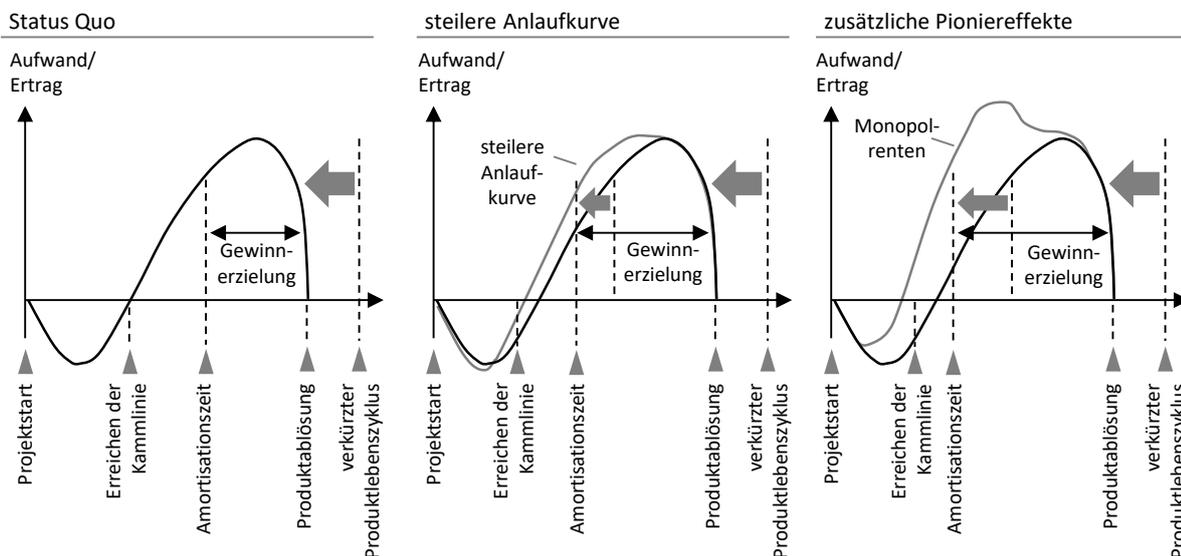


Bild 2.4: Effekt eines schnellen Serienanlaufs auf den Produkt-Lifecycle-Ertrag [Pet08]

Im Zuge der gestiegenen Komplexität konzentrieren sich immer mehr Unternehmen auf ihre Kernkompetenzen und vollziehen die Entwicklung und Fertigung neuer Produkte in einem globalen Wertschöpfungsnetzwerk. Der Trend der *geringen Entwicklungs- und Fertigungstiefe* stellt die Unternehmen bei der Produktneueinführung vor enorme koordinative Herausforderungen [Wan98], [Fit05], [Hün10]. In Folge dessen entstehen komplexe Lieferantennetzwerke, die zu erhöhten Planungs- und Koordinationsaufwänden im Serienanlauf führen [Den07], [Sch08]. Damit verbunden ist eine gestiegene Bedeutung der Anlauffähigkeit der Lieferanten und der dafür notwendigen Anlaufkompetenz. Diese Entwicklung führt zu einem Verantwortungsübergang auf die Lieferanten und erfordert eine frühzeitige unternehmensübergreifende Integration und Interaktion [Fit05], [Wan98].

Aufgrund des bereits beschriebenen Innovationsdrucks müssen die Unternehmen in der Lage sein, neuartige Produkte in möglichst kurzer Zeit zur Marktreife zu führen. Konsequenz ist der Einsatz neuer Technologien, welche aufgrund des Neuheitsgrads zu einer *steigenden Produkt- und Prozesskomplexität* führt. Dies setzt die Fähigkeit und Notwendigkeit voraus, auch auf neuartige Probleme, die meist erst spät in der Produktion auftreten, reagieren zu können. Empirische Studien belegen, dass ein Großteil technischer Änderungen (bis zu 40%) in der Produktentwicklung erst ab der Nullserienphase auftreten [Aßm00], [Gem95]. Die Unternehmen können somit trotz umfassender Planung nicht ausschließen, dass sie schnell und umfassend auf Ad-hoc Probleme reagieren müssen [Gro12], [Hün10]. Die späten Änderungen verschärfen den hohen Zeit- und Kostendruck innerhalb des Serienanlaufs und führen zu hohen Änderungsaufwänden innerhalb des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks [Sch01], [Jür07].

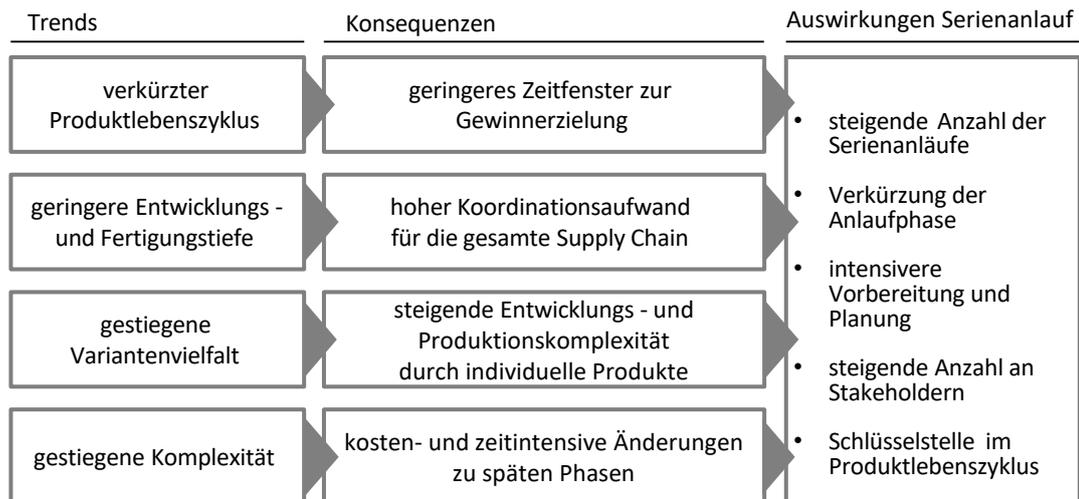


Bild 2.5: Zusammenfassung der Trends und deren Relevanz für den Serienanlauf

Aktuelle Produkte in der Flugzeugindustrie belegen die Relevanz des Serienanlaufs und die gravierenden Auswirkungen von Verzögerungen. Sowohl der Flugzeughersteller Boeing als auch Airbus haben Probleme neue Produkte in die Serienproduktion zu überführen. Dies hat zur Folge, dass es zu Abschreibungen in Milliardenhöhe kommt und die Gewinnschwelle des Produktprogramms sich weiter verschiebt [Fig09]. Hauptursachen sind, neben der hohen Komplexität, der Einsatz neuer Materialien und Technologien, die hohe Kundenvielfalt und die geringe Entwicklungs- und Fertigungstiefe [Har11], [Den13]. Das Outsourcing von Entwicklungspaketen in ähnlichem Umfang wie in der Automobilindustrie wurde bereits 2001 von HART-SMITH kritisiert [Har01]. Die aktuelle Entwicklung im Serienanlauf der Boeing 787 und Airbus A350 zeigt, dass diese Strategie zu einem extremen Anstieg der Entwicklungskosten und zu Verzögerungen von mehreren Jahren führte [Sod12b], [Har11], [Den13].

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die vorgestellten Trends (vgl. Bild 2.5) zu einer gestiegenen Bedeutung der Serienanlaufphase beitragen, die dadurch eine Schlüsselrolle im gesamten Produktlebenszyklus einnimmt. Besonders für komplexe Produkte mit langen Entwicklungszeiten, liegt zwischen Entwicklungsstart und Markteintritt häufig ein erheblicher Zeitraum, in dem die gesamten Investitionskosten der Produktentwicklung und Fertigungsvorbereitung anfallen. Eine Verzögerung des Markteintritts bedeutet somit ein hohes wirtschaftliches Risiko für das Unternehmen. Um diesem Risiko zu begegnen, müssen produzierenden Unternehmen in die Lage versetzt werden, die Überführung der Entwicklungsergebnisse in die Serienproduktion möglichst effizient durchführen zu können.

### 2.2.1 Ziele der Serienanlaufphase

Das übergeordnete Ziel des Serienanlaufs ist die reibungslose, termin- und kostengerechte Überführung der Produktentwicklungsergebnisse in die Serienproduktion. Dieses Ziel lässt sich mit Hilfe des Spannungsdreiecks aus Zeit (Terminziel), Kosten (Effizienzziel) und Qualität (Effektivitätsziel) weiter spezifizieren (vgl. Bild 2.6) [Win07]. Zwischen den Zielen bestehen Wechselwirkungen und Abhängigkeiten, somit kann eine Betrachtung nur als Ganzes erfolgen [Gen94]. Je nach Betrachtungsweise finden sich in der Literatur verschiedene Schwerpunkte hinsichtlich der drei Zielkriterien. Viele Untersuchungen betonen den Faktor Zeit (Terminziel) bei der Einführung neuartiger Produkte, um somit nachhaltige Wettbewerbsvor-

teile zu erzielen [Cla91], [Wan98], [Ris02]. Die sogenannten Pioniereffekte ermöglichen frühzeitig Märkte mit Monopolrenten zu erschließen und gleichzeitig mehr Deckungsbeiträge über den Produktlebenszyklus abzuschöpfen [Ter01b], [Cla91], [Ris02]. Dagegen betrachtet MÖLLER die Anlaufkosten als einzige zu beeinflussende Größe, da beispielsweise die Größe Zeit (Time-to-Market) bereits durch strategische Unternehmensentscheidungen festgelegt wurden [Möl05].

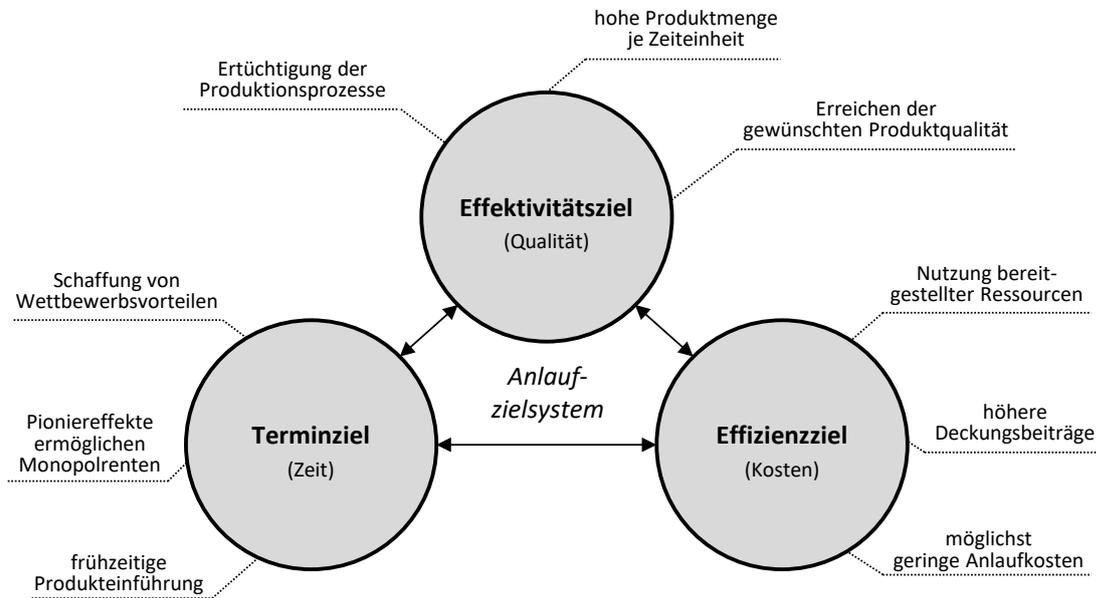


Bild 2.6: Zielsystem des Produktionsanlaufs

Das *Effektivitätsziel* des Serienanlaufs besteht darin, sowohl eine möglichst hohe Qualitätsfähigkeit des Produktes, als auch des Produktionssystems zu erreichen und so mit Hilfe der bereitgestellten Ressourcen (personell, technisch und organisatorisch) am Ende des Serienanlaufs eine hohe Produktmenge je Zeiteinheit herstellen zu können [Win07]. Dabei steht zu Beginn der Serienanlaufphase die Ertüchtigung der Produktionsprozesse zur Erreichung der gewünschten Produktqualität im Vordergrund. Zum Ende der Serienanlaufphase werden Maßnahmen zur Steigerung der Produktionsmengenleistung fokussiert, um somit die Marktnachfrage zu befriedigen [Lan04], [Sch05b].

Das *Terminziel* beschreibt den zeitlichen Aspekt des Serienanlaufs. Dabei sollte eine verspätete Markteinführung des Produktes vermieden werden, da dies, neben den entgangenen Gewinnen, auch zu Konventionalstrafen und Imageverlust führen kann [Ter01b], [Kuh02], [Win07]. Eine Verkürzung und somit eine frühzeitige Erreichung des Anlaufziels wirkt sich, wie bereits zuvor beschrieben, positiv auf die Wettbewerbssituation aus.

Unter dem *Effizienzziel* wird der Aufwand zur Durchführung des Serienanlaufs verstanden. Das Ziel ist dabei, die neu einzuführenden Produkte mit möglichst geringen Anlaufkosten zu realisieren [Win07]. Anfallende Kosten werden durch die notwendigen Ressourcen für den Serienanlauf beschrieben. Probleme bei der Produkt- bzw. Prozessreife führen zu zusätzlichen Anlaufkosten beispielsweise durch aufwendige Änderungen oder Nacharbeiten [Tüc10].

In der vorliegenden Arbeit werden aufgrund der besonderen Notwendigkeit in der Flugzeugindustrie das Termin- und das Effektivitätsziel als die beiden elementarsten Ziele betrachtet, da eine Zielverfehlung, hinsichtlich Zeit und Qualität, zusätzliche Kosten verursachen kann, die die geplanten Serienanlaufkosten um ein Vielfaches übersteigen.

### 2.2.2 Einordnung der Serienanlaufphase in den Produktentstehungsprozess

Der Serienanlauf bildet die Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktion. Für ein besseres Verständnis der Schnittstelle kann eine phasenorientierte Beschreibung des Übergangs zwischen Entwicklung und Produktion herangezogen werden. Um die zuvor definierten Ziele zu erreichen, ist es gerade für komplexe Produkte empfehlenswert, eine stufenweise Überführung der Entwicklungsergebnisse hin zu einer stabilen Produktion durchzuführen [Wan98], [Ter01a]. Deshalb durchläuft das neue Produkt unterschiedliche Industrialisierungsphasen, bevor eine stabile Produktion möglich ist. Die Phasenunterteilung ist dabei unternehmens- bzw. branchenabhängig. Eine häufig in der Literatur verwendete Unterteilung erfolgt in die drei Phasen Vor-, Nullserie und Produktionshochlauf [Win07], [Wan98], [Ter01b], [Sch05a]. Die drei Phasen sind mit den unmittelbaren vor- und nachgelagerten Aktivitäten in Bild 2.7 dargestellt. Eine eindeutige Trennung zwischen Produktentwicklung und Produktion, wie sie in der Abbildung dargestellt wird, findet in der Praxis in der Regel nicht statt. Die dargestellte Abbildung ist somit nicht als stringente sequentielle Abfolge zu verstehen, sondern stellt lediglich einen idealisierten Ablauf dar.

Die Durchführung der *Vorserie* erfolgt unmittelbar nach dem Prototypenbau bzw. der Komponentenintegration mit der Freigabe zum Serienanlauf. Der Hauptunterschied zum Prototypenbau liegt in der Produktion von zahlreichen Prototypen unter seriennahen Bedingungen [Wan98]. Dabei sind die Ziele die Erprobung von Serienmaterialien, Erprobung und Verbesserung des Produkts sowie das Testen von Fertigungs- und Montageabläufen. Die Mitarbeiter können sich in dieser Phase bereits mit dem neuem Produkt und Produktionsprozess vertraut machen [Lan04]. Dies fördert den iterativen Lernprozess der beteiligten Mitarbeiter [Ter01b]. Je mehr die Materialien, Werkzeuge und Prozesse den späteren Randbedingungen der Produktion entsprechen, desto verlässlicher sind die Aussagen über die späteren Produktionsergebnisse [Ris02]. Gegenmaßnahmen können bei auftretenden Abweichungen von definierten Zuständen so rechtzeitig eingeleitet und der Aufwand für späte Änderungen reduziert werden [Wan98].

Charakteristisch für die sogenannte *Nullserie* ist die abschließende Integration der Produkt- und Prozessentwicklung. Dabei werden die Bedingungen an die spätere Produktionsumgebung weiter angeglichen und Prototypen mit Hilfe von Serienwerkzeugen produziert. Die verwendeten Bauteile stammen dann bereits aus der Serienproduktion der Zulieferer. [Lai03], [Wan98]. Es kann in dieser Phase nochmals zu zahlreichen Änderungen kommen, da der Übergang zu Serienwerkzeugen dazu führt, dass die Produkte bzw. Prozesse ihre Eigenschaften ändern können [Ris02]. Für das Testen in einer fertigungsnahen Produktionsumgebung können separate Pilotwerke, separate Pilotlinien im gleichen Hauptwerk oder Serienproduktionslinien verwendet werden [Wan98]. Als Ergebnis der Phase liegt ein getestetes und serienfähiges Produkt vor, das durch einen stabilen Fertigungsprozess reproduziert werden kann [Ris02].

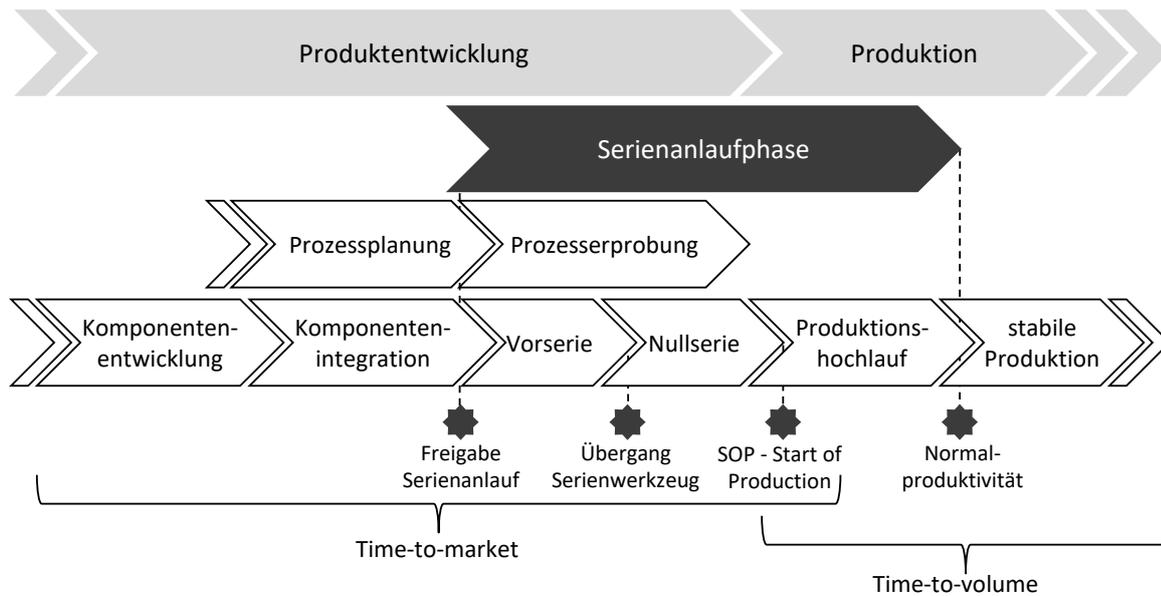


Bild 2.7: Serienanlaufphase im Kontext des Produktentstehungsprozesses in Anlehnung an [Wan98]

Mit dem Produktionsstart (SOP - Start of Production) beginnt der eigentliche *Produktionshochlauf*. Häufig erfolgt mit Beginn dieser Phase auch der Übergang von der Produktentwicklung zur Produktion und damit auch eine organisatorische Änderung der Verantwortlichkeiten [Win07], [Lai03]. Die Produktion des ersten kundenfähigen Produktes kennzeichnet den Start dieses Abschnitts [Wan98]. Während des Produktionshochlaufs wird das Produktionssystem unter nominellen, personellen, organisatorischen und technischen Randbedingungen auf die gewünschte Nennleistung hochgefahren [Wie02a]. Die bis dahin noch nicht aufgetretenen Störungen z.B. durch Mitarbeiterwechsel, Serienlogistik und insbesondere technische Störungen, die erst im Zusammenspiel des gesamten Produktionssystems auftreten, müssen zu diesem Zeitpunkt schnellstmöglich behoben werden [Zeu98], [Win07]. Der Produktionshochlauf gilt als beendet, wenn eine stabile Produktion vorliegt. Aus Unternehmenssicht kann dies unterschiedlich definiert werden und reicht von dem Erreichen der gewünschten Qualität der Produktionssysteme und der Durchlaufzeit eines Produktes, Produktion bei voller Kapazitätsauslastung, fehlerfreie Einheiten eines Produktes je Zeiteinheit, bis hin zur Erreichung der geforderten Stückkosten je Produkt [Wan98], [Lan04], [Lai03], [Cla91].

In der Produktionshochlaufphase erfolgt in der Regel ebenfalls eine Umstellung von Vorgänger- auf Nachfolgerprodukt. Dies kann mit Hilfe unterschiedlicher Übergangsstrategien realisiert werden [Wan98]. Zwei grundsätzliche Ansätze sind in der folgenden Abbildung (vgl. Bild 2.8) dargestellt. Dabei handelt es sich beim ersten Ansatz um den radikalen Übergang. Dabei wird zu einem bestimmten Zeitpunkt die Produktion des Vorgängerproduktes gestoppt und mittels einer steilen Hochlaufkurve die neuen Produktionsprozesse des Nachfolgeproduktes im Werk gestartet. Eine weitere Variante dieses Übergangs wäre die Implementierung des Produktionssystems in ein neues Werk, ohne Wechsel vom Vorgängerprodukt [Lai03], [Cla91]. Üblicherweise handelt es sich bei dem radikalen Übergang um einen Produktwechsel [Ris02].

Der zweite Ansatz ist der gleitende Übergang des Produktes in den Produktionsprozess. Dabei erfolgt ein langsames Herunterfahren der Produktionsmenge des Vorgängerproduktes

und gleichzeitiges Hochfahren des neuen Produktes. Bei leicht zu modifizierten Produkten erfolgt der Übergang auf derselben Produktionslinie. Dagegen erfolgt eine blockweise Umstellung auf unterschiedlichen Produktionslinien. Dies ist der Fall, wenn neue oder leistungsstärkere Produktionsprozesse zum Einsatz kommen [Cla91], [Wan98].

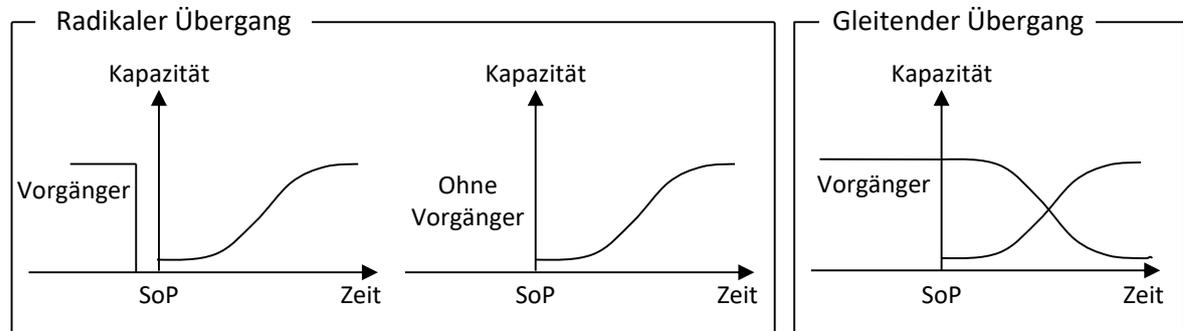


Bild 2.8: Produktwechselarten im Serienanlauf in Anlehnung an [Tüc10]

### 2.2.3 Problem- und Handlungsfelder im Serienanlauf

Innerhalb des Produktentstehungsprozesses befindet sich die Serienanlaufphase auf dem kritischen Pfad [Ris02]. Die Notwendigkeit des ganzheitlichen Managements dieser Phase ist auf die Vielzahl der verschiedenen Disziplinen (Produktentwicklung, Produktion, Logistik, Einkauf) und Gestaltungsobjekte (wie Technologien, Produktkomponenten, Produktionssysteme) zurückzuführen. Probleme entstehen häufig durch das erstmalige Aufeinandertreffen und Vernetzen dieser Disziplinen und Gestaltungsobjekte innerhalb der Erprobungs- und Entwicklungsprozesse. Ein geringer Reifegrad von Produktkomponenten oder Produktionsprozessen erschweren die Situation zusätzlich [Sch08].

Globale Trends und deren Relevanz für den Serienanlauf wurden bereits im Abschnitt 2.2 aufgezeigt. Grundsätzlich lassen sich die Herausforderungen im Serienanlauf zu verschiedenen Problemfeldern zusammenfassen. Verschiedene Autoren unterscheiden dabei zwischen externen und internen Faktoren [Bau01], [Kei07]. Zu den externen Faktoren zählen unter anderem die Kategorien Markt, Wettbewerber und Lieferanten. Die frühzeitige und effektive Lieferantenintegration stellt dabei ein zentrales Problemfeld dar. Durch Informationsasymmetrien und organisatorische Barrieren kann es zu Mehraufwänden und Verzögerungen kommen. Gründe dafür sind z.B. zu spät gelieferte, fehlerhafte oder falsche Bauteile oder mangelnde Prozessreife beim Zulieferer [Sch02a], [Ris02], [Lai03]. Interne Faktoren können den Kategorien Produkt, Produktionssystem, Methoden und Werkzeuge, Organisation und Mitarbeiter zugeordnet werden [Lan04], [Win09], [Wil05b], [Wie02b]. Der Produktwechsel führt zu einer notwendigen Koordination von Anpassungsmaßnahmen der bestehenden Strukturen, Prozessen und Ressourcen [Wie02b]. Die Einführung neuer innovativer Produkte wird meistens durch ungeplante Änderungsumfänge innerhalb der verschiedenen Kategorien begleitet. Späte Produkt- und Prozessänderungen, aufgrund von z.B. zuvor unbekanntem Fehlern im Produktkonzept, Reifegrad der Zulieferteile sowie Anpassung von Betriebsmitteln, führen zu Zeitverzögerungen und Störungen im Serienanlauf [Abe03] [Ris02] [Alm00]. Der Zeitdruck innerhalb dieser kritischen Phase führt zusätzlich zu der Notwendigkeit, dass die Lieferanten Änderungen möglichst kurzfristig umsetzen müssen [Gon07]. Eine sinkende Fertigungs- und Entwicklungstiefe führt weiterhin zu komplexen Wertschöpfungsnetzwer-

ken, die besonders in der Serienanlaufphase einen erhöhten Planungs- und Koordinationsaufwand benötigen [Sch05c] [Fit05]. Dies hat zur Folge, dass die Komplexität und Intransparenz in der Serienanlaufphase steigt. Zu Beginn der Anlaufphase führt dies oft zu geringen Produktionsraten und Produktionsausfällen [Lan04].

Aus den genannten Problemfeldern haben sich in der Literatur verschiedene Handlungsfelder im Serienanlauf entwickelt. Innerhalb der branchenübergreifenden Forschungsstudie von KUHN ET AL. wurden verschiedene Handlungsfelder im Anlaufmanagement identifiziert, um mögliche Störeinflüsse zu minimieren und einen effizienten Produktionsanlauf sicherzustellen [Kuh02]. Das Resultat der Studie sind die fünf Handlungsfelder

- Planung, Controlling und Organisation von Anläufen,
- Anlaufrobuste Produktionssysteme,
- Änderungsmanagement im Serienanlauf,
- Kooperations- und Referenzmodelle für den Anlauf,
- Wissensmanagement und Personalqualifikation.

Das erste Handlungsfeld beschäftigt sich mit der *Planung, dem Controlling und der Organisation von Anläufen*. Mit Hilfe von Strategieentwicklung und standardisierten Vorgehensweisen soll die Komplexität des Serienanlaufs besser beherrscht werden. Es bedarf eines Bewertungs- und Prozessmodells, um der Intransparenz bei Planabweichungen und späten Änderungen zu begegnen [Kuh02]. Im zweiten Handlungsfeld steht das *anlaufrobuste Produktionssystem* im Zentrum der Betrachtung. Dies ist notwendig, um auf späte Produktänderungen und Volumenschwankungen adäquat reagieren zu können. Dafür gilt es, ein anlaufgerechtes Risiko- und Störungsmanagement sowie eine Mitarbeiterqualifikation zu entwickeln [Kuh02]. Das *Änderungsmanagement* stellt das dritte Handlungsfeld dar. Mit den zahlreichen Änderungen, die noch in der Phase des Serienanlaufs auftreten, bedarf es einer Verfolgung und Abschätzung der Konsequenzen einer Produkt- bzw. Prozessänderung [Kuh02]. Als viertes Handlungsfeld werden *Kooperations- und Referenzmodelle* für den Anlauf identifiziert. In diesem Handlungsfeld sollen interne und externe Organisationseinheiten und Abteilungen vernetzt werden. Betrachtet wird dabei die Schnittstellengestaltung im gesamten Wertschöpfungsnetzwerk [Kuh02]. Das letzte Handlungsfeld betont das anlaufspezifische, unternehmensübergreifende *Wissensmanagement und die Personalqualifikation*. Als zentraler Stellhebel wird ein schneller Austausch an Informationen im Netzwerk, Mitarbeitermotivation und –qualifikation genannt [Kuh02].

Eine weitere Beschreibung der Handlungsfelder bietet das Aachener Modell zum interdisziplinären Anlaufmanagement. Aufbauend auf KUHN ET AL. werden ähnliche Kernfunktionen wie bereits zuvor betrachtet. Dazu gehören das Lieferanten-, Logistik-, Produktions-, Kosten- und Qualitätsmanagement sowie die Produktentwicklung, der Vertrieb und Marketing [Sch10a]. Eine wesentliche Erweiterung des Modells stellt die Entscheidungsunterstützung im Serienanlauf dar, welche die Kernfunktionen umrahmt (vgl. Bild 2.9).

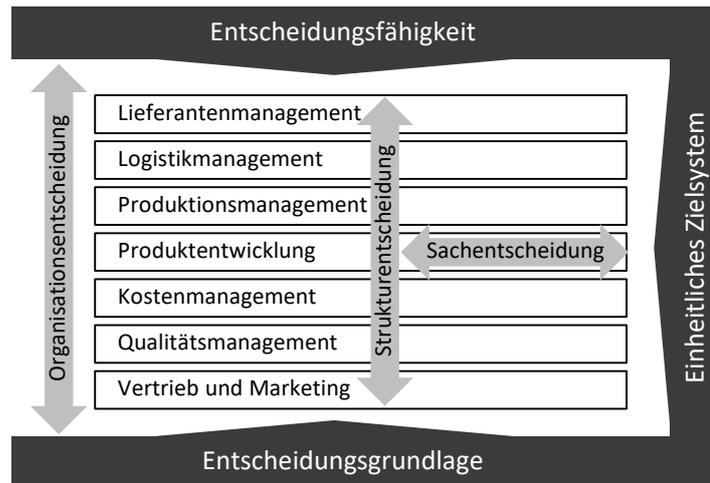


Bild 2.9: Handlungsfelder im Anlaufmanagement nach [Sch10a]

Während des Anlaufs müssen zahlreiche Entscheidungen mit weitreichenden Konsequenzen getroffen werden. Dabei ist es erforderlich, dass die Entscheidungsträger in der Lage sind den Bedarf (Entscheidungsgrundlage) abzuschätzen, die notwendige Erfahrung (Entscheidungsfähigkeit) besitzen und im Sinne der Gesamtziele (einheitliches Zielsystem) entscheiden können [Sch10a]. Innerhalb der Kernfunktionen lassen sich die Entscheidungen weiter in Sach-, Struktur- und Organisationsentscheidungen unterteilen. Organisationsentscheidungen betrachten dabei die Personalzusammensetzung im Anlauf. Strukturentscheidungen betreffen mehrere Kernfunktionen und müssen daher in Koordination mit anderen getroffen werden. Sachentscheidungen stellen die am wenigsten komplexen Entscheidungen dar, da sie innerhalb einer Kernfunktion liegen und wenig Auswirkungen auf die anderen Kernfunktionen besitzen [Sch10a].

## 2.3 Besonderheiten im Serienanlauf der Flugzeugindustrie

Aufgrund der eingangs beschriebenen Notwendigkeit, die Serienanlaufphase als einen kritischen Zeitpunkt im Lebenszyklus zu betrachten und zu unterstützen, erfolgt im folgenden Abschnitt die Beschreibung der besonderen Charakteristik der Kleinserienfertigung in der Flugzeugindustrie. Dazu erfolgt zunächst eine Einordnung und Beschreibung des Produktentstehungsprozess bis zum Markteintritt. Anschließend wird auf die besonderen Randbedingungen im Serienanlauf eingegangen. Für die Fokussierung einer methodischen Unterstützung wird abschließend eine Expertenbefragung hinsichtlich der Probleme im Serienanlauf diskutiert.

### 2.3.1 Produktentstehungsprozess in der Flugzeugindustrie

Die generelle Vorgehensweise im Produktentstehungsprozess ist denen anderer Industrien ähnlich. Die verschiedenen Phasen werden dabei durch Meilensteine voneinander getrennt (vgl. Bild 2.10). Hier wird geprüft, ob alle erforderlichen Leistungen und Komponenten verfügbar sind und ob diese den gewünschten Reifegrad des jeweiligen Meilensteins erreicht haben. Ein Großteil der Entwicklungsarbeit erfolgt nach dem Concurrent Engineering Prinzip und erfordert im Flugzeugbau einen enormen Koordinationsaufwand sowie eine gemeinsame Datenbasis [Fra07]. Trotz des Einsatzes zahlreicher Planungs- und Koordinierungsmetho-

den kommt es zu zahlreichen Iterationen. Änderungen im Entwicklungsprozess lassen sich unter anderem auf das Nichterreichen von Entwicklungszielen, z.B. Gewichtsziele, Qualitätsanforderungen, abweichende Kundenwünsche oder Zulassungskriterien, zurückführen [Alt10].

Bevor die eigentliche Produktentwicklung, wie in Bild 2.10 dargestellt, eines neuen Flugzeugprogrammes startet, findet in der Regel eine Vorentwicklungsphase statt. Diese kann bis zu zehn Jahren andauern. Dabei wird vor allem die Erforschung und Entwicklung verschiedener neuer Technologien vorangetrieben, um den Reifegrad für den Einsatz im Produkt zu erhöhen [Fra03]. So können bereits im Vorfeld Risiken für die eigentliche Entwicklung reduziert und Aussagen über die Leistungsfähigkeit bestimmter Technologien getroffen werden [Fra03]. Mit dem Start der Entwicklung eines neuen Flugzeugprogrammes beginnt die Konzeptphase. Innerhalb dieser werden verschiedene Flugzeugkonzepte erarbeitet und zu einem gewissen Grad ausdefiniert. Einer der ersten entscheidenden Meilensteine ist die anschließende Freigabe des Kundenangebots (Authorisation to Offer – ATO). Zu diesem Zeitpunkt ist der Hersteller in der Lage aufgrund des Reifegrades seinen potentiellen Kunden Aussagen über die Leistungsfähigkeit (z.B. Gewicht, Reichweite, Geschwindigkeit, Kapazität, Betriebskosten) des neuen Produkts zu liefern [Alt10], [Spi01]. Weiterhin erfolgt eine intensive Einbeziehung des Kunden durch das Marketing. Erst nach der Interessensbekundung durch den Kunden und einer ausreichenden Marktperspektive wird mit der Entwicklung fortgefahren oder gegebenenfalls das Konzept angepasst. In der anschließenden Phase erfolgt die finale Definition und Ausarbeitung des neuen Flugzeugkonzeptes. Hierbei werden die Spezifikationen von der Flugzeugebene (TLR - Top Level Requirements) auf die einzelnen Subsysteme, wie beispielsweise Struktur, Kabine und Fahrwerk, heruntergebrochen (Work Breakdown Structure – WBS) [Alt10]. In dieser Phase erfolgen die Erstellung der Lasten- und Pflichtenhefte sowie die Auswahl von Entwicklungslieferanten. Gleichzeitig werden die getroffenen Konzeptentscheidungen eingefroren, damit diese als verbindliche Vorgaben für weitere Entwicklungsaktivitäten angenommen werden können. Die Ausgestaltung der einzelnen Systeme erfolgt mit Hilfe des V-Modells [Joc11]. Bereits vor Beendigung der gesamten Entwicklungstätigkeiten beginnen die Produktion einzelner Komponenten und der Aufbau des Produktionssystems („Pre“-Produktion). Die eigentliche Endmontage des Flugzeuges findet, ähnlich wie in anderen Industrien, erst nach zahlreichen Tests (z.B. statische Tests, Ermüdungstests) statt. Der Beginn der Endmontage (Final Assembly Line – FAL) kann mit dem Phasenabschnitt des Produktionshochlaufs im Bild 2.7 gleichgesetzt werden. Nach abgeschlossenen Flugtests erhält das Flugzeug von den zuständigen Behörden (FAA und EASA) seine Musterzulassung [Alt10]. Im Gegensatz zu anderen Industrien erfolgt kein Einsatz zahlreicher Prototypen im Rahmen einer Vor- und Nullserie. Die ersten Flugzeuge dienen verschiedenen zulassungsrelevanten Tests. In der Regel verbleibt nur das erste Flugzeug zu Testzwecken beim Hersteller.

Die nächsten Flugzeuge werden nicht unmittelbar an den Kunden ausgeliefert, sondern ebenfalls zu Testzwecken (z.B. Kabinentests) verwendet. Nach Abschluss der Tests erfolgt das Erreichen des Meilensteins „Markteintritt“ bzw. „erstes kundenfähiges Produkt“ (Entry-into-Service – EIS). Dabei wird das Flugzeug an den sogenannten Erstkunden (Launching Customer) ausgeliefert. Mit dem erfolgreichen Markteintritt erfolgen die Optimierung der

Produktionsprozesse, die Bearbeitung möglicher Änderungen im Produkt und die Erhöhung der Produktionsrate [Hin10] [Alt10].

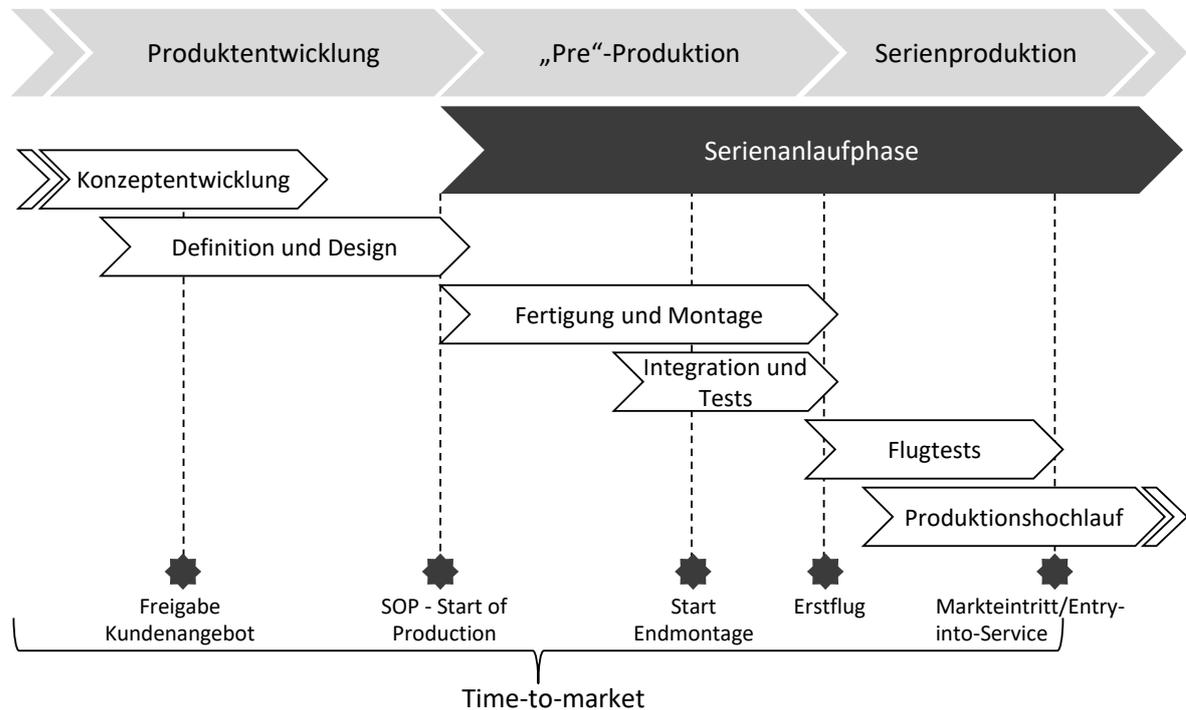


Bild 2.10: Serienanlaufphase in der Flugzeugindustrie in Anlehnung an [Alt10]

Innerhalb der Produktion werden die Fertigungsprinzipien der Baustellenfertigung (Dockfertigung) und der Fließfertigung angewendet [Sch97b], [Fra07]. Dominierendes Fertigungsprinzip in der Flugzeugindustrie ist die Baustellenfertigung [Hin10]. Aufgrund der Größe der Komponenten gibt es feststehende Bauplätze, in denen die Struktur-, Ausrüstungs- und Ausstattungsmontage erfolgen kann. Sind alle Tätigkeiten an einem Bauplatz abgeschlossen, erfolgt der Transport zum nächsten Bauplatz bis zur Fertigstellung des Produkts. Dieses Fertigungsprinzip hat den Nachteil, dass im Zuge des aufwendigen Transports zum nächsten Bauplatz Transportschäden entstehen können. Es bestehen zusätzlich ein hoher Flächenbedarf und Koordinationsaufwände für die Materialbereitstellung [Hin10]. Charakteristisch für dieses Fertigungsprinzip sind geringe Losgrößen und lange Durchlaufzeiten [Löd08]. Um den gestiegenen Anforderungen an die Durchlaufzeiten gerecht zu werden und die Wettbewerbsfähigkeit langfristig zu erhöhen, kommt vermehrt auch die Fließfertigung in der Flugzeugindustrie zum Einsatz [Fra07], [Hin10]. Dabei werden die Arbeitssysteme nicht an einem festen Bauplatz angeordnet, sondern entlang des Materialflusses und der entsprechenden Fertigungsreihenfolge [Löd08]. Mit Hilfe von schienengeführten Fördersystemen werden so beispielsweise die Rumpftonnen zeitlich getaktet an die jeweiligen Arbeitsstationen transportiert. Die wesentlichen Vorteile sind geringere Durchlaufzeiten (Verkürzung der Rüst- und Transportzeiten), erhöhte Stückzahlen, verbesserte Materialbereitstellung sowie ein transparenterer Fertigungsfortschritt [Hin10]. Allerdings kann meist nur eine begrenzte Variantenanzahl des Produktes auf einer Fertigungslinie produziert werden. Weiterhin führt ein stringente Taktung und Reihenfolge sowie eine geringe Kapazitätsflexibilität zu großen Auswirkungen bei Störungen auf nachfolgende und vorgelagerte Arbeitsschritte [Löd08], [Wün09].

### 2.3.2 Randbedingungen im Serienanlauf der Flugzeugindustrie

Für eine Abgrenzung und Vergleich der Flugzeugindustrie mit anderen Branchen kann auf verschiedene Klassifikationen zurückgegriffen werden. Charakteristisch dabei ist die Komplexität des Anlaufprojektes. Eine branchenspezifische Einteilung der Komplexität im Serienanlauf lässt sich in Anlehnung an KUHN ET AL. durchführen. Dabei werden als Unterscheidungskriterien die Neuartigkeit des Produktes und der Prozesse herangezogen [Kuh02]. Ein weiteres zentrales Klassifikationsmerkmal stellt die gewählte Fertigungsart dar, welche durch die Häufigkeit der Leistungswiederholung im Produktionsprozess gekennzeichnet ist [Löd08]. Hinsichtlich der Wiederholhäufigkeit und Stückzahl kann die Flugzeugindustrie als Kleinserienfertigung charakterisiert werden. Ein weiteres branchenspezifisches Kriterium liefert die Länge des Lebenszyklus. Dabei kann die Flugzeugindustrie vom zeitlichen Aspekt am ehesten mit dem des Maschinen- und Anlagenbaus verglichen werden.

In der folgenden Abbildung sind die drei Klassifikationsmerkmale Komplexität, Produktionssystem und Lebenszyklus exemplarisch für die drei Branchen Halbleiter-, Automobil- und Flugzeugindustrie dargestellt (vgl. Bild 2.11). Im weiteren Verlauf des Abschnittes werden weitere Randbedingungen der Serienanlaufphase in der Flugzeugindustrie beschrieben und diskutiert.

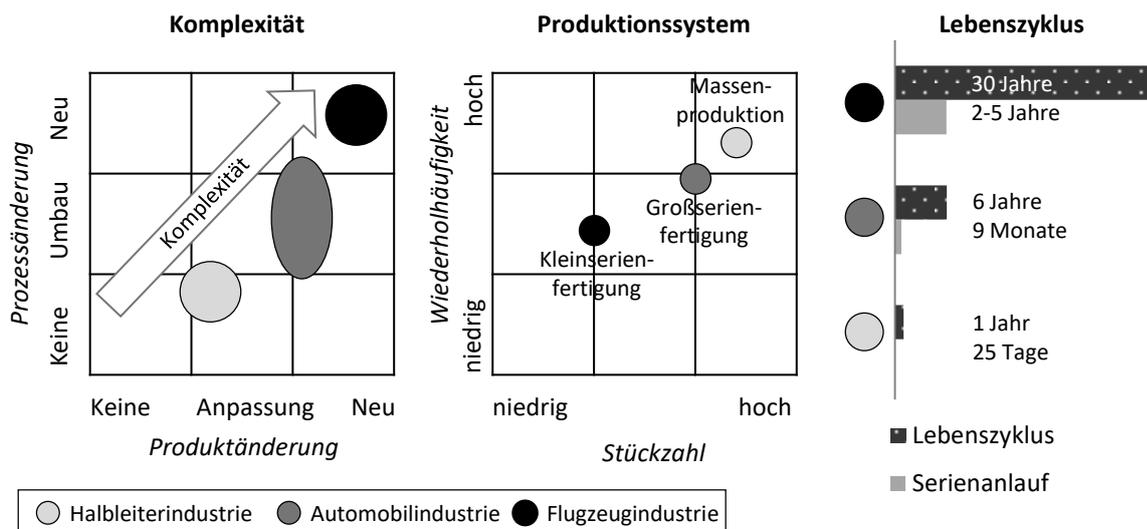


Bild 2.11: Vergleich der verschiedenen Industrien mit der Flugzeugindustrie

Zur Steigerung von Wettbewerbsvorteilen und der Marktnachfrage wird in neuen Produkten ein gewisser Innovationsgrad vorausgesetzt [Spi01], [Jen08]. Technologische Weiterentwicklungen und neue Kundenbedürfnisse führen zwangsweise aufgrund der großen Zeitspanne zwischen den Serienanläufen zu einem hohen Neuheitsgrad der Technologien im Vergleich zum Vorgängerprodukt und somit zu einer steigenden Komplexität im Anlaufprojekt. Aufgrund der Länge der Lebenszyklen von modernen Verkehrsflugzeugen (bis zu 30 Jahre) wird im Vergleich zu anderen Industrien deutlich, dass mit weitreichenden Änderungen sowohl in der Prozesstechnologie als auch der Produktarchitektur für eine neue Produktgeneration gerechnet werden kann [Sch97b]. Erschwerend kommt hinzu, dass aufgrund der langen Lebenszyklen die Personalkontinuität zu mangelnder Erfahrung im Umgang mit unvorhersehbaren Problemen und Störungen im Serienanlauf führen kann. Dies wird durch den Einsatz innovativer Technologien und Materialien verstärkt.

Ein weiterer Aspekt ist die Dauer der Entwicklungszeit bis hin zur Markteinführung. Bis zum Markteintritt können in der Regel vier bis acht Jahre vergehen [Spi01]. Durch Verzögerungen und Problemen innerhalb des Serienanlaufs kann es zu einer Verschiebung des Markteintritts um mehrere Jahren kommen [Fig09], [Har11], [Kia12], [Sod12a]. Verzögerungen führen somit zwangsweise zu einer Verschiebung der Nutzungs- bzw. Marktphase. Aufgrund der kapitalintensiven Produkte hat dies trotz langen Lebenszyklus einen erheblichen wirtschaftlichen Einfluss auf den Break-Even Punkt des Produktes. Der im Bild 2.12 dargestellte typische Kostenverlauf verdeutlicht die Bedeutung einer möglichst effizienten Markteinführung [Zab85]. Bereits geringe Verzögerungen im Serienanlauf haben hohe finanzielle Auswirkungen auf das Unternehmen, da bereits mit Eintritt in die Produktionsphase viel Kapital in das Produktionssystem und die Teilefertigung investiert wurde. Selbst wenn nach Markteinführung die Produktionsraten gesteigert werden, kann dies nicht den entgangenen Gewinn und die zusätzlichen Kosten kompensieren [Spi01]. Hinzu kommen die enormen Entwicklungskosten eines neuen Flugzeuges. Diese sind in diesem Umfang mit keiner anderen Industrie vergleichbar und stellen ein hohes finanzielles Risiko dar [Alt10]. Aktuelle Entwicklungen in der Flugzeugindustrie verdeutlichen die finanzielle Herausforderung. Die Entwicklungskosten des Flugzeugtyps A380 von Airbus und der 787 von Boeing belaufen sich nach Experteneinschätzung auf zweistellige Milliardenbeträge [Alt10], [Pri04], [Gat11b].

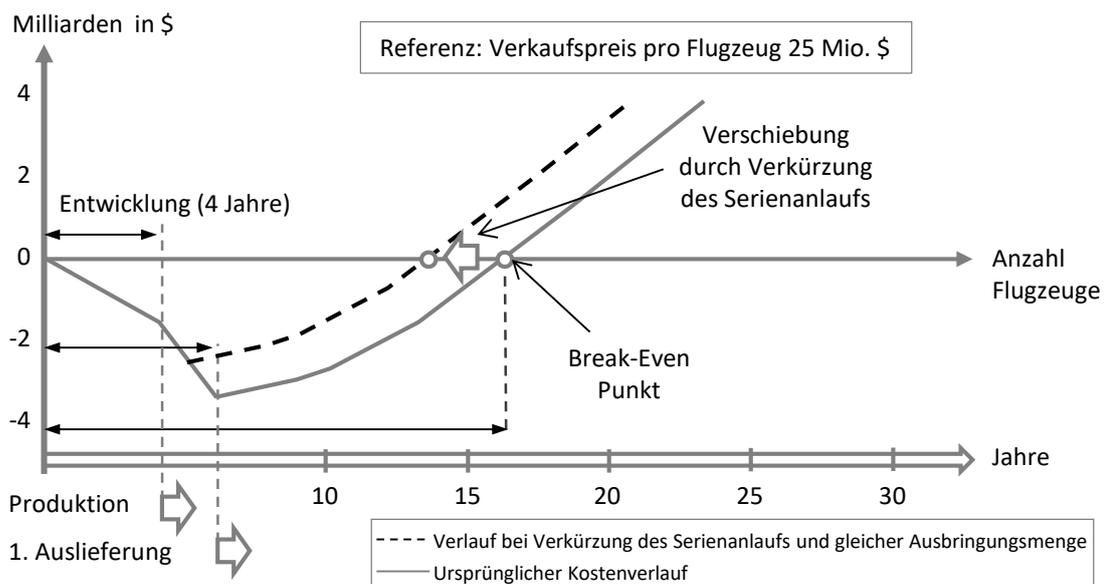


Bild 2.12: Qualitativer Kostenverlauf einer Flugzeugentwicklung in Anlehnung an [Zab85]

Weiterhin stellt die niedrige Entwicklungsfrequenz einen wesentlichen Unterschied zu anderen Industrien dar. Lediglich alle fünf bis acht Jahre erfolgt in der Flugzeugindustrie eine Neuentwicklung eines Passagierflugzeuges [Alt10]. Dagegen findet in der Automobilindustrie nach erfolgreicher Produkteinführung bereits direkt die Entwicklung neuer Derivate oder Nachfolgeprodukte statt. Daher kommt es in der Flugzeugindustrie lediglich zu ein bis zwei Serienanläufen innerhalb eines Jahrzehnts, was dazu führt, dass der Serienanlauf einmaligen Projektcharakter besitzt. In anderen Industrien stellt der Serienanlauf bereits einen festen Bestandteil des Tagesgeschäftes dar [Zim06]. Die Folge ist eine verstärkte Investition in Aus-

bildung und Training aller Beteiligten, da aufgrund der geringen Frequenz von Entwicklungs- und Anlaufprojekten die Erfahrungen aus der Vergangenheit fehlen [Alt10].

Produkte der Flugzeugindustrie sind im Vergleich zur Automobil- oder Elektroindustrie wesentlich komplexer, allein aufgrund der Dimensionen, Anzahl und Vielfalt an Produktkomponenten. Zusätzlich müssen diese höchsten Sicherheits- und Zuverlässigkeitsanforderungen genügen [Spi01]. Zur Reduzierung der Komplexität wird in anderen Industrien verstärkt auf produktgestalterische Maßnahmen, wie den Einsatz von Plattformen, Baukästen oder Modulbauweise gesetzt. So kann eine Reduzierung der Entwicklungsaufwände und –zeiten mit Hilfe von Übernahmeteilen realisiert werden [Car06]. Aufgrund der verschiedenen Anforderungen an die Einsatzszenarien (Kurz- oder Langstrecke) der Produkte in der Flugzeugindustrie ist die Verwendung von Übernahmeteilen nur bedingt möglich. Weiterhin schränken eine Integralbauweise und hohe technische Anforderungen an die Produktarchitektur den Einsatz von Plattformkonzepten stark ein [Alt10].

Eine weitere maßgebliche Randbedingung für die Leistungsfähigkeit in der Serienanlaufphase ist der Umgang mit späten Änderungen innerhalb der Produktentwicklung. Diese notwendigen Änderungen (Engineering Change Orders - ECO) an Komponenten oder Zeichnungen, welche bereits freigegeben wurden, erzeugen zusätzlichen Aufwand bzw. Kosten und treten häufig in der Phase der Produktmontage auf [Loc99]. Ursachen für späte Änderungen finden sich beispielsweise in der zu geringen Produkt- und Prozessreife, fehlendes Erfahrungswissen mit neuen Materialien, zusätzlichen Kundenwünschen beim Customizing oder spätes Auftreten von Störungen durch die fehlende Vor- und Nullserie [Els13c]. Ein wesentlicher Treiber von Änderungen in der Flugzeugindustrie stellt das Gewicht der Produktkomponenten dar. Dies führt bei der Gewichtsreduzierung innerhalb der Entwicklung zu zahlreichen Iterationen. Der Stellenwert des Leichtbaus ist sehr hoch, da das Gewicht entscheidend die Produktcharakteristik und die späteren Betriebskosten beeinflusst [Alt10]. Dies führt zu längeren Durchlaufzeiten und somit zu Verzögerungen im Serienanlauf.

Bei der Betrachtung der Zeitspanne zwischen Produktionsstart bis zum Markteintritt ist ein wesentlicher Unterschied zu anderen Industrien, wie z.B. der Großserienfertigung in der Automobilindustrie, sichtbar. Anders als in Bild 2.7 dargestellt, fehlt in der Vorgehensweise eine Vor- und Nullserie (vgl. Bild 2.10). Prototypen, die innerhalb der Vor- und Nullserie genutzt werden, um Fehler im Produkt und Produktionsprozess zu identifizieren, werden lediglich durch eine geringe Anzahl an Testflugzeugen repräsentiert [Spi01], [Kam12]. Dies ist auf die sehr hohen Entwicklungs- und Stückkosten der Produkte zurückzuführen [Els11]. Zur Absicherung der Produktqualität stehen im Rahmen der Entwicklung dagegen zahlreiche Tests und Simulationen mit Hilfe von digitalen Prototypen (Digital Mock-Up – DMU) im Vordergrund [Alt10]. Diese allein sind allerdings nicht ausreichend, um mögliche Zielabweichungen im Entwicklungsprojekt zu vermeiden. Aus diesem Grund ist der Einsatz vereinfachter Prototypen bzw. nicht flugfähiger Versuchsmodelle (Physical Mock-up - PMU) charakteristisch [Alt10].

Ähnlich wie in der Automobilindustrie stellt das Flugzeug ein stark kundenindividuelles Produkt dar. Die Variantenvielfalt innerhalb einer Produktfamilie in der Flugzeugindustrie wird im Wesentlichen in der Kabine erzeugt. Anders als in anderen Industrien ist die Kundenindi-

vidualisierung (Customizing) Bestandteil des Herstellungsprozesses (ETO - Engineer-to-Order). Eine Kundendifferenzierung der Produkte findet bereits sehr früh in der Auftragsabwicklung statt. Dies ist auf die enge Verbindung zwischen Primärstruktur (Flugzeugrumpf) und den Kabinenkomponenten zurückzuführen [Alt10], [Spi01]. Hinsichtlich des Serienanlaufs führt dies bereits zu Beginn der Produktion zu einer hohen Varianz im Produktionsprozess. Die Folgen sind eine geringe Wiederholhäufigkeit von Tätigkeiten sowie geringe Lernkurveneffekte. Selbst bei größeren Bestellungen durch den Kunden ist unter Umständen die kundenindividuelle Konfiguration von Flugzeug zu Flugzeug unterschiedlich. Dieser Effekt wird durch die geringen Stückzahlen einer Kleinserienfertigung und der geringen Anzahl von Prototypen verstärkt. Die Lernkurveneffekte sind essentiell, um einen effizienten Produktionshochlauf zu gewährleisten, Durchlaufzeiten zu verkürzen und langfristig die hohen Stückkosten in der Produktion zu reduzieren [Spi01], [Ter01b].

Um die bereits beschriebenen hohen Entwicklungskosten und die damit verbundenen Risiken zu minimieren, wird auch wie in anderen Industrien verstärkt auf Systemlieferanten und sogenannte Risk-Sharing Partner (vgl. Bild 2.13) gesetzt. [Sod12a]. Dadurch entsteht neben den bereits genannten Herausforderungen eine zusätzliche Netzwerkkomplexität. Neben einer dezentralen Entwicklung und Fertigung im Unternehmen muss zusätzlich noch eine Koordination der weltweit verteilten Entwicklungs- und Zulieferbetriebe sichergestellt werden [Alt10].

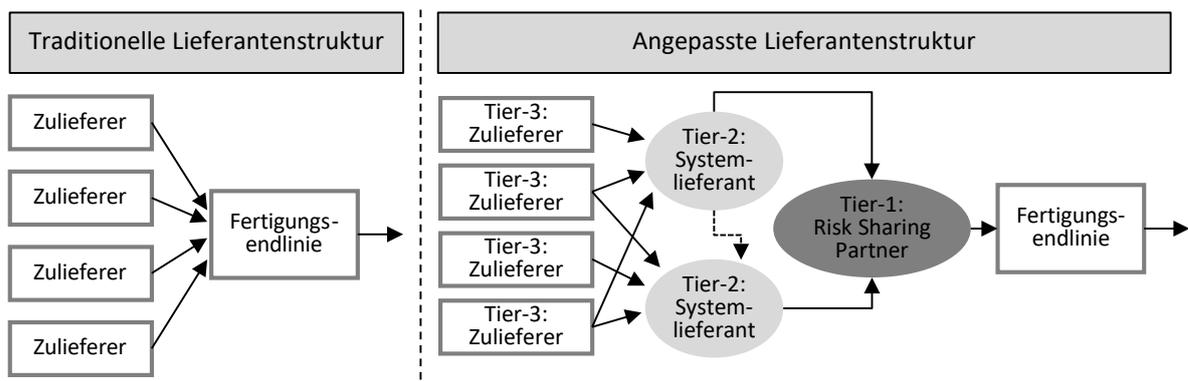


Bild 2.13: Beispiel der Lieferantenstruktur in der Luftfahrtindustrie nach [Sod12a]

Ähnlich wie in anderen Industrien findet auch bei den Flugzeugherstellern eine Konzentration auf die Kernkompetenzen statt. So wird sich weitestgehend als OEM (Original Equipment Manufacturer) auf Integration und Zusammenbau der verschiedenen Systeme, Komponenten und Teile fokussiert. Durch die Reduzierung der Fertigungstiefe tritt die Planung und Steuerung der fremden Herstellungsaktivitäten in den Vordergrund [Hin10]. Die Einflussnahme durch den OEM sinkt, da Unteraufträge des Tier-1 Lieferanten nicht mehr im Verantwortungsbereich des OEMs stehen. Probleme, die aufgrund der Komplexität und fehlender Erfahrung im Flugzeugbau bei Zulieferern entstehen können, führen zu zusätzlichen Kosten (Nachbearbeitung, Transport) und zur Erhöhung der Durchlaufzeiten [Sod12a]. Kompetenzen zur Entwicklung und Fertigung neuer Komponenten mit neuen Technologien und Materialien müssen erst aufgebaut werden [Sod12a]. Zusätzlich besteht die Gefahr, dass Entwicklungswissen aus dem Unternehmen abwandert [Har01], [Fig09]. Eine reine Kosten-

betrachtung ist daher bei der Verlagerung von Wertschöpfungsanteilen an Zulieferbetriebe in der Flugzeugindustrie nicht immer sinnvoll [Har01], [Gat11a].

### 2.3.3 Explorative Untersuchung des Serienanlaufs in der Flugzeugindustrie

Basierend auf der in den vorangegangenen Abschnitten diskutierten besonderen Randbedingungen der Luftfahrtindustrie wurde eine Expertenbefragung innerhalb eines Serienanlaufprojektes eines internationalen Flugzeugherstellers durchgeführt. Diese hatte zum Ziel, das Themenfeld Serienanlauf aus Sicht der Praxis zu erfassen und die identifizierten Erkenntnisse und Randbedingungen zu verifizieren. Des Weiteren wurde die Relevanz des Forschungsfeldes Serienanlauf in der Praxis untersucht. Die Ergebnisse dieser qualitativ empirischen Untersuchung dienen der Ergänzung der bereits in anderen Branchen durchgeführten empirischen Studien und unterstützen die Methodenentwicklung in den darauffolgenden Kapiteln.

Generell kann in der empirischen Forschung zwischen explorativ, deskriptiv und explanativ unterschieden werden. Die explorativen Studien dienen der Aufstellung von Hypothesen und der Schärfung des Forschungsfokus. Dagegen beantworten deskriptive Studien Fragen zur Häufigkeit eines auftretenden Phänomens. Die explanativen Studien verfolgen die Prüfung von Hypothesen [Ble09], [Yin09]. Die Studien können weiter in qualitative und quantitative Studien differenziert werden. Mit Hilfe quantitativer Studien wird das Ziel verfolgt, eine repräsentative Grundgesamtheit mittels statistischer Erhebungen abzubilden und somit Hypothesen und Phänomene zu erklären. Dies setzt allerdings einen größeren Stichprobenumfang voraus. Eingesetzte Methoden dabei sind unter anderem Fragebögen, Experimente oder Beobachtungen [Ble09]. Qualitative Studien erlauben die Identifizierung von Wirkzusammenhängen und somit die Fokussierung auf bestimmte Phänomene im Forschungsumfeld [Ble09]. Häufig eingesetzte Methoden sind Interviews, Beobachtungen und schriftliche Dokumente. Für Forschungsbereiche, die durch eine hohe Interdisziplinarität und somit durch einen hohen Forschungs- und Verständnisbedarf gekennzeichnet sind, eignet sich eine explorative-qualitative Untersuchung [Kru09]. Eine häufig eingesetzte Methode bei qualitativen Untersuchungen ist die Methode der Interviews. Es gibt eine Vielzahl verschiedener Interviewmöglichkeiten, z.B. Einzel-, Gruppen- oder Leitfadeninterviews [Ble09]. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte qualitative Untersuchung basiert auf einem strukturierten Interviewleitfaden, mit dem die Expertengespräche durchgeführt wurden (vgl. Anhang B). Die Expertenbefragung ermöglicht einen schnellen und direkten Zugang zur Thematik und kann ersatzweise für eine Umfrage mit zahlreichen Akteuren in dem Umfeld eingesetzt werden [Bog09], [Ble09]. Ziel ist es, dass Erfahrungswissen der Experten hinsichtlich der Problemstellung bzw. Phänomene in der Praxis zu erheben [Kru09], [Bog09].

Befragt wurden Experten eines führenden Unternehmens der Flugzeugindustrie über einen Zeitraum von einem Jahr. Entscheidend für die Auswahl der Experten ist ihre funktionelle Beteiligung am Serienanlauf in der Praxis. Die verschiedenen Arbeitsbereiche der Experten sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Dabei wurden 8 Experten aus insgesamt 4 verschiedenen Abteilungen in mehreren Interviewrunden befragt. Die Betrachtung verschiedener Interessensgruppen im Serienanlauf soll einer einseitigen Interpretation oder Verallgemeinerung vorbeugen und ein möglichst großes Spektrum des interdisziplinären Themenfel-

des abdecken. Alle befragten Experten tragen personelle Verantwortung und besitzen Entscheidungs- und Gestaltungskompetenz in ihren jeweiligen Fachbereichen.

	Abteilung	Beschreibung
1	Programmplanung	Verantwortlichkeit für das Projektcontrolling und die -koordination
2	Entwicklung/Design-Quality	Überwachung und Prüfung der internen und externen Qualität der Entwicklung sowie den erforderlichen Reifegrad
3	Fertigungsplanung/Arbeitsvorbereitung	Steuerung der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Fertigung
4	Einkauf/Beschaffung	sicherstellen der Lieferantenqualität, Lieferantenbewertung und -audits

Bild 2.14: Übersicht der Abteilungen der Expertenbefragung

Die Auswertung orientiert sich an den Themenbereichen des Leitfadens. Zunächst erfolgte eine Sortierung der Aussagen und somit eine inhaltliche Strukturierung je Themenbereich. Wiederholungen und gleiche Aussagen wurden zusammengefasst. Im Fokus der folgenden Beschreibung liegen die identifizierten Probleme und die Bestätigung der besonderen Randbedingungen in der Flugzeugindustrie aus Sicht der Praxis.

Die Untersuchung bestätigte die in Kapitel 2.3.2 skizzierten Randbedingungen in der Flugzeugindustrie. Aufgrund der langen Lebenszyklen kommt es nur zu wenigen Serienanläufen, die im Laufe eines Arbeitslebens begleitet werden. Dies führt dazu, dass Erfahrungswissen meist nur unzureichend zur Verfügung steht. Fehlende Erfahrungen führen zu einer geringen Entscheidungsqualität bei auftretenden Problemen. Dies hat, zusätzlich zu der bereits erwähnten hohen Komplexität und dem hohen Innovationsgrad der Produkte, negative Auswirkungen auf die Zielkriterien im Serienanlauf.

Eine systematische Einbindung des Serienanlaufs auf organisatorischer Ebene in den Produktentstehungsprozess findet mit Hilfe von zuvor definierten Meilensteinen statt. Allerdings bestehen große Unterschiede zwischen den einzelnen Flugzeugfamilien und damit auch zwischen den Produktionsanläufen. Dies führt zwangsweise zu einer spezifischen Projektcharakteristik und hat somit einen geringen Einsatz von Best-Practices und Lessons-Learned zur Folge. Übereinstimmend betonten alle Interviewpartner die große Bedeutung von Informationstransparenz und die Durchgängigkeit der IT-Struktur innerhalb des Unternehmens. Nur so kann eine optimale Abstimmung sowohl zwischen den einzelnen Fachbereichen als auch zu Lieferanten sichergestellt werden. Insellösungen einzelner Bereiche führen zu Mehrarbeit. Daher wurde ein neues Tool zur Koordination und Planung der Anlaufaktivitäten geplant. Aufgrund der Komplexität und zahlreichen Prozessbeteiligten ist allerdings eine stetige Verbesserung und langfristige Etablierung notwendig.

Aufgrund der dezentralen Fertigung des Produktes an verschiedenen Produktionsstandorten finden während des Serienanlaufs mehrere Verantwortungsübergänge zwischen Entwicklung und Fertigung statt. Der Verantwortungsübergang wird über einen gewissen Zeitraum durch beide Bereiche (Entwicklung und Fertigung) unterstützt, um somit einen möglichst störungsfreien Übergang zu realisieren. Dies setzt allerdings eine effiziente und transparente Planung

voraus. Weiterhin muss eine frühzeitige Einbindung der Fertigung erfolgen, um aufgrund der fehlenden Vor- und Nullserie ausreichend Zeit für Absicherungs- und Vorbereitungsmaßnahmen zu haben. Innerhalb vergangener Serienanläufe war dieser Abschnitt im Produktentstehungsprozess durch einen hohen Aufwand an Abstimmung und Synchronisation gekennzeichnet.

Die Interviewpartner aus den Bereichen Arbeitsvorbereitung, Fertigung und der Entwicklung beschrieben die späten Änderungen während des Serienanlaufs als eine der treibenden Störgrößen, welche zu Zeitverzögerungen führen können. Dies hat aus den verschiedenen Perspektiven teils unterschiedliche Ursachen. Komponenten mit unzureichendem Reifegrad oder fehlenden/fehlerhaften Bauunterlagen führen in der Fertigung zu Änderungsaufträgen. Die so aus der Fertigung zurückfließenden Änderungen, führen zu einem Mehraufwand in der Entwicklung. Gleichzeitig entstehen durch z.B. nicht erreichte Gewichtsziele oder Performancevorgaben Änderungen, die ausgehend von der Entwicklung noch spät im Prozess auf die Fertigung einwirken können.

Ein weiterer wesentlicher Punkt in der Befragung stellt die Lieferantenstruktur im Serienanlauf dar. Aufgrund der sinkenden Entwicklungs- und Fertigungstiefe innerhalb der Branche, (vgl. Kapitel 2.3.2) gewinnt die Schnittstelle zum Zulieferer immer mehr an Bedeutung. Auftretende Störungen und Probleme im Zusammenhang mit Zulieferern verursachen zusätzlichen Zeit- und Koordinationsaufwände. Aufgrund von vertraglichen Rahmenbedingungen müssen für die Beanstandung fehlerhafter Bauteile luftfahrtspezifische Regularien eingehalten werden, was dazu führt, dass die Behebung zu langen Durchlaufzeiten führen kann. Eine konsequentere Einbindung der Lieferanten in die Planung und die IT-Systeme wird von allen Interviewpartnern als wichtig erachtet. Aufgrund vertraglicher Randbedingungen konnte dies allerdings noch nicht im gewünschten Umfang realisiert werden. Weitere Einflussgrößen stellen die Qualifikation und Erfahrung der Lieferanten dar. Innerhalb der Befragung wurden verschiedene Methoden von den Teilnehmern genannt (Customer Team, Lieferantenaudit, Eskalationsstufen, Maßnahmenreport), die Probleme in dem Bereich mindern sollen. Nichts desto trotz stellt die Umsetzung gerade für neue Technologien weiterhin große Herausforderung im Serienanlauf dar.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass alle befragten Experten eine gestiegene Relevanz der Serienanlaufphase in der Praxis wahrnehmen. Die qualitativen Aussagen der Untersuchung bestätigen die bereits skizzierten Randbedingungen aus verschiedenen Perspektiven der beteiligten Abteilungen. Probleme lassen sich auf fehlendes Erfahrungswissen mit neuen Technologien, hoher Netzwerkkomplexität, hohem Aufwand in Organisation und Planung sowie späten Änderungen zurückführen. Eine systematische Unterstützung der frühzeitigen Berücksichtigung der Serienanlaufphase wird von allen Befragten als wichtig angesehen, um so rechtzeitig kritische Bereiche zu identifizieren und Gegenmaßnahmen einleiten zu können. Abschließend sind die herausgearbeiteten speziellen Randbedingungen in Flugzeugindustrie aus Kapitel 2 zusammenfassend dargestellt (vgl. Bild 2.15). Dabei lassen sich die besonderen Randbedingungen in die fünf allgemeinen Einflussfaktoren Produkt- und Prozesskomplexität, Neuheitsgrad, Supply Chain Netzwerk und späte Änderungen identifizieren.

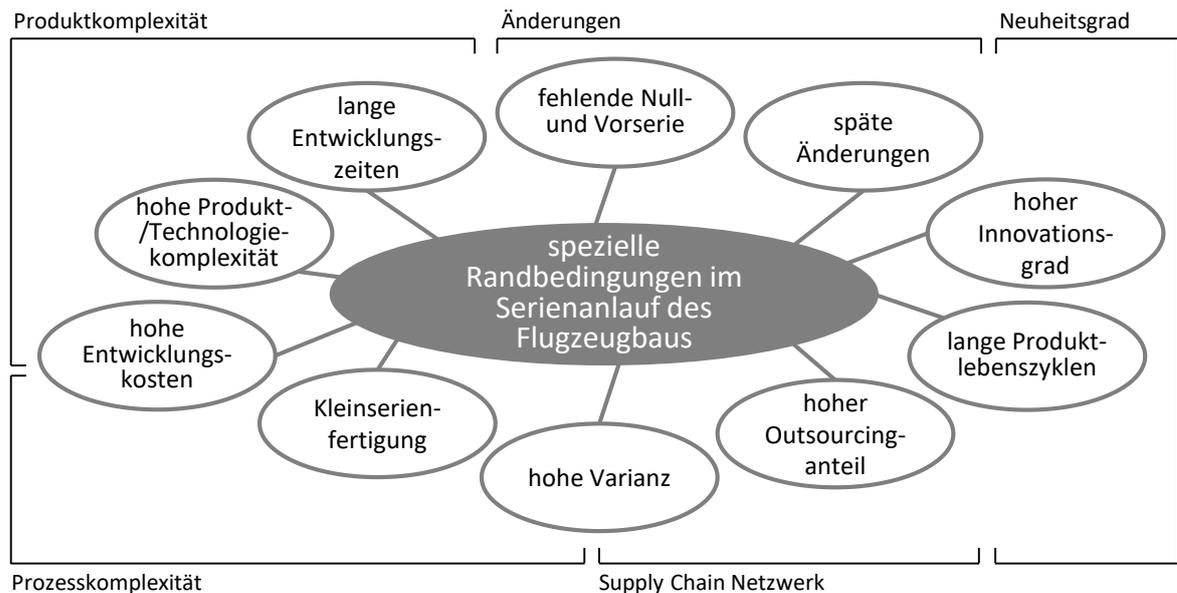


Bild 2.15: Übersicht der Randbedingungen im Serienanlauf der Flugzeugindustrie

Im Zusammenspiel ihres Auftretens können diese Faktoren zu wesentlichen Problemen im Serienanlauf führen und verdeutlichen die besondere Charakteristik komplexer Kleinserienproduktion im Flugzeugbau. Eine zielgerichtete positive Beeinflussung der Randbedingungen setzt eine Identifizierung und Bewertung hinsichtlich potenzieller Anlauftrisiken voraus.

## 2.4 Anforderungen an die Abschätzung von Anlauftrisiken im Flugzeugbau

Wie in den vorangegangenen Abschnitten verdeutlicht, stellt die Serienanlaufphase einen entscheidenden Erfolgsfaktor für produzierende Unternehmen im Flugzeugbau dar. Insbesondere eine stärkere Fokussierung der Produktentwicklung auf die Übergangsphase in die Produktion ermöglicht eine effiziente Beeinflussung der Zielgrößen des Serienanlaufs. Die Berücksichtigung möglicher Risiken durch neuer Produktarchitekturen und Technologien muss gerade für komplexe Produkte, wie im Flugzeugbau, bereits in der Entwicklung erfolgen. Eine frühzeitige Analyse und Bewertung möglicher Risiken soll helfen, die Beherrschung und Verkürzung des Serienanlaufs zu fördern. Ein methodischer Ansatz zur Abschätzung und Bewertung der Anlauftrisiken muss vielfältige Anforderungen erfüllen. Die Anforderungen werden im Folgenden genauer beschrieben.

**Anwendbarkeit in der frühen Entwicklungsphase:** Die zahlreichen Änderungen, die zum Teil erst in späten Phasen des Serienanlaufs auftreten und enorme Aufwände nach sich ziehen, werden bereits in frühen Phasen verursacht. Um den Handlungsspielraum zur Planung und Steuerung des Serienanlaufs möglichst groß zu halten, sollte eine Berücksichtigung bereits in frühen Entwicklungsphasen ermöglicht werden. Eine Abschätzung und systematische Unterstützung des Serienanlaufs muss aufgrund von fehlenden Informationen in der Lage sein, mit unscharfen Daten umzugehen und Handlungsempfehlungen auch unter Unsicherheit bereitzustellen.

**Anwendbarkeit bei komplexen Kleinserienprodukten:** Besondere Anforderungen an die Methode stellt dabei die geringen Wiederholhäufigkeiten in der Entwicklung und im Serienanlauf im Flugzeugbau dar. Lernkurveneffekte und Erfahrungen können wegen der geringen

Anzahl der Wiederholungen nicht erzielt werden. Lange Entwicklungszeiten führen zusätzlich dazu, dass Entscheidungen, die Einfluss auf den unmittelbaren Produktionshochlauf haben, erst spät im Prozess sichtbar werden. Für den methodischen Ansatz ergibt sich daraus die Anforderung, dass er in der Lage sein muss, komplexe Zusammenhänge und Auswirkungen entwicklungsbegleitend sichtbar zu machen.

**Berücksichtigung der Produktgestaltung hinsichtlich des Serienanlaufs:** Die Produktgestaltung hat einen entscheidenden Einfluss auf den Serienanlauf im Flugzeugbau. Im Gegensatz zu anderen Industrien, findet selbst bei einem Generationswechsel nicht nur eine Anpassung der Produktionsprozesse statt, sondern stets auch die der Produktstruktur sowie der verwendeten Materialien und Technologien. Das Ergebnis der Produktgestaltung hat maßgeblichen Einfluss auf die spätere Montage und Produktionsprozesse und somit auch im Serienanlauf.

**Berücksichtigung von Einflussfaktoren auf den Serienanlauf:** Der Leistungsfähigkeit des Serienanlaufs, das Produkt möglichst effizient von der Entwicklung in die Produktion zu überführen, ist von zahlreichen verschiedenen Einflussfaktoren abhängig. Eine gezielte Maßnahmenauswahl und kontinuierliche Verbesserung ist nur möglich, wenn diese bekannt sind. Daher ist eine wesentliche Anforderung an die Methode, die Einflussfaktoren systematisch zu identifizieren und deren Zusammenhänge und Auswirkungen auf die Zielgrößen im Serienanlauf aufzuzeigen.

**Abbildung einer risikoorientierten Betrachtungsweise im Serienanlauf:** Eine Abweichung von den Zielgrößen des Serienanlaufs beinhaltet für das Unternehmen ein technisches, finanzielles und organisatorisches Risiko. Die Methode muss daher die Zusammenhänge zwischen den Zielgrößen im Serienanlauf und den entsprechenden Risiken, die zu einer negativen Beeinflussung dieser führen, aufzeigen.

**Bereitstellung von Handlungsmaßnahmen:** Ein wesentlicher Bestandteil der Absicherung und risikoorientierten Betrachtungsweise im Serienanlauf ist die Möglichkeit einer positiven Beeinflussung der Zielgrößen. Zur frühzeitigen Beeinflussung muss die Methode entsprechende Handlungsmaßnahmen bereitstellen. Voraussetzung ist entweder die unmittelbare Kenntnis über die Auswirkungen der Maßnahmen auf die entsprechende Zielgröße oder auf die Einflussfaktoren.

**Bewertung innerhalb der Produktentstehungsphase:** Aufgrund der langen Entwicklungszeiten im Flugzeugbau ist es erforderlich bereits in der Produktentstehungsphase eine Bewertung hinsichtlich der Einflussfaktoren auf die Zielgrößen des Serienanlaufs durchführen zu können. Dies setzt voraus, dass eine Bereitstellung von Informationen und Vergleichbarkeit innerhalb der Bewertung in der frühen Produktentstehungsphase ermöglicht wird. Dabei muss die Methode eine ausreichende Aussagekraft der Bewertung erreichen, auf Basis der, zum Zeitpunkt der Betrachtung, zur Verfügung stehenden Informationen.

**Nachvollziehbarkeit und Dokumentation:** Die Methode muss mit Hilfe einer strukturierten Vorgehensweise und einfachen Darstellungsweise, dem Anwender ermöglichen die Entscheidungen und Zwischenergebnisse nachzuvollziehen und zu reproduzieren. Dies setzt eine ganzheitliche Dokumentation voraus.

### 3 Stand der Technik

In diesem Kapitel wird aufbauend auf der Problemanalyse aus dem vorangegangenen Kapitel der Stand der Technik dargestellt. Dafür werden die relevanten methodischen Ansätze in der Literatur analysiert und voneinander abgegrenzt. Die zu betrachtenden Themengebiete zur Beantwortung der aufgestellten Anforderungen sind vereinfacht als sogenanntes ARC-Diagramm (vgl. [Ble09]) in Bild 3.1 dargestellt.

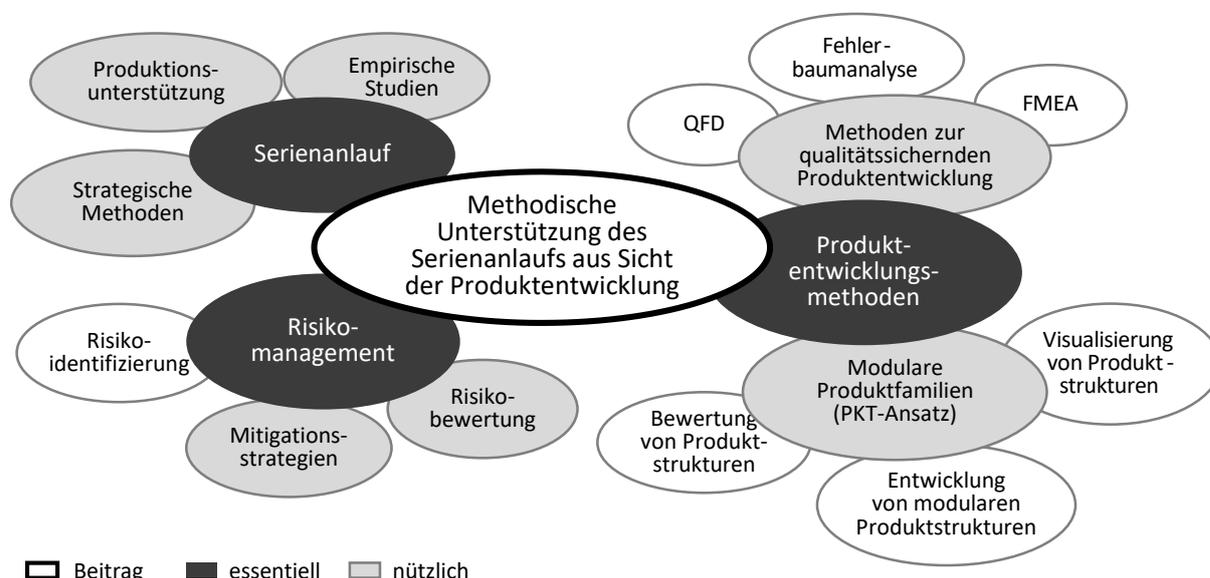


Bild 3.1: Rechercherichtungen zur Entwicklung des methodischen Ansatzes

Zunächst erfolgt die Betrachtung des Serienanlaufs als Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktion. Es wird dabei auf die Forschungsrichtungen und spezifische methodische Ansätze des Serienanlaufs eingegangen. Anschließend werden die Grundlagen und verschiedenen methodischen Ansätze der Risikobewertung in der Produktentwicklung diskutiert. Des Weiteren werden produkt- und prozessbegleitende Bewertungsansätze in der Produktentwicklung betrachtet. Am Ende jedes Abschnittes erfolgt die Bewertung der vorgestellten methodischen Ansätze hinsichtlich der zuvor aufgestellten Anforderungen aus Kapitel 2.4. Abschließend wird auf Basis dieser Bewertung der weitere Forschungsbedarfs für die vorliegende Arbeit abgeleitet.

#### 3.1 Serienanlauf – Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktion

Die verschiedenen Handlungsfelder (vgl. Kapitel 2.2.3) verdeutlichen den interdisziplinären Charakter der Serienanlaufphase und deren besondere Rolle im Produktentstehungsprozess. Im weiteren Verlauf der Untersuchung sollen daher zunächst die verschiedenen Forschungs-

richtungen mit Hilfe einer Kozitationsanalyse aufgezeigt werden. Anschließend erfolgt eine Überprüfung der zuvor aufgestellten Anforderungen anhand von spezifischen Ansätzen zur Unterstützung der Serienanlaufphase.

### 3.1.1 Untersuchung des Forschungsfeldes mit Hilfe der Kozitationsanalyse

Aufgrund der bereits beschriebenen hohen Interdisziplinarität der Serienanlaufphase und der Bedeutung im Produktlebenszyklus liegt eine große Vielfalt an verschiedenen wissenschaftlichen Beiträgen vor. Im folgenden Abschnitt wird zunächst untersucht, welche Forschungsdisziplinen sich im Zusammenhang mit dem Serienanlauf neuer Produkte herausgebildet haben. Da zu erwarten ist, dass sich das Fachgebiet aufgrund der Schnittstellenfunktion zwischen Entwicklung und Produktion über zahlreiche Fachdisziplinen erstreckt, wird auf eine bibliometrische Methode zurückgegriffen. Dies erlaubt die Analyse wissenschaftlicher Strukturen innerhalb zahlreicher Veröffentlichungen ohne zunächst den Inhalt der Publikation zu kennen. In der vorliegenden Arbeit findet die Kozitationsanalyse ihre Anwendung, da diese darauf ausgerichtet ist, die Identifikation von Forschungsrichtungen zu unterstützen [Hav09]. Für die folgende Untersuchung werden ausschließlich begutachtete Journalbeiträge berücksichtigt, da diese eine hohe Qualität besitzen und innerhalb der Forschungsgemeinschaft als etabliertes Wissen zu dem untersuchten Thema angesehen werden können.

Mit Hilfe der Kozitationsanalyse wird versucht, möglichst objektiv eine große Anzahl an Publikationen zu clustern und deren Beziehungen zueinander innerhalb eines Netzwerkes aufzuzeigen [Sma73]. Eine Kozitation zwischen zwei Publikationen liegt vor, wenn sie gemeinsam innerhalb des Literaturverzeichnisses einer dritten Publikation aufgeführt werden. Eine häufige gemeinsame Zitation kann als Maß für die inhaltliche Nähe der beiden Publikationen interpretiert werden. Diese können anschließend im Kozitationsnetzwerk einen zentralen Kern eines Clusters bilden. Im Gegensatz zu einer Zitationsanalyse, die eine Beziehung zwischen zitierten und zitierenden Autoren über die Zeit herstellt, ist es das Ziel der Kozitationsanalyse, eine inhaltliche Verwandtschaft der Beiträge herzustellen [Gmü03].

In der Literatur haben sich verschiedene Methoden zur Kozitationsanalyse herausgebildet. Grundsätzlich kann zwischen zwei verschiedenen Ansätzen unterschieden werden, der Autor-basierenden und der Dokumenten-basierenden Kozitationsanalyse [Che10]. Die Autoren basierende Analyse verfolgt das Ziel, die verschiedenen Forschungsdisziplinen der einzelnen Autorengruppen bzw. Autoren zu identifizieren. Aufgrund der verschiedenen Erst- und Zweitautoren und der Möglichkeit, dass Autoren verschiedenen Forschungsdisziplinen gleichzeitig angehören können [Hav09], wird diese Form der Analyse für die vorliegende Arbeit nicht weiter verfolgt. Eine Dokumenten-basierende Kozitationsanalyse konzentriert sich dagegen auf die zentrale Forschungsrichtung der jeweiligen Publikationen und stellt somit einen passenden Ansatz für die folgende Analyse dar.

Das Vorgehen gliedert sich in die vier Hauptschritte Datenselektion, Datenaufbereitung, Berechnung und Visualisierung sowie Interpretation. Im Anhang A findet sich eine detaillierte Vorgehensbeschreibung. Im Folgenden wird direkt auf das auszuwertende Netzwerk eingegangen, das sich aus einer Grundgesamtheit von 206 Publikationen (1992-2012) ergeben hat. Für die Interpretation wird ausgehend von dem Netzwerk von 71 Publikationen (vgl.

Anhang A), der Treshold-Wert soweit erhöht, bis sich für die Interpretation sinnvolle Cluster gebildet haben. Das Ergebnis ist im Bild 3.2 visualisiert.

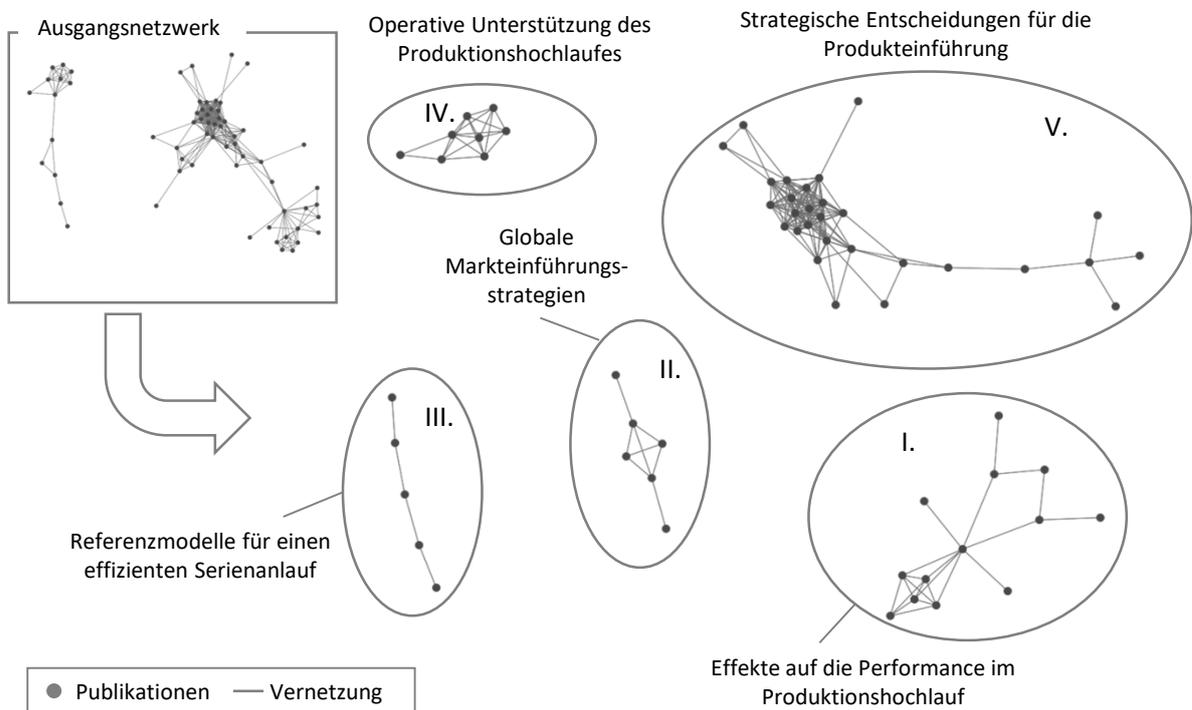


Bild 3.2: Kozitationsnetzwerk mit fünf Hauptclustern bei einem Treshold-Wert von 0.2

Die dargestellten Cluster repräsentieren jeweils einen unterschiedlichen Aspekt des Serienanlaufs bzw. der Produkteinführung. Für die anschließende Interpretation werden alle Beiträge der jeweiligen Cluster hinsichtlich ihrer Gemeinsamkeiten untersucht, um somit das Kernthema bzw. Forschungsrichtung zu identifizieren.

### 3.1.1.1 Cluster 1 – Effekte auf die Performance im Produktionshochlauf

Dieses Cluster besteht aus 13 Publikationen und beschäftigt sich mit Effekten, z.B. Lernkurveneffekten, während des Serienanlaufs, um eine Beschleunigung der Markteinführung zu erzielen. TERWIESCH ET AL. untersuchen beispielsweise in ihrer Studie die Auswirkungen von Lerneffekten auf die Leistungsfähigkeit des Serienanlaufprozesses in der Halbleiterindustrie [Ter01a]. Es konnte gezeigt werden, dass die Anzahl der Entwicklungstests, die Höhe des Aufwands und die Geschwindigkeit der Umsetzung von Verbesserungen entscheidende Stellhebel zur Verbesserung der Anlauffähigkeit darstellen [Ter01b], [Pru08]. BOHN UND TERWIESCH betonen die Bedeutung von Qualität, bedingt durch Lernkurveneffekte, im Vergleich zu geringen Lohn- und Stückkosten. Mit Hilfe eines mathematischen Modells werden die Effekte von Automatisierung, Prozessverbesserung und Stundenlohn auf die Produktionsrate im Anlauf untersucht [Boh99]. Neben zahlreichen positiven Effekten auf die Leistungsfähigkeit, wie z.B. frühe Integration verschiedener Stakeholder und deren Wissen, werden auch negative Auswirkungen identifiziert. Dazu zählen Produkt- und Prozesskomplexität, Technologieneuheitsgrad, späte Änderungen sowie späte Realisierung von Testläufen [Van03], [Len09], [Ter04].

Die Leistungsfähigkeit im Serienanlauf wird zentral auf die Lerneffekte zurückgeführt. Je früher Tests durchgeführt werden, je schneller das Wissen über das neue Produkt, den Produktionsprozess und die Supply Chain aufgebaut werden kann, desto größer ist die Chance auf einen effizienten und schnellen Produktionshochlauf.

### **3.1.1.2 Cluster 2 – globale Markteinführungsstrategien**

Das zweite Cluster betrachtet den Serienanlauf und die damit verbundene Produkteinführung auf dem Markt aus der Marketingperspektive. LANGERAK UND HULTINK untersuchen in ihrer Studie die Auswirkungen verschiedener Ansätze zur Beschleunigung der Entwicklung und Steigerung der Produktprofitabilität im Zusammenhang mit verschiedenen Markteintrittsstrategien. Firmen, die eine Pionierstrategie mit ihrem neuen Produkt verfolgen, sollten eher auf Ansätze, wie z.B. dem Lead-User Ansatz oder eine starke Lieferantenintegration setzen, um Pioniereffekte auf dem Markt zu erzielen. Bei der Fast-Follower Strategie liegt der Fokus eher auf Qualität und Kosten, als auf Zeit. Daher sind Ansätze, wie Teileanzahlreduzierung und Trainingsszenarien für Mitarbeiter, eher sinnvoll [Lan05].

Ein Produkt weltweit neu einzuführen, führt zwangsweise zu einer Steigerung der Komplexität des Serienanlaufs, da zusätzlich das jeweilige Marktpotential und der Markteintrittszeitpunkt Einfluss auf den Serienanlauf nehmen. Die organisatorische Vernetzung von Marketing und Entwicklung ist notwendig, um den Produktionshochlauf mit den jeweiligen Marketingressourcen zu koordinieren [Lee10], [Har07], [Cal07].

### **3.1.1.3 Cluster 3 – Referenzmodelle für einen effizienten Serienanlauf**

Das kleinste Cluster mit nur fünf Publikationen ist kettenförmig angeordnet und besitzt keine Querverbindungen mit anderen Publikationen. Somit lässt sich auch kein dominanter Kern von Publikationen identifizieren. Vielmehr lässt das den Schluss zu, dass die Publikationen ein gemeinsames Problem aus verschiedenen Perspektiven untersuchen [Mey09].

Die verschiedenen Ansätze beschreiben Rahmenwerke und Referenzmodelle zur Absicherung des Serienanlaufs. Diese sollen eine adaptierte Planung und Konfiguration von Serienanlaufprozessen innerhalb des Unternehmens unterstützen. HERTRAMPF ET AL. beschreiben in ihrem Ansatz eine Klassifikation von Produktionsanläufen hinsichtlich der verschiedenen Ausgangsbedingungen (z.B. Komplexität, Technologie, Innovation). Die Klassifizierung unterstützt eine frühe Identifikation von Anlaufproblemen und die rechtzeitige Einleitung von Gegenmaßnahmen [Her08a], [Her08b]. Die anderen Ansätze unterstützen basierend auf einer Wissensbasis den Serienanlaufprozess mit Hilfe von Richtlinien und Systemen, um somit den Anlaufprozess zu analysieren und zu beobachten, Vorhersagen zu treffen und möglichst schnell auf unvorhersehbare Einflüsse reagieren zu können [Fle04], [Fle04], [Str06].

### **3.1.1.4 Cluster 4 – Operative Unterstützung des Produktionshochlaufes**

Ähnlich wie das zuvor beschriebene Cluster konzentrieren sich die sieben Publikationen auf die Unterstützung des direkten Produktionshochlaufes. Dabei steht die Frage im Mittelpunkt, wie diese Phase operativ unterstützt werden kann. Zum Einsatz kommen verschiedene Softwareprototypen, z.B. Simulationswerkzeuge oder mathematische Modelle, um die

instabilen Produktionsanlaufprozesse zu planen, zu visualisieren und zu überwachen [Hin04], [Fle05], [Mei04].

SCHOLZ-REITER ET AL. führt beispielsweise ein hybrides Änderungsmanagement für den Serienhochlauf ein [Sch04]. Der Ansatz beschreibt die Kombination von standardisierten Prozess-elementen zur Effizienzsteigerung des Änderungsmanagements. Dabei werden zur Dokumentation der Erfahrungen auch Elemente des Wissensmanagement eingesetzt, um eine langfristige Verbesserung der Anlaufvorbereitung zu erzielen.

Risikomanagementansätze unterstützen das Controlling und die Planung der Anlaufphase [Wil05a]. Basierend auf den klassischen Phasen des Risikomanagements versuchen die Ansätze proaktive Antwortstrategien zur Reduzierung von technischen, finanziellen und organisatorischen Risiken bereitzustellen [Zäh04], [Wil04].

### 3.1.1.5 Cluster 5 – Strategische Entscheidungen für die Produkteinführung

Das fünfte Cluster repräsentiert mit 28 Publikationen, das mit Abstand größte Cluster in der Untersuchung. Für eine detaillierte Untersuchung und bessere Aussage über die inhaltliche Ausrichtung des Clusters wird der Treshold-Wert von 0.2 auf 0.5 erhöht. Als Ergebnis entstehen zwei Cluster, die in der folgenden Abbildung dargestellt sind. Für die weitere Untersuchung wird das Cluster 5 in Cluster 5.1 und Cluster 5.2 unterteilt.

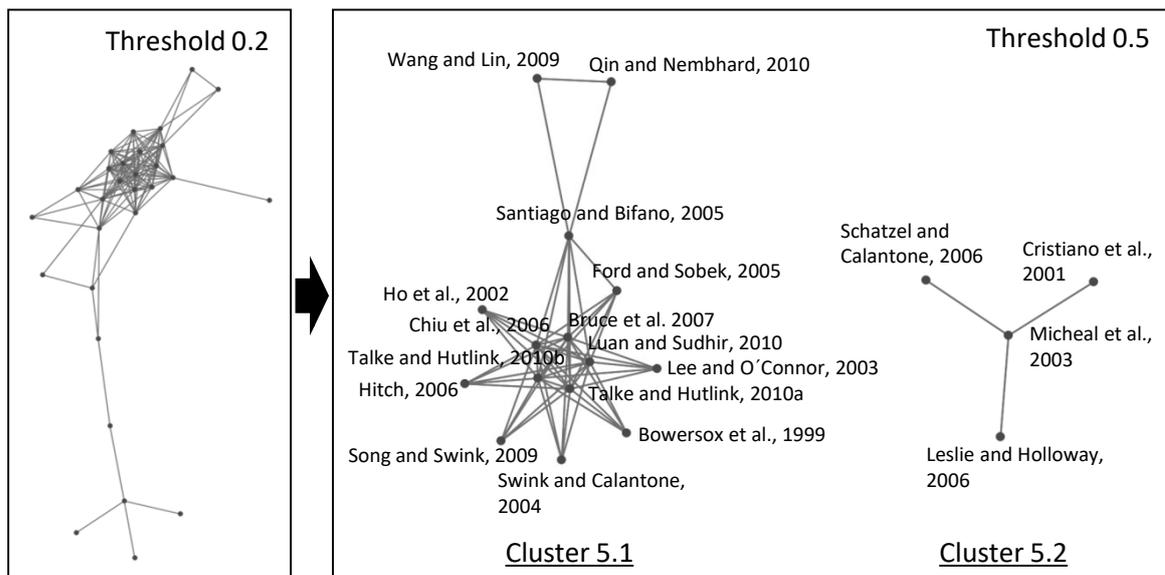


Bild 3.3: Aufteilung von Cluster 5 in zwei Subcluster bei einem Treshold-Wert von 0.5

### Cluster 5.1 – Strategische Entscheidungen in der frühen Produktplanung

Die Anordnung der 15 Publikationen deutet auf einen Kern von fünf kreisförmig angeordneten Publikationen hin. Diese repräsentieren inhaltlich den Kern des Clusters. Der Kern wiederum wird kreisförmig von weiteren Publikationen umgeben, diese Publikationen betrachten Teilaspekte des zentralen Themas (vgl. Bild 3.3).

In der strategischen Produktplanung werden Entscheidungen hinsichtlich der Produkteinführungsstrategie unter Unsicherheiten getroffen [Tal10a]. Diese haben aber einen entscheidenden Einfluss auf den Markterfolg und hängen stark von den gewählten Zielmärkten, der

Positionierung des Produkts im neuen Markt und der Überwindung von Marktdurchdringungsbarrieren ab [Lua10], [Chi06], [Bru07]. Marktdurchdringungsbarrieren sind mit verschiedenen Interessensgruppen, wie z.B. Kunden, Zulieferer, Händler und Konkurrenten, verbunden. Eine gezielte Adressierung dieser hilft, die Barrieren zu reduzieren und den Markterfolg zu erhöhen [Tal10b], [Swi04].

Die Faktoren Markteintrittsstrategie, Marktdynamik und Netzwerkeffekte haben einen entscheidenden Einfluss auf den Produkterfolg. Beispielsweise bei der Verfolgung einer Pionierstrategie ist es besonders wichtig, die Lücke zwischen Nachfrage und Angebot schnell zu schließen. Andernfalls können Verzögerungen im Serienanlauf zum Verlust von Marktanteilen führen und somit zu erheblichen wirtschaftlichen Verlusten für das Unternehmen [Lee03], [Hit06]. HO ET AL. untersuchen in diesem Zusammenhang, wie sich die Supply Chain Randbedingungen auf den Erfolg der Produkteinführung auswirken können [Ho02]. Einen ähnlichen Ansatz verfolgt BOWERSOX ET AL. mit einer reaktionsbasierenden Logistik. Dabei soll eine möglichst hohe Bestandsflexibilität eine schnelle Reaktion auf Nachfrageschwankungen während der Produkteinführung ermöglichen [Bow99]. Weitere Ansätze zur Unterstützung der strategischen Entscheidung hinsichtlich der Markteinführung sind eine frühe Integration von Marketing und der Einsatz von Simulationsmodellen zur Unterstützung der Absatzprognose und Planung [Son09], [Wan09].

### **Cluster 5.2 – Vertriebsentscheidungen**

Eine mögliche Abspaltung dieses Clusters kann aufgrund der Anordnung bereits bei einem Treshold-Wert von 0.2 vermutet werden. Das durch die Erhöhung dieses Wertes neu entstandene Cluster besteht lediglich aus vier Publikationen. Thematisch konzentrieren sich die Beiträge auf Vertriebsaufwände während der Produktneueinführung. Die Aufwände stellen einen strategischen Erfolgsfaktor für eine erfolgreiche Markteinführung dar. Produkte, die es bereits auf dem Markt gibt, die allerdings einen hohen Neuheitsgrad für das Unternehmen aufweisen, können von den Strategien der Konkurrenz lernen und erleichtern so eine Adaption der eigenen Strategie [Mic03]. Erfahrungen aus dem Vertrieb helfen zukünftige Serienanläufe effizienter zu planen und begrenzte Ressourcen effizienter einzusetzen [Les06]. So kann ein besseres Verständnis vom Markt und den Kunden dazu beitragen, Durchlaufzeiten zu verkürzen und Produktpassungen bzw. späte Änderungen am Produkt zu vermeiden [Cri01].

#### **3.1.1.6 Zwischenfazit Kozitationsanalyse**

Die Kozitationsanalyse verdeutlicht die vorherrschende Vielfalt in der Betrachtung der Forschungsbeiträge zum Thema Serienanlauf. Dabei ist zunächst anzumerken, dass die Cluster keineswegs trennscharf sind und sich somit durchaus thematische Ähnlichkeiten ergeben. Dies ist auf die thematische Ausrichtung der verschiedenen Journals und dem damit verbundenen Einfluss auf die Zitation zurückzuführen.

Dennoch lassen sich die fünf identifizierten Cluster im Rahmen des Produktentstehungsprozesses hinsichtlich der zeitlichen Betrachtung in zwei Themenbereiche unterteilen. Cluster 2 und 5 beschäftigen sich mit strategischen Entscheidungen in der sehr frühen Entwicklungsphase. Dabei rücken zentrale Fragen zum Timing des Markteintritts, Zielmärkten und strate-

gische Erfolgsfaktoren hinsichtlich des Serienanlaufs in den Fokus. Dagegen beschreiben die Ansätze innerhalb der Cluster 1, 3 und 4 Themen, die eine unmittelbare Unterstützung der Serienanlaufphase aus Sicht der Produktion fokussieren. Dazu zählen Referenzmodelle, spezielle Handlungsfelder im Serienanlauf sowie Simulationsmodelle.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Kozitationsanalyse ein geeignetes Werkzeug zur schnellen und objektiven Identifizierung verschiedener Forschungsrichtungen eines Themengebiets ermöglicht. Neben den zwei identifizierten Hauptforschungsrichtungen (strategische Produktplanung und unmittelbare Unterstützung der Serienanlaufphase in der Produktion) konnten keine wissenschaftlichen Ansätze zur Unterstützung der verschiedenen Produktentwicklungsphasen hinsichtlich eines zielgerichteten und effizienten Transfers in die Produktion identifiziert werden [Els13b].

Für den weiteren Verlauf der Untersuchung ist allerdings die Betrachtung spezifischer Methoden und Ansätze unabdingbar. Dabei wird sich bezüglich der Zielstellung der Arbeit im folgenden Abschnitt auf die Ansätze mit direktem Fokus auf die Serienanlaufphase konzentriert, um mögliche Bereiche zu identifizieren, die den in Abschnitt 2.4 formulierten Anforderungen gerecht werden.

### **3.1.2 Spezifische Ansätze zur Unterstützung der Serienanlaufphase**

Wie bereits im Abschnitt zuvor beschrieben, lassen sich zwei Hauptforschungsrichtungen identifizieren. Die Entscheidungsunterstützung im Fuzzy-Front End und die direkte technische Unterstützung der Serienanlaufphase innerhalb der Produktion. Wie zuvor aufgezeigt, existieren zahlreiche Beiträge in der Literatur. Allerdings besitzen sie oft nicht die inhaltliche Tiefe, um eine durchgängige Bewertung hinsichtlich der gestellten Anforderungen im Serienanlauf der Flugzeugindustrie zu gewährleisten. Für die weitere Untersuchung erfolgt deshalb eine Konzentration auf ausgewählte Dissertationen mit dem Forschungsschwerpunkt Anlaufmanagement. Eine Bewertung der vorgestellten Ansätze erfolgt auf Basis der vorgestellten Anforderungen (Kapitel 2.4) mit Hinblick auf eine mögliche Adaption und Anwendbarkeit im Serienanlauf der Flugzeugindustrie.

#### **3.1.2.1 Planung und Steuerung des Serienanlaufs komplexer Produkte nach WANGENHEIM**

Die Untersuchungen von WANGENHEIM konzentrieren sich auf die Schnittstellenharmonisierung. Mit Hilfe von empirischen Untersuchungen in der Automobilindustrie werden zwei wesentliche Mängel in der Planung und Steuerung des Serienanlaufs aufgezeigt [Wan98]. Zum einen wird ein Mangel an bestehenden Controlling-Instrumenten zur Steuerung von Serienanlaufprozessen festgestellt und zum anderen betont WANGENHEIM die aufgrund der Reduktion von Fertigungs- und Entwicklungstiefe gestiegene Bedeutung der Schnittstelle zwischen Hersteller und Zulieferer. Auf Basis einer empirischen Studie entwickelt WANGENHEIM eine ergebnisorientierte Serienreifegradmessung zur besseren Überwachung und Steuerung des Serienanlaufs.

Für die Messung werden die Zieldimensionen Produkt, Prozess und Kapazität betrachtet. Die Produktdimension beschreibt die Erfüllung der Kundenanforderungen an Form und Funktion des Produkts. Unter der Prozessdimension wird die Fähigkeit des Unternehmens verstanden

das Produkt in gewünschter Quantität und Qualität herzustellen. Die Kapazitätsdimension betrachtet die Bereitstellung der notwendigen Ressourcen zur Prozessdurchführung. Die Bewertung des Entwicklungsstandes mit Hilfe eines einfachen Klassifikationschemas, das die verschiedenen Bauteile den drei Dimensionen zuordnet, wird als nicht ausreichend eingestuft. Daher erweitert WANGENHEIM das Konzept um vier Reifegradindikatoren, die auf Komponenten- und Systemebene abgeschätzt werden. Die zweidimensionale Matrix der Reifeindikatoren ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 3.1: Matrix beispielhafter Reifegradindikatoren [Wan98]

	Produkt	Prozess	Kapazität
Bauliche Reife	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Konstruktionsfreigaben</li> <li>• Anzahl bemusterter Teile</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umfang Materialspezifikationen</li> <li>• Anzahl Prototypen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzahl Lieferantenverträge</li> <li>• Anzahl geschulter Mitarbeiter</li> </ul>
Funktionale Reife	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Audit-Note Prototypbeurteilung</li> <li>• Mängelanzahl Crashsimulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• cpk-Werte</li> <li>• Ausschussquote Pilotmontage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realisierbares Produktionsvolumen</li> </ul>
Dokumentarische Reife	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CAD-Datensätze</li> <li>• Anzahl Service-Unterlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzahl Arbeitsanweisungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anzahl Spezifikationen</li> <li>• Positionen im Wartungsprotokoll</li> </ul>
Wirtschaftliche Reife	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herstellkosten</li> <li>• Wartungskosten</li> <li>• Kraftstoffverbrauch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungskosten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionsvolumen</li> <li>• Instandhaltungskosten</li> </ul>

*Bewertung:* Auf Grundlage von empirischen Untersuchungen gibt der Ansatz allgemeine Gestaltungsempfehlungen für die Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktion innerhalb der Automobilindustrie. Weiterhin werden auf Basis der Untersuchungen Zusammenhänge zwischen Zielgrößen und Charakteristiken der Serienanläufe analysiert. Das beschriebene System der Reifegradmessung ermöglicht es, Rückschlüsse auf den Gesamtreifegrad des Projektes zu ziehen, was wiederum eine frühe Fehlererkennung ermöglicht. Allerdings stellt WANGENHEIM keine systematische Vorgehensweise für die Bewertung zur Verfügung. Eine beispielhafte Verifizierung des Controlling Instruments erfolgt ebenfalls nicht.

### 3.1.2.2 Anlaufmanagement für Großanlagen nach ZEUGTRÄGER

Aufgrund hoher Komplexität und einem hohen Innovationsgrad typischer Anlagenbauprojekte reichen gegenwärtige Ansätze des Projekt- und Qualitätsmanagements nicht aus, um die besonderen Belange der Hochlaufphase (späte Projektphase) ausreichend zu berücksichtigen [Zeu98]. Das Ziel des methodischen Ansatzes von ZEUGTRÄGER ist es, die Verschwendung, bedingt durch z.B. schlechte Planung oder fehlenden Erfahrungsaustausch, zu reduzieren. Dazu wird ein dreistufiges und anlaufspezifisches Wissensmanagementsystem entwickelt. Mit Hilfe eines Informationsmodells werden Erfahrungen innerhalb des Projektes erfasst, analysiert, klassifiziert und in abstrahierter Form dokumentiert. Gemachte Erfahrungen werden mit Hilfe einer objektorientierten Datenstrukturierung mit den jeweiligen Ursachen und Maßnahmen verknüpft, um somit eine langfristige systematische Wissensnutzung zu gewährleisten. Mit Hilfe einer Erfahrungsdatenbank verfolgt ZEUGTRÄGER das Prinzip einer ler-

nenden Organisation. Hinterlegte Erfahrungen unterstützen zukünftige Projekte durch eine Verbesserung der Planung, der Mitarbeiterqualifikation und der Informationsbereitstellung.

*Bewertung:* Der beschriebene Ansatz verfolgt das Ziel, mit Hilfe eines Wissensmanagementsystems den Hochlauf komplexer Anlagen zu verbessern. Er unterstützt die Dokumentation und den Erfahrungstransfer von Projekten. Eine explizite Berücksichtigung von Risiken und Störungen wird vom Ansatz nicht berücksichtigt. Zudem wird eine Maßnahmenbewertung und Abschätzung von Auswirkungen nur teilweise unterstützt. Eine systematische Auswahl möglicher Handlungsmaßnahmen wird nicht bereitgestellt.

### **3.1.2.3 Effizienzsteigerung während Produktionsanläufen nach SCHMAHLS**

Ähnlich wie WANGENHEIM konzentriert sich SCHMAHLS auf einen Controllingansatz zur Beherrschung der Anlaufphase in der Automobilindustrie. SCHMAHLS stellt in seinen Untersuchungen im Bereich des Produktionsanlaufes fest, dass Störungen während der Hochlaufphase permanent erfasst, beobachtet und visualisiert werden müssen [Sch01]. Dazu wird ein umfassendes Kennzahlensystem entwickelt, um Störungen und deren Ursachen zeitnah zu berücksichtigen. Auf Basis von Ursache-Wirkungs-Diagrammen werden Probleme in Ursachengruppen (Mensch, Maschine, Umfeld, Material, Methode und Messung) kategorisiert und mit verschiedenen dimensionsbezogenen Kennzahlen verknüpft. Diese können in Leistungs- und Strukturgrößen unterteilt werden. Im Rahmen einer quasiexperimentellen Untersuchung werden die Einsparungspotentiale durch den Einsatz des Kennzahlensystems aufgezeigt. Die größten Potentiale liegen demnach bei der Identifizierung von Störungen und der Unterstützung für die Störungsabstellung [Sch01].

*Bewertung:* Das entwickelte Kennzahlensystem von SCHMAHLS stellt eine umfangreiche Basis zur Abbildung des Ist-Zustandes im Serienanlauf dar. Die Bildung von Verhältniskennzahlen ermöglicht zudem auf Basis unterschiedlicher Datensätze, die Vergleichbarkeit zu erhöhen. Eine Verbindung zu konkreten Zielgrößen des Serienanlaufs wird nicht hergestellt. Eine systematische Herleitung von Maßnahmen und eine Beschreibung des methodischen Vorgehens bleiben unberücksichtigt.

### **3.1.2.4 Time-to-Market-Management in der Automobilindustrie nach RISSE**

RISSE präsentiert in seiner Arbeit einen konzeptionellen Handlungsrahmen eines logistikorientierten Anlaufmanagements in der Automobilindustrie. Zentrale Zielgröße seiner Untersuchung ist der Erfolgsfaktor Zeit. Dazu werden in der Automobilindustrie zunächst Zeittreiber und Optimierungsansätze untersucht [Ris02]. Als Fazit seiner Untersuchung kommt RISSE zu der Erkenntnis, dass lediglich die Kombination verschiedener Methoden und Instrumente zur Reduzierung der Produktentstehungszeit effizient beitragen können. Diese werden in die fünf folgenden Aktionsfelder verdichtet: Produktkonzept, Organisation, Netzwerke, entwicklungstechnische Basisinstrumente und Mitarbeiterqualifikation und –motivation [Ris02].

Der Aufbau des logistikorientierten Ansatzes ist in der folgenden Abbildung (vgl. Bild 3.4) dargestellt und enthält im Wesentlichen die von KUHNS ET AL. identifizierten Handlungsfelder. Dabei betont RISSE die Vernetzung der Methoden, um somit eine Harmonisierung von Produkt und Produktionsprozessen sowie eine vollständige Integration der Lieferanten zu ge-

währleisten. Durch ein zusätzliches Controlling-Instrument auf Basis einer Balance Scorecard soll die Zielerreichung überwacht und Abweichungen frühzeitig identifiziert werden.

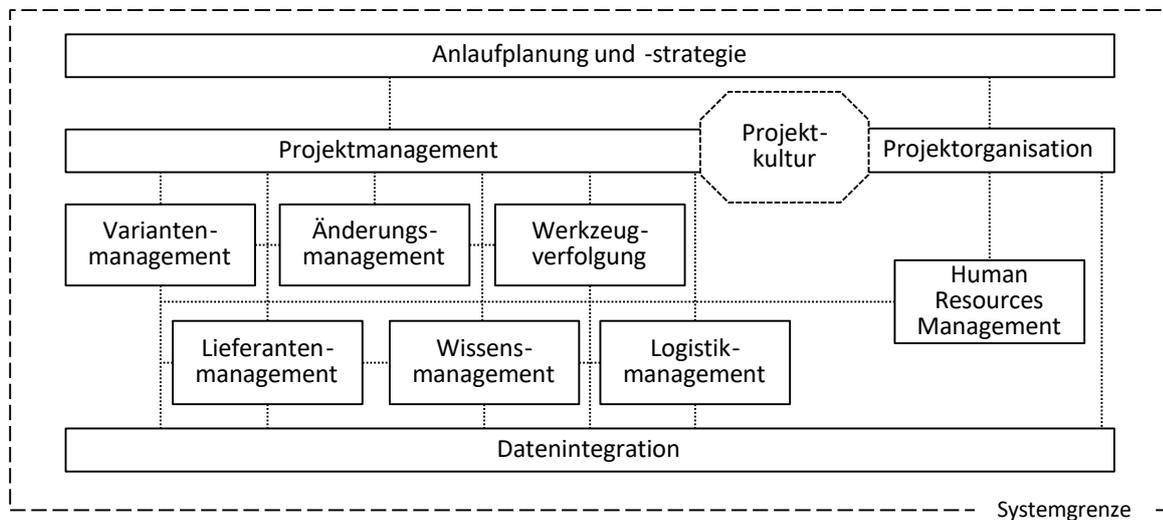


Bild 3.4: Bausteine des logistikorientierten Anlaufmanagements nach [Ris02]

*Bewertung:* Die Arbeit von Risse liefert eine umfassende Übersicht über verschiedene Methoden und Instrumente zur Reduzierung der Zeit bis zum Markteintritt. Die Untersuchung der Wirksamkeit der Methodenbausteine in Kombination zu einem logistikorientierten Anlaufmanagement wird allerdings nicht weiter empirisch untersucht bzw. an einem Fallbeispiel validiert. Eine systematische Vorgehensweise eines erfolgreichen Serienanlaufmanagements bis zur Produktrealisierung wird nicht gegeben.

### 3.1.2.5 Sicherer Produktionshochlauf durch zielorientierte Gestaltung nach LAICK

Der Ansatz von LAICK stellt ein modellbasiertes Konzept zur zielorientierten Gestaltung und Lenkung des Produktionsprozesssystems im Serienanlauf dar [Lai03]. Im Gegensatz zu den bereits vorgestellten methodenbasierten Ansätzen von WANGENHEIM und RISSE, konzentriert sich der Ansatz auf eine prozessorientierte Beschreibung des Serienanlaufs und bedient sich für die Prozessanalyse und -modellierung bei bekannten Prozessmanagementmethoden. Das Konzept besteht aus drei wesentlichen Bestandteilen dem Referenzprozess-, Anwendungs- und Umsetzungsmodell. Im Referenzprozessmodell werden die erforderlichen Objekte und Referenzprozesse für den Serienanlauf hinterlegt. Das Anwendungsmodell detailliert das Referenzmodell für den jeweiligen Serienanlauf und beschreibt ein Kenn- und Zielwertsystem. Anschließend erfolgt im Umsetzungsmodell die Unterstützung der Übertragung des Anwendungsmodells auf das Unternehmen [Lai03]. Für die Unterstützung des Ansatzes wurde von LAICK eine prototypische Rechnerunterstützung entwickelt.

*Bewertung:* Mit der systematischen Modellierung der Produktionsprozesssysteme liefert der Ansatz von LAICK zu einem ein strukturiertes Vorgehen zur Absicherung des Produktionsanlaufs und zum anderen wird Transparenz für alle beteiligten Prozesse geschaffen. Eine strukturierte Dokumentation der Ergebnisse ermöglicht die Sicherung und den Transfer von gewonnenen Erfahrungen im Serienanlauf. Allerdings beschränken sich die Handlungsmaßnahmen lediglich auf die Produktionsprozesse. Auf Gestaltungsparameter wird nur am Ran-

de eingegangen. Eine Berücksichtigung von produktseitigen Einflussfaktoren erfolgt nicht. Weiterhin sind aufgrund des hohen Detaillierungsgrades zahlreiche Informationen zur Modellierung und Analyse notwendig. Dies führt zu einem hohen Erstellungsaufwand für komplexe Produktionssysteme und nur bedingt zu einer Anwendbarkeit innerhalb der Produktentwicklung.

#### **3.1.2.6 Modellanalyse von Lieferantenbeziehungen in Anlaufprozessen nach DENZLER**

DENZLER konzentriert sich mit seiner Arbeit auf die Schnittstelle zwischen Lieferanten und Abnehmer im Serienanlauf. Im Rahmen einer empirischen Modellanalyse wird die Wirkung der Einbindung verschiedener Lieferantentypen (Uncritical, Bottleneck, Critical, High Risk Supplier) in die verschiedenen Gestaltungsfeldern des Serienanlaufs (Anlaufplanung, Anlaufkontrolle, Koordination der Informationssysteme und organisatorischer Maßnahmen) untersucht [Den07]. Die dabei identifizierten Zusammenhänge und Erfolgsfaktoren werden zu Gestaltungsempfehlungen eines lieferantenkoordinierten Anlaufmanagements zusammengeführt. Die Empfehlungen beinhalten dabei die Koordination und Einsatz verschiedener Methoden zur Unterstützung der Lieferanten-Abnehmer-Schnittstelle im Serienanlauf und werden den verschiedenen Lieferantentypen zugeordnet. Dabei werden die Koordinationsaspekte je nach Lieferantentyp in den Gestaltungsfeldern ausgewählt [Den07].

*Bewertung:* Mit der detaillierten Beschreibung und Untersuchung der Lieferanten-Abnehmer-Beziehung in der Serienanlaufphase, basierend auf empirischen Analysen, fördert DENZLER eine differenzierte Ausgestaltung dieser Schnittstelle. Eine lieferantentypbezogene koordinierte Zusammenarbeit führt zu einer unterschiedlichen Koordinationsintensität und kann somit zu einer Effizienzsteigerung der Anlaufprozesse beitragen. Eine durchgängige methodische Vorgehensweise für den Einsatz der verschiedenen Methoden hinsichtlich der Lieferantentypen wird allerdings nicht beschrieben. Vielmehr findet basierend auf der durchgeführten Studie lediglich eine Zuordnung der Erfolgsfaktoren statt.

#### **3.1.2.7 Anlaufmanagement in Netzwerken nach FITZEK**

Ähnlich wie die bereits beschriebenen Ansätze von WANGENHEIM, RISSE und LAICK konzentriert sich auch FITZEK mit seinen Untersuchungen auf die Automobilindustrie. Im Fokus steht dabei die Betrachtung des interorganisationalen Managements der Serienanlaufphase [Fit05]. Als wesentliche Erfolgsdeterminanten beschreibt FITZEK im Rahmen der vertikalen (Hersteller-Zulieferer) und horizontalen Netzwerkbeziehungen (Zulieferer auf gleicher Zulieferstufe) die Verbesserung der interorganisationalen Planung und der interorganisationalen Lernprozesse in der Serienanlaufphase [Fit05]. Für die Untersuchung der Wirkungszusammenhänge wird innerhalb eines konzeptionellen Forschungsmodells (vgl. Bild 3.5) mittels empirischer Analyse die Frage beantwortet, welche Ergebnisgrößen der Serienanlaufphase durch das interorganisationale Planen und Lernen positiv beeinflusst werden können.

FITZEK kommt zu dem Schluss, dass die Erfolgsdeterminanten einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung der operativen Störgrößen leisten und zu einer Verbesserung der strategischen Ergebnisgrößen führen. Auf Basis dieser Untersuchungen werden Empfehlungen für die Ausgestaltung des interorganisationalen Managements der Serienanlaufphase in den Bereichen

Anlauforganisation und -planung, Änderungs-, Wissensmanagement und Reifegradcontrolling abgeleitet.

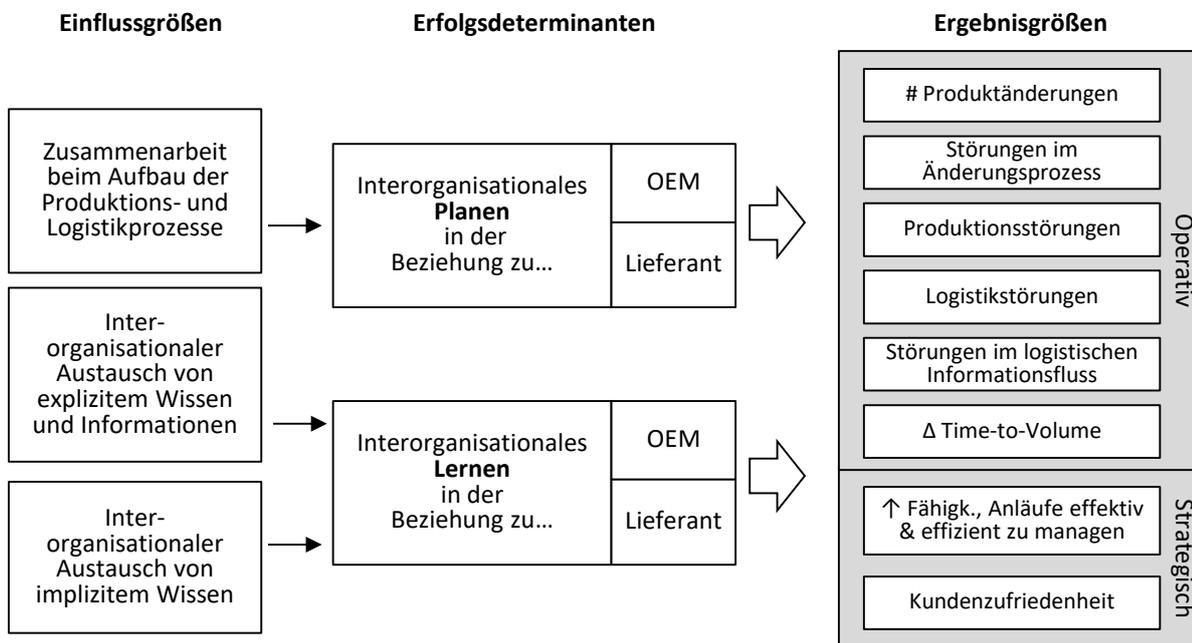


Bild 3.5: Konzeptionelles Forschungsmodell nach [Fit05]

**Bewertung:** Die empirisch-quantitative Arbeit von FITZEK erweitert die meist im Mittelpunkt stehende unternehmensinterne Betrachtungsweise der Serienanlaufprozesse auf eine unternehmensübergreifende Sichtweise. Dabei wird erstmals die Bedeutung der horizontalen Beziehung von Komplementärlieferanten im Serienanlauf betont. Allerdings ist anzumerken, dass die Gestaltungsempfehlungen eher eine allgemeingültige Form aufweisen. Eine methodische Vorgehensweise zur Verbesserung der angesprochenen Ergebnisgrößen wird nicht beschrieben.

### 3.1.2.8 Simulationsbasierte Anlaufunterstützung nach LANZA

Der Ansatz von LANZA unterstützt eine planungs- und anlaufbegleitende Simulation der dynamischen Produktionsprozesse im Anlauf [Lan04]. Ziel ist es, die Mengen- und Qualitätsziele im Übergang des Produktionssystems hin zu einem stabilen Serienprozess zu bewerten. Dafür wird die erwartete Qualitätsfähigkeitsentwicklung instabiler Prozesse antizipiert und anschließend in einer Ablaufsimulation der variable Ressourcenverbrauch während des Produktionshochlaufes prognostiziert [Lan04]. Der Ansatz von LANZA beschreibt das Anlaufsystem mittels standardisierter Basisbausteine, die auch als Elementarprozesse bezeichnet werden. Die Elementarprozesse werden wiederum mittels Qualitätsfähigkeitskurven charakterisiert [Lan04]. Die Bewertung in der Simulation basiert auf dem Kennwert der Gesamtanlageneffektivität und wird auch als Overall Equipment Effectiveness (OEE) bezeichnet. Die Kennzahl setzt sich aus der Verfügbarkeit, Leistungsgrad und Qualitätsrate der Anlagen zusammen. Für die Verwendung im Rahmen des instabilen Serienhochlaufes erweitert LANZA die Berechnung um den Zeitfaktor und nutzt die OEE zur Bewertung eines Gesamtsystems, bestehend aus mehreren verketteten Anlagen. Zur Verbesserung der Anwendbarkeit wurde

eine prototypische Umsetzung realisiert. Auf Basis der Simulationsergebnisse können Abweichungen von der Soll-Kurve identifiziert und rechtzeitig qualitätssteigernde Maßnahmen eingeleitet werden.

*Bewertung:* Die prototypische Validierung des Simulationsmodells zeigt, dass die Modellierung dynamische Wirkbeziehungen abbilden kann und eine planungsbegleitende Bewertung der instabilen Produktionssysteme möglich ist. Eine frühzeitige Störungserkennung setzt allerdings ausreichende Informationen und Erfahrungswissen voraus. Unbekannte Prozesse lassen sich nur schwierig abbilden. Weiterhin konzentriert sich der Ansatz nur auf die technischen Zusammenhänge der Produktionssysteme. Eine unternehmensübergreifende Betrachtung, als auch dem Produktionshochlauf vorgelagerte Prozesse, finden nicht statt. Laut LANZA beschränkt sich der Ansatz auf die Beschreibung automatisierter Produktionsprozesse für Produkte mit mittlerer oder hoher Stückzahl.

### 3.1.2.9 Modellierung vernetzter Wirkbeziehungen im Produktionsanlauf nach WINKLER

In der Arbeit von WINKLER wird eine Anlaufprognose und –analyse mit Hilfe eines entwickelten Anlaufmodells durchgeführt. Der Ansatz verfolgt das Ziel, durch die Modellierung vernetzter Wirkbeziehungen den Produktionsanlauf zu unterstützen [Win07]. Das Prognosemodell (vgl. Bild 3.6) unterstützt eine frühzeitige Analyse von Störungen im Serienanlauf und ermöglicht Reaktionsstrategien rechtzeitig bereitzustellen.

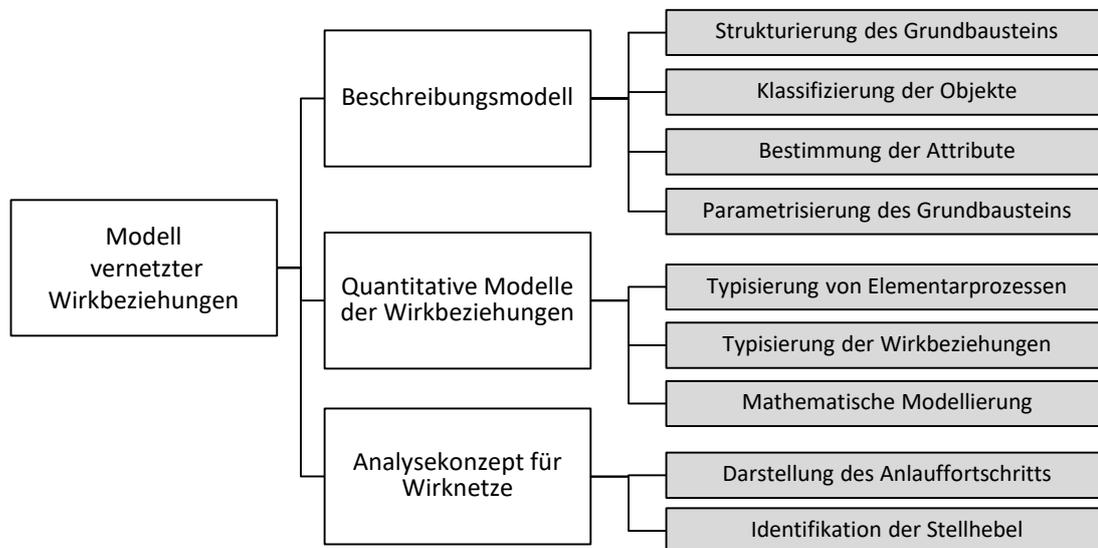


Bild 3.6: Entwicklung des Prognosemodells für den Produktionsanlauf nach [Win07]

WINKLER verwendet dafür ein sogenanntes Wirknetz, das auf Basis mehrerer elementarer, miteinander vernetzter Bausteine erstellt wird. Die Hauptbestandteile sind ein Beschreibungsmodell, quantitative Modelle der Wirkbeziehungen und ein Analysekonzept für die Wirknetze [Win07]. Schwerpunkt der Untersuchungen von WINKLER stellen die Verfügbarkeit der Produktionsressourcen (Produktionsanlage, Werker und Instandhaltung) dar. Die Bewertung und Abschätzung der Zielgrößen im Prognosemodell erfolgt durch die Klassifizierung und Parametrisierung der relevanten Anlaufobjekte mit anschließender mathematischer Berechnung [Win07]. Die Ergebnisse werden innerhalb eines Anlauffortschrittsdiagramms

dargestellt. Zusätzlich erfolgt eine prototypische Umsetzung des Prognosemodells in einem Softwaretool.

**Bewertung:** WINKLER stellt mit seinem prognoseorientierten Anlaufcontrolling einen Ansatz vor, der die Möglichkeit bietet, Wirkbeziehungen zwischen den Anlaufobjekten mathematisch zu berechnen und rechtzeitig einen Einfluss auf die Zielgrößen des Anlaufs zu prognostizieren. Trotz prototypischer Umsetzung des Prognosemodells in ein Softwaretool bleibt der Aufwand der Modellierung sehr aufwendig. Die Anwendbarkeit in frühen Phasen ist somit nicht gegeben. Die Qualität der Ergebnisse ist stark von den Erfahrungen des Anwenders abhängig [Win07]. Zusätzlich konzentriert sich der Ansatz lediglich auf das Produktionssystem und berücksichtigt keine unternehmensübergreifenden Aspekte (Schnittstellen zu Zulieferern) oder produktseitige Randbedingungen.

### 3.1.2.10 Ramp-up Management in der Automobilindustrie nach Tücks

Der Ansatz von Tücks beschreibt eine systemorientierte Betrachtungsweise der Anlaufplanung und –steuerung in der Automobilindustrie [Tüc10]. Ziel ist die Planung des Produktionsanlaufs und die Lenkung bei Abweichungen zu vereinfachen. Für die Ausgestaltung des Ansatzes greift Tücks auf bestehende Methoden der Managementkybernetik, allgemeine Modelltheorie, Systemtechnik und der Methode des vernetzten Denkens zurück [Tüc10]. Das grundlegende Konzept wird dabei durch einen Regelkreis abgebildet (vgl. Bild 3.7). Der Regelkreis besteht aus vier verschiedenen Modulen und beinhaltet Managementprozesse für den Serienanlauf.

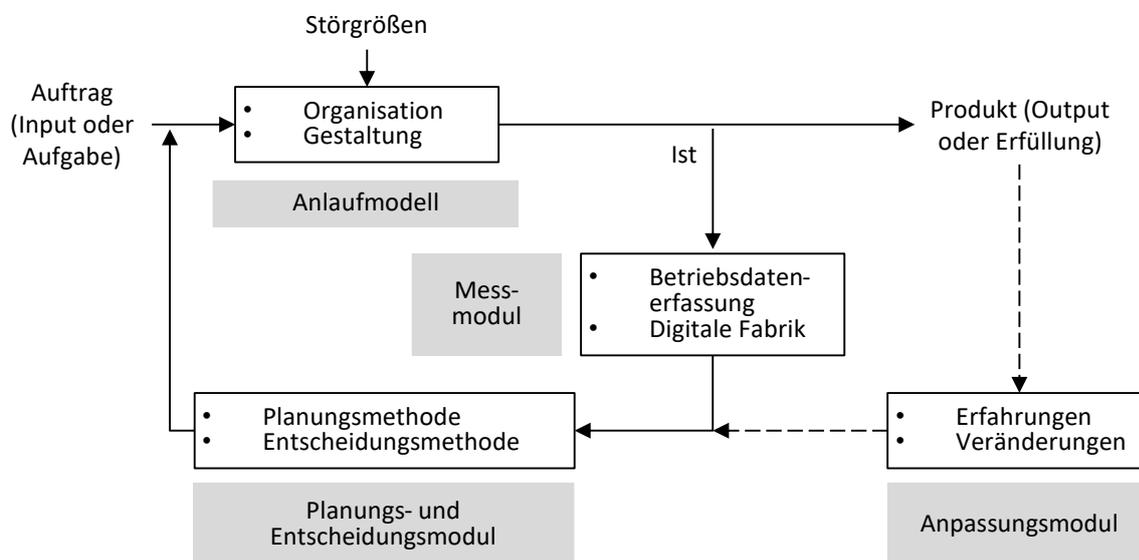


Bild 3.7: Gesamtkonzept des Regelkreis nach [Tüc10]

Innerhalb des Anlaufmodells wird ein Referenzmodell hinterlegt, das die Aufbau- und Ablauforganisation im Anlauf abbildet. Mit Hilfe des Messmoduls werden Abweichungen ermittelt und mit den im Planungs- und Entscheidungsmodul vorgegebenen Sollgrößen verglichen. Zusätzlich wird das Konzept um das Anpassungsmodul erweitert, das im Wesentlichen die Aufgabe hat, Erfahrungen und Probleme aus vergangenen Serienanläufen zu nutzen [Tüc10].

**Bewertung:** Die umfassende Systematik zur Planung und Steuerung von Tücks dient der Erhöhung der Transparenz in der Anlaufphase und berücksichtigt mit Hilfe des Anpassungs-

duls Maßnahmen zur Fehlerbehebung und langfristigen Optimierung der Serienanlaufphase. Die umfangreiche Abbildung der Anlauforganisation und die Anbindung des Messmoduls an die Betriebsdatenerfassung führen zu einem erhöhten Implementierungsaufwand der Methode. Eine Fokussierung auf das Produktionssystem und die Einbindung konkreter Anlaufinformationen macht eine frühe Anwendung innerhalb der Entwicklung nur bedingt möglich.

### 3.1.2.11 Terminplanung und –überwachung von Produktionsanläufen nach HÜNTELMANN

Ziel des in HÜNTELMANN'S Arbeit präsentierten Ansatzes ist es, eine unternehmensübergreifende Terminplanung und -überwachung in Wertschöpfungsnetzwerken während der Serienanlaufphase zur Verfügung zu stellen [Hün10]. Ähnlich wie bei dem Ansatz von FITZEK, konzentriert sich HÜNTELMANN mit seiner empirischen Studie auf die Erfolgsfaktoren für einen unternehmensübergreifenden Produktionsanlauf. Die abgeleiteten Erfolgsfaktoren, wie z.B. Standardisierung organisatorischer Prozesse, schneller Informationsaustausch und klare Informationsstrukturen, werden in einer Informations- und Kommunikationsplattform (vgl. Bild 3.8) für den Anlauf integriert [Hün10]. Aufbauend auf der Identifizierung von möglichen Risiken, die zu Terminabweichungen führen können, werden ein Risiko- und ein Anlauffaktor gebildet. Mittels einer Regressionsanalyse wird anschließend eine Abschätzung der Terminabweichung vorgenommen. Die Funktionskomponente der Terminüberwachung dient der Fortschrittskontrolle der unternehmensübergreifenden Anlaufprozesse und wird mittels einer Ampellogik visualisiert. Die dritte Komponente der Plattform stellt der Wissensaufbau dar. Sie dient der Dokumentation sämtlicher Maßnahmen und der Verknüpfung der beiden Funktionskomponenten.

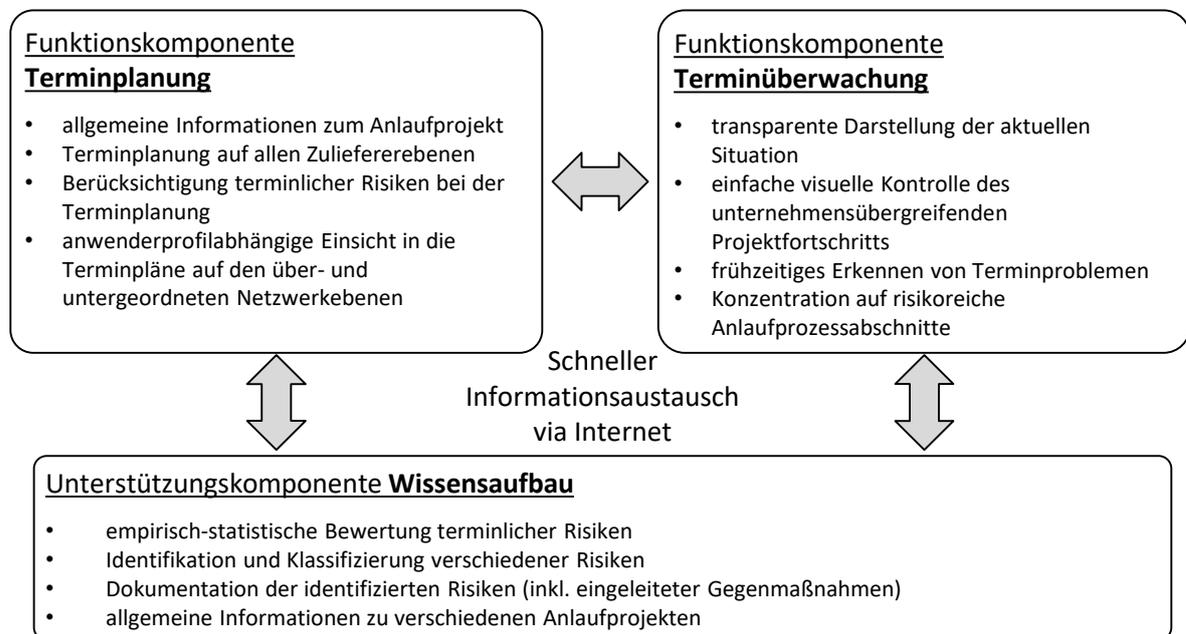


Bild 3.8: Komponenten der Informations- und Kommunikationsplattform nach [Hün10]

**Bewertung:** Das dargestellte Konzept unterstützt den schnellen Austausch von Informationen zwischen den Anlaufbeteiligten und eine transparente Fortschrittsdarstellung. Allerdings basiert die Berechnung und Abschätzung möglicher Risiken auf Vergangenheitsdaten. Die Vorhersagegüte ist somit stark abhängig von den vorhandenen Daten. Zusätzlich findet eine Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung verschiedener Risikofaktoren nicht statt

[Hün10]. Die im Konzept dargestellte Terminüberwachung bis hin zum Teile-/Rohteillieferant setzt zudem eine tiefgreifende Integration in vorhandene Unternehmensprozesse voraus.

### 3.1.2.12 Risikoorientiertes Anlaufmanagement nach NAGEL

Die inhaltliche Ausrichtung des Ansatzes von NAGEL ist eine operative Planungs- und Entscheidungsunterstützung, um risikobehaftete Anlaufprozesse handhaben zu können. Neben Qualität und Kosten betont NAGEL die Zeit als zentrale Größe in der Umsetzung der Anlaufprozesse [Nag11]. Zunächst wird auf Basis strategischer Managementansätze der Gestaltungsrahmen von Anlaufprozessen untersucht. Aufbauend auf verschiedenen operativen Methoden und Instrumenten der Risikohandhabung (Risikocheckliste, Fehlerbaumanalyse etc.) erfolgt die Umsetzung eines operativen Risikomanagements während des Anlaufprozesses. Dabei erfolgt eine Strukturierung der möglichen auftretenden Risiken hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs des Serienanlaufs sowie eine projekt- und funktionalbezogene Risikoperspektive (vgl. Bild 3.9).

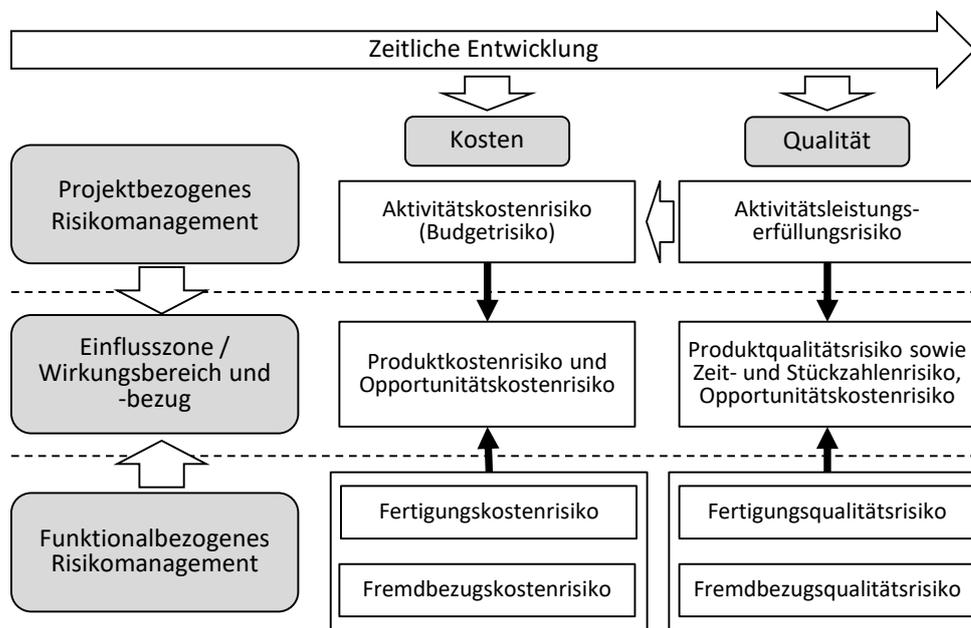


Bild 3.9: Strukturierung von Risiken im Anlauf nach [Nag11]

Eine Unterstützung der Systematik erfolgt durch die Entwicklung eines Instrumentes zur Modellierung der Planungs- und Entscheidungsunterstützung. Mit Hilfe des Modells sollen alle Anlaufaktivitäten abgebildet werden und somit zu einer Unterstützung der Entscheidungsfindung und Identifikation von Gefahren- und Verbesserungspotentialen führen. Die Bausteine des Modells setzen sich aus einem Reifegradmodell und einem GERT-Netzplanmodell zusammen [Nag11].

*Bewertung:* Ähnlich wie der bereits beschriebene Ansatz von TÜCKS, leistet der Forschungsansatz einen Beitrag zur Entscheidungsfindung im Serienanlauf. Der Ansatz unterstützt den Entscheidungsträger risikobehaftete Handlungsfelder im Serienanlaufprozess zu identifizieren und zu bewerten. Verschiedenen Risiken ordnet NAGEL verschiedenen Maßnahmen zu. Allerdings bleibt eine Untersuchung der Wirksamkeit der Maßnahmen, bezogen auf die Zielkriterien, aus. Die Abbildung des gesamten Anlaufprojektes innerhalb des Modells erfordert zudem einen erhöhten Aufwand sowie detaillierte Informationen über die verschiedenen

Prozesse. Die Ergebnisgüte ist stark abhängig von der Qualität der vorliegenden Informationen. Ein Einsatz in frühen Phasen ist somit nur bedingt möglich. Eine Betrachtung produktbezogener Erfolgsfaktoren findet ebenfalls keine Berücksichtigung.

### **3.1.2.13 Performance Management im Produktionsanlauf nach RENNER**

In der Arbeit von RENNER steht ein methodischer Anlaufleitfaden im Mittelpunkt. Dieser verfolgt das Ziel ein anlaufspezifisches Performance Management System abzubilden, um somit eine Verbesserung der Entscheidungsfindung und Ableitung von Handlungsmaßnahmen zu unterstützen [Ren12]. Ausgangspunkt ist eine umfangreiche Literaturrecherche sowie ausgehend davon eine Ableitung der anlaufspezifischen Anforderungen an den Leitfaden. Weiterhin erfolgt auf Basis bestehender Ansätze die Erstellung eines Zielkataloges. Für die Berechnung der Zielerreichung werden Kennzahlen gebildet, Einflussfaktoren analysiert und geeignete Maßnahmen untersucht.

Der methodische Leitfaden lässt sich in die drei Bestandteile Performance Planung, Measurement und Beeinflussung unterteilen. Innerhalb der Planung erfolgt die Zielfestlegung und Bestimmung der Beteiligten für das spezifische Anlaufprojekt. Anschließend werden in der nächsten Phase Kennzahlen, die die jeweiligen Zielgrößen abbilden können, ausgewählt und berechnet. Die abschließende Phase Beeinflussung konzentriert sich auf die Kommunikation der Ergebnisse und die Auswahl von Handlungsalternativen zur Beeinflussung der Zieldimensionen [Ren12].

*Bewertung:* Die Arbeit von RENNER stellt eine sehr umfangreiche Analyse des Problemfeldes des Serienanlaufs in der Literatur dar. Als ein wesentlicher Punkt ist die Einbindung der Unternehmensstrategie bzw. des Zielsystems in das Anlaufprojekt hervorzuheben. Der generische Leitfaden stellt eine umfassende Unterstützung zur Entscheidungsfindung bei möglichen Zielabweichungen im Anlauf dar. Allerdings setzt die Umsetzung für neue Anlaufprojekte und eine unternehmensspezifische Adaption einen erhöhten Aufwand voraus. Der Fokus des Ansatzes liegt klar auf dem Produktionssystem und der Unterstützung der Anlaufphase. Eine Berücksichtigung der entwicklungsgetriebenen Einflussfaktoren findet nur am Rande statt. Eine beispielhafte Anwendung der entwickelten Vorgehensweise wird nicht weiter beschrieben.

### **3.1.2.14 Anlauforientierte Technologieplanung nach NAU**

Im Mittelpunkt der von NAU entwickelten Methode steht die frühzeitige Integration der Technologieplanung (vgl. Bild 3.10), um somit eine Entscheidungsunterstützung für die Anlaufplanung zu bieten [Nau12]. Ausgangssituation ist eine Vorauswahl von vorhandenen Fertigungstechnologien, deren Eignung bereits als realisierbar nachgewiesen wurde. Anschließend werden diese Technologien im Grobplanungsschritt einer Risiko-Potenzial-Analyse unterzogen. Um den Aufwand zu reduzieren, ist das Ziel bereits weniger geeignete Technologien für den nächsten Schritt auszuschließen. Innerhalb der Feinplanung erfolgt die Untersuchung aller Einflussgrößen auf das Verhalten der Technologie im Serienanlauf. Dabei ist die Zeit bis zum Erreichen der Kammlinie die entscheidende Kenngröße [Nau12]. Die Abschätzung des Verhaltens basiert auf dem Erfahrungswissen aus vergangenen Anläufen sowie ver-

gleichbaren Technologien und wird mit Hilfe eines Ursache-Wirkungs-Diagramms durchgeführt.

Neben der Grobplanung und Feinplanung führt NAU einen übergeordneten Teilschritt ein. Dieser konzentriert sich auf die szenariobasierte Technologieplanungsmethodenauswahl [Nau12]. Ziel ist es, mit Hilfe der Szenarioanalyse verschiedene Anlaufsznarien zu erzeugen und eine Nutzen-Aufwand-Abschätzung durchzuführen. Diese Auswahl wird mit dem Technologieplanungsmodell verknüpft. Je nach Anlaufsituation, kann die entsprechende Methode zur Planung ausgewählt werden.

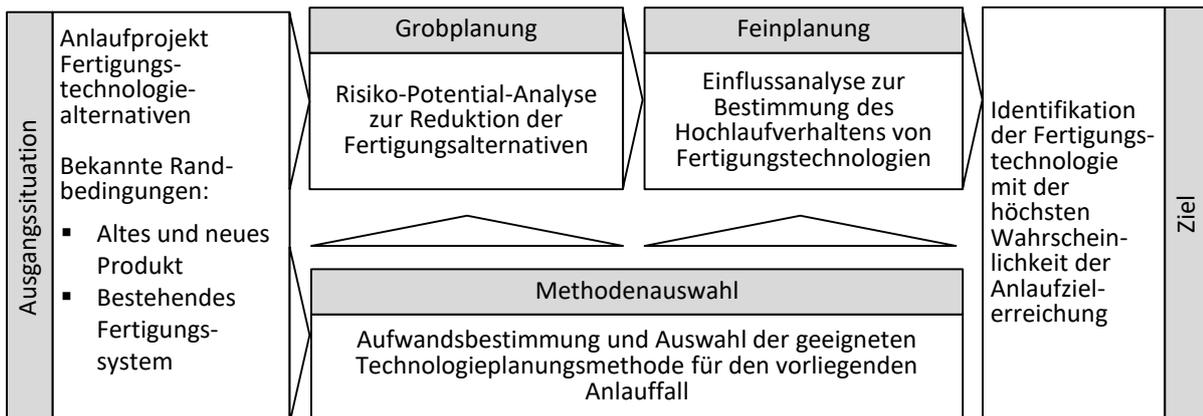


Bild 3.10: Vorgehensweise der anlauforientierten Technologieplanung nach [Nau12]

**Bewertung:** NAU motiviert in seiner Arbeit eine frühzeitige Einbindung der Fertigungstechnologieplanung für einen effizienten Serienanlauf. Grundsätzlich stellt der Ansatz eine gute Basis für den Einsatz in frühen Phasen dar. Die Abschätzung erfolgt auf Basis von Erfahrungswissen und setzt somit ein Wissensmanagementsystem für eine langfristige Nutzung voraus. Gerade für neue Fertigungstechnologien gestaltet sich die Abschätzung schwierig und erfordert den Einsatz von Experten. Weiterhin werden lediglich allgemeine Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos und Steigerung der Potenziale hinsichtlich der Fertigungstechnologien gegeben. Durch den Fokus auf die Fertigungstechnologie werden Aspekte der Produkt- und Prozessgestaltung, und der unternehmensübergreifende Koordination nicht weiter unterstützt.

### 3.1.2.15 Integriertes Zykluskonzept nach THIEBUS

THIEBUS präsentiert in seiner Arbeit ein integriertes Zykluskonzept mit dessen Hilfe die Zieldimensionen Zeit, Kosten und Qualität im Serienanlauf positiv beeinflusst werden sollen. Dabei stellt das Wissen, insbesondere das Erfahrungswissen, ein zentrales Element seines Konzeptes dar [Thi08]. Das von THIEBUS entwickelte Konzept beinhaltet die vier Bausteine Ishikawa-Analyse, Delphi-Befragung, Reifegradbewertung und semantisches Netz. Informationen und Wissen aus den verschiedenen Bausteinen bilden die organisationale Wissensbasis. Diese wird weiter differenziert in technische (z.B. Datenverarbeitung, Dokumente etc.) und menschliche Wissensträger (explizite und implizite Wissensbestände).

Innerhalb des ersten Bausteins werden mit Hilfe des Ishikawa-Diagramms die Analysegrenzen des Zyklusdurchlaufes festgelegt. Dabei sollen zunächst verschiedene Treiber- (Produktentstehungsprozess) und Leistungsfaktoren (Leistungsprozess) analysiert werden. Als

Ergebnis liefert der Baustein vordefinierte Frageblöcke und deren Antwortschemata in Bezug zu den jeweiligen Faktoren [Thi08]. Die Frageblöcke stellen den Input für den zweiten Baustein dar. Die Delphi-Befragung wird in einer Fragebogen-Antwort-Matrix erfasst und ausgewertet. Ausgangsgröße sind die Antworthäufigkeiten. Im dritten Baustein erfolgt die Reifegradbewertung. Diese wird in zwei Schritte unterteilt. Zunächst werden die Reifegrade entsprechend der zuvor ausgewählten Treiber- und Leistungsfaktoren berechnet und verschiedene Szenarien abgeleitet. Im zweiten Schritt erfolgt die Untersuchung der Kombination von Problemhäufigkeiten und deren Ursachen. Im letzten Baustein werden mit Hilfe eines semantischen Netzes das gesammelte Wissen repräsentiert, die Berechnung der verschiedenen Reifegrade transparent dargestellt und Schulungsmaßnahmen für die Mitarbeiter abgeleitet.

*Bewertung:* Das integrierte Zykluskonzept wurde speziell für die Automobilindustrie entwickelt und unterstützt den Aufbau und Erweiterung einer organisationalen Wissensbasis für den Serienanlauf. Für Produkte mit zahlreichen Anlaufbeteiligten kann davon ausgegangen werden, dass eine Mitarbeiterbefragung sehr zeitintensiv und mit großem Aufwand verbunden ist. Es wird im Rahmen der Untersuchung die Ursache-Wirkbeziehung von Problemen betrachtet. Allerdings erfolgt kein Rückschluss auf die jeweiligen Einflussfaktoren.

### 3.1.3 Bewertung der Methoden

Es folgt eine Bewertung der zuvor beschriebenen Methoden im Bereich der Unterstützung der Serienanlaufphase anhand der in Kapitel 2.4 ausgearbeiteten Anforderungen. Die Ergebnisse der Bewertung sind abschließend in Bild 3.11 dargestellt.

**Anwendbarkeit in der frühen Entwicklungsphase:** Die Mehrheit der wissenschaftlichen Ansätze fokussiert sich auf den thematischen Schwerpunkt des Produktionsmanagements und des Produktionssystems. Daher werden in einer Vielzahl der Ansätze Beschreibungs-, Erklärungs- und Bewertungsmodelle verwendet, die auf bereits vorhandenen Informationen in der Produktion aufbauen und eine Unterstützung der Anlaufphase ermöglichen. Eine Fokussierung auf die Unterstützung der Entwicklungsphase hinsichtlich des Transfers in die Produktion liegt derzeit nicht vor. Lediglich der Ansatz von NAU zur Auswahl und Bewertung verschiedener Fertigungstechnologien bietet die Möglichkeit einer frühzeitigen Berücksichtigung in der Entwicklungsphase.

**Anwendbarkeit bei komplexen Kleinserienprodukten:** Mit Ausnahme des methodischen Ansatzes von ZEUGTRÄGER sind die beschriebenen Ansätze auf Großserien- und Massenfertigungsprodukte ausgerichtet. Ein Großteil der Ansätze konzentriert sich mit ihrem Untersuchungsobjekt auf die Automobilindustrie. Daher ist die Implementierung verschiedener methodischer Ansätze im Rahmen des Serienanlaufs im Flugzeugbau nur bedingt möglich. Einige strategische Aspekte und empirischen Zusammenhänge besitzen dennoch Gültigkeit und lassen sich angepasst übertragen.

**Berücksichtigung der Produktgestaltung hinsichtlich des Serienanlaufs:** Aufgrund der bereits beschriebenen thematischen Ausrichtung hinsichtlich des Produktionsmanagements findet eine Berücksichtigung der Produktstruktur bzw. eine Rückkopplung der Änderungen oder Anpassung der Produktstruktur und deren Auswirkungen auf das Produktionssystem

nicht statt. Eine neue Produktstruktur wird nur sporadisch betrachtet und eher als gegeben hingenommen. Teilweise wird eine veränderte bzw. optimierte Produktstruktur als Handlungsmaßnahme (modulare Gestaltung) genannt, aber nicht weiter vertieft.

**Berücksichtigung von Einflussfaktoren auf den Serienanlauf:** Bei einem Großteil der Ansätze findet eine Berücksichtigung von Einflussfaktoren des Serienanlaufs statt. Besonders hervorzuheben sei an dieser Stelle der Ansatz von RISSE, der sich auf die zeitliche Zielerreichung (Time-to-Market) und deren Einflussfaktoren konzentriert. Weiterhin werden zahlreiche branchenspezifische Faktoren mit Hilfe von Interviews und empirischen Erhebungen identifiziert. Eine Untersuchung der Interaktion zwischen den verschiedenen Einflussfaktoren und deren Auswirkungen auf die Serienanlauffähigkeit wird allerdings nur bedingt betrachtet.

**Abbildung einer risikoorientierten Betrachtungsweise im Serienanlauf:** Eine risikoorientierte Betrachtungsweise der Anlaufphase wird nur untergeordnet betrachtet. Dagegen verfolgen die methodischen Ansätze im Rahmen des Qualitätsmanagements eher ein Projektcontrolling. Dabei werden Planabweichungen von Soll-Werten mehr mit Hilfe von reaktiven als präventiven Maßnahmen begegnet. Eine reine Betrachtung der Serienanlaufphase aus Sicht des Risikomanagements beschreibt erstmals NAGEL in seinem Ansatz. Weiterhin beschreibt NAU eine Risiko-Potential-Analyse, die sich auf den Einsatz von Fertigungstechnologien beschränkt und keinen direkten Zusammenhang zu den Zielgrößen des Serienanlaufs herstellt. Die Mehrheit der Methoden erlaubt keine Aussagen über Auswirkungen von Risiken und der Abweichung von Zielsetzungen im Rahmen des Serienanlaufs.

**Bereitstellung von Handlungsmaßnahmen:** Die Mehrheit der Ansätze beschreibt Handlungsmaßnahmen zur Absicherung der Serienanlaufphase. Allerdings gehen diese nur unzureichend auf den Zusammenhang zwischen den identifizierten Faktoren und den entsprechenden Maßnahmen ein. Meist verbleiben die Ansätze mit dem Hinweis auf generische bzw. strategischen Handlungsmöglichkeiten. Der Aufwand und die Wirksamkeit dieser werden nur teilweise betrachtet.

**Bewertung innerhalb der Produktentstehungsphase:** Abhängig von der inhaltlichen Ausrichtung der Forschungsansätze werden diese zum großen Teil mit Hilfe von Kennzahlen unterstützt. Dabei handelt es sich vornehmlich um Ansätze im Bereich des Projektcontrollings [Wan98], [Hün10], [Sch01], der Reifegradabsicherung [Thi08] und der Simulationen [Lan04]. Die Aussagekraft und der Aufwand der zu nutzenden Kennzahlen sind dabei stark abhängig von den zur Verfügung stehenden Informationen. Gerade innerhalb der frühen Entwicklungsphase ist die Anwendbarkeit von spezifischen Produktionskennzahlen aufgrund der hohen Unsicherheit nur bedingt sinnvoll.

**Nachvollziehbarkeit und Dokumentation:** Eine einfache und industrienähe Implementierung der verschiedenen Forschungsansätze ist nur gegeben, wenn die Transparenz im methodischen Vorgehen, als auch eine Entscheidungsdokumentation vorhanden ist. Hervorzuheben seien an dieser Stelle die Ansätze von WANGENHEIM, NAU und THIEBUS. Ansätze mit Fokus auf das methodische Vorgehen weisen allerdings meist Defizite in der Darstellung der beispielhaften Umsetzung auf. Zusätzlich fehlt den spezifischen Ansätzen meist ein genereller Leitfaden oder eine Handlungsanweisung zur Übertragung auf andere Unternehmen und Branchen.

	Vergleichskriterien der Methoden							
	Anwendbarkeit		Berücksichtigung		Abbildung einer risikoorientierten Betrachtungsweise im Serienanlauf	Bereitstellung von Handlungsmaßnahmen	Bewertung innerhalb der Produktentstehungsphase	Nachvollziehbarkeit und Dokumentation
... in der frühen Entwicklungsphase	... bei komplexen Kleinserienprodukten	... der Produktgestaltung hinsichtlich des Serienanlaufs	... von Einflussfaktoren auf den Serienanlauf					
<b>Methoden zur Unterstützung der Serienanlaufphase</b>								
Planung und Steuerung des Serienanlaufs komplexer Produkte nach WANGENHEIM	◐	◐	○	◐	○	◐	◐	●
Anlaufmanagement für Großanlagen nach ZEUGTRÄGER	◐	●	○	◐	○	○	◐	◐
Effizienzsteigerung während Produktionsanläufen nach SCHMAHLS	○	◐	○	◐	○	○	●	◐
Time-to-Market-Management in der Automobilindustrie nach RISSE	◐	◐	◐	●	○	◐	◐	◐
Sicherer Produktionshochlauf durch zielorientierte Gestaltung nach LAICK	○	◐	○	◐	○	◐	○	●
Modellanalyse von Lieferantenbeziehungen in Anlaufprozessen nach DENZLER	◐	◐	○	◐	○	◐	○	◐
Anlaufmanagement in Netzwerken nach FITZEK	◐	◐	◐	◐	◐	◐	○	◐
Simulationsbasierte Anlaufunterstützung nach LANZA	○	○	○	○	◐	○	●	◐
Modellierung vernetzter Wirkbeziehungen im Produktionsanlauf nach WINKLER	○	◐	○	○	◐	○	●	◐
Ramp-Up Management in der Automobilindustrie nach TÜCKS	○	◐	○	◐	○	◐	◐	◐
Terminplanung und –überwachung von Produktionsanläufen nach HÜNTELMANN	○	◐	○	○	◐	◐	●	◐
Risikoorientiertes Anlaufmanagement nach NAGEL	○	◐	◐	◐	●	◐	○	◐
Performance Management im Produktionsanlauf nach RENNER	◐	◐	○	◐	○	◐	●	◐
Anlauforientierte Technologieplanung nach NAU	●	◐	○	◐	◐	◐	●	●
Integriertes Zykluskonzept nach THIEBUS	◐	◐	○	◐	◐	○	●	●

● erfüllt    ◐ teilweise erfüllt    ○ nicht erfüllt

Bild 3.11: Bewertung bestehender Methoden zur Unterstützung der Serienanlaufphase

## 3.2 Grundlagen des Risikomanagements

Hinsichtlich der Zielerreichung innerhalb des Serienanlaufs ist mit produkt- und prozesseitig induzierten Störungen zu rechnen [Kuh02]. Da der Serienanlauf starken Einfluss auf den wirtschaftlichen Erfolg eines Produktes hat, stellen die Störungen ein potentielles unternehmerisches Risiko dar. Zielabweichungen aufgrund von Störungen können durch Ansätze des Risikomanagements begegnet werden. Es existieren verschiedene branchenspezifische Ansätze und Umsetzungen in den Unternehmen. Der Ursprung des Risikomanagements entstammt dem Versicherungsbereich und Bankwesen. Gesetzliche Vorgaben, wie z.B. das Gesetz zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich, führten allerdings zur Notwendigkeit auch in produzierenden Unternehmen, ein Frühwarnsystem für bestandsgefährdende Entwicklungen einzuführen [Wil05a], [Zäh04]. Mit Hilfe eines Risikomanagementsystems können organisatorische, technische und finanzielle Unsicherheiten in der Produktentwicklung abgesichert werden. Im folgenden Abschnitt werden die Grundlagen sowie allgemeine und spezielle Ansätze des Risikomanagements in Bezug auf den Produktentstehungsprozesses vorgestellt.

### 3.2.1 Aufgaben und Ziele

An ein neu zu entwickelndes Produkt und dessen Überführung in die Produktion wird eine Vielzahl an verschiedenen Anforderungen, die einen entscheidenden Einfluss auf die gesetzte Zielerreichung haben, gestellt. Eine Überwachung dieser Zielerreichung ist gerade in der Entwicklung mit hoher Produktkomplexität schwierig umzusetzen [Lin09a]. Allgemein besteht das Ziel des Risikomanagements in der systematischen Handhabung möglicher Risiken, um die gesetzten Unternehmensziele zu erreichen. Dabei sind drei wesentliche Grundaufgaben zu erfüllen. Zunächst steht die reine Unternehmenssicherung im Vordergrund. Die zweite elementare Aufgabe ist die Gewährleistung langfristigen Unternehmenserfolges und drittens soll das Risikomanagement die Risikokosten minimieren [Hof85]. Die Aufgabe des Risikomanagements besteht darin, möglichst frühzeitig Fehler bzw. Risiken die sich kritisch auf die Unternehmensziele bzw. Ziele des Entwicklungsprozesses auswirken könnten, zu identifizieren, zu analysieren und zu überwachen [Kön08]. Das Risikomanagement bildet somit das Rahmenwerk, um Widersprüche zu den definierten Produkt-, Prozess- und Marktzielen abzusichern.

### 3.2.2 Systematik und Vorgehensweise des Risikomanagements

Aufgrund der unterschiedlichsten Anwendungsgebiete finden sich in der Literatur zahlreiche Vorgehensmodelle für einen Risikomanagementprozess. Die Kernelemente des Risikomanagementprozesses sind die Identifikation, Analyse und Bewertung, Steuerung und Überwachung von Risiken [Lüh05], [Kön08], [Pur10], [Wiß06]. Dieser Prozess ist als Regelkreis in der folgenden Abbildung (vgl. Bild 3.12, links) dargestellt.

Als erster Schritt erfolgt die Risikoidentifikation. Ziel ist es eine möglichst umfassende und systematische Erfassung aller bestehenden und potentiellen Risiken durchzuführen. Die Erfassung erfolgt unternehmensspezifisch mit Hilfe verschiedener Analyse- und Prognoseinstrumente. Aufgrund der Verschiedenartigkeit und Vernetzung der potentiellen Risiken empfiehlt es sich stets mehrere Instrumente anzuwenden. Als Analyseinstrumente finden unter

anderem Experteninterviews, Checklisten und Kreativitätstechniken Anwendung. Zu den bekanntesten Prognoseinstrumenten zählen die Szenario-Technik, Regressionsrechnung und Trendanalyse [Wil06], [Kön08]. HOFFMANN bezeichnet diese Phase als Risikoinventur [Hof85]. Sie dient als Basis für alle weiteren Prozessschritte.

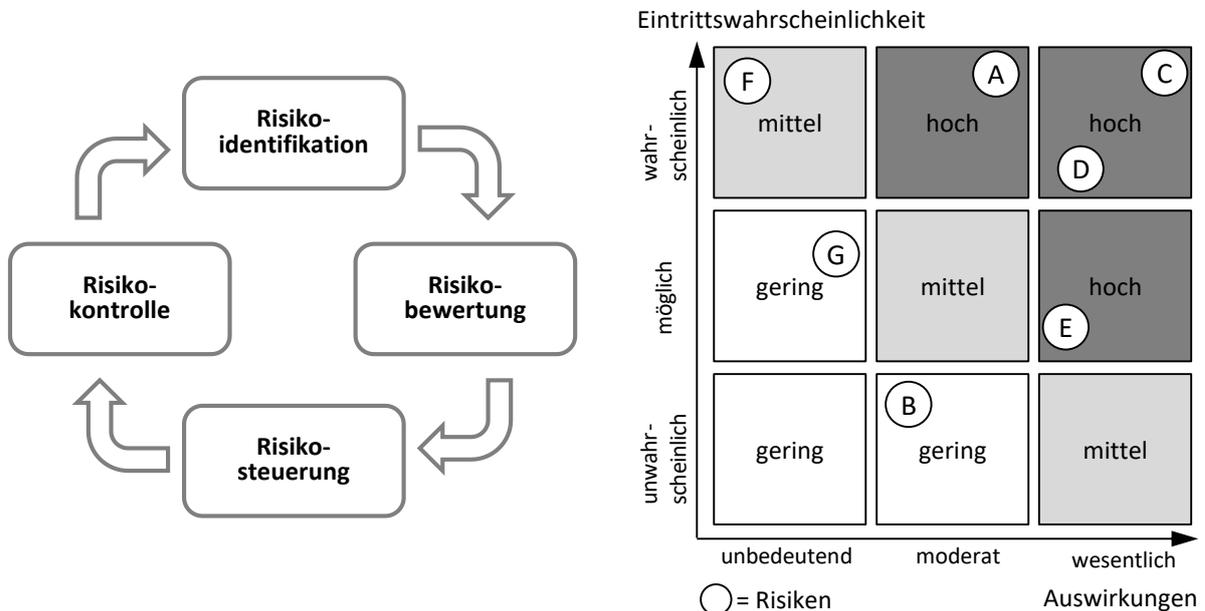


Bild 3.12: Elemente des Risikomanagements (links) und Risikoportfolio (rechts) nach [Lüh05]

Um eine Entscheidungsgrundlage für die Risikosteuerung zu schaffen, findet im nächsten Schritt die Risikoanalyse bzw. -bewertung statt. Dazu werden das Ausmaß und die Bedeutung der Risiken auf die Unternehmensziele bestimmt. Eine gängige Vorgehensweise ist die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit des Eintretens und die Höhe des damit verbunden Schadens [Wiß06]. Die Schwierigkeit der Abschätzung besteht zum einen in der Vernetzung der Einzelrisiken und in der eigentlichen Abschätzung. Diese kann durch quantitative oder qualitative Verfahren unterstützt werden. Dazu zählen unter anderem das Entscheidungsbaumverfahren, Sensitivitätsanalysen, Probabilistic-Event-Analyse und statistische Risiko-maße [Wil06]. Anschließend erfolgt eine einfache Visualisierung der Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe für die jeweiligen Risiken in einer sogenannten Risikomatrix bzw. in einem Risikoportfolio [Lüh05]. Ein Beispiel ist in Bild 3.12 rechts dargestellt. Die Darstellungsweise unterstützt eine einfache Priorisierung der jeweiligen Risiken und eine mögliche Zuordnung verschiedener Risikobereiche. Handlungsbedarf besteht bei Risiken mit hoher Eintrittswahrscheinlichkeit und hoher Schadenshöhe. Für die Beurteilung der Gesamtrisikolage müssen allerdings auch die Effekte durch Interaktion der Einzelrisiken Berücksichtigung finden [Kön08], [Wil06].

Innerhalb der Risikosteuerung erfolgt die Auswahl der Reaktionsstrategien in Einklang mit den Unternehmenszielen. Grundsätzlich wird dabei zwischen aktiven und passiven Handlungsmaßnahmen unterschieden. Dabei versuchen aktive Maßnahmen die Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe zielgerichtet zu beeinflussen, während passive Maßnahmen die Auswirkungen nach einem Risikoeintritt minimieren. Daraus ergibt sich auch die häufig in der Literatur zu findende Unterteilung in ursachenbezogene (aktiv) und wirkungs-

bezogene (passiv) Handlungsstrategien [Wil06]. Die jeweils auf die Risikosituation angepassten Maßnahmen lassen sich in die vier grundsätzliche Vorgehensweisen Risikovermeidung, -reduzierung, -übertragung und -übernahme unterteilen [Hof85], [Kön08]. Bei der Risikovermeidung steht die Unterlassung einer Handlung, die zum Risiko führt, im Vordergrund. Ziel ist es, den Eintritt eines Risikos zu vermeiden. Beispielsweise könnte eher auf eine bewährte Technologie im Produkt gesetzt werden, als eine neue risikobehaftete einzusetzen. Innerhalb der Risikoreduzierung wird versucht, die Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe eines Risikos auf ein Minimum zu reduzieren. Dazu hilft es, beispielsweise das Produktportfolio zu diversifizieren, um mögliche Verluste durch andere erfolgreiche Produkte auszugleichen oder es könnten mehrere Produktionsanlagen zur Herstellung des gleichen Produkts verwendet werden, um die Auswirkung eines Anlagenausfalls zu minimieren. Die beiden zuvor genannten Maßnahmen dienen der aktiven Risikobewältigung und konzentrieren sich auf die Ursachen der Risiken [Kön08]. Für Risiken, die nicht vermieden oder reduziert werden können, stehen passive Risikobewältigungsstrategien zur Verfügung. Dabei handelt es sich um wirkungsbezogene Maßnahmen [Wil06]. Bei der Risikoübertragung erfolgt die Risikoweitergabe an Dritte, wie z.B. Versicherungsunternehmen, Lieferanten oder andere Vertragspartner. Allerdings lassen sich nicht gänzlich alle Risiken durch Überwälzung abdecken. Die verbleibenden Risiken muss das Unternehmen selbst tragen. Dabei wird eine mögliche negative Zielabweichung in Kauf genommen. Selbst Risiken mit verhältnismäßig kleinem Schadenspotenzial sollten weiterhin im Prozess mitbetrachtet werden. Eine Möglichkeit mit Restrisiken umzugehen ist es, leistungs- und finanzwirtschaftliche Reserven zur Verfügung zu stellen [Wil06].

Maßnahmen zur Risikohandhabung sollten geeignete Vorgaben und Handlungsanweisungen für die beteiligten Mitarbeiter im Unternehmensnetzwerk bereitstellen. Innerhalb der Risikoüberwachung erfolgt anschließend die Umsetzung und regelmäßige Überwachung dieser Maßnahmen. Dies geschieht mit Hilfe von zuvor definierten Schwellen- bzw. Grenzwerten [Wiß06]. Weiterhin besteht die Aufgabe, in einem Risikobericht die Risikoentwicklung transparent darzustellen. Eine regelmäßige Wiederholung des Risikomanagementprozesses ist aufgrund der kontinuierlichen Veränderungen der Einflussfaktoren im Unternehmensumfeld obligatorisch [Kön08]. So kann durch eine Adaption der gewählten Maßnahmen auf veränderte Rahmenbedingungen reagiert werden.

### **3.2.3 Risikoabsicherungsmethoden in der Produktentwicklung**

Im Hinblick auf den Fokus der Arbeit werden im folgenden Abschnitt Methoden zur Identifizierung, Bewertung und Steuerung von Risiken innerhalb der Produktentwicklung vorgestellt. In der Literatur finden sich verschiedene Methoden und Ansätze, die im Rahmen des Projekt- und Qualitätsmanagements im Produktentstehungsprozess Anwendung finden. Neben allgemeinen Ansätzen zur Bewertung technischer Systeme werden auch spezifische Ansätze kurz vorgestellt und anschließend bewertet.

#### **3.2.3.1 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)**

Die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) ist eine analytische Methode zur Erfassung möglicher Risiken eines Produkts oder Prozesses und der damit verbundenen Auswirkungen auf die Entwicklungs- und Produktionsphase [Pah07], [Lin09a]. Hauptziel ist die prä-

ventive Fehlervermeidung und –reduzierung im Entwicklungsprozess. Ein Einsatz erfolgt in der Regel bei neuen oder geänderten Produktkomponenten, Werkstoffen oder Anforderungen. Die Durchführung findet innerhalb interdisziplinärer Teams statt und wird mit Hilfe eines standardisierten Formblattes unterstützt. Zunächst erfolgt die System- und Funktionsanalyse. Innerhalb dieser werden der Aufbau und die jeweiligen Funktionen aufgenommen. Danach erfolgt die Risikoanalyse, in der mögliche potentielle Fehlerfolgen und Fehlerursachen abgeschätzt werden [Pah07]. Die anschließende Risikobewertung erfolgt auf einer 10-stufigen Skala, die zum einen die Auftrittswahrscheinlichkeit und zum anderen die Entdeckungswahrscheinlichkeit eines potentiellen Fehlers abschätzt. Das Ergebnis ist eine Risikoprioritätszahl (RPZ), die sich aus der Multiplikation der drei zuvor genannten Werte ergibt [Sch10b]. Anschließend erfolgt die Risikominimierung durch Entwicklung möglicher Maßnahmen zur Verbesserung des Systems. Dabei findet eine Priorisierung durch die jeweilige Höhe der RPZ statt. Nach der Maßnahmenimplementierung wird eine erneute Bewertung der RPZ durchgeführt, um die Wirksamkeit der Maßnahme zu überprüfen [Pah07].

*Bewertung:* Durch den entwicklungsbegleitenden Einsatz der FMEA stellt die Methode ein wirksames Mittel zur Reduzierung von Fehlerkosten bereits vor dem eigentlichen Produktionsanlauf dar. Als ein Kritikpunkt der Methode wird häufig der hohe Aufwand, der mit zunehmender Komplexität des Systems noch ansteigt, genannt [Sch10b]. Weiterhin spiegeln die Expertenabschätzungen nur eine subjektive Risikoabschätzung, die stark von der Zusammensetzung des interdisziplinären Teams abhängig ist. Die Methode liefert zwar eine systematische Vorgehensweise, allerdings findet keine Bereitstellung von Informationen für die Ausgangsanalyse des zu untersuchenden Systems zur Risikobewertung statt.

### 3.2.3.2 Fehlerbaumanalyse (FTA)

Das Ziel der Fehlerbaumanalyse (engl. Fault Tree Analysis) ist eine systematische Suche nach möglichem Fehlverhalten technischer Produkte oder Systeme. Aussagen über das Verhalten des Systems werden mit Hilfe der Abschätzung von Ausfallwahrscheinlichkeiten realisiert [Pah07]. Zentrales Element dabei ist die Erstellung des Fehlerbaums auf Basis einer Systemanalyse. Innerhalb des Fehlerbaums erfolgt die Verknüpfung eines möglichen Fehlers und dessen Ursachen mit Hilfe der Booleschen Algebra (UND-, ODER-Verknüpfungen). Anschließend sind die Wahrscheinlichkeiten zu bestimmen, mit denen die direkten Ursachen eintreten könnten. Dazu kann auf Zuverlässigkeitsdaten eines festgelegten Zeitintervalls zurückgegriffen werden [Sch10b]. Wurden alle Fehlereinzelnwahrscheinlichkeiten bestimmt, wird mit Hilfe der Verknüpfungen die Gesamtwahrscheinlichkeit eines Ereignisses ermittelt. So lassen sich der kritische Pfad der einzelnen Ereignisse erkennen und entsprechend Maßnahmen zur Reduzierung der Wahrscheinlichkeiten zu ordnen. Dadurch kann eine gezielte Veränderung bzw. Verbesserung eines Produktes oder technischen Systems erfolgen [Lin09a].

*Bewertung:* Ein wesentlicher Vorteil der Fehlerbaumanalyse ist die systematische Ursachenanalyse möglichen Fehlverhaltens des Produktes oder Systems, die mit Hilfe von Fehlerwahrscheinlichkeiten eine Quantifizierung der Ereignisse ermöglicht. Allerdings wird, wie auch bei der FMEA, häufig der hohe Aufwand für komplexere Systeme angemerkt [Pah07]. Weiterhin anzumerken ist, dass die Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit, auf-

grund fehlender Erfahrungswerte bzw. Zuverlässigkeitswerte, als schwierig einzustufen ist. Eine Interaktion der Fehlerursachen wird nicht betrachtet.

### 3.2.3.3 Quality Function Deployment (QFD)

Im Vergleich zu den beiden zuvor beschriebenen Methoden stellt die Methode Quality Function Deployment (QFD) keinen Ansatz zur direkten Risiko- bzw. Fehlerbetrachtung dar. Vielmehr wird die Methode eingesetzt, um Kundenanforderungen zielorientiert in die Produkt- und Prozessplanung mit einzubringen [Lin09a]. Damit wird das Ziel verfolgt, die Entwurfsqualität und die Kundenorientierung in der Entwicklung zu steigern, was zwangsläufig zu einer Reduzierung des Risikos einer Zielabweichung von gewünschten Kundenmerkmalen führt. Prinzipiell ist das Vorgehen in vier Phasen eingeteilt [Sch10b], [Pah07]. Dabei erfolgt die Transformation von kundenrelevanten Merkmalen in technische, funktionale und produktionsrelevante Merkmale [Sch10b]. In allen vier Phasen stellt das „House of Quality“ ein zentrales Hilfsmittel zur Durchführung dar [Pah07]. Dabei handelt es sich um eine Matrize, die Zusammenhänge zwischen den Anforderungen und Merkmalen des Produkts systematisch herleitet, verknüpft und bewertet [Sch10b]. Die Anwendung erfolgt innerhalb eines interdisziplinären Teams. Zur Unterstützung der einzelnen Phasen können auch zusätzliche Methoden, wie beispielsweise die zuvor beschriebene FMEA, zum Einsatz kommen. Als Ergebnis stellt das House of Quality eine Entscheidungsgrundlage und Dokumentation des Prozesses zur Verfügung.

*Bewertung:* Die Methode steigert das Verständnis und die Kommunikation im Entwicklungsprozess. Dies deckt frühzeitig Inkonsistenzen und Zielkonflikte auf. Das Vorgehen ist auch bei hoher Produkt- und Prozesskomplexität anwendbar. Ein kritischer Punkt ist die Auswahl und Aufnahme der relevanten Kundenanforderungen, da auf Basis dieser alle weiteren Zuordnungen und Bewertungen im Vorgehen durchgeführt werden. Weiterhin erfolgt keine Unterstützung durch entsprechende Handlungsanweisungen bei Zielkonflikten.

### 3.2.3.4 Design Review

Ein weiterer Ansatz zur Absicherung der Entwicklungsergebnisse und Reduzierung von Risiken kann durch Design Reviews erzielt werden. Die Anwendung erfolgt ebenfalls innerhalb eines disziplinübergreifenden Teams [Pah07]. Hauptziel ist die Identifikation von Fehlern und Unzulänglichkeiten bezogen auf die Komponenten, Baugruppen und deren Zusammenbau. Den identifizierten Abweichungen von gestellten Anforderungen, Produktionsrisiken, Qualitätsmängel oder notwendigen Änderungen werden entsprechend Maßnahmen zugeordnet, um sicherzustellen, dass das Produkt die gestellten Anforderungen erfüllt. Die Methode baut auf die Erfahrungen der beteiligten Personen auf, die als eine Art Sachverständige auftreten [Sch10b]. Meist bestehen die Teams aus Mitarbeitern aus den Bereichen Entwicklung, Fertigung, Arbeitsvorbereitung, Qualitätssicherung sowie ggf. auch Vertrieb und Einkauf. Die eigentliche Durchführung wird häufig durch zuvor unternehmensspezifisch erstellte Checklisten oder Fragenkataloge unterstützt. Der Einsatz der Methode fokussiert sich auf eine Reduzierung der Produktänderungen, Entwicklungskosten und Fehlerbeseitigungsaufwänden [Sch10b].

*Bewertung:* Ein wesentlicher Vorteil ist die Anwendbarkeit bereits in frühen Phasen des Entwicklungsprozesses. Die Ergebnisse sind allerdings stark von den bereits vorhandenen Erfahrungen, Checklisten, der Auswahl der richtigen Mitarbeiter und der Vorgehensweise innerhalb des Reviews abhängig. Die Auswahl und Zuordnung der Maßnahmen kann bei fehlendem Maßnahmenkatalog unstrukturiert erfolgen.

### 3.2.3.5 Quality Gate-Ansatz mit integriertem Risikomanagement nach SCHARER

Der von SCHARER beschriebene Ansatz verfolgt das Ziel, den Produktentstehungsprozess mit Hilfe eines prozessorientierten Risikomanagement systematisch zu unterstützen [Sch02b]. Methodisch werden dazu die vier Bausteine Produktentstehungsprozess, Qualitätsmanagement, Risikomanagement und Quality Gates miteinander kombiniert (vgl. Bild 3.13). Zunächst erfolgt die Modellierung des Referenzprozesses für die Produktentstehung mit den entsprechenden Quality Gates (Meilensteinen). Eine Feinplanung ermöglicht eine projektspezifische Anpassung des Produktentstehungsprozesses. Im nächsten Schritt werden mit Hilfe des Bausteins Qualitätsmanagement die Ziele auf Aktivitätenebene heruntergebrochen und konkretisiert. Durch diese phasenbezogene Zuordnung entsteht ein Messsystem mit Messgrößen für die jeweiligen Quality Gates. Anschließend wird die Zielerreichung auf den verschiedenen Ebenen mit dem Risikomanagementprozess abgesichert. Dieser Teil bildet den Kern der von SCHARER entwickelten Methode [Sch02b]. Dabei sind die Schritte der grundsätzlichen Vorgehensweise des Risikomanagements entnommen (vgl. Bild 3.12). Hervorzuheben ist die eingangs durchzuführende Identifikation der kritischen Aktivitäten. Als kritische Aktivitäten betrachtet SCHARER alle Tätigkeiten, die eine große Auswirkung auf das Gesamtprojekt haben und bei denen wenig Erfahrung vorhanden ist. Anschließend werden unter anderem die Risiken identifiziert, bewertet und entsprechend den Toleranzgrenzen verschiedene Risikostrategien ausgewählt. Innerhalb des letzten Moduls Quality Gate werden die Zielstellungen in Kriterien übersetzt und entsprechend der Phase abgeprüft. Dazu werden die verschiedenen Kriterien innerhalb eines generischen Baukastens den Elementen Strategie, Projekt, Produkt und Produktentstehungsprozess zugeordnet.

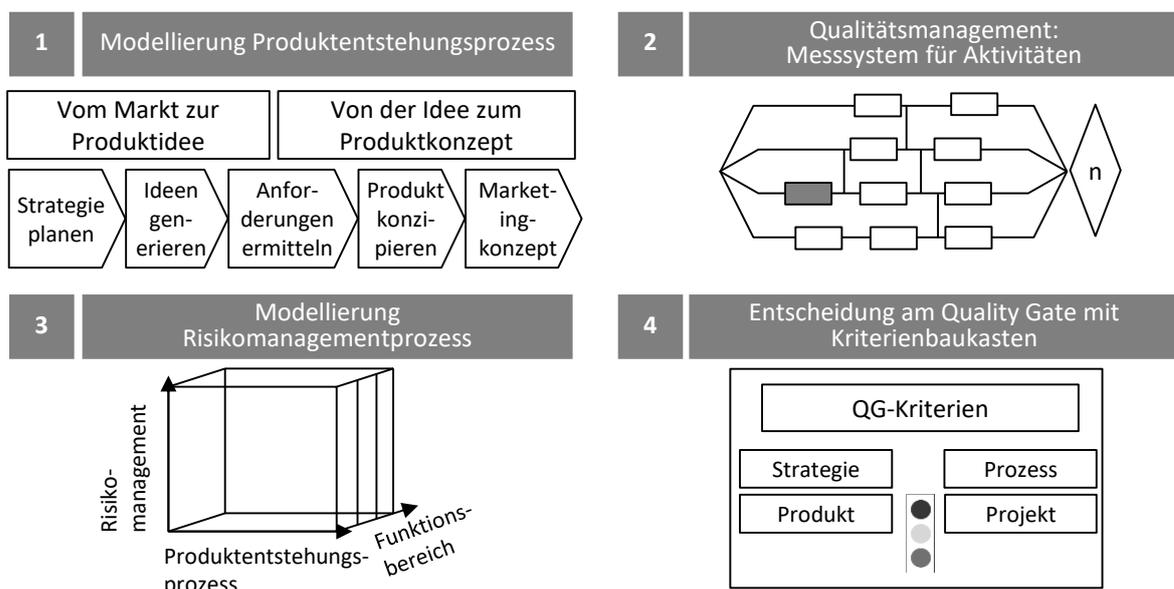


Bild 3.13: Vorgehensweise des integrierten Risikomanagements nach [Sch02b]

**Bewertung:** Der beschriebene Ansatz von SCHARER zeigt eine Möglichkeit zur stärkeren Fokussierung der Risikomanagementaktivitäten auf die einzelnen Tätigkeiten im Produktentstehungsprozess auf. Die Bewertung der Risiken so wie die Zuordnung der verschiedenen Strategien erfolgt mit Hilfe von Experteneinschätzung. Gesamtprojektrisiken, die sich durch das Zuliefernetzwerk ergeben, werden nur eingeschränkt berücksichtigt. Für die Priorisierung der Risiken wird analog zur FMEA auf eine Risikoprioritätszahl zurückgegriffen.

### 3.2.3.6 Prozessorientiertes Risikomanagement von Produktrisiken nach DAHMEN

Ähnlich wie der zuvor beschriebene Ansatz von SCHARER [Sch02b] konzentriert sich DAHMEN ebenfalls auf eine prozessorientierte Bewertung von Produktrisiken [Dah02]. Der methodische Ansatz besteht aus drei Bausteinen (vgl. Bild 3.14). Der Mikro-Logik-Baustein beinhaltet die Risikomanagementelemente Risikopolitik, Risikoanalyse, Maßnahmen und Erfolgskontrolle. Im Unterschied zur klassischen Vorgehensweise (vgl. Bild 3.12) führt DAHMEN die Risikopolitik als ein wesentliches Eingangselement ein. Innerhalb dieser erfolgen die Festlegung der unternehmensspezifischen Risikobereitschaft und die Ableitung risikopolitischer Zielvorgaben. Die prozessorientierte Umsetzung im Vorgehen wird innerhalb des Makro-Logik-Bausteins realisiert. Dabei wird entlang der Prozesse der Wertschöpfungskette der Risikomanagementzyklus iterativ durchlaufen und zwar mit steigendem Detaillierungsgrad nach dem Prinzip vom Groben zum Detail. Der dritte Baustein stellt für die einzelnen Schritte innerhalb des Risikomanagementkreislaufs verschiedene Werkzeuge und Methoden zur Unterstützung der einzelnen Teilschritte zur Verfügung. Dabei konzentrieren sich diese auf die Operationalisierung der Risikoidentifikation, Risikobewertung, Risikovisualisierung und Maßnahmenbewertung.

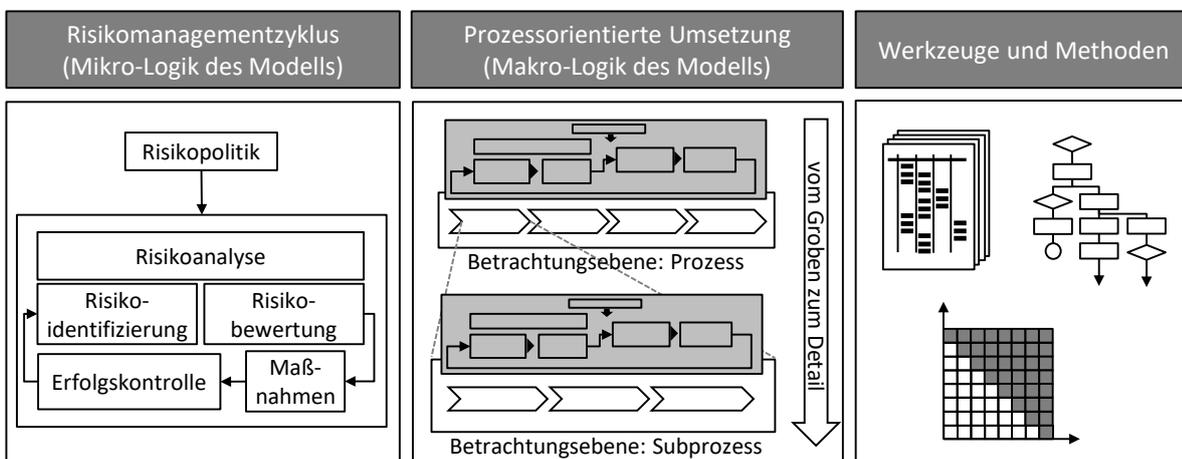


Bild 3.14: Bausteine des Vorgehensmodell nach [Dah02]

**Bewertung:** Der vorgestellte Ansatz fokussiert sich auf die Abschätzung von Produktrisiken und die Auswahl effizienter Maßnahmen. Dabei werden nicht nur präventive sondern auch reaktive Maßnahmen vorgesehen. Der Ansatz ist durch seine generische Vorgehensweise flexibel und auch schon in frühen Phasen der Entwicklung einsetzbar. Allerdings werden die vorgestellte Werkzeuge und Methoden in den einzelnen Elementen der Mikro-Logik nicht einer bestimmten Auswahllogik unterworfen. Eine systematische Unterstützung für den Nutzer bei der Zuordnung und Auswahl der verschiedenen Handlungsmöglichkeiten erfolgt nicht.

### 3.2.3.7 Risikomanagement in der Produktentwicklung nach LÜHRIG

Der Ansatz von LÜHRIG berücksichtigt die drei Kernelemente Risiken identifizieren, bewerten und bewältigen (vgl. Bild 3.15). Zusätzlich werden diese Elemente durch ein Kurzdiagnoseverfahren und eine Methodendatenbank ergänzt [Lüh05]. Ziel des Ansatzes ist es, nicht nur technische Risiken von Entwicklung bis Serienanlauf des Produktes zu erfassen, sondern sämtliche Risiken, die die Zielvorgaben des Entwicklungsprojektes negativ beeinflussen könnten. Innerhalb der Risikoidentifikation unterteilt LÜHRIG die Risiken anhand der Phasen Produktionsplanung, Produktionsanlauf, Produktion und sonstige Risiken. Diese Kategorien werden weiter konkretisiert durch die drei Bewertungsdimensionen Zeit, Kosten, Qualität. Die Bewertung in den jeweiligen Kategorien erfolgt mit Hilfe einer Ordinalskala hinsichtlich Schadensgröße (Bagatelle bis Katastrophe) und Eintrittswahrscheinlichkeit (unwahrscheinlich bis hoch). Für die Priorisierung der Risiken wird ein Entscheidungsverfahren verwendet, das auf dem Promethee-Verfahren aufbaut [Lüh05]. Dabei erfolgt die Rangordnungsbildung mit Hilfe einer Präferenzfunktion. Die anschließende Auswahl der Risikobewältigungsstrategien basiert auf der Unterteilung von ursachen- und wirkungsbezogenen Maßnahmen. Für die Implementierung der ausgewählten Maßnahmen bedient sich LÜHRIG dem fünfstufigen DMAIC-Modells (Define, Measure, Analyse, Improve, Control) aus dem Qualitätsmanagement. Mit Hilfe des konzeptionierten Kurzdiagnoseverfahrens unterstützt die Methode eine aufwandsminimale Abschätzung der Risikolage. Dabei handelt es sich um ein fragebogenbasiertes Vorgehen, das Risikoelemente mit vordefinierten Zuständen vergleicht. Den unterschiedlichen Phasen (z.B. Vorentwicklung) werden mit Unterkategorien Einzelemente zugeordnet, die dann hinsichtlich der möglichen Zustände (Best-Practice, Industriestandard, Risikofaktor) abgeschätzt werden. Als Ergebnis entsteht ein Risikoprofil, das auf Stärken und Schwächen in der Entwicklungsorganisation hinweist.

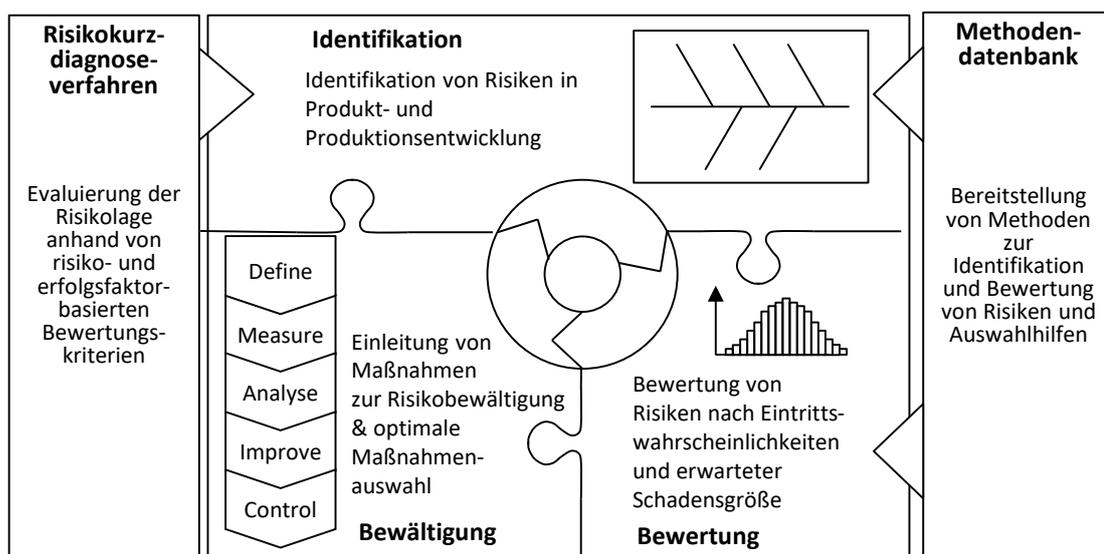


Bild 3.15: Risikomanagementmodell für die Produktentwicklung nach [Lüh05]

**Bewertung:** Wie in den Ansätzen zuvor basiert das Vorgehen ebenfalls auf subjektiven Experteneinschätzungen. Die komplexe Generierung einer Rangordnung täuscht dabei eine Genauigkeit vor, die allerdings eine starke Abhängigkeit von den subjektiven Eingangsdaten aufweist. Das Kurzdiagnoseverfahren unterstützt eine effektive Abschätzung möglicher Stär-

ken und Schwächen innerhalb der Produktentwicklung. Die auf einer Expertenumfrage basierenden Faktoren haben dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit und müssen unter Umständen korrigiert bzw. ergänzt werden. Weiterhin findet bei der Risikobewertung keine Betrachtung von möglichen Wechselwirkungen zwischen den Risikofaktoren und den gewählten Maßnahmen statt.

### 3.2.3.8 Bewertung technischer Risiken komplexer Serienprodukte nach WIBLER

Ausgehend von der Systemtheorie entwickelt WIBLER ein Risikoinformationsmodell, das auf einem Ziel-, Handlungs- und Sachsystem basiert [Wiß06]. Für die Betrachtungsweise führt er eine Mehrebenenstruktur ein, die aus den Elementen des Systems, der Hauptindikatoren, der Risikoindikatoren und der Kriterien besteht. Für den Aufbau des Risikoinformationsmodells werden in einem ersten Schritt alle beteiligten Systemelemente hinsichtlich technischer Risiken untersucht. Anschließend leiten sich aus den kritischen Elementen die Hauptindikatoren in den Bereichen Produkt, Projekt und Prozesse ab. Damit wird die Betrachtungsbreite festgelegt. Im nächsten Schritt findet die Festlegung der eigentlichen Risikoindikatoren, wie z.B. Technische Forderungen, Qualitätsforderungen oder Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen statt. Auf das Zielsystem baut das Handlungssystem auf und beschreibt die Aktivitäten und Ressourcen des Projektes z.B. Ablaufplan und Terminplan. Daraus ergeben sich meilenstein-spezifische Kriterien. Innerhalb der ergebnis- und ablauforientierten Risikobewertung erfolgt dann ein Abgleich der Zielindikatoren mit den meilensteinspezifischen Kriterien aus dem Handlungssystem (vgl. Bild 3.16). Das Sachsystem stellt dabei zu einem gewissen Zeitpunkt den Realisierungsstand dar.

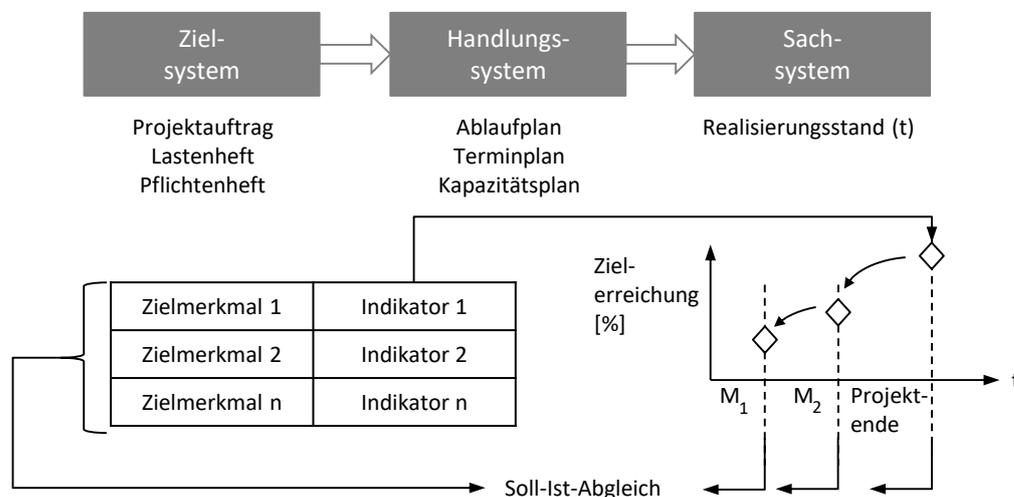


Bild 3.16: Ergebnis- und ablauforientierte Risikobetrachtung nach [Wiß06]

Der Soll/Ist-Abgleich erfolgt durch Einzelbewertung der jeweils beteiligten Experten. Die Visualisierung erfolgt mit Hilfe einer Ampel-Logik. Der Maßnahmenfindungs- und Maßnahmenentscheidungsprozess wird angestoßen, sofern der Ist-Zustand unterhalb des Plan-Zustands ist oder zukünftige Teilziele voraussichtlich nicht erreicht werden können. Zur Abschätzung von Maßnahmen bei auftretenden Zielabweichungen schlägt WIBLER vor, etablierte Methoden des Risikomanagements, wie z.B. die FMEA, mit heranzuziehen.

**Bewertung:** Der ergebnisorientierte Risikobewertungsansatz von WIBLER bietet eine systematische Vorgehensweise zur Projektfortschrittsüberwachung. WIBLER konzentriert sich dabei

auf die Zielerreichung der einzelnen Zielkriterien, die mit Hilfe der Indikatoren abglichen werden. Somit wird lediglich eine reaktive Absicherung der Risiken unterstützt. Eine systematische Herleitung verschiedener Maßnahmen bezogen auf die Risikoindikatoren wird nicht durchgeführt.

### 3.2.4 Bewertung der Methoden

Es folgt eine Bewertung der bestehenden Methoden im Bereich der Risikoabsicherung in der Produktentwicklung anhand der in Kapitel 2.4 ausgearbeiteten Anforderungen. Die Ergebnisse der Bewertung sind in Bild 3.17 dargestellt. Eine konkrete Betrachtung der Serienanlaufphase steht bei keiner der Methoden im Vordergrund. Daher konnten nicht alle aufgestellten Vergleichskriterien aus Kapitel 2.4 herangezogen werden.

**Anwendbarkeit in der frühen Entwicklungsphase:** Die vorgestellten Methoden sind auf eine Anwendung in der Produktentwicklung ausgerichtet. Eine Eignung des Einsatzes ist somit bei allen Methoden gewährleistet. Lediglich die benötigten Daten für eine qualitative bzw. quantitative Methode beschränken die Anwendbarkeit auf bestimmte Phasen der Produktentwicklung.

**Anwendbarkeit bei komplexen Kleinserienprodukten:** Alle Methoden weisen eine grundsätzliche Anwendbarkeit bei komplexen Kleinserienprodukten auf. Generell ist anzumerken, dass besonders tiefgreifende Bewertungen mit notwendigen Detailinformationen zu einem hohen Aufwand führen. Zusätzlich basieren zahlreiche Methoden auf Erfahrungswissen der Experten. Dadurch wird die Wirksamkeit bei Produkten mit langen Entwicklungszeiten und geringer Wiederholhäufigkeit eingeschränkt.

**Bereitstellung von Handlungsmaßnahmen:** Nicht alle Absicherungsmethoden unterstützen die Herleitung von entsprechenden Gegenmaßnahmen für die jeweils identifizierten Risiken. Dies liegt überwiegend an der Ausrichtung der Methode. Die Mehrheit der Methoden konzentriert sich auf die Risikoanalyse. Diese konzentriert sich auf die Identifikation und Bewertung möglicher Zielabweichungen. Es wird kein Zusammenhang zwischen konkreten Risikofaktoren und entsprechenden systematischen Handlungsmaßnahmen hergestellt. Weiterhin werden bei allen Ansätzen keine möglichen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Risikofaktoren betrachtet. Die Auswahl der Maßnahmen erfolgt meist innerhalb der interdisziplinären Teams und beruht somit stark auf den Erfahrungen der Experten. Hervorzuheben ist der Ansatz von DAHMEN, der innerhalb von drei Schritten die risikopolitischen Maßnahmen auswählt und unter anderem eine Aufwand-Wirksamkeitsanalyse vorstellt.

**Bewertung innerhalb der Produktentstehungsphase:** Für die Bewertung von Risiken technischer Systeme wird vielfach eine Abschätzung mit Hilfe einer einfachen Nominal- oder Ordinalskala durchgeführt. Diese werden anschließend zu einer Risikoprioritätszahl weiter verdichtet. Eine durchgängige Bewertung anhand von Kennzahlen, die Rückschlüsse auf die Zieldimensionen zulassen erfolgt nur bedingt. Dies ist zurückzuführen auf die fehlende systematische Bereitstellung von notwendigen Informationen und der Bewertungsunsicherheit innerhalb früher Phasen. Daher beruhen die Ansätze auf den Erfahrungswerten der Experten. Eine Berücksichtigung von komplexen Risikozusammenhängen und Wechselwirkungen

der verschiedenen Risikofaktoren sowie eine mögliche Risikoübertragung werden nur unzureichend unterstützt.

**Nachvollziehbarkeit und Dokumentation:** Eine transparente Darstellung der Vorgehensweise für die Anwendung bzw. Durchführung der Methoden ist gegeben und wird durch die Verwendung graphischer Modelle, Tabellen und Systemmodellen unterstützt.

	Vergleichskriterien der Methoden							
	Anwendbarkeit		Berücksichtigung		Abbildung einer risikoorientierten Betrachtungsweise im Serienanlauf	Bereitstellung von Handlungsmaßnahmen	Bewertung innerhalb der Produktentstehungsphase	Nachvollziehbarkeit und Dokumentation
... in der frühen Entwicklungsphase	... bei komplexen Kleinserienprodukten	...der Produktgestaltung hinsichtlich des Serienanlaufs	...von Einflussfaktoren auf den Serienanlauf					
Methoden zur Risikoabsicherung in der Produktentwicklung								
Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)	●	◐	-	-	-	◐	○	●
Fehlerbaumanalyse (FTA)	●	◐	-	-	-	○	◐	●
Quality Function Deployment (QFD)	●	●	-	-	-	○	○	●
Design Review	●	●	-	-	-	◐	○	◐
Quality Gate-Ansatz mit integriertem Risikomanagement nach SCHARER	●	◐	-	-	-	◐	◐	●
Prozessorientiertes Risikomanagement von Produktrisiken nach DAHMEN	●	●	-	-	-	●	◐	●
Risikomanagement in der Produktentwicklung nach LÜHRIG	●	◐	-	-	-	◐	◐	●
Bewertung technischer Risiken komplexer Serienprodukte nach WIBLER	●	◐	-	-	-	○	◐	◐

● erfüllt    ◐ teilweise erfüllt    ○ nicht erfüllt    - nicht anwendbar

Bild 3.17: Bewertung bestehender Methoden zur Risikoabsicherung in der Produktentwicklung

### 3.3 Produkt- und prozessbegleitende Bewertung in der Produktentwicklung

Innerhalb der Entwicklungs- und Serienanlaufphase sind zur Bewertung einer Zielabweichung von den zentralen Größen Zeit, Kosten und Qualität verschiedene Kennzahlen bzw. Kennzahlensysteme erforderlich. Diese ermöglichen es, eine Aussage über das zu entwickelnde und einzuführende technische System zu treffen. Eine risikoorientierte Bewertung im Produktentstehungsprozess ist mit Hilfe von gängigen Kennzahlen der Produktstrukturierung und prozessorientierte Kennzahlensystemen möglich. Im folgenden Abschnitt wird zu-

nächst kurz auf die Grundlagen der Bewertung technischer Systeme eingegangen. Anschließend werden gängige Kennzahlen und Kennzahlensysteme vorgestellt und abschließend hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit in einer frühen Phase der Entwicklung bewertet.

### 3.3.1 Grundlagen der technischen Bewertung

Allgemein wird die Bewertung im Rahmen des Produktentstehungsprozesses zur Schaffung einer objektiven Entscheidungsgrundlage verwendet, um so das Risiko einer Fehlentscheidung zu reduzieren [Lin09a]. Bevor die Auswahl einer Lösungs- oder Vorgehensalternative erfolgen kann, muss für die Bewertung ein Wertesystem mit Kriterien erzeugt werden. Dieses dient der Messung der Zielerreichung eines Objektes hinsichtlich der möglichen Ideallösung bezogen auf einen „Wert“, „Nutzen“ oder „Stärke“ [Pah07]. Der Begriff Bewerten kann somit unter dem Aspekt Messen und Vergleichen zusammengefasst werden. Für die eigentliche Messung stehen meist Kennzahlen zur Verfügung. Ein Bewertungsverfahren muss alle Einflüsse hinsichtlich der Zielsetzung im richtigen Verhältnis (Gewichtung) berücksichtigen. Wesentlich für die Entscheidungsgrundlage ist dabei, die richtigen Informationen zum richtigen Zeitpunkt zur Verfügung zu stellen. Dies gestaltet sich in frühen Phasen der Entwicklung schwierig, da für die Produktkonzepte noch ein geringer Konkretisierungsgrad vorliegt. Die festgelegten Produkteigenschaften können gerade in frühen Phasen mit geringem Änderungsaufwand beeinflusst werden. Allerdings ist die Erkenntnismöglichkeit über die festzulegenden Eigenschaften gerade da am geringsten. EHRENSPIEL betont die Möglichkeit, den Informationsrückfluss aus ähnlichen Produktvorläufern zu fördern (vgl. Bild 3.18) [Ehr09].

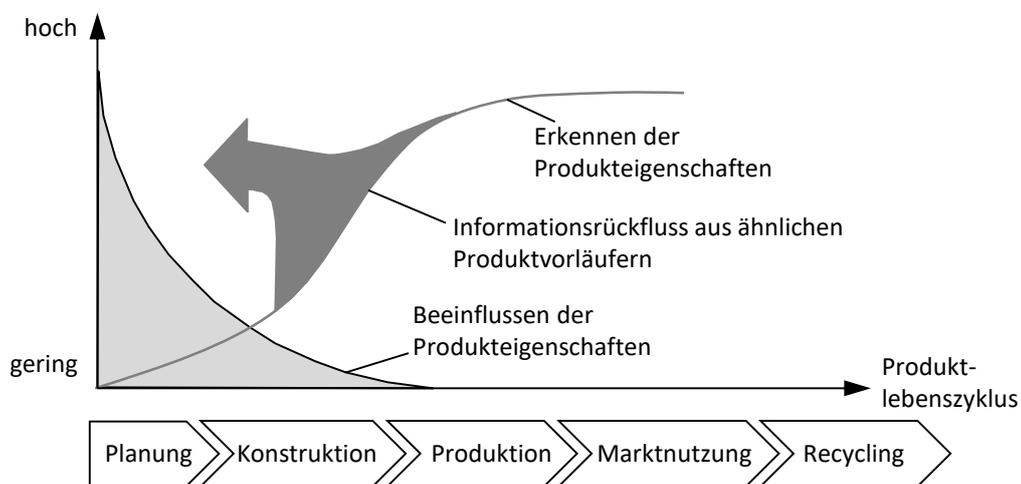


Bild 3.18: Beeinflussbarkeit der Produkteigenschaften nach [Ehr09]

Somit besteht die Möglichkeit, nicht nur quantitativ vorliegende Eigenschaften in einer Bewertung zu berücksichtigen, sondern ebenfalls auch qualitative Aspekte. Eine systematische Bewertung fördert die Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit einer Entscheidung im Rahmen des Produktentstehungsprozesses [Pah07].

Im Hinblick auf eine systematische Bewertung von Anlauftrisiken kann durch eine frühe Anwendbarkeit von qualitativen und quantitativen Kennzahlen eine schnelle und zielgenaue Steuerung von Entwicklungsaufgaben erfolgen und so gezielt Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Dabei wirken sich die möglicherweise entstehenden Änderungskosten nicht so stark

aus wie in späteren Produktlebensphasen. Grundsätzlich kann allerdings davon ausgegangen werden, dass eine Risikobewertung innerhalb der Entwicklungsphase eine gewisse Unvollkommenheit der vorliegenden Informationen aufweist [Wiß06]. Die entstehende Unsicherheit ergibt sich aus der Differenz zwischen der Menge an Informationen, die zum Zeitpunkt der Bewertung zur Verfügung stehen, und der Menge, die theoretisch erforderlich ist. Im Projektverlauf wird diese Unsicherheit durch eine fortschreitende Produkt- und Prozessgestaltung reduziert. Trotz gewisser Unsicherheit ist eine Bewertung in Form eines Soll-Ist-Vergleichs relevanter Kennzahlen praktikabel und führt zu einem Mehrwert im Produktentstehungsprozess. Daher werden im Folgenden ausgewählte Kennzahlen hinsichtlich der Produktstrukturierung und Prozessgestaltung kurz vorgestellt.

### 3.3.2 Ausgewählte Kennzahlen und Kennzahlensysteme

Bei der Auswahl der Kennzahlen und Kennzahlensysteme wird sich auf die Vorstellung jener beschränkt, mit deren Hilfe einfache quantitative Aussagen über die Produkt- und Prozessgestaltung getroffen und die Auswirkungen der Zielerreichung im Rahmen des Serienanlaufs mess- und bewertbar gemacht werden können. Dabei werden unter anderem auch Kennzahlen zur Strukturierung modularer Produkte herangezogen, da diese zum einen eine frühe Bewertung innerhalb der Entwicklung fokussieren und zum anderen häufig auch Auswirkungen hinsichtlich der Fertigung bzw. Montage in Betracht ziehen. Allgemeingültige Kennzahlen zur Projektfortschrittsüberwachung oder entwicklungsbegleitende Kennzahlensysteme, die der qualitativen Erfassung der klassischen Zielgrößen Zeit, Kosten und Qualität dienen, werden im Rahmen des folgenden Abschnitts nicht gesondert aufgeführt.

#### Ähnlichkeitsgradermittlung nach MAIER

MAIER liefert mit dem Ähnlichkeitsgrad (ÄG) eine Kennzahl zum Vergleich verschiedener Produkte bzw. Produktvarianten. Anwendung findet diese Erfassung vor allem im Bereich von „Design for Variety“ und wird häufig unter dem Begriff Carry-over beschrieben [Jun05], [Kip12], [Jon14]. Die Kennzahl bestimmt die Ähnlichkeit zweier Produkte, in dem der Anteil an Komponenten, die in beiden Produkten vorkommen, ins Verhältnis zur Gesamtanzahl an Komponenten gesetzt wird [Mai93].

$$\text{ÄG} = \frac{\sum \text{Anzahl an gemeinsamen Komponenten}}{\sum \text{Gesamtanzahl an Komponenten}} \quad (3.1)$$

Hinsichtlich des Serienanlaufs lassen sich so bereits früh Aussagen über den Neuheitsgrad des einzuführenden Produktes gewinnen. Ein hoher Ähnlichkeitsgrad führt zu geringeren Entwicklungskosten und durch einen hohen Bekanntheitsgrad zu geringen Problemen im Serienanlauf.

*Bewertung:* Mit der Ähnlichkeitsgradermittlung können einfach und auch bereits in einer frühen Entwicklungsphase, Aussagen über die Ähnlichkeit der Produktgenerationen gewonnen werden. Die Interpretation und direkte Ableitung von Handlungsanweisungen ist nur bedingt möglich, da ein grundsätzlicher Neuheitsgrad in der Einführung neuer Produkte vorhanden sein muss. Ein hoher Ähnlichkeitsgrad führt allerdings zu einem reduzierten Risiko im Serienanlauf.

### Module Coupling Independence nach BLEES

Die von BLEES entwickelte Kennzahl ermöglicht die Bewertung der Entkopplung innerhalb eines Produktes. Für die Ermittlung der Entkopplung wird der Quotient von Schnittstellen innerhalb der Module und der Gesamtanzahl von Schnittstellen gebildet [Ble11]. Bei einer hohen Kopplung innerhalb der Module läuft der Quotient gegen den Wert 1 und stellt somit eine hohe Entkopplung innerhalb des Gesamtproduktes dar.

$$MCI = \frac{\text{Anzahl der Schnittstellen innerhalb der Module}}{\text{Gesamtanzahl der Schnittstellen}} \quad (3.2)$$

Ein hoher Grad an Entkopplung kann auch durch eine geringe Schnittstellenkomplexität zwischen den Modulen interpretiert werden und führt im Serienanlauf zu einer geringeren Montagekomplexität, da lediglich eine geringe Anzahl an Schnittstellen zu fügen ist.

*Bewertung:* Die von BLEES vorgestellte Kennzahl ermöglicht eine praxisnahe und einfache Ermittlung der Entkopplung innerhalb der Produktstruktur. Dadurch kann bereits früh eine Aussage über die Produktkomplexität und die Montageaufwände im Serienanlauf getroffen werden.

### Differentiation Index 2 nach MARTIN und ISHII

Mit Hilfe der von MARTIN und ISHII entwickelten Kennzahl lässt sich eine Aussage über Differenzierung der Produkte innerhalb der Produktion treffen. Je später die Differenzierung stattfindet, desto geringer die Komplexität im Prozessablauf. Weiterhin können Aufwände für Lagerhaltung, Logistik und Betriebsmittel reduziert werden. Für die Berechnung der Kennzahl werden die Teilprozesse hinsichtlich der entstehenden Varianten untersucht. Der Wert kann zwischen 0 und 1 liegen. Ein Wert von 1 gibt an, dass bereits nach dem ersten Teilschritt eine Variantenbildung stattfindet [Mar96]. Eine späte Differenzierung im Prozess wird als Postponement-Strategie bezeichnet.

$$DI_2 = \frac{\sum_{i=1}^n d_i \cdot v_i}{n \cdot d_1 \cdot v_n} \quad (3.3)$$

- mit  $d_i$  = durchschnittliche Durchlaufzeit vom Prozessschritt i bis zur Fertigstellung  
 $v_i$  = Anzahl der den Teilprozess i verlassenden Varianten  
 $v_n$  = Anzahl der angebotenen Produktvarianten  
 $n$  = Anzahl der Teilprozesse  
 $d_1$  = durchschnittliche Durchlaufzeit vom Prozessbeginn bis zur Fertigstellung

*Bewertung:* Für die Bewertung einer idealen Prozessgestaltung hinsichtlich des Variantenentstehungspunktes bietet die Kennzahl eine gute Aussagekraft. Allerdings ist der Aufwand zur Ermittlung relativ hoch und die Anwendbarkeit durch die notwendige Prozesskenntnis in frühen Phasen nur bedingt gegeben.

### Maßzahl Parallelisierung nach HALFMANN

Für die Bewertung der Strukturierungsmaßnahmen entwickelte HALFMANN die Kennzahl zur Abschätzung des Parallelisierungsgrades (PI). Ziel ist es, einen möglichst hohen Anteil an pa-

rallend durchführbaren Prozessschritten zu realisieren. Der Quotient läuft dabei gegen den Wert 1 [Hal15].

$$PI = \frac{\sum_{i=1}^k t_{pi}}{T} \quad (3.4)$$

mit  $t_{pi}$  = Zeitmenge des parallel durchführbaren Prozessschritts  
 $k$  = Anzahl der parallel durchführbaren Prozessschritte  
 $T$  = gesamter zeitlicher Aufwand aller Prozessschritte

Parallel durchführbare Prozessschritte führen zu einer Verkürzung der Durchlaufzeit und zu einer erhöhten Flexibilität innerhalb der Montage. Beides wirkt sich positiv auf die Zielerreichung im Serienanlauf aus.

*Bewertung:* Mit der Bewertung der Parallelisierung von Prozessen kann bereits früh eine Abschätzung der Prozessverkettung innerhalb der Montage erfolgen. Dies erlaubt Rückschlüsse auf das mögliche Verhalten im Serienanlauf. Eine geringe Prozessverkettung reduziert das Risiko der starken Ausbreitung von Störungen im Serienanlauf und begünstigt eine vereinfachte Koordination der Prozesse. Für eine Berechnung der Kennzahl sind allerdings die Prozesszeiten im Vorfeld zu bestimmen oder zumindest abzuschätzen.

### Produktreifegradmessung nach WEINZIERL

Innerhalb der meilensteinbasierten Produktentwicklung stellt der Reifegrad eine entscheidende Kenngröße dar. Für die Automobilindustrie entwickelt WEINZIERL einen spezifischen Ansatz zur Bewertung des Produktreifegrads. Dabei wird mit Hilfe von Reifegradindikatoren innerhalb der Teilefamilie auf Bauteilebene eine Abschätzung durchgeführt, die anschließend eine Aggregation über Baugruppen und Module bis zum Gesamtfahrzeug erlaubt. Zusätzlich zur Bewertung des Reifegrads des Einzelteils erfolgt auch eine Abschätzung des Reifegrads der Verbindungstechnik [Wei06].

$$R_{ET} = \sum(g_{I,ET} \cdot E_{I,ET}) \quad (3.5)$$

$$R_V = \sum(g_{I,V} \cdot E_{I,V}) \quad (3.6)$$

$$R_{BG} = u \cdot R_{BG,Vor} + v \cdot R_{V,Stufe-1} + w \cdot R_{I,BG} \quad (3.7)$$

mit  $R_{BG}$  = Reife der Baugruppe  
 $R_{BG,Vor}$  = Reife der vorgelagerten Baugruppe  
 $R_V$  = Reife der Verbindungstechnologie  
 $R_{ET}$  = Reife des Einzelteils  
 $g_{I,ET}$  = relative Gewichtung des Reifegrad-Indikators (I) je Einzelteil (ET)  
 $E_{I,ET}$  = Erfüllungsgrad des Reifegrad-Indikators (I)  
 $u, v, w$  = Gewichtungsfaktoren der Teilreifegrade

*Bewertung:* Der Produktreifegrad von Weinzierl stellt eine umfangreiche Möglichkeit zur Messung des Gesamtreifegrades eines Produktes dar. Allerdings ist der Aufwand zur Erfassung bei komplexen Produkten mit zahlreichen Einzelteilen und Schnittstellen sehr hoch. Eine Anwendbarkeit durch die prozentuale Abschätzung des Erfüllungsgrads ist prinzipiell

gegeben. Im Rahmen des Serienanlaufs lassen sich mit Hilfe des Reifegrades Rückschlüsse auf mögliche Verzögerungen und Qualitätseinbußen ziehen.

### Overall Equipment Effectiveness (OEE) nach NAKAJIMA

Die Kennzahl beschreibt die Gesamtanlageneffektivität und wurde im Rahmen des Total Productive Maintenance Ansatzes (TPM) entwickelt [Nak88]. Im Fokus steht die Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit. Diese wird durch Stillstands-, Qualitäts-, und Geschwindigkeitsverluste beeinflusst. Die Kennzahl OEE gibt den verbleibenden Anteil der Anlagenverfügbarkeit wieder und errechnet sich aus dem Produkt der Einzelkenngrößen Verfügbarkeit, Leistungsgrad und Qualitätsrate.

$$OEE = \text{Verfügbarkeit} \cdot \text{Leistungsgrad} \cdot \text{Qualitätsrate} \quad (3.8)$$

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{\text{Planbelegungszeit} - \text{Stillstandszeiten}}{\text{Planbelegungszeit}} \quad (3.9)$$

$$\text{Leistungsgrad} = \frac{\text{nutzbare Betriebszeit}}{\text{Planbelegungszeit} - \text{Stillstandszeiten}} \quad (3.10)$$

$$\text{Qualitätsrate} = \frac{\text{nutzbare Betriebszeit} - \text{Zeitverluste durch Defekte}}{\text{nutzbare Betriebszeit}} \quad (3.11)$$

*Bewertung:* Die Kennzahl OEE findet normalerweise Anwendung innerhalb der Serienproduktion. Verschiedene Ansätze, wie z.B. der Ansatz von LANZA (vgl. Abschnitt 3.1.2), nutzen die Kennzahl allerdings auch im Serienanlauf. Die Anwendbarkeit ist stark eingeschränkt durch die Verfügbarkeit der zu berechnenden Daten und eignet sich somit nicht für die frühe Produktentstehungsphase. Ein sinnvoller Einsatz ist daher nur innerhalb des direkten Hochlaufs der Produktion sinnvoll.

### Design Structure Matrix basierte Kennzahlen nach SUH

Aufbauend auf der von STEWARD entwickelten Design Structure Matrix (DSM) haben sich zahlreiche verschiedene Ansätze zur Bewertung von Produkt- und Prozesskomplexität auf Basis der DSM herausgebildet [Ste91], [Lin09b]. Im Folgenden wird sich auf die von SUH entwickelten Bewertungsansätze konzentriert, da sich diese vor allem auf die Einführung neuer Produkttechnologien konzentrieren [Suh07], [Suh09]. Hervorzuheben sind der Technology Infusion Effort (TIE) und der Change Propagation Index (CPI).

Für die Abschätzung des TIE wird eine sogenannte Delta-DSM verwendet. Ausgehend von einer DSM die das ursprüngliche System beschreibt, wird in der Delta-DSM lediglich die Änderung dargestellt. In Bild 3.19 ist ein exemplarisches Beispiel für ein System mit drei Komponenten dargestellt (links), welches in einer Komponente geändert (B2) und um eine Komponente erweitert (D) wird. Wechselseitige Abhängigkeiten werden in der Matrix symmetrisch dargestellt (A und B). Einseitige Abhängigkeiten lediglich auf einer Seite der Matrix. Komponente C hat einen Einfluss auf B, Komponenten B aber nicht auf C.

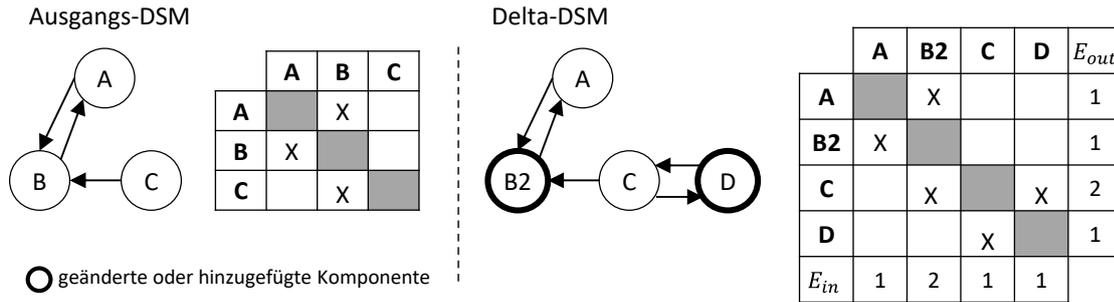


Bild 3.19: Ausgangs- und Delta-DSM

Mit Hilfe der Delta-DSM berechnet SUH wie folgt den TIE.

$$TIE = \frac{NEC_{\Delta DSM}}{NEC_{DSM}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_2} \sum_{j=1}^{N_2} \Delta DSM_{ij}}{\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_1} DSM_{ij}} \tag{3.12}$$

- mit  $NEC_{\Delta DSM}$  = Anzahl nicht leerer Zellen in der Delta-DSM
- $NEC_{DSM}$  = Anzahl nicht leerer Zellen in der ursprünglichen DSM
- $N_1$  = Anzahl Elemente in der ursprünglichen DSM
- $N_2$  = Anzahl Elemente in der Delta-DSM

Für das in Bild 3.19 beschriebene Beispiel ergibt sich aus der Berechnung ein TIE von 66%. Je größer der TIE ist, desto größer wird der Aufwand der Technologieeinführung eingeschätzt.

Der Change Propagation Index (CPI) baut auf den Erkenntnissen von ECKERT ET AL. auf und stuft die Komponenten in verschiedene Kategorien ein, um eine Aussage treffen zu können wie sich Änderungen im System auswirken [Eck04], [Suh07]. Komponenten können im System bezüglich Änderungen als Multiplikator (CPI >0), Puffer (CPI <0) oder Neutral (CPI =0) fungieren. Das bedeutet Änderungen die von außen auf das System einwirken können durch Multiplikatoren zu erhöhten Aufwänden führen oder gar gegebenenfalls abgeschwächt werden. CPI betrachtet die Differenz zwischen ausgehenden und eingehenden Schnittstellen der jeweiligen Zeilen und Spalten. Eine Kategorisierung der Komponenten hinsichtlich ihres Änderungsverhaltens innerhalb des Systems kann somit durch die Aktiv- und Passivsumme der Matrix erfolgen.

$$CPI = \sum_{j=1}^{n_2} \Delta E_{j,i} - \sum_{k=1}^{n_2} \Delta E_{i,k} = \Delta E_{out,i} - \Delta E_{in,i} \tag{3.13}$$

- mit  $\Delta E_{out,i}$  = Anzahl der ausgehenden Änderungen durch die Komponente i
- $\Delta E_{in,i}$  = Anzahl der durch andere Komponenten induzierten Änderungen
- $n_2$  = Anzahl der Komponenten im System

Mit Hilfe der Matrix in Bild 3.19 wird ersichtlich das Komponente C einen positiven CPI hat und somit einen Multiplikator darstellt. Komponente B stellt ein Beispiel für einen sogenannten Puffer dar.

**Bewertung:** Die von SUH entwickelten Kennzahlen basieren auf der DSM. Dies hat den Vorteil auch für komplexe Systeme mit zahlreichen Elementen eine relativ einfache Ermittlung der Kennzahlen durchführen zu können. Allerdings steigen bei zahlreichen Elementen auch die Aufwände an. Die Kennzahlen sind in der Lage eine einfache Indikation für die Entwicklungsaufwände bei Einführung neuer Technologien oder Änderungen zu liefern.

### Kennzahlensystem nach ERIXON

ERIXON liefert ein umfassendes Kennzahlensystem zur Bewertung modularer Produktstrukturen. Dabei fokussieren sich die zu berechnenden Kennzahlen auf prozesseitige Auswirkungen, z.B. in der Montage modularer Produkte [Eri98]. Hervorzuheben ist die Berechnung der Schnittstellenkomplexität, Durchlaufzeit und die fehlerfreie Montage.

Mit Hilfe der Kennzahl der Schnittstellenkomplexität wird die gesamte Montagezeit der einzelnen Modul-Schnittstellen ins Verhältnis zur optimalen Montagezeit für eine Modul-Schnittstelle gesetzt. Je kleiner der Wert, desto geringer ist der Zeitaufwand in Bezug auf Befestigungsprinzip, Form oder Anzahl der Kontaktflächen.

$$\text{Schnittstellenkomplexität} = \frac{\sum_{i=1}^{N_m-1} T_{BDI_i}}{T_{BDI_{opt}}} \quad (3.14)$$

- mit  $T_{BDI_i}$  = Montagezeit für eine Modul-Schnittstelle  $i$   
 $T_{BDI_{opt}}$  = optimale Montagezeit für eine Modul-Schnittstelle (3 Sek. nach [Boo02])  
 $N_m$  = Anzahl der Module in einer Produktvariante

Die Kennzahl zur Berechnung der Durchlaufzeit setzt ERIXON aus den drei Zeiten Vormontage, Test und Montage zusammen. Dabei geht ERIXON von einer parallelen Vormontage aller notwendigen Module aus und verwendet zur Berechnung durchschnittliche Zeiten für die Montage [Eri98].

$$\text{Durchlaufzeit} = \frac{N_p T_{norm}}{N_m} + T_{test} + (N_m - 1) T_{int} \quad (3.15)$$

- mit  $N_p$  = Teileanzahl in einem Produkt  
 $T_{norm}$  = durchschnittliche Montagezeit für ein Teil in der Vormontage (10s nach [Boo02])  
 $N_m$  = Anzahl der Module in einer Produktvariante  
 $T_{test}$  = durchschnittliche Zeit für den Funktionstest eines Moduls  
 $T_{int}$  = durchschnittliche Montagezeit für ein Modul in der Endlinie

Für die Bewertung der Qualität ermittelt ERIXON die Kennzahl zur fehlerfreien Montage. Dabei wird die Annahme getroffen, dass die Wahrscheinlichkeit einer fehlerhaften Montage mit steigender Montagezeit je Arbeitsschritt zunimmt. Je höher also die Montagezeit, desto komplexer ist der Arbeitsinhalt und umso größer wird die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Fehlern. Die Kennzahl ergibt sich aus dem Produkt der Wahrscheinlichkeit einer fehlerfreien Montagetätigkeit und der Wahrscheinlichkeit, dass eine Komponente fehlerfrei ist.

$$P_a = \prod_{i=1}^{n_1} [1 - C_k (T_i - T_{ideal})^{k_1}] \cdot (1 - D_{pi}) \quad (3.16)$$

- mit  $P_a$  = Wahrscheinlichkeit eines fehlerfreien Montageergebnisses  
 $C_k$  = Konstante der Montagequalitätskontrolle  
 $k_1$  = Exponent der Fehleranfälligkeit über die Montagezeit  
 $T_i$  = benötigte Zeit für die  $i$ -te Montagetätigkeit  
 $T_{ideal}$  = ideale Montagezeit

$n_1$  = Anzahl der Montagetätigkeiten

$D_{pi}$  = Wahrscheinlichkeit, dass die i-te Komponente einen Fehler aufweist

*Bewertung:* Die im Rahmen der Entwicklung modularer Produktstrukturen entwickelten Kennzahlen nach ERIXON beruhen teilweise auf idealistischen Annahmen und können daher nicht ohne weiteres auf Montageprozesse anderer Produkte außerhalb der Automobilindustrie übertragen werden. Zusätzlich ergibt sich ein hoher Erstellungsaufwand zur Ermittlung der Kennzahlen. Zur Ermittlung der durchschnittlichen Zeiten und der Prognose zukünftiger Montagezeiten empfiehlt ERIXON die Abschätzung nach BOOTHROYD und DEWHURST [Boo02].

### Kennzahlensystem nach GENTNER

Das Kennzahlensystem von GENTNER konzentriert sich auf die Entwicklungs- und Anlaufphase in der Automobilindustrie. Dazu werden phasenbezogene Effizienzkennzahlen erfasst und weiter zu dimensionsorientierten Projektkennzahlen verdichtet. Die phasenbezogenen Kennzahlen werden entweder als Relativkennzahl oder als reale Outputkennzahlen der jeweiligen Phase bestimmt. Beispiele dafür sind die Anzahl der Probeläufe, Anzahl der konstruierten Teile, Anteil der eigenentwickelten Teile im Vergleich zum Vorgängermodell oder realisierte Qualitätssteigerung im Vergleich zum Vorgängermodell. Im Rahmen der Projektkennzahlen werden die Abweichungen hinsichtlich der Kosten-, Zeit- und Leistungsdimension betrachtet. Im letzten Schritt erfolgt eine Verdichtung hinsichtlich gesamtprojektorientierter Kennzahlen, die entweder eine zeitfokussierte (z.B. Break-Even-Time) oder rentabilitätsfokussierte (z.B. Return on Investment) Ausrichtung haben [Gen94].

*Bewertung:* Das Kennzahlensystem bietet eine detaillierte Bewertungsmöglichkeit im Rahmen der Produktentstehungsphasen in der Automobilindustrie. Mit Hilfe der verschiedenen Arten von Kennzahlen ist eine frühe Anwendbarkeit gewährleistet. Für die Verdichtung bis zur Gesamtprojektebene ist allerdings ein erheblicher Erfassungsaufwand erforderlich. Zudem sind die Kennzahlen zum großen Teil vergangenheitsorientiert und daher nicht im Rahmen einer prognoseorientierten Bewertung anwendbar.

### Kennzahlensystem nach SCHMAHLS

Wie bereits in Kapitel 3.1.2 beschrieben, entwickelt SCHMAHLS ein Kennzahlensystem für das Anlaufcontrolling. Innerhalb dieses Systems werden verschiedene Leistungs- und Strukturgrößen anhand der Kategorien Mitarbeiter, Betriebsmittel, Prozess, Material, Messung, Logistik und Umfeld hergeleitet [Sch01]. Dabei ähneln sich die definierten Kennzahlen je Kategorie in ihrer Berechnung. An dieser Stelle seien exemplarisch die prozessbezogenen Kennzahlen Prozessproduktivität (PP) und Automatisierungsgrad (AUG) dargestellt.

$$PP_S = \frac{\text{Anzahl der produzierten Einheiten}_S}{\text{Anzahl des Eingangsmaterials}_S} \cdot 100 \quad (3.17)$$

$$AUG_S = \frac{\text{Anzahl der automat. Prozesse}_S}{\text{Anzahl der manuellen Prozesse}_S + \text{Anzahl der automat. Prozesse}_S} \cdot 100 \quad (3.18)$$

mit  $S$  = Schicht-Nr.

**Bewertung:** Das Kennzahlensystem nach SCHMAHLS bietet zahlreiche verschiedene Kennzahlen zur Überwachung des Serienanlaufs. Eine Berücksichtigung innerhalb einer frühen Entwicklungsphase ist nur bedingt für einige Kennzahlen möglich. Ein Großteil der beschriebenen Kennzahlen erfordert einen erhöhten Datenerfassungsaufwand innerhalb der Produktion.

### 3.3.3 Bewertung der Kennzahlensysteme

Die vorgestellten Kennzahlen und Kennzahlensysteme werden im Folgenden hinsichtlich ihrer Eignung zur frühen Anwendung, des Erstellungsaufwandes, der Transparenz für den Anwender sowie der Aussagekraft zur Abschätzung der Auswirkungen in der Phase des Serienanlaufs bewertet. Das Bild 3.20 gibt eine Zusammenfassung der Einzelbewertungen.

	Vergleichskriterien			
	Anwendbarkeit in der frühen Entwicklungsphase	geringer Aufwand	Transparenz	Aussagekraft hinsichtlich Produkt- / Prozessgestaltung
Produkt- und prozessbegleitende Bewertung in der Produktentwicklung				
Ähnlichkeitsgradermittlung nach MAIER	●	●	●	◐
Module Coupling Independence nach BLEES	●	●	●	●
Differentiation Index 2 nach MARTIN/ISHII	◐	○	●	●
Degree of Parallelisation Index nach HALFMANN	●	◐	●	●
Produktreifegrad nach WEINZIERL	●	○	◐	●
Overall Equipment Effectiveness nach NAKAJIMA	○	◐	●	◐
Design Structure Matrix basierte Kennzahlen nach SUH	●	◐	◐	●
Kennzahlensystem nach ERIXON	◐	○	●	◐
Kennzahlensystem nach GENTNER	●	○	◐	●
Kennzahlensystem nach SCHMAHLS	◐	○	◐	◐

● erfüllt    ◐ teilweise erfüllt    ○ nicht erfüllt

Bild 3.20: Bewertung der Kennzahlen und Kennzahlensysteme

**Anwendbarkeit in der frühen Entwicklungsphase:** Ein Großteil der betrachteten Kennzahlen lässt sich bereits in frühen Phasen der Entwicklung ermitteln. Dies ist zum Teil auf die Ausrichtung der jeweiligen Kennzahlen zurückzuführen. Beispielsweise lässt sich die Ermittlung von Übernahmekomponenten bereits in einem frühen Stadium ohne detaillierte Konstruktion ermitteln. Besonders hervorzuheben sind dabei Kennzahlen zur Bewertung der Produktstruktur.

**Aufwand:** Insbesondere die Kennzahlensysteme nach ERIXON, GENTNER und SCHMAHLS bringen einen hohen Aufwand bei der Erhebung der Kennzahlen mit sich. Teilweise werden bereits detaillierte Informationen zur Berechnung benötigt, die zu dem Zeitpunkt der Bewertung noch nicht oder nur teilweise zur Verfügung stehen. Eine gezielte Selektion einzelner Kennzahlen wäre allerdings möglich.

**Transparenz:** Grundsätzlich kann dem Großteil der Kennzahlen eine ausreichende Nachvollziehbarkeit für den Anwender zugeschrieben werden. Dies ergibt sich aus der einfachen Zusammensetzung und Berechnung sowie logischer Zusammenhänge für die Ermittlung der einzelnen Werte. Hervorzuheben sind dabei die Kennzahlen der Autoren MAIER, BLEES und HALFMANN.

**Aussagekraft:** Die Aussagekraft der Bewertung der Produkt- und Prozessgestaltung hinsichtlich des Verhaltens im Serienanlauf ist nur bedingt gegeben. Dies liegt in der konkreten Ausrichtung der einzelnen Kennzahlen und Kennzahlensysteme. Die Breite der betrachteten Aspekte der Kennzahlensysteme reduziert die Aussagekraft und versucht, meist das gesamte Entwicklungsprojekt bzw. die Produktionsanlage zu betrachten. Einzelne Kennzahlen dagegen haben zwar für eine konkrete Ausrichtung eine hohe Aussagekraft, aber betrachten lediglich einen Teilaspekt der Produkt- und Prozessgestaltung.

### 3.4 Einordnung in den integrierten PKT-Ansatz

Im folgenden Abschnitt erfolgen eine kurze Beschreibung des Integrierten PKT-Ansatzes und die thematische Einordnung in dessen Kontext, da das zu entwickelnde methodische Vorgehen in der vorliegenden Arbeit im Rahmen dieses Ansatzes Anwendung findet. Neben der eigenständigen Durchführung der Methode soll so eine Kombination mit den anderen methodischen Bausteinen des Ansatzes gewährleistet werden.

Der am Institut für Produktentwicklung und Konstruktionstechnik (PKT) der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) entwickelte Integrierte PKT-Ansatz zur Entwicklung von modularen Produktfamilien und -programmen stellt verschiedene methodische Bausteine zur Entwicklung modularer Produktfamilien zur Verfügung [Kra11], [Kra14]. Das primäre Ziel dabei ist es, eine geforderte externe Vielfalt mit Hilfe einer möglichst geringen internen Vielfalt bereitzustellen (vgl. Bild 3.21). Um dieses Ziel zu erreichen, gibt es verschiedene Möglichkeiten der Produkt- und Prozessgestaltung. Die Methodenbausteine können zum einen unabhängig voneinander angewandt werden und zum anderen, je nach gewählter Zielstellung im Unternehmen, miteinander kombiniert werden [Ble10], [Kra11]. Eine grundsätzliche Unterscheidung der verschiedenen methodischen Bausteine kann innerhalb der Kategorien Produkt, Prozess, Leichtbau und Querschnittsthemen erfolgen. Alle Bausteine verwenden ein Workshop-basiertes Vorgehen, um bereits innerhalb der Entwicklung die

Aufnahme der Sichten verschiedener nachgelagerter Disziplinen auf das Produkt sicherzustellen. In der folgenden Abbildung sind die bereits entwickelnden methodischen Bausteine innerhalb der Kategorien Produkt (oben) und Prozess (vorne) dargestellt und werden im Folgenden kurz vorgestellt.

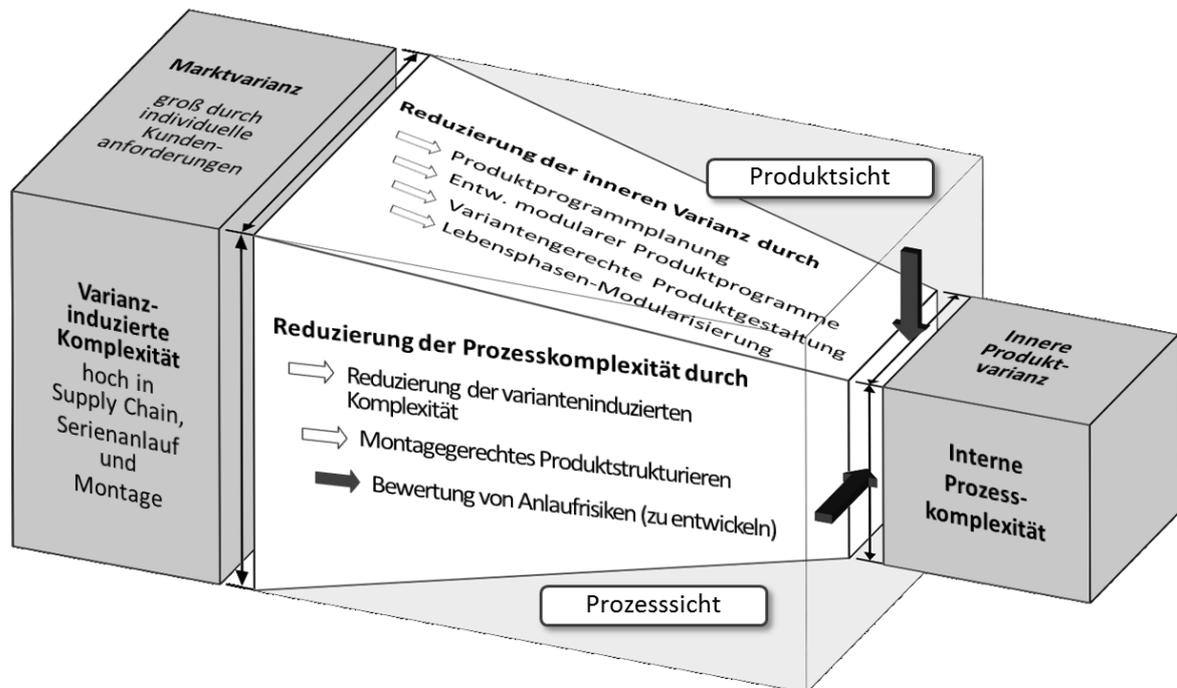


Bild 3.21: Integrierter PKT-Ansatz zur Entwicklung modularer Produktfamilien nach [Kra11]

Für die produktseitige Varianzreduzierung stehen vier methodische Bausteine zu Verfügung. Innerhalb der *Produktprogrammplanung* werden basierend auf dem aktuellen Produktprogramm, auf Marktanalysen sowie auf Unternehmenszielen Szenarien für eine zukünftige Programmstruktur abgeleitet. Zentrale Werkzeuge der Methode sind das Program Structuring Model (PSM) zur Ist-Analyse und der Carry-over Assignment Plan (CAP), mit dessen Hilfe die Übernahmekandidaten identifiziert werden. Das Ergebnis ist eine programmweite Konzeption von Übernahmekandidaten und führt somit bereits zu einer Komplexitätsreduzierung innerhalb der strategischen Planung von Produktprogrammen [Jon14].

Das Vorgehen zur *Entwicklung modularer Produktprogramme* fokussiert sich auf die Identifikation von Standardisierungspotentialen über verschiedene Produktfamilien hinweg. Diese Potentiale können mit zwei grundsätzlichen Übernahmestrategien realisiert werden. Je nach unternehmensspezifischen Randbedingungen bieten sich entweder die verstärkte Nutzung von Übernahmekomponenten innerhalb einer Produktfamilie (plattformorientiert) oder über mehrere Produktfamilien (gleichteileorientiert) an. Dabei ist anzumerken, dass nicht genau eine Gleichstrategie zwangsweise zu verfolgen ist. Eine Kombination im Rahmen eines Modulbaukastens ist ebenfalls möglich. Ähnlich wie der CAP wird zur Identifizierung der Übernahmestrategie ein Carry-over-Chart (CoC) auf Modulebene verwendet (vgl. Bild 3.22) [Eil13b], [Eil16].

Die *variantengerechte Produktgestaltung* nach KIPP verfolgt das Ziel, variantengerechte Komponenten so zu entwickeln und zu konstruieren, dass diese im Idealfall eine 1:1 Zuord-

nung von kundenrelevanten varianten Eigenschaften und varianten Komponenten ermöglichen. Dieser Methodenbaustein konzentriert sich auf die Ausgestaltung einer Produktfamilie und ist in enger Verbindung mit der Lebensphasen-Modularisierung zu betrachten. Kern der Methode ist das Variety Allocation Model (VAM), mit dessen Hilfe über vier Ebenen (kundenrelevante Eigenschaften, Funktionen, Wirkprinzipien und Komponenten) die Verbindung zwischen externer und interner Vielfalt visualisiert, analysiert und reduziert wird [Kip12].

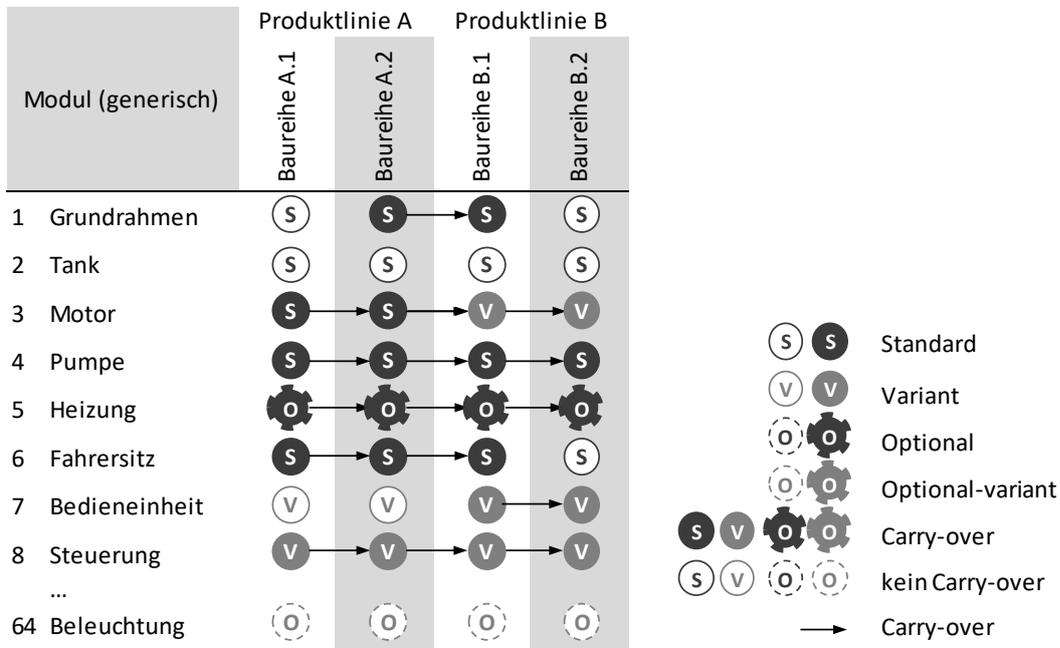


Bild 3.22: Beispiel Carry-over-Chart (CoC) nach [Eil13b]

Die Methode der *Lebensphasen-Modularisierung* entwickelt zunächst auf Basis von Modultreibern und dem Module Interface Graph (MIG) (vgl. Bild 3.23) für jede beteiligte Lebensphase ein optimales Modularisierungskonzept. Mit Hilfe der Visualisierung können unter anderem Modulgrenzen und Modulschnittstellen aufgezeigt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen jeder Lebensphase an die Modularisierung entstehen allerdings Zielkonflikte. Mit Hilfe des Module Process Charts (MPC) werden diese Zielkonflikte visualisiert, analysiert und aufgelöst. Ergebnis der Methode ist ein übergreifendes harmonisiertes Modularisierungskonzept über alle Lebensphasen hinweg [Ble11].

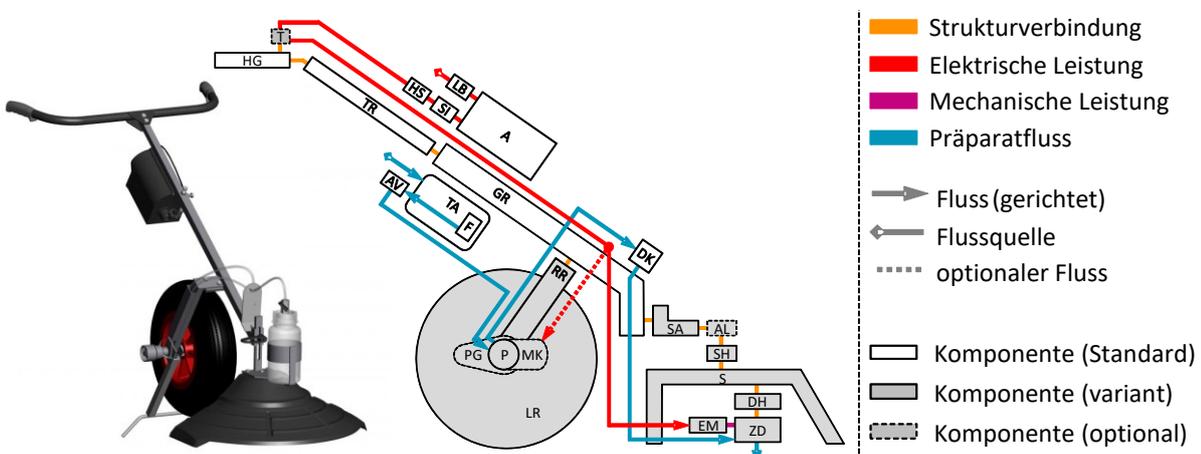


Bild 3.23: Module Interface Graph (MIG) am Beispiel eines Sprühgerätes nach [Ble11]

Innerhalb der Prozesssicht des Integrierten PKT-Ansatzes wurden bereits zwei methodische Bausteine entwickelt. Diese konzentrieren sich auf die frühzeitige Integration der Supply Chain und der montagegerechten Anforderungen in die Entwicklungsphase. Der methodische Ansatz zur *Reduzierung der produktvarianteninduzierten Komplexität* von BROSCH verfolgt das Ziel, die produktvarianteninduzierte Komplexität zu erfassen, zu analysieren und zu bewerten. Es werden dazu zwei methodische Schwerpunkte verfolgt. Zum einen die Identifikation strategischer Handlungsfelder und zum anderen die operative Unterstützung der Produktentwicklung hinsichtlich der Gestaltung der Supply Chain [Bro14]. Für die Aufnahme und Visualisierung verwendet BROSCH eine auf Swimlanes basierte Darstellung.

Im Rahmen der *montagegerechten Produktstrukturierung* wird die Lebensphase der Montage und ihre Anforderungen detailliert betrachtet. Die Methode unterstützt die Überführung montagerelevanter Aspekte in die Produktentwicklung. Ein zentrales Werkzeug ist die graphische Darstellung der integralen Produkt- und Montagestruktur (iPAS) (vgl. Bild 3.24). Mit Hilfe dieser Visualisierung werden die möglichen Montageprozessstrategien Postponement, Kommunalität und Parallelisierung untersucht und deren Auswirkungen dargestellt [Hal12]. Das Ergebnis ist eine optimierte Produktstruktur der Lebensphase Montage und bildet somit einen direkten Input für die Abstimmung der einzelnen Lebensphasen innerhalb der Modularisierung nach BLEES [Ble11], [Hal12], [Hal15].

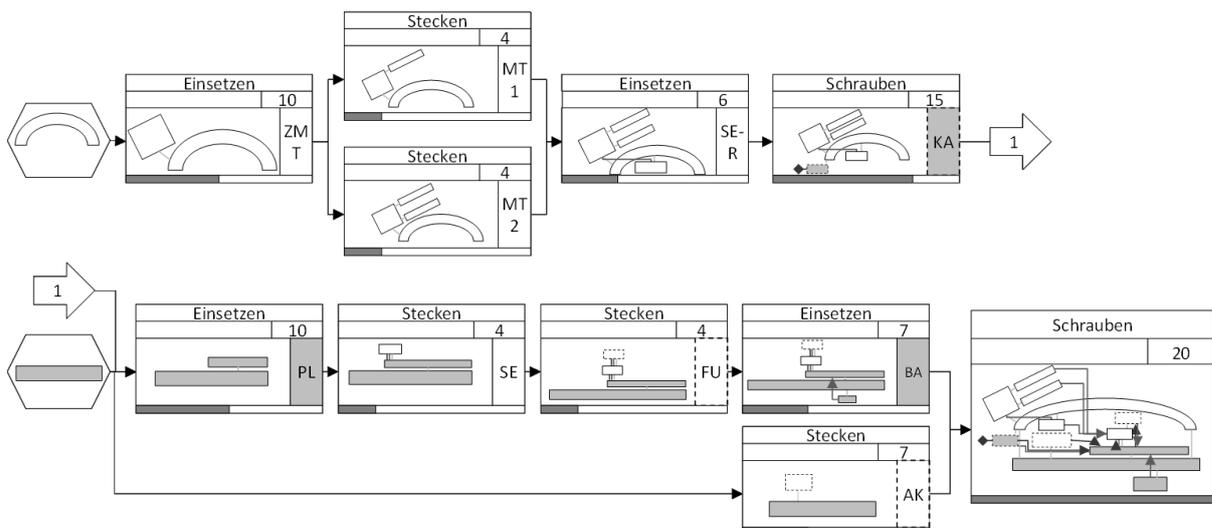


Bild 3.24: Visualisierung des iPAS am Beispiel des Montageprozesses einer Computermouse [Hal15]

Der vorgestellte Integrierte PKT-Ansatz stellt mit den verschiedenen methodischen Bausteinen eine Möglichkeit dar, die bereits eingangs beschriebenen Trends, mit denen sich Unternehmen heutzutage konfrontiert sehen, zu begegnen. Neue Produkte oder gar neugestaltete Produktfamilien führen auch zu Änderungsaufwänden in der Produktion, Supply Chain und Organisation der Unternehmen. Eine schnelle und effiziente Umsetzung dieser Änderungen birgt die Gefahr von neuen bisher noch nicht bekannten Risiken. Somit stellt eine Erweiterung des Ansatzes zur Unterstützung der Überführung der Entwicklungsergebnisse hin zur Markteinführung eine logische Konsequenz dar. Eine Erweiterung des Integrierten Ansatzes aus Sicht des Serienanlaufs fokussiert sich somit auf einen prozessbegleitenden methodischen Baustein, mit dessen Hilfe es möglich sein soll, zu realisierende Konzepte, z.B. eine neue modulare Produktfamilie, hinsichtlich der gegebenen Randbedingungen frühzeitig ab-

zugleichen und somit bereits anlaufkritische Auswirkungen neuer Konzepte innerhalb der Entwicklungsphase zu analysieren und zu reduzieren. Im Folgenden werden für eine Konkretisierung des Forschungsbedarfs im Bereich des Serienanlaufs die identifizierten Defizite hinsichtlich der vorgestellten existierenden Methoden zusammengefasst.

### 3.5 Forschungsbedarf

Die Analyse des Stands der Technik verdeutlicht, dass die derzeit existierenden Ansätze keine ausreichende Unterstützung bei der Überführung der Entwicklungsergebnisse in die Produktion aus Sicht der Produktentwicklung aufweisen. Es wird grundsätzlich in vielen Arbeiten ein ganzheitlicher Ansatz postuliert und verschiedenste Handlungsfelder innerhalb der Produktion abgedeckt. Allerdings setzt ein Großteil der methodischen Ansätze dabei die Entwicklungsergebnisse als gegeben voraus, die anschließend möglichst effizient in die Produktion überführt werden müssen. Dabei ist der Detaillierungsgrad der Produktmerkmale hoch und Änderungen wirken sich stark negativ auf die Zielgrößen im Serienanlauf aus. Weiterhin konzentrieren sich betriebswirtschaftliche Ansätze meist auf die Erschließung neuer Märkte und die Bestimmung eines geeigneten Markteintrittszeitpunkts. Damit liegt der Schwerpunkt auf dem sogenannten Fuzzy Front End (Produktplanung) in der Produktentwicklung. Eine Unterstützung der Produktentwicklung hinsichtlich der formulierten Time-to-Market Ziele findet nur bedingt statt. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass zwischen strategischen Entscheidungen aus dem Fuzzy Front End bis zum Übergang in die Produktion die Zielerreichung des Serienanlaufs keine durchgehende Beachtung erfährt. Im Hinblick auf die in Kapitel 2.2 skizzierten Problemfelder kann dies zu kritischen Planabweichungen in späten Phasen führen, die durch kürzer werdende Projektzeiten, neue Technologien und vernetzte Wertschöpfungsketten nur wenig bzw. aufwendige Möglichkeiten zur Beseitigung von Fehlern aus der Entwicklung bieten. Daher wird empfohlen, bereits vor dem eigentlichen Serienanlauf eine frühzeitige Evaluation im Entwicklungsprozess hinsichtlich der Produktcharakteristik und deren mögliche Industrialisierungsrisiken durchzuführen [Cou92], [Bil98].

Die untersuchten spezifischen methodischen Ansätze sind durch unterschiedliche Branchen geprägt, allen voran die Automobilindustrie und die Halbleiterindustrie. Eine grundsätzliche Übertragung methodischer Bausteine auf die Flugzeugindustrie ist nur bedingt möglich. Anders als in anderen Industrien kann die Lernkurvenrate nicht mit Hilfe schnell steigender Stückzahlen verbessert werden. Die aufgezeigten Besonderheiten in der Flugzeugindustrie verdeutlichen daher die Notwendigkeit einer Adaption bzw. Anpassung an die besonderen Randbedingungen (vgl. Kapitel 2.3). Dazu zählen aufgrund der langen Entwicklungszeiten und nicht vorhandener Vor-/Nullserien unterstützende Methoden, welche schon im Vorfeld Auswirkungen und potentielle Risiken in der Einführung neuer Produkte transparent aufzeigen. So können die Ressourcen innerhalb einer langen und kapitalintensiven Entwicklungs- und Einführungsphase optimal eingesetzt werden. Eine methodische Unterstützung in diesem Bereich liegt allerdings derzeit nicht vor.

Die untersuchten Methoden zur Risikoabsicherung im Rahmen der Produktentwicklung beschränken sich zum einen überwiegend auf die Qualitäts- und Funktionsabsicherung des Produkts selbst und zum anderen auf das prozessbegleitende Projektcontrolling. Eine konkrete Berücksichtigung von Produktmerkmalen und deren möglicher Einfluss auf die Zieler-

reichung in der anschließenden Anlaufphase stehen nicht im Fokus. Dadurch weisen die Ansätze Defizite auf, konkrete Handlungsmaßnahmen über die generellen Risikobewältigungsstrategien hinaus zur Verfügung zu stellen. Eine umfassende Risikobetrachtung kann nur mit Hilfe einer Bewertung von Einflussfaktoren auf die Zielgrößen geschehen. Diese können anschließend in Verbindung mit den entsprechenden Produktstrukturmerkmalen Hinweise auf mögliche Gestaltungsempfehlungen für einen effizienten Serienanlauf liefern.

Die vorgestellten Ansätze zur produkt- und prozessbegleitenden Bewertung stellen unterschiedliche Kennzahlen und Kennzahlensysteme zur Abschätzung bereit. Mit Hilfe dieser Kennzahlen wird versucht, eine objektive Abschätzung hinsichtlich der Zielgrößen zu ermöglichen. Die Hauptdefizite liegen in der frühen Anwendbarkeit der einzelnen Kennzahlen, da zum Teil zahlreiche Informationen vorliegen müssen. Ein weiterer Punkt neben den mangelnden Informationen ist der notwendige Aufwand. Gerade für hohe Produktkomplexität und komplexe Produktionssysteme muss der Aufwand im Verhältnis zum Nutzen betrachtet werden. Um die Diskrepanz zwischen einer sehr detaillierten Erfassung im Produktionsbereich bis hin zu einfachen Kennzahlen der Produktstrukturierung zu überwinden und eine einheitliche Bewertung durchführen zu können, kann die Nachvollziehbarkeit in der Entscheidungsfindung mit Hilfe verschiedener Visualisierungstools verbessert werden (vgl. Integrierten PKT-Ansatz Kapitel 3.4). Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine Bewertung hinsichtlich der Anlauftrisiken in einer frühen Phase der Produktentwicklung nur realisiert werden kann, wenn ein konsistenter Bewertungsansatz geschaffen wird, der in der Lage ist, Rückschlüsse von der Produkt- und Prozessstruktur auf die Einflussfaktoren der Zielgrößen im Serienanlauf zu ermöglichen.

Aufbauend auf dem identifizierten Forschungsbedarf wird im folgenden Kapitel eine Methode zur Bewertung von Anlauftrisiken entwickelt, die einen Zusammenhang zwischen Einflussfaktoren, Zielgrößen und möglichen Handlungsmaßnahmen bereitstellt und somit eine methodische Unterstützung der Übertragung von Entwicklungsergebnissen ins Produktionsumfeld gewährleisten soll. Ziel ist es, den Handlungsspielraum in der Produktentwicklung zu nutzen und auf die Randbedingungen des Serienanlaufs reagieren zu können. So können gerade im Produktionsumfeld der Flugzeugindustrie späte Änderungen und Unsicherheiten in Entscheidungssituationen reduziert werden.

Im folgenden Kapitel werden, vorbereitend zur Entwicklung des methodischen Vorgehensmodells, die Einflussfaktoren auf die Zielgrößen im Serienanlauf abgeleitet. Das so entstehende Wirkmodell bildet die Basis zur Risikoabschätzung und Zuordnung von Handlungsmaßnahmen.



## **4 Entwicklung eines Wirkmodells zur Erfassung von Einflussfaktoren**

Die ausgewählten spezifischen Ansätze im Kapitel 3.1.2 verdeutlichen, dass verschiedene Randbedingungen je nach Branche, Unternehmen und Produkt, auf den Produktentstehungsprozess, im Speziellen den Serienanlauf, einwirken können. Eine einheitliche Beschreibung und eine Berücksichtigung aller Randbedingungen sind nur schwer möglich. Allerdings können generische Einflussfaktoren definiert werden, die einen besonderen Einfluss auf die Effizienz und Effektivität im Serienanlauf haben und durch die Produktentwicklung entscheidend mitgeprägt werden. Für die spätere Abschätzung und Bewertung möglicher Anlauf Risiken ist ein Systemverständnis erforderlich, welches die Wechselwirkungen und Auswirkungen auf die Zielgrößen aufzeigt. Daher wird im Folgenden ein Wirkmodell entwickelt, welches auf empirischen Studien und Fallstudien aus der Literatur aufbaut. Ausgehend von der beschriebenen Relevanz des Serienanlaufs (Kapitel 2.2) in der Praxis und den besonderen Randbedingungen im Flugzeugbau (Kapitel 2.3) erfolgt eine Überführung in generische Einflussfaktoren die auf das Zielsystem (Kapitel 2.2.1) negativ einwirken. Dieses Modell bildet die Basis für die methodische Bewertung von Anlauf Risiken und dient später zusätzlich der zielgerichteten Auswahl möglicher Reaktionsstrategien und Maßnahmen zur Reduzierung der identifizierten Risiken. Für die Auswahl der bestehenden Studien wurde darauf geachtet, dass eine Bewertung bereits vor Markteintritt und somit im Rahmen der Produktentwicklung sinnvoll gegeben ist.

### **4.1 Ableitung von Einflussfaktoren aus Sicht der Produktentwicklung**

In der Literatur finden sich zahlreiche verschiedene empirische Untersuchungen, die die Schnittstelle zwischen Entwicklung und Produktion betrachten. Dabei liegt der Fokus zumeist auf möglichen Erfolgsfaktoren, die die Anlaufphase positiv beeinflussen. Im Umkehrschluss können so allerdings auch Rückschlüsse auf mögliche negative Auswirkungen gefunden werden. Neben den organisatorischen und kooperativen Aspekten verschiedener Untersuchungen, die sich beispielsweise auf die Kommunikation, Informationsaustausch und Zusammenarbeit in einem Anlaufprojekt konzentrieren (vgl. [Fit05], [Moo70], [Wit06], [Mey92], [Lan88]), werden im Folgenden Beiträge hervorgehoben, die Faktoren im Einflussbereich der Produktentwicklung beschreiben. Organisatorische Einflussgrößen, unter die auch die Förderung des Wissenstransfers fällt, werden nicht explizit unter die unmittelbaren Faktoren in der Produktentwicklung geführt. Im Rahmen der Maßnahmenmatrix werden diese Aspekte allerdings wieder aufgegriffen und führen so zu einer ganzheitlichen Betrachtung des Themengebiets Serienanlauf.

Weiterhin fließen in der Erstellung des Modells die Ergebnisse der bereits beschriebenen Interviewreihe in der Flugzeugindustrie (vgl. Abschnitt 2.3.3) mit ein. Eine Adaption des Modells ist entsprechend verschiedener Zielbranchen unabdingbar.

Aus Sicht der Produktentwicklung lassen sich wesentliche Einflussfaktoren auf die Effizienz und Effektivität der Serienanlaufphase identifizieren. Diese wurden zum einen bereits in der Vorstellung der allgemeinen Relevanz des Forschungsfeldes aufgezeigt und zum anderen lassen sich diese Faktoren aus den besonderen Randbedingungen im Flugzeugbau ableiten (vgl. Bild 4.1). Dazu zählen die Prozess- und Produktkomplexität, die sich vor allem durch die Variantenvielfalt, dem Fertigungsprinzip und der Technologiekomplexität im Flugzeugbau ergeben. Der Neuheits- bzw. Innovationsgrad wird vor allem durch die langen Produktlebenszyklen getrieben. Die Kunden setzen aufgrund der technologischen Weiterentwicklung nach mehreren Jahrzehnten neue Technologien voraus. Im Gegensatz zu anderen Industrien ist ein verkürzter Produktlebenszyklus nur durch Verzögerungen im Serienanlauf im Flugzeugbau von wesentlicher Bedeutung (links Bild 4.1, grau hinterlegt) und nicht durch die Ablösung neuer Produktgenerationen. Die ebenfalls im Flugzeugbau zu beobachtende Tendenz der Reduzierung der Entwicklungs- und Fertigungstiefe wird unter dem Aspekt des Supply Chain Netzwerks zusammengefasst. Ein weiterer wesentlicher Einflussfaktor stellen die späten Änderungen im Verlauf Entwicklung dar, diese werden vor allem durch die langen Entwicklungszeiten, technologischen Anforderungen und die fehlende Vor- und Nullserie bestimmt.

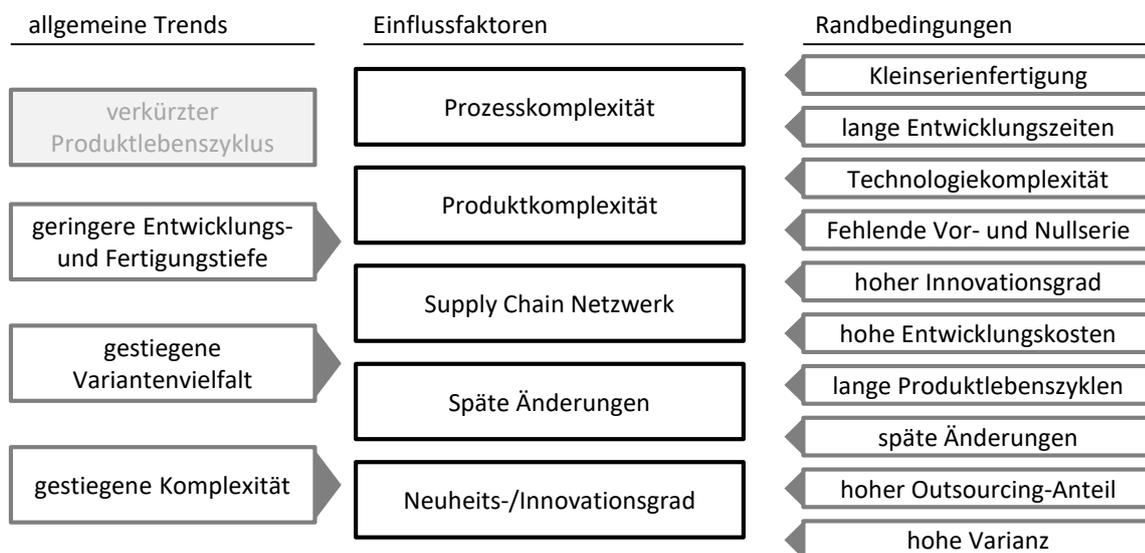


Bild 4.1: Einflussfaktoren des Serienanlaufs aus Sicht der Produktentwicklung im Flugzeugbau

Der Einfluss dieser fünf wesentlichen Treiber wird mit Hilfe der empirischen Erkenntnisse aus verschiedenen Studien anderer Industrien in den nachfolgenden Abschnitten kurz erläutert und analysiert sowie im Anschluss in ein Wirkmodell überführt.

### Einflussfaktor Produktkomplexität

Eine im Rahmen der Anlaufprojekte häufig genannte Einflussgröße ist die Produktkomplexität. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass die Komplexität einen entscheidenden Einfluss auf die Erreichung der Zielgrößen hat. Die Komplexität eines Produktes kann durch die

Teilevielfalt, Anzahl der Komponenten und Beziehungen sowie die zeitliche Veränderlichkeit zwischen den Komponenten beschrieben werden [Bro12a], [Abd08]. Im Serienanlauf werden komplexe Produkte durch unterschiedliche Komponenten mit verschiedenen Funktionen zu Baugruppen und anschließend zu Produkten zusammengefügt bzw. montiert. Diese Vielfalt und Interaktion innerhalb des Produktes führt auch zu einer großen Anzahl an Entwicklungs- und Anlaufbeteiligten, die im Rahmen des Projektes koordiniert werden müssen [Cha04].

Innerhalb der Untersuchungen von GRIFFIN wird unter anderem der Einfluss der Produktkomplexität auf den Faktor Zeit untersucht. GRIFFIN bestätigt in seinen Untersuchungen, dass je mehr Funktionen das Produkt erfüllen muss und je größer die Anzahl verwendeter Technologien im Produkt ist, desto komplexer ist auch der Entwicklungsaufwand und umso mehr Zeit wird benötigt [Gri97]. Die Produktkomplexität hat somit einen signifikanten Einfluss auf die Serienanlaufdauer [Van03] [Gri97], [Sch06]. PUFALL stellt einen signifikanten negativen Effekt der Produktkomplexität auf die Serienanlauf-Performance fest [Puf13].

BERG kommt in diesem Zusammenhang zu dem Schluss, dass der Einsatz neuer Technologien innerhalb komplexer Produktstrukturen aufgrund unterschiedlicher Interdependenzen zu einer Steigerung von späten Änderungen innerhalb des Serienanlaufs führt [Ber07]. Dies steigert indirekt den negativen Einfluss auf die Zielgrößen. Da eine Implementierung der Änderungen bis zur Umsetzung mit einer gewissen Totzeit verbunden ist, sinkt zunächst die Produktivität. Diese Zeitspanne ist stark abhängig von den Lieferanten, bestehenden Erfahrungen der Mitarbeiter und dem Neuheitsgrad der Komponenten.

Mit steigender Produktkomplexität ist davon auszugehen, dass in den meisten Serienanläufen auch die Anzahl der eingebundenen Lieferanten ansteigt. Dies bestätigen die Untersuchungen von HÜNTELMANN. Er stellt fest, dass die Anzahl der Teile eines Produktes positiv mit der Anzahl eingebundener Lieferanten korreliert. HÜNTELMANN weist weiterhin nach, dass die Anzahl der Lieferanten einen entscheidenden Einfluss auf das Markteintrittsfenster hat [Hün10].

CLARK und FUJIMOTO belegen in ihrer Studie ebenfalls den Einfluss der Produktkomplexität und des Projektumfangs auf die Entwicklungsleistung. Den Vorsprung hinsichtlich Entwicklungszeit und -produktivität japanischer Unternehmen innerhalb der Untersuchung begründen sie durch die Unterschiede in Umfang und Komplexität [Cla91]. Dabei wird die Entwicklungsleistung maßgeblich durch die Lieferanteneinbindung, Carry-over bzw. Gleichteileanteil und den Projektumfang bestimmt [Cla91]. Den Anteil an Gleichteilen wird in der Studie von WANGENHEIM ebenfalls eine hohe Bedeutung zur Einhaltung der Termingröße zugeschrieben. Die Studie belegt, dass besonders für Systempartner ein hoher Gleichteileanteil dazu führt, dass Erfahrungen besser genutzt und Logistikprozesse schneller stabilisiert werden können [Wan98].

### **Einflussfaktor Prozesskomplexität**

Die Einführung neuer Produkte und deren Varianten führen auch zu einer Steigerung der Vielfalt im Produktionsprozess. Dabei gilt es, das Spannungsfeld zwischen neuen Technologien, Materialien und Fertigungsprozessen sowie hoher Produktivität in der Fertigung zu überwinden. Die Prozesskomplexität ergibt sich aus der Anzahl, Vielfalt und Vernetzung der

einzelnen Prozesse sowie deren Automatisierungsgrad [Fri98], [Wie02a], [Gus89]. GUSTMANN ET AL. charakterisieren komplizierte Anlagen und Fertigungsprozesse ebenfalls durch ihre Vielfalt, Anzahl und Art der Verzweigungen im Ablauf (Verkettung), die nur schwer zu überschauen sind und somit zu einer Erhöhung der Anlaufaufwendungen (aufwendige Lernprozesse) führen [Gus89]. Das Zusammenspiel dieser Faktoren bestimmt die Störanfälligkeit und Verhalten der Produktionsprozesse im Serienanlauf. Die Untersuchung von SCHMAHLS zeigt, dass bei einem hohen Automatisierungsgrad erheblich mehr Störungen im Serienanlauf auftreten [Sch01]. WIENDAHL ET AL. beschreiben in einer Studie ebenfalls den Einfluss der Höhe des Automatisierungsgrads als entscheidend für die Komplexität und den Aufwand in der Hochlaufphase [Wie02a]. Dies bestätigen auch die Studien von PUFALL und SCHNEIDER. Weniger automatisierte Fertigungsprozesse konnten einfacher an Änderungen angepasst werden und waren im Anlauf wesentlich flexibler. Innerhalb der dynamischen Anlaufphase wirkt sich dies positiv auf die Leistungsfähigkeit der Produktion aus [Puf13], [Sch06].

Ein weiterer Zusammenhang besteht zwischen der Prozesskomplexität und dem Supply Chain Netzwerk. In Abhängigkeit von der Fertigungstiefe und Materialversorgung führt eine hohe Anzahl an Lieferanten zu einer erhöhten Prozesskomplexität [Gro10]. Dies impliziert indirekt eine Aufwandssteigerung durch zusätzliche Koordination und einem Anstieg der Wahrscheinlichkeit von Logistikstörungen. Um die negativen Auswirkungen zu reduzieren, gibt es verschiedene organisatorische Strategien, z.B. frühe Lieferantenintegration, die ebenfalls in empirischen Studien auf ihre Wirksamkeit hin untersucht wurden [Pet08], [Den07], [Fit05], [Wan98].

### **Einflussfaktor Neuheits-/Innovationsgrad**

In den Studien von LEENDERS und HENDERSON wurde in den untersuchten Produktionsanläufen der Innovationsgrad als ein entscheidender Treiber für die Dauer des Serienanlaufs identifiziert [Lee80]. Zu diesem Ergebnis kommt auch COUGHLAN in seinen Untersuchungen. Dabei definiert er den Neuheitsgrad eines Produktes mit Hilfe der Gleichheit bzw. Übereinstimmung mit einem Vorgängerprodukt oder einem Produkt der gleichen Familie [Cou92]. Die Wahrscheinlichkeit einer Verzögerung steigt mit dem Neuheitsgrad der einzuführenden Produkt- bzw. Prozesstechnologie [Cou92], [Wan98], [Lan88]. Der Einsatz neuer Prozesstechnologien und Materialien kann erhebliche Probleme innerhalb der Produktion verursachen und führt zu einem Überschreiten der Time-to-Market [Wan98], [Tat00]. PUFALL betont, dass der Neuheitsgrad signifikant mit den Problemen im Serienanlauf zusammenhängt und hohe Trainings- und Lernaufwände für die Beteiligten darstellt [Puf13].

WANGENHEIM verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Dauer des Produktionshochlaufs und dem Neuheitsgrad der Produkte. Je geringer der Neuheitsgrad ausfällt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass die geplante Dauer des Serienanlaufs eingehalten werden kann [Wan98], [Mey95]. GRIFFIN beschreibt diesen Zusammenhang auch für die Entwicklungszeit und den Neuheitsgrad der Produkte [Gri97]. COUGHLAN führt dies auf die unter Umständen notwendigen Änderungen zurück. Ein hoher Neuheitsgrad führt zu einer geringeren Lernkurve und einer geringeren Nutzung von Erfahrungen der Mitarbeiter. Die Folge sind notwendige Änderungen während der Industrialisierungsphase und somit zusätzlicher Aufwand [Cou92], [Gus89]. Wissen und Erfahrungen sind Schlüsselfaktoren im erfolgreichen Serienan-

lauf. Erfahrungen aus vergangenen Serienanläufen helfen Entscheidungen unter weniger Unsicherheit zu treffen. Die Unsicherheit zu reduzieren bedeutet in dem Zusammenhang, eher eine inkrementelle Innovation, als eine radikale zu wählen. Die Wahl des Neuheitsgrads hat somit entscheidenden Einfluss auf die Zielgrößen des Serienanlaufs [Gro10], [Cla91].

Der Einsatz neuer Materialien, Technologien und Schnittstellen wirkt sich auch auf die Lieferanten aus. Durch fehlende Erfahrungen beim Lieferanten können sich indirekt negative Auswirkungen hinsichtlich Dauer, Qualität und Kosten ergeben [Ber07]. Dies stellt eine Verschiebung der Probleme in das Supply Chain Netzwerk dar.

ALMGREN kommt in seinen Untersuchungen zu dem Schluss, dass Störungen des Produktionssystems unter anderem auf den Neuheitsgrad der Prozesse zurückgeführt werden können [Alm00]. Innerhalb des Unternehmens führt ein hoher Innovationsgrad somit zur Steigerung der Prozesskomplexität.

### **Einflussfaktor Supply Chain Netzwerk**

Eine sinkende Wertschöpfungstiefe in Unternehmen führt dazu, dass auch immer mehr Lieferanten an einem Serienanlauf beteiligt sind und so der Faktor der Supply Chain, wie bereits erwähnt, immer mehr an Bedeutung gewinnt. HÜNTELMANN bestätigt in seiner Studie, dass eine größere Anzahl an Lieferanten zu einem steigenden Koordinationsbedarf führen und einen signifikanten Einfluss auf die Dauer des Serienanlaufs haben [Hün10]. Gleichzeitig führt ein hoher Bedarf an Zulieferteilen zu einer erhöhten Prozesskomplexität [Gro10].

Eine sinkende Entwicklungstiefe erfordert eine zusätzliche Abstimmung mit externen Organisationseinheiten und generiert eine zusätzliche organisatorische Komplexität [Wan98]. *De Meyer* kam unter anderem in seiner Untersuchung zu dem Ergebnis, dass erfolgreiche Produkteinführungen durch einen hohen Anteil an selbst entwickelten Komponenten gekennzeichnet sind [Mey92]. Den gleichen Effekt wie für die Entwicklungstiefe stellt WANGENHEIM für die Fertigungstiefe fest. Je höher die Fertigungstiefe ist, desto schneller lassen sich Probleme noch vor dem eigentlichen Produktionsstart erkennen [Wan98].

FITZEK kommt in seiner Untersuchung zu dem Schluss, dass die Intensität der Zusammenarbeit im Aufbau von Produktions- und Logistikprozessen mit dem Lieferanten einen signifikanten Einfluss auf die Qualität der Planung im Serienanlauf hat und so die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung der geplanten Serienanlaufdauer reduziert werden kann [Fit05]. Eine frühzeitige Integration der Lieferanten in das Entwicklungs- und Serienanlaufprojekt führt zu einer Verkürzung der Anlaufzeiten [Pet08]. Weiterhin lässt eine hohe Intensität der Lieferantenintegration in der Produktentwicklung auf eine hohe Produktkomplexität schließen [Gro10].

Verzögerungen im Serienanlauf führt ALMGREN unter anderem darauf zurück, dass die Lieferanten durch späte Änderungen in der Entwicklung nicht in der Lage sind, diese effizient und rechtzeitig umzusetzen. Dies führt zu einer unzureichenden Versorgung durch den Lieferanten im Anlauf und somit zu einer Verlängerung der Time-to-Market [Alm00], [Alm99], [Sch06].

Eine frühzeitige Integration der Lieferanten unterstützt dagegen eine geringere Änderungshäufigkeit und wirkt sich positiv auf die Zielerreichung im Serienanlauf aus [Wan98]. DENZLER weist für kritische Lieferanten eine hohe Signifikanz für die frühe Einbeziehung in die Planung zur Erreichung der Zielgrößen im Anlauf nach [Den07]. Dazu zählen unter anderem auch die Einbindung mittels aktiver Informationsversorgung und einem Projektcontrolling [Den07], [Hün10].

Diese Erkenntnis stützen auch die Untersuchungen von WITT. Dieser stellt fest, dass neben der Reduzierung der Time-to-Market eine intensive und frühzeitige Integration der Lieferanten in Entwicklungstätigkeiten zur Reduzierung der Anlaufkosten führt. Je früher die Komponenten realisiert und getestet sind, desto kleiner sind die Kosten durch fehlerhafte Teile oder Änderungen. Know-How und effiziente Strukturen sowie eine enge Vernetzung und Kommunikation mit dem Lieferanten verstärken diesen Effekt [Wit06].

### **Einflussfaktor späte Änderungen**

Auswirkungen durch späte Produkt- und Prozessänderungen gelten als einer der wesentlichen Einflüsse auf die Zielerreichung im Serienanlauf (vgl. Kapitel 2.2). Änderungen stellen allerdings einen wesentlichen Bestandteil im Produktentwicklungsprozess dar. Durch iterative Änderungen wird die Serienreife des Produkts schrittweise erhöht. Diese Änderungen sollten nur einen geringen Anteil im Serienanlauf oder der Serienproduktion einnehmen [Aßm00]. Wie bereits in Kapitel 2.3.3 aufgezeigt, können die Ursachen dafür vielfältig sein. Späte Änderungen am Produktdesign oder Produktionsprozessen führen zu einem Überschreiten der geplanten Serienanlaufdauer [Wan98], [Jar04]. Störungen, die generell im Serienanlauf auftreten, führen zu einer Überlastung der Organisation und zu einem Verlust der Produktionskapazität. Dies wird zusätzlich durch Änderungen während dieser Phase verstärkt [Alm00]. Dabei sind späte konstruktive Änderungen am Produktdesign ein wesentlicher Treiber [Alm00]. Änderungen können aber auch Zulieferteile, Fertigungs- und Montageprozesse betreffen. Beispielsweise führt eine Geometrieänderung an Bauteilen unter Umständen zu notwendigen Anpassungen an Betriebsmitteln oder Montageprozessen. Je später Änderungen im Prozess auftreten, desto aufwendiger und kostspieliger ist die Umsetzung [Loc99]. Verschiedene Studien betonen allerdings, dass ein Großteil der Änderungen erst nach Erstellung der Serienwerkzeuge oder während des Serienanlaufs erkannt werden [Lin98], [Gem95], [Jür07], [Con97].

Die Umsetzung der Änderungen ist mit einem überproportionalen Kostenanstieg im zeitlichen Verlauf des Entwicklungsprojektes verbunden. Untersuchungen bestätigen die hohen Aufwände (Änderungskosten) in späten Phasen [Cla91], [Con97]. Da die Entwicklungsergebnisse bereits eine hohen Detaillierungsgrad aufweisen und der Produktionsprozess ausgestaltet ist, sind aufgrund der Konnektivität zahlreiche Elemente und Unternehmensbereiche von einer späten Änderung betroffen [Jür07], [Hil97]. Gründe für die späte Erkennung der Änderungsbedarfe sind unter anderem, dass Produkteigenschaften erst ab einem gewissen Reifegrad überprüft werden können und die verschiedenen Disziplinen und Designobjekte erst später im Serienanlauf zusammentreffen [Sch05a].

In der Untersuchung von BERG konnte festgestellt werden, dass späte Änderungen einen signifikanten Einfluss auf die Materialversorgung durch die Lieferanten, die Montagetätigkeiten

und die Kommunikation haben [Ber07]. Wie bereits zuvor beschrieben, fällt es den Beteiligten Lieferanten aufgrund des vorherrschenden Zeitdrucks in dieser Phase schwer, die Änderungen effizient umzusetzen. Eine konsequente Verteilung der Verantwortlichkeiten und enge Kooperation mit dem Lieferanten unterstützt dabei die Umsetzung der Änderungen [Ber07].

Späte Änderungen stehen in engem Zusammenhang mit dem Neuheitsgrad des einzuführenden Produktes. Ein hoher Neuheitsgrad führt zu zahlreichen Änderungen aufgrund ungetesteter Technologien und fehlender Erfahrungen der Mitarbeiter. Dadurch entstehen zusätzliche Aufwände, welche sich negativ auf die Zielgrößen Zeit, Kosten und Qualität auswirken können [Cou92], [Alm00], [Ber07]. Idealerweise sollten alle Änderungen vor dem Produktionshochlauf umgesetzt sein. Allerdings ist dies in der Regel aufgrund von zeitlichen Randbedingungen und Ressourcenbeschränkungen im Entwicklungsprozess nur bedingt umsetzbar [Cou92].

Zusammenfassend ist in der folgenden Darstellung (vgl. Bild 4.2) das Wirkmodell mit den entsprechenden Einflussfaktoren und den Zielgrößen im Serienanlauf (vgl. Kapitel 2.2.1) verdichtet beschrieben. Es erfolgt eine Unterscheidung zwischen sich gegenseitig verstärkenden Effekten (graue Linie), z.B. Anstieg der Lieferantenzahl führt zu einer höheren Prozesskomplexität und den unmittelbaren negativen Effekten auf die Zielgröße (blaue Linie), z.B. Anstieg der Produktkomplexität führt zu negativem Einfluss auf das Terminziel. Dabei gibt die Pfeilrichtung die Wirkung des Einflusses an.

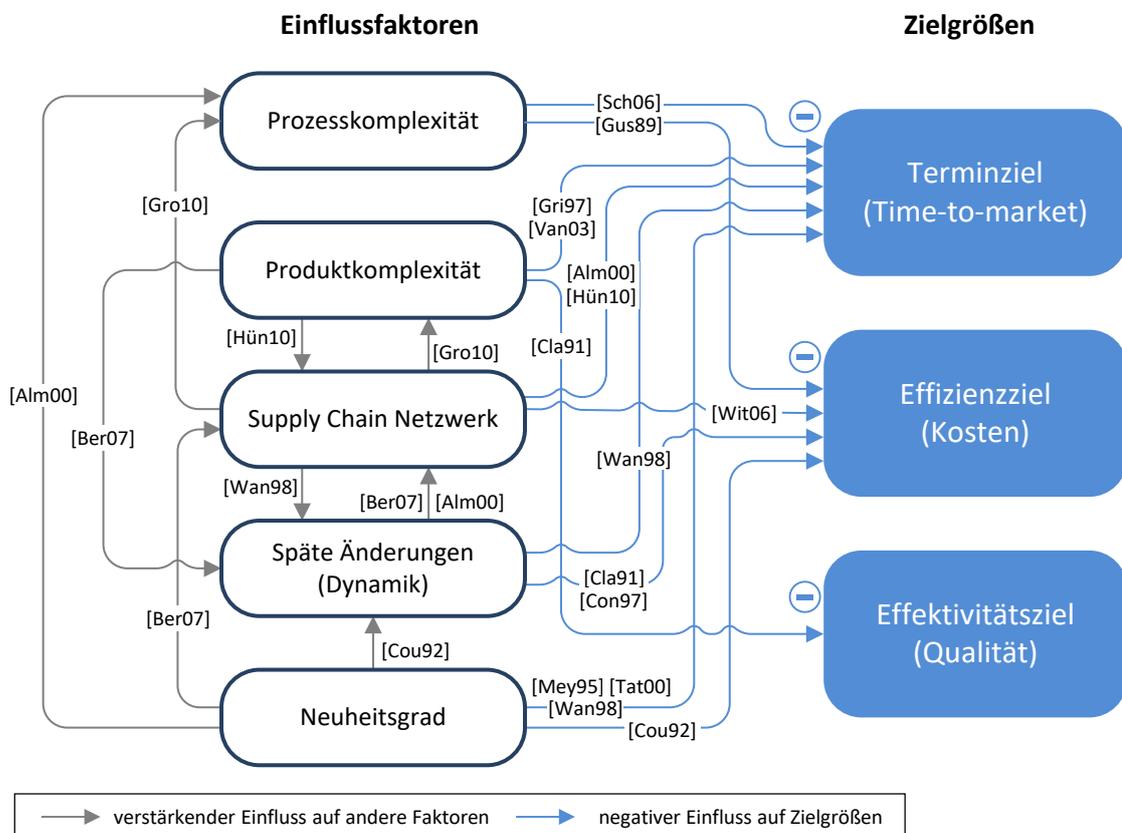


Bild 4.2: Wirkmodell der Einflussfaktoren hinsichtlich der Zielgrößen

In der neu entwickelnden Darstellung und Zusammenfassung der empirisch belegten Zusammenhänge wird sich auf die negative Korrelation der Faktoren auf die Zielgrößen fokussiert, da nur so eine Aussage über mögliche Anlauftrisiken getroffen werden kann. Eine Unterscheidung nach positiven oder negativen Einflüssen der Verbindungen zwischen den Faktoren, wie es beispielsweise bei Wirkmodellen nach BLESSING ET AL. vorgeschlagen wird [Ble09], erfolgt somit nicht in dem vorliegenden Wirkmodell, da dieses sich rein auf eine risikoorientierte Betrachtungsweise fokussiert. Für die Nutzung innerhalb des zu entwickelnden Bewertungsansatzes muss eine weitere Differenzierung der Einflussfaktoren erfolgen, um somit dem Anwender die Möglichkeit zu geben, eine möglichst objektive Bewertung hinsichtlich der Anlauftrisiken durchführen zu können.

## 4.2 Ableitung von Indikatoren zur Erfassung der Einflussfaktoren

Im folgenden Abschnitt erfolgt die Ableitung von Indikatoren. Mit Hilfe der Indikatoren wird eine Messbarkeit mittels einfacher Abschätzung in frühen Phasen gewährleistet. Sie dienen der Beschreibung der Einflussfaktoren und geben Hinweise auf die jeweilige Ausprägung. Für die Auswahl möglicher Indikatoren zur Erfassung der entsprechenden Einflussfaktoren wird auf eine ganzheitliche Beschreibung des Faktors geachtet. Weiterhin muss eine Messbarkeit bzw. mögliche Ermittlung durch die zur Verfügung gestellten Informationen in Produktentwicklung möglich sein.

### Indikatoren der Produktkomplexität

Wie bereits in Kapitel 2.1 beschrieben, finden sich in der Literatur so wie in der Praxis, zahlreiche Betrachtungsmöglichkeiten für den Begriff Komplexität. Für die Beschreibung sind die drei Dimensionen Vielfalt, Konnektivität und zeitliche Veränderung weit verbreitet [Bro12b], [Zeu98], [Sch05b]. Aufgrund des besonderen Stellenwerts der zeitlichen Veränderung innerhalb des Serienanlaufs wird dieser Punkt unter dem Aspekt „späte Änderungen“ separat betrachtet. Als Indikatoren zur Beschreibung der Produktkomplexität werden die Vielzahl und Vielfalt der Komponenten sowie deren Kopplungsgrad verwendet.

Die *Vielzahl an Komponenten* übt unmittelbaren Einfluss auf die Produktkomplexität im Serienanlauf aus [Sch06]. Die Anzahl bestimmt maßgeblich die Aufwände innerhalb der Entwicklung und in der Montage zum Gesamtprodukt. Mit steigender Anzahl an Komponenten lässt sich aufgrund der erhöhten Anzahl der Beteiligten auch auf einen höheren Koordinationsaufwand innerhalb der Serienanlaufphase schließen [Cha04]. Neben der Vielzahl steigert die *Vielfalt der Komponenten* die Notwendigkeit zusätzliche Produktions- und Logistikprozesse zur Verfügung zu stellen. Weiterhin führt eine hohe Vielfalt zu geringeren Lerneffekten im Serienanlauf, da sich unter Umständen die Betriebsmittel und Montageprozesse stark unterscheiden können. Die Vielfalt ergibt sich aus der Bereitstellung unterschiedlicher Funktionen und Formen zur Erfüllung kundenrelevanter Produktmerkmale.

Die Ausgestaltung der Produktstruktur beeinflusst je nach Art den *Kopplungsgrad* des Produktes und bestimmt damit maßgeblich über die Fertigungs- und Beschaffungsart sowie den Montageablauf [Pah07], [Sch05b]. Damit steht der Kopplungsgrad in direkter Abhängigkeit zum Produktionsprozess. Eine hohe Kopplung, realisiert durch eine integrale Produktgestal-

tung, erhöht die Anforderungen an die Montageprozesse und führt zu einer Reduzierung der Prozessflexibilität. Dies wirkt sich negativ auf Störanfälligkeit im Serienanlauf aus.

### **Indikatoren der Prozesskomplexität**

Die Prozesskomplexität kann in Anlehnung an die Produktkomplexität ebenfalls auf die *Vielzahl an Montageschritten*, die *Prozessvielfalt* und den *Verkettungsgrad* zurückgeführt werden [Gus89]. Eine hohe Anzahl an Montageschritten erfordert auch einen erhöhten Koordinationsaufwand hinsichtlich der Montagereihenfolge. Selbst kleine Störungen können bei einem hohen Verkettungsgrad kombiniert mit einer hohen Prozessvielfalt zu Produktionsstillständen führen. Der *Verkettungsgrad* wird durch die Fertigungsart (z.B. Werkstatt- oder Fließfertigung) und die zugrunde gelegte Produktstruktur festgelegt [Lot06]. Bei komplexen Produktionssystemen mit zahlreichen Störeinflüssen im Serienanlauf führt ein hoher Verkettungsgrad somit zu Auswirkungen im ganzen System [Win07]. Eine sequentielle Fertigung stellt aufgrund der hohen Abhängigkeit einen hohen Verkettungsgrad dar. Eine Störung im Prozess (z.B. Fehlteil, mangelnde Mitarbeiterqualifikation, fehlerhafte Montage) führt zu einer unmittelbaren Verzögerung aller noch nachgelagerten Prozessschritte. Eine parallel gestaltete Montage ermöglicht es, verschiedene Module oder Baugruppen unabhängig von anderen Komponenten vorzumontieren und gegebenenfalls zu prüfen.

Die *Prozessvielfalt* beschreibt die Breite der notwendigen Prozessschritte, um die neu einzuführenden Produkte fertigen zu können. Bedingt durch die erhöhte Produktvielfalt und Randbedingungen der Auftragsabwicklung im Unternehmen erhöht sich ebenfalls die Prozessvielfalt. Dies führt zu einer geringen Losgröße und steigenden Rüstvorgängen innerhalb der Produktion. Dadurch wird gerade im Serienanlauf die Lernkurve der Mitarbeiter negativ beeinflusst [Sch06]. Verschiedene Prozesse setzen eine erhöhte Qualifikation voraus und machen zudem aufwändige Schulungsmaßnahmen für die Produktionsmitarbeiter notwendig. Immer wiederkehrende identische Tätigkeiten erleichtern bereits zum Produktionsstart die schnelle und fehlerfreie Umsetzung auch komplexer Fertigungsschritte.

Einen zusätzlichen Aspekt stellt der *Automatisierungsgrad* in der Fertigung dar. Je größer dieser innerhalb der Produktionsprozesse ausgeprägt ist, desto höher ist der Planungsaufwand innerhalb der Prozessgestaltung [Gus89]. Der Serienanlauf einer hochautomatisierten Montage stellt besondere Anforderungen an die Prozessbeteiligten. Der notwendige Lernprozess wird von der Produktion stärker in die Entwicklung der Anlagen und Anlagenerprobung getragen. Die Störanfälligkeit automatisierter Prozesse ist zu Beginn des Produktionshochlaufes stark ausgeprägt. Auftretende Änderungen führen zu aufwendigen Anpassungen der Prozesse. Dagegen können Störungen manueller Prozesse leichter durch erfahrene Mitarbeiter kompensiert werden.

### **Indikatoren des Supply Chain Netzwerks**

Einflüsse aus dem Lieferantennetzwerk auf die Leistungsfähigkeit im Serienanlauf werden durch eine verstärkte Auslagerung von Entwicklungs- und Fertigungsleistungen geprägt [Fit05]. Der Grund hierfür liegt in der Produktion von Serienprodukten innerhalb komplexer Wertschöpfungsnetzwerke, die eine Konzentration auf die Kernkompetenzen fördern [Den07].

Der *Grad der Entwicklungs- und Fertigungstiefe* stellen somit wichtige Indikatoren dar. Diese geben an, wie hoch der Anteil der Eigenleistung hinsichtlich der Entwicklungs- und Fertigungstätigkeiten ist. Ein geringer Grad führt zwangsweise zu einem erhöhten Koordinations- und Planungsaufwand und erfordert eine ganzheitliche Integration in die Anlauf Tätigkeiten [Gon07]. Ohne eine ganzheitliche Integration kann es zu Lieferzeitverzögerungen und hohen Nachbearbeitungskosten kommen, da Probleme erst spät erkannt werden [Wan98]. Weiterhin findet langfristig eine Verlagerung des Know-hows in Richtung des Wertschöpfungspartners statt. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einer konsequenten frühzeitigen Integration in die Anlaufplanung [Fit05]. Der Grad der Entwicklungstiefe kann mit Hilfe einer einfachen Verhältniszahl von fremdentwickelten Komponenten zur Gesamtanzahl an notwendigen Komponenten abgeschätzt werden. Identisch verhält es sich mit dem Grad der Fertigungstiefe.

Neben der Produkt- und Prozesskomplexität führt eine hohe *Anzahl an Lieferanten* ebenfalls zu einer Verstärkung der organisatorischen Komplexität. Je größer die Anzahl der extern eingebundenen Wertschöpfungspartner ist, desto höher wird die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Organisations-, Kommunikations- und Schnittstellenproblemen eingeschätzt [Her08a]. Zusätzlich führen eine späte Integration und Informationsasymmetrien zu potentiellen späten Änderungen im Verlauf des Serienanlaufs.

Schon früh im Produktentwicklungsprozess werden Entscheidungen getroffen, die sich unmittelbar auf den späteren Logistikprozess auswirken. Um eine gezielte Koordination und einen effizienten Ressourceneinsatz zu gewährleisten, sollte auch innerhalb der Serienanlaufphase nach *Lieferantenart* differenziert werden [Den07]. Eine mögliche Differenzierung basiert auf der Hierarchisierung der Lieferantenstruktur [Ott07]. Dabei kann zwischen System- und Modullieferant, Komponentenlieferant und Materiallieferant unterschieden werden [Wil09]. Je komplexer das Beschaffungsobjekt und deren Innovationsgrad, desto größer sind die Risiken, dass Probleme in der Versorgung während des Serienanlaufs auftreten können [Den07]. Dies bedeutet, dass gerade System- und Modullieferanten von der Dynamik später Änderungen im Serienanlauf betroffen sind, da die Komplexität des Beschaffungsobjektes in der Regel wesentlich höher ist als beim Komponentenlieferanten. Der Integrationszeitpunkt in den Entwicklungsprozess spielt dabei eine bedeutende Rolle. Eine bedarfsgerechte Koordination kann somit nur durch die Differenzierung der Schnittstelle zum Lieferanten erfolgen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich der Einflussfaktor der Supply Chain auf den Serienanlauf durch die Indikatoren Grad der Entwicklungs- und Fertigungstiefe sowie Anzahl und Art an Lieferanten abbilden lässt.

### **Indikatoren des Neuheits-/Innovationsgrads**

Langfristig lässt sich der Unternehmenserfolg nur durch neue Produkte sicherstellen. Dies ist vor allem beim Flugzeugbau stark ausgeprägt. Aus Sicht des Anlaufmanagements repräsentiert der Neuheitsgrad einen entscheidenden Komplexitätstreiber und bestimmt weitestgehend den Umfang der durch den Lernprozess zu bewältigten Probleme im Serienanlauf [Gus89]. Dabei kann zunächst zwischen einer Produkt- oder Prozessinnovation als Ursache eines neuen Serienanlaufs unterschieden werden [Jür07]. Die Produktinnovation lässt sich durch den *Neuheitsgrad der Produktkomponenten* definieren. Dieser wird durch die Ver-

wendung neuer Komponenten und den damit verbundenen Technologien und Materialien bestimmt [Cou92]. Ein geringer Anteil an Gleichteilen vom Vorgänger- zum Nachfolgeprodukt und damit ein großer Neuheitsgrad führt zu einer Steigerung der Aufwände in der Neukonstruktion und zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit der Planwertüberschreitung im Serienanlauf [Wan98]. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass die fehlende Erfahrung im Umgang mit den neuen Komponenten und deren spezifischen Anforderungen zu einer gewissen Unsicherheit im Verhalten während des Serienanlaufs führen [Ris02].

Mit einer hohen Prozessinnovation kann ein großes Ausmaß an Neuartigkeit innerhalb der Fertigungsprozesse verbunden werden. Dazu zählt der Einsatz neuer Fertigungstechnologien, Betriebsmittel und der Anteil an neuen Prozessen. Genau wie der Neuheitsgrad der Produktkomponenten, führt der *Neuheitsgrad der Prozesse* im Serienanlauf aufgrund fehlender Erfahrungen zu möglichen Verzögerungen und Problemen [Tyr91]. Je größer die Veränderung zum Vorgängerprodukt, desto größer ist die Planungsunsicherheit und die mögliche Anlaufdauer. Um Vorteile der neu eingeführten Prozessinnovationen nutzen zu können, setzt dies zunächst im Serienanlauf eine erhöhte Qualifikation, Flexibilität und Schulungsaufwand der Mitarbeiter voraus.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass trotz eines hohen Gleichteileanteils durch Übernahmekomponenten, dass neueinzuführende Produkt Unterschiede zum Vorgängerprodukt aufweist. Dies lässt sich mit der Produktstruktur und der damit verbundenen Ausgestaltung der Schnittstellen erklären. Diese bestimmen maßgeblich die Kooperation im Wertschöpfungsnetzwerk und die Prozessgestaltung innerhalb der Produktion. Ein hoher *Neuheitsgrad der Schnittstellen* führt ebenfalls zu einer notwendigen Anpassung von Betriebsmitteln, Montagereihenfolgen und Organisationsstrukturen. Der Neugestaltung der Schnittstellen kann daher ein Einfluss auf die Routine im Umgang mit dem Produkt zugeschrieben werden. Je größer der Anteil an neuen Schnittstellen im Produkt ist, desto weniger kann auf die vorhandene Erfahrung zur Lösung der Probleme im Serienanlauf zurückgegriffen werden. Die Ermittlung des Neuheitsgrads lässt sich durch die Erfassung des Neuheitsgrads der Produktkomponenten, der Fertigungsprozesse und der Schnittstellen beschreiben.

### **Indikatoren der späten Änderungen**

Wie bereits diskutiert, resultiert die Komplexität nicht nur aus der Produkt- und Prozessgestaltung, sondern auch zusätzlich aus der zeitlichen Veränderung während des Serienanlaufs. Diese zeitliche Komponente beschreibt das dynamische Verhalten der beteiligten Systemelemente.

Ein Großteil der späten Änderungen im Serienanlauf basiert auf der Unterschätzung von technischen Risiken oder den fehlenden Erfahrungen im Umgang mit neuen Technologien. Diese entstehen durch die Nichterfüllung impliziter und expliziter Anforderungen an das Produkt oder den Produktionsprozess. Je größer der Aufwand in den vorgelagerten Phasen ausfällt, desto geringer sind die Folgeaufwände zur Durchführung der Änderung und die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Änderungen [Pah07], [Ehr09], [Ren12]. Da häufig Änderungen erst im Zusammenspiel der verschiedenen Disziplinen innerhalb des Serienanlaufs auftreten, verursacht dies hohe Folgekosten und zusätzliche Zeitaufwände durch Iterationen

innerhalb der Entwicklung [Gem95]. Ursachen für späte Änderungsbedarfe im Serienanlauf sind zum Beispiel mangelnder Reifegrad des Produkts, Nichterfüllen der geforderten Anforderungen, Fehler in der Dokumentation oder fehlerhafte Produktfunktionalität. Konstruktive Änderungen führen, wie bereits in Abschnitt 4.1 aufgezeigt, auch unmittelbar zu Anpassungen der Betriebsmittel, Fertigungs- und Materialbereitstellungsprozesse. Mit sinkender Entwicklungs- und Fertigungstiefe führen späte Änderungen zusätzlich zu Unsicherheiten hinsichtlich der Liefertreue durch den Zulieferer. Diese haben wiederum nur ein kurzes Zeitfenster, um die notwendigen Änderungen umzusetzen.

Basierend auf dem empirischen Wirkmodell (vgl. Bild 4.2), wird als Indikator zur Erfassung der späten Änderungen die Komplexität und der Neuheitsgrad herangezogen, da diese einen entscheidenden Einfluss auf das Auftreten und das Ausmaß an Folgeänderungen von späten Änderungen innerhalb des Serienanlaufs haben [Fit05], [Wan98], [Hil97], [Jar04]. Je komplexer das Produkt bzw. der Produktionsprozess gestaltet ist und je größer der Neuheitsgrad von Produkt und/oder Prozess, desto wahrscheinlicher ist das Auftreten später Änderungen im Serienanlauf. Die Produktstruktur hat maßgeblichen Einfluss auf den Umfang der Änderungsauswirkung. Durch eine Integralbauweise werden die Auswirkungen von späten Änderungen durch die gegenseitigen Abhängigkeiten verstärkt. Änderungen an einer Komponente führen durch Schnittstellenbeziehungen zu Folgeänderungen bei anderen Komponenten. Im Umkehrschluss führt eine inkrementelle Innovation mit einem geringen Neuheitsgrad und einem hohen Gleichteileanteil zum Vorgängerprodukt zu einer geringen Wahrscheinlichkeit an späten technischen Änderungen im Entwicklungsprozess. Genauso verhält es sich mit der Prozesskomplexität und dem Prozessneuheitsgrad. Die Erfahrungen aus der Produktion des Vorgängerprodukts können einfacher genutzt werden und es besteht eine geringere Planungsunsicherheit. Dies ist bei langen Produktlebenszyklen im Flugzeugbau nur bedingt umsetzbar.

Aus der paarweisen Betrachtung von Komplexität und Neuheitsgrad ergeben sich somit die beiden Indikatoren *Produktänderungen* und *Prozessänderungen*. Da eine Wechselwirkung zwischen Änderungen am Produkt und Prozess besteht, ist eine einzelne Betrachtung eines Indikators nicht ausreichend. Zur Erklärung des Einflussfaktors „späte Änderungen“ werden in der weiteren Betrachtung stets beide Indikatoren berücksichtigt.

### 4.3 Zusammenfassende Darstellung des Wirkmodells

In Bild 4.3 ist das Wirkmodell ganzheitlich mit den entsprechend identifizierten fünf elementaren Einflussfaktoren und deren Indikatoren abgebildet. Zusammenfassend kann der folgenden Abbildung, basierend auf dem Wirkmodell, die Zuordnung der identifizierten Indikatoren zu den Einflussfaktoren entnommen werden. Diese werden im weiteren Verlauf der Bewertung herangezogen, um eine einfache und frühzeitige Abschätzung zur Identifizierung relevanter Risikobereiche im Serienanlauf durchführen zu können. Generell kann festgehalten werden, dass je höher die Indikatoren ausgeprägt sind, desto größer ist die Wirkung der Einflussfaktoren auf die Zielgrößen und desto größer sind die Anforderungen an die Prozessbeteiligten im Rahmen des Anlaufprojektes.

In den beiden Abschnitten zuvor wurden auf Basis von bereits durchgeführten Studien die Erkenntnisse in dem neu entwickelten Wirkmodell zusammengefasst. Dabei liegt der Fokus

auf die negative Korrelation der Einflussfaktoren auf die entsprechenden Zielgrößen. Eine Abschätzung der Faktoren wird durch die dargestellten Indikatoren sichergestellt. Die Übertragbarkeit der Studien aus anderen Industrien auf den Flugzeugbau ist zum einen durch eine generelle Betrachtungsweise der Einflussfaktoren und zum anderen durch den Nachweis an verschiedensten Produkten sichergestellt. Weiterhin hat die Analyse des Forschungsfeldes (vgl. Kapitel 2.3) gezeigt, dass es besondere Randbedingungen im Flugzeugbau gibt, aber in der Dimension der Einflussfaktoren identische Zusammenhänge zwischen den Zielgrößen bestehen, z.B. ein hoher Neuheitsgrad führt zu Verzögerungen im Serienanlauf.

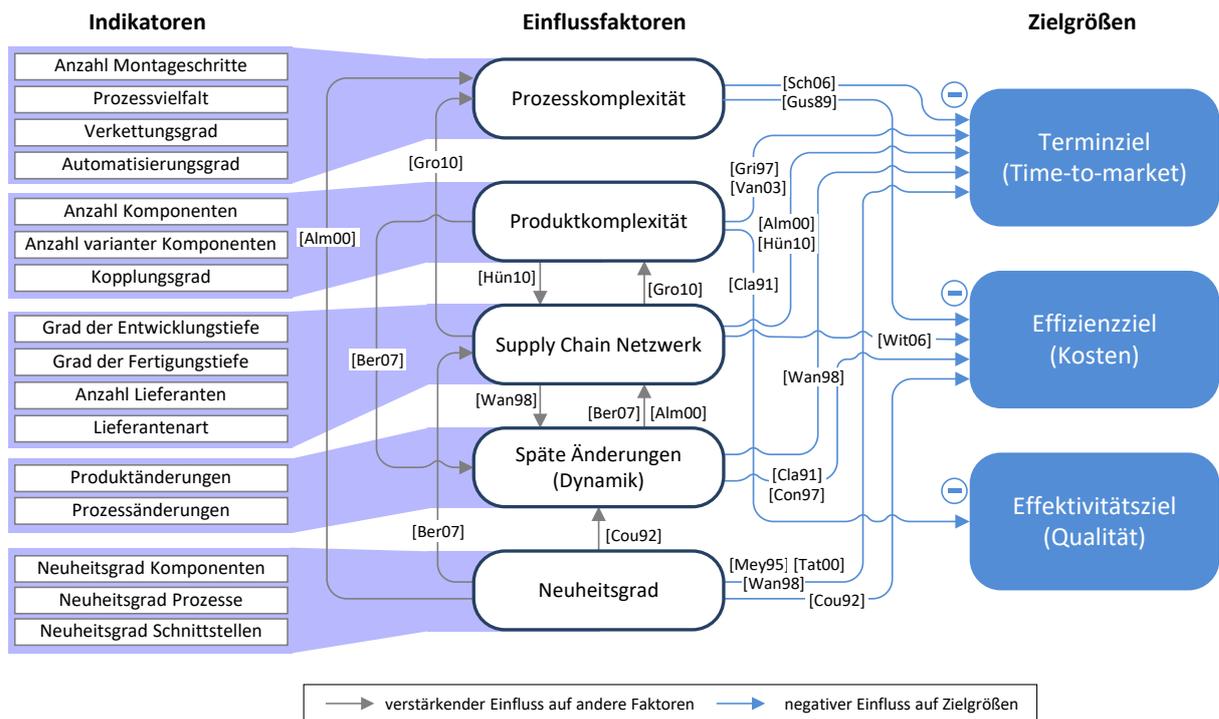


Bild 4.3: Gesamtwirkmodell mit Einflussfaktoren und deren Indikatoren

Das so entwickelte Wirkmodell bildet die Basis für die im folgenden Kapitel 5 zu entwickelnde methodische Bewertung von Anlauftrisiken. Eine Adaptation auf Basis neuer Studien und Erkenntnisse oder unternehmensspezifische Randbedingungen ist gegebenenfalls erforderlich und bietet die Möglichkeit, Erfahrungen aus vergangenen Serienanläufen zu integrieren.

Weiterhin bietet das Modell die Möglichkeit ein einfaches Systemverständnis für den Anwender der Methode zur Verfügung zu stellen. Mit Hilfe der Darstellung der Einflussfaktoren kann über die Veränderung der Indikatoren eine Beeinflussung der Zielgrößen aufgezeigt werden und stellt gleichzeitig die Basis zur Unterstützung der Maßnahmenselktion für die Risikovermeidung und -reduzierung dar.



## 5 Methode zur Bewertung von Anlauftrisiken

Im folgenden Kapitel wird das entwickelte Konzept zur Bewertung von Anlauftrisiken im Flugzeugbau vorgestellt. Die Ergebnisse aus den Untersuchungen zuvor verdeutlichen, dass die Überführung komplexer Produkte in die Produktion mit charakteristischen hohen Wechselwirkungen nur schwer plan- und steuerbar ist. Die Methode setzt daher im Spannungsfeld einer frühestmöglichen Bewertung bei gleichzeitiger Unsicherheit der bestehenden Informationen an. Nur so kann es gelingen, bei kürzer werdenden Produktlebenszyklen, steigender Variantenvielfalt und sich verkürzenden Entwicklungszeiten frühzeitig entsprechende Maßnahmen zur Reduzierung von Anlauftrisiken einzuleiten und den Transfer der Entwicklungsergebnisse in die Produktion abzusichern sowie einen größtmöglichen Handlungsspielraum zu nutzen.

Die aufgezeigten Defizite bestehender Ansätze (vgl. Kapitel 3.5) verdeutlichen, dass eine Unterstützung innerhalb der Produktentwicklungsphase hinsichtlich des Serienanlaufs nur unzureichend vorhanden ist. Vielmehr findet lediglich eine Konzentration auf Seiten der technischen Absicherung der Produktmerkmale statt. Eine parallel einsetzende Fertigungsplanung fokussiert sich dagegen primär auf eine optimale Serienproduktion. Um den in Abschnitt 2.4 beschriebenen Anforderungen gerecht zu werden, fokussiert (Bild 5.1) sich die vorliegende Arbeit auf die methodische Unterstützung zur frühzeitigen Identifikation von Anlauftrisiken. Der vorliegende Ansatz bindet erstmals Aspekte der Produktgestaltung in die Bewertung von potentiellen Anlauftrisiken mit ein.

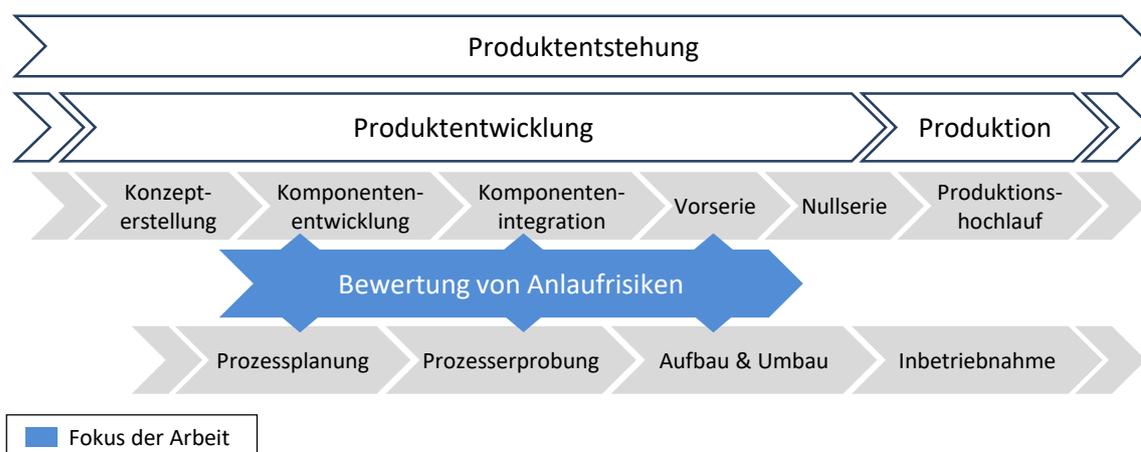


Bild 5.1: Fokus der Arbeit im Rahmen des Produktentstehungsprozesses

Ziel ist es, den Handlungsspielraum in der Produktentwicklung zu nutzen und auf die Randbedingungen des Serienanlaufs, die im starken Maße abhängig von der Produktstruktur sind, reagieren zu können. Dies macht es allerdings erforderlich, nach der Identifikation relevanter

Einflussfaktoren, die potentiellen Risiken für den Serienanlauf unter dem Aspekt der Unsicherheit bewerten zu können. Der neu geschaffene Bewertungsansatz baut deshalb mit der Risikoanalyse auf den Einflussfaktoren auf. Mit Hilfe der Zusammenhänge zwischen Einflussfaktoren und Zielgrößen kann eine zielgerichtete und transparente Zuordnung möglicher Maßnahmen erfolgen, um eine effiziente Übertragung der Entwicklungsergebnisse in das Produktionsumfeld zu gewährleisten.

## 5.1 Arbeitsschritte der Methode

Die Zielvorgabe der Serienanlaufphase ergibt sich aus der strategischen Produktprogrammplanung. Innerhalb der Produktprogrammplanung wird mit Hilfe verschiedener Werkzeuge und Methoden (Roadmaps, Szenarien) über die zukünftige Produktentwicklung und die Einführung neuer Produkte entschieden [Jon14]. Dabei sind zentrale Treiber unter anderem das Marktpotential, die Wettbewerber und der Produktlebenszyklus (vgl. Kapitel 2.2). Aus den verschiedenen Randbedingungen ergeben sich die übergeordnete Ziele für das jeweilige Anlaufprojekt hinsichtlich:

- Einhaltung der geplanten Time-to-Market
- Sicherstellung der geforderten Produkt- und Prozessqualität
- Effiziente Nutzung vorhandener Ressourcen und

Wie bereits beschrieben, ergeben sich branchen- und unternehmensspezifische Schwerpunkte bei der Charakteristik und der Zielausrichtung. Der methodische Ansatz konzentriert sich auf die Reduzierung negativer Auswirkungen, die durch die im Kapitel 4 beschriebenen Einflussfaktoren hervorgerufen werden können. Für eine zielgerichtete Beeinflussung muss eine Abschätzung der Relevanz der verschiedenen Faktoren für das Anlaufprojekt durchgeführt werden, um anschließend effiziente Handlungsmaßnahmen zuordnen zu können. Um den in Kapitel 2.4 beschriebenen Anforderungen gerecht zu werden, ist der methodische Ansatz (vgl. Bild 5.2) in zwei Phasen und sechs Hauptschritte unterteilt. Innerhalb der ersten Phase (Schritt 1 - 3) erfolgt basierend auf den Einflussfaktoren des Wirkmodells die initiale Analyse der Anlaufsituation. Dabei steht die Identifizierung möglicher Risikobereiche ausgehend von einer zunächst einfachen Bewertung relevanter Indikatoren im Vordergrund. In der zweiten Phase (Schritt 4 - 6) liegt der Schwerpunkt auf der Risikoanalyse und der Zuordnung der Handlungsmaßnahmen.

Im ersten Schritt erfolgt die Ist-Soll Aufnahme mit Hilfe verschiedener Werkzeuge und Methoden, die mehrheitlich ihren Ursprung im Integrierten PKT-Ansatz haben (vgl. Abschnitt 3.4). Die so erzielte Produkt- und Prozessvisualisierung ermöglicht bereits in frühen Phasen ein erstes Verständnis für das einzuführende Produkt zu gewinnen. Weiterhin werden durch die Werkzeuge wichtige Informationen zur Verfügung gestellt. Im zweiten Schritt werden auf Basis der Ist-Soll Aufnahme mit Hilfe von Kennzahlen die identifizierten Indikatoren aus dem Wirkmodell (vgl. Bild 4.3) abgeschätzt. Anschließend erfolgt im dritten Schritt die Identifikation relevanter Risikobereiche mit Hilfe eines Netzdiagramms. Ein Großteil der neu einzuführenden Produkte basiert auf einem Vorgängerprodukt oder Produkten ähnlicher Struktur [Ehr09]. Deshalb wird bei der Abschätzung primär das Vorgängerprodukt als Orientierungs-

hilfe genutzt, um relevante Risikobereiche zu identifizieren. Die so ermittelten Risikobereiche bilden den Input für die anschließende Risikoanalyse, die zweite Phase des Ansatzes.

#### Phase I. Identifikation von Risikobereichen

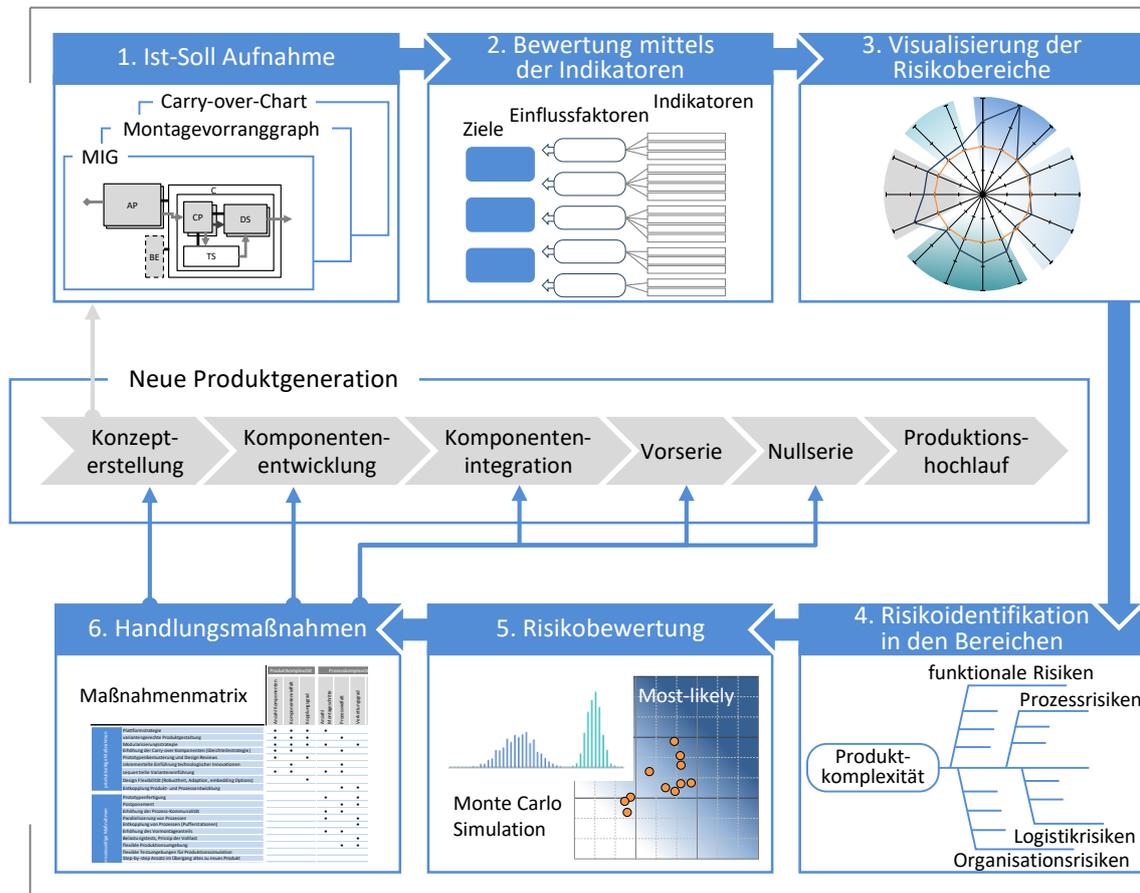


Bild 5.2: Methodische Vorgehensweise zur Bewertung von Anlauftrisiken

Im Vergleich zu klassischen Risikomanagementansätzen (vgl. Abschnitt 3.2) ermöglicht die zweite Phase des Ansatzes eine Analyse der identifizierten Risikobereiche trotz bestehender Unsicherheit. Dazu erfolgt zunächst eine klassische Identifizierung relevanter Risiken (Schritt vier) in den entsprechenden Risikobereichen auf Basis von Experteneinschätzungen. Im anschließenden Schritt fünf erfolgt die Risikobewertung ebenfalls durch die Experten. Für die Berücksichtigung der Unsicherheiten innerhalb der frühen Risikobewertung wird auf Basis der Experteneinschätzung eine Monte-Carlo-Simulation durchgeführt. Dies ermöglicht die Erstellung verschiedener Risikoszenarien (Worst, Best, Most-likely-Szenario). Je nach Sensitivität der Risiken ergeben sich teils unterschiedliche Szenarien, die entsprechend der Kritikalität des Serienanlaufs ausgewählt werden können. Die zweite Phase schließt mit der Ableitung und Zuordnung von Handlungsmaßnahmen (Schritt sechs). Die Auswahl der Maßnahmen wird mit Hilfe einer generischen Risikomatrix unterstützt. Innerhalb dieser Matrix werden die Maßnahmen mit den verschiedenen Indikatoren verknüpft. Weiterhin erfolgt die Abschätzung der Wirksamkeit der Maßnahmen in vier verschiedene Schwerpunkte. Für die Auswahl werden mehrere Strategien empfohlen, die sich in ursachen- und wirkungsbezogene Maßnahmen unterteilen lassen. Die Komplexitätsreduzierung (ursachenbezogen) unter-

stützt das Verhindern des Risikoeintritts und die Steigerung der Flexibilität (wirkungsbezogenen) die Reduzierung der Auswirkung potentieller Risiken. Die gewählten Maßnahmen erlauben anschließend eine zielgerichtete Integration in die bestehende Produkt- und Prozessgestaltung.

In den folgenden Abschnitten werden die Hauptaspekte der neu entwickelten Methode weiter ausdifferenziert. Zur Veranschaulichung der Vorgehensweise wird, basierend auf Expertenbefragungen, Erfahrungen aus Industrieprojekten und Hinweisen aus der Literatur ein fiktives Beispiel aus Sicht der industriellen Praxis zusammengeführt. Dabei dient eine neu einzuführende Produktgeneration einer Kettensäge als Erläuterung des methodischen Ansatzes. Bei der Weiterentwicklung handelt es sich um eine inkrementelle Produktoptimierung eines Einstiegsmodells, das weitestgehend standardisiert ist. Für das neue Produktkonzept werden zur Erhöhung der Marktanteile für die neue Generation mehr Varianten für den Kunden angeboten. Weiterhin erfolgen eine Reduzierung der Fertigungstiefe und damit einhergehend eine Umstellung des Fertigungsprinzips. Das Fertigungsprinzip wird von einer Inselfertigung in eine Fließbandfertigung überführt. Dies dient dem Ziel der höheren Auslastung, der Erhöhung der Ausbringung und der Verbesserung der Mitarbeiterflexibilität. Das Beispiel weist eine ausreichende Komplexität auf, damit der zu entwickelnde Ansatz nachvollziehbar beschrieben werden kann. Es wird in den folgenden Abschnitten zur Erläuterung herangezogen.

## **5.2 Identifikation relevanter Einflussfaktoren auf die Zielerreichung**

In der ersten Hauptphase des Ansatzes werden zunächst eingehender die neu einzuführenden Produkt- und Prozessstrukturen hinsichtlich ihrer Einflussfaktoren untersucht. Diese sind dem Wirkmodell aus Kapitel 4 entnommen. Das entwickelte Wirkmodell kann mittels unternehmensspezifischer Randbedingungen angepasst werden. Dementsprechend können andere oder zusätzliche Einflussfaktoren als die Produktkomplexität, Prozesskomplexität, das Supply Chain Netzwerk, späte Änderungen und der Neuheitsgrad Berücksichtigung innerhalb der Bewertung finden.

### **5.2.1 Ist-Soll Aufnahme der Produkt- und Prozessstrukturen**

Innerhalb der Betrachtung komplexer Produktstrukturen und Fertigungsprozessen muss zunächst ein Systemverständnis geschaffen werden, bevor die eigentliche Bewertung durchgeführt werden kann. Eine Beschreibung des Systems, dessen Umgebung und Wechselwirkungen sind Voraussetzung, um ein solches System im Laufe des Serienanlaufs handhabbar zu machen. Deshalb erfolgt im Rahmen der Ist-Soll Aufnahme die Abbildung der bestehenden (Ist) und der zukünftigen Produkt- und Prozessstruktur sowie der Lieferantenstruktur (Soll). Aufgrund des großen Betrachtungsumfanges im Flugzeugbau ist es unter Umständen notwendig, diesen einzuschränken oder in Teilbereiche zu gliedern. Dadurch kann zum einen die Anwendbarkeit und Vergleichbarkeit zum Vorgängerprodukt sichergestellt werden und zum anderen wird die Nachvollziehbarkeit und Transparenz im Rahmen der Bewertung erhöht.

Die Bewertung der im Kapitel 4.2 vorgestellten Indikatoren erfordert detaillierte Kenntnisse über die aktuelle und geplante Produkt- und Prozessstruktur. Die im Folgenden dargestellte Ist-Soll Aufnahme bildet somit eine entscheidende Grundlage für die weiteren methodischen

Schritte. Für die Informationsbeschaffung wird unter anderem auf die bereits vorgestellten Werkzeuge (MIG, iPAS, CoC) aus dem integrierten PKT-Ansatz (Kapitel 3.4) zurückgegriffen. Zum einen bilden die etablierten Werkzeuge der verschiedenen Autoren eine gute Basis zur problemspezifischen Anpassung und Aufnahme der Produkt- und Prozessstruktur [Ble11], [Eil13b], [Hal12] und zum anderen wird eine Integration des vorliegenden methodischen Ansatzes in den integrierten PKT-Ansatz vereinfacht. Weiterhin erfolgt für die Analyse der beschriebenen Änderungen die Verwendung und Anpassung der weitverbreiteten Design Structure Matrix (DSM) [Ste91], [Lin09b]. Diese verfügt über die Möglichkeit, komplexe Systeme abzubilden und deren zeitliche Veränderung zu berücksichtigen [Cla01], [Eck04]. Die eingesetzten und angepassten Werkzeuge werden am Ende dieses Abschnitts zusammengefasst (vgl. Bild 5.9, auf Seite 101) und den jeweiligen Indikatoren zugeordnet.

Die für die Erstellung notwendigen Informationen können mit Hilfe von

- Expertenbefragung (Interviews, Workshops),
- Beobachtungen (Prozessaufnahme, MTM, REFA) und
- Dokumenten Sichtung (Stücklisten, PDM, CAD/CAE)

gewonnen werden. Dabei steht die Verarbeitung der gewonnenen Informationen in Form von Visualisierungen im Vordergrund. Ein Schwerpunkt stellt die Erfassung und der Vergleich des bestehenden Produkts und des neu einzuführenden Produktkonzeptes dar. Die Erfassung der aktuellen Produktstruktur kann aufgrund der vorhandenen Informationen und Erfahrungen aus dem aktuellen Lebenszyklus in der Regel mit geringem Aufwand in die Visualisierung der einzelnen methodischen Werkzeuge überführt werden. Für das neu einzuführende Produkt liegen in frühen Phasen der Entwicklung nicht ausreichende Informationen in Form von Dokumenten vor. Deshalb ist es gegebenenfalls erforderlich, die Ist-Aufnahme mit Hilfe von Expertenbefragungen oder Workshops mit den beteiligten Abteilungen durchzuführen.

Für die Abbildung der Produktstruktur wird der Module Interface Graph (MIG) aus dem integrierten PKT-Ansatz verwendet [Ble11], [Geb15]. Dieser unterstützt die Ermittlung der Anzahl der Komponenten, die Komponentenvielfalt und die Produktgestaltung hinsichtlich der Bauweise (Entkopplungsgrad). Zusätzlich liefert der MIG im direkten Vergleich von aktuellem und neuem Produkt erste Hinweise auf mögliche notwendige Änderungen von Komponenten und deren Schnittstellen. Die schematische Darstellung des Produktes erlaubt es die Komponenten und deren erforderliche strukturelle Verbindungen sowie die Medienflüsse, wie z.B. Stoff, Leistung oder Informationen, darzustellen. Die Komponenten werden hinsichtlich ihrer ungefähren Position und geometrischen Form im Produkt skizziert. Des Weiteren wird durch die unterschiedliche Farbgebung zwischen standardisierten, varianten oder optionalen Komponenten differenziert. Im Bild 5.3 sind die beiden Graphen für Vorgänger und Nachfolgerprodukt dargestellt. Eine detaillierte Abbildung der beiden Produkte kann dem Anhang C entnommen werden.

Am Beispiel des Kettensägenmodells wird ersichtlich, dass die Erweiterung des Einstiegsmodells für die Platzierung auf verschiedenen Märkten eine Steigerung der varianten Komponenten (grau) mit sich bringt und damit gleichzeitig ein Anstieg der internen Varianz bedeutet. Dies führt zu einer Anpassung bestehender Komponenten an neue Schnittstellen, zur

Einführung neuer Komponenten und zu einer Veränderung der Produktstruktur. Beispielhaft im Detailausschnitt in Bild 5.3 ist die Varianz Luftfilter (LF) und Vergaser (V) für das zukünftige Produkt dargestellt. Zusätzlich erfolgt die Einführung eines varianten Vergaserbodens (VB). Der Choke (C) wird zukünftig an den Vergaserboden montiert. Die aufgezeigten Änderungen der Produktstruktur führen somit auch zu Veränderungen im Montageprozess und sollten hinsichtlich der potentiellen Anlauftrisiken nicht losgelöst vom Prozess betrachtet werden. Für die anschließende Bewertung ist es von Bedeutung, dass sowohl das aktuelle als auch das zukünftige Produkt auf einem einheitlichen Informationsniveau dargestellt werden können. Dies unterstützt die einfache Abschätzung bereits in einem konzeptionellen Entwicklungsstadium. Weiterhin erlaubt die skizzenhafte Darstellung einen einfachen Überblick über die im Produkt vorhandenen Schnittstellen.

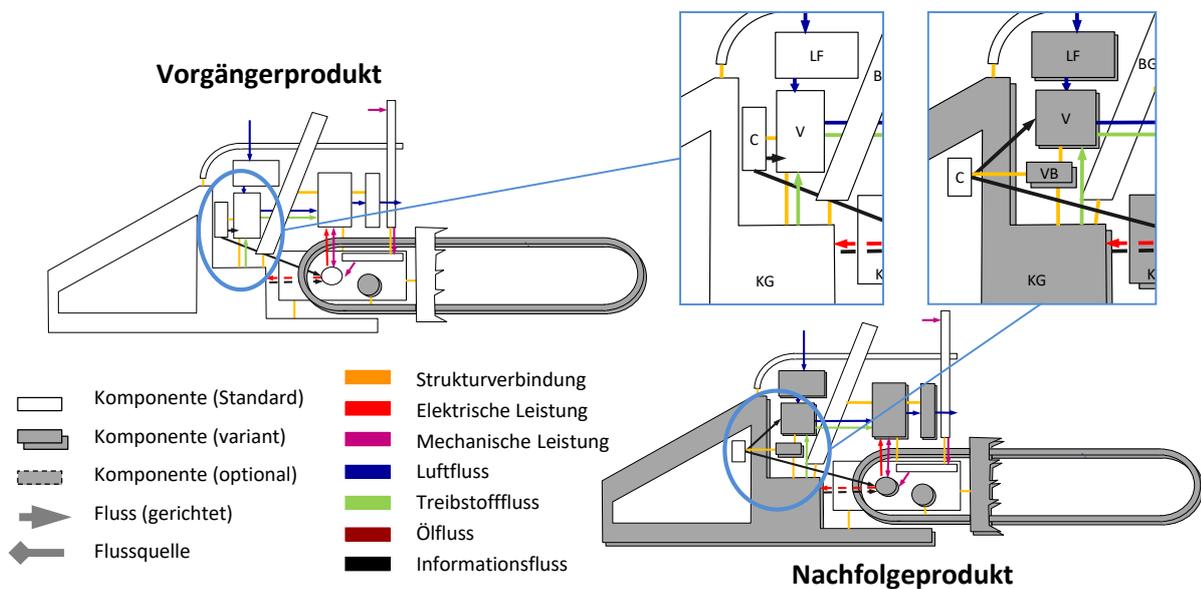


Bild 5.3: Beispielhafte Gegenüberstellung der Vorgänger- und Nachfolgerproduktstruktur

Für die Untersuchung der Prozesskomplexität wird das Werkzeug des Montagevorranggraphen in Form des iPAS herangezogen [Hal12]. Die Darstellungsweise des Montagevorranggraphen unterstützt dabei das Verständnis des zukünftigen Zusammenbaus des Produktes und dessen zugehörigen Prozessschritte. Der iPAS wird dahingehend erweitert, dass in der Prozessgestaltung zusätzlich die Lieferantenintegration (Name und Farbschema) und der Automatisierungsgrad (Balkendarstellung) des jeweiligen Prozessschrittes ersichtlich werden (vgl. Bild 5.4). Für den Serienanlauf ist die Visualisierung der Lieferantenbeteiligung im Prozess hilfreich. So können schnell Folgen einer Verzögerung hinsichtlich der weiteren Montage und Fertigung abgeschätzt werden. Der Automatisierungsgrad stellt eine einfache Abschätzung für den jeweiligen Prozessschritt dar. Komplexe Baugruppen, die einen hohen Automatisierungsgrad aufweisen, bilden eine potentielle Problemquelle im Serienanlauf. Der Verwendungszweck des Visualisierungswerkzeuges konzentriert sich auf die Montage von Produkten. Dennoch ist ein Einsatz oder eine Adaption an andere Fertigungsschritte denkbar. In Bild 5.4 ist exemplarisch der Montageschritt des Vergasers (V) auf den Vergaserboden (VB) dargestellt.

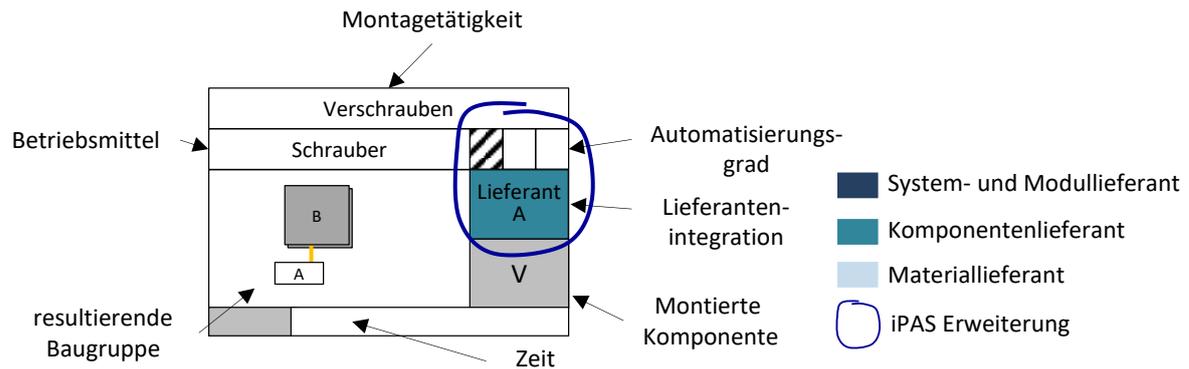


Bild 5.4: Beispiel eines erweiterten iPAS-Elements

Die Abbildung enthält die Visualisierung der Komponenten aus dem MIG, die in dem jeweiligen Prozessschritt verbaut werden. Dabei erfolgt die Darstellung analog zum MIG. Zum Beispiel sind Standardkomponenten weiß und variante Komponenten grau. Die geplante Dauer des Prozessschrittes wird in Form eines Balkens dargestellt. Die Länge bezieht sich dabei auf den zeitlich größten Prozessschritt im Montagevorranggraph. Die verwendeten Betriebsmittel geben bereits einen Hinweis auf den Grad der Automatisierung. In der erweiterten iPAS Variante erfolgt eine Differenzierung des Automatisierungsgrads mit Hilfe einer einfachen Balkendarstellung. Dabei werden rein manuelle Montagetätigkeiten (kein Balken), Teilautomatisierungen der Montage (ein Balken), Automatisierung des Fügeprozesses (zwei Balken) sowie eine Vollautomatisierung und deren notwendigen Zuführprozesse (drei Balken) unterschieden.

Die Beschreibung des erweiterten Feldes Lieferantenintegration beinhaltet die jeweiligen Lieferanten für die zu verbauende Komponente. Dabei wird farblich zwischen Material-, Komponenten-, System- und Modullieferant unterschieden. Für innerhalb des Unternehmens gefertigte Bauteile kann das Feld wahlweise mit dem Fertigungsschritt der Herstellung ausgefüllt werden. So kann zum einen die Anzahl der Lieferanten bestimmt werden und zum auch die Fertigungstiefe visualisiert werden.

Für das zuvor beschriebene Beispiel der Kettensäge ergibt sich für das Vorgänger- und Nachfolgeprodukt folgender Montagevorranggraph (vgl. Bild 5.5). Dabei handelt es sich lediglich um eine vereinfachte Visualisierung, um den gesamten Montageprozess im Vergleich darstellen zu können. Eine detaillierte Darstellung befindet sich im Anhang C.

Die grundsätzlichen Montageprozesse unterscheiden sich nur geringfügig voneinander. Es wird nahezu eine identische Anzahl an Prozessschritten benötigt, wobei sich lediglich die Reihenfolge der zu verbauenden Komponenten maßgeblich unterscheidet. Der Automatisierungsgrad ist bei beiden Produkten gering. Lediglich Schritte für Test- und Prüfverfahren weisen eine geringe Teilautomatisierung auf. Für beide Produkte bildet das Kurbelwellengehäuse mit dem Öltank (KÖ) die Basis der Produktmontage. Im Vorgängerprodukt werden innerhalb von zwei Montagesträngen einmal die Komponenten aufbauend auf dem Kurbelwellengehäuse (KÖ) montiert und parallel der Vergaser (V) mit Anbauteilen und dem Kraftstofftank (KG) zu einer Baugruppe vormontiert. Ein Großteil der Montageschritte sind Standardprozessschritte mit einer hohen Fertigungstiefe. Lediglich der Motor (M), der Vergaser

(V) und der Luftfilter (LF) werden fremdbezogen. Das Fertigungsprinzip der Inselfertigung ermöglicht den Mitarbeitern eine hohe Flexibilität in der Durchführung der Montage. Eine Taktung der einzelnen Schritte erfolgt nicht.

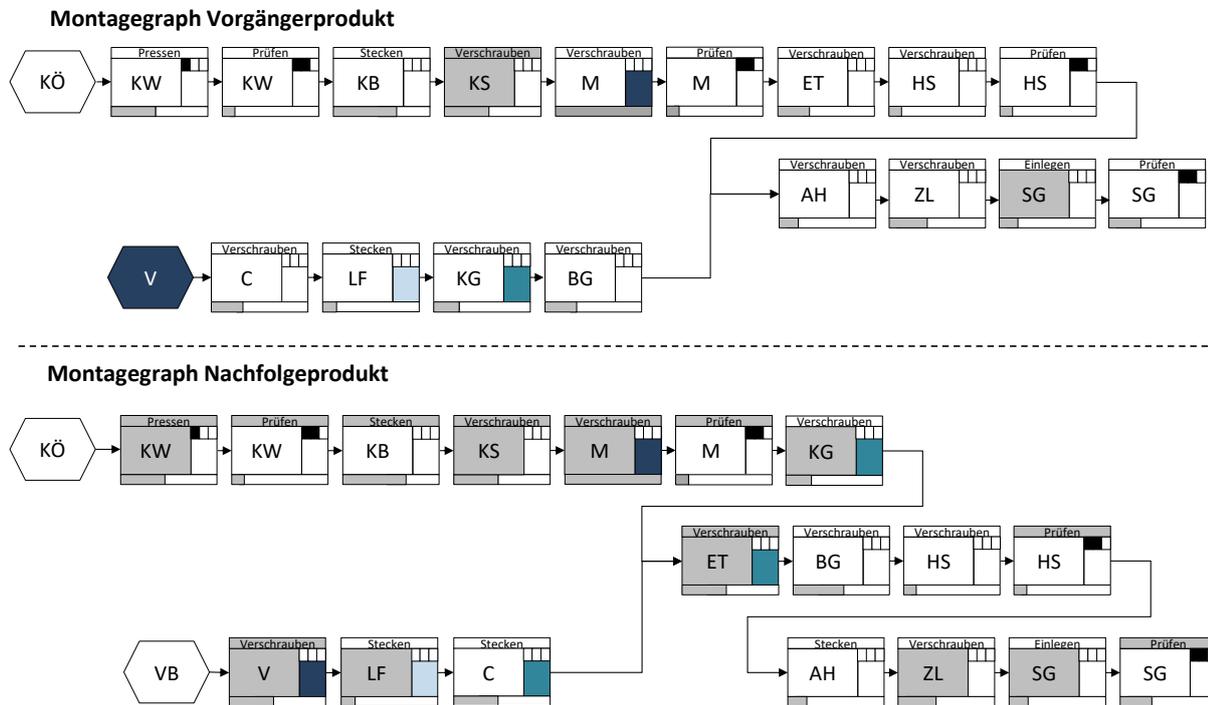


Bild 5.5: vereinfachter Montagegraph Vorgänger-/Nachfolgeprodukt

Aufgrund der Umstellung des Fertigungsprinzips und der Erhöhung der varianten Komponenten erfolgt innerhalb der Montage des Nachfolgeprodukts eine verstärkte sequentielle Montage. Lediglich die Baugruppe bestehend aus Vergaserboden (VB), Vergaser (V), Luftfilter (LF) und Choke (C) kann ebenfalls parallel vormontiert werden. Die Visualisierung des Montageprozesses verdeutlicht, dass ein erhöhter Anteil an fremdbezogenen Komponenten vorhanden ist und die Montageprozesse, bedingt durch zusätzliche variante Komponenten und Schnittstellen, eine erhöhte Varianz aufweisen. Die gewählte Fließfertigung erlaubt eine genaue Taktung der einzelnen Arbeitsschritte und eine Reduzierung der Durchlaufzeiten. Dies führt allerdings auch zu der Notwendigkeit, die fremdbezogenen Komponenten und Module effizient in die Fertigungsplanung miteinzubinden.

Die einfache Visualisierung und der Vergleich der jeweiligen Montageprozesse unterstützen die Bewertung der Prozesskomplexität. Gerade im Hinblick auf den Serienanlauf ermöglicht dieser visuelle Vergleich die Identifizierung entscheidender Änderungen des Montageprozesses im Vergleich zum Vorgängerprodukt.

Innerhalb der Analyse der Einflussfaktoren wurde bereits verdeutlicht, dass ein hoher Anteil von wiederverwendbaren Komponenten bzw. ein hoher Carry-over-Anteil [Wan98], zu einer Reduzierung der Komplexität und somit auch zu einer Reduzierung der Entwicklungsaufwände führt. Unter Carry-over-Komponenten wird die Übernahme von Komponenten über verschiedene Produktgenerationen hinweg verstanden [Ble11], [Eil13a]. Für die Analyse des Neuheitsgrades des Produktes und der Entwicklungsaufwände sind die neu zu konstruierenden Komponenten oder im Umkehrschluss die Carry-over-Komponenten von entscheidender

Bedeutung. Existierende Ansätze fokussieren sich bei der Betrachtung der Carry-over-Komponenten auf eine Identifizierung von möglichen Übernahmekomponenten über die gesamten bestehenden Produktfamilien hinweg mit dem Ziel einer Restrukturierung und Anpassung mit Hilfe verschiedener Modul- und Plattformstrategien [Jon14], [Lin09b], [Eil13b]. Im vorliegenden Ansatz liegt der Fokus der Untersuchung auf dem Vergleich der Carry-over-Komponenten eines spezifischen Vorgänger- und Nachfolgerproduktes. Eine Gegenüberstellung des aktuellen und geplanten Produktes lässt sich auf Basis des vorgestellten Carry-over-Charts (vgl. Abschnitt 3.4) durchführen. Für die Visualisierung werden anstatt der verschiedenen Produktlinien der bestehenden Produkte nach EILMUS, die verschiedenen Produktkomponenten aus den verschiedenen Generationen und deren Übernahmekomponenten visualisiert. Damit konzentriert sich die Darstellung auf den Vergleich zwischen dem unmittelbaren Vorgänger- und Nachfolgeprodukt. Gleichzeitig erfolgt zusätzlich die farbliche Hervorhebung der extern entwickelten Komponenten (blau), um eine Aussage über die Entwicklungstiefe treffen zu können.

In der folgenden Abbildung (vgl. Bild 5.6) sind beispielhaft die Komponenten der aktuellen und geplanten Kettensägeneneration in einem erweiterten Carry-over-Chart dargestellt. Für die Erstellung können zum einen die erstellten Module Interface Graphen (MIGs) der beiden Produkte herangezogen werden und zum anderen aber auch auf die Befragung der verantwortlichen Produktmanager und Entwickler zur Informationsbeschaffung zurückgegriffen werden.

Komponenten	aktuelles Produkt	geplantes Produkt	Summe über beide Generationen
1 Abdeckungshaube (AH)			1
2 Bügelgriff (BG)			1
3 Choke/Ein/Aus Hebel (C)			1
4 Endtopf (ET)			3
5 Handschutz (HS)			1
6 Kettenbremse (KB)			1
7 Kraftstofftank/Griff (KG)			3
8 Kurbelgehäuse/Öltank (KÖ)			1
9 Kettenspanner (KS)			2
10 Kurbelwelle (KW)			3
11 Luftfilter (LF)			2
12 Motor (M)			2
13 Schneidgarnitur (SG)			2
14 Vergaser (V)			3
15 Vergaserboden (VG)			2
16 Zackenleiste (ZL)			2
Summe Produktkomponenten	17	26	30

**Legende**

- / Standard ohne/mit Übernahme
- / Variant ohne/mit Übernahme
- / Optional ohne/ mit Übernahme
- Carry-over
- externe Entwicklung

Bild 5.6: Übernahmekomponenten zwischen Vorgänger und Nachfolgeprodukt

Generell ist ersichtlich, dass die neu einzuführende Produktfamilie aufgrund des hohen Übernahmeanteils an Komponenten nur einen geringen Neuheitsgrad besitzt und somit nur einem geringen Änderungsumfang unterworfen ist. Dies wirkt sich positiv auf die Komplexität im Serienanlauf aus [Pet08]. Auf Basis von bereits standardisierten Komponenten erfolgt lediglich eine Erweiterung um die variante Ausführung einer gesteigerten Motorleistung. Dies beinhaltet aufgrund der neuen Leistungsstufe des Motors (M) zusätzlich den Endtopf (ET), Vergaser (V), Luftfilter (LF) und Vergaserboden (VB).

Ein Großteil der Komponenten kann somit ohne Anpassungsaufwände in die nächste Produktgeneration übernommen werden. Die zusätzlichen varianten Komponenten werden nach Spezifikationsvorgaben durch die entsprechenden Lieferanten weiterentwickelt. Diese Komponenten sollten, gerade im Hinblick auf die Anlaufsteuerung besondere Berücksichtigung erfahren, um für die Null- und Vorserie rechtzeitig zur Verfügung zu stehen und Verzögerungen in der Entwicklung vorzubeugen. Weiterhin kann aufgrund der großen Anzahl der Carry-over-Komponenten von einem geringen Effekt auf den Montageprozess ausgegangen werden. Lediglich die Komponente des Vergaserbodens (VG) wird neu entwickelt.

Die Darstellung im Carry-over-Chart unterstützt vor allem die Abschätzung des Entwicklungsaufwandes durch einfache Visualisierung der Übernahmekomponenten (Pfeile im Bild 5.6). Eine hohe Anzahl an übernommen Komponenten führt zu geringen Aufwänden durch Neuentwicklung und lässt somit auch Rückschlüsse auf geringen Neuheitsgrad des Produktes zu. Durch die transparente Darstellung der Produktkomponenten können anlaufrelevante Komponenten, dazu zählen vor allem fremdentwickelte und neuentwickelte Komponenten, frühzeitig identifiziert werden.

Für die Abschätzung von möglichen Änderungen wird auf die Design Structure Matrix (DSM) zurückgegriffen, da diese sich auf die Vernetzung der Elemente innerhalb komplexer Systeme konzentriert und eine rechnergestützte Auswertung der verschiedenen Abhängigkeiten im Falle einer Änderung ermöglicht [Bro01], [Epp12], [Lin09b]. Die durch die Matrix beschreibbare Vernetzung stellt einen wichtigen Aspekt der Komplexität dar. Eine hohe Vernetzung, gepaart mit einer hohen Anzahl an Elementen im System, führt bei Änderungen während des Serienanlaufs zu hohen Aufwänden. Weiterhin sind der Neuheitsgrad und die Veränderung zum bisherigen Produkt bzw. Prozess wichtige Einflussgrößen für Änderungen während des Serienanlaufs. Neben der Darstellung der Vernetzung innerhalb der Produkte und Prozesse sowie der möglichen Visualisierung des Neuheitsgrades zum Vorgängerprodukt wird die Matrix auch zur Untersuchung der Änderungsauswirkung bei auftretenden Änderungen während der Entwicklungs- und Serienanlaufprozesse genutzt. Mit Hilfe der symmetrischen Darstellung können einfach gegenseitige Abhängigkeiten und Hinweise auf mögliche Iterationen im Falle von Änderungen identifiziert werden. Der bereits angesprochene Aspekt der zeitlichen Veränderlichkeit wurde bereits im Abschnitt 4.1 unter dem Begriff der späten Änderungen diskutiert.

Für die Visualisierung und Analyse der angesprochenen Änderungen wird eine sogenannte Änderungs-DSM eingeführt, die auf der vorgestellten Delta-DSM aus Abschnitt 3.3.2 aufbaut. In der Änderungs-DSM werden nicht nur die veränderten Elemente dargestellt, sondern das gesamte neue Produkt mit der Visualisierung der Änderungen im Vergleich zur Ausgangs-

matrix. Ausgangspunkt ist zunächst die Visualisierung der Produkt- und Prozessstruktur innerhalb der Matrix. Als wesentlicher Input stehen zur Erstellung die bereits vorgestellten Werkzeuge MIG, Montagevorranggraph sowie Carry-over-Chart zur Verfügung. Dazu erfolgt zunächst die Übertragung des bestehenden Produkts/Prozesses in die Matrix (vgl. Bild 5.7 Punkt 1). Besteht eine Beziehung (strukturelle Schnittstelle, Stoff- oder Medienfluss) zwischen den Elementen werden diese zeilenweise innerhalb der DSM abgetragen. Eine gegenseitige Abhängigkeit ergibt sich durch eine symmetrische Darstellung unter- und oberhalb der Diagonale. Eine einseitige Abhängigkeit wird lediglich unter- oder oberhalb abgetragen [Lin09b]. Innerhalb der Änderungs-DSM werden in einem zweiten Schritt alle Änderungen im Vergleich zum aktuellen Produkt/Prozess erfasst und innerhalb der Diagonale der Matrix farblich gekennzeichnet (vgl. Bild 5.7 Punkt 2). Änderungen können beispielsweise neue Schnittstellen, veränderte Informationsflüsse zwischen den Komponenten, Geometrieanpassungen, neue Prozessreihenfolgen, Betriebsmittel oder Anzahl an Komponenten bedeuten. Entfernte Komponenten werden in der neuen Matrix nicht mit aufgeführt. Für die spätere Bewertung stellen die Matrizen den Ausgangspunkt für die Änderungsbewertung dar.

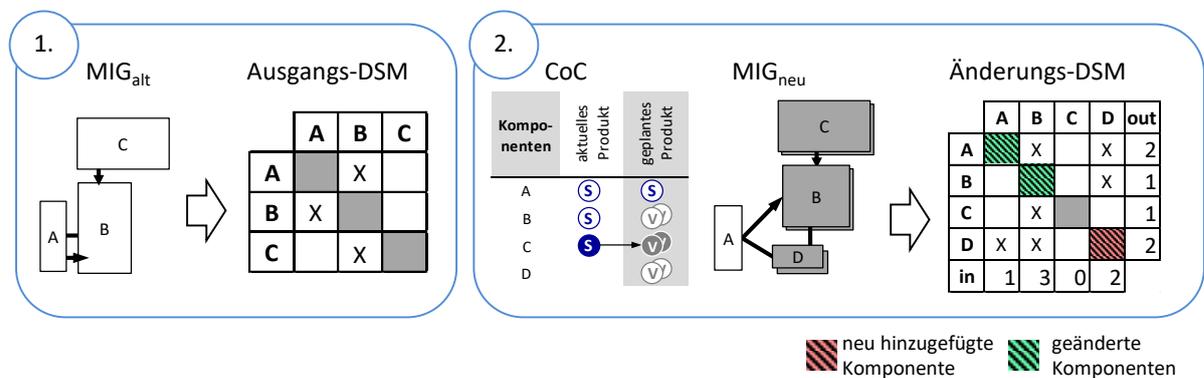


Bild 5.7: Änderungs-DSM auf Basis von MIG und CoC am Beispiel der Produktstruktur

Eine Änderung innerhalb eines Produkts mit zahlreichen Komponenten führt zwangsweise durch die Interaktion mit anderen Komponenten, Systemen und Modulen zu einer Änderungsausbreitung. Dies wiederum verursacht neben den erhöhten Aufwänden zusätzliche Kosten und eine Reduzierung des Reifegrades. Bei einer Ausbreitung der Änderungen im System werden die Komponenten, welche den Änderungsaufwand verstärken, als „Multiplikator“ bezeichnet (vgl. Kapitel 3.3.2). Ausgehende Änderungen sind dabei größer als eingehende Änderungen. Komponenten oder Module, die eine Reduzierung der Änderungsauswirkung mit sich bringen, stellen einen „Puffer“ im Produkt dar und unterstützen somit eine Reduzierung der Komplexität aufgrund der Entkopplung der Änderungsausbreitung.

Grundsätzlich werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit die geänderten und neu hinzugefügten Komponenten im Nachfolgeprodukt als Ausgangspunkt für mögliche Änderungen während des Entwicklungsprozesses betrachtet. Je nach Charakteristik der Komponente (Multiplikator, Puffer, Neutral) können im Falle eines Auftretens von notwendigen Änderungen verschiedene Maßnahmen genutzt werden. Auf die Bewertung basierend auf der DSM wird detaillierter im nachfolgenden Kapitel eingegangen. Grundsätzlich erfolgt zunächst die Identifikation und Klassifikation der Komponenten hinsichtlich ihrer Multiplikator- oder Puffereigenschaften. Diese ergeben sich aus der Vernetzung innerhalb der DSM. Mit Hilfe der

Passiv- und Aktivsummen (vgl. Kapitel 3.3.2) kann anschließend die Kritizität auf Basis der von Suh entwickelten Kennzahlen ermittelt werden [Suh07], [Eck04].

Für das hier genutzte Beispiel ergeben sich aus dem MIG der Kettensäge für das Vorgänger- und Nachfolgeprodukt folgende Matrizen (Bild 5.8). Die Matrizen des Montageprozesses sind im Anhang C dargestellt. Für die anschließende Bewertung sind vor allem die neu eingeführte Komponente des Vergaserbodens (VB) sowie die aufgrund von Schnittstellen- und Geometrieänderungen betroffenen Komponenten (C, KG, KW, M, V) von Bedeutung. Eine mögliche Änderung während des Entwicklungsprozesses am Vergaserboden (VB) würde aufgrund der Kopplung direkte Änderungen beim Choke (C), Kurbelgehäuse (KG) und Vergaser (V) nach sich ziehen. Anhand der Matrix kann festgestellt werden, dass im Produkt hauptsächlich wechselseitige Abhängigkeiten aufgrund von strukturellen Schnittstellen bestehen. Daher ist die Darstellung weitestgehend symmetrisch.

aktuelles Produkt - DSM

	AH	BG	C	ET	HS	KB	KG	KÖ	KS	KW	LF	M	SG	V	ZL	out
AH							X									1
BG						X					X					2
C									X					X		2
ET										X						1
HS						X										1
KB					X		X	X								3
KG	X	X					X	X	X					X		5
KÖ					X	X		X	X	X					X	6
KS							X			X						2
KW						X	X			X	X					4
LF												X				1
M		X	X				X	X								4
SG								X	X							2
V			X				X			X						3
ZL							X									1
in	1	2	1	1	1	2	5	6	2	6	0	5	2	3	1	38

Änderungs - DSM

	AH	BG	C	ET	HS	KB	KG	KÖ	KS	KW	LF	M	SG	V	VB	ZL	out
AH								X									1
BG								X				X					2
C										X				X	X		3
ET											X						1
HS						X											1
KB					X			X	X								3
KG	X	X						X	X	X				X	X		6
KÖ					X	X		X	X	X	X					X	6
KS								X				X					2
KW						X	X					X	X				4
LF															X		1
M		X	X				X	X		X							4
SG								X	X								2
V											X						2
VB			X				X								X	X	3
ZL								X									1
in	1	2	1	1	1	2	5	6	2	6	0	5	2	4	3	1	42

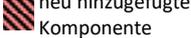
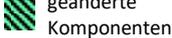
 neu hinzugefügte Komponente
  geänderte Komponenten

Bild 5.8: Beispiel der Ausgangsmatrix und der Änderungsmatrix für das geplante Produkt

Die Visualisierung innerhalb der DSM unterstützt zum einen das Systemverständnis und zeigt zum anderen die Vernetzung innerhalb der Produktstruktur auf. Die Änderungsauswirkungen können mit Hilfe der Matrix rechnergestützt für komplexe Systeme ermittelt werden. Durch die transparente Darstellung der im Vergleich zum Vorgängerprodukt veränderten und neu hinzugefügten Komponenten erfolgt eine einfache Identifikation von potentiellen Änderungen während des Entwicklungsprozesses.

Zusammenfassend erfolgt die Darstellung einer Übersicht der vorgestellten Werkzeuge hinsichtlich der Erfassung und Bewertung der im Modell beschriebenen Indikatoren (vgl. Bild 5.9). Die Bewertung basiert auf dem durch die Erstellung erzielten Produkt- und Prozessverständnisses des Vorgänger- und Nachfolgeprodukts. Im folgenden Abschnitt wird die Bewertung der einzelnen Indikatoren vorgestellt.

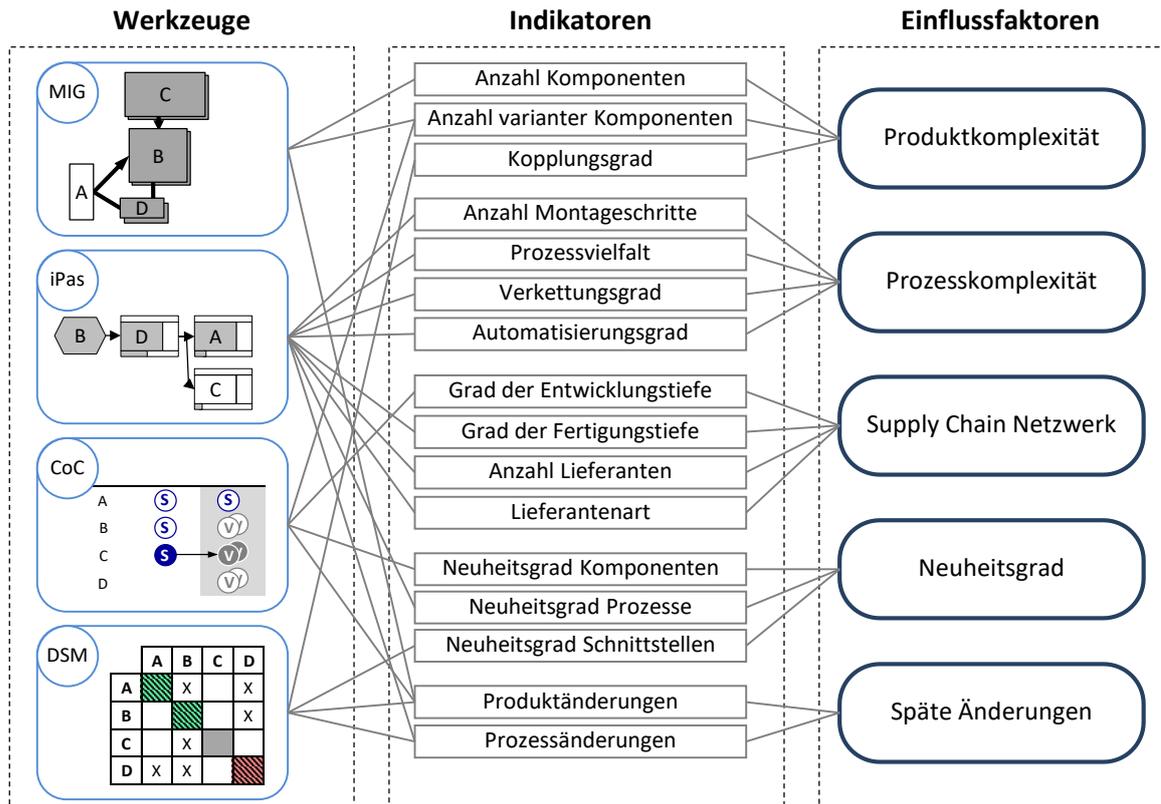


Bild 5.9: Übersicht der zur Bewertung genutzten Werkzeuge

## 5.2.2 Abschätzung der Indikatoren

Die im empirischen Wirkmodell vorgestellten Einflussfaktoren werden durch einfach ermittelbare Indikatoren (vgl. Kapitel 4.2) abgebildet. Die Abschätzung dieser erlaubt es relativ früh im Produktentstehungsprozess Aussagen über mögliche negative Einflüsse hinsichtlich des Produktionshochlaufes zu treffen.

Dazu erfolgt der Einsatz der vorgestellten Werkzeuge (Bild 5.9). Das Verfahren zur Abschätzung basiert auf der Gegenüberstellung von Vorgänger- und Nachfolgerprodukt und versucht keine Rangfolge herzustellen. Eine Übernahme der vorgestellten Kennzahlen (vgl. Abschnitt 3.3.2) ist nur bedingt möglich. Deshalb werden vorwiegend Verhältniskennzahlen neu entwickelt, um die Größe an einer Gesamtmenge zu ermitteln. Eine Normierung der Werte erfolgt mit Hilfe eines Referenzwertes, der dem jeweiligen Wert des Vorgängerproduktes entspricht. Entscheidend für die anschließende Visualisierung ist die Vergleichbarkeit mit Hilfe des Referenzwertes. Dabei ist für die Darstellung entscheidend, ob eine Verbesserung oder eine potentielle Verschlechterung der Indikatoren des Nachfolgeprodukts zu erwarten sind.

### 5.2.2.1 Abschätzung der Produktkomplexität

Für die Abschätzung der Produktkomplexität werden die Indikatoren Komponentenanzahl, -vielfalt und der Kopplungsgrad herangezogen. Die Anzahl der Komponenten kann direkt dem MIG (Anhang C) und dem CoC (Bild 5.6) entnommen werden. Dabei werden alle Komponenten, inklusive der varianten und optionalen Komponenten, der Produktfamilie berücksichtigt. Die Betrachtung der Komponentenvielfalt verdeutlicht den Anstieg der Komponentenanzahl. Die Anzahl an varianten Komponenten im Vorgängerprodukt beträgt lediglich

vier. Hingegen ist die Anzahl der varianten Komponenten aufgrund der Neuausrichtung und Erweiterung des Produkts auf 20 angestiegen. Eine gestiegene Varianz bedeutet zusätzliche Aufwände zum Beispiel in der Lagerhaltung, Auftragsabwicklung, Sachnummernkosten, Änderungsumfänge und erhöhte Lernaufwände im Serienanlauf.

Der Kopplungsgrad wird ähnlich der Verhältniskennzahl MCI von BLEES gebildet (vgl. Kapitel 3.3.2). Für die Ermittlung wird die DSM verwendet (vgl. Bild 5.8). Die Kennzahl berechnet und beschreibt das Verhältnis von vorhandenen Schnittstellen im Produkt und der theoretisch möglichen Anzahl an Schnittstellen. Ein hoher Kopplungsgrad läuft somit gegen 1.

$$\text{Kopplungsgrad} = \frac{\text{Anzahl vorhandener Schnittstellen}}{\text{Theoretisch maximale Anzahl an Schnittstellen}} \quad (5.1)$$

Die Berechnung des Kopplungsgrads nach dieser Formel ergibt für das Vorgängerprodukt einen Wert von 0.18 und für das Nachfolgeprodukt ebenfalls einen Wert von 0.18. Der gleichbleibende Wert ergibt sich aus der Einführung einer zusätzlichen Komponente mit drei neuen Schnittstellen (VB). Diese Komponente kann allerdings auch theoretisch 27 zusätzliche Verbindungen mit den anderen Komponenten eingehen. Daher verändert sich das Verhältnis im Vergleich nicht. Dies verdeutlicht das es keine wesentliche Änderung in der Bauweise des Produktes gibt (integraler oder modularer), sondern sich die Komplexität vor allem aus dem den beiden zuvor genannten Indikatoren ergibt. Zusammenfassend sind die Werte in Tabelle 5.1 dargestellt. Beide Werte von Vorgänger- und Nachfolgeprodukt werden ins Verhältnis gesetzt. Daraus ergibt sich beim Anstieg im Verhältnis ein potentieller Risikoanstieg und im Umkehrschluss ein reduziertes Risiko. Da die Basis der Bewertung die Einflussfaktoren auf die Serienanlaufziele bilden, darf die Bewertung nicht gleich gesetzt werden mit einer technischen Bewertung im Sinne einer Rangfolge. Es sollen in diesem Schritt der Methode potentielle Risikobereiche identifiziert werden.

Tabelle 5.1: Beispielübersicht der Indikatoren der Produktkomplexität

Produktkomplexität	Vorgängerprodukt	Nachfolgeprodukt	△%	pot. Risiko
Anzahl Komponenten	17	26	53%	➔
Anzahl varianter Komponenten	4	20	400%	⬆
Kopplungsgrad	0.18	0.18	0%	➔

### 5.2.2.2 Abschätzung der Prozesskomplexität

Die Betrachtung der Prozesskomplexität beinhaltet die Indikatoren Anzahl Montageschritte, Prozessvielfalt, Verkettungs- und Automatisierungsgrad. Für die Abschätzung wird auf den zuvor vorgestellten Montagevorranggraph (Anhang C) zurückgegriffen. Für die Abschätzung der Prozessvielfalt wird eine Verhältniskennzahl definiert. Unter der Prozessvielfalt wird das Verhältnis der unterschiedlichen Montagetätigkeiten zur Gesamtanzahl aller Montagetätigkeiten verstanden. HALFMANN spricht von kommunalen Prozessschritten [Hal15]. Entscheidend für die Unterscheidung im Montagevorranggraph ist die Art der Montage. Da die Prozesse zunächst erlernt und aufeinander abgestimmt werden müssen, ist bei einer großen Prozessvielfalt mit eventuellen Verzögerungen im Serienanlauf zu rechnen.

$$\text{Prozessvielfalt} = \frac{\sum M_V}{\sum M} \quad (5.2)$$

mit  $\sum M_V$  = Anzahl verschiedener Montageverfahren im Gesamtprozess  
 $\sum M$  = Gesamtanzahl an Montageschritten

Für beide Produkte ergeben sich fünf unterschiedliche Montageverfahren (verschrauben, prüfen, pressen, einlegen, stecken) bezogen auf jeweils 17 und 18 Montageschritte (vgl. Anhang C). Durch den zusätzlichen Montageschritt für das Nachfolgeprodukt sinkt der Wert der Prozessvielfalt im Vergleich zum Vorgängerprodukt leicht.

Die Verkettung der einzelnen Prozesse innerhalb der Produktion lassen sich mit Hilfe der Unterscheidung zwischen dem Anteil an sequentiellen Prozessschritten zur Gesamtanzahl der Prozesse bestimmen. Deshalb wird ebenfalls eine Verhältniskennzahl entwickelt die die Anzahl der sequentiell ablaufenden Prozessschritte ins Verhältnis der Gesamtanzahl der Prozesse setzt. Eine hohe Verkettung tritt bei einer hohen Anzahl an sequentiellen Prozessen auf. Der Wert tendiert gegen 1, wenn die gesamten Prozessschritte sequentiell abgearbeitet werden müssen. Dies stellt ein erhöhtes Risiko dar, da Fehler in der Montage unmittelbare Auswirkungen auf alle folgenden Prozesse haben.

$$\text{Verkettungsgrad} = \frac{\sum M_S}{\sum M} \quad (5.3)$$

mit  $\sum M_S$  = Anzahl der sequentiell ablaufenden Montageschritte  
 $\sum M$  = Gesamtanzahl an Montageschritten

Durch die Veränderung der Reihenfolge ergibt sich für das Nachfolgeprodukt, basierend auf 15 sequentiell ablaufenden Montageschritten, ein leicht erhöhter Verkettungsgrad. Dagegen wurden lediglich 13 sequentielle Prozessschritte in der Montage des Vorgängerprodukts benötigt.

Für die Ermittlung des Automatisierungsgrades stellt das Verhältnis automatischer Prozesse zur Gesamtanzahl der notwendigen Prozesse eine einfache Abschätzung dar. Der Automatisierungsgrad wird, wie die Indikatoren zuvor, auch mit Hilfe einer Verhältniskennzahl entwickelt und beschrieben. Dazu werden die automatisierten Prozessschritte durch die theoretisch maximale Automatisierbarkeit geteilt. Berücksichtigt werden die im Kapitel zuvor eingeführten drei Stufen (keine, teil- und vollautomatisiert) der Automatisierung (vgl. 5.2.1). Auf Basis der drei möglichen Ausprägungen der Prozessautomatisierung multipliziert mit der Gesamtanzahl der Prozessschritte ergibt sich die theoretisch maximale Automatisierbarkeit.

$$\text{Automatisierungsgrad} = \frac{\sum M_A}{3 \cdot \sum M} \quad (5.4)$$

mit  $\sum M_A$  = Summe der automatisierten Montageschritte (Wert je Ausprägung 1 bis 3)  
 $\sum M$  = Gesamtanzahl an Montageschritten

Die Aufsummierung der Prozessschritte mit ihrer jeweiligen Automatisierungsausprägung (Wert 1 – Teilautomatisierung, Wert 3 – Vollautomatisierung) ergibt bei 5 Prozessschritten einen Wert von 9. Die theoretische maximale Automatisierbarkeit für das Vorgängerprodukt

beträgt 51 und 54 für das Nachfolgeprodukt. Bei beiden Montageprozessen liegt eine geringe Prozessautomatisierung vor. Lediglich die Prüfprozesse sind stärker automatisiert. Zusammenfassend kann anhand der folgenden Tabelle geschlussfolgert werden, dass sich keine größeren Risikopotentiale aus der Prozesskomplexität ergeben, da sich beide Produkte in der Montage stark ähneln.

Tabelle 5.2: Beispielübersicht der Indikatoren der Prozesskomplexität

Prozesskomplexität	Vorgängerprodukt	Nachfolgeprodukt	$\Delta\%$	pot. Risiko
Anzahl Montageschritte	17	18	6%	➡
Prozessvielfalt	0.29	0.28	-3%	➡
Verkettungsgrad	0.76	0.83	9%	➡
Automatisierungsgrad	0.18	0.17	-6%	➡

### 5.2.2.3 Abschätzung des Supply Chain Netzwerkes

Die Abschätzung der Supply Chain Effekte hinsichtlich der Serienanlaufs erfolgt auf Basis der vier vorgestellten Indikatoren Grad der externen Entwicklungstiefe, Grad der externen Fertigungstiefe, Lieferantenzahl und -art. Für die Abschätzung des Grads der Entwicklungstiefe wird eine Verhältniskennzahl entwickelt. Das Verhältnis von extern entwickelten Komponenten zur Gesamtanzahl an Komponenten bildet den Grad der Entwicklungstiefe ab und kann dem CoC entnommen werden. Bei einer hohen Anzahl an extern entwickelten Komponenten läuft der Wert gegen 1.

$$\text{Grad der ext. Entwicklungstiefe} = \frac{\sum N_E}{\sum N} \quad (5.5)$$

mit  $\sum N_E$  = Summe der extern entwickelten Komponenten  
 $\sum N$  = Gesamtanzahl an Komponenten

Für das Vorgängerprodukt wurden lediglich drei Komponenten extern entwickelt. Bei einer Gesamtanzahl von 17 Komponenten ergibt dies einen Wert von 0.18. Für das Nachfolgeprodukt werden dieselben Komponenten und zusätzlich je eine neue Variante extern entwickelt. Bezogen auf die Gesamtanzahl ergibt sich dadurch ein gesteigerter Wert von 0.23.

Identisch zum Grad der Entwicklungstiefe wird die Verhältniskennzahl für den Grad der Fertigungstiefe entwickelt. Dazu wird das Verhältnis aus den Fertigungsschritten der zugelieferten Komponenten und der Gesamtanzahl an Fertigungsschritten mit Hilfe des Montagevorranggraph ermittelt.

$$\text{Grad der ext. Fertigungstiefe} = \frac{\sum M_E}{\sum M} \quad (5.6)$$

mit  $\sum M_E$  = Summe der Montageschritte mit extern bezogenen Komponenten  
 $\sum M$  = Gesamtanzahl an Montageschritten

Die Anzahl der Lieferanten kann ebenfalls direkt dem Montagevorranggraph entnommen werden. Das Vorgängerprodukt wurde mit Hilfe von vier zugelieferten Komponenten von vier verschiedenen Lieferanten gefertigt. Für das Nachfolgeprodukt werden fünf Lieferanten insgesamt sechs Komponenten zuliefern.

Die Betrachtung der Lieferantentypen erfolgt nach der Kategorisierung Material-, Komponenten- und Modullieferant. Je mehr Modullieferanten unter den eingebundenen Lieferanten sind, desto größer wird die Entwicklungs- und Fertigungskompetenz der Lieferanten eingeschätzt. Dadurch kann zum einen kompetent auf Änderungen reagiert werden (Problemlösungskompetenz) und zum anderen ist in der Anlaufphase der Koordinationsaufwand geringer als bei einer großen Anzahl von Materiallieferanten. Ein weiterer positiver Effekt stellt die frühzeitige Integration des Modul- und Systemlieferanten in das Entwicklungsprojekt dar. Für den Vergleich zwischen Vorgänger- und Nachfolgeprodukt werden die unterschiedlichen Lieferantentypen mit den entsprechenden Punktwerten aufsummiert und durch die theoretisch maximale Punktzahl geteilt. Modullieferanten erhalten den Wert 1, Komponententypen den Wert 2 und Materiallieferanten erhalten den maximalen Wert 3. Ein hoher Wert signalisiert eine aufwendigere Koordination im Serienanlauf, da überwiegend Materiallieferanten integriert werden müssen.

$$\text{Lieferantentyp} = \frac{\sum_{i=1}^n L_j}{3 \cdot n_L} \quad (5.7)$$

mit  $L_j$  = Lieferantenausprägung mit dem Punktwert je Lieferant  
 $n_L$  = Anzahl an Lieferanten

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich mögliche Risiken vor allem aus der Entwicklungs- und Fertigungstiefe ergeben. Die vermehrte Integration Modul- und Komponententypen führt zu einem positiven Effekt bei der Lieferantentypen.

Tabelle 5.3: Beispielübersicht der Indikatoren der Supply Chain

Supply Chain	Vorgängerprodukt	Nachfolgeprodukt	$\Delta\%$	pot. Risiko
Grad der ext. Entwicklungstiefe	0.18	0.23	28%	↗
Grad der ext. Fertigungstiefe	0.24	0.33	42%	↑
Anzahl Lieferanten	4	5	25%	↗
Lieferantentyp	0.58	0.53	-9%	→

#### 5.2.2.4 Abschätzung des Neuheitsgrads

Für Bestimmung des Neuheitsgrads wird auf die entsprechenden Indikatoren der Komponenten, Prozesse und Schnittstellen zurückgegriffen. Im Fall des Neuheitsgrades wird eine Verhältniskennzahl entwickelt, die die Differenz zwischen Vorgänger- und Nachfolgeprodukt direkt ausdrückt. Je ähnlicher sich die Produkte sind, desto geringer ist der Neuheitsgrad. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass der Anteil der Carry-over-Komponenten sehr hoch ist. Für die Ermittlung wird die Anzahl an Gleichteile (CoC) ermittelt und durch die Gesamtanzahl an Komponenten des Nachfolgeprodukts geteilt.

$$\text{Neuheitsgrad der Komponenten} = 1 - \frac{\sum C_K}{\sum N} \quad (5.8)$$

mit  $\sum C_K$  = Gesamtanzahl Carry-over-Komponenten vom Vorgängerprodukt  
 $\sum N$  = Gesamtanzahl an Komponenten im Nachfolgeprodukt

Für das vorliegende Beispiel ergeben sich aus dem CoC zwölf Carry-over-Komponenten. Das bedeutet, dass 54% der Komponenten im Nachfolgeprodukt Entwicklungsaufwände durch Neukonstruktion oder Anpassungskonstruktion verursachen.

Identisch wird bei der Betrachtung des Neuheitsgrads der Prozesse vorgegangen. Zunächst erfolgt die Betrachtung der Übernahmeprozesse mit Hilfe des Montagevorranggraphen. Dabei wird sowohl auf die Verwendung identischer Betriebsmittel und Montagetätigkeiten, als auch auf die Reihenfolge geachtet.

$$\text{Neuheitsgrad der Prozesse} = 1 - \frac{\sum C_P}{\sum M} \quad (5.9)$$

mit  $\sum C_P$  = Gesamtanzahl der Carry-over-Prozesse vom Vorgängerprodukt  
 $\sum M$  = Gesamtanzahl an Montageschritten des Nachfolgeprodukts

Bei der Prozessbetrachtung können 14 identische Montageschritte identifiziert werden. Daraus ergeben sich vier umgestaltete Prozessschritte, die sich zum einen durch die Einführung einer neuen Komponente (VB) und zum anderen durch eine veränderte Montageposition erklären. Dies entspricht einem Neuheitsgrad von 22% gegenüber den ursprünglichen Prozessen.

Für die Schnittstellenbetrachtung wird die Änderungs-DSM herangezogen. Innerhalb der DSM sind bereits alle Änderungen der Schnittstellen farblich gekennzeichnet. Neben zusätzlichen Schnittstellen für neue Komponenten werden auch bestehende Schnittstellen angepasst. Die Summe der unveränderten Schnittstellen wird ins Verhältnis zu der Gesamtanzahl der Schnittstellen im Nachfolgeprodukt gesetzt, daraus ergibt sich wie folgt die entwickelte Kennzahl Neuheitsgrad der Schnittstellen.

$$\text{Neuheitsgrad der Schnittstellen} = 1 - \frac{\sum C_S}{\sum S} \quad (5.10)$$

mit  $\sum C_S$  = Summe der unveränderten Schnittstellen vom Vorgängerprodukt  
 $\sum S$  = Gesamtanzahl an Schnittstellen im Nachfolgeprodukt

Nahezu alle Schnittstellen können unverändert in das Nachfolgeprodukt übernommen werden. Insgesamt werden lediglich 9 Schnittstellen angepasst oder neu geschaffen. Zusammenfassend ist die Einschätzung in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 5.4: Beispielübersicht der Indikatoren Neuheitsgrad

Neuheitsgrad	Vorgängerprodukt	Nachfolgeprodukt	$\Delta\%$	pot. Risiko
Neuheitsgrad Komponenten	/	0.54	54%	↑
Neuheitsgrad Prozesse	/	0.22	22%	↗
Neuheitsgrad Schnittstellen	/	0.21	21%	↗

### 5.2.2.5 Abschätzung von späten Änderungen

Für die Entwicklung einer neuen Kennzahl zur Abschätzung von späten Änderungen wird auf die in Kapitel 4.2 identifizierten Bestandteile zurückgegriffen. Anders als die zuvor entwickelten Kennzahlen im Abschnitt handelt es sich nicht um eine Verhältniskennzahl sondern setzt sich aus Auftrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung zusammen. Für die Abschätzung von

potentiellen späten Änderungen wird die Auftrittswahrscheinlichkeit mit den potentiellen Auswirkungen multipliziert. Die Auftrittswahrscheinlichkeit korreliert mit dem Neuheitsgrad und für die Auswirkungen ist die Komplexität maßgebend. Entscheidend bei der Komplexität ist der Kopplungsgrad. Dieser bestimmt maßgeblich die Änderungsfortpflanzung und somit die Auswirkungen (vgl. Kapitel 5.2.1). Je höher der Kopplungsgrad ist, desto wahrscheinlicher wirken sich Änderungen auch stärker auf benachbarte Komponenten aus.

Für die Auftrittswahrscheinlichkeit wird der Mittelwert der Neuheitsgrade von Produkt und Schnittstelle ermittelt. Diese können bereits den zuvor ermittelten Indikatoren entnommen werden. Bei den Auswirkungen wird der Wert durch den Kopplungsgrad und der Art der Vernetzung ermittelt. Die Komponenten lassen sich mit Hilfe der DSM in die Kategorien Multiplikator, Puffer und Neutral einordnen und geben so Aufschluss über ihr Verhalten im Falle von notwendigen Änderungen. Multiplikatoren führen bei Änderungen zu einer Verstärkung der Änderungsaufwände. Für die Abschätzung wird anschließend das Verhältnis von Komponenten der Kategorie Multiplikator zur Gesamtanzahl an Komponenten berechnet und mit dem Kopplungsgrad gemittelt.

$$\text{Produktänderungen} = \frac{N_S + N_K}{2} \cdot \frac{K_{Nach} + C_{multi}}{2} \quad (5.11)$$

mit  $N_S$  = Neuheitsgrad der Schnittstellen  
 $N_K$  = Neuheitsgrad der Komponenten  
 $K_{Nach}$  = Kopplungsgrad des Nachfolgeprodukts  
 $C_{multi}$  = Verhältnis Multiplikatoren zu Gesamtanzahl an Komponenten

Die Berechnung der potentiellen Änderungen ergibt sich aus den vier zuvor genannten Faktoren. Für die Berechnung wird der Mittelwert des Neuheitsgrads der Schnittstellen (0.24) und des Produkts (0.54) berechnet und mit dem Mittelwert aus Kopplungsgrad (0.18) und dem Verhältnis von Multiplikatoren (0.31) multipliziert. Der Anteil an Multiplikator-Komponenten in der Produktstruktur kann der in Anhang C dargestellten Änderungs-DSM entnommen werden (5 von 16 Komponenten). Das Ergebnis ist eine geringe Ausprägung von 0.1. Damit besteht lediglich eine geringe Wahrscheinlichkeit an einer signifikanten Auswirkung durch späte Änderungen auf die Serienanlauffähigkeit aus Sicht des Produkts.

Für die prozesseitige Betrachtung wird identisch vorgegangen. Allerdings werden die Informationen dem Montagevorranggraph entnommen. Die Auswirkungen, wie auch die Kopplung im Produkt, werden mit Hilfe des Verkettungsgrads abgebildet. Eine aufgrund einer stark parallelisierten Montage geringe Verkettung würde lediglich zu geringen Auswirkungen bei späten Änderungen führen. Änderungen innerhalb einer sequentiellen Montage hätten Auswirkungen auf alle Folgeprozesse. Zusätzlich wird auf der Seite der Auswirkungen das Verhältnis an Lieferanten auf dem kritischen Pfad berücksichtigt, da die Einbindung der Lieferanten die Auswirkungen von Änderungen verstärken können. Für die Bewertung wird der Anteil an Lieferantenprozessen im Verhältnis zu den Prozessschritten auf dem kritischen Pfad ermittelt. Je mehr Lieferanten innerhalb des kritischen Pfads eingebunden sind, desto größer sind die Aufwände und Auswirkungen späte Änderungen umzusetzen. Der kritische Pfad kann mit Hilfe der im Montagevorranggraph hinterlegten Zeiten identifiziert werden.

Für die Berechnung ergibt sich somit folgende Kennzahl bestehend aus den vier genannten Faktoren.

$$\text{Prozessänderungen} = \frac{N_S + N_P}{2} \cdot \frac{V_{Nach} + L_{krit}}{2} \tag{5.12}$$

- mit  $N_S$  = Neuheitsgrad der Schnittstellen
- $N_P$  = Neuheitsgrad der Prozesse
- $V_{Nach}$  = Verkettungsgrad der Prozesse vom Nachfolgeprodukt
- $L_{krit}$  = Verhältnis der Lieferantenprozesse zur Gesamtanzahl der Prozesse auf dem kritischen Pfad

Für die Berechnung können der Verkettungsgrad (0.83), der Neuheitsgrad der Schnittstellen (0.24) und der Neuheitsgrad der Prozesse (0.22) den zuvor ermittelten Indikatoren entnommen werden. Innerhalb des kritischen Prozesspfads, bestehend aus 15 sequentiellen Prozessschritten, befinden sich drei Prozessschritte, die eine Einbindung von Lieferanten erfordern. Zusammenfassend sind in folgender Tabelle die Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 5.5: Beispielübersicht der Indikatoren Änderungen

späte Änderungen	Vorgängerprodukt	Nachfolgeprodukt	△%	pot. Risiko
Produktänderungen	/	0.1	10%	➡
Prozessänderungen	/	0.12	12%	➡

### 5.2.3 Visualisierung Risikobereiche

Die Berechnung der einzelnen Indikatoren mit Hilfe der beschriebenen Kennzahlen ist im Anhang C dargestellt. Für die Visualisierung der Ergebnisse wird als Darstellungsform das Netzdiagramm gewählt (vgl. Bild 5.10).

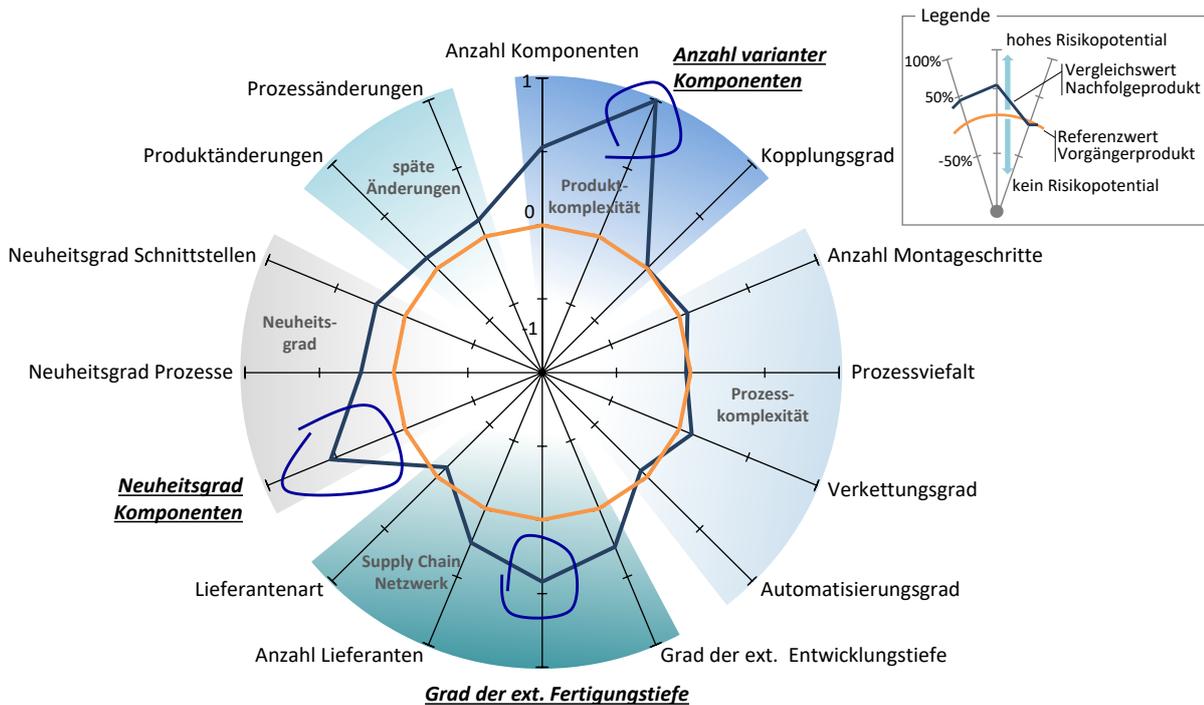


Bild 5.10: Visualisierung der Indikatoren im Vergleich zum Vorgängerprodukt

Dieses ermöglicht eine gute Vergleichbarkeit der einzelnen Faktoren und zeigt visuell durch hohe Ausschläge kritische Bereiche auf. Der Normierung der Werte liegt jeweils der Referenzwert des Vorgängerproduktes zu Grunde. Die Skala ist so gewählt, dass sowohl eine Verbesserung (bis -1, unterhalb des Referenzwertes), als auch eine Verschlechterung (bis 1, oberhalb des Referenzwertes) dargestellt werden können. Je weiter außen die Werte auf der Achse liegen, desto größer ist die prozentuale Veränderung zum Vorgängerprodukt und desto kritischer kann der Faktor für den Serienanlauf betrachtet werden. Die Punktwerte auf den Achsen entsprechen den zuvor ausgewiesenen prozentualen Veränderungen zum Vorgängerprodukt. Weiterhin werden die einzelnen Bereiche der Einflussfaktoren farblich zusammengefasst.

Das in Bild 5.10 dargestellte Vergleichsprofil für das Beispielprodukt zeigt die verschiedenen Indikatoren im Vergleich zum Vorgängerprodukt. Für die weitere Betrachtung können die drei Einflussfaktoren Produktkomplexität, Neuheitsgrad und Supply Chain Netzwerk identifiziert werden, im Speziellen handelt es sich um die Indikatoren Anzahl der varianten Komponenten, Neuheitsgrad der Komponenten und der Grad der externen Fertigungstiefe. Die Höhe der Werte der einzelnen Indikatoren wird bei 100 Prozent über dem Referenzwert abgeschnitten, um eine möglichst zu starke Verzerrung der Vergleichswerte zu vermeiden. Die Werte ermöglichen eine erste Abschätzung im Vergleich zum Vorgängerprodukt. Die Berechnung und Bewertung ist mit Hilfe der aufgezeigten Werkzeuge bereits in frühen Entwicklungsphasen möglich. Für eine langfristige Nutzung im Rahmen des Wissenstransfers verschiedener Serienanläufe ist es ratsam, in der Retrospektive aufgetretene Störungen mit den identifizierten kritischen Indikatoren abzugleichen. So kann ein Risikoprofil entwickelt werden, das innerhalb des Diagramms Eingriffsgrenzen oberhalb des Referenzwertes definiert und damit die Identifizierung kritischer Bereiche erleichtert.

### 5.3 Risikoanalyse und Maßnahmenselktion

Für die weitere Betrachtung werden die identifizierten Bereiche im folgenden Abschnitt innerhalb der Risikoanalyse eingehender untersucht, um anschließend gezielte Maßnahmen ableiten zu können. Die Vorgehensweise ist angelehnt an die klassischen Risikomanagement-Schritte Identifikation, Bewertung und Maßnahmenselktion. Allerdings ist es das Ziel, bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung Aussagen über potentielle Anlauftrisiken treffen zu können. Dies führt zu der Notwendigkeit, im Gegensatz zu bereits bestehenden Ansätzen (vgl. Abschnitt 3.2.3), innerhalb der Bewertung potentieller Risiken im Serienanlauf die Berücksichtigung von Unsicherheiten zu ermöglichen. Die Auswahl der Handlungsmaßnahmen wird mit Hilfe der Verknüpfung zum bereits beschriebenen unternehmensspezifischen Wirkmodell auch deren Einfluss auf die Zielkriterien berücksichtigt. So kann durch die unternehmensspezifische Anpassung des Wirkmodells eine individuelle Festlegung einer Maßnahmenstrategie sichergestellt werden.

#### 5.3.1 Risikoidentifikation in den relevanten Bereichen

Die Risikoidentifikation folgt der etablierten Vorgehensweise des Risikomanagements (vgl. 3.2.2). Aufbauend auf den identifizierten Risikobereichen aus dem vorherigen Abschnitt, wird im Folgenden eine Identifikation potentieller Risiken, die durch die relevanten Indikato-

ren verursacht werden könnten, durchgeführt. Die Identifikation gestaltet sich besonders zu Beginn im Rahmen von Entwicklungsprojekten teilweise schwierig, da zum einen die Informationen nicht vorhanden sind und zum anderen für komplexe Anlaufprojekte zahlreiche Abteilungen und Lieferanten involviert werden.

Ziel der Risikoidentifikation ist es, die Grundlage für eine Risikobewertung zu schaffen. Dazu zählen vor allem die Sammlung und Filterung von potentiellen Risiken und deren mögliche Ursachen. Durch die Vorselektion der relevanten Risikobereiche im Abschnitt zuvor ist es möglich, sich auf die wesentlichen Gefahrenquellen zu konzentrieren. Dazu können unterschiedliche Instrumente und Werkzeuge herangezogen werden [Wei08], [Sch02b], [Dah02]. Ein weit verbreitetes Instrument stellt das Ursache-Wirkungs-Diagramm, auch bekannt als Ishikawa-Diagramm, dar. Weitere häufig eingesetzte Methoden sind in Bild 5.11 dargestellt.

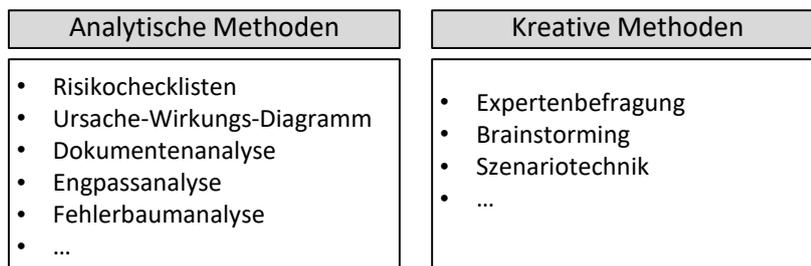


Bild 5.11: Exemplarische Auswahl von Methoden zur Risikoidentifikation

Aufgrund der individuellen Risiken, mit denen sich die Unternehmen mit jedem Serienanlauf konfrontiert sehen, ist es zwingend erforderlich, die möglichen Risiken aus der entsprechenden Unternehmensperspektive zu betrachten. Dies setzt unter anderem die Berücksichtigung von bereits bekannten Risiken aus dem vergangenen Serienanlauf voraus und die Nutzung der individuellen Erfahrungen der Mitarbeiter für potentielle neue Risiken. Im Flugzeugbau stellen die langen Lebenszyklen und Neuentwicklungen wie z.B. A380 besondere Herausforderungen bei der Nutzung von Erfahrungswissen dar. Daher wird für die Risikoidentifikation und für die anschließende Bewertung ein Risikomanagement-Workshop durchgeführt. Ein Workshop bietet den Vorteil, das Themengebiet von unterschiedlichen Seiten differenziert zu betrachten, da alle beteiligten Stakeholder des Serienanlaufprojektes mit eingebunden werden können. Weiterhin können die möglichen Ursachen und die Priorisierung in der Gruppe diskutiert werden. Bei den Workshop-Teilnehmern sollte es sich um Vertreter der Bereiche Entwicklung, Produktion, Logistik, Einkauf und Vertrieb handeln. Aber auch das Einbinden von entsprechenden Mitarbeitern aus den vergangenen Serienanläufen, zur Identifikation bereits bekannter Risiken, wird empfohlen. Als ideale Teilnehmergröße haben sich fünf bis zehn Personen bewährt.

Innerhalb des Workshops werden zunächst mit Unterstützung entsprechender Methoden verschiedene Risiken gesammelt und anschließend hinsichtlich ihrer Ursachen systematisiert (vgl. Bild 5.12). Dabei wird eine Kombination aus analytischen und kreativen Methoden verwendet. Der Expertenansatz im Workshop stellt sicher, dass entsprechende Anlaufexpertise für die potentiellen Risiken vorhanden ist. Die Strukturierung in Anlehnung an das Ursache-Wirkungs-Diagramm ermöglicht eine transparente Darstellung der identifizierten Risiken innerhalb verschiedener Risikokategorien, die später entsprechenden Handlungsmaßnahmen zugeordnet werden können. Eine grundlegende Kategorisierung ist bereits durch den

entsprechenden Einflussfaktor und im Speziellen durch die Indikatoren gegeben. Für eine sinnvolle Bewertung und Maßnahmenselktion sollte darauf geachtet werden, dass es sich um eine überschaubare Anzahl und klar differenzierbare Risiken handelt. Dazu werden ähnliche Risiken oder Doppelnennungen im Rahmen der Gruppendiskussion zusammengefasst. Ausgehend von den Einflussfaktoren aus dem Wirkmodell, die sich auf das Zielsystem beziehen, werden entsprechende Risikoausprägungen in den jeweiligen Risikokategorien identifiziert.

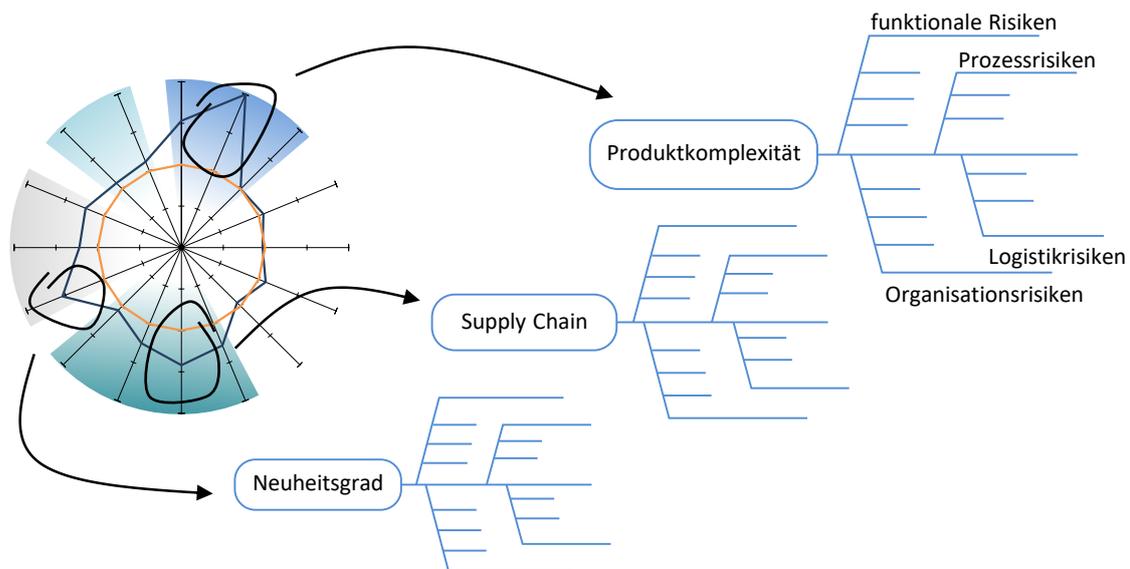


Bild 5.12: Identifizierung von potentiellen Risiken auf Basis der Einflussfaktoren

Die Identifizierung erfolgt nach dem Top-Down-Prinzip. Ausgehend von den entsprechenden Indikatoren werden mit Hilfe von Experten im Workshop die möglichen Risiken und deren Ursachen in die Bereiche funktionales Risiko, Logistkrisiko, Prozessrisiko und Organisationsrisiko unterschieden. Die Kategorisierung findet Anwendung für alle Einflussfaktoren und basiert auf der Maßnahmenkategorisierung. Das funktionale Risiko beschreibt Risiken, die beispielsweise durch den Einsatz neuer Technologien oder Materialien mit dem Produkt verbunden sind. In der Kategorie Logistkrisiko werden zum einen Beschaffungsrisiken und zum anderen interne Bereitstellungsrisiken zusammengefasst. Die Kategorie Prozessrisiko beinhaltet alle mit dem Produktionsprozess verbundenen Risiken. Unter dem Organisationsrisiko werden Personal-, Ressourcenrisiken und mögliche Kooperationsrisiken im Anlauf zusammengefasst.

Für das vorliegende Beispiel der Kettensäge könnten sich folgende potentielle Risiken aus einem Workshop ergeben (vgl. Bild 5.13). Diese werden auf Basis des identifizierten Indikators Anzahl varianter Komponenten beispielhaft vorgestellt. Im Bereich der funktionellen Risiken steht bei der Erweiterung des Produkts hinsichtlich zusätzlicher Varianten vor allem die Adaption bestehender Schnittstellen im Vordergrund. Eine Erweiterung des Funktionsumfangs oder gestiegene Anforderungen an bestehende Schnittstellen können zu erheblichen Mehraufwand in der Entwicklung führen und beeinflussen unmittelbar die Montage des Produktes. Bei Auftreten von Problemen in der Produkterprobung kann dies darüber hinaus aufgrund der Vielzahl an Komponenten Mehraufwände in der Umsetzung von Produktänderungen bedeuten. Im Bereich der Prozessrisiken schlägt sich die Komponentenviel-

falt durch potentielle neue Prozesse nieder. Es werden unter Umständen neue Betriebsmittel für die Montage benötigt. Dies führt zu erhöhten Lernaufwänden innerhalb des Serienanlaufs, da der Umgang und Einsatz sowie die Integration erst erprobt werden müssen. Durch die veränderte Prozessreihenfolge wird im vorliegenden Beispiel zusätzlich der Variantenentstehungspunkt nach vorne verlagert. Dies hat gerade im Serienanlauf einen wesentlichen Einfluss auf die Lernkurveneffekte, da die Wiederholhäufigkeit der Prozesse sinkt. Die zusätzlich zu verbauenden Komponenten erfordern weiterhin aus Sicht der Beschaffung einen hohen Koordinationsaufwand im Rahmen der Produktionssteuerung. Die gestiegene Anzahl an Lieferanten kann zu erheblichen Verzögerungen durch beispielsweise fehlende Erfahrung in der Entwicklung, durch Fehlteile oder zu späte Lieferungen verursachen.

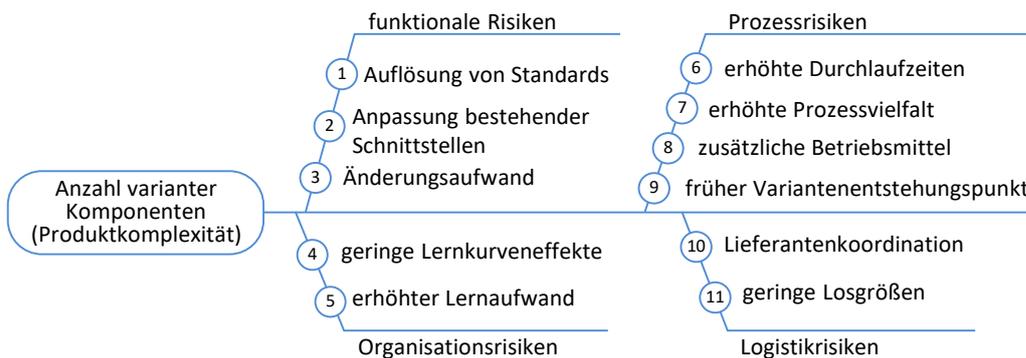


Bild 5.13: Risikoidentifikation am Beispiel der Komponentenvielfalt

Im Anschluss der Identifikation potentieller Risiken und deren Ursachen, die sich aus den verschiedenen Indikatoren ergeben, erfolgt die Bewertung und Abschätzung der Relevanz der Risiken auf den Serienanlauf. Diese Bewertung erfolgt ebenfalls innerhalb eines Experten-Workshops.

### 5.3.2 Risikobewertung und –visualisierung unter Unsicherheiten

Für die Bewertung der identifizierten Risiken wird im folgenden Abschnitt eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit und Auswirkung der potentiellen Risiken auf die Serienanlauffähigkeit getroffen. Eine Bewertung der Risiken für den geplanten Serienanlauf ist durch den hohen zeitlichen Vorlauf aufgrund fehlender Informationen immer mit Unsicherheiten verbunden. Im Laufe des Entwicklungsprozesses können diese Unsicherheiten durch zahlreiche Tests und Prototypen reduziert werden. Die Untersuchung klassischer Risikomanagementmethoden (vgl. Kapitel 3.2) zeigt, dass eine Bewertung unter Unsicherheiten nicht ausreichend unterstützt wird. Die Ermittlung von Risiken erfolgt in der Regel auf Basis von prozentualen Werten. Diese setzen allerdings konkrete Kenntnisse und vorhandene Wahrscheinlichkeitsverteilungen in den entsprechenden Bereichen voraus. Im Rahmen des Zusammenspiels vielfältiger Disziplinen während des Serienanlaufs ist es erforderlich, fehlende Informationen durch die Unterstützung mehrerer Experten aus verschiedenen Bereichen zu nutzen. Nur so kann sichergestellt werden, dass trotz eines hohen Neuheitsgrades und wenig vergleichbaren Informationen eine umfassende Risikobetrachtung aus verschiedenen Perspektiven gewährleistet wird. Eine Bewertungsmethode für die klassischen Risikoausprägungen (Wahrscheinlichkeit und Auswirkung) soll im Rahmen einer frühen Abschätzung um die Betrachtungsebene der Unsicherheit erweitert werden. Dazu wird für jede zu bewertende Risiko-

gruppe aus den Expertenabschätzungen drei Szenarien abgeleitet. Im folgenden Abschnitt wird wie folgt vorgegangen.

- Zunächst erfolgt eine **Einzelabschätzung der Experten**, die mit Hilfe mehrerer Punkte zum einen den wahrscheinlichsten Wert und zum anderen den dazugehörigen Unsicherheitsbereich beschreiben.
- Anschließend wird eine **Monte-Carlo-Simulation** durchgeführt, um innerhalb der beschriebenen Grenzen durch die Expertenabschätzung eine repräsentative Stichprobe aller möglichen Risiken zu generieren.
- Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse mit Hilfe statistischer Auswertungen in drei **Risikoszenarien** überführt und visualisiert.

### 5.3.2.1 Einzelbewertung der Risiken durch Experten

In der folgenden Abbildung ist die Systematik der Einzelabschätzung dargestellt. Die Bewertung erfolgt durch jeden Experten individuell, um so dem Phänomen des sogenannten „Riskshift“ (Gruppen entscheiden risikofreudiger) und der „Meinungsdominanz“ einzelner Gruppenmitglieder vorzubeugen. Die zuvor identifizierten Risikogruppen und Einzelrisiken werden auf einer Skala von eins bis zehn abgeschätzt. Die Wahrscheinlichkeit des jeweiligen Einzelrisikos beschreibt, wie wahrscheinlich ein negativer Einfluss auf die Zielerreichung der Serienanlaufziele auftritt. Die Auswirkung spiegelt die Tragweite beim Eintreten des Risikos wieder und bildet somit die qualitative Größe der Abweichung von den jeweiligen Zielen im Serienanlauf. Für eine Expertenabschätzung könnte sich folgende Einzelabschätzung am Beispiel der Anzahl varianter Komponenten ergeben (vgl. Bild 5.14).

Gesamtbewertung		Wahrscheinlichkeit		Auswirkung			
Anzahl varianter Komponenten (Produktkomplexität)	1 Auflösung von Standards	1	(2 3 4 <del>5</del> 6 7 8)	9	10		
	2 Anpassung von Schnittstellen	1	2 3 4 5 (6 <del>7</del> 8)	9	10		
	3 Änderungsaufwand	1	2 (3 4 <del>5</del> 6)	7	8 9 10		
	4 geringe Lernkurveneffekte	(1 2 3 <del>4</del> 5 6)	7	8 9 10	1	(2 <del>3</del> 4 5) 6 7 8 9 10	
	5 erhöhter Lernaufwand	1	(2 <del>3</del> 4 5 6)	7	8 9 10	1	(2 <del>3</del> 4) 5 6 7 8 9 10
	6 erhöhte Durchlaufzeiten	1	(2 3 <del>4</del> 5 6 7)	8	9 10	1	2 3 4 (5 <del>6</del> 7 8) 9 10
	7 erhöhte Prozessvielfalt	1	2 3 (4 5 <del>6</del> 7)	8	9 10	1	2 3 4 (5 <del>6</del> 7 8 9) 10
	8 zusätzliche Betriebsmittel	(1 <del>2</del> 3)	4	5 6 7 8 9 10	1	(2 <del>3</del> 4) 5 6 7 8 9 10	
	9 Variantenentstehungspunkt	1	2 (3 <del>4</del> 5)	6	7 8 9 10	1	2 3 4 5 (6 <del>7</del> 8 9) 10
	10 Lieferantenkoordination	1	2 3 4 5 (6 <del>7</del> 8 9)	10	1	2 3 (4 5 <del>6</del> 7 8 9) 10	
	11 geringe Losgrößen	1	2 (3 4 <del>5</del> 6)	7	8 9 10	1	2 3 (4 <del>5</del> 6) 7 8 9 10

Bild 5.14: Beispiel für die Bewertungssystematik der Einzelabschätzung

In der Praxis haben sich zur Abbildung der Risiken drei zentrale Werte etabliert, der wahrscheinlichste Wert, der minimale Wert und der maximale Wert. Die Berücksichtigung der Unsicherheiten innerhalb der Abschätzung wird durch die Spanne zwischen minimalen und maximalen Wert angegeben (Einklammern des entsprechenden Bereichs). Je größer diese

Spanne, desto größer ist die damit verbundene Unsicherheit innerhalb der Abschätzung. Dadurch kann innerhalb der Bewertung die Möglichkeit geschaffen werden, auch die Qualität der Abschätzung darzustellen. Andernfalls geht durch die Auswahl eines singulären Wertes (wahrscheinlichster Wert) diese Information für die Risikobetrachtung verloren.

Für die Beschreibung der Risiken stehen unterschiedliche stetige Verteilungsfunktionen zur Verfügung. Im Folgenden werden zwei in der Praxis einfach anwendbare Verteilungen diskutiert. Die einfachste Darstellungsmöglichkeit bietet die Dreiecksverteilung. Mittels dieser einfachen Verteilung wird beispielsweise innerhalb der Fuzzy Set Theory über Zugehörigkeitsfunktionen Unsicherheit mittels unscharfer Werte innerhalb der Bewertung abgebildet [Lee05], [Wec97], [Bro02]. Mit Hilfe dieser einfachen Wahrscheinlichkeitsverteilung können innerhalb der Bewertung minimale ( $a$ ), maximale ( $b$ ) und am wahrscheinlichsten ( $c$ ) verteilte Werte abgebildet werden. Diese Funktion kann eine rechtsschiefe, symmetrische oder auch linksschiefe Form annehmen und ist somit in der Lage eine Tendenz des Experten bei der Bewertung zu berücksichtigen (vgl. Bild 5.15a). Eine weitere Möglichkeit stellt die Beta-PERT-Verteilung dar [Vos08]. Die Verteilung basiert auf der Beta-Verteilung. Diese Verteilung findet unter anderem Anwendung in der Netzplantechnik zur Simulation von geplanten Zeiten oder Kosten und ist ebenfalls in der Lage, die drei Parameter Minimum, Maximum und wahrscheinlichster Wert zu verarbeiten [Wyn07]. Die Verteilung ist weniger anfällig hinsichtlich extremer Werte. Das heißt die Verteilung reagiert nicht so sensitiv auf den minimalen und maximalen Wert im Vergleich zur Dreiecksverteilung. Der Kurvenverlauf ist bei einer symmetrischen Form mit einer Normalverteilung vergleichbar, kann aber ebenfalls wie die Dreiecksverteilung links- oder rechtsschiefe Formen annehmen (vgl. Bild 5.15b).

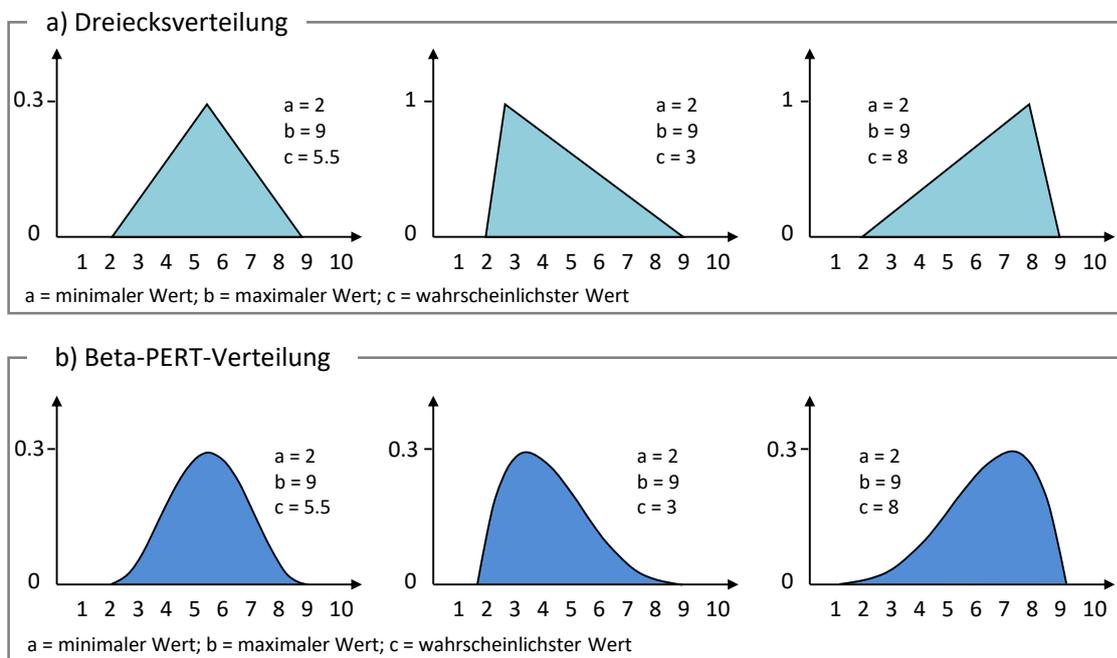


Bild 5.15: Beispiel Dichtefunktion von Dreiecks- und Beta-PERT-Verteilung

Für die vorliegende Bewertungsproblematik bietet die Beta-PERT-Verteilung im Vergleich zur Dreiecksverteilung eine wesentlich genauere Abbildung der Expertenabschätzung unter ähnlichem Modellierungsaufwand. Auf Basis der drei abgeschätzten Werte (minimaler, maximaler und wahrscheinlichster Wert) lassen sich mit den folgenden Formeln eine entsprechende

Beta-PERT-Verteilung je Experte ermitteln. Die Beta-Verteilung ist für ein Intervall  $[a,b]$  definiert.

$$\mu = a + (b - a) \cdot \left(\frac{\alpha}{\alpha + \beta}\right) \quad (5.13)$$

$$\sigma^2 = \left(\frac{\alpha}{\alpha + \beta}\right) \cdot \left(\frac{\beta}{\alpha + \beta}\right) \cdot \left(\frac{(b - a)^2}{\alpha + \beta + 1}\right) \quad (5.14)$$

mit  $a$  = minimaler Wert  
 $b$  = maximaler Wert  
 $\alpha, \beta$  = spezifische Formfaktoren der Funktion

Im Rahmen der Anwendung von PERT (Program Evaluation and Review Technique) in der Netzplantechnik werden die drei abzuschätzenden Parameter minimaler, maximaler und wahrscheinlichster Wert zur Berechnung des Mittelwertes und der Varianz wie folgt berücksichtigt.

$$\mu = \frac{a + 4 \cdot c + b}{6} \quad (5.15)$$

$$\sigma^2 = \frac{(b - a)^2}{36} \quad (5.16)$$

mit  $a$  = minimaler Wert  
 $b$  = maximaler Wert  
 $c$  = wahrscheinlichster Wert

Durch den Einsatz der Formeln 5.15 und 5.16 wird die Beta-Verteilung ertüchtigt, analog zur Dreiecksverteilung eine Abschätzung auf Basis der drei abzuschätzenden Werte durchführen zu können (vgl. Anhang D).

Nach Abschätzung der Einzelrisiken durch die entsprechenden Teilnehmer eines Bewertungsworkshops ergeben sich unterschiedliche Verteilungsverläufe für jedes Einzelrisiko (vgl. Bild 5.16) auf Basis der drei Werte (min, max und wahrscheinlichster Wert).

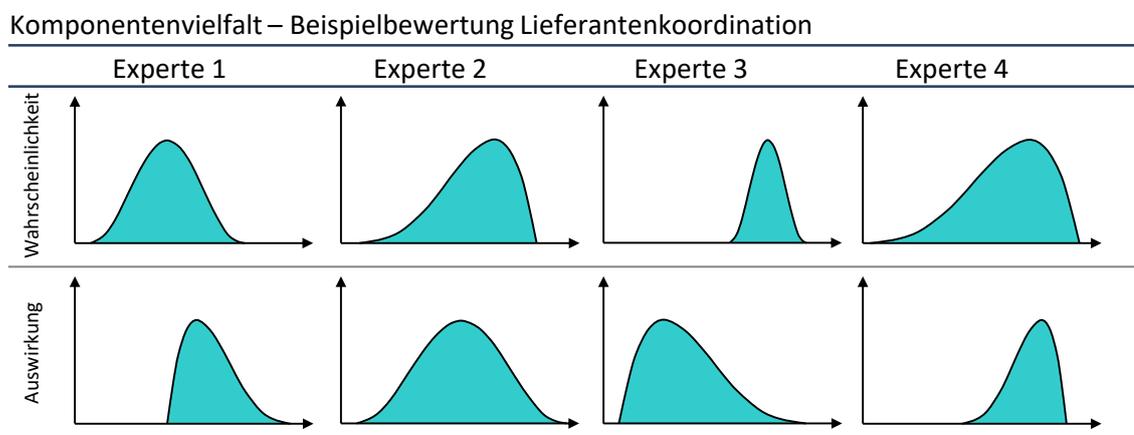


Bild 5.16: Exemplarische Verläufe nach Abschätzung min, max und wahrscheinlichster Wert

Je nach Einschätzung der Experten kann die angenommene Form der Verteilung stark variieren und je größer die Unsicherheiten, desto größer die Spanne der Verteilung. Die unter-

schiedlichen angenommen Verteilungsverläufe der einzelnen Experten müssen im nächsten Schritt zu einem Risikowert aggregiert werden.

### 5.3.2.2 Monte-Carlo-Simulation und Auswertung

Bei einer überschaubaren Anzahl an Risikofaktoren kann theoretisch eine Risikoaggregation auch analytisch erfolgen. Da die Methode eine Anwendbarkeit für ganzheitliche Anlaufprojekte gewährleisten soll, wird im Folgenden für die Risikoaggregation das weitverbreitete Verfahren der Monte-Carlo-Simulation angewendet. Sie hilft mit einer großen Anzahl an Zufallsexperimenten die Einzelrisiken und die damit verbundenen Verteilungsfunktionen der Experten zu schätzen und mittels des zentralen Grenzwertsatzes der Statistik zu einem Gesamtrisiko zu aggregieren [Ock09], [Vos08]. Nach dem zentralen Grenzwertsatz konvergiert die Summe unabhängiger Variablen bei endlicher Varianz zu einer Normalverteilung [Bam11]. Bezogen auf die beliebige Risikoverteilung der einzelnen Experten wird davon ausgegangen, dass die Aggregation der Einzelrisiken der Experten für das Gesamtrisiko zu einer Normalverteilung führt. Innerhalb eines Simulationsdurchlaufes wird je Expertenabschätzung eine Zufallszahl innerhalb der unterstellten Beta-PERT-Verteilung gezogen (vgl. Anhang D). Aufgrund der Verteilung werden Zufallswerte nahe dem wahrscheinlichsten Wert häufiger gezogen als weiter entfernt liegende Werte. Aus dieser zufälligen Stichprobe wird anschließend der arithmetische Mittelwert berechnet. Dieser Vorgang wird in der Beispielbewertung tausend Mal wiederholt. Durch eine hohe Anzahl an Durchläufen kann eine numerische Annäherung an die Gesamtrisikoposition erzielt werden. Die gewählte Anzahl an Durchläufen stellt einen ausreichenden Kompromiss zwischen Wiederholhäufigkeit und Rechenaufwand dar.

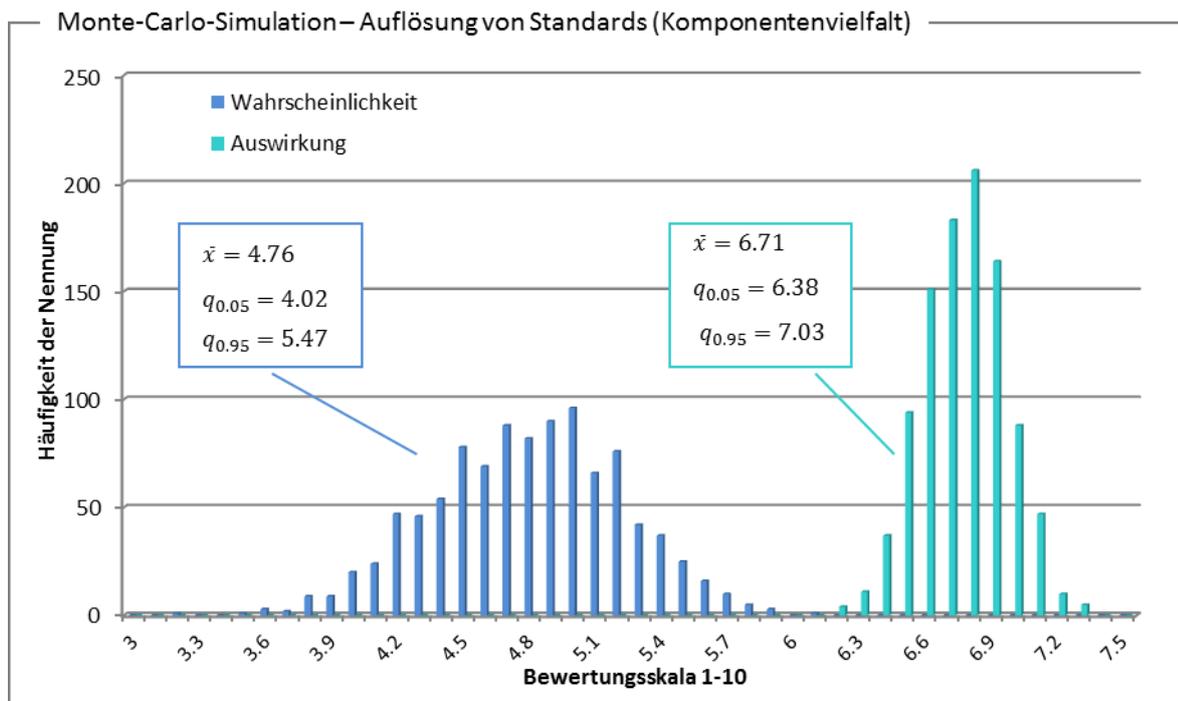


Bild 5.17: Beispielhistogramm einer Monte-Carlo-Simulation mit tausend Durchläufen

Als Ergebnis über alle durchgeführten „Ziehungen“ können die so ermittelten Mittelwerte innerhalb eines Histogramms dargestellt werden. Die Histogramm-Darstellung teilt die Be-

wertungsskala in Klassen ein und summiert die Häufigkeit der Nennung, in dem Fall die theoretische Abschätzung der Wahrscheinlichkeit und Auswirkung der entsprechenden Risiken, auf. Das resultierende Histogramm für die zu Grunde gelegte Beispielbewertung (vgl. Bild 5.14) liefert auf Basis von vier Experteneinschätzungen folgendes Bild für das identifizierte Risiko „Auflösung von Standards“ (vgl. Bild 5.17).

Pro Risiko werden die drei statistischen Werte Mittelwert, 5% und 95% Quantil ausgewertet. Im vorliegenden Beispiel verdeutlicht die abgeschätzte Wahrscheinlichkeit durch den flachen Verlauf und großen Spanne zwischen den 5% und 95% Quantilen die große Unsicherheit in der Abschätzung der Experten. Eine größere Einigkeit besteht bei der Abschätzung der Auswirkung am Beispiel der Auflösung von Standards. Die einfache Darstellung verdeutlicht übersichtlich die grundsätzliche Unsicherheitssituation anhand des Verteilungsverlaufes. Diese Unsicherheit wird mit Hilfe der drei ermittelten Werte weiter in die Szenarien übertragen. Der Mittelwert für Wahrscheinlichkeit und Auswirkung steht für das Most-likely Szenario, das 5%-Quantil für das Best-case Szenario und das 95%-Quantil für das Worst-case Szenario. Aufgrund der Risikobetrachtung stellt das 95%-Quantil das Worst-case Szenario dar. Mit einer 95%-Wahrscheinlichkeit liegen innerhalb der Stichprobe alle Werte unterhalb dieses Wertes und bildet somit den größtmöglichen Risikowert der in Betracht gezogen werden sollte. Umgekehrt gilt dies für das 5%-Quantil.

### 5.3.2.3 Visualisierung der Bewertung

Aus der Betrachtungsweise der Quantile ergeben sich für alle zu bewertenden Risiken hinsichtlich Auftrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung jeweils drei Werte. Diese werden mittels Multiplikation paarweise zu einem Risikofaktor zusammengefasst und innerhalb eines Risikocharts entsprechend der drei verschiedenen Szenarien dargestellt (vgl. Bild 5.18). Anhand der Szenarien lässt sich die Unsicherheit innerhalb der Bewertung widerspiegeln. Große Unterschiede zwischen den Szenarien verdeutlichen eine große Spanne innerhalb der Bewertung. Für die weitere Bearbeitung lässt sich je nach Risikoeinstellung des Unternehmens eines der drei Szenarien für die Auswahl der Maßnahmen auswählen. Im Folgenden Erläuterungsbeispiel wird sich auf das Most-likely Szenario fokussiert.

Das zur Erläuterung genutzte Beispiel der Kettensäge zeigt in der Auswertung keine großen Differenzen zwischen den ermittelten Risikoszenarien. Dies lässt sich vor allem auf die geringen Änderungen zum Vorgängerprodukt zurückführen. Weiterhin ist aufgrund der geringen Spanne im Netzdiagramm (siehe Beispiel Auftrittswahrscheinlichkeit) von einer geringen Unsicherheit in der Bewertung auszugehen. Die bewertenden Experten haben somit eine ähnliche Abschätzung der Risikosituation hinsichtlich des Serienanlaufs des neuen Produktes abgegeben. Lediglich der Faktor „Anpassung der Schnittstellen“ weist eine größere Spanne auf und wird in den unterschiedlichen Szenarien höheren Schwankungen unterworfen. Als kritischster Faktor wird die zu leistende Lieferantenkoordination betrachtet. Dabei sind zum einen die gesunkene Fertigungstiefe und zum anderen die stärkere Prozesstaktung mit dem neuen Fertigungsprinzip maßgebend für die genaue Koordination der zu verwendenden Zulieferkomponenten. Ein weiterer wichtiger Risikofaktor stellt in diesem Zusammenhang die erhöhte Prozessvielfalt durch die gestiegene Varianz der Komponenten dar.

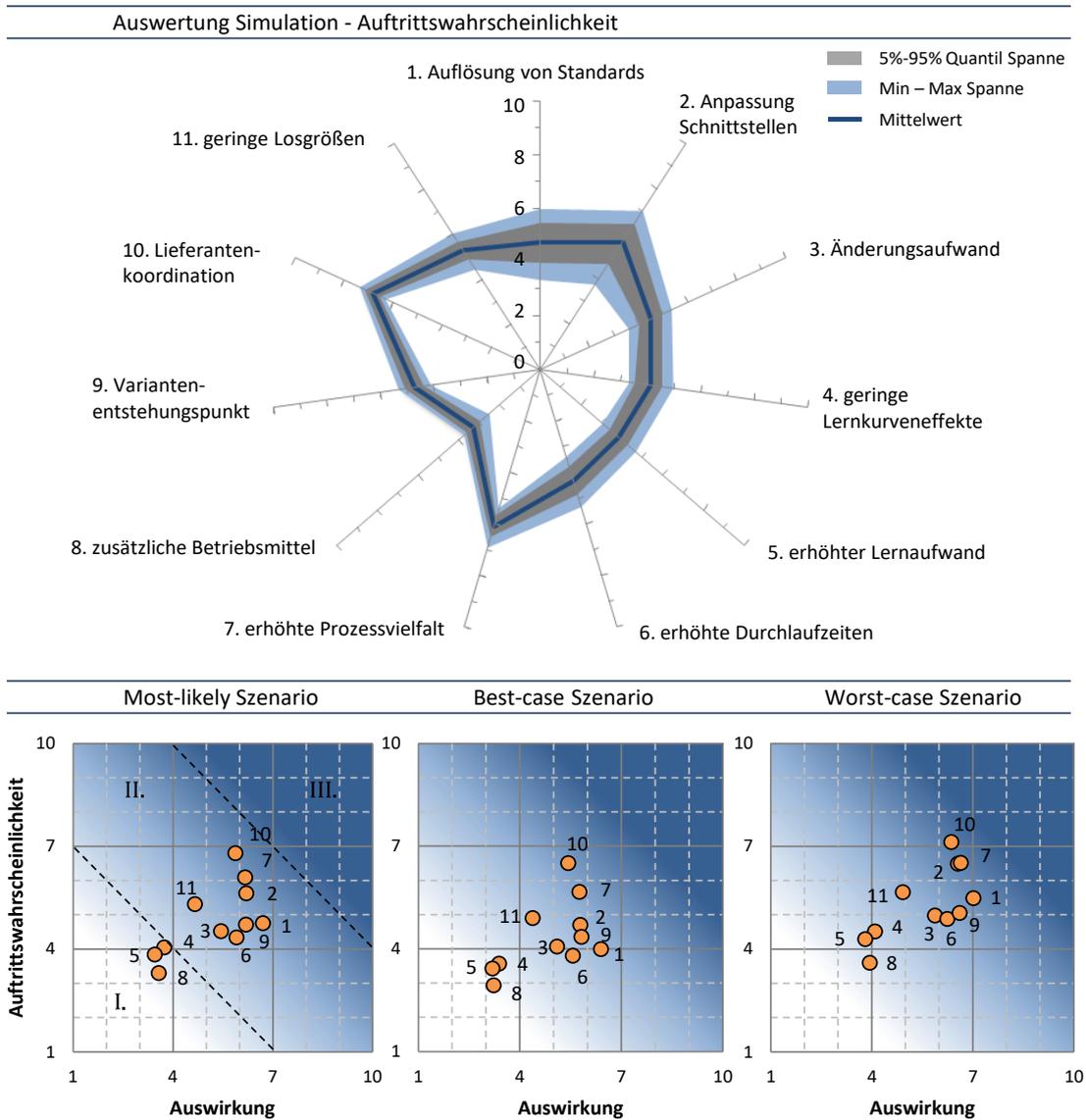


Bild 5.18: Ergebnisdarstellung der Bewertung des Erläuterungsbeispiels

Der kritische Bereich im oberen rechten Bereich (7-10) wird lediglich von einem Risikofaktor im Worst-case Szenario erzielt. Je nach Stellenwert der Produkteinführung im Gesamtkontext der unternehmerischen Führung kann für die anschließende Zuordnung der Handlungsmaßnahmen ein Szenario entsprechend der Risikobereitschaft ausgewählt werden. Grundsätzlich kann zusammenfassend festgehalten werden, dass das Beispiel lediglich geringe bis moderate Risiken beinhaltet. Für die weitere Betrachtung des Erläuterungsbeispiels wird das Most-likely Szenario berücksichtigt.

### 5.3.3 Auswahl und Zuordnung von Handlungsmaßnahmen

Im folgenden Abschnitt erfolgt eine strukturierte Zusammenstellung möglicher Handlungsmaßnahmen zur Reduzierung der identifizierten Risikofaktoren. Basierend auf der zuvor durchgeführten Abschätzung möglicher Risiken erfolgt zunächst eine Priorisierung mit Hilfe der Risikomatrix und der Berücksichtigung von Interdependenzen zwischen den Einzelrisiken. Die priorisierten Risiken werden im Anschluss mit Hilfe einer Maßnahmenmatrix verschiedenen Maßnahmen auf Basis der betroffenen Indikatoren zugeordnet.

### 5.3.3.1 Priorisierung der Risiken

Eine erste Priorisierung kann bereits mit Hilfe der Visualisierung aus dem Abschnitt zuvor durchgeführt werden (vgl. Bild 5.18). So lassen sich drei verschiedene Bereiche abgrenzen, die innerhalb der Maßnahmenselktion unterschiedlich behandelt werden. Dabei ist diese Unterteilung nicht als trennscharf zu betrachten, sondern als erste Handlungsempfehlung. Risiken im Übergang zu anderen Bereichen sollten gegebenenfalls individuell betrachtet und zugeordnet werden. Im ersten Bereich (I.) befinden sich die vernachlässigbaren Risiken. Aufgrund der geringen Auftrittswahrscheinlichkeit und der gleichzeitig geringen Auswirkungen erfolgt keine aktive Implementierung von Maßnahmen. Lediglich ein Monitoring der Indikatoren wird empfohlen. Die Risikobewältigung erfolgt passiv durch die Akzeptanz einer geringen Auswirkung auf die Zielerreichung innerhalb des Serienanlaufs. Der zweite Bereich (II.) repräsentiert die zu berücksichtigenden Risiken und kann sowohl durch aktive als auch passive Handlungsmaßnahmen gesteuert werden. Die in diesem Bereich identifizierten Risiken stellen mögliche relevante Einflussgrößen zur Zielerreichung des Serienanlaufs dar und benötigen eine Berücksichtigung im Rahmen des Produktentwicklung und Produktionshochlaufes. Der dritte Bereich (III.) stellt die zu vermeidenden Risiken dar und erfordert Maßnahmen zur Behebung der Ursachen. Am vorliegenden Beispiel ist zu erkennen, dass ein Großteil der identifizierten Risiken mit relativ geringer Distanz zueinander innerhalb des zweiten Bereichs eingeordnet wurde. Für eine Selektion von Maßnahmen wird im nächsten Schritt eine weiterführende Priorisierung durchgeführt (vgl. Bild 5.19).

In dem vorliegenden Beispiel stellen im Most-likely Szenario die Lieferantenkoordination (10) im Zuge einer erhöhten Komponentenvielfalt, gefolgt von der erhöhten Prozessvielfalt (7), der Anpassung von Schnittstellen (2) und der Auflösung von Standards (1) die größten Herausforderungen dar. Die zuvor durchgeführte Bewertung betrachtet die identifizierten Risikofaktoren auf Einzelrisikoebene (vgl. Bild 5.19 - Risikofaktor aus Bewertung). Gleichzeitig beeinflussen sich die Risiken gegebenenfalls untereinander und verstärken beim Auftreten Auswirkungen. Um eine ganzheitliche Maßnahmenstrategie zu entwickeln, ist deshalb die Betrachtung der Vernetzung der einzelnen Risikoparameter ebenfalls notwendig. Dazu wird für die folgende Priorisierung der Faktor der Risikovernetzung eingeführt. Dieser Faktor wird mit Hilfe einer Korrelationsmatrix ermittelt (vgl. Bild 5.19). Für die Ermittlung wird jedes Risiko hinsichtlich einer schwachen bis starken Beeinflussung der anderen Risiken überprüft. Als Ergebnis entsteht eine Matrix, die mit Hilfe der Passiv- und Aktivsummen eine Aussage über die Beeinflussung anderer Risiken ermöglicht. Je größer das Produkt der beiden Summen, desto größer ist der Einfluss des Faktors auf die Gesamtrisikosituation. Eine hohe Aktivsumme steht für eine hohe Beeinflussung anderer Risikofaktoren. Eine hohe Passivsumme steht für eine hohe Sensitivität gegenüber anderen Risiken. Für die Ermittlung der Rangfolge wird der Faktor der Vernetzung mit dem Risikofaktor aus der Simulation addiert. Der so entstandene Wert für die Gesamtsituation bildet die Basis für die Rangfolge.

Für die weitere Betrachtung ergibt sich aus der Berücksichtigung der Vernetzung eine leicht veränderte Rangfolge gegenüber der reinen Betrachtung der Auftrittswahrscheinlichkeit und Auswirkung. Die ursprünglichen vier Risiken (10, 7, 2, 1) ändern sich lediglich in ihrer Reihenfolge (7, 1, 10, 2). Die erhöhte Prozessvielfalt (7) stellt das höchste Risiko dar, gefolgt von der

Auflösung von Standards (1), der Lieferantenkoordination (10) und der Anpassung von Schnittstellen (2).

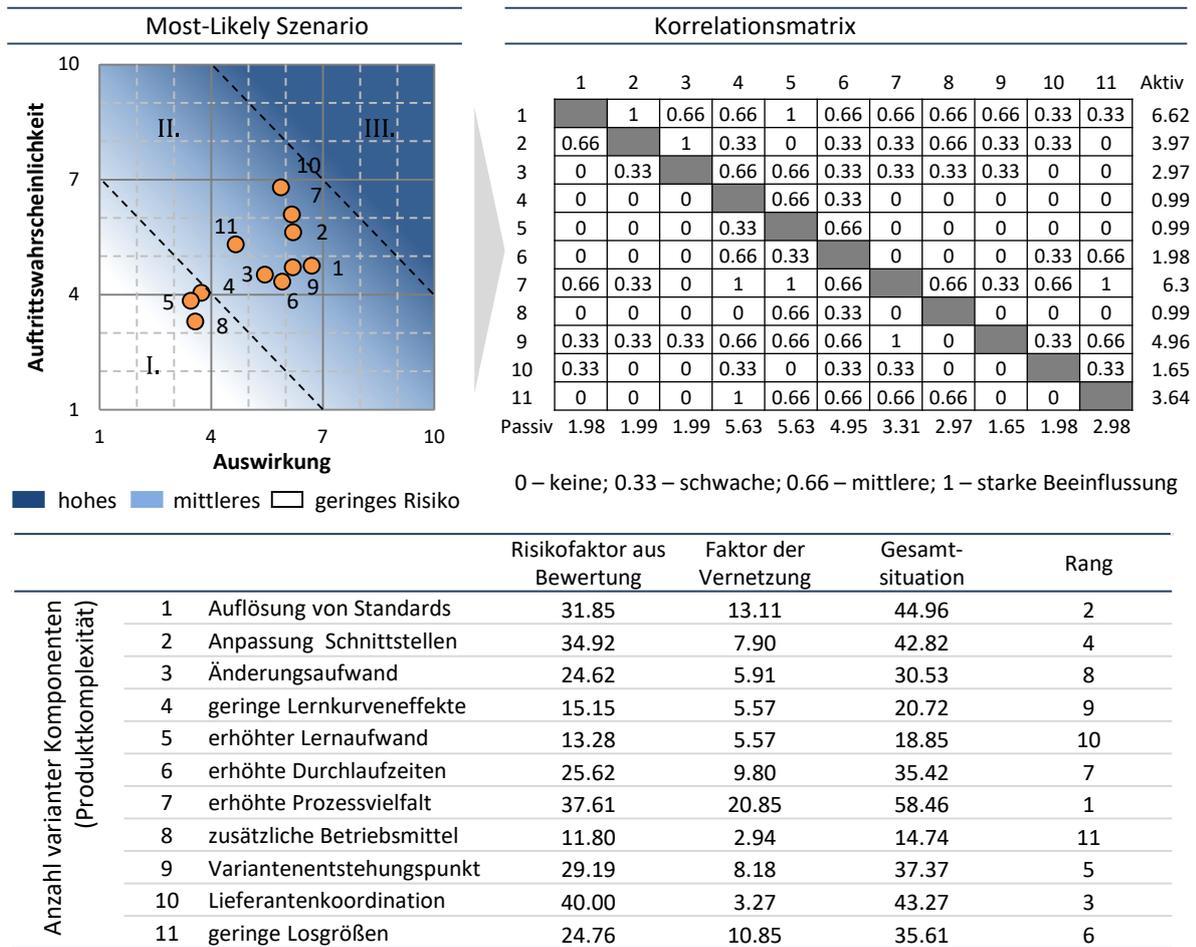


Bild 5.19: Priorisierung der ermittelten Risikofaktoren

In der Betrachtung der Abhängigkeit der einzelnen Risikofaktoren wird deutlich, dass die Prozessvielfalt einen hohen Einfluss auf andere Faktoren (hohe Aktivsumme) besitzt. Beispielsweise kommt es im Anlauf bei einer gestiegenen Prozessvielfalt (7) zu geringen Lernkurveneffekten (4), da die Wiederholhäufigkeit einzelner Schritte durch die Vielfalt eingeschränkt wird. Weiterhin zeigt sich, dass die Auflösung der Standards (1) im Zusammenspiel mit anderen Faktoren einen ebenfalls einen höheren Stellenwert besitzt, als lediglich in der Einzelbetrachtung. Die Reduzierung der Standards innerhalb von Prozessabläufen, als auch bei der Konstruktion von Komponenten führt zu zusätzlichem Aufwand durch Anpassung von Schnittstellen (2) sowie zu erhöhtem Lernaufwand (5).

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die Nutzung der Korrelationsmatrix eine Unterstützung in der weiteren Priorisierung der Risiken darstellt. Besonders hilfreich kann die Betrachtung der Vernetzung bei zahlreichen Risiken sein, um ein weiteres Indiz dafür zu erhalten, welche Risiken im Falle des Eintritts weitere Risikofaktoren verstärken. Im vorliegenden Beispiel (vgl. Bild 5.19) zeigt sich, dass die Risiken im zweiten Bereich (II.) keine großen Abstände zueinander aufweisen. Weiterhin verändert sich bei der Betrachtung der Vernetzung lediglich die Rangfolge der ersten vier Risiken. Daher empfiehlt es sich auf Basis der

geringen Anzahl alle vier dargestellten Risiken gleichwertig innerhalb der Maßnahmenselektion zu betrachten.

### 5.3.3.2 Aufbau einer generischen Maßnahmenmatrix

Die priorisierten Risiken müssen im Folgenden verschiedenen Handlungsmaßnahmen zugeordnet werden. Um eine gezielte Beeinflussung der entsprechenden Einflussfaktoren zu gewährleisten, wird zunächst eine generische Maßnahmenmatrix vorgestellt. Diese verknüpft verschiedene Maßnahmen mit den identifizierten Einflussfaktoren aus Kapitel 4.3.

Grundsätzlich unterliegen Handlungsmaßnahmen einer zeitlichen Abhängigkeit hinsichtlich der Anwendbarkeit und Wirksamkeit im Serienanlauf. Neben den ganzheitlichen Zielen (Zeit, Kosten, Qualität) ergeben sich unterschiedliche Schwerpunkte in den Phasen des Übergangs. Aufbauend auf der Phaseneinteilung von ZEUGTRÄGER, der sich im Wesentlichen auf den eigentlichen Produktionshochlauf konzentriert [Zeu98], erfolgt die Einführung einer zusätzlichen vorgelagerten Phase (vgl. Bild 5.20 Phase 1). Die Phasen sind dabei nicht als trennscharf zu verstehen. Bestehende Ansätze konzentrieren sich auf die drei letzten Phasen, die sich auf den eigentlichen Produktionshochlauf und Fertigungsprozess fokussieren [Zeu98], [Lan04], [Wil04], [Gar12]. Im Rahmen des Serienanlaufs im Flugzeugbau ist es aufgrund der langen Entwicklungsphase allerdings unabdingbar, eine Fokussierung von möglichen Maßnahmen bereits vor dem eigentlichen Produktionsstart einzuführen. Produktstrategische Maßnahmen haben einen unmittelbaren Effekt auf die nachgelagerten Phasen und bestimmen im hohen Maße über die Zielerreichung von Zeit, Kosten und Qualität. Für potentielle Risiken liegt der Maßnahmenswerpunkt auf der Komplexitäts- und Unsicherheitsreduzierung. Mit Hilfe einer frühzeitigen Komplexitätsreduzierung kann zum einen die Entwicklung beschleunigt und zum anderen das Risiko möglicher technischer Probleme im Serienanlauf minimiert werden. Die Unsicherheitsreduzierung bezieht sich auf Maßnahmen, die eine frühzeitige Realisierbarkeit neuer Technologien sicherstellt und fehlende Erfahrungen in dem Bereich kompensiert.

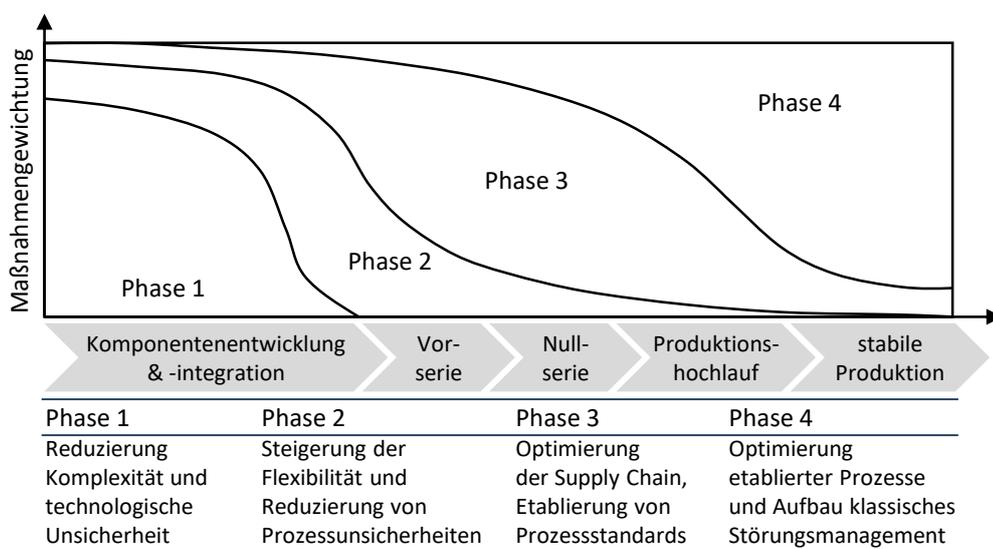


Bild 5.20: Maßnahmenfokussierung im Laufe des Produktionshochlaufes

Die zweite Phase konzentriert sich auf die Absicherung der neuen Produktionsprozesse. Gerade zu Beginn erfordern neu auftretende Probleme durch späte Änderungen am Produkt eine gewisse Prozessflexibilität, die eine Anpassung in kurzer Zeit ermöglicht. Anschließend verschiebt sich der Fokus auf die Maßnahmen zur Erhöhung der Mengenleistung des Systems. Dazu gehören Fehlerbehebung und Optimierung zahlreicher Logistikprozesse aufgrund verschiedenster Zulieferer. Prozesse, die aufgrund der geringen Taktung in der Vor- oder Nullserie entsprechende Qualität geliefert haben, können mögliche Probleme durch flexible Prozesse ausgleichen. Durch die Erhöhung der Ausbringungsmenge kann es unter Umständen zu Lieferschwierigkeiten oder Qualitätseinbußen kommen. Abschließend findet in der vierten Phase der Übergang zur normalen Serienproduktion statt. Dabei konzentrieren sich die Maßnahmen auf die Reduzierung von Verschwendung und die Etablierung eines standardisierten Störungsmanagements, das anfallende Produktionsrisiken steuert und überwacht sowie auf die Optimierung der Wirtschaftlichkeit der Produktionsprozesse.

Als Basis der Maßnahmenzuordnung wird folgend eine generische Maßnahmenmatrix entwickelt, die an spezifische Randbedingungen des Unternehmens angepasst und erweitert werden kann. Dabei liegt der Fokus auf der Darstellung entsprechender Maßnahmen, mit Hilfe derer die identifizierten Einflussfaktoren positiv beeinflusst werden können. Etablierte Vorgehensweisen und Basiswerkzeuge in der Produktentwicklung sowie der Produktionsplanung (z.B. FMEA, VDI2221, QFD, Grundlagen der Fabrikplanung) werden nicht separat in der Maßnahmenmatrix aufgeführt, da sie als eine Grundvoraussetzung innerhalb der Produktentwicklung und Produktionsgestaltung angesehen werden können [Lin09a], [Pah07], [Ehr09], [Löd08], [Lot06], [Bir11], [Wie14].

Der Aufbau der Matrix orientiert sich zum einen an die bereits definierten Indikatoren und Einflussfaktoren in dem entwickelten Wirkmodell (vgl. Kapitel 4.3) und zum anderen an den definierten Risikokategorien (vgl. Kapitel 5.3.1). Basierend auf den Risikokategorien erfolgt im ersten Schritt (vgl. Bild 5.21) die Zuordnung von Maßnahmen in die vier entsprechenden Kategorien produktseitige, prozessseitige Maßnahmen, Supply Chain Netzwerk und organisatorische Maßnahmen. Die Auswahl der Maßnahmen und Zuordnung erfolgt auf Basis bereits in der Literatur, Fallstudien oder Praxisanwendungen etablierter Ansätze.

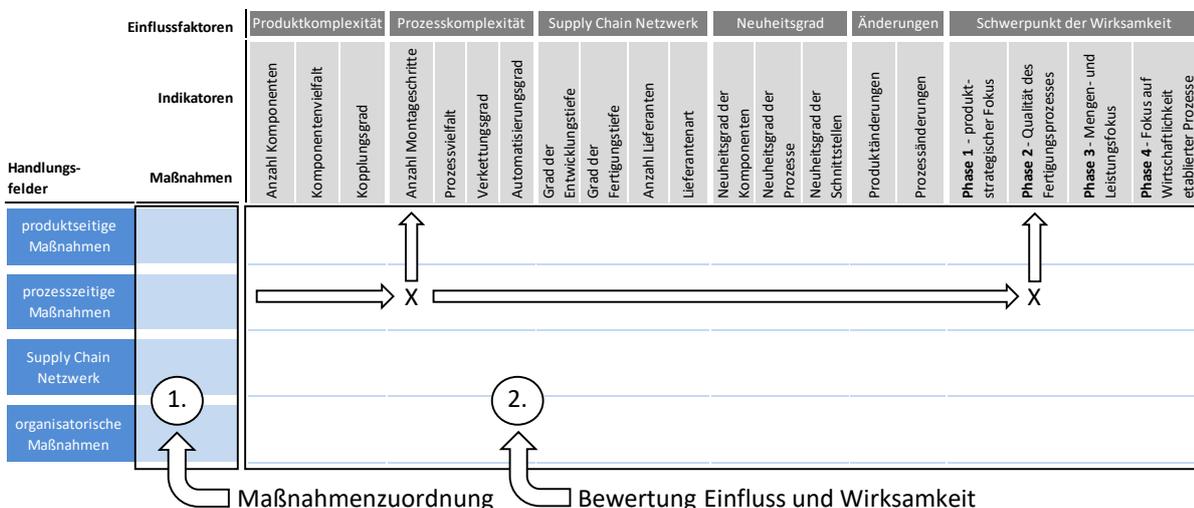


Bild 5.21: Aufbau der Maßnahmenmatrix

Im zweiten Schritt wird die positive Beeinflussung der Maßnahmen auf die Indikatoren und somit auf die Einflussfaktoren untersucht. Gleichzeitig erfolgt eine Einschätzung der Wirksamkeit der Maßnahme in den zuvor beschriebenen Phasen (vgl. Bild 5.20).

Im Folgenden werden ausgewählte Maßnahmen in den verschiedenen vier Hauptkategorien kurz vorgestellt und deren positive Effekte auf die Einflussfaktoren beschrieben.

### **Produktstrategische Maßnahmen**

Die Produktarchitektur hat einen entscheidenden Einfluss auf die nachgelagerten Fertigungsprozesse. Deshalb stellen auch produktstrategische Entwicklungsansätze einen wesentlichen Stellhebel zur Reduzierung der Anlauftrisiken dar. Vor allem bietet die Modularisierung Möglichkeiten, den besonderen Ansprüchen in der Serienanlaufphase gerecht zu werden. Neben den zahlreichen positiven Effekten im Rahmen der unterschiedlichsten Lebensphasen [Ble11], unterstützt sie im Rahmen des Serienanlaufs vor allem die vereinfachte Montage, das separate Testen sowie die Erhöhung der Flexibilität bei späten Änderungen [Els13c]. Änderungen im Laufe der Entwicklung können so innerhalb der Modulgrenzen abgefangen werden. Somit werden Anpassungsaufwände durch geringe Anzahl an Schnittstellen reduziert.

In der Regel erfolgt die Einführung ganzer Produktfamilien, dies stellt die Organisation vor besondere Herausforderungen und ist direkt mit der Markteinführungsstrategie des Unternehmens verbunden. Durch die technische Gestaltung lässt sich mit Hilfe der variantengerechten Gestaltung, Gleichteile- und Plattformstrategie die Einführung neuer Technologien und Produktmerkmale steuern. Die Plattformstrategie bietet einen langfristigen Wettbewerbsvorteil, da eine einfache Adaption bestehender Produktstrukturen und Fertigungsprozesse möglich ist und somit zu einer Verkürzung der Time-to-Market beiträgt. Weiterhin lassen sich Randbedingungen verschiedener Märkte einfach integrieren und somit können global agierende Unternehmen schneller und kostengünstiger weltweite Serienanläufe koordinieren.

### **Prozessstrategische Maßnahmen**

Innerhalb der Prozesserprobung empfiehlt es sich, bereits stets eine hohe Belastung in das Produktionssystem zu geben, auch bekannt unter Run@Rate [Alm00][Fit05]. Dies bezieht selbst frühe Phasen der Erprobung (Vorserie) mit ein. So ist die Produktionsplanung in der Lage die Ressourcennutzung abzustimmen, gravierende Störungen im Produktionsprozess werden in der gesamten Wertschöpfungskette sichtbar und das Störungsmanagement kann bereits frühzeitig erprobt werden. Besonders die Leistungsfähigkeit neuer Lieferanten und deren Teilverfügbarkeit lassen sich so bereits frühzeitig evaluieren.

Einhergehend mit der Prozesserprobung stellt die Prototypenfertigung ein zentrales Element zur Erreichung kurzer Durchlaufzeiten und zur Unterstützung eines effizienten Transfers in die Produktion dar. Dabei ist vor allem der Wissenstransfer mit den beteiligten Abteilungen elementar. Weiterhin empfiehlt es sich bereits mögliche spätere Produktionslieferanten in die Vorserie einzubinden, anstatt spezialisierter Lieferanten für den Prototypenbau. So kann der Fokus bereits auf die zu realisierenden Produktionsprozesse gelegt werden. Die Prototypenfertigung hat somit einen signifikanten positiven Effekt auf die späten Änderungen.

Eine weitere prozesseitige Strategie stellt die späte Produktdifferenzierung im Prozess (Postponement) dar. Durch die Standardisierung der vorgelagerten Prozesse können größere Lernkurveneffekte mit Hilfe standardisierter Prozessschritte erzielt werden. Somit können die Qualifikation der Mitarbeiter und die Abstimmung der Supply Chain Prozesse auf die standardisierten Montageschritte unterstützt werden.

### **Supply Chain Maßnahmen**

Ein nicht zu unterschätzender Effekt stellt die langfristige Lieferantenbindung auch im Rahmen des Serienanlaufs dar [Ber07], [Cla91]. Innerhalb bestehender Kooperationen sind bereits etablierte Rollen und Verantwortungen vorhanden, diese wiederum unterstützen gezielte Informationsflüsse. Dies hat besonders bei Auftreten von späten Änderungen einen positiven Effekt auf das Anlaufergebnis.

Ausgehend von einer langfristigen Partnerschaft bildet die Integration der Lieferanten in die Entwicklung enorme Potentiale eine schnelle Markteinführung zu erzielen. Durch die Integration des Know-hows der Lieferanten in Kombination einiger weniger First-Tier Lieferanten ist zum einen ein geringer Koordinationsaufwand notwendig und zum anderen können die Entwicklungskapazitäten des OEM's auf die zentralen Schlüsseltechnologien des neuen Produkts konzentriert werden. Dies führt zu geringeren Entwicklungskosten und einer kürzeren Time-to-Market bei gleichzeitig geringerem Ressourceneinsatz.

### **Organisatorische Maßnahmen**

Mit Hilfe des Prinzips der temporären Organisation kommt es zu einer Verstärkung und Konzentration der Zuständigkeiten und gleichzeitig können Entscheidungen schneller getroffen werden und die Koordination sowie Wissenstransfer effizienter realisiert werden. Weitverbreitete Bezeichnungen finden sich unter dem sogenannten Anlaufmanager bzw. der Anlauforganisation [Rom05] [Kuh02]. Die Entscheidungen beschleunigen den Problemlösungsprozess und tragen zu einer schnellen Verbreitung unter den beteiligten Mitarbeitern bei. Besonders für den „Step-by-Step“ Ansatz, in der der Modellübergang innerhalb der bestehenden Produktlinie durchgeführt wird, sind schnelle Problemlösungszyklen von elementarer Bedeutung.

Ein hochintegrierter Problemlösungsprozess sieht zudem vor, bereits Informationen auszutauschen, bevor das eigentliche Projekt gestartet wird. Das bedeutet bereits im Rahmen des Frontloadings Informationen aus dem Prozess-Engineering in die Produktentwicklung zu liefern. Nur so kann eine Strategie des „First time right“ im Flugzeugbau realisiert werden und Wissen aus vergangenen Problemstellungen frühzeitig zur Verfügung gestellt werden.

Die Bildung und organisatorische Einbindung der Anlauforganisation sollte allerdings nicht auf die Produktionsumgebung beschränkt sein, sondern vielmehr müssen diese Organisationseinheiten bereits innerhalb interdisziplinärer Entwicklungsteams integriert werden. So wird die Möglichkeit geschaffen, bei entsprechend langen Entwicklungszeiten und hoher Produktkomplexität bereits ein hohes Produktverständnis der zukünftig zu fertigenden Komponenten zu entwickeln.

Das Ergebnis der Maßnahmenzuordnung zu den identifizierten Handlungsfeldern mit den entsprechenden Quellen ist beispielhaft im Folgenden dargestellt (vgl. Bild 5.22). Die voll-

ständige Matrix mit der Zuordnung der Maßnahmen hinsichtlich der beeinflussbaren Indikatoren und deren zeitliche Wirksamkeit kann dem Anhang E entnommen werden.

Handlungsfelder	Maßnahmen	Quellen	Einflussfaktoren				Schwerpunkt der Wirksamkeit			
			Indikatoren			Prozess	Phase 1 - produktstrategischer Fokus	Phase 2 - Qualität des Fertigungsprozesses	Phase 3 - Mengen- und Leistungsfokus	Phase 4 - Fokus auf Wirtschaftlichkeit etablierter Prozesse
			Anzahl Komponenten	Anzahl varianter Komponenten	Kopplungsgrad	Anzahl Montageschritte				
produktseitige Maßnahmen	Plattformstrategie	[Ter01a], [Sch08], [Wii09], [Car06]	•	•	•	•	•			
	variantengerechte Produktgestaltung	[Kip12], [Sch05a]	•	•	•	•				
	Modularisierungsstrategie	[Ble11], [Cla91], [Bil98], [Ris03]	•	•	•	•				
	Erhöhung der Carry-over Komponenten (Gleichteilestrategie)	[Eil13], [Wan98], [Bil98]	•	•						
	Prototypenbemusterung und Design Reviews	[Ris03], [Jür07]	•							
	inkrementelle Einführung technologischer Innovationen	[Bil98], [Wii09]		•						
	sequentielle Varianteneinführung	[Sch05c], [Ris03], [Wii09]	•	•		•	•			
	Design Flexibilität (Robustheit, Adaption, embedding Options)	[Tho97], [Lor09], [Lin09a]			•					
	Entkopplung Produkt- und Prozessentwicklung	[Fri98]								
Maßnahmen	Prototypenfertigung	[Cla91], [Fri98]				•				
	Postponement	[Bil98], [Hal14], [Bow99], [Puf13]								
	Erhöhung der Prozess-Kommunalität	[Bu93], [Kip12], [Hal14]				•				
	Parallelisierung von Prozessen	[Jür07]				•				

Bild 5.22: Ausschnitt aus der Maßnahmenmatrix

### 5.3.3.3 Zuordnung der Risiken und Ableitung einer Handlungsstrategie

Im Folgenden werden die vorgestellten Maßnahmenbereiche den zuvor priorisierten Risiken zugeordnet und entsprechend einer zielführenden Kombination aus Einzelmaßnahmen zu einer Handlungsstrategie verdichtet. Eine Handlungsstrategie stellt im Rahmen des Serienanlaufs die Operationalisierung der übergeordneten Ziele mit Hilfe von Leitsätzen oder Regeln sicher. Dazu werden die priorisierten und relevanten Risiken verschiedenen Maßnahmen zugeordnet. Die Kombination dieser Maßnahmen bildet das Rahmenwerk zur Sicherstellung eines effizienten Übergangs zwischen der Produktentwicklung und den nachgelagerten Produktionsprozessen.

Für die Auswahl der relevanten Maßnahmen können zwei Hauptstrategien verfolgt werden. Die erste Strategie verfolgt eine Reduzierung der Komplexität und der Unsicherheit des Anlaufprojektes (ursachenbezogene Maßnahmen). Damit einhergehend wird versucht, möglichst das Auftreten von potentiellen Risiken zu verhindern. Die zweite Strategie stellt die Erhöhung der Flexibilität (wirkungsbezogene Maßnahmen) im Umgang mit potentiellen Risiken im Anlaufprojekt dar. Durch die Erhöhung der Flexibilität können die Auswirkungen von potentiell auftretenden Risiken im Anlauf reduziert werden.

#### **Reduzierung der Komplexität und Unsicherheit (ursachenbezogene Maßnahmen)**

Im Rahmen des beschriebenen Beispiels stellt die identifizierte Anzahl varianter Komponenten in der Einführung einer neuer Produktgeneration eines Kettensägenmodells (vgl. Anhang C) die Ursache für die identifizierten potentiellen Risiken dar (vgl. Bild 5.13). Für die Selektion innerhalb der Maßnahmenmatrix können anhand des dargestellten Indikators (Anzahl varianter Komponenten) relativ einfach potentielle Maßnahmen für die vier Bereiche identifiziert werden. Innerhalb der Matrix (vgl. Anhang E) kann der Anwender entlang des Indikators die in Frage kommenden Maßnahmen ablesen. Produktseitige Strategien stellen vor allem die Plattformstrategie, Modularisierung und Gleichteilestrategie dar. Eine Bündelung beispielsweise der gesamten Vergaserbaugruppe (VB, C, V und LF) innerhalb eines Gesamtmo-

duls ermöglicht die Vergabe an einen Systemlieferant und kann gleichzeitig von der Entwicklung der restlichen Komponenten entkoppelt werden. Durch die Schaffung einer einheitlichen Schnittstelle für die Integration dieses Moduls an den Kraftstofftank (KG) kann der Montagevorgang mit Hilfe identischer Betriebsmittel durchgeführt werden. Weiterhin werden Lernkurveneffekte aufgrund der identischen Montagetätigkeiten beschleunigt.

Mit Hilfe einer langfristigen Plattformstrategie können zukünftig schneller neue Produkte bei gleichzeitig geringerem Aufwand eingeführt werden. Beispielsweise kann ein Basismodul (KÖ oder KG) als Grundlage für eine einheitliche Montage der standardisierten Komponenten dienen. Dies würde zum einen die Kundendifferenzierung im Prozess zu einem möglichst späten Zeitpunkt unterstützen und zum anderen die im Zuge zukünftiger Serienanläufe notwendigen Montageanpassungen auf ein Minimum reduzieren.

Weitere identifizierte Maßnahmen sind eine verstärkte Integration von Erfahrungswissen und Beschleunigung von Lernprozessen für den Umgang mit zusätzlicher Varianz. Dazu zählt vor allem bereits innerhalb der Konzeptgestaltung auf die relevanten Folgen einer gestiegenen Varianz in den Produktionsprozessen hinzuweisen. Dies kann beispielsweise mit Hilfe verschiedener Workshops im Rahmen der Arbeitsvorbereitung oder durch eine temporäre Integration der Entwickler in die bestehenden Produktionsprozesse geschehen. Gleichzeitig ermöglicht Erfahrungswissen aus anderen Entwicklungsprojekten und Serienanläufen verschiedener Produktgenerationen oder -familien den Umgang mit einer hohen Komponentenvielfalt zu beherrschen. Eine zentrale Rolle stellt dabei die Identifikation relevanter Anlaufferfahrung der Mitarbeiter dar. Weiteres Wissen kann mit Hilfe einer stärkeren Integration von System- und Modullieferanten und deren entsprechendes Know-how in der Produktgestaltung genutzt werden.

### ***Erhöhung der Flexibilität (wirkungsbezogene Maßnahmen)***

Die wirkungsbezogenen Maßnahmen beziehen sich auf die zuvor priorisierten Risiken (vgl. Bild 5.19). Für die Auswahl relevanter Maßnahmen werden die Risiken zunächst den entsprechenden Indikatoren zugeordnet. Die Auswahl bezieht sich dabei auf die Faktoren, die eine direkte Beeinflussung der Risiken ermöglichen. Die Vernetzung der Einflussfaktoren wurde bereits im Wirkmodell verdeutlicht. Im Rahmen der Risikobetrachtung besteht ebenfalls eine Interaktion zwischen den verschiedenen Einzelrisiken. Für eine möglichst große Breitenwirkung sind Maßnahmen zu bevorzugen, die auf möglichst viele Einflussfaktoren einen Effekt haben. Weiterhin kann als ein zusätzliches Auswahlkriterium die Wirksamkeit in den verschiedenen Phasen des Serienanlaufs in Betracht gezogen werden. Am Beispiel der vier identifizierten Hauptrisiken (vgl. Bild 5.19) ergibt sich folgende Zuordnung zu den verschiedenen Einflussfaktoren und den entsprechenden Phasen (vgl. Bild 5.23). Die beispielhafte Selektion der Maßnahmen anhand der Indikatoren kann dem Anhang E entnommen werden.

Im Bereich der Prozessgestaltung führt die Erhöhung der Prozess-Kommunalität zu einer Reduzierung der Abhängigkeit verschiedener Montageprozesse. Ein Großteil der vorgestellten Prozessschritte kann mit Hilfe identischer Betriebsmittel durchgeführt werden, dies ist auf die identischen Montagetätigkeiten zurückzuführen (vgl. Bild 5.5). Ziel muss es sein, innerhalb der Bearbeitung eines Montageschrittes, trotz varianter Komponenten, identische

Betriebsmittel zu nutzen (vgl. Bild 5.23 Risiko 7). Gerade im Bereich der Mitarbeiterschulung führt dies zu einer verbesserten Lernkurve. Eine weitere Maßnahme stellt das Postponement dar. Die zeitliche Verschiebung der varianten Montagetätigkeiten an das Ende der Wertschöpfungskette, ermöglicht ebenfalls eine erhöhte Lernkurve für standardisierte Prozesse. Durch Wiederholung identischer Tätigkeiten kann so eine schnelle Mitarbeiterschulung erfolgen. Neben der Verschiebung bietet auch die sukzessive Einführung der entsprechenden Varianten die Möglichkeit, die Auswirkungen einer frühen Variantenentstehung entgegen zu wirken. Zunächst erfolgt lediglich die Fertigung einer Basisvariante, um anschließend eine schrittweise Hinzunahme verschiedener Varianten (z.B. bei KW, KG, KS) durchzuführen (vgl. Bild 5.23 Risiko 7).

Risiken, ausgehend von „Anzahl varianter Komponenten“	zugeordnete Indikatoren	Potentielle Maßnahme für die Indikatoren
7 erhöhte Prozessvielfalt	→ Prozessvielfalt	→ Prozess-Kommunalität, Postponement
1 Auflösung von Standards	→ Anzahl varianter Komponenten	→ Gleichteilestrategie
10 Lieferantenkoordination	→ Anzahl Lieferanten/ Fertigungstiefe, Entwicklungstiefe	→ Modulstrategie, Outsourcing von Modulen
2 Anpassung von Schnittstellen	→ Kopplungsgrad, Verkettungsgrad	→ Modulstrategie, Entkopplung von Prozessen

Bild 5.23: Beispiel der Zuordnung von Risiken zu den entsprechenden Indikatoren

Eine identifizierte Maßnahme zur Absicherung des Serienanlaufs aus produktstrategischer Sicht ist die Gleichteilestrategie. Mit Hilfe dieser kann beispielsweise eine Leistungsdifferenzierung der Modelle mit Hilfe einer elektronischen Regelung oder lediglich mit Hilfe des Vergasers erfolgen (V). Der Motor (M) kann so als eine Übernahmekomponente im Standard verbleiben (vgl. Bild 5.6). Bei diesem Vorgehen muss diese Komponente nicht in Kooperation mit dem Systemlieferanten innerhalb der Entwicklung koordiniert werden, was einen positiven Einfluss auf die Lieferantenkoordination im Anlauf (vgl. Bild 5.23 Risiko 10) hat. Das reduziert zusätzlich die Komponentenvielfalt und führt folglich auch zu einer Reduzierung der Veränderung geschaffener Standards im Produkt (vgl. Bild 5.23 Risiko 1).

Eine Modularisierung verschiedener Komponenten (vgl. Abschnitt ursachenbezogene Maßnahmen) ermöglicht das Outsourcing gesamter Module an Lieferanten. Im Besonderen bietet sich die Vergabe des „Vergasermoduls“ (VB, V, LF, C) an. Eine Zulieferung des gesamten Moduls ermöglicht die Konzentration auf die verbliebenen Prozessschritte und führt zur Reduzierung der Lieferantenkoordination (vgl. Bild 5.23 Risiko 10). Durch einen zusätzlichen anfänglichen Puffer für das Zuliefermodul können Lieferengpässe seitens des Lieferanten abgefangen und gleichzeitig eine Volumenflexibilität zu Beginn des Produktionshochlaufs ermöglicht werden.

Eine Reduzierung der Auswirkung durch Anpassung der Schnittstellen kann prozesseitig durch die Entkopplung der einzelnen Montageschritte erfolgen. Dazu werden beispielsweise vorübergehend Puffer zwischen den einzelnen Montagestationen installiert. Im Fall einer Anpassung ermöglicht dies eine zusätzliche Flexibilität zur Erlernung der geänderten Montageschritte aufgrund neuer oder zusätzlicher Schnittstellen (vgl. Bild 5.23 Risiko 2). Eine verstärkte Parallelisierung der Prozesse reduziert ebenfalls eine mögliche Anpassung. Verände-

rungen werden innerhalb der parallelen Prozesse abgefangen, da die Abhängigkeit aufeinanderfolgender Montagetätigkeiten reduziert wird.

Aus der vorgestellten Matrix ergeben sich verschiedene ursachen- und wirkungsbezogene Maßnahmen, die zu einer Reduzierung der Risiken beitragen können. Die Reduzierung ergibt sich aus der positiven Beeinflussung der verschiedenen Indikatoren und damit einhergehend, wie im Wirkmodell aufgezeigt, auch eine Verbesserung der angestrebten Zielgrößen im Serienanlauf. Auf Basis des eingeführten Wirkmodells (vgl. Bild 4.3) lässt sich eine qualitative Aussage über die Effekte der beschriebenen Maßnahmen treffen (vgl. Bild 5.24). Die ausgewählten Maßnahmen führen zu einer Reduzierung der durch die Einflussfaktoren induzierten Risiken auf alle drei Zielgrößen und zum anderen auch indirekt durch die reduzierte Produktkomplexität auf den Einflussfaktor späte Änderungen.

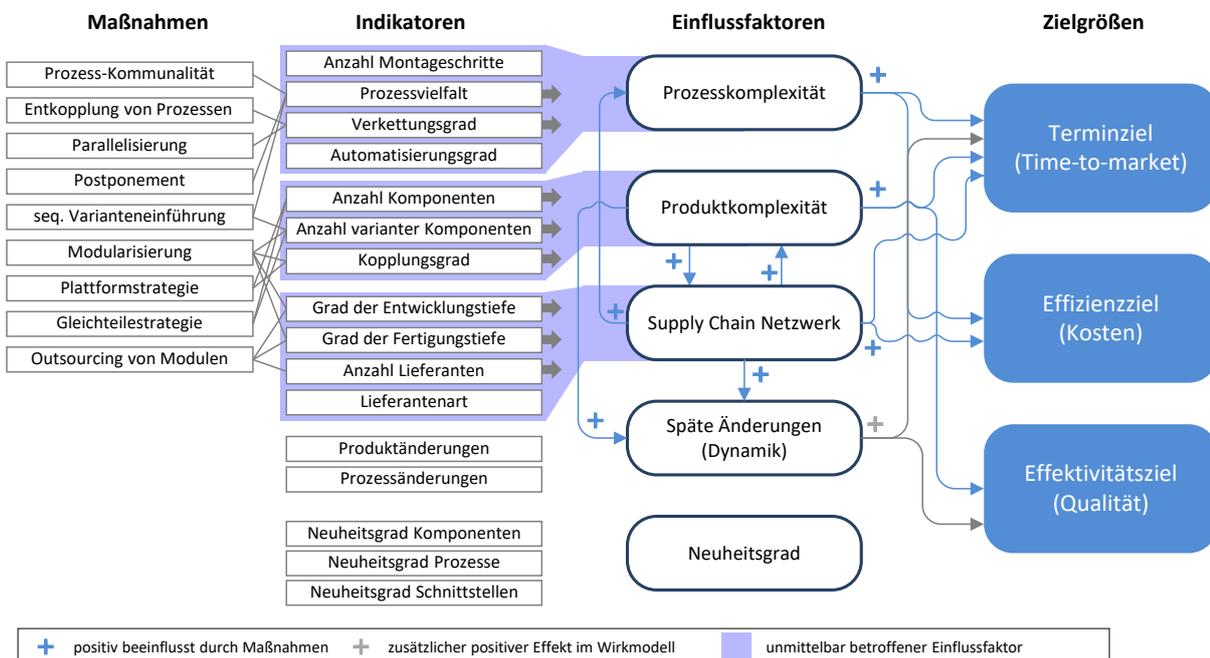


Bild 5.24: Effekt der möglichen Maßnahmen auf die Zielgrößen

Aufgrund der empirisch belegten Zusammenhänge kann davon ausgegangen werden, dass durch die Maßnahmeneinleitung ein positiver Effekt auf die Zielgrößen erzielt werden kann. Eine Implementierung oder Berücksichtigung der identifizierten Handlungsbereiche muss anschließend innerhalb der Produkt- und Prozessgestaltung erfolgen. Die dargestellten Maßnahmen bilden das Rahmenwerk. Im Zuge der weiteren Ausgestaltung und Definition der Produktfamilie können die entsprechenden Elemente Berücksichtigung finden. Weitere Maßnahmen können der entsprechenden Matrix entnommen werden. Die Zuordnung in ursachen- und wirkungsbezogene Maßnahmen ist nicht trennscharf. Der Ansatz der Modularisierung beispielsweise kann zum einen die Auftrittswahrscheinlichkeit und zum anderen auch die Auswirkungen bestimmter Risiken reduzieren.

## 6 Validierung am Fallbeispiel aus der Flugzeugindustrie

Im Rahmen der Validierung wird überprüft, ob die entwickelte Methode den zuvor definierten Anforderungen gerecht wird. Ein weit verbreiteter Ansatz in der Forschung ist die Validierung mittels einer Fallstudie [Ble09], [Yin09]. Die Fallstudie erlaubt eine Anwendung im realen Kontext und zählt zu den explanativen Ansätzen. Eine Einzelfallstudie ist dann als Validierung geeignet, wenn der Anwendungsfall ein typisches und repräsentatives Beispiel für die Anwendung der entwickelten Methode darstellt.

Das im Folgenden dargestellte Anwendungsbeispiel wurde aus der Zusammenarbeit des Instituts PKT mit einem Luftfahrtunternehmen im Rahmen eines Industrieprojektes und dem geförderten Luftfahrtforschungsprojekt Smart Ramp-up der Spitzenclusterinitiative „Neues Fliegen“ des BMBF abgeleitet. Als Studienfall dient dabei der Serienanlauf einer neuen Produktgeneration einer Flugzeugfamilie. Untersuchungsobjekt ist ein neuartiges Kabineninstallationskonzept für die Inneneinrichtung von Flugzeugkabinen, das hinsichtlich der Anlauf Risiken und möglicher Maßnahmen untersucht wird.

Das Vorgehen gliedert sich dabei in drei Hauptabschnitte. Zunächst erfolgen die Planung der Einzelfallstudie und die Aufstellung der Prüfungshypothesen. Diese lassen sich aus den in Kapitel 2.4 vorgestellten Anforderungen ableiten. Im zweiten Schritt wird das zuvor entwickelte methodische Vorgehen zur Bewertung von Anlauf Risiken anhand der Beispielstudie durchgeführt. Abschließend erfolgt die Auswertung der Fallstudie hinsichtlich der aufgestellten Prüfungshypothesen.

### 6.1 Planung der Fallstudie

Im Folgenden werden die Grundlagen der Durchführung der Fallstudie vorgestellt. Dazu erfolgt zunächst die Aufstellung der Prüfungshypothesen. Anschließend werden kurz der Anwendungsfall und das praktische Vorgehen beschrieben. Abschließend erfolgt die Beschreibung der notwendigen Daten zur Durchführung der Fallstudie.

#### 6.1.1 Prüfungshypothesen

Die in Kapitel 2.4 beschriebenen Anforderungen an die zu entwickelnde Methode bilden die Grundlage zur Formulierung der folgenden Prüfungshypothesen. Anhand der Hypothesen wird innerhalb der Validierung überprüft, in wie weit die Methode zur Bewertung von Anlauf Risiken den identifizierten Anforderungen gerecht werden.

1. Die Methode ist dazu geeignet, Anlauftrisiken bereits in einer frühen Phase der Entwicklung zu identifizieren und eine zielgerichtete Beeinflussung hinsichtlich der zentralen Zielgrößen im Serienanlauf zu unterstützen.
2. Das Bewertungsverfahren ermöglicht eine aussagekräftige Abschätzung bei Kleinserienprodukten im Flugzeugbau, auch unter dem Aspekt der unscharfen oder fehlenden Information.
3. Unter Anwendung der Methode werden die relevanten Einflussfaktoren auf einen effizienten Serienanlauf identifiziert und deren Zusammenhänge aufgezeigt.
4. Die Methode ist geeignet, neben den prozessorientierten Gestaltungsansätzen im Serienanlauf auch die strategische Produktgestaltung gleichwertig zu berücksichtigen.
5. Die Ableitung von Handlungsmaßnahmen ist an den identifizierten Risikofaktoren und deren Auswirkung auf die Zielerreichung ausgerichtet.
6. Die Vorgehensweise ist leicht nachvollziehbar und unterstützt den Anwender in der selbstständigen Durchführung.

### 6.1.2 Anwendungsfall

Die Methode zur Bewertung von Anlauftrisiken in der Produktentwicklung wird an einem Beispiel der Flugzeugindustrie validiert. Dabei handelt es sich um den Flugzeugkabinenbereich einer neu einzuführenden Flugzeugfamilie. Im Speziellen konzentriert sich die Fallstudie auf die Installation der Kabinenverkleidungselemente. Diese besteht aus den im Bild 6.1 dargestellten Hauptkomponenten. Das Hauptunterscheidungsmerkmal zwischen den zwei Varianten stellt das Öffnungsprinzip der Verstaufächer, auch Hatrack genannt, dar. Die Variante fixed Bin wird durch die Klappe nach oben geöffnet. Die Variante moveable Bin entspricht einer Schütte und wird nach unten geöffnet. Unterhalb des Hatracks werden die Service Elemente wie z.B. Licht, Luft und Sauerstoffmasken als Passenger Service Unit bezeichnet.

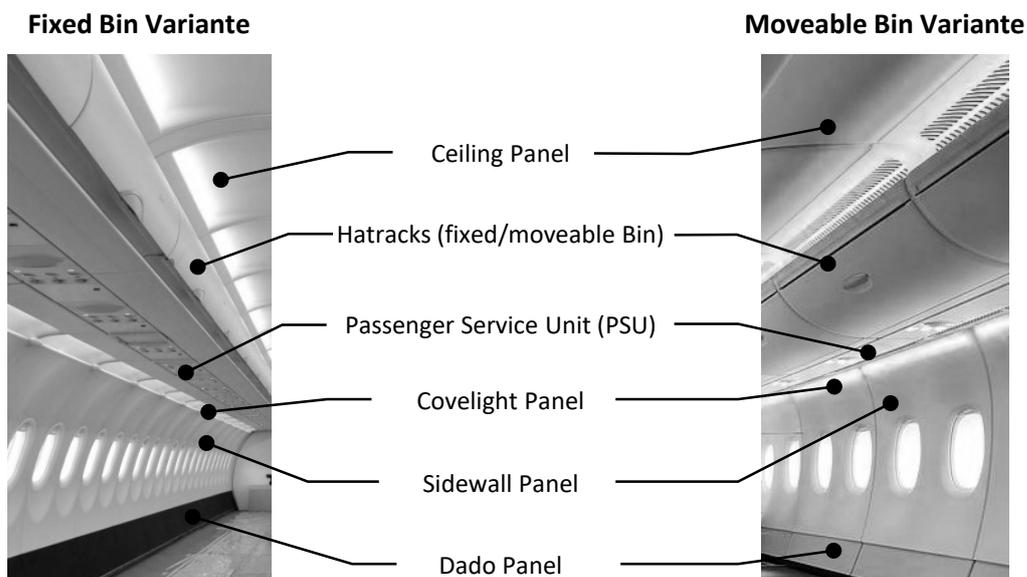


Bild 6.1: Übersicht der Hauptkomponenten der Kabinenverkleidung

Die Elemente Ceiling, Covelight, Sidewall und Dado Panel dienen der Verkleidung der Flugzeugsysteme und bilden den Abschluss zum Kabinenbereich. Die Kabine stellt für die Fluggesellschaft das wesentliche Unterscheidungsmerkmal zum Wettbewerber dar. Dementsprechend ist in diesem Bereich eine hohe externe Vielfalt vorzufinden. Dies wiederum führt gleichzeitig auch zu einer hohen internen Vielfalt der Komponenten. Die bestehende Produktarchitektur zeichnet sich durch eine hohe Anzahl an Komponenten und zahlreichen Schnittstellen aus.

Aufgrund der langen Produktlebenszyklen (vgl. Kapitel 2.3.2) kommt es vom alten zum neuen Produkt häufig zu Technologiesprüngen. Dies führt zu einem hohen Grad an Komplexität und dem Einsatz neuer Technologien, welche wesentliche Treiber zur Abweichung von Anlaufzielen darstellen können. Der Kabinenbereich eignet sich als Validierungsbeispiel, da die Lebenszyklen häufiger durchlaufen werden, als für ein gesamtes Flugzeugprogramm. Damit kommt es zu einer häufigeren Anlaufsituationen in denen neue Technologien verbaut und neue Montageschritte erlernt werden müssen und zum anderen beinhaltet der hohe manuelle Montageaufwand in der Kabine die Gefahr, dass die Kabineninstallation zum kritischen Pfad der Flugzeugmontage wird. Der vorliegende Anwendungsfall eignet sich deshalb als Fallstudie zur Validierung der Methode, da dies ein ausreichend komplexes, ganzheitliches und in sich geschlossenes Themengebiet darstellt, um die Wirksamkeit der entwickelten Methode zu untersuchen. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass die Fallstudie ein allgemeingültiger Anwendungsfall im Unternehmensumfeld widerspiegelt, der den entsprechenden zentralen Anlaufzielen Zeit, Kosten und Qualität unterliegt.

Die Zugänglichkeit der Daten zur Auswertung der Fallstudie war durch die Teilnahme des Industriepartners an dem entsprechenden Projekt sichergestellt. Die Durchführung der Bewertung erfolgte auf Basis verschiedener Workshops mit Hilfe der Integration verschiedener Experten aus den entsprechenden Fachbereichen. Für die Beschreibung im Folgenden werden die Daten der Fallstudie aus Geheimhaltungsgründen in leicht abgewandelter Form dargestellt.

## **6.2 Durchführung der Fallstudie**

Die Durchführung erfolgt innerhalb von der in Kapitel 5.1 vorgestellten Phasen. Zunächst werden der Betrachtungsgegenstand innerhalb der Fallstudie und die Abgrenzung zum Gesamtprodukt vorgestellt. Anschließend erfolgt die Identifizierung der potentiellen Risikobereiche. Diese werden anschließend einer Risikoanalyse, mit anschließender Zuordnung von Handlungsmaßnahmen, unterzogen.

### **6.2.1 Fallstudie einer Kabineninstallation in der Flugzeugindustrie**

Betrachtungsgegenstand der Fallstudie im Rahmen eines Serienanlaufprojektes ist eine zukünftige Kabineninstallation für eine neue Flugzeuggeneration. Eine Validierung des gesamten Anlaufprojektes ist aufgrund des Umfangs und Zugänglichkeit an Informationen für die Fallstudie nicht darstellbar gewesen. Für die Validierung wird sich deshalb im Folgenden auf das Teilsystem der Kabinenmontage konzentriert, welche innerhalb der Endmontage eines Flugzeuges stattfindet (vgl. Bild 6.2). Der grobe Ablauf der Produktionsschritte ist innerhalb der folgenden Abbildung dargestellt. Die dazugehörige vorgelagerte Entwicklung wurde be-

reits in Abschnitt 2.3.1 beschrieben. Die nachfolgenden Analyseschritte fokussieren sich auf die Integration der Kabinenverkleidung (vgl. Bild 6.1), die zum einen zur Abdeckung dahinterliegender Bordsysteme dient und zum anderen relevante Funktionen, wie beispielsweise Licht, Luft, Sauerstoffmasken sowie Gepäckaufnahme, für die Passagiere bereitstellt. Die Integration der Module bzw. Großbauteile, wie Küchen oder Bordtoiletten, erfolgt bereits zeitlich vor der eigentlichen finalen Ausstattung der Flugzeugkabine. Nach Einbau der Kabinenverkleidung werden abschließend die Kabinensitze installiert, die nicht mehr Bestandteil der Betrachtung in der Fallstudie sind.

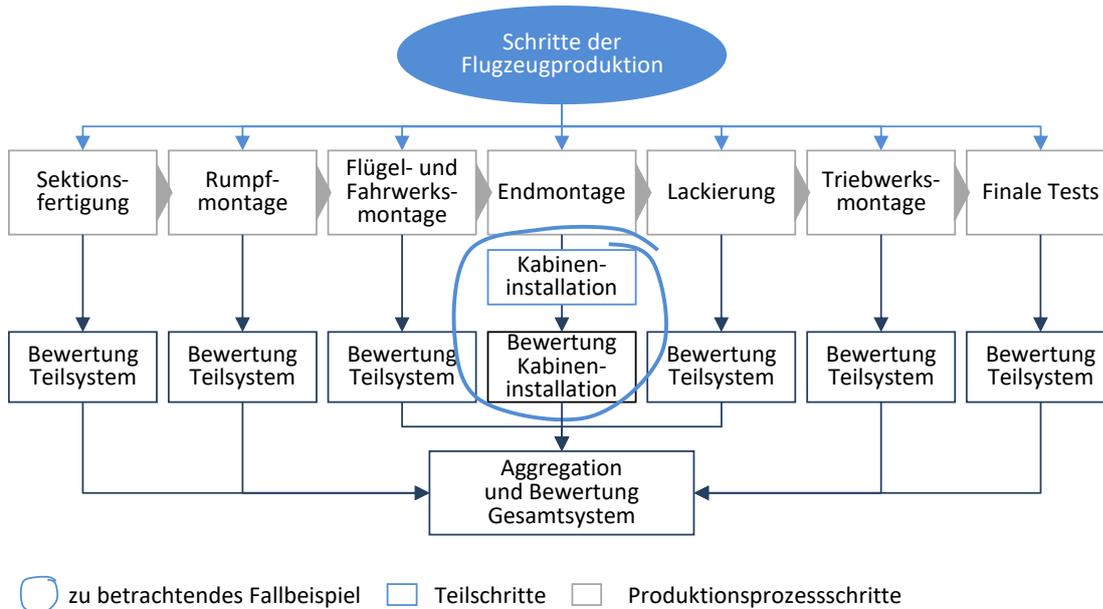


Bild 6.2: Abgrenzung der Fallstudie zum Gesamtanlaufprojekt

Die Prozesskomplexität in der Montage der relevanten Kabinenverkleidung (Lining) und der Gepäckaufnahme (Hatracks) entsteht vor allem durch den hohen manuellen Aufwand und der hohen Kundenindividualität. Entsprechend der Kundenkonfiguration ändern sich die Einbaupositionen oder gegebenenfalls auch die Ablaufschritte in der Montage. Weiterhin werden alle Elemente individuell für das entsprechende Flugzeug produziert und zusammengestellt. Ein Verbau der Komponenten in anderen Flugzeugen ist nicht vorgesehen. Im Serienanlauf führt diese hohe Individualität zu entsprechend geringen Lernkurven, hohen Trainingsaufwänden und langen Durchlaufzeiten. Im Rahmen der zukünftigen Kabinenintegration soll eine verbesserte Produktstruktur die Durchlaufzeit des Montageprozesses und die Customizing-Aufwände reduzieren.

Das neu einzuführende Produktfamilienkonzept der Kabinenverkleidung ist im folgenden Bild 6.3 dargestellt [Els13a]. Eine detailliertere Darstellung kann dem Anhang F entnommen werden. Drei zentrale Elemente unterscheiden die neue Produktarchitektur von den bestehenden Komponenten. Eine zentrale Plattform dient zukünftig als Aufnahme der verschiedenen Hatrack-Module (Variante Fixed und Variante Moveable Bin). Dazu wird eine zusätzliche Schnittstelle innerhalb des ursprünglichen Hatracks geschaffen. Die zusätzliche Schnittstelle soll den Variantenentstehungspunkt zeitlich ans Ende des Montageprozesses verschieben und erhöht dadurch den Anteil an standardisierten Montageprozessen. Weiterhin wird mit Hilfe einer zentralen Schnittstelle der Anschluss für die relevanten Versorgungskompo-

nenten (z.B. Licht, Luft) vereinfacht. In Kombination mit dem standardisierten Versorgungskanal zur Aufnahme der einzelnen PSU-Komponenten, bietet die Schnittstelle die Möglichkeit die Installation der einzelnen Komponenten zu standardisieren und zu beschleunigen. Das neu einzuführende Konzept soll innerhalb der Produktion vor allem durch einen erhöhten Standardisierungsgrad und der stark vereinfachten Montageaufwände die Zielgrößen Zeit und Kosten positiv beeinflussen.

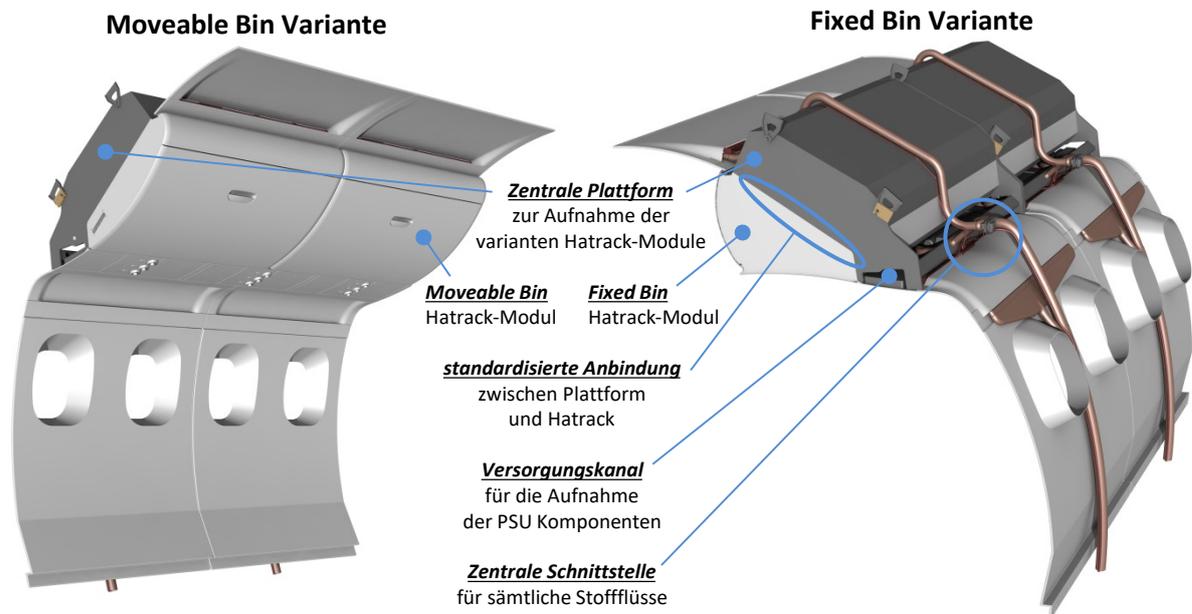


Bild 6.3: Charakteristik des neuen Produktfamilienkonzepts

## 6.2.2 Identifikation der Risikobereiche

Im Folgenden Abschnitt erfolgt im Rahmen der Ist-Aufnahme eine detaillierte Beschreibung des neuen Produktfamilienkonzepts. Anschließend werden die relevanten Risikobereiche im Rahmen der Abschätzung der Indikatoren untersucht.

### 6.2.2.1 Zieldefinition und Erfassung der Indikatoren

Ausgehend von den zentralen Anlaufzielen der Gesamtprodukteinführung werden die drei Zielgrößen auf die Fallstudie übertragen. Dabei geht es nicht um die mit Hilfe des neuen Konzeptes zu erreichenden Vorteile innerhalb der laufenden Produktion, sondern um die Sicherstellung einer effizienten Überführung aus der Entwicklung in die Produktion.

- Terminziel (Time-to-Market) → Verhinderung von Verzögerungen in der Entwicklung und Etablierung der Montageprozesse
- Effizienzziel (Kosten) → Vermeidung von ungeplanten Entwicklungs- und Produktionskosten
- Effektivitätsziel (Qualität) → Sicherstellung der Funktionalität und Reifegrad neu einzuführender Technologien

Die im entwickelten Wirkmodell identifizierten zentralen Einflussfaktoren finden auch in der Fallstudie Anwendung. Eine Erweiterung um zusätzliche Faktoren ist nicht notwendig, da die Erkenntnisse aus der durchgeführten explorativen Studie (vgl. Kapitel 2.3.3) bereits im me-

thodischen Vorgehen berücksichtigt werden. Somit können auch die in dem Kontext identifizierten Indikatoren zur Abschätzung der Einflussfaktoren (vgl. Bild 4.3) zur Anwendung kommen.

### 6.2.2.2 Ist-Soll Aufnahme der Produkt- und Prozessstrukturen

Die Ist-Aufnahme wird mit Hilfe der im Schritt 1 festgelegten Werkzeuge durchgeführt (vgl. Bild 5.2). Diese dient anschließend als Grundlage für die weitere Abschätzung der einzelnen Risikobereiche.

Die ursprüngliche Produktstruktur ist im Wesentlichen durch zahlreiche Einzelkomponenten gekennzeichnet. Das Hauptunterscheidungsmerkmal für den Passagier ist das Öffnungsprinzip des Hatracks (moveable oder fixed Bin). Entsprechend der zwei Varianten werden aufgrund der unterschiedlichen Positionen und Befestigungen an der Primärstruktur variante Komponenten benötigt. Der abgebildete MIG des aktuellen Produkts spiegelt die hohe Varianz wieder (vgl. Bild 6.4 Vorgängerprodukt).

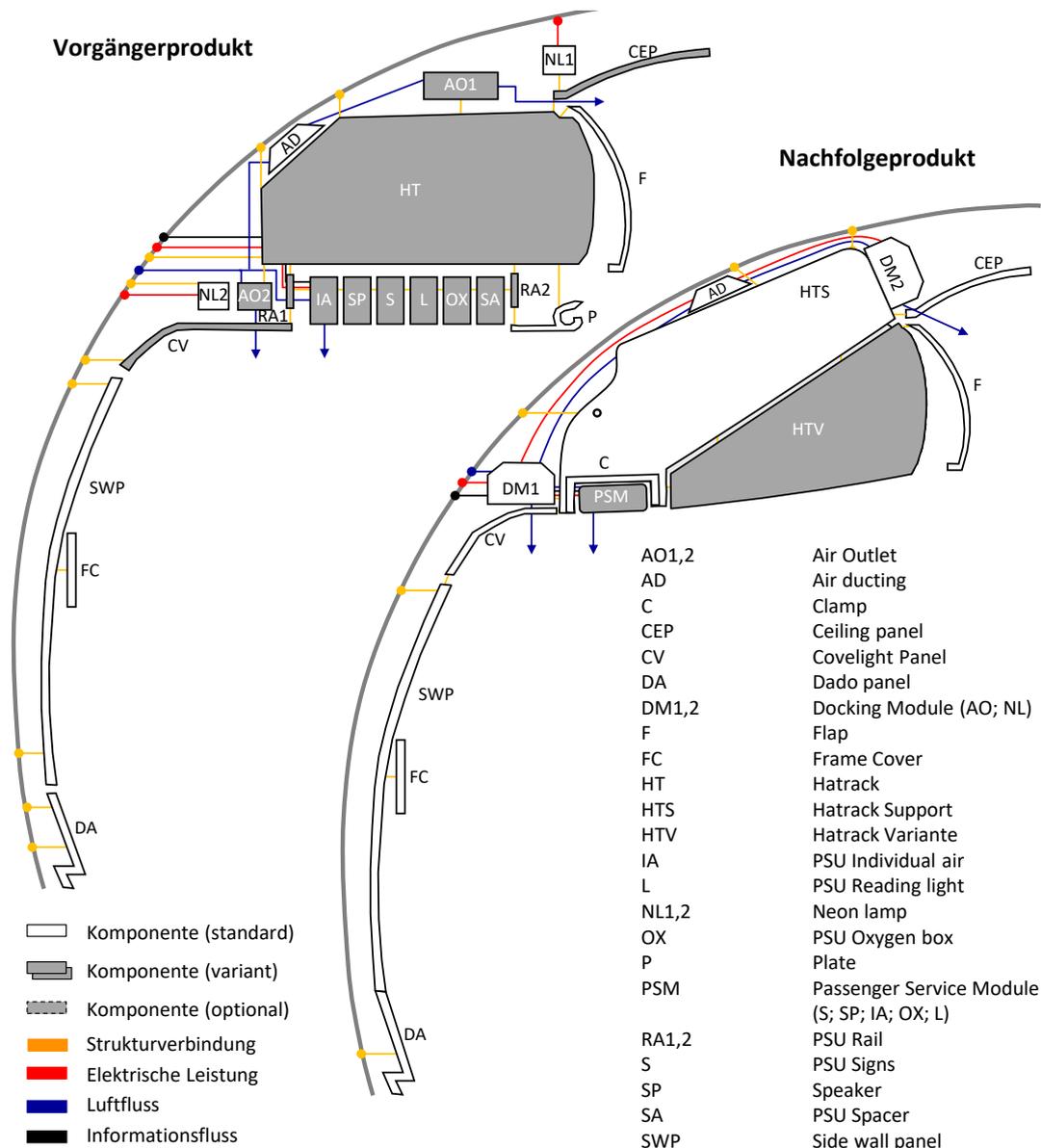


Bild 6.4: Gegenüberstellung Vorgänger- und Nachfolgeprodukt als MIG-Darstellung

Aufgrund der unterschiedlichen Halterungspunkte müssen entsprechend viele Komponenten in varianter Ausführung vorgehalten werden. Der grundsätzliche Aufbau besteht im unteren Teil aus der Seitenverkleidung (SWP) und dem verschraubtem Fensterrahmen (FC) sowie dem Dado Panel (DA). Die Schnittstelle zur Primärstruktur stellen vorinstallierte standardisierte Plastikklipse dar. Die Anbindung des Hatracks (HT) wird mit Hilfe von drei verstellbaren Tie-rods an die Struktur realisiert. Unterhalb des Hatracks befindet sich neben den Luftauslässen für die Kabinenklimatisierung zusätzlich Lichtelemente (NL) die ebenfalls direkt mit der Struktur verbunden werden. Alle weiteren Komponenten werden unmittelbar an dem Hatrack befestigt. Dazu zählen vorinstallierte Komponenten, wie der Luftschlauch (AD) auf der Rückseite, der Luftauslass oben (AO) und die Lichtelemente auf dem Hatrack. Alle für den Passagier relevanten Komponenten (IA, S, SP, OX) werden in zwei quer angebrachten Schienen (RA) angebracht. Im Vergleich zum Nachfolgeprodukt stellt die zusätzliche Schnittstelle innerhalb des Hatracks das größte Unterscheidungsmerkmal dar. Dadurch steht eine standardisierte Komponente zur Verfügung (HTS), die als Trägermodul für sämtliche Anbauteile genutzt werden kann. Das variante Öffnungsprinzip wird durch zwei zusätzliche Komponenten (HTV) realisiert [Els13a], [Els14]. Der Luftauslass oberhalb und unterhalb des Hatracks wird mit den Lichtelementen zu einem Modul zusammengefasst (DM1, DM2). Ähnlich wie im Vorgängerprodukt werden die passagierrelevanten Funktionen unterhalb des Hatracks verbaut und zu einem Modul (PSM) zusammengefasst. Die Aufnahme (C) kann aufgrund der identischen Einbauposition standardisiert werden. Ebenfalls kann das Covelight Panel (CV) durch die gleichen Haltepunkte an der Struktur standardisiert werden, welches als Übergang zwischen Sidewall Panel (SWP) und Hatrack (HT) fungiert. Das Dado Panel (DA) hat eine neue Schnittstelle mit dem Sidewall Panel (SWP), anstatt lediglich separat mit der Struktur verbunden zu werden. Wie im Bild 6.4 dargestellt, kann zusammenfassend festgehalten werden, dass das neue Produktfamilienkonzept einen wesentlich höheren Standardisierungsgrad aufweist. Dies wirkt sich positiv auf die Produktkomplexität und den Aufwänden im Montageprozess aus. Der Carry-over-Chart (CoC) ist in Bild 6.5 ausschnittsweise dargestellt, vollständig kann der CoC dem Anhang F entnommen werden.

Komponenten	aktuelles Produkt	geplantes Produkt	Summe über beide Generationen
1 Air Outlet (AO)	(V)	-	2
2 Air ducting (AD)	(S) → (S)	(S)	1
3 Clamp (C)	-	(S)	1
21 PSU Signs (S)	(V)	-	2
22 Schütte (SCH)	(S)	(S)	2
23 Speaker (SP)	(V)	-	2
24 PSU Spacer (SA)	(V)	-	3
25 Side wall panel (SWP)	(S) → (S)	(S)	1
Summe Produktkomponenten	31	16	43

**Legende**

- (S) / (S) Standard ohne/mit Übernahme
- (V) / (V) Variant ohne/mit Übernahme
- (O) / (O) Optional ohne/ mit Übernahme
- Carry-over
- externe Entwicklung

Bild 6.5: Auszug CoC der Übernahmekomponenten für das Lining-Konzept

Aufgrund der Umgestaltung zentraler Elemente (HT, PSM) können nicht viele Komponenten übernommen werden. Lediglich im Bereich der Sidewall Panels und diversen Anbauteilen (z.B. Luftschlauch (AD)) ist eine Übernahme ohne großen Anpassungsaufwand möglich. Die anderen vorgestellten neuen Komponenten müssen aufgrund der angepassten Geometrien, Funktionen und Schnittstellen weitestgehend neu entwickelt werden. Das vorgestellte Passenger Service Module (PSM) und die Entwicklung des zweigeteilten Hatracks (HTS und HTV) muss neu gestaltet werden. Weiterhin ist im Carry-over-Chart ersichtlich, dass eine große Reduzierung der Anzahl der Komponenten erzielt wurde. Dies ist vor allem auf die Integration der einzelnen Komponenten für die Passagiersversorgung (IA, L etc.) zurückzuführen. Die Komponenten werden innerhalb des neugeschaffenen Moduls integriert und reduzieren so den Installationsaufwand.

Innerhalb der Änderungs-DSM (vgl. Anhang F) ist sowohl für das Vorgänger- als auch Nachfolgeprodukt ersichtlich, dass die Matrizen symmetrisch aufgeteilt sind. Dies verdeutlicht die wechselseitige Beziehung der einzelnen Elemente. Eine relevanten Multiplikator oder Puffer für mögliche Änderungen an den Komponenten lässt sich nicht identifizieren. Somit kann davon ausgegangen werden, dass im Falle auftretender Änderungen eine Fortpflanzung von Änderungen an andere Komponenten nicht gegeben ist. Lediglich die durch zahlreiche Schnittstellen gekennzeichnete Komponenten (HTS und DM1) führen im Falle einer Änderung zu erhöhten Aufwänden.

Nachfolgend ist vereinfacht der aktuelle und geplante Montageprozess im Montagevorranggraph abgebildet (vgl. Bild 6.6). Die Prozesse sind ausschließlich manuell durchzuführen.

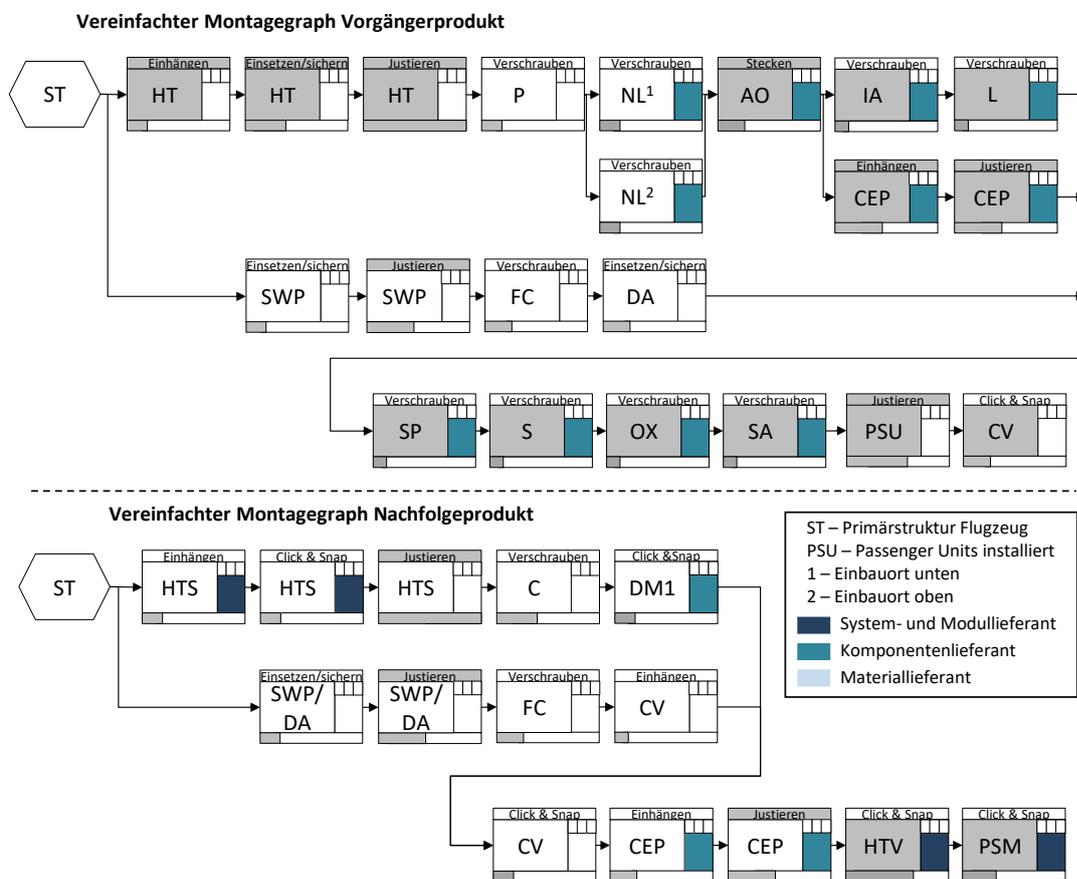


Bild 6.6: Vergleich Montageprozess (vereinfacht) Vorgänger- und Nachfolgeprodukt im iPas

Durch den begrenzten Einbauort innerhalb des Flugzeugrumpfs ist nur eine begrenzte Parallelisierung der Montageprozesse möglich. Wie bereits zuvor beschrieben, wird mit Hilfe der Bündelung einzelner Komponenten zu Modulen der Montageprozess und die damit verbundenen Installationsaufwände im Vergleich zum Vorgängerprodukt reduziert. Dies spiegelt sich auch bei der Betrachtung der Durchlaufzeiten wieder. Eine frühzeitige Betrachtung der Prozesszeiten kann mit Hilfe von Arbeitsablauf-Zeitanalysen bestimmt werden. Im vorliegenden Fallbeispiel wurden mit Hilfe von MTM (System vorbestimmter Zeiten) Durchlaufzeiten für die zukünftigen Prozessschritte ermittelt. Als Ergebnis ergibt sich eine Reduzierung der Durchlaufzeiten um ca. 60% im Vergleich zum ursprünglichen Montageprozess.

Innerhalb des Vorgängerprodukts bildet die Montage des Hatracks (HT) an die Primärstruktur den Ausgangspunkt. Dabei wird das Hatrack zunächst am oberen Halter eingehängt und mit Bolzen gesichert. Mit Hilfe der verbleibenden zwei verstellbaren Halter (Tie-rods) wird anschließend das Hatrack zunächst in Position gebracht und justiert. Als bereits vorinstallierte Komponenten befinden sich auf der Rückseite der Luftschlauch (AD), der obere Luftauslass (AO) und die Befestigungsschienen (RA). Das Hatrack bildet die Grundlage für die weitere Montage des Haltegriffs (P) und die obere und untere Kabinenbeleuchtung (NL). Anschließend erfolgt die Verbindung des unteren Luftauslasses (AO) mit den Systemanschlüssen an der Primärstruktur. Unterhalb der bereits installierten Hatracks kann die Seitenverkleidungen (SWP) mit Fensterrahmen (FC) und Dado Panel (DA) in die vorinstallierten Halter eingesetzt und anschließend ausgerichtet werden. Unterhalb des Hatracks erfolgt die Installation der relevanten Passagiersversorgungselemente (Licht, Luft und Sauerstoffmasken). Dabei werden die zugelieferten Elemente zunächst eingehangen und mit den entsprechenden Systemschnittstellen verbunden und verschraubt. Parallel dazu können oberhalb der Hatracks die entsprechenden Ceiling Panels eingehangen werden. Sind alle Elemente ausgerichtet und angeschlossen, wird abschließend das Covelight Panel und das Lining geschlossen.

Im Vergleich zum Vorgängerprodukt erfolgt eine Zulieferung mehrerer Module anstatt zahlreicher Einzelkomponenten. Der Ablauf ist ähnlich zum Vorgängerprodukt. Allerdings werden beide variante Module erst zum Ende des Montageprozesses montiert. Mit Hilfe der Verschiebung des Variantenentstehungspunktes wird der Anteil der standardisierten Prozesse erhöht. Zunächst erfolgt die Installation der Standard Hatrack-Anteils (HTS). Dabei werden standardisierte Haltepunkte verwendet. Ähnlich wie beim Vorgängerprodukt werden der Luftschlauch (AD) sowie das Modul mit Licht- und Luftauslass (DM2) vorinstalliert. Nach Ausrichtung der Hatracks erfolgt die Verschraubung des Haltekanals (C) zur späteren Aufnahme des PSM-Moduls. Anschließend wird das untere Licht- und Luftmodul (DM1) eingeklickt. Etwas zeitversetzt wird unterhalb der Hatracks die vormontierten Seitenverkleidungen mit dem Dado Panel eingehangen, justiert und fixiert. Bevor final das Hatrack geschlossen wird, werden die Ceiling Panels montiert. Abschließend erfolgt die Montage des varianten Hatrack-Anteils (HTV) und entsprechend der Sitzkonfiguration das PSM Modul.

### 6.2.2.3 Abschätzung der Indikatoren

Die Ermittlung der relevanten Indikatoren für die jeweiligen Einflussfaktoren erfolgt in Schritt 2 analog zu den vorgestellten Berechnungen im Abschnitt 5.2.2. Die durchgeführte

Abschätzung kann dem Anhang F entnommen werden. Zusammenfassend ist in Tabelle 6.1 das Ergebnis dargestellt. Indikatoren von denen ein potentielles Risiko ausgehen kann sind der Kopplungsgrad, die Prozessvielfalt, Neuheitsgrad der Komponenten, Prozesse und Schnittstellen sowie die Prozessänderungen.

Tabelle 6.1: Übersicht Abschätzung der Indikatoren

<b>Produktkomplexität</b>	Vorgängerprodukt	Nachfolgeprodukt	$\Delta\%$	pot. Risiko
Anzahl Komponenten	31	16	-48%	↓
Anzahl varianter Komponenten	21	4	-81%	↓
Kopplungsgrad	0.11	0.19	73%	↑
<b>Prozesskomplexität</b>				
Anzahl Montageschritte	21	14	-33%	↙
Prozessvielfalt	0.29	0.36	24%	↗
Verkettungsgrad	0.67	0.71	6%	→
Automatisierungsgrad	0	0	0%	→
<b>Supply Chain</b>				
Grad der ext. Entwicklungstiefe	0.32	0.25	-22%	↙
Grad der ext. Fertigungstiefe	0.52	0.50	-4%	→
Anzahl Lieferanten	4	4	0%	→
Lieferantenart	0.67	0.47	-30%	↙
<b>Neuheitsgrad</b>				
Neuheitsgrad Komponenten	/	0.75	75%	↑
Neuheitsgrad Prozesse	/	0.64	64%	↑
Neuheitsgrad Schnittstellen	/	0.42	42%	↗
<b>späte Änderungen</b>				
Produktänderungen	/	0.05	5%	→
Prozessänderungen	/	0.3	30%	↗

Für die weitere Berücksichtigung der Indikatoren in der Risikoanalyse erfolgt im Schritt 3 zunächst die Vergleichsdarstellung zwischen Vorgänger- und Nachfolgeprodukt und die Selektion der weiter zu betrachtenden Indikatoren.

#### 6.2.2.4 Visualisierung möglicher Risikobereiche

Grundsätzlich kann im Bereich der Produktkomplexität von einem reduzierten Risikopotential im Serienanlauf ausgegangen werden (vgl. Bild 6.7 Produktkomplexität). Dies lässt sich vor allem auf Bildung verschiedener Module zurückführen, was wiederum zu einer Reduzierung der Komponenten im Montageprozess führt. Der Kopplungsgrad erscheint zunächst als relevanter Faktor im Vergleich zum Vorgängerprodukt mit einer Differenz von 73% im Vergleich zum Vorgängerprodukt (vgl. Tabelle 6.1). Allerdings ist die hohe Bewertung vor allem auf die Reduzierung der Komponentenanzahl im Nachfolgeprodukt zurückzuführen. Dadurch sinkt auch die theoretisch maximale Anzahl an Schnittstellen (vgl. Anhang F) und führt somit zu einem erhöhten Wert. Bei Betrachtung der absoluten Werte erscheint der Indikator weniger relevant im Vergleich zu anderen und wird in der nachfolgenden Betrachtung nicht weiter berücksichtigt.

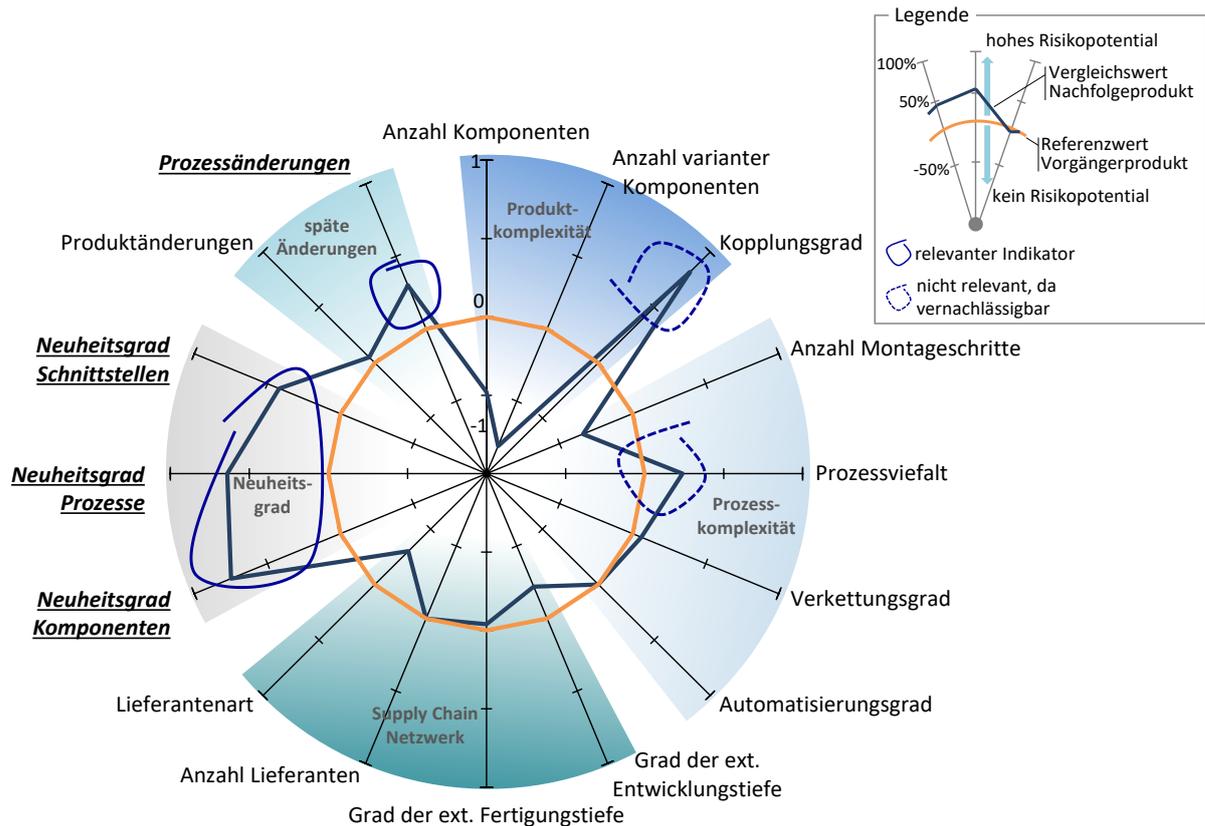


Bild 6.7: Vergleich Vorgänger- und Nachfolgeprodukt anhand der Indikatoren

Im Bereich der Prozesskomplexität sind die Gründe für den erhöhten Wert der Prozessvielfalt ebenfalls auf eine reduzierte Anzahl von Montageschritten zurückzuführen (vgl. Anhang F). Bei fast identischer Anzahl der unterschiedlichen Montage Tätigkeiten (verschrauben, justieren etc.), führt dies zu einem Anstieg des Indikators Prozessvielfalt im Vergleich zum Vorgängerprodukt. Dieser Indikator wird für die weitere ebenfalls als nicht relevant eingestuft.

Die weitere Risikoanalyse konzentriert sich im Folgenden auf den Bereich des Neuheitsgrades. Die Neugestaltung der Produktstruktur, die Schaffung einer zentralen Schnittstelle und die damit verbundene Umstellung des Montageprozesses birgt das größte Potential für eine potentielle Verzögerung im Serienanlauf. Weiterhin werden die neuen Komponenten (HTS, HTV) extern entwickelt und zusätzlich auch für die anschließende Montage von Systemlieferanten bezogen. Da diese beiden Elemente einen zentralen Einfluss auf den Montageprozess haben, kann davon ausgegangen werden, dass Änderungen im Prozess während des Serienanlaufs unmittelbaren Einfluss auf die Zielerreichung haben. Für die weitergehende Betrachtung werden somit auch Risiken im Bereich später Änderungen berücksichtigt.

### 6.2.3 Risikoanalyse und Maßnahmenselktion

Im Rahmen der zweiten Hauptphase erfolgt die Risikoanalyse mit Hilfe verschiedener Experten der Vorentwicklung, die aufgrund der entsprechenden Schnittstellen zum Fachbereich, als Vertreter der Entwicklung, Produktion, Logistik und Arbeitsvorbereitung auftreten. Die Durchführung erfolgte gemäß dem Integrierten PKT-Ansatz im Rahmen von verschiedenen Workshops mit den entsprechenden Experten zusammen.

### 6.2.3.1 Risikoidentifikation im Bereich Neuheitsgrad und späte Änderungen

Ausgehend von den drei strategischen Zielen (Zeit, Kosten, Qualität) im Anlauf ergeben sich durch zahlreiche Faktoren potentielle Verzögerungen, Qualitätsprobleme und einhergehend damit auch zusätzliche Kosten. Innerhalb der Identifizierung potentieller Risiken, die einen negativen Einfluss auf die angestrebte Produkteinführung haben könnten, sind in folgender Abbildung (vgl. Bild 6.8) Risiken im Bereich des Neuheitsgrades dargestellt.

Die Darstellung beinhaltet Risikobereiche, die bei Problemen zu einem unmittelbaren Einfluss auf die genannten Ziele führen würde. Ein zentrales Risiko stellt das potentielle zusätzliche Gewicht dar und ist durch die Überdimensionierung (5) der Komponenten (z.B. HTS) und durch die zusätzliche Schnittstelle (7, 8, 9) begründet. Es besteht die Gefahr, dass die Fertigungsvorteile (Postponement, hoher Standardisierungsgrad) innerhalb des Serienanlaufs und der Montage, durch negative Aspekte (z.B. zusätzlicher Verbrauch während der Nutzungsphase) im Laufe des langen Lebenszyklus aufgehoben werden.

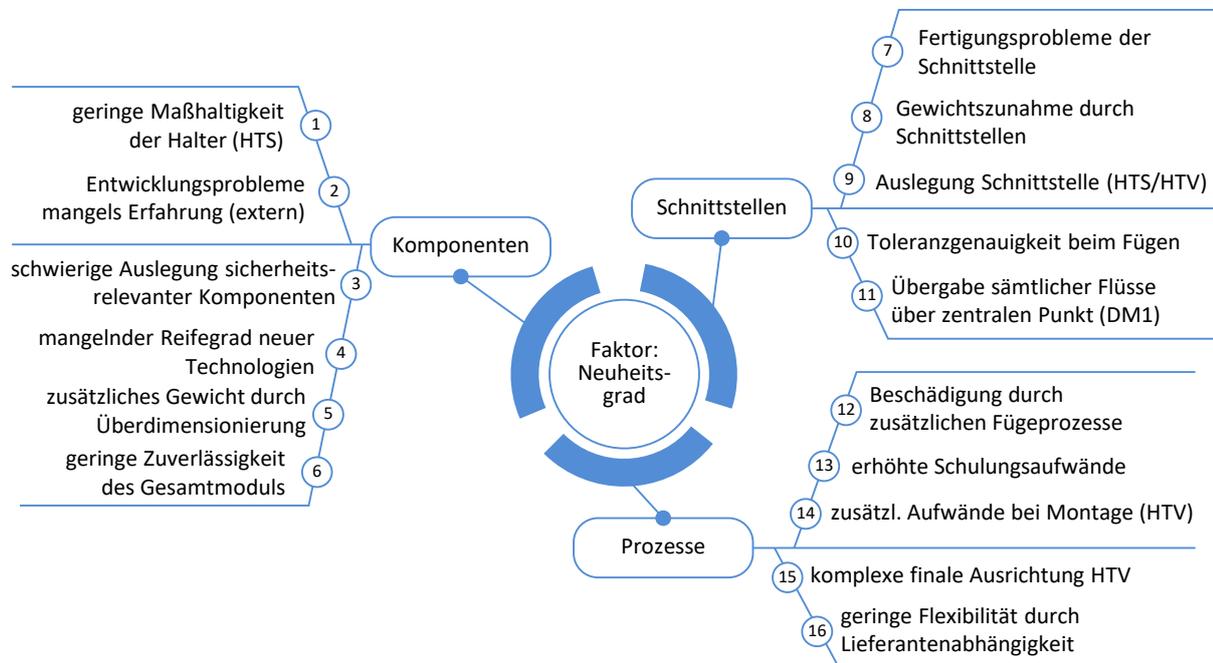


Bild 6.8: identifizierte potentielle Risiken im Bereich Neuheitsgrad

Weiterhin stellt die neue Schnittstelle zwischen HTS und HTV eine wesentliche Herausforderung in der Entwicklung und innerhalb des Montageprozesses dar. Die Schnittstelle (3, 9) muss für Belastungen im Flugbetrieb (z.B. durch Lagerung des Handgepäckes) und für ein Lastenvielfaches entsprechend den Notlandebedingungen nach CS-25.561 ausgelegt sein [Eur16]. Zusätzlich besteht die Notwendigkeit, eine einfach zu schließende Schnittstelle für den Montageprozess (15) zu schaffen.

Eine Übersicht der im Rahmen der späten Änderungen identifizierten Risiken ist im Anhang F dargestellt. Der verkürzte aber dennoch größtenteils sequentiell ablaufende neue Montageprozess birgt die Gefahr, genau wie beim Vorgängerprodukt (vgl. Bild 6.6), dass sich Änderungen unmittelbar auf nachgelagerte Prozesse auswirken. Im Speziellen sind die durch die Systemlieferanten zur Verfügung gestellten Module betroffen. Montage- oder Verfügbarkeitsprobleme im Zusammenhang mit dem Standardmodul (HTS) führen zwangsweise zu

einem Montagestopp, da aufbauend auf dem zentralen Element alle weiteren Komponenten verbaut werden.

### 6.2.3.2 Risikobewertung und Visualisierung

Im Rahmen eines Workshops haben vier Experten die Einzelbewertung der zuvor identifizierten Risiken abgeschätzt (vgl. Anhang F). Dabei wird die Bewertung hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit, wie groß die Möglichkeit des Eintritts des Risikos ist, und der Auswirkung, welchen Einfluss das Eintreten des Risikos auf den Serienanlauf hat, durchgeführt. Neben den klassischen Werten der Wahrscheinlichkeit und Auswirkung werden die Experten geben ebenfalls ein Minimum Wert und Maximum Wert ihrer Einschätzung abzugeben. Je sicherer die Einschätzung des Experten, desto kleiner die angegebene Spanne. Aus den abgeschätzten Werten wird, wie in der entwickelten Methode erläutert (vgl. Kapitel 5), die entsprechende Beta-PERT-Verteilung für die Einzelrisiken je Experte ermittelt. Mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation können die so ermittelten Verteilungen genutzt werden, um innerhalb der Simulation 1000 Bewertungsvorgänge unter zu Hilfenahme von Zufallszahlen durchzuführen (vgl. Kapitel 5.3.2.2). Die Überlagerung der verschiedenen Verteilungen der Experten je Risiko und die hohe Anzahl an Simulationsdurchläufen führt zur Anwendbarkeit des Gesetzes der großen Zahlen. Das bedeutet, dass innerhalb der Häufigkeitsverteilung je Risiko die Verteilungen sich immer einer Normalverteilung annähern.

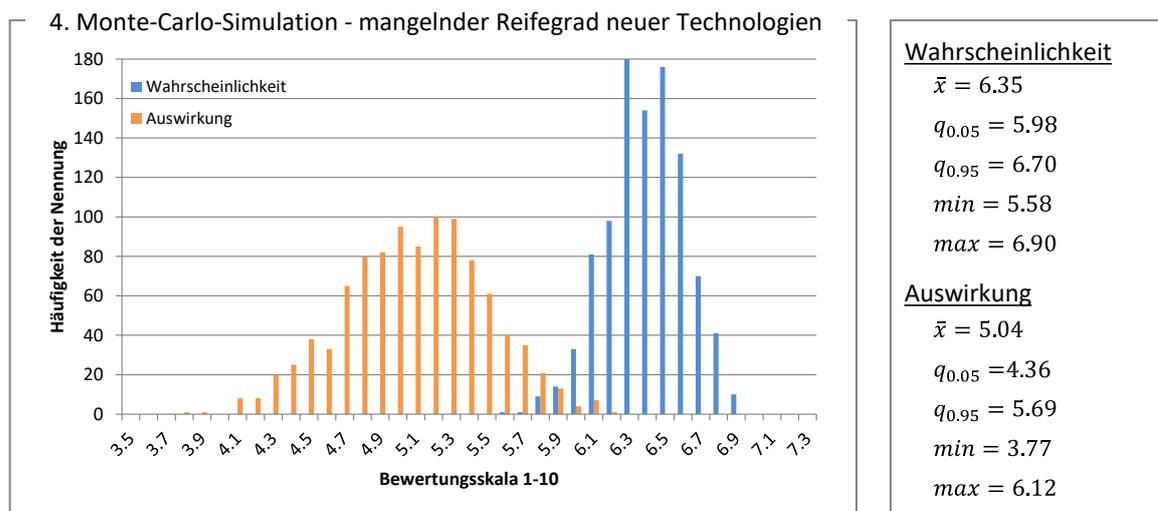


Bild 6.9: Beispiel der Häufigkeitsverteilung nach der Monte-Carlo-Simulation

Im Bild 6.9 ist exemplarisch das Risiko „mangelnder Reifegrad neuer Technologien“ nach der Simulation dargestellt. Je größer die Übereinstimmung der Experten, desto größer ist die Häufigkeit und desto geringer die Streuung um den Mittelwert. Eine vollständige Übersicht der Simulationsergebnisse kann dem Anhang F entnommen werden. Aus den statistisch ermittelten Werten der Simulation wird anschließend das Ergebnis der Bewertung in drei Szenarien überführt (vgl. Bild 6.10). Die Darstellung enthält ebenfalls das Netzdiagramm der Auftrittswahrscheinlichkeiten. Mit Hilfe dieser Darstellung lässt sich relativ schnell erkennen, welche Risikofaktoren bei den Experten ähnlich eingestuft werden (geringe Streuung) wie z.B. Nr. 23, und welche Faktoren einer unterschiedlichen Einschätzung (große Streuung) z.B. Nr. 3 unterliegen. Die Auswertung der Auswirkungen in einem Netzdiagramm kann ebenfalls

dem Anhang F entnommen werden. Die Darstellungen verdeutlichen das nur wenige Risiken einer sehr großen Streuung unterliegen. Generell werden die Risiken hinsichtlich eher Auswirkung kritischer bewertet, als im Vergleich zur Auftrittswahrscheinlichkeit.

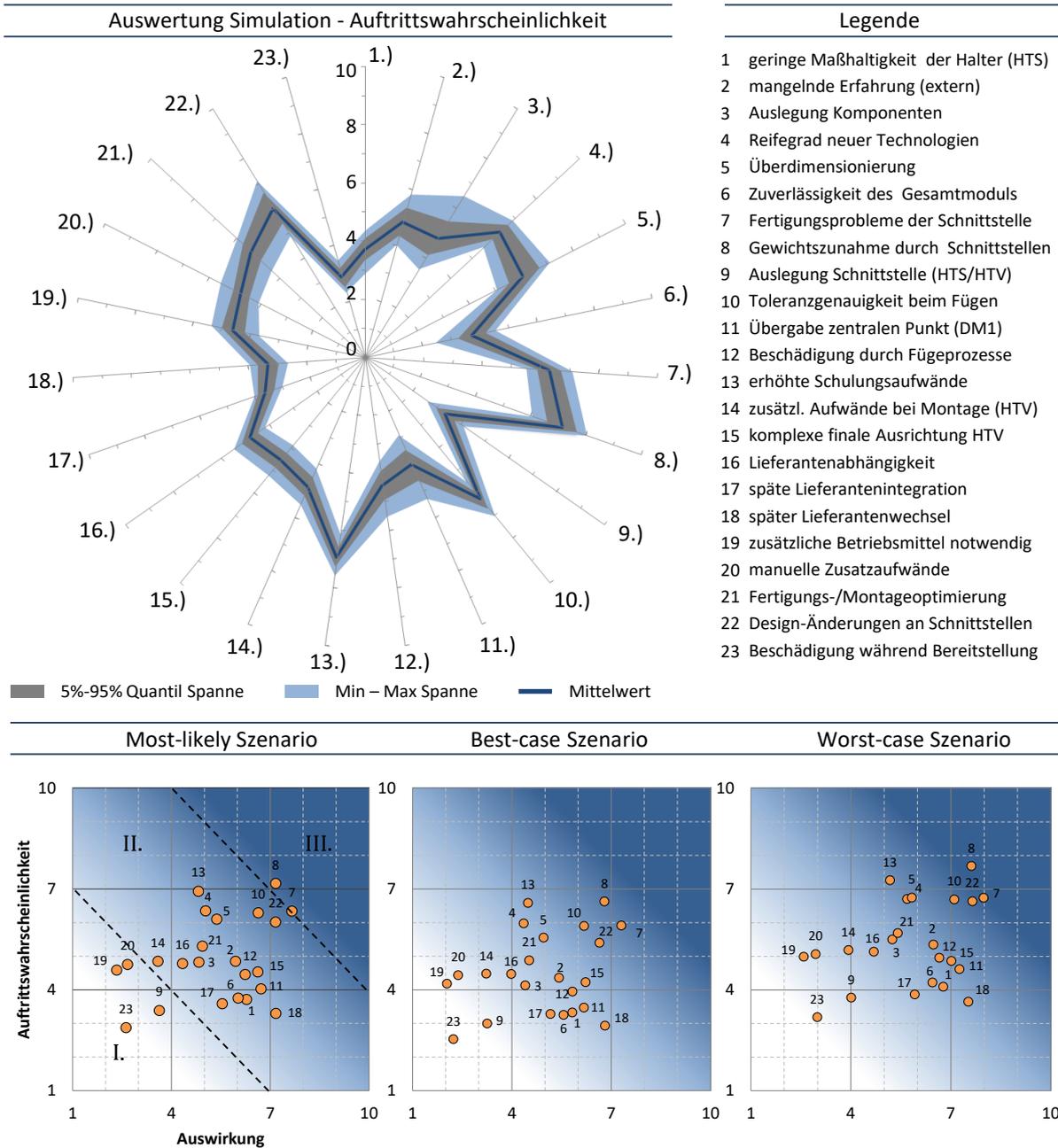


Bild 6.10: Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation nach Einzelbewertung der Experten

Innerhalb der drei Szenarien ist ersichtlich, dass es keine wesentlichen Verschiebungen der Reihenfolge der Risiken gibt (vgl. Bild 6.10). Nominell unterscheidet sich das Best-case Szenario nicht wesentlich vom Most-likely Szenario. Ein Großteil der Risiken liegt im mittleren Bereich (II.) und vier Risiken im hohen Bereich (III.). Innerhalb des Worst-case Szenarios erfolgt keine wesentliche Reihenfolgen-Verschiebung. Lediglich die Risikoeinschätzung verschiebt sich entlang der Diagonalen weiter in den hohen Risikobereich. Der Risikomatrix und dem Netzdiagramm kann entnommen werden, dass vor allem die Gewichtszunahme durch die Schaffung einer neuen Schnittstelle als sehr kritisch eingestuft wird. Folgen für den Seri-

enanlauf wären vor allem die entstehenden Änderungen innerhalb der Entwicklung durch iterative Design-Änderungen, um den Gewichtsvorgaben gerecht zu werden. Einhergehend mit dem Gewicht stellt die Leichtbauweise und die damit verbundenen geringen Wandstärken des Hatracks eine weitere Herausforderung dar. Die zu verbindenden Bauteile müssen zum einen eine einfach zu schließende Schnittstelle für die Montage bieten und eine ausreichende Steifigkeit aufweisen. Zum anderen muss die Schnittstelle den Belastungen durch das Gewicht des Handgepäcks standhalten. Das Auftreten von Fertigungsproblemen kann dazu führen, dass beispielsweise innerhalb der Montage Teile des sichtbaren Bereichs am Standardteil (HTS) und auch am varianten Teil (HTV) beschädigt werden. Im schlimmsten Fall müssten beide Komponenten getauscht werden. Neben der reinen Beschädigung während der Montage, stellen die Toleranzen der Schnittstelle aufgrund von Fertigungsproblemen (7) eine besondere Herausforderung dar. Je nach Formschlüssigkeit ist es denkbar, dass nach Fügen der Schnittstelle eventuell eine Nachjustierung vorgenommen werden muss, damit die gesamte Hatrack-Reihe in Flucht ist und keine Erhebungen aufweist. Dies führt zu Zusatzaufwänden, und lässt sich nur nach Montage der varianten Komponente (HTV) durchführen. Diese nicht planbaren Tätigkeiten führen zu Schwankungen der Durchlaufzeiten und damit auch zu Verzögerungen im Serienanlauf. Der erhöhte Schulungsaufwand aufgrund der Neuartigkeit wird von allen Experten als sehr wahrscheinlich eingestuft. Allerdings werden die Auswirkungen als weniger kritisch für den Serienanlauf eingeschätzt. Im Gegensatz dazu wird ein später Lieferantenwechsel als unwahrscheinlich angesehen. Die Folgen wären Zusatzaufwände im Serienanlauf, die unter Umständen zu massiven Verzögerungen im Projekt führen können.

### 6.2.3.3 Zuordnung von Handlungsmaßnahmen

Im Rahmen der Maßnahmenzuordnung erfolgt zunächst die zusätzliche Priorisierung mit Hilfe der Korrelationsmatrix (vgl. Anhang F) gemäß dem Schritt 6 der entwickelten Methode (vgl. Kapitel 5.3.3). Die finale Rangfolge der Risiken kann der folgenden Darstellung (vgl. Bild 6.11) entnommen werden.

Mit Hilfe der Priorisierung wird überprüft, ob Wechselwirkung von Risiken zu einer Veränderung der Gesamtsituation führen. Die mit Hilfe der Korrelationsmatrix durchgeführte Priorisierung zeigt, dass keine wesentlichen Verschiebungen zu erkennen sind. Lediglich das Risiko 3 wird ebenfalls nach der Priorisierung als relevant eingestuft. Für die weitere Betrachtung der Handlungsmaßnahmen werden lediglich Risiken im hohen (III.) und mittleren Bereich (II.) weiter berücksichtigt.

Die Auswahl der möglichen Handlungsmaßnahmen erfolgt mit Hilfe der vorgestellten Maßnahmenmatrix (vgl. Anhang F). Bei der Auswahl werden Maßnahmen priorisiert, die auch eine Anwendbarkeit für andere relevante Einflussfaktoren (z.B. Neuheitsgrad Prozesse und Schnittstellen) aufweisen. Weiterhin wird für die Auswahl die Wirksamkeit innerhalb der verschiedenen Phasen berücksichtigt.

		Risikofaktor	Faktor der Vernetzung	Gesamt-situation	Rang	
Neuheitsgrad Komponenten	1	geringe Maßhaltigkeit der Halter (HTS)	23.31	1.20	24.52	16
	2	Entwicklungsprobleme mangels Erfahrung (extern)	28.82	3.49	32.32	10
	3	Auslegung sicherheitsrelevanter Komponenten	23.29	10.52	33.81	7
	4	mangelnder Reifegrad neuer Technologien	31.99	2.61	34.60	6
	5	Überdimensionierung	32.77	16.94	49.71	4
	6	geringe Zuverlässigkeit des Gesamtmoduls	22.62	5.88	28.50	14
Neuheitsgrad Schnittstellen	7	Fertigungsprobleme der Schnittstelle	48.55	3.06	51.61	2
	8	Gewichtszunahme durch Schnittstellen	51.32	3.28	54.60	1
	9	Auslegung Schnittstelle (HTS/HTV)	12.28	19.95	32.24	11
	10	Toleranzgenauigkeit beim Fügen	41.72	6.12	47.84	5
	11	Übergabe sämtlicher Flüsse über zentralen Punkt (DM1)	27.07	3.28	30.35	12
Neuheitsgrad Prozesse	12	Beschädigung durch zusätzlichen Fügeprozesse	27.79	1.96	29.75	13
	13	erhöhte Schulungsaufwände	33.41	0.00	33.41	8
	14	zusätzl. Aufwände bei Montage (HTV)	17.40	4.37	21.78	18
	15	komplexe finale Ausrichtung HTV	30.01	3.27	33.28	9
	16	geringe Flexibilität durch Lieferantenabhängigkeit	20.74	0.87	21.61	19
späte Änderungen Prozesse	17	späte Lieferantenintegration	19.87	0.00	19.87	20
	18	später Lieferantenwechsel	23.64	0.87	24.51	17
	19	zusätzliche Betriebsmittel notwendig	10.73	0.00	10.73	22
	20	manuelle Zusatzaufwände	12.67	4.25	16.92	21
	21	zusätzl. Fertigungs-/Montageoptimierung	26.19	1.52	27.71	15
	22	späte Design-Änderungen an Schnittstellen	43.07	6.98	50.05	3
	23	Beschädigung während Bereitstellung/Prozessumstellung	7.53	0.11	7.64	23

Bild 6.11: Risikofaktoren und Rangfolge nach Priorisierung (Most-likely Szenario)

### **Reduzierung der Komplexität und Unsicherheit (ursachenbezogene Maßnahmen)**

Im Hinblick auf die Reduzierung der ursachenbezogenen Maßnahmen muss der Fokus auf die gewichtsneutrale Auslegung der neuen Schnittstelle (HTS/HTV) gelegt werden. Am Leichtbau orientierte Entwicklungsmethoden stellen die Auslegung sicher. Neben Berechnung und Simulation der Modelle stellt das physikalische Testen einen wesentlichen Bestandteil zur Reduzierung der Unsicherheit in der Auslegung dar. Mit Hilfe der Vorsteuerung des Lernprozesses (Front Loading) durch intensive Nutzung von Prototypen im Maßstab des Konzeptumfangs (bspw. lediglich Schnittstellennachbildung) lassen sich die Auslegungsergebnisse frühzeitig hinsichtlich möglicher Probleme im Bereich der Fertigung überprüfen. In Kombination mit einer flexiblen Testumgebung, die den Montageprozess antizipiert, können gleichzeitig auch Produktionsmitarbeiter das gewählte Konzept frühzeitig hinsichtlich der Justierung, Beschädigung und Ausrichtung von HTV überprüfen. Gleichzeitig kann diese Einrichtung genutzt werden, um den erforderlichen Schulungsaufwand zu reduzieren.

Aufgrund der Fremdvergabe innerhalb der Entwicklung birgt speziell die Auslegung von HTS und HTV die Gefahr, dass fehlende Erfahrung in der Entwicklung zu Verzögerungen führen. Dies kann zum einen durch Integration von erfahrenen Mitarbeitern beim Lieferanten und zum anderen durch regelmäßige Design Reviews bzw. Audits reduziert werden. Innerhalb des iterativen Entwicklungsprozesses ist vor allem die Koordination und der rechtzeitige Informationsaustausch elementar, um zeitnah Gegenmaßnahmen durchführen zu können.

Eine weitere Maßnahme zur Reduzierung möglicher Risiken ist die Erhöhung des Carry-over-Anteils. Dieser lässt sich vor allem im Bereich der Passenger Service Units anwenden. Durch die Übernahme der alten Struktur wäre zunächst sichergestellt, dass die Auslegung sicherheitsrelevanter Komponenten (z.B. OX) kein zusätzliches Risiko darstellt. Lediglich eine Adaption der Halterung (RA) müsste hinsichtlich der Plattformkomponente (HTS) durchgeführt werden. Weiterhin kann, zunächst für den Anlauf, das Risiko des mangelnden Reifegrads im

Rahmen des Übergangs aller Stoffflüsse über eine zentrale Schnittstelle an das Modul PSM reduziert werden. Eine nachträgliche Adaption des gesamten Konzeptes lässt sich im Rahmen eines Kabinenausbaus, im Zuge der regelmäßigen Wartung, auch nachträglich integrieren (inkrementelle Einführung der Innovation).

### ***Erhöhung der Flexibilität (wirkungsbezogene Maßnahmen)***

Im Rahmen der wirkungsbezogenen Maßnahmen liegt der Fokus auf die möglichst effiziente Reaktion beim Auftreten von Risiken, um die Auswirkung im Serienanlauf zu reduzieren. Die identifizierten Probleme im Bereich des Neuheitsgrads lassen sich vor allem im Bereich des Produkts durch Designflexibilität abbilden. Dabei wäre eine Möglichkeit, verschiedene Konzeptlösungen für zum Beispiel die Schnittstelle innerhalb der Entwicklung parallel zu verfolgen. In Kombination mit der externen Entwicklung können verschiedene Lieferanten unterschiedliche Konzepte bis zu einem gewissen Reifegrad entwickeln. Ein frühzeitiges Testen der Produkthanforderungen ermöglicht die Auswahl der zuverlässigsten Konzeptlösung. In der Gestaltung der Anlaufprozesse lässt sich das Prinzip auf die Supply Chain übertragen. Um gegebenenfalls Lieferengpässe aufgrund von Fertigungsproblemen zu vermeiden, kann eine Multi-Sourcing-Strategie ein desselben Bauteils (z.B. HTS, DM1) verfolgt werden. In der langfristigen Optimierung der Supply Chain wird anschließend wieder eine Reduzierung der Lieferantenzahl angestrebt.

Die Einführung von temporären Nachbearbeitungsstationen unterstützt die schnelle Behebung von kurzfristigen Verzögerungen im Anlaufprozess. Bei Problemen der Ausrichtung oder auch Beschädigungen im Zuge des finalen Fügens der Schnittstelle HTS/HTV können diese durch qualifizierte Mitarbeiter behoben werden. So wird der Montageprozess zunächst nicht unterbrochen. Zusätzliche Pufferstationen und nachträglicher Review-Prozess bieten die Möglichkeit, Zeit zur Nacharbeit zur Verfügung zu stellen und somit die Qualität abzusichern. Neben der prozessualen Flexibilität im Montageprozess ist es hilfreich, die entsprechend qualifizierten Mitarbeiter für zusätzliche Montageaufwände oder komplexe Fügeprozesse zu Beginn des Serienanlaufs mit einer Entscheidungskompetenz auszustatten. So können kurzfristige Lösungen implementiert werden, die im Zuge des Lessons Learned angepasst und übernommen werden können.

Aufgrund der Vielzahl an verschiedenen Maßnahmen muss eine Umsetzung der Maßnahmen durch eine anlaufspezifische Organisationstruktur koordiniert und überwacht werden. So kann der Übergang zwischen den verschiedenen Produktlebensphasen (z.B. Entwicklung zu Produktion) über die Abteilungen hinaus begleitet werden. Die gesammelten Erfahrungen über die gesamte Produkteinführung kann so optimal über die Projektlaufzeit gesammelt, verteilt und auch dauerhaft der Organisation durch Dokumentation zur Verfügung gestellt werden.

Die ausgewählten Maßnahmen müssen entsprechend den Entwicklungs- und Produktionsphasen detailliert und gegebenenfalls an die entsprechenden Randbedingungen angepasst werden. Im Bild 6.12 sind die beschriebenen Maßnahmen und deren Wirksamkeit auf die Zielgrößen im Serienanlauf dargestellt. Der Maßnahmenmatrix im Anhang F können weitere positive Effekte der selektieren Maßnahmen auf die anderen Indikatoren entnommen wer-

den. Die Darstellung fokussiert sich auf die beiden identifizierten Risikobereiche Neuheitsgrad und späte Prozessänderungen.

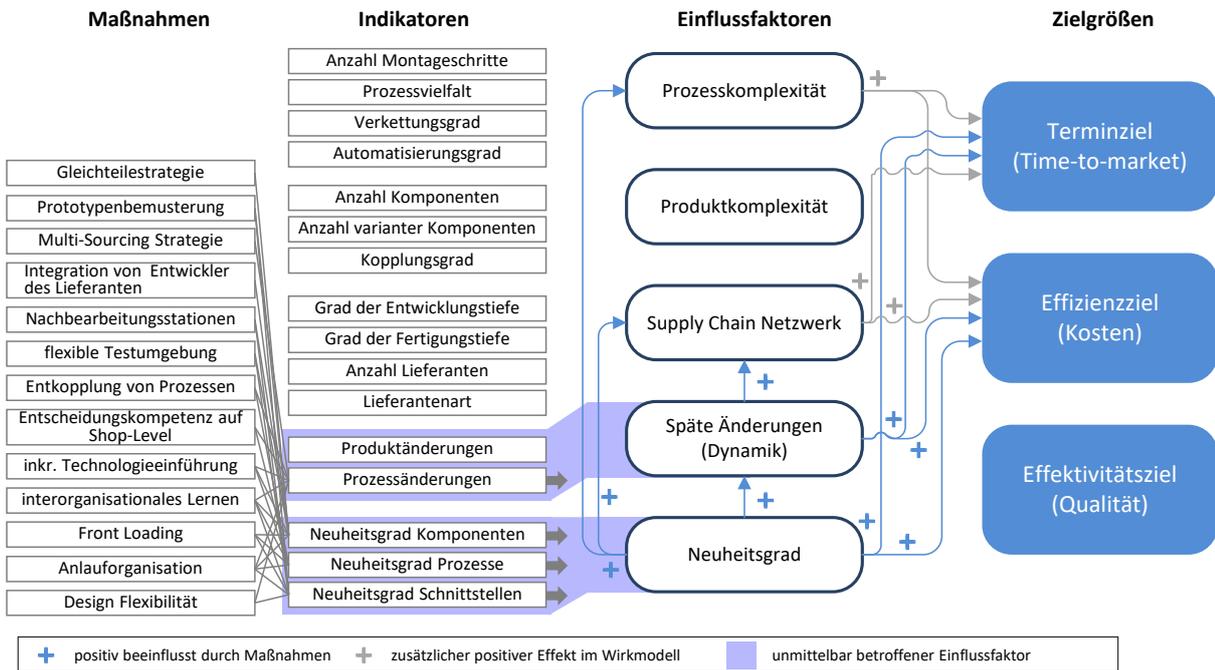


Bild 6.12: Auswahl selektiver Maßnahmen zur Reduzierung der identifizierten Risiken

### 6.3 Auswertung der Fallstudie

Im Rahmen der Auswertung der Fallstudie werden die in Abschnitt 6.1.1 aufgestellten Hypothesen im Folgenden überprüft. Neben der Analyse des entwickelten Bewertungsverfahrens von Anlauftrisiken werden auch die im Laufe der Fallstudie gemachten Beobachtungen und gewonnenen Erfahrungen der Workshop Teilnehmer in der Überprüfung der Hypothesen berücksichtigt.

#### Hypothese 1 - Bewertung von Anlauftrisiken in frühen Phasen

Die frühe Phase innerhalb eines Serienanlaufprojektes ist gekennzeichnet durch zahlreiche Annahmen und damit einhergehend mit einer gewissen Informationsunsicherheit im Bereich der Produkt- und Prozessentwicklung. Der Bewertungsansatz basiert auf der Annahme, dass ein Großteil der neu eingeführten Produkte ein Vorgängerprodukt besitzt. Auf Basis des Vorgängerprodukts können so einfache Vergleichswerte innerhalb eines Konzeptstadiums ermittelt werden. Durch die einheitliche Aufbereitung des Vorgänger- und Nachfolgeprodukts wird eine gewisse Vergleichbarkeit sichergestellt. Gleichzeitig setzt der Ansatz allerdings ein in sich konsistentes Konzept zur Bewertung voraus. Die Fallstudie zeigte, dass bereits in einer frühen konzeptionellen Phase des Kabinenlinings mit Hilfe von Werkzeugen des Integrierten PKT-Ansatzes entwickelte Kennzahlen zur Abschätzung der relevanten Einflussfaktoren ausreichend sind, um eine Basis für die anschließende Risikobewertung zu schaffen. Im Zuge der Ist-Aufnahme bestätigten die Teilnehmer die Möglichkeit der einfachen Vergleichbarkeit mit Hilfe der entwickelten Verhältniskennzahlen.

### **Hypothese 2 - Anwendbarkeit bei komplexen Kleinserienprodukten**

Der beschriebene Aufbau des Bewertungsansatzes in Abschnitt 5.1 unterstützt durch die zwei Phasen bewusst die Bewertung bei hoher Produkt- und Prozesskomplexität. Durch die anfängliche Identifikation der Risikobereiche konnte die aufwendigere Einzelbewertung der Anlauf Risiken auf die wesentlichen Einflussfaktoren reduziert werden. So ist sichergestellt, dass die Anwendbarkeit auch im Rahmen komplexer Produkteinführungen entsprechend der relevanten Bereiche zergliedert werden kann. In der Fallstudie hat sich gezeigt, dass die differenzierte Darstellung der Simulationsergebnisse innerhalb des Netzdiagramms und den drei Szenarien ein grundsätzliches Verständnis für die zugrunde liegenden Unsicherheiten in der Bewertung bei den Teilnehmern des Workshops geschaffen hat. Mit Hilfe der Darstellung der drei Szenarien konnte eine Einschätzung der Sensitivität der Bewertung vorgenommen und entsprechend der Risikoeinstellung der Teilnehmer für die anschließende Maßnahmenzuordnung zu Grunde gelegt werden.

### **Hypothese 3 - Identifizierung von Einflussfaktoren und deren Zusammenhänge**

Das entwickelte Wirkmodell aus dem Abschnitt 4.3 basiert auf empirischen Untersuchungen und konnte im Rahmen der durchgeführten Interviewreihe (vgl. Abschnitt 2.3.3) bestätigt werden. Die dargestellten Einflussfaktoren konnten als wesentliche Treiber für einen effizienten Serienanlauf identifiziert werden. Das Wirkmodell bildet die empirischen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Faktoren ebenfalls ab.

Mit Hilfe der erstellten Maßnahmenmatrix wurden die verschiedenen potentiellen Maßnahmen den entsprechenden Einflussfaktoren zugeordnet. Über die identifizierten Risiken und den ausgewählten Maßnahmen lässt sich somit eine Aussage über die qualitative Beeinflussung des Serienanlaufs treffen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass unter Anwendung der Methode die relevanten Einflussfaktoren für einen effizienten Serienanlauf identifiziert wurden.

### **Hypothese 4 - Berücksichtigung von Prozess- und Produktgestaltung**

Das Wirkmodell hat aufgezeigt, dass ein wesentlicher Bestandteil der Einflussfaktoren bereits innerhalb der Produktentwicklung festgelegt wird. Allerdings fokussiert sich ein Großteil der Maßnahmen auf die Prozessgestaltung. Innerhalb der Erstellung der Maßnahmenmatrix wurde deshalb ein zusätzlicher Schwerpunkt auf die Produktgestaltung mit den entsprechenden Zielen eingeführt. Im Rahmen der Fallstudie wurde ersichtlich, dass zum Teil mit der Konzeptausrichtung (Integration einzelner Komponenten zu Modulen) bereits produktgestalterische Maßnahmen, die sich auf den Serienanlauf positiv auswirken, berücksichtigt wurden. Dennoch konnten innerhalb der Fallstudie zusätzliche produktgestalterische Maßnahmen identifiziert werden, die einen effizienten Serienanlauf unterstützen. Es wird daher bestätigt, dass eine Berücksichtigung produktgestalterischer Maßnahmen im Rahmen des Ansatzes gegeben ist.

### **Hypothese 5 - Ableitung von Handlungsmaßnahmen**

Die entwickelte Maßnahmenmatrix bildet die Grundlage für die spätere Zuordnung der einzelnen identifizierten Risiken. Im Rahmen der Fallstudie wurde gezeigt, dass mit Hilfe der

zwei grundsätzlichen Strategien „Reduzierung der Komplexität“ und „Erhöhung der Flexibilität“ dem Anwender zwei mögliche Zuordnungsstrategien zur Verfügung stehen. Eine weitere Unterstützung stellt die Phasenzuordnung der verschiedenen Maßnahmen dar. Dies unterstützt die Strukturierung hinsichtlich ihrer Wirksamkeit. Die vorgestellte Matrix erfüllt somit die gestellte Zielsetzung einer Zuordnung der identifizierten Risikofaktoren. Die zur Verfügung gestellten Maßnahmen werden ebenfalls den Einflussfaktoren zugeordnet und erlauben mit Hilfe des Wirkmodells Rückschlüsse auf die Zielbeeinflussung durch die entsprechende Maßnahme. Trotz der Vielschichtigkeit der zu identifizierten Risiken hat die Fallstudie gezeigt, dass eine Anwendbarkeit aufgrund der generischen Darstellung der Methode gegeben ist. Innerhalb der nachgelagerten Umsetzung ist eine Implementierung und Ausdetaillierung der Methoden allerdings erforderlich.

### **Hypothese 6 - Nachvollziehbarkeit und Durchführbarkeit**

Die Vorgehensweise der Methode konnte im Rahmen des Bewertung-Workshops von den Teilnehmern nachvollzogen werden. Die für die Ist-Aufnahme und für die Ergebnispräsentation genutzten Visualisierungswerkzeuge wurden von den Teilnehmern als positiv wahrgenommen. Weiterhin konnten die entwickelten Vergleichskennzahlen einfach nachvollzogen werden. Für eine selbstständige Durchführung der Methode durch die Teilnehmer muss zusätzlich ein grundsätzliches Verständnis für den Aufbau und die Durchführung der Monte-Carlo-Simulation geschaffen werden. Eine weitestgehende Automatisierung dieses Teilschrittes ist aber grundsätzlich möglich und innerhalb vorhandener IT-Lösungen implementierbar.

Die Methode wurde anhand der Fallstudie erfolgreich durchgeführt. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine Anwendbarkeit unter den Randbedingungen der aufgestellten Hypothesen gewährleistet ist. Die Methode unterstützt eine strukturierte Betrachtung von potentiellen Anlauftrisiken komplexer Produkte bereits in frühen Phasen und trägt somit zu einer möglichen frühzeitigen Gestaltung des Übergangs von Entwicklung zur Produktion bei.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Globale Trends, wie kürzere Produktlebenszyklen und eine gestiegene Produktvielfalt, führen zu einer gestiegenen Anzahl an Serienanläufen. Die zentrale Bedeutung dieser Übergangsphase zwischen Produktentwicklung und Produktion ergibt sich vor allem aus der wirtschaftlichen Auswirkung eines verzögerten Markteintritts. Unternehmen müssen sich deshalb mit der Fragestellung auseinandersetzen, wie eine möglichst erfolgreiche und effiziente Markteinführung gestaltet werden kann. In diesem Zusammenhang stehen verschiedene Ansätze zur Verfügung, die sich vor allem auf den Bereich der Automobilindustrie konzentrieren. Für komplexere Produkte, wie beispielsweise in der Flugzeugindustrie, können zahlreiche etablierte Ansätze nicht angewendet werden. Dies ist vor allem auf die besonderen Randbedingungen zurückzuführen, die durch einen sehr hohen Kapitaleinsatz, fehlende Prototypenfertigung, lange Entwicklungszeiten und zahlreiche neuen Technologien gekennzeichnet sind. Eine Analyse unterschiedlicher Ansätze im Bereich des Anlaufmanagements zeigt, dass der Schwerpunkt vor allem auf der Ausgestaltung und Unterstützung des eigentlichen Produktionsumfeldes liegt. Methoden, die sich bereits in frühen Phasen mit dem Serienanlauf befassen, konzentrieren sich lediglich auf Markteintrittsstrategien und weniger auf die Ausgestaltung der Produkt- und Prozessebene. Eine Unterstützung der vorgelagerten Produktentwicklung hinsichtlich anlaufrelevanter Einflussfaktoren findet bisher nicht statt.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird eine Methode entwickelt, um bereits in einer frühen Phase der Produktentwicklung den bevorstehenden Übergang zur Produktion zu unterstützen. Der Fokus der Methode liegt auf der frühzeitigen Identifizierung und Bewertung möglicher Risiken verschiedenster Einflussfaktoren, die zu einer negativen Auswirkung im Serienanlauf führen und damit maßgeblich zu einer Verzögerung des Markteintritts beitragen können. Ausgangspunkt der Entwicklung der Methode ist die Problemanalyse, aus denen die entsprechenden Anforderungen abgeleitet werden. Innerhalb der Analyse des Stands der Wissenschaft werden bestehende Ansätze hinsichtlich der Anforderungserfüllung untersucht. Das Ergebnis zeigt, dass nur Teilaspekte des Themengebiets durch verschiedene Ansätze abgedeckt werden. Darauf aufbauend wird der Forschungsbedarf der Arbeit abgeleitet.

Als Grundlage des zu entwickelnden Ansatzes werden zunächst im vierten Kapitel, auf Basis verschiedenster empirischer Studien aus dem Umfeld des Serienanlaufs, generische Einflussfaktoren identifiziert. Als Ergebnis wird ein Wirkmodell auf die zentralen Zielgrößen anhand der nachgewiesenen Zusammenhänge aufgebaut.

Im fünften Kapitel wird das methodische Vorgehen vorgestellt. Die Methode ermöglicht eine frühzeitige Bewertung potentieller Risiken auf Basis zentraler Einflussfaktoren des Serienan-

laufs und unterstützt eine Maßnahmenzuordnung für eine frühzeitige Verhinderung einer Zielabweichung im Serienanlauf. Im Wesentlichen teilt sich das methodische Vorgehen in zwei Hauptschritte auf. Die erste Hauptphase konzentriert sich auf die Identifizierung potentieller Risikobereiche. Für die Abschätzung der relevanten Einflussbereiche werden die im Wirkmodell hinterlegten Einflussfaktoren weiter zu Indikatoren konkretisiert. Eine frühzeitige Abschätzung kann durch den direkten Vergleich mit dem Vorgängerprodukt bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung durchgeführt werden. Dazu werden vereinfachte Verhältniskennzahlen entwickelt, die bereits innerhalb einer frühen Entwicklungsphase zur Anwendung kommen können. Mit Hilfe des Vergleichs lassen sich potentielle Risikobereiche komplexer Produkte identifizieren.

Innerhalb der zweiten Hauptphase der Methode werden die Risikobereiche einer weiterführenden Risikoanalyse unterzogen. Dazu wird das Vorgehen in drei Schritte unterteilt. Zunächst erfolgt eine klassische Risikoidentifizierung mit Hilfe eines Expertenworkshops. Für die anschließende Bewertung wird eine Monte-Carlo-Simulation entwickelt, die auf Basis der verschiedenen Einzelbewertungen der Experten eine Risikobewertung unter Unsicherheiten ermöglicht. Durch dieses Vorgehen kann eine statistische Auswertung etabliert werden, die die Transparenz in der Bewertung erhöht. Für die abschließende Maßnahmenzuordnung wird auf Basis verschiedenster Reaktionsstrategien aus der Literatur und Praxis eine generische Maßnahmenmatrix entwickelt. Die Matrix leistet einen wesentlichen Beitrag zur Auswahl verschiedener Ansätze aus den Bereichen Produkt, Prozess, Supply Chain und Organisation und zur Behebung der potentiellen Anlauftrisiken. Zwei zentrale Strategien zur Auswahl werden im letzten Schritt vorgestellt. Dabei können zum einen Maßnahmen selektiert werden, die die grundsätzliche Komplexität des Serienanlaufprojektes bereits im Vorfeld zu reduzieren versuchen. Zum anderen können Maßnahmen hinsichtlich ihres Beitrags zur Erhöhung der Flexibilität im Serienanlauf ausgewählt werden, um somit möglichst bei Eintritt eines Risikos die Auswirkungen zu reduzieren.

Nach der Vorstellung des methodischen Vorgehens erfolgt ihre Validierung im sechsten Kapitel. Zur Validierung wird eine Fallstudie am Beispiel eines Kabinenlinings aus der Flugzeugindustrie durchgeführt. Zusammenfassend kann bei der Durchführung der Fallstudie gezeigt werden, dass die gestellten Anforderungen durch die Methode erfüllt werden. Die Anwendung in einem praktischen Umfeld hat gezeigt, dass die Methode einen effektiven Beitrag in der Identifizierung und frühzeitigen Bewertung potentieller Anlauftrisiken leisten kann. Die Vorteile der Methode ergeben sich vor allem in der Zusammenführung empirisch belegter Erkenntnisse durch das entwickelte Wirkmodell und der Risikobewertung neuer Produktstrukturen auf Basis der Risikoindikatoren. Die vorgestellte Vorgehensweise ermöglicht weiterhin eine strukturierte Identifizierung potentieller Risikobereiche innerhalb früher Entwicklungsphasen. Dadurch entsteht bereits vor dem Start der Produktion ein möglichst großes Zeitfenster zur Etablierung und Integration von Handlungsmaßnahmen. Mögliche Unsicherheiten, die sich innerhalb frühen Entwicklungsphasen ergeben, werden innerhalb der Bewertung visualisiert und können durch Informationsgewinnung im Laufe der Entwicklung weiter reduziert werden.

Aus der Methode können zudem weitere Forschungsbedarfe abgeleitet werden. Beispielsweise stellt die Integration der identifizierten Handlungsmaßnahmen in die meist fest

etablierten Entwicklungsschritte innerhalb der Unternehmen eine große Herausforderung dar. Der Einsatz der einzelnen Maßnahmen ist nicht durch eine einmalige Anwendung geprägt. Vielmehr gilt es, eine Integration entwicklungs- und produktionsbegleitend sicherzustellen. Teilweise stellen die verschiedenen Ansätze bereits eine wesentliche Ausrichtung der Entwicklung und Produktion dar und müssen im Rahmen der Implementierung weiter konkretisiert werden.

Eine weitere Forschungsrichtung ergibt sich aus der Langfristigkeit der Serienanlaufprojekte bei komplexe Produkten und der zunehmenden globalen Ausrichtung. Es müssen Ansätze geschaffen werden, um die Erfahrungen und das Know-how der Mitarbeiter im Serienanlauf langfristig für das Unternehmen zugänglich zu machen. Das Erfahrungswissen kann wesentlich dazu beitragen, die Markteinführung zu beschleunigen.



# Anhang

## A. Vorgehensweise Koziationsanalyse

Die in Kapitel 3.1.1 beschriebene Koziationsanalyse beinhaltet die in Bild A.1 dargestellte Vorgehensweise. Die vier Hauptphasen Datenselektion, Datenaufbereitung, Berechnung und Visualisierung/Interpretation werden im Folgenden erläutert.

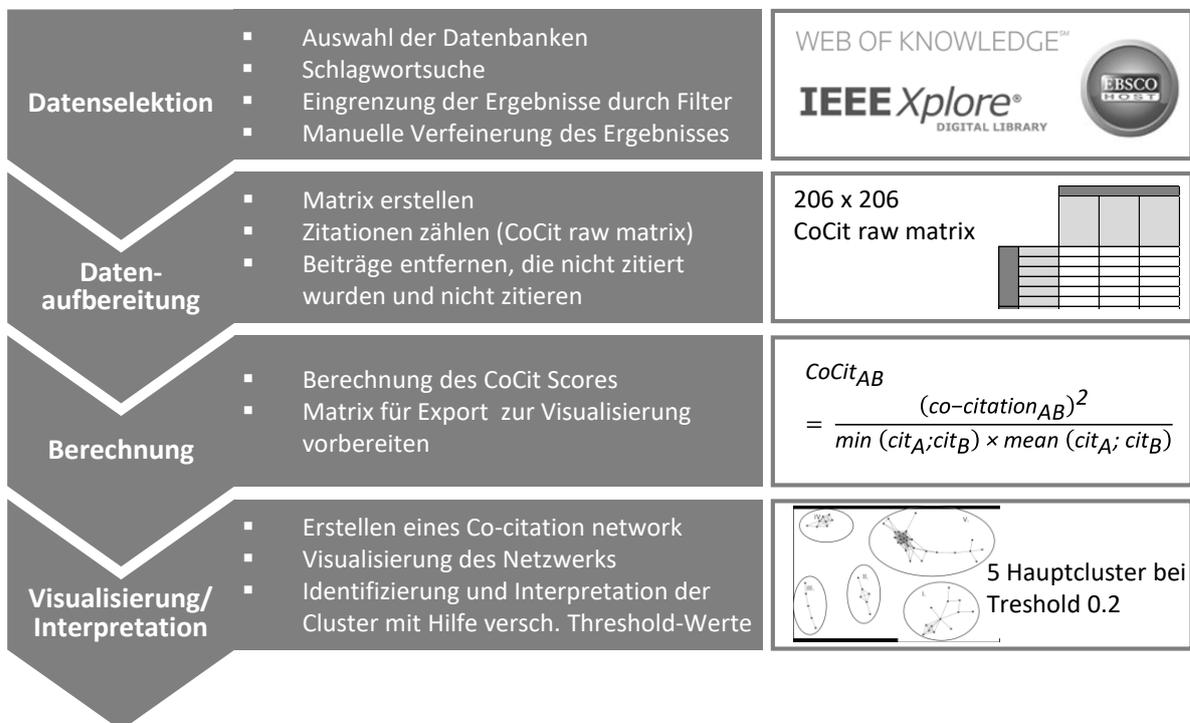


Bild A.1: Vorgehensweise der Koziationsanalyse in Anlehnung an [Gmü03], [Mey09]

### A.1 Datenselektion

Bei der Auswahl der Datenbanken wird auf Zugehörigkeit zu Forschungsfachgebieten, Zugänglichkeit zu Publikationen und Verfügbarkeit der Referenzliste der jeweiligen Publikationen geachtet. Für die Analyse werden folgende drei Datenbanken ausgewählt:

- Web of Knowledge (Web of Science),
- EBSCOhost Research Databases,
- IEEE Xplore.

Entscheidend bei der Suche nach relevanten Veröffentlichungen im Forschungsfeld Serienanlauf ist die Schlagwortsuche. Für die Suche werden folgende Wortkombinationen verwendet, um die Schnittstelle von Entwicklung bis hin zum Markteintritt zu charakterisieren:

- product launch
- ramp-up
- production ramp-up
- production start-up

Wie bereits zuvor beschrieben werden nur Journal Beiträge in die Untersuchungen miteinbezogen. Filter in den jeweiligen Datenbanken helfen unerwünschte Suchergebnisse, wie z.B. Forschungsberichte oder andere Arten von Veröffentlichungen, herauszufiltern. Neben dem Einsatz von Filtern, ist auch eine manuelle Filterung notwendig. Aufgrund der drei verschiedenen Datenbanken kann es zu Doppelnennungen kommen, die für die Analyse nicht zweckmäßig sind oder nicht nachvollziehbare Trefferergebnisse liefern. Für die Untersuchung wurden so 206 verschiedene Veröffentlichungen hinsichtlich der vorliegenden Forschungsarbeit identifiziert.

## A.2 Datenaufbereitung

Für die Analyse werden die Beiträge in eine Excel-basierende Matrix übertragen. Dazu erfolgt, dort wo es möglich ist, eine automatische (Web of Knowledge) oder manuelle (Ebsco, IEEE) Exportierung der Referenzen der jeweiligen Beiträge.

Für die eindeutige Identifizierung werden pro Beitrag die Namen der Autoren, Jahreszahl und Titel der Veröffentlichung übertragen. Als Ergebnis entsteht eine 206 mal 206 große Matrix. Geprüft wird innerhalb der Referenzen, ob ein Beitrag aus dem Datenpool zitiert wird. Anschließend werden alle Beiträge aus der weiteren Analyse ausgeschlossen, die weder zitiert werden oder zitieren. Die Anzahl der Publikationen wird so auf eine 71 mal 71 große Matrix reduziert.

Tabelle A.1: Übersicht der 71 Publikationen

Autoren	Jahr	Titel
Beard; Easingwood	1996	New product launch - Marketing action and launch tactics for high-technology products
Bohn; Terwiesch	1999	The economics of yield-driven processes
Bowersox; Stank; Daugherty	1999	Lean launch: Managing product introduction risk through response-based logistics
Bruce; Daly; Kahn	2007	Delineating design factors that influence the global product launch process
Calantone; Di Benedetto	2007	Clustering product launches by price and launch strategy
Calantone; Griffith	2007	From the special issue editors: Challenges and opportunities in the field of global product launch
Carbonell-Foulquie; Munuera-Aleman; Rodriguez-Escudero	2004	Criteria employed for go/no-go decisions when developing successful highly innovative products
Ceglarek; Huang; Zhou; et al.	2004	Time-based competition in multistage manufacturing: Stream-of-variation analysis (SOVA) methodology - review
Lin; Chen	2004	New product go/no-go evaluation at the front end: a fuzzy linguistic approach
Chiu; Chen; Shyu; et al.	2006	An evaluation model of new product launch strategy

Cristiano; Liker; White	2001	Key factors in the successful application of quality function deployment (QFD)
Debruyne; Moenaert; Griffin; et al.	2002	The impact of new product launch strategies on competitive reaction in industrial markets
Di Benedetto	1999	Identifying the key success factors in new product launch
Dombrowski; Hanke	2009	Lean ramp-up - an organisation model for efficient series ramp-ups in SME
Dombrowski; Hanke	2011	Lean ramp-up: Fields of action and design: Doing the right things right from the beginning
Fleischer; Lanza; Ender	2005	Quality prognosis and process innovation in production ramp-up
Fleischer; Wawerla; Nyhuis; et al.	2004	Proactive controlling of production ramp-ups along the value chain
Ford; Sobek	2005	Adapting real options to new product development by modeling the second Toyota paradox
Guiltinan	1999	Launch strategy, launch tactics, and demand outcomes
Haller; Peikert; Thoma	2003	Cycle time management during production ramp-up
Harvey; Griffith	2007	The role of globalization, time acceleration, and virtual global teams in fostering successful global product launches
Hertrampf; Nickel; Stirzel	2008	Production-start as success factor for adherence to the time to market
Hertrampf; Stirzel; Eberspacher	2008	A reference model for efficient planning of company-wide production ramp-up
Hinrichs; Rittscher; Hellgrath	2004	Collaborative ramp-up management
Hitsch	2006	An empirical model of optimal dynamic product launch and exit under demand uncertainty
Ho; Savin; Terwiesch	2002	Managing demand and sales dynamics in new product diffusion under supply constraint
Hultink; Griffin; Hart; et al.	1997	Industrial new product launch strategies and product development performance
Hultink; Griffin; Robben; et al.	1998	In search of generic launch strategies for new products
Hultink; Robben	1999	Launch strategy and new product performance: An empirical examination in The Netherlands
Karlsson; Ahlstrom	1996	The difficult path to lean product development
Kong; Ceglarek	2003	Rapid deployment of reconfigurable assembly fixtures using workspace synthesis and visibility analysis
Langerak; Hultink	2005	The impact of new product development acceleration approaches on speed and profitability: lessons for pioneers and fast followers
Langerak; Hultink; Robben	2004	The impact of market orientation, product advantage, and launch proficiency on new product performance and organizational performance
Lee; O'Connor	2003	New product launch strategy for network effects products
Lee; Wong	2010	New product development proficiency and multi-country product rollout timeliness
Lenfle; Midler	2009	The launch of innovative product-related services: Lessons from automotive telematics
Leslie; Holloway	2006	The sales learning curve
Loch; Pich; Terwiesch; et al.	2001	Selecting R&D projects at BMW: a case study of adopting mathematical programming models
Luan; Sudhir	2010	Forecasting Marketing-Mix Responsiveness for New Products
Lynn; Reilly; Akgun	2000	Knowledge management in new product teams: practices and outcomes
Matta; Tomasella; Valente	2007	Impact of ramp-up on the optimal capacity-related reconfiguration policy
Mehrabi; Ulsoy; Koren	2000	Reconfigurable manufacturing systems: Key to future manufacturing
Meier; Hanenkamp; Schramm	2004	Holistic production ramp-up in small and medium sized enterprise
Micheal; Rochford; Wotruba	2003	How new product introductions affect sales management strategy: The impact of type of "newness" of the new product
Pruett; Thomas	2008	Experience-based learning in innovation and production
Qin; Nembhard	2010	Workforce agility for stochastically diffused conditions-A real options perspective

Reinfelder; Wuttke; Blumenau	2004	Planning of production systems insensitive to ramp-up impacts
Santiago; Bifano	2005	Management of R&D projects under uncertainty: a multidimensional approach to managerial flexibility
Savin; Terwiesch	2005	Optimal product launch times in a duopoly: Balancing life-cycle revenues with product cost
Schatzel; Calantone	2006	Creating market anticipation: An exploratory examination of the effect of preannouncement behavior on a new product's launch
Scholz-Reiter; Hohns; Kruse; et al.	2004	Hybrid product change management in the ramp-up phase of the automotive industry
Scholz-Reiter; Krohne	2006	Productclusterspecific product change classification - the enabler of an efficient product change management during series ramp-up
Scholz-Reiter; Krohne; Wenzens	2008	Ramp-Up Management in Electronic Supply Chains Realisation of Series Ramp-Ups in Supply Chains of the Electronic Industry
Song (L.Z.); Di Benedetto; Song (M.)	2010	Competitive Advantages in the First Product of New Ventures
Song; Swink	2009	Marketing–Manufacturing Integration Across Stages of New Product Development: Effects on the Success of High- and Low-Innovativeness Products
Souder; Sherman; Davies-Cooper	1998	Environmental uncertainty; organizational integration; and new product development effectiveness: A test of contingency theory
Straub; Weidmann; Baumeister	2006	Automobile industry
Swink; Calantone	2004	Design-manufacturing integration as a mediator of antecedents to new product design quality
Talke; Hultink	2010	Managing Diffusion Barriers When Launching New Products
Talke; Hultink	2010	The Impact of the Corporate Mind-set on New Product Launch Strategy and Market Performance
Tatikonda; Rosenthal	2000	Technology novelty, project complexity, and product development project execution success: a deeper look at task uncertainty in product innovation
Terwiesch; Bohn	2001	Learning and process improvement during production ramp-up
Terwiesch; Bohn; Chea	2001	International product transfer and production ramp-up: a case study from the data storage industry
Terwiesch; Xu	2004	The copy-exactly ramp-up strategy: Trading-off learning with process change
van Hoek; Chapman	2006	From tinkering around the edge to enhancing revenue growth: supply chain-new product development
Vandevelde; Van Dierdonck	2003	Managing the design-manufacturing interface
Wang; Lin	2009	An overlapping process model to assess schedule risk for new product development
Wildemann	2004	Preventive operation strategies for ramp-up
Wildemann	2005	Management of operational risks in production
Zäh; Möller	2004	Risk management in production ramp-up
Zimolong; Meier; Preuss; et al.	2006	SME oriented ramp-up management within the supply chain

### A.3 Berechnung

Absolute Zitationswerte sind nicht geeignet für die Bildung von Cluster innerhalb eines Netzwerkes. Bereits häufig zitierte Quellen neigen dazu, auch zukünftig häufiger zitiert zu werden. Deshalb sollte die absolute Kozitationsanzahl zweier Quellen auch im Verhältnis zur Häufigkeit ihrer Zitation gesetzt werden [Mey09]. Als Maß für die Nähe der einzelnen Publikationen zueinander wird deshalb der CoCit-Score nach GMÜR [Gmü03] berechnet.

$$CoCit_{AB} = \frac{(co-citation_{AB})^2}{\text{minimum}(citation_A; citation_B) \times \text{mean}(citation_A; citation_B)} \quad (A.1)$$

Der CoCit-Score stellt einen relativen Kozitationswert zweier Beiträge (A und B) dar und ist skaliert auf einen Wert zwischen 0 und 1. Der symmetrischen Matrix mit 71 Publikationen wird entsprechend der Formel ein CoCit-Score berechnet und zugewiesen. Die folgende Matrix stellt einen Ausschnitt der berechneten Werte dar (vgl. Bild A.2).

	Beard; Easingwood	Bohn; Terwiesch	Bowersox; Stank; Daugherty	Bruce; Daly; Kahn	Calantone; Di Benedetto	Calantone; Griffith	Carbonell-Foulquie; et al.	Ceglarek; Huang; Zhou; et al.	Lin; Chen	Chiu; Chen; Shyu; et al.	Cristiano; Liker; White	Debruyne; et al.
Beard; Easingwood		0	0.123	0.4	0	0	0	0	0	0.4	0	0.019
Bohn; Terwiesch	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bowersox; Stank; Daugherty	0.123	0		0.571	0.143	0	0	0	0	0.571	0	0.133
Bruce; Daly; Kahn	0.4	0	0.571		0	0	0	0	0	1	0	0
Calantone; Di Benedetto	0	0	0.143	0		0	0	0	0	0	0	0.111
Calantone; Griffith	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
Carbonell-Foulquie; et al.	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
Ceglarek; Huang; Zhou; et al.	0	0	0	0	0	0	0		0.5	0	0	0
Lin; Chen	0	0	0	0	0	0	0	0.5		0	0	0
Chiu; Chen; Shyu; et al.	0.4	0	0.571429	1	0	0	0	0	0		0	0
Cristiano; Liker; White	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Debruyne; et al.	0.019	0	0.133	0	0.111	0	0	0	0	0	0	

Bild A.2: Matrixausschnitt mit den berechneten CoCit-Scores

#### A.4 Visualisierung und Interpretation

Für die Visualisierung des Kozitationsnetzwerkes wird die von der Carnegie Mellon Universität entwickelte Software Organizational Risk Analyzer (ORA) eingesetzt. Dazu wird zunächst die zuvor beschriebene Matrix mit den CoCit-Scores eingelesen. Das resultierende Netzwerk ist in der folgenden Abbildung dargestellt (vgl. Bild A.3). Jeder Knotenpunkt repräsentiert dabei eine der 71 Publikationen.

Für die folgende Untersuchung werden Cluster benötigt. Um diese sichtbar zu machen, wird mit Hilfe der Erhöhung eines sogenannten Treshold-Wertes die Clusterbildung vorgenommen. Der Treshold-Wert wird solange erhöht (gestartet wird bei 0.1), bis sich sinnvolle Cluster gebildet haben. Im Netzwerk werden nur die Knoten und Verbindungen der verschiedenen Publikationen, die einen höheren CoCit-Score als den angegebenen Treshold-Wert aufweisen, angezeigt. Im Folgenden wird eine Ansammlung als Cluster bezeichnet, wenn es mindestens aus drei Knotenpunkten besteht. Mit Erhöhung des Treshold-Wertes auf 0.2 entstehen fünf verschiedene Cluster (vgl. A.4). Einzelne oder paarweise Knoten werden wie be-

reits zuvor beschrieben, nicht als Cluster definiert und somit nicht weiter in der Betrachtung berücksichtigt.

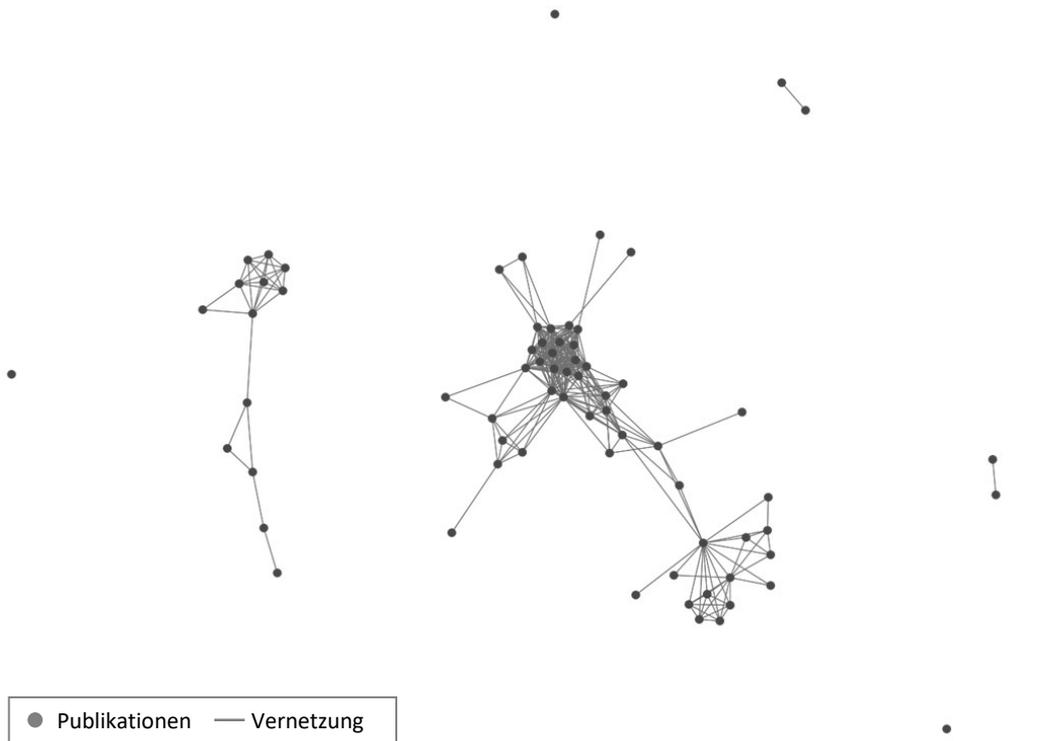


Bild A.3: Resultierendes Kozitationsnetzwerk mit 71 Publikationen

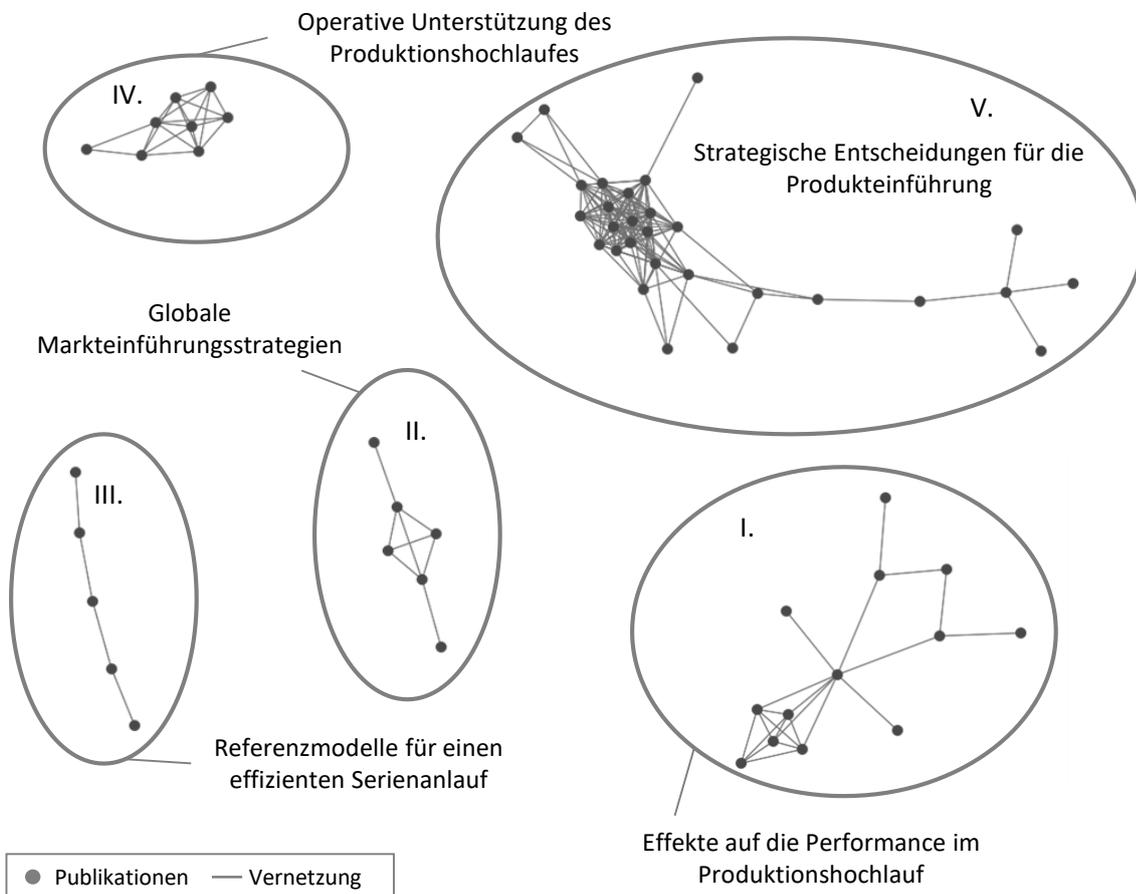


Bild A.4: Clusterdarstellung nach Erhöhung Treshold-Wert auf 0.2

In Bild A.5 sind die innerhalb der Analyse untersuchten Cluster mit den dazugehörigen Publikationen zusammengefasst.

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 5
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bohn and Terwiesch, 1999</li> <li>• Ceglarek et al., 2004</li> <li>• Haller et al., 2003</li> <li>• Karlsson and Ahlstrom, 1996</li> <li>• Lenfle and Midler, 2009</li> <li>• Lin and Chen, 2004</li> <li>• Loch et al., 2001</li> <li>• Pruett and Thomas, 2008</li> <li>• Terwiesch and Bohn, 2001</li> <li>• Terwiesch and Xu, 2004</li> <li>• Terwiesch et al., 2001</li> <li>• van Hoek and Chapman, 2006</li> <li>• Vandavelde and van Dierdonck, 2003</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calantone and Griffith, 2007</li> <li>• Harvey and Griffith, 2007</li> <li>• Langerak and Hultink, 2005</li> <li>• Lee and Wong, 2010</li> <li>• Song et al., 2010</li> <li>• Tatikonda and Rosenthal, 2000</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beard and Easingwood, 1996</li> <li>• Bowersox et al., 1999</li> <li>• Bruce et al., 2007</li> <li>• Chiu et al., 2006</li> <li>• Cristiano et al., 2001</li> <li>• Debruyne et al., 2002</li> <li>• Di Benedetto, 1999</li> <li>• Ford and Sobek, 2005</li> <li>• Gultinan, 1999</li> <li>• Hitsch, 2006</li> <li>• Ho et al., 2002</li> <li>• Hultink and Robben, 1999</li> <li>• Hultink et al., 1997</li> <li>• Hultink et al., 1998</li> <li>• Langerak et al., 2004</li> <li>• Lee and O'Connor, 2003</li> <li>• Leslie and Holloway, 2006</li> <li>• Luan and Sudhir, 2010</li> <li>• Micheal et al., 2003</li> <li>• Qin and Nembhard, 2010</li> <li>• Santiago and Bifano, 2005</li> <li>• Savin and Terwiesch, 2005</li> <li>• Schatzel and Calantone, 2006</li> <li>• Song and Swink, 2009</li> <li>• Swink and Calantone, 2004</li> <li>• Talke and Hultink, 2010a</li> <li>• Talke and Hultink, 2010b</li> <li>• Wang and Lin, 2009</li> </ul>
	Cluster 3	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fleischer et al., 2004</li> <li>• Hertrampf et al., 2008a</li> <li>• Hertrampf et al., 2008b</li> <li>• Scholz-Reiter et al., 2008</li> <li>• Straub et al., 2006</li> </ul>	
	Cluster 4	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fleischer et al., 2005</li> <li>• Hinrichs et al., 2004</li> <li>• Meier et al., 2004</li> <li>• Reinfelder et al., 2004</li> <li>• Scholz-Reiter et al., 2004</li> <li>• Wildemann, 2004</li> <li>• Wildemann, 2005</li> <li>• Zäh and Möller, 2004</li> </ul>	

Bild A.5: Übersicht der Publikationen in den jeweiligen Clustern

## **B. Aufbau und Durchführung der Expertenbefragung**

### **B.1 Aufbau des Interviewleitfadens**

Experteninterviews sind durch einen offenen Gesprächsverlauf charakterisiert. Es werden somit keine Antwortmöglichkeiten vorgegeben, um den Befragten möglichst viel Interpretationsspielraum zu ermöglichen [Bog09]. Grundsätzlich können Interviews strukturiert, teilstrukturiert oder unstrukturiert durchgeführt werden [Ble09]. Im vorliegenden Fall wurde auf einen teilstrukturierten Leitfaden zurückgegriffen. Dies hat den Vorteil, dass auch die Möglichkeit besteht, zusätzliche Interpretationen und Nennungen mit aufzunehmen. Der dargestellte Leitfaden dient in der Durchführung dazu, die für die Fragestellung interessanten Themenbereiche zu fokussieren und eine Auswertung nach Themenbereichen zu erleichtern. Im Rahmen der Erstellung standen folgende Themenfelder im Fokus.

- Allgemeine Fragen zum Serienanlauf
- Organisation des Serienanlauf
- Eingesetzte Methoden im Arbeitsbereich
- Einflussfaktoren und Stellgrößen im Serienanlauf

Innerhalb der einzelnen Themenbereiche dienen die Fragen zur thematischen Orientierung und Anregung der Gesprächspartner, um Schwerpunkte im Gespräch zu setzen.

### **B.2 Durchführung der Expertenbefragung**

Alle Interviews wurden vor Ort innerhalb einer Gruppe bestehend aus dem Experten und Interviewern durchgeführt. Die Dauer der Befragung betrug im Durchschnitt 90 Minuten. Die Gespräche wurden protokolliert und zur Sicherstellung des gleichen Verständnisses sowie gegebenenfalls zur Korrektur dem Experten im Nachgang zur Verfügung gestellt. Während des Interviews wurden dem Experten, wenn nötig, zusätzliche Detailfragen gestellt, um so komplexe Sachverhalte verständlich aufnehmen zu können.

Die Durchführung der Interviews wurde identisch aufgebaut. Zu Beginn erfolgte eine Vorstellung der beteiligten Gesprächspartner. Anschließend konnten die Zielsetzung und das Thema des Interviews genauer erläutert werden. Um den Gesprächsfluss nicht unnötig zu unterbrechen, wurden die Fragen in den jeweiligen Bereichen nicht stringent in der Reihenfolge abgefragt. Lediglich die Themenbereiche sind in derselben Reihenfolge abgearbeitet worden. Abschließend wurde das weitere Vorgehen besprochen und gegebenenfalls ein Folgeinterview vereinbart, wenn sich noch offene Punkte im Gespräch ergeben haben.

**B.3 Interviewleitfaden**

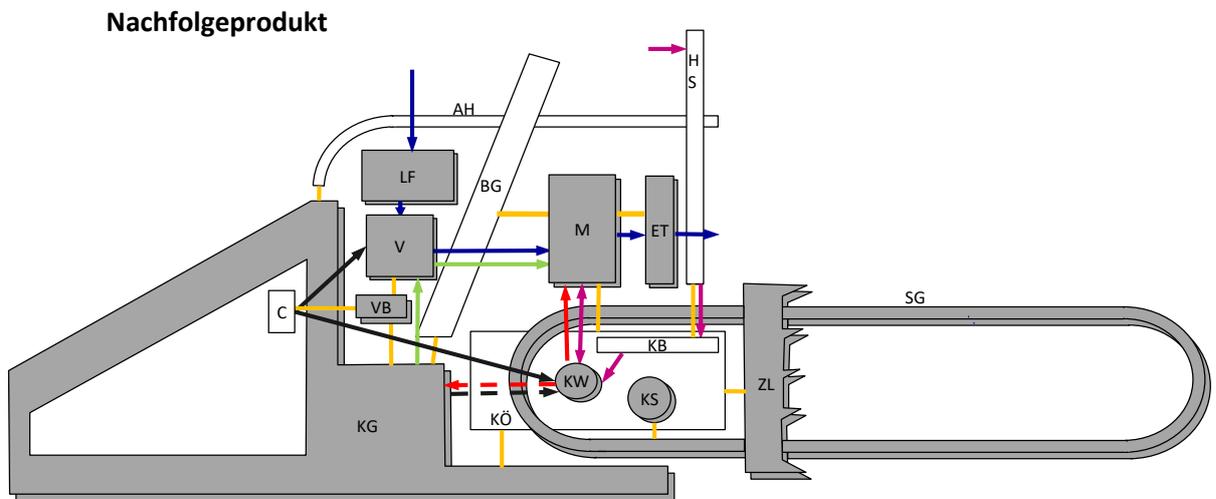
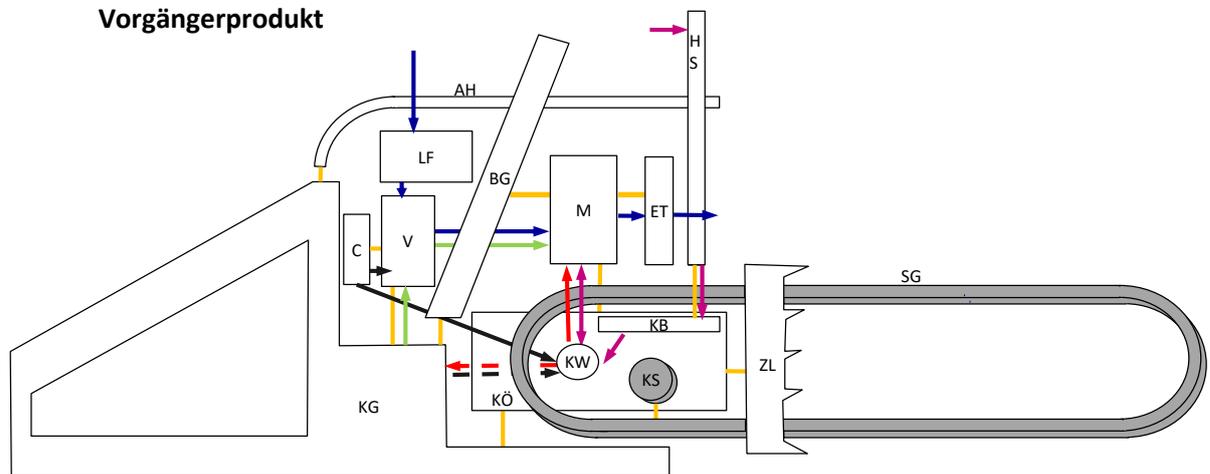
Allgemeine Fragen zum Thema Serienanlauf
1. Wie häufig findet bei Ihnen ein Serienanlauf statt?
2. Wie lange benötigen Sie für die Entwicklung vom Projektstart bis zum Produktionsstart?
3. Wie beurteilen Sie den Innovationsgrad des Neuprodukts bzw. der Produktionsprozesse?
4. Gibt es eine zentrale Anlaufstrategie in Ihrem Unternehmen/Arbeitsbereich?
Organisation des Serienanlaufs
5. Welche Organisationsform herrscht beim Produktionsanlauf vor? Gibt es im Rahmen Ihrer Projekte ein Serienanlaufteam?
6. Ab welchem Zeitpunkt des Produktentstehungsprozesses wird die Produktion beteiligt?
7. Ab welchem Zeitpunkt des Produktentstehungsprozesses werden die Lieferanten eingebunden?
8. Welche Koordinationsmechanismen wurden für interne und externe Schnittstellen während des Serienanlaufs eingesetzt?
Eingesetzte Methoden im Arbeitsbereich
9. Fließen die aus vorangegangenen Serienanläufen gewonnenen Erfahrungen in die Umsetzung neuer Serienanläufe zielgerichtet mit ein?
10. Existieren Best-Practices, um Probleme bei Anlaufprojekten durch vorhandene Lösungen zu beheben?
11. Welche Ansätze wurden mit welcher Intensität angewandt, um Sie auf den bevorstehenden Anlauf vorzubereiten? <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pilotmontage</li> <li>• Schulungen</li> <li>• Regelmeetings</li> <li>• Einbindung in die Entwicklung</li> <li>• ...</li> </ul>
12. Welche Absicherungsmaßnahmen wurden im Vorfeld und während des Anlaufs eingesetzt? <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prototypen</li> <li>• Funktionsmustererstellung</li> <li>• Qualitätsprüfung der Komponenten</li> <li>• Lieferantenaudit</li> <li>• Regelmeetings</li> <li>• Prozesssimulation</li> <li>• DMU Untersuchungen</li> <li>• Risikoabschätzung</li> <li>• ...</li> </ul>

Einflussfaktoren und Stellgrößen im Serienanlauf
13. Was für Störgrößen haben sich aus Ihrer Sicht in der Vergangenheit als Hauptkriterien für Probleme während des Serienanlaufs ergeben?
14. Wo sehen Sie die möglichen Ursachen für diese Anlaufprobleme? Wie ist deren Intensität/Ausprägung? <ul style="list-style-type: none"><li>• Innovationsgrad des Produkts</li><li>• Komplexität des Produkts und/oder Produktionsprozesse</li><li>• Hohe Variantenzahl des Produkts</li><li>• Änderungsumfang während der Entwicklung</li><li>• Entwicklungsumfang</li><li>• Netzwerkkomplexität</li><li>• Lieferantenqualifikation</li><li>• Zeitpunkt der Lieferanteneinbindung</li><li>• ...</li></ul>
15. Welche Kriterien definieren Sie als Erfolgsfaktoren für einen gelungen Serienanlauf? <ul style="list-style-type: none"><li>• Standardisierung organisatorischer Prozesse</li><li>• Anlaufcontrolling</li><li>• Kompatibilität der IT zwischen den beteiligten Bereichen und Unternehmen</li><li>• Wissensmanagement</li><li>• Intensive Kommunikation</li><li>• Transparenz</li><li>• Qualifikation der Mitarbeiter</li><li>• ...</li></ul>

### C. Ist-Aufnahme des erklärenden Beispiels

Im Folgenden werden die graphischen Werkzeuge der in Kapitel 5.2.1 durchgeführten Ist-Aufnahme abgebildet.

#### C.1 MIG des Vorgänger- Nachfolgeprodukt



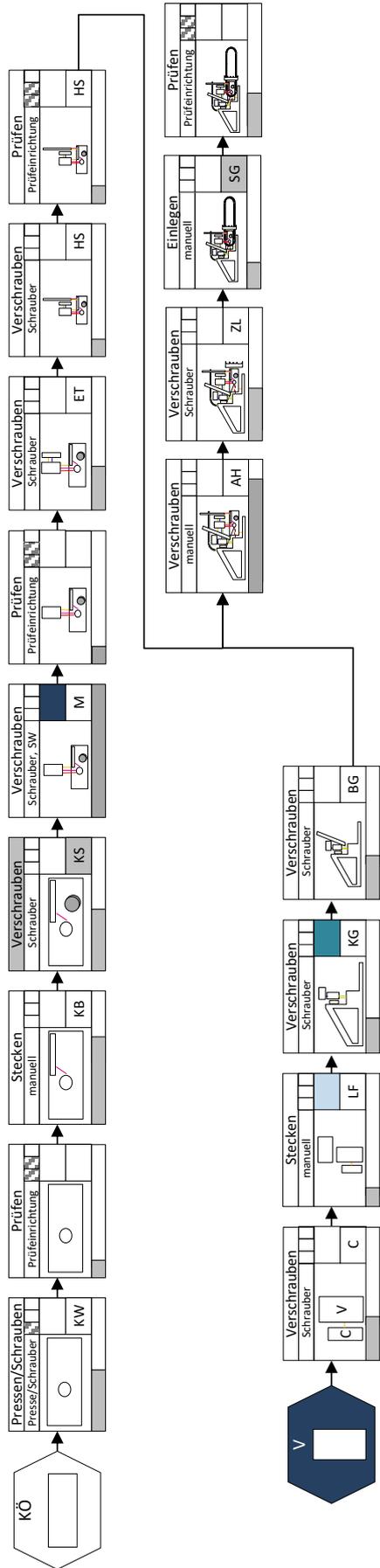
- Komponente (Standard)
- Komponente (variant)
- Komponente (optional)
- Fluss (gerichtet)
- Flussquelle

- AH: Abdeckungshaube
- BG: Bügelgriff
- C: Choke/Ein/Aus Hebel
- ET: Endtopf
- HS: Handschutz
- KB: Kettenbremse
- KG: Kraftstofftank/Griff
- KÖ: Kurbelgehäuse/Öltank
- KW: Kurbelwelle
- KS: Schneidgarnitur
- ZL: Zackenleiste

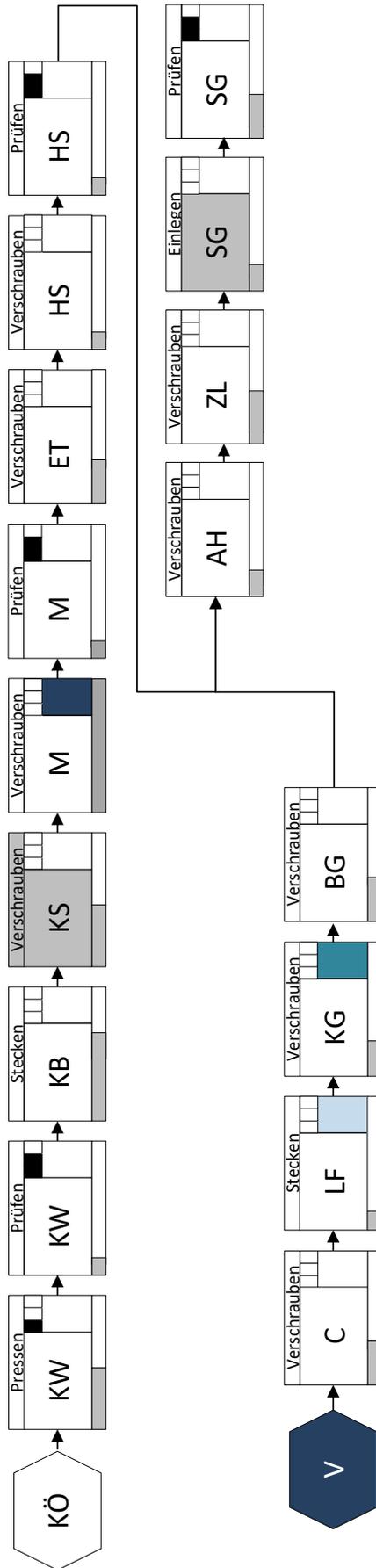
- Strukturverbindung
- Elektrische Leistung
- Mechanische Leistung
- Luftfluss
- Treibstofffluss
- Informationsfluss

C.2 Montagevorranggraph des Vorgängerproduktes

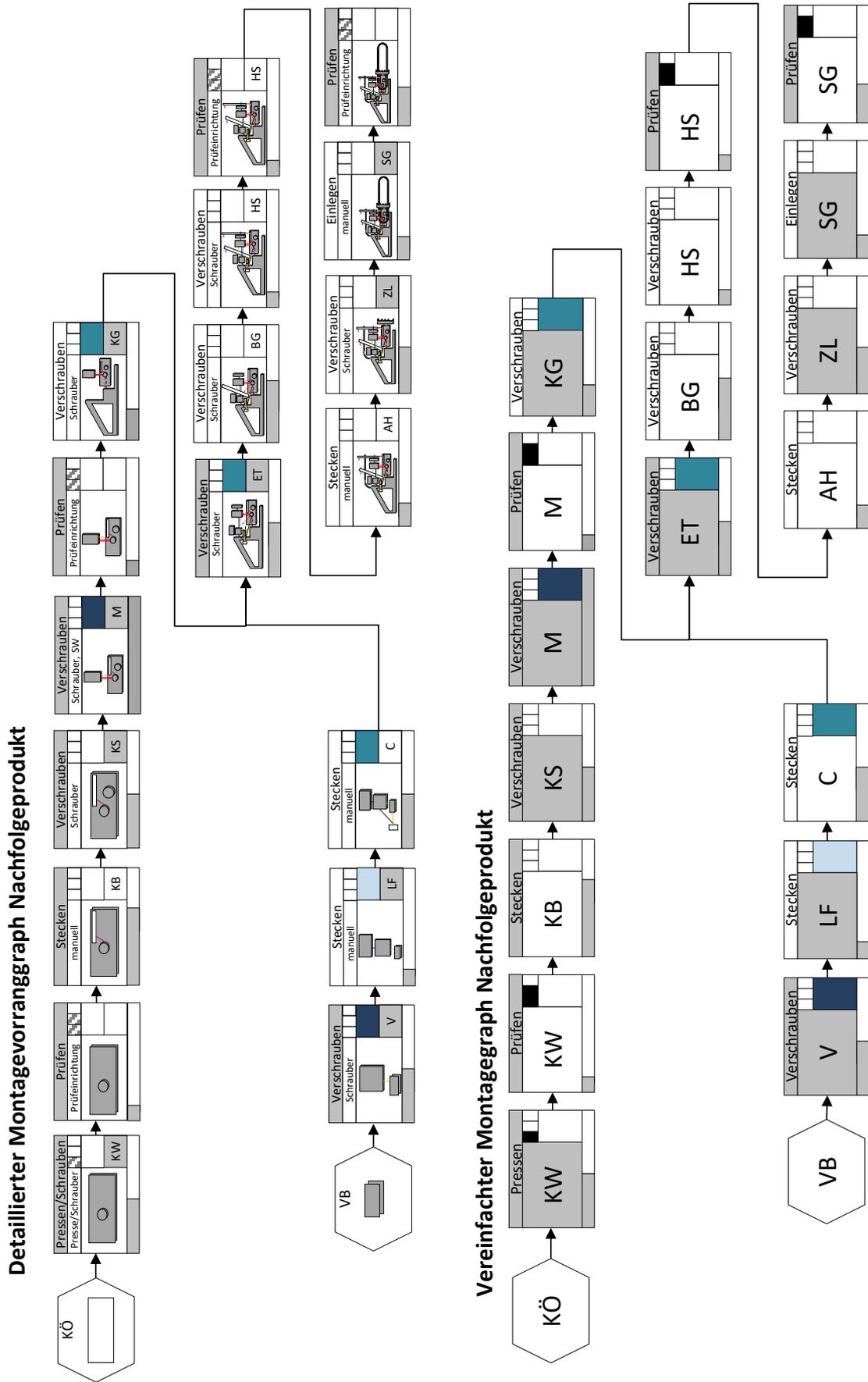
Detaillierter Montagevorranggraph Vorgängerprodukt



Vereinfachter Montagevorranggraph Vorgängerprodukt



C.3 Montagevorranggraph des Nachfolgeproduktes



C.4 Vorgänger- und Nachfolgeprodukt in DSM Darstellungsform

Vorgängerprodukt - DSM

	AH	BG	C	ET	HS	KB	KG	KÖ	KS	KW	LF	M	SG	V	ZL	out	Kategorie
AH	■						X									1	C
BG		■					X					X				2	C
C			■							X				X		2	M
ET				■								X				1	C
HS					■	X										1	C
KB					X	■		X		X						3	M
KG	X	X					■	X		X				X		5	C
KÖ						X	X	■	X	X		X			X	6	C
KS								X	■				X			2	C
KW							X	X		■		X	X			4	P
LF											■			X		1	M
M		X		X				X		X		■				4	P
SG									X	X			■			2	C
V			X				X					X		■		3	C
ZL								X							■	1	C
in	1	2	1	1	1	2	5	6	2	6	0	5	2	3	1	38	

Änderungs-DSM Nachfolgeprodukt

	AH	BG	C	ET	HS	KB	KG	KÖ	KS	KW	LF	M	SG	V	VB	ZL	out	Kategorie
AH	■						X										1	C
BG		■					X					X					2	C
C			■							X				X	■		3	M
ET				■								X					1	C
HS					■	X											1	C
KB					X	■		X		X							3	M
KG	X	X					■	X		X				X	■		6	M
KÖ						X	X	■	X	X		X				X	6	C
KS								X	■				X				2	C
KW							X	X		■		X	X				4	P
LF											■			X			1	M
M		X		X				X		X		■					4	P
SG									X	X			■				2	C
V												X		■	■		2	P
VB			X				X								■	■	3	M
ZL								X								■	1	C
in	1	2	1	1	1	2	5	6	2	6	0	5	2	4	3	1	42	

■ neu hinzugefügte Komponente

■ geänderte Komponenten

C – Neutral, Konstant; M – Multiplikator; P – Puffer

### C.5 Berechnung der Indikatoren

$$\text{Kopplungsgrad} = \frac{\text{Anzahl vorhandener Schnittstellen}}{\text{Theoretisch maximale Anzahl an Schnittstellen}} \quad (\text{C.1})$$

$$K_{Vor} = \frac{38}{210} = 0.18 \quad K_{Nach} = \frac{42}{240} = 0.18$$

$$\text{Prozessvielfalt} = \frac{\sum M_V}{\sum M} \quad (\text{C.2})$$

$$P_{Vor} = \frac{5}{17} = 0.29 \quad P_{Nach} = \frac{5}{18} = 0.28$$

mit  $\sum M_V$  = Anzahl verschiedener Montageverfahren im Gesamtprozess  
 $\sum M$  = Gesamtanzahl an Montageschritten

$$\text{Verkettungsgrad} = \frac{\sum M_S}{\sum M} \quad (\text{C.3})$$

$$V_{Vor} = \frac{13}{17} = 0.76 \quad V_{Nach} = \frac{15}{18} = 0.83$$

mit  $\sum M_S$  = Summe der sequentiell ablaufenden Montageschritte  
 $\sum M$  = Gesamtanzahl an Montageschritten

$$\text{Automatisierungsgrad} = \frac{\sum M_A}{3 \cdot \sum M} \quad (\text{C.4})$$

$$A_{Vor} = \frac{1 + 2 + 2 + 2 + 2}{3 \cdot 17} = 0.18 \quad A_{Nach} = \frac{1 + 2 + 2 + 2 + 2}{3 \cdot 18} = 0.17$$

mit  $\sum M_A$  = Summe der automatisierten Montageschritte (Wert je Ausprägung 1 bis 3)  
 $\sum M$  = Gesamtanzahl an Montageschritten

$$\text{Grad der ext. Entwicklungstiefe} = \frac{\sum N_E}{\sum N} \quad (\text{C.5})$$

$$ET_{Vor} = \frac{3}{17} = 0.18 \quad ET_{Nach} = \frac{6}{26} = 0.23$$

mit  $\sum N_E$  = Summe der extern entwickelten Komponenten  
 $\sum N$  = Gesamtanzahl an Komponenten

$$\text{Grad der ext. Fertigungstiefe} = \frac{\sum M_E}{\sum M} \quad (\text{C.6})$$

$$FT_{Vor} = \frac{4}{17} = 0.24 \quad FT_{Nach} = \frac{6}{18} = 0.33$$

mit  $\sum M_E$  = Summe der Montageschritte mit extern bezogenen Komponenten  
 $\sum M$  = Gesamtanzahl an Montageschritten

$$\text{Lieferantenart} = \frac{\sum_{i=1}^n L_j}{3 \cdot n_L} \quad (\text{C.7})$$

$$L_{Vor} = \frac{1 + 1 + 3 + 2}{3 \cdot 4} = 0.58 \quad L_{Nach} = \frac{1 + 2 + 2 + 1 + 2}{3 \cdot 5} = 0.53$$

mit  $L_j$  = Lieferantenausprägung mit dem maximalen Punktwert je Lieferant  
 $n_L$  = Anzahl an Lieferanten

$$\text{Neuheitsgrad der Komponenten} = 1 - \frac{\sum C_K}{\sum N} \quad (\text{C.8})$$

$$N_K = 1 - \frac{12}{26} = 0.54$$

mit  $C_K$  = Carry-over-Komponenten vom Vorgängerprodukt  
 $\sum N$  = Gesamtanzahl an Komponenten im Nachfolgeprodukt

$$\text{Neuheitsgrad der Prozesse} = 1 - \frac{\sum C_P}{\sum M} \quad (\text{C.9})$$

$$N_P = 1 - \frac{14}{18} = 0.22$$

mit  $C_P$  = Carry-over-Prozesse vom Vorgängerprodukt  
 $\sum M$  = Gesamtanzahl an Montageschritten des Nachfolgeprodukts

$$\text{Neuheitsgrad der Schnittstellen} = 1 - \frac{\sum C_S}{\sum S} \quad (\text{C.10})$$

$$N_S = 1 - \frac{33}{42} = 0.21$$

mit  $\sum C_S$  = Summe der unveränderten Schnittstellen vom Vorgängerprodukt  
 $\sum S$  = Gesamtanzahl an Schnittstellen im Nachfolgeprodukt

$$\text{Produktänderungen} = \frac{N_S + N_K}{2} \cdot \frac{K_{Nach} + C_{multi}}{2} \quad (\text{C.11})$$

$$\text{Produktänderungen} = \frac{0.24 + 0.54}{2} \cdot \frac{0.18 + 0.31}{2} = 0.1$$

mit  $N_S$  = Neuheitsgrad der Schnittstellen  
 $N_K$  = Neuheitsgrad der Komponenten  
 $K_{Nach}$  = Kopplungsgrad des Nachfolgeprodukts  
 $C_{multi}$  = Verhältnis Multiplikatoren zu Gesamtanzahl an Komponenten

$$\text{Prozessänderungen} = \frac{N_S + N_P}{2} \cdot \frac{V_{Nach} + L_{krit}}{2} \quad (\text{C.12})$$

$$\text{Prozessänderungen} = \frac{0.24 + 0.22}{2} \cdot \frac{0.83 + 0.2}{2} = 0.12$$

mit  $N_S$  = Neuheitsgrad der Schnittstellen  
 $N_P$  = Neuheitsgrad der Prozesse  
 $V_{Nach}$  = Verkettungsgrad der Prozesse vom Nachfolgeprodukt  
 $L_{krit}$  = Verhältnis der Lieferantenprozesse zur Gesamtanzahl der Prozesse auf dem kritischen Pfad

## D. Risikobewertung anhand der Beta-PERT-Verteilung

Am Beispiel der exemplarischen Einzelabschätzung aus Kapitel 5.3.2.1 wird im Folgenden die Vorgehensweise zur Risikobewertung einschließlich der an die Bewertung anschließenden Monte-Carlo-Simulation (vgl. Kapitel 5.3.2.2) vorgestellt. In der nachfolgenden Betrachtung der Berechnung wird lediglich das Risiko „1. Auflösung von Standards“ als Zahlenbeispiel verwendet. Wie bereits vorgestellt, basiert die Berechnung der Beta-Verteilung auf den beiden nachfolgenden Formeln für die Standardabweichung und Varianz.

$$\mu = a + (b - a) \cdot \left( \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \right) \quad (\text{D.1})$$

$$\sigma^2 = \left( \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \right) \cdot \left( \frac{\beta}{\alpha + \beta} \right) \cdot \left( \frac{(b - a)^2}{\alpha + \beta + 1} \right) \quad (\text{D.2})$$

mit  $a$  = minimaler Wert  
 $b$  = maximaler Wert  
 $\alpha, \beta$  = spezifische Formfaktoren der Funktion

Für die Berechnung wird nun die Pert-Abschätzung aus der Netzplantechnik zur Hilfe genommen. Die Berechnung der Varianz und Standardabweichung basiert auf der Berechnung einer einfachen Dreiecksfunktion. Bei der Berechnung der Standardabweichung wird der Schwerpunkt durch die Gewichtung auf den wahrscheinlichsten Wert gelegt.

$$\mu = \frac{a + 4 \cdot c + b}{6} \quad (\text{D.3})$$

$$\sigma^2 = \frac{(b - a)^2}{36} \quad (\text{D.4})$$

Auf Grundlage des Zahlenbeispiels „Auflösung von Standards“ ergibt sich zunächst für die Standardabweichung und Varianz bei Einsetzen der Werte aus dem Bild 5.14 folgendes Ergebnis.

Wahrscheinlichkeit	Auswirkung
$a = 2; b = 8; c = 5$	$a = 5; b = 8; c = 7$
$\mu = \frac{2 + 4 \cdot 5 + 8}{6} = 5$	$\mu = \frac{5 + 4 \cdot 7 + 8}{6} = 6,83$
$\sigma^2 = \frac{(8 - 2)^2}{36} = 1$	$\sigma^2 = \frac{(8 - 5)^2}{36} = 0,25$

Für die Bestimmung der spezifischen Formfaktoren alpha und beta der Funktion werden die die Formeln D.3 und D.4 genutzt und entsprechend in den Formeln D.1 und D.2 eingesetzt.

$$\alpha = \left( \frac{\mu - a}{b - a} \right) \cdot \left( \frac{(\mu - a) \cdot (b - \mu)}{\sigma^2} - 1 \right)$$

$$\beta = \left( \frac{b - \mu}{\mu - a} \right) \cdot \alpha$$

Nach Einsetzen der Beispielwerte ergibt sich folgendes Ergebnis für die Formfaktoren.

Wahrscheinlichkeit	Auswirkung
$\alpha = \left(\frac{5-2}{8-2}\right) \cdot \left(\frac{(5-2) \cdot (8-5)}{1} - 1\right) = 4$	$\alpha = \left(\frac{6,83-5}{8-5}\right) \cdot \left(\frac{(6,83-5) \cdot (8-6,83)}{0,25} - 1\right) = 4,61$
$\beta = \left(\frac{8-5}{5-2}\right) \cdot 4 = 4$	$\beta = \left(\frac{8-6,83}{6,83-5}\right) \cdot 4,61 = 2,95$

Damit sind alle Werte der Beta-Verteilung mit Hilfe der Pert-Abschätzung bekannt. Am Beispiel der Wahrscheinlichkeit ist ersichtlich, dass der Funktionsverlauf symmetrisch ist (alpha und beta sind identisch). Der Kurvenverlauf für die Funktion der Auswirkung ist leicht rechtsschief. Die jeweilige Bewertung der Experten liefert die Randbedingungen für die folgende Monte-Carlo-Simulation. Auf Basis der jeweiligen Verteilungsfunktion pro geschätztem Risiko wird mit Hilfe einer Zufallszahl pro Durchgang tausend Bewertungen simuliert. Die Monte-Carlos Simulation wird mit Hilfe von Microsoft Excel durchgeführt. Dazu dient die Excel Funktion BETA.INV als Ausgangspunkt.

$$= \text{BETA.INV}(\text{Wahrsch}; \alpha; \beta; a; b)$$

Mit Hilfe der Funktion lassen sich zu einem bestimmten Wahrscheinlichkeitswert (X) der dazugehörige Y-Wert ausgeben, entsprechend der zuvor ermittelten Form (alpha, beta) der Funktion. Im Rahmen der Monte-Carlo-Simulation wird dieser spezifische Wahrscheinlichkeitswert durch eine Zufallsvariable ersetzt.

$$= \text{BETA.INV}(\text{ZUFALLSZAH}(\text{ }); \alpha; \beta; a; b)$$

Die Zufallszahl erzeugt jeweils eine reelle Zahl zwischen 0 und 1.

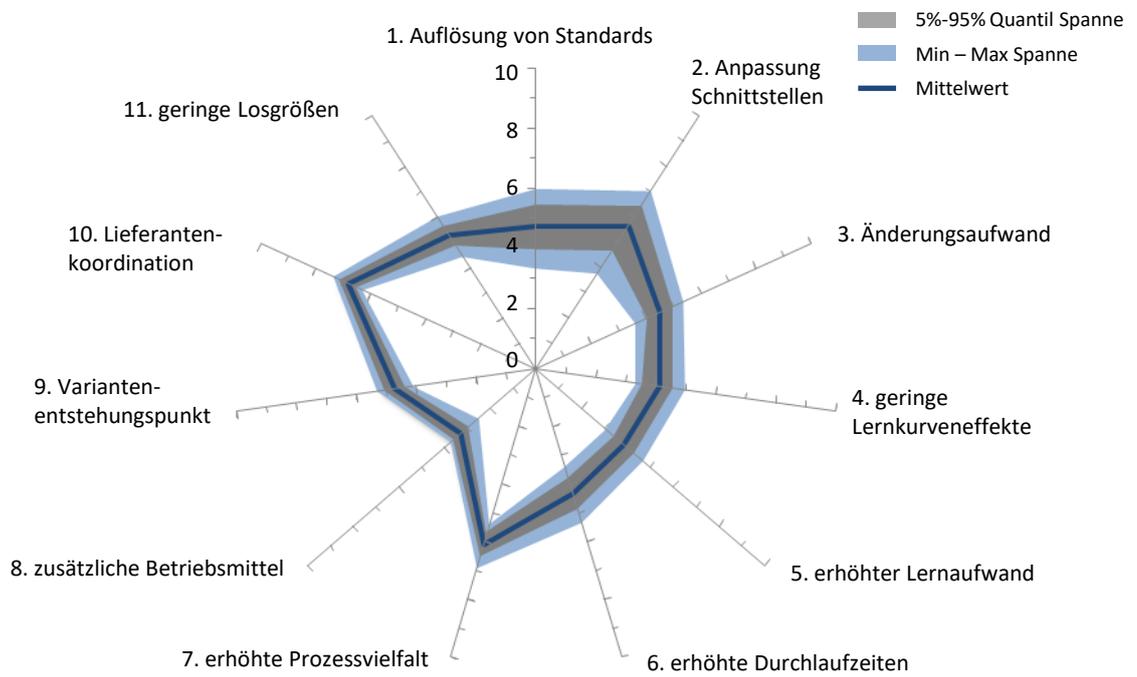
Das Ergebnis der Durchläufe entspricht jeweils einer zufälligen Bewertung des entsprechenden Risikos. Diese Grundgesamtheit lässt sich anschließend in einem Histogramm visualisieren (vgl. Bild 5.17) und vor allem mittels etablierter statistischer Funktionen auswerten. Für das Beispiel „1. Auflösung von Standards“ können folgende Werte nach tausend Durchläufen ermittelt werden.

#### 1. Auflösung von Standards

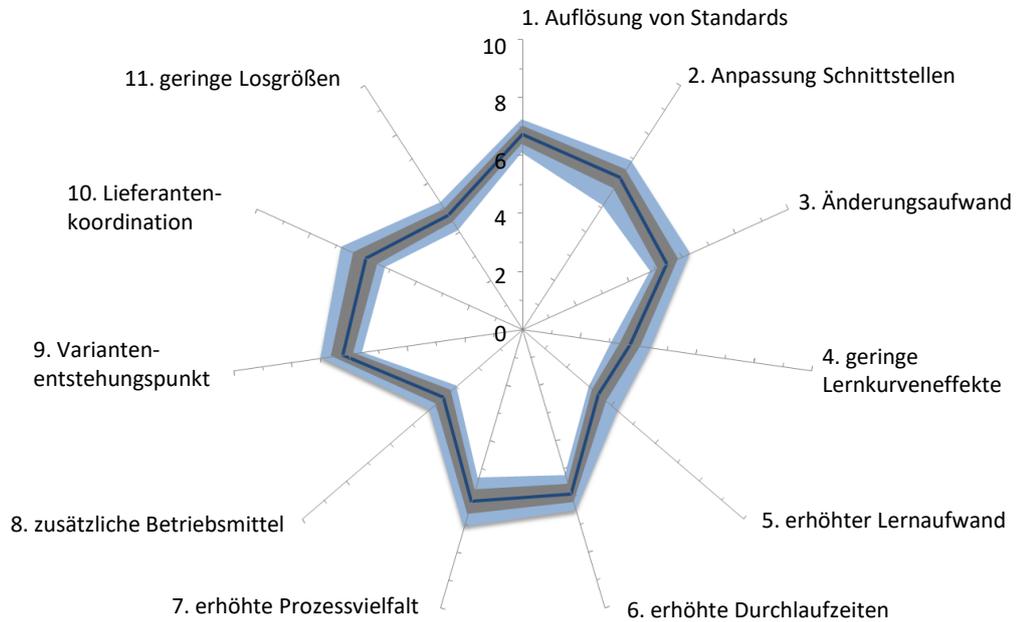
	Wahrscheinlichkeit	Auswirkung
Mittelwert	4,75	6,71
5% - Quantil	3,99	6,4
95% - Quantil	5,48	7,02
Min. Wert	3,36	6,02
Max. Wert	5,98	7,24

**Ergebnisdarstellung im Netzdiagramm**

Auswertung Simulation - Auftrittswahrscheinlichkeit



Auswertung Simulation - Auswirkung





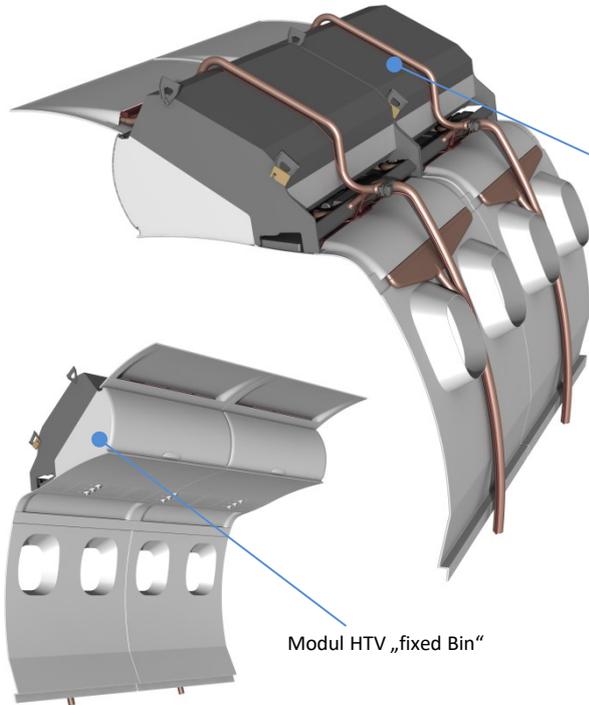


## F. zusätzliche Informationen zur Fallstudie

Im Folgenden werden die notwendigen Informationen zur Ist-Aufnahme, Abschätzung und Risikobewertung dargestellt.

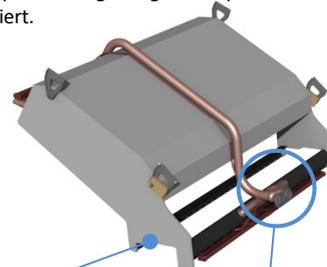
### F.1 Detailbeschreibung Produktfamilienkonzept

#### Variante „Fixed Bin“



#### Detaildarstellung einzelner Elemente

Zentrales Hatrack-Modul (HTS) mit Aufnahmen für PSM, HTV und zentraler Schnittstelle für die Versorgung. Das Module wird an standardisierten Haltepunkte eingehangen und per Click & Snap arretiert.

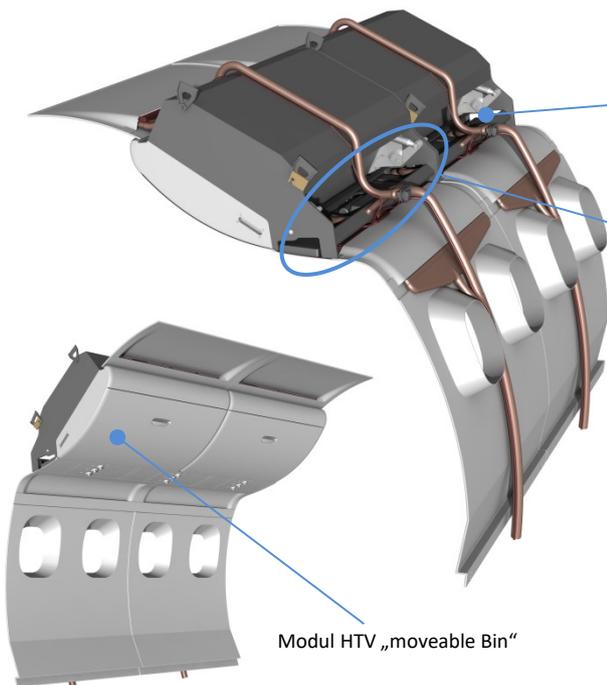


Aufnahmepunkte standardisiert für Passenger-Service-Module

Geschlossene Schnittstelle versorgt alle notwendigen Stoffflüsse für die Kabinenversorgung

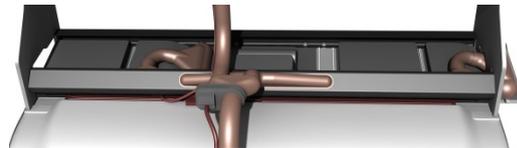


#### Variante „Moveable Bin“



Dämpfungselemente werden innerhalb des varianten Moduls integriert – nur für HTV „moveable Bin“ notwendig

Installation der Passenger-Service-Module in die Aufhängung am Basismodul (HTS); Versorgung von Luft, Strom und Informationen mittels zentraler Schnittstelle



#### Angemeldete Patente

[Els13a] - Elstner, S.; Krause, D.; Gehm, M.; Jacobsen, S.:  
 Modulare Überkopf-Gepäckablage, Modular overhead bin  
 DE102012009632A1 - 2013  
 CN000104271444A - 2015  
 EP000002849997A1 - 2015  
 WO002013171133A1 - 2013

**F.2 Übernahmekomponenten für das angestrebte Lining-Konzept als CoC Darstellung**

Komponenten	aktuelles Produkt	geplantes Produkt	Summe über beide Generationen
1 Air Outlet (AO)	(V)	-	2
2 Air ducting (AD)	S → S	S	1
3 Clamp (C)	-	S	1
4 Ceiling panel (CEP)	(V)	S	3
5 Covelight Panel (CV)	(V)	S	3
6 Dado panel (DA)	S	S	2
7 Docking Module (DM1)	-	S	1
8 Docking Module (DM2)	-	S	1
9 Flap (F)	S → S	S	1
10 Frame Cover (FC)	S → S	S	1
11 Hatrack (HT)	(V)	-	2
12 Hatrack Support (HTS)	-	S	1
13 Hatrack Variante (HTV)	-	(V)	2
14 PSU Individual air (IA)	(V)	-	2
15 PSU Reading light (L)	(V)	-	2
16 Neon lamp (NL)	S	-	1
17 PSU Oxygen box (OX)	(V)	-	2
18 Plate (P)	(S)	-	1
19 Passenger Service Module (PSM)	-	(V)	2
20 PSU Rail (RA)	(V)	-	2
21 PSU Signs (S)	(V)	-	2
22 Schütte (SCH)	S	S	2
23 Speaker (SP)	(V)	-	2
24 PSU Spacer (SA)	(V)	-	3
25 Side wall panel (SWP)	S → S	S	1
Summe Produktkomponenten	31	16	43

**Legende**

(S) / (S) Standard ohne/mit Übernahme

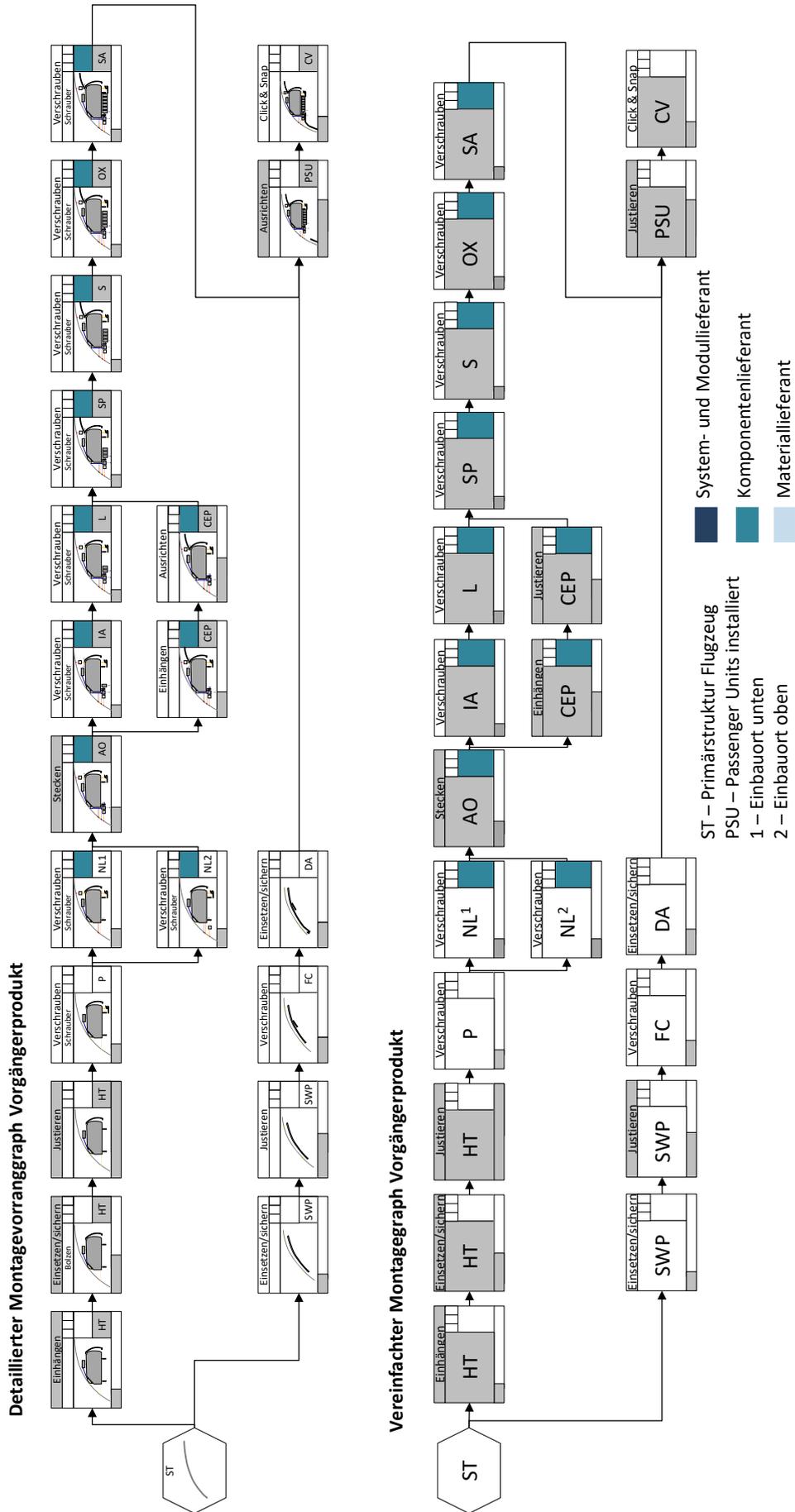
(V) / (V) Variant ohne/mit Übernahme

(O) / (O) Optional ohne/ mit Übernahme

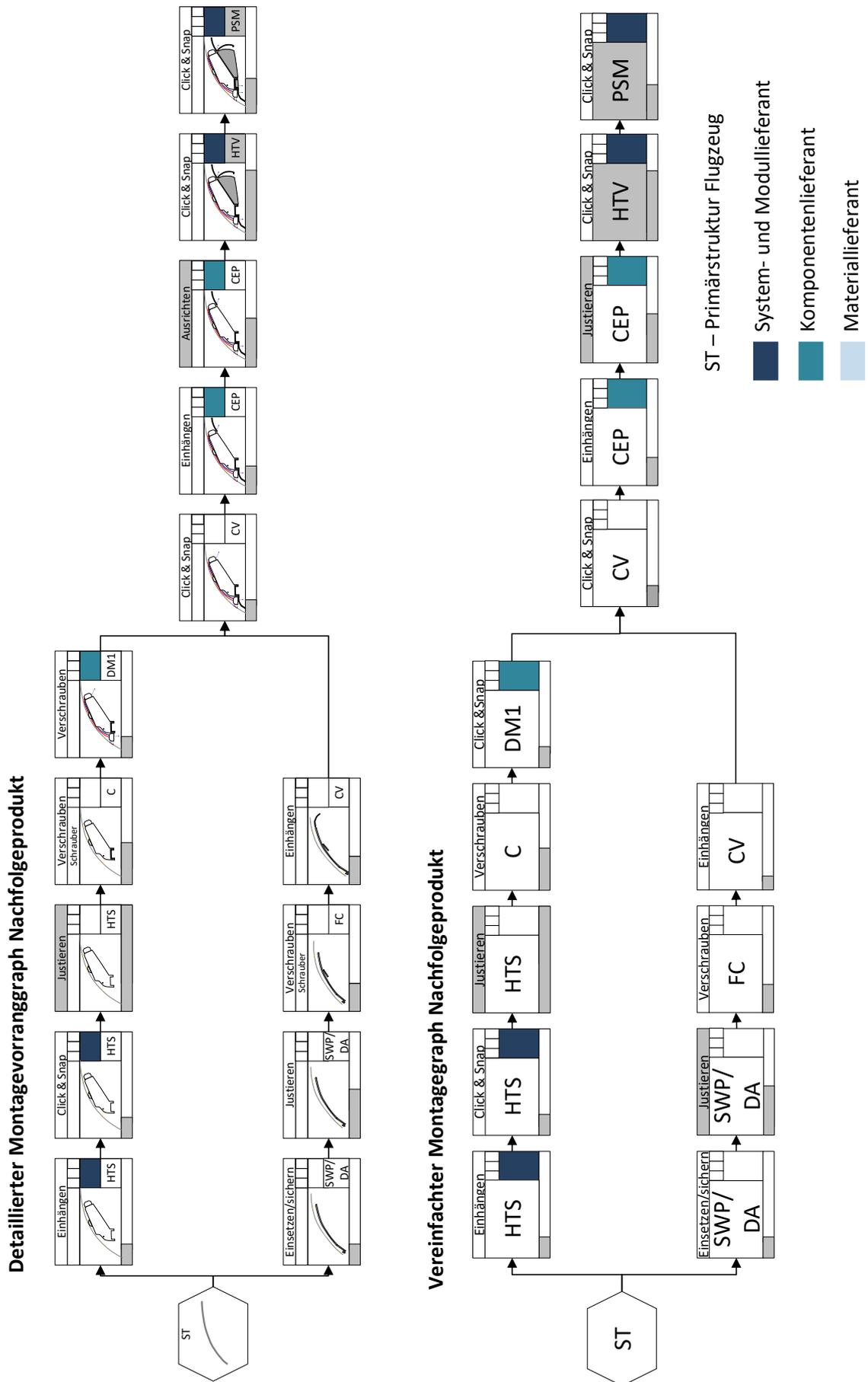
→ Carry-over

■ externe Entwicklung

F.3 Montagevorranggraph des Vorgängerprodukts als iPAS Darstellung



F.4 Montagevorranggraph des Nachfolgeprodukts als iPAS Darstellung



F.5 Vorgänger- und Nachfolgeprodukt in DSM Darstellungsform

Vorgängerprodukt - DSM

	AO1	AO2	AD	CEP	CV	DA	F	FC	HT	IA	L	NL1	NL2	OX	P	RA1	RA2	S	Sch	SP	SA	SWP	out	Kategorie		
AO1	X								X															2	C	
AO2		X							X																1	C
AD	X		X						X																2	C
CEP				X					X																1	C
CV					X											X									1	C
DA						X																			0	C
F							X		X																1	C
FC								X															X		1	C
HT	X	X	X	X			X		X			X			X	X	X		X						10	C
IA										X						X	X								2	C
L											X					X	X								2	C
NL1									X			X													1	C
NL2												X													0	C
OX														X		X									2	C
P									X						X		X								2	C
RA1					X				X	X	X			X	X	X		X		X	X	X			9	M
RA2									X	X	X			X			X	X	X	X	X				7	P
S																X	X	X							2	C
Sch									X										X						1	C
SP																X	X				X	X			2	C
SA																X	X								2	C
SWP								X															X		1	C
in	2	1	2	1	1	0	1	1	10	2	2	1	0	2	2	8	8	2	1	2	2	2	1	52		

Änderungs-DSM Nachfolgeprodukt

	AD	CEP	C	CV	DA	DM1	DM2	F	FC	HTS	HTV	PSM	Sch	SWP	out	Kategorie
AD	X					X	X			X					3	C
CEP		X								X					1	C
C			X			X				X		X			3	C
CV				X						X				X	2	C
DA					X									X	1	C
DM1	X		X			X	X			X		X			5	C
DM2	X					X	X			X					3	C
F								X			X				1	C
FC									X					X	1	C
HTS	X	X	X	X		X	X			X	X				7	C
HTV								X		X	X		X		3	C
PSM			X			X						X			2	C
Sch											X		X		1	C
SWP				X	X				X					X	3	C
in	3	1	3	2	1	5	3	1	1	7	3	2	1	3	36	

 neu hinzugefügte Komponente

 geänderte Komponenten

C – Neutral, Konstant; M – Multiplikator; P – Puffer

**F.6 Berechnung der Indikatoren für das Lining-Konzept**

$$\text{Kopplungsgrad} = \frac{\text{Anzahl vorhandener Schnittstellen}}{\text{Theoretisch maximale Anzahl an Schnittstellen}} \quad (\text{F.1})$$

$$K_{Vor} = \frac{52}{462} = 0.11 \quad K_{Nach} = \frac{34}{182} = 0.19$$

$$\text{Prozessvielfalt} = \frac{\sum M_V}{\sum M} \quad (\text{F.2})$$

$$P_{Vor} = \frac{6}{21} = 0.29 \quad P_{Nach} = \frac{5}{14} = 0.36$$

mit  $\sum M_V$  = Anzahl verschiedener Montageverfahren im Gesamtprozess  
 $\sum M$  = Gesamtanzahl an Montageschritten

$$\text{Verkettungsgrad} = \frac{\sum M_S}{\sum M} \quad (\text{F.3})$$

$$V_{Vor} = \frac{14}{21} = 0.67 \quad V_{Nach} = \frac{10}{14} = 0.71$$

mit  $\sum M_S$  = Summe der sequentiell ablaufenden Montageschritte  
 $\sum M$  = Gesamtanzahl an Montageschritten

$$\text{Automatisierungsgrad} = \frac{\sum M_A}{3 \cdot \sum M} \quad (\text{F.4})$$

$$A_{Vor} = \frac{0}{3 \cdot 21} = 0 \quad A_{Nach} = \frac{0}{3 \cdot 14} = 0$$

mit  $\sum M_A$  = Summe der automatisierten Montageschritte (Wert je Ausprägung 1 bis 3)  
 $\sum M$  = Gesamtanzahl an Montageschritten

$$\text{Grad der ext. Entwicklungstiefe} = \frac{\sum N_E}{\sum N} \quad (\text{F.5})$$

$$ET_{Vor} = \frac{10}{31} = 0.32 \quad ET_{Nach} = \frac{4}{16} = 0.25$$

mit  $\sum N_E$  = Summe der extern entwickelten Komponenten  
 $\sum N$  = Gesamtanzahl an Komponenten

$$\text{Grad der ext. Fertigungstiefe} = \frac{\sum M_E}{\sum M} \quad (\text{F.6})$$

$$FT_{Vor} = \frac{11}{21} = 0.52 \quad FT_{Nach} = \frac{7}{14} = 0.5$$

mit  $\sum M_E$  = Summe der Montageschritte mit extern bezogenen Komponenten  
 $\sum M$  = Gesamtanzahl an Montageschritten

$$\text{Lieferantenart} = \frac{\sum_{i=1}^n L_j}{3 \cdot n_L} \quad (\text{F.7})$$

$$L_{Vor} = \frac{9 \cdot 2}{3 \cdot 9} = 0.67 \quad L_{Nach} = \frac{1 + 2 + 2 + 1 + 1}{3 \cdot 5} = 0.47$$

mit  $L_j$  = Lieferantenausprägung mit dem maximalen Punktwert je Lieferant  
 $n_L$  = Anzahl an Lieferanten

$$\text{Neuheitsgrad der Komponenten} = 1 - \frac{\sum C_K}{\sum N} \quad (\text{F.8})$$

$$N_K = 1 - \frac{4}{16} = 0.75$$

mit  $C_K$  = Carry-over Komponenten vom Vorgängerprodukt  
 $\sum N$  = Gesamtanzahl an Komponenten im Nachfolgeprodukt

$$\text{Neuheitsgrad der Prozesse} = 1 - \frac{\sum C_P}{\sum M} \quad (\text{F.9})$$

$$N_P = 1 - \frac{5}{14} = 0.64$$

mit  $C_P$  = Carry-over-Prozesse vom Vorgängerprodukt  
 $\sum M$  = Gesamtanzahl an Montageschritten des Nachfolgeprodukts

$$\text{Neuheitsgrad der Schnittstellen} = 1 - \frac{\sum C_S}{\sum S} \quad (\text{F.10})$$

$$N_S = 1 - \frac{21}{36} = 0.42$$

mit  $\sum C_S$  = Summe der unveränderten Schnittstellen vom Vorgängerprodukt  
 $\sum S$  = Gesamtanzahl an Schnittstellen im Nachfolgeprodukt

$$\text{Produktänderungen} = \frac{N_S + N_K}{2} \cdot \frac{K_{Nach} + C_{multi}}{2} \quad (\text{F.11})$$

$$\text{Produktänderungen} = \frac{0.21 + 0.75}{2} \cdot \frac{0.2 + 0}{2} = 0.05$$

mit  $N_S$  = Neuheitsgrad der Schnittstellen  
 $N_K$  = Neuheitsgrad der Komponenten  
 $K_{Nach}$  = Kopplungsgrad des Nachfolgeprodukts  
 $C_{multi}$  = Verhältnis Multiplikatoren zu Gesamtanzahl an Komponente

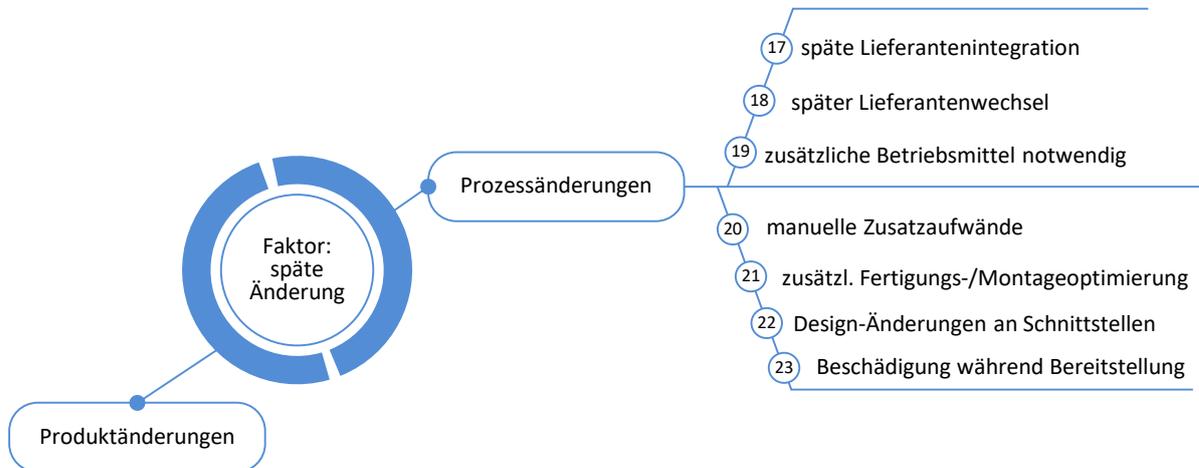
$$\text{Prozessänderungen} = \frac{N_S + N_P}{2} \cdot \frac{V_{Nach} + L_{krit}}{2} \quad (\text{F.12})$$

$$\text{Prozessänderungen} = \frac{0.21 + 0.64}{2} \cdot \frac{0.71 + 0.7}{2} = 0.3$$

mit  $N_S$  = Neuheitsgrad der Schnittstellen  
 $N_P$  = Neuheitsgrad der Prozesse  
 $V_{Nach}$  = Verkettungsgrad der Prozesse vom Nachfolgeprodukt  
 $L_{krit}$  = Verhältnis der Lieferantenprozesse zur Gesamtanzahl der Prozesse auf dem kritischen Pfad

### F.7 Übersicht identifizierten Risikofaktoren - späte Änderung

Darstellung der im Zuge des Workshops identifizierten Gründe für potentielle späte Änderungen im Prozess.

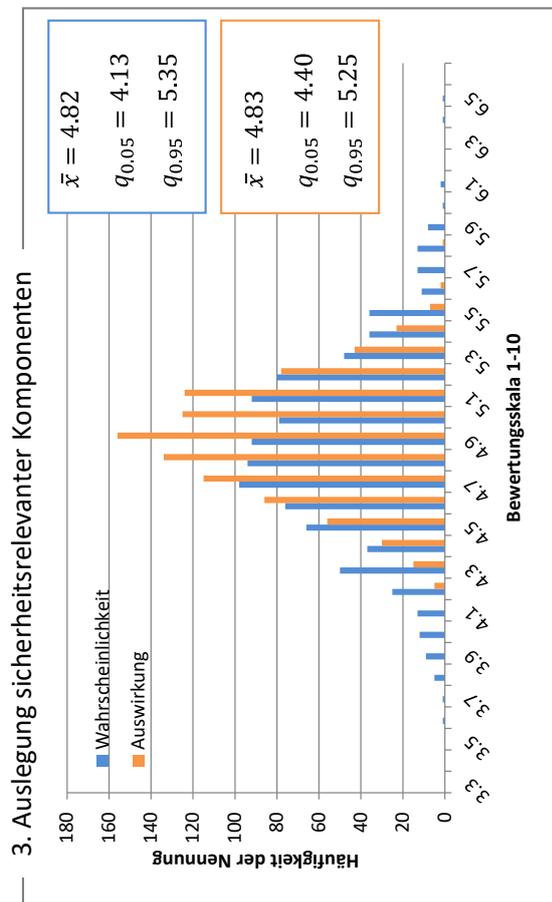
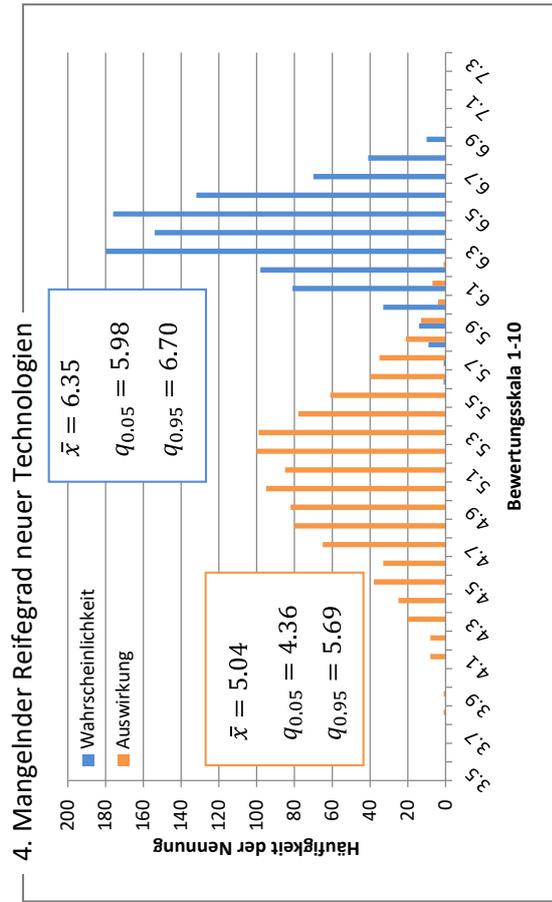
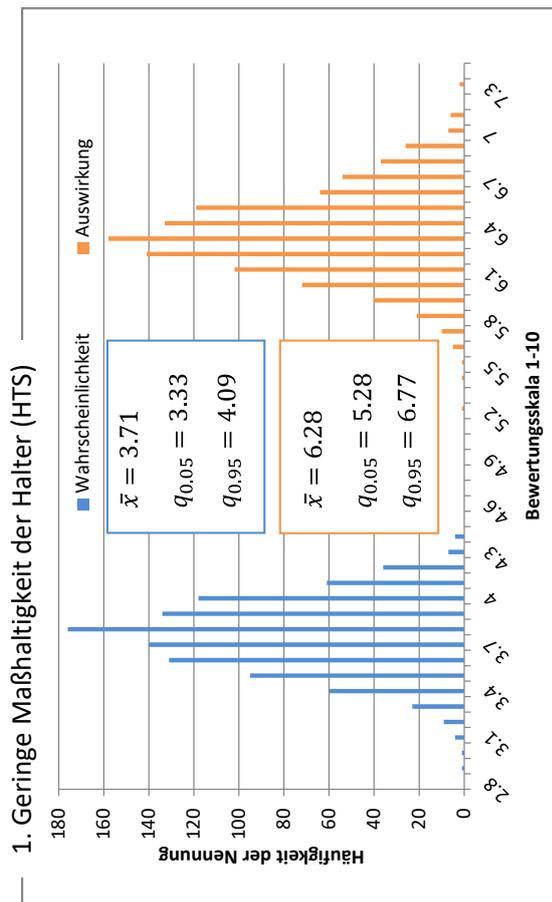
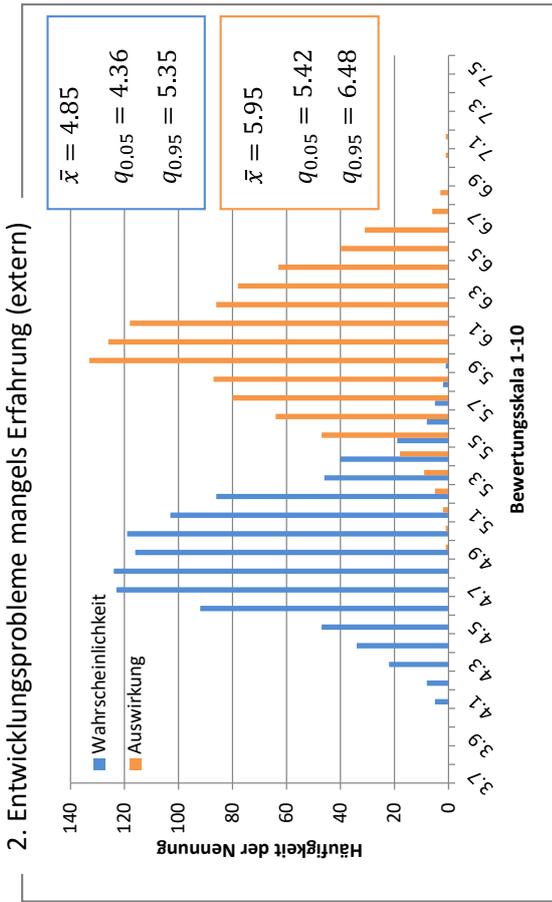


### F.8 Zusammenfassung Expertenbewertung der Einzelrisiken

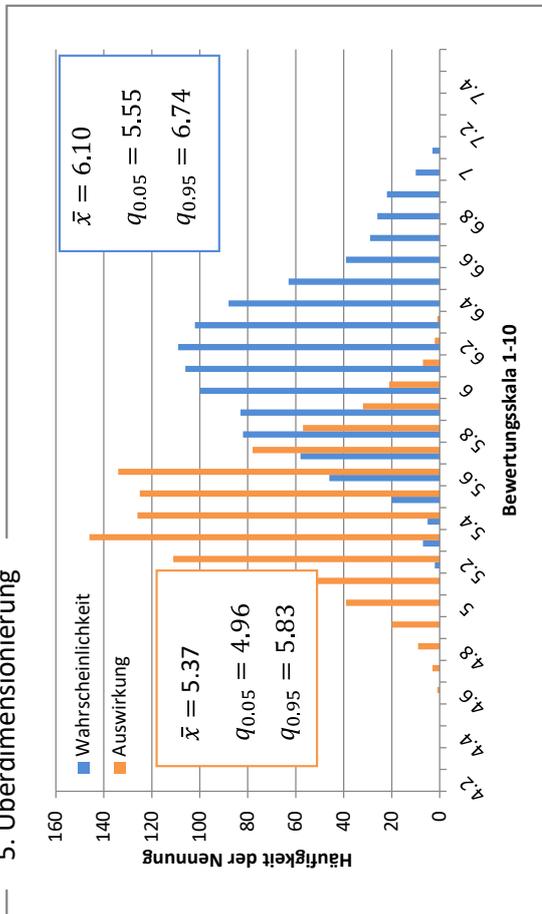
Übersicht Expertenbewertung		Experte 1			Experte 2									
		Wahrscheinlichkeit			Auswirkung			Wahrscheinlichkeit			Auswirkung			
		Min	Most L.	Max	Min	Most L.	Max	Min	Most L.	Max	Min	Most L.	Max	
Neuheitsgrad Komponenten	1	geringe Maßhaltigkeit der Halter (HTS)	2	3	5	6	7	9	2	3	4	5	6	8
	2	Entwicklungsprobleme mangels Erfahrung (extern)	4	6	7	4	6	8	3	4	8	3	5	8
	3	Auslegung sicherheitsrelevanter Komponenten	2	5	8	3	3	5	2	4	6	4	6	8
	4	mangelnder Reifegrad neuer Technologien	6	7	8	2	5	8	6	7	8	3	5	7
	5	Überdimensionierung	6	7	10	4	5	7	2	5	8	5	7	9
	6	geringe Zuverlässigkeit des Gesamtmoduls	1	4	5	4	7	7	2	3	5	4	6	7
Neuheitsgrad Schnittstellen	7	Fertigungsprobleme der Schnittstelle	4	7	7	6	8	9	4	5	7	6	8	9
	8	Gewichtszunahme durch Schnittstellen	5	9	10	7	8	10	5	7	9	7	7	10
	9	Auslegung Schnittstelle (HTS/HTV)	2	4	4	3	4	6	2	3	4	3	4	5
	10	Toleranzgenauigkeit beim Fügen	5	7	8	6	7	9	5	6	8	4	6	8
	11	Übergabe sämtlicher Flüsse über zentralen Punkt (DM1)	1	3	5	7	8	10	3	5	7	5	7	9
Neuheitsgrad Prozesse	12	Beschädigung durch zusätzlichen Fügeprozesse	2	4	6	4	6	8	4	6	8	5	7	8
	13	erhöhte Schulungsaufwände	6	7	8	2	4	5	6	7	8	5	6	7
	14	zusätzl. Aufwände bei Montage (HTV)	4	5	6	2	3	4	4	6	7	4	5	6
	15	komplexe finale Ausrichtung HTV	3	4	5	4	6	6	3	4	5	5	7	8
späte Änderungen Prozesse	16	geringe Flexibilität durch Lieferantenabhängigkeit	5	7	8	4	5	6	4	5	6	4	5	6
	17	späte Lieferantenintegration	2	3	4	5	6	8	4	6	6	5	7	8
	18	später Lieferantenwechsel	3	5	6	6	7	8	1	3	4	6	7	8
	19	zusätzliche Betriebsmittel notwendig	2	5	6	1	2	3	3	4	5	1	3	3
	20	manuelle Zusatzaufwände	2	3	4	1	2	3	4	6	7	3	4	5
	21	zusätzl. Fertigungs-/Montageoptimierung	2	5	5	3	4	5	4	6	7	4	6	8
	22	späte Design-Änderungen an Schnittstellen	4	7	9	5	8	9	4	5	9	5	7	9
	23	Beschädigung während Bereitstellung/Prozessumstellung	2	3	4	2	3	4	2	3	3	2	3	5

Übersicht Expertenbewertung		Experte 3			Experte 4									
		Wahrscheinlichkeit			Auswirkung			Wahrscheinlichkeit			Auswirkung			
		Min	Most L.	Max	Min	Most L.	Max	Min	Most L.	Max	Min	Most L.	Max	
Neuheitsgrad Komponenten	1	geringe Maßhaltigkeit der Halter (HTS)	4	6	6	3	6	6	1	3	5	5	6	9
	2	Entwicklungsprobleme mangels Erfahrung (extern)	2	4	5	5	6	7	4	5	7	4	7	8
	3	Auslegung sicherheitsrelevanter Komponenten	4	6	8	6	6	8	2	4	8	1	4	5
	4	mangelnder Reifegrad neuer Technologien	3	5	5	4	4	7	4	7	8	2	6	8
	5	Überdimensionierung	3	5	5	3	3	6	6	7	10	4	6	7
	6	geringe Zuverlässigkeit des Gesamtmoduls	2	5	5	4	6	7	1	4	5	4	6	8
Neuheitsgrad Schnittstellen	7	Fertigungsprobleme der Schnittstelle	6	7	8	6	7	8	4	7	8	7	8	9
	8	Gewichtszunahme durch Schnittstellen	5	6	7	5	5	8	6	7	9	7	7	10
	9	Auslegung Schnittstelle (HTS/HTV)	1	3	5	1	3	4	2	4	5	3	3	6
	10	Toleranzgenauigkeit beim Fügen	5	6	7	6	6	8	5	6	8	5	7	9
	11	Übergabe sämtlicher Flüsse über zentralen Punkt (DM1)	3	5	8	4	4	7	1	3	5	5	7	10
Neuheitsgrad Prozesse	12	Beschädigung durch zusätzlichen Fügeprozesse	2	5	6	6	7	8	2	3	5	4	5	7
	13	erhöhte Schulungsaufwände	6	7	8	6	6	8	4	7	8	2	3	5
	14	zusätzl. Aufwände bei Montage (HTV)	2	4	4	1	4	4	3	5	6	1	3	4
	15	komplexe finale Ausrichtung HTV	5	5	7	7	8	9	3	5	6	4	6	8
späte Änderungen Prozesse	16	geringe Flexibilität durch Lieferantenabhängigkeit	1	2	2	1	3	3	5	5	8	2	5	6
	17	späte Lieferantenintegration	2	3	3	2	3	4	1	3	4	5	6	8
	18	später Lieferantenwechsel	1	2	3	7	8	9	3	3	6	4	7	8
	19	zusätzliche Betriebsmittel notwendig	4	6	7	1	3	3	2	4	5	1	2	3
	20	manuelle Zusatzaufwände	6	7	8	1	3	3	2	3	5	1	2	3
	21	zusätzl. Fertigungs-/Montageoptimierung	6	7	8	5	5	8	2	4	5	3	4	7
	22	späte Design-Änderungen an Schnittstellen	3	6	6	6	7	8	4	6	9	5	7	9
	23	Beschädigung während Bereitstellung/Prozessumstellung	1	3	4	1	2	4	1	3	4	1	2	4

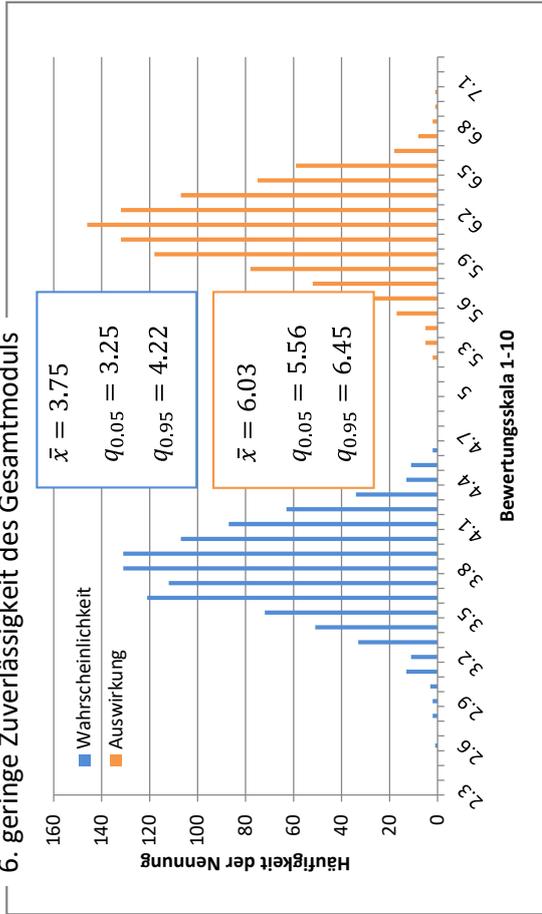
F.9 Simulationsergebnis der Einzelrisiken



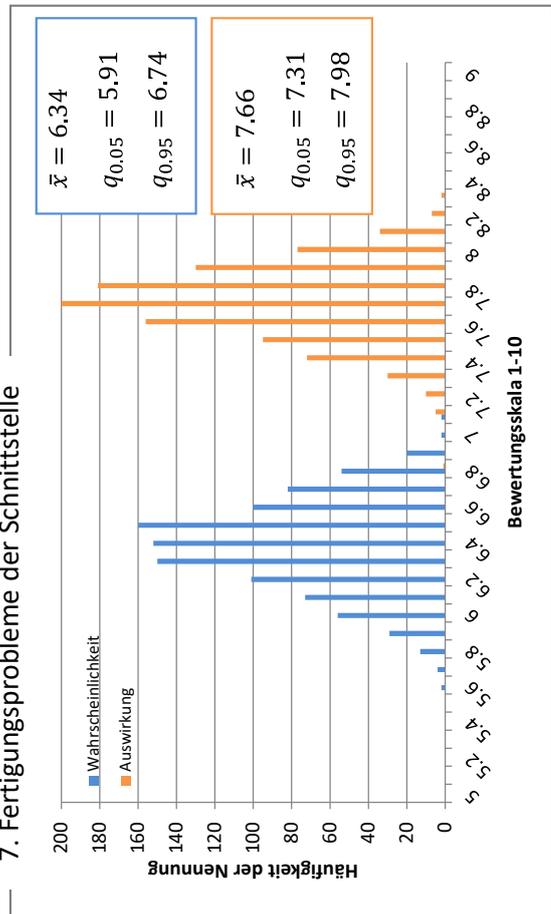
5. Überdimensionierung



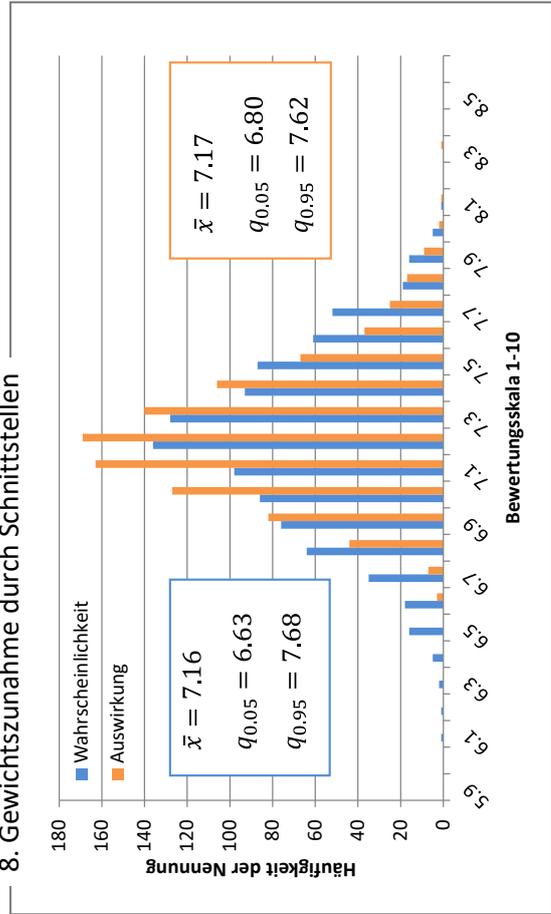
6. geringe Zuverlässigkeit des Gesamtmoduls



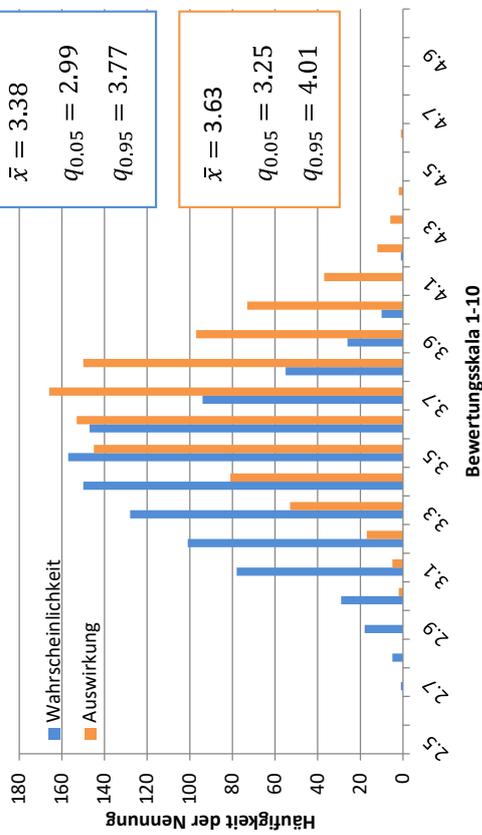
7. Fertigungsprobleme der Schnittstelle



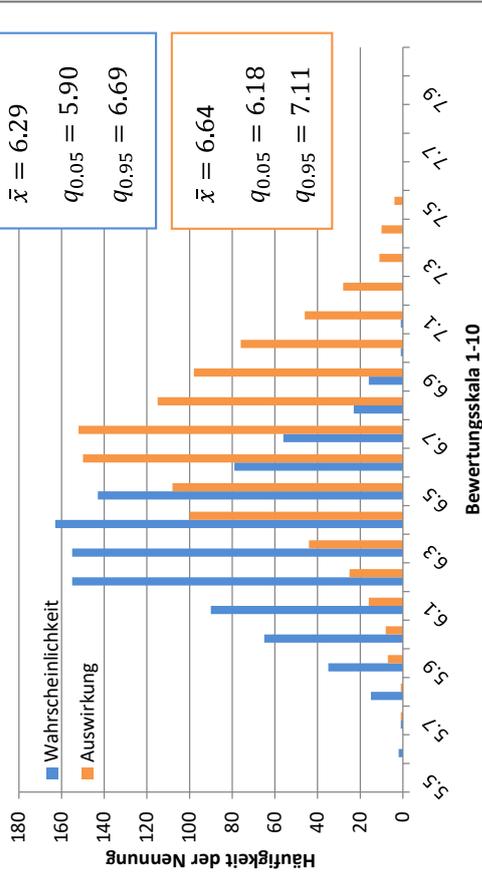
8. Gewichtszunahme durch Schnittstellen



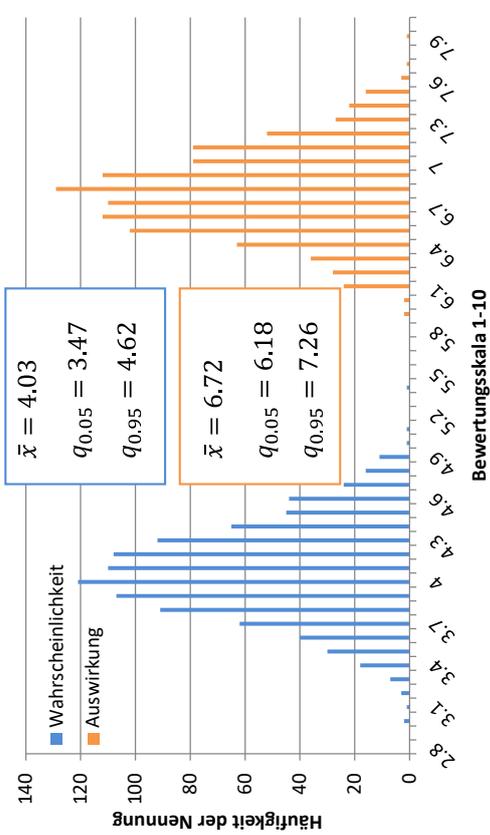
9. Auslegung Schnittstelle (HTS/HTV)



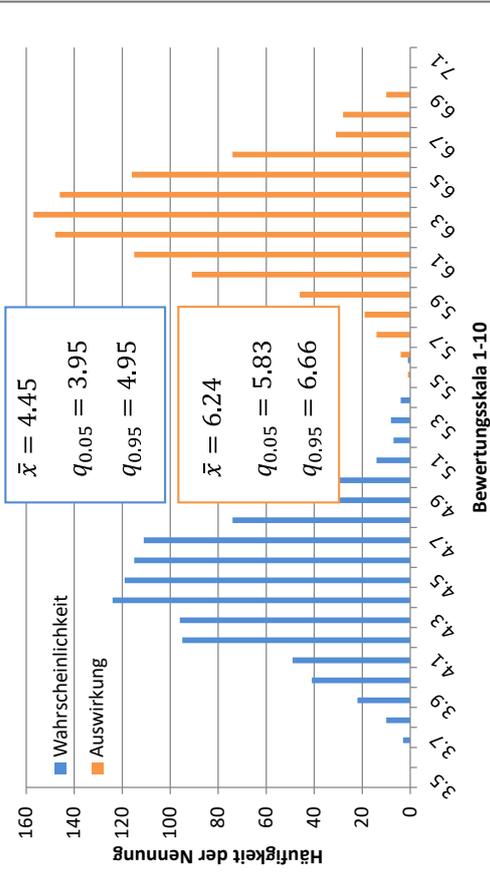
10. Toleranzgenauigkeit beim Fügen



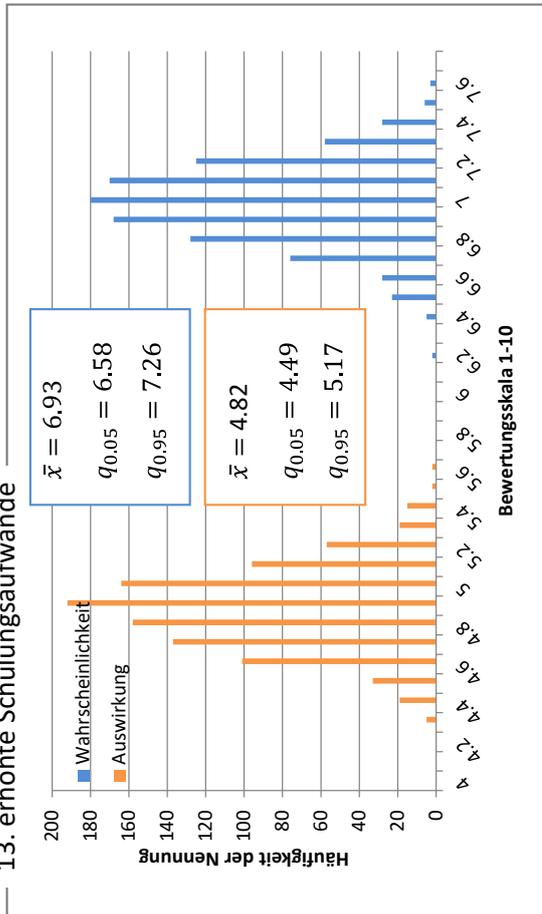
11. Übergabe sämtlicher Flüsse über zentralen Punkt (DM1)



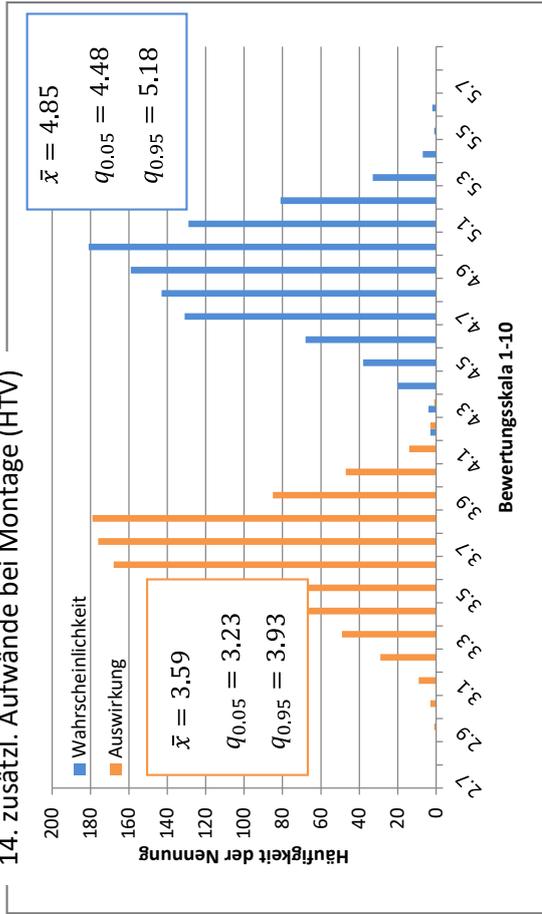
12. Beschädigung durch zusätzliche Fügeprozesse



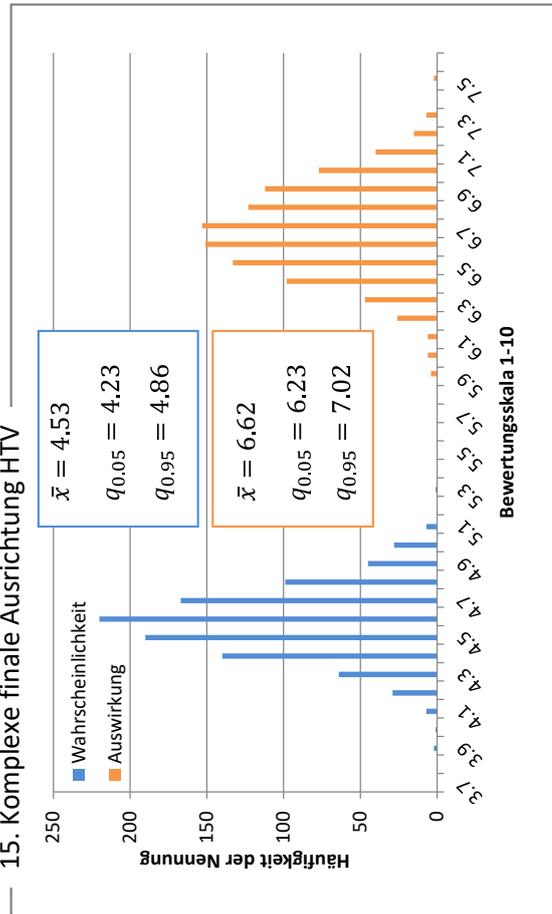
13. erhöhte Schulungsaufwände



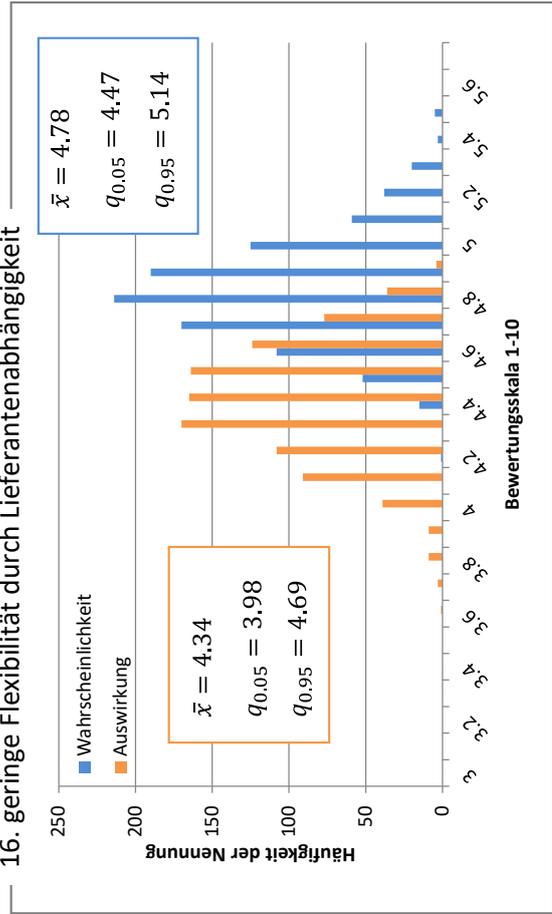
14. zusätzl. Aufwände bei Montage (HTV)



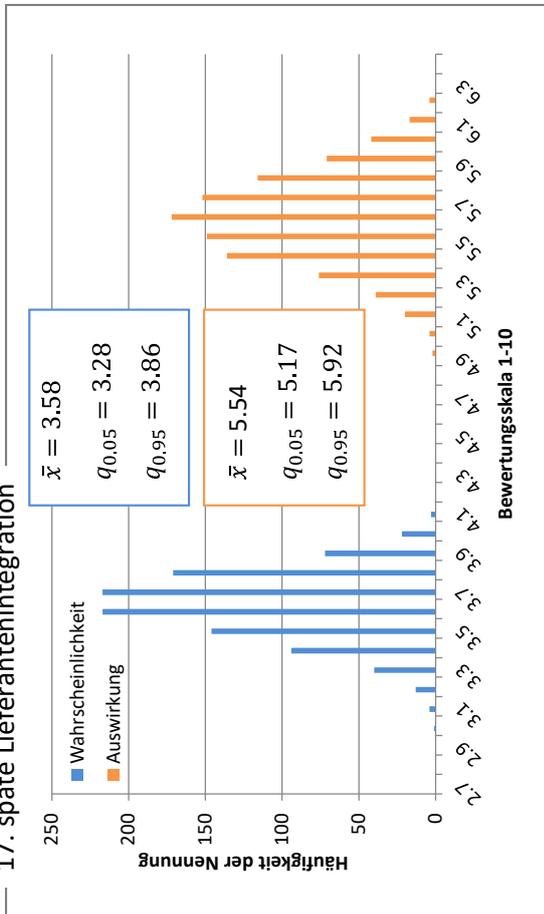
15. Komplexe finale Ausrichtung HTV



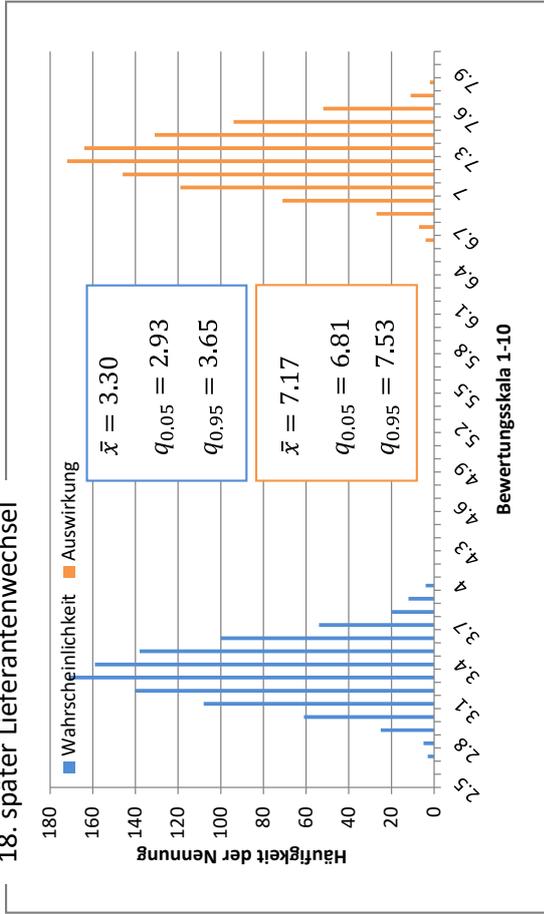
16. geringe Flexibilität durch Lieferantenabhängigkeit



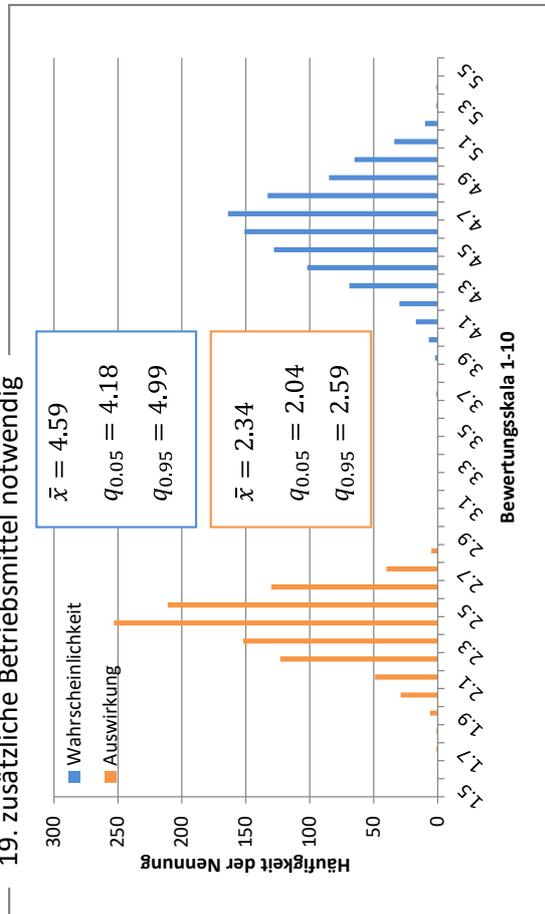
17. späte Lieferantenintegration



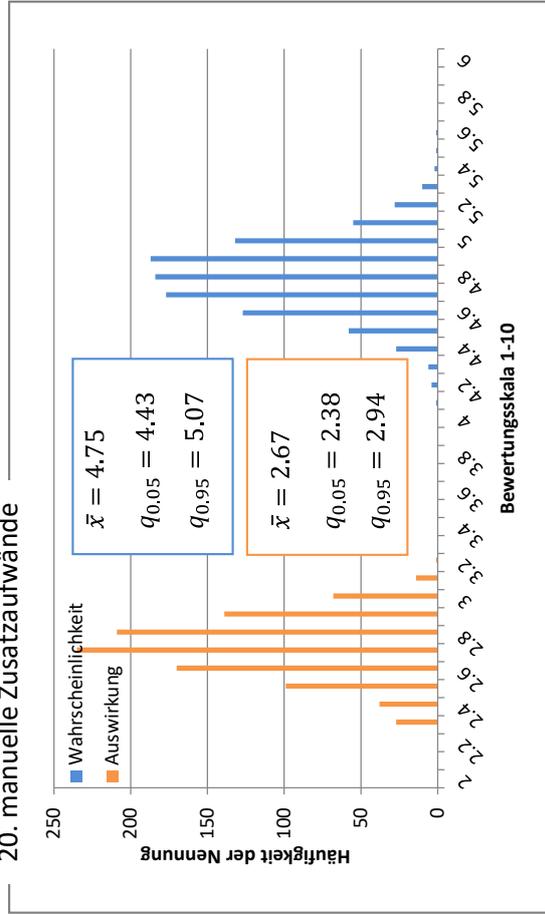
18. später Lieferantenwechsel



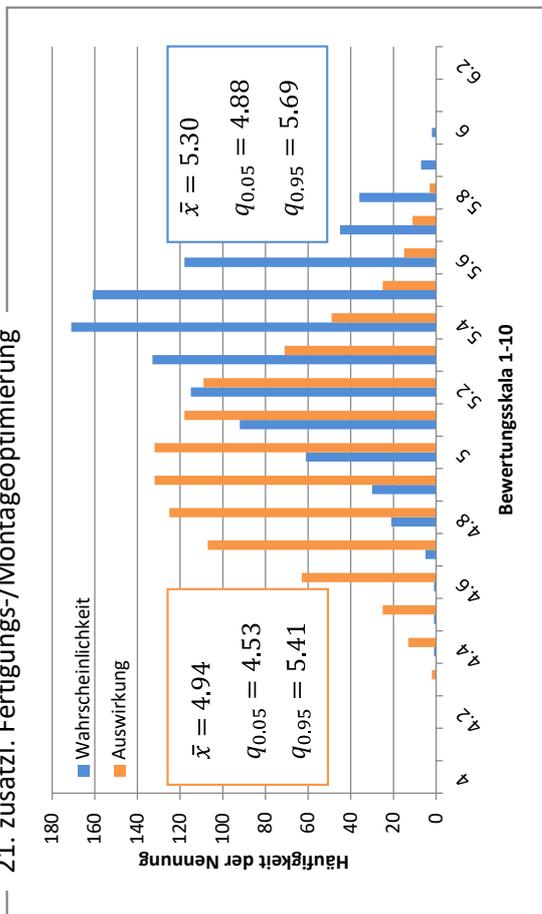
19. zusätzliche Betriebsmittel notwendig



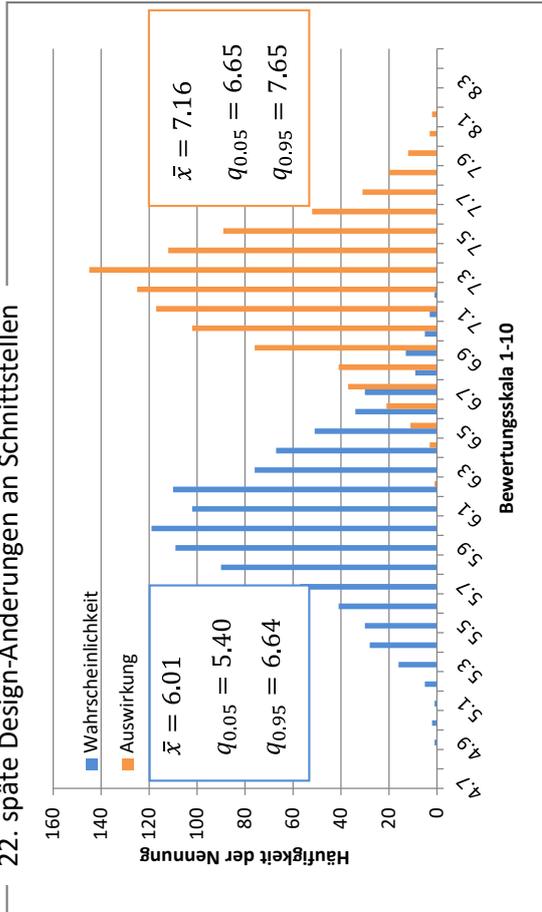
20. manuelle Zusatzaufwände



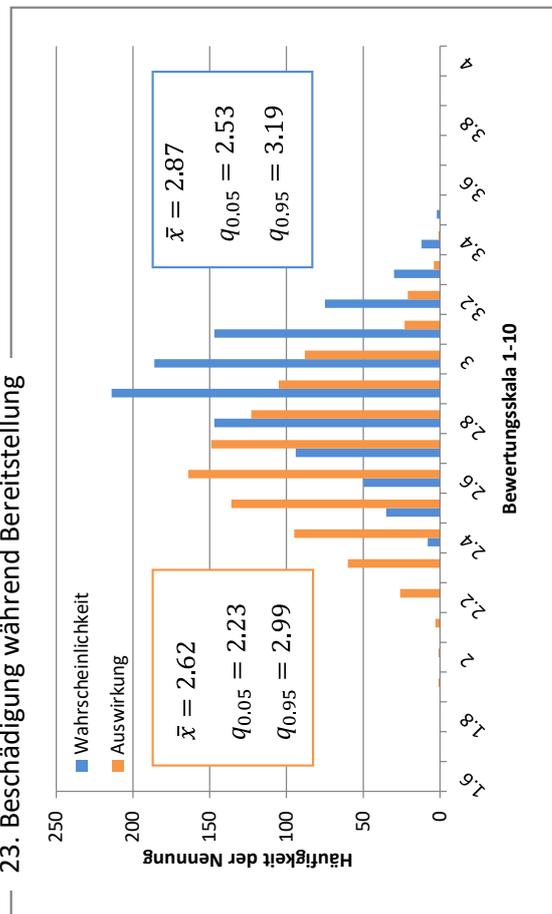
21. zusätzl. Fertigungs-/Montageoptimierung



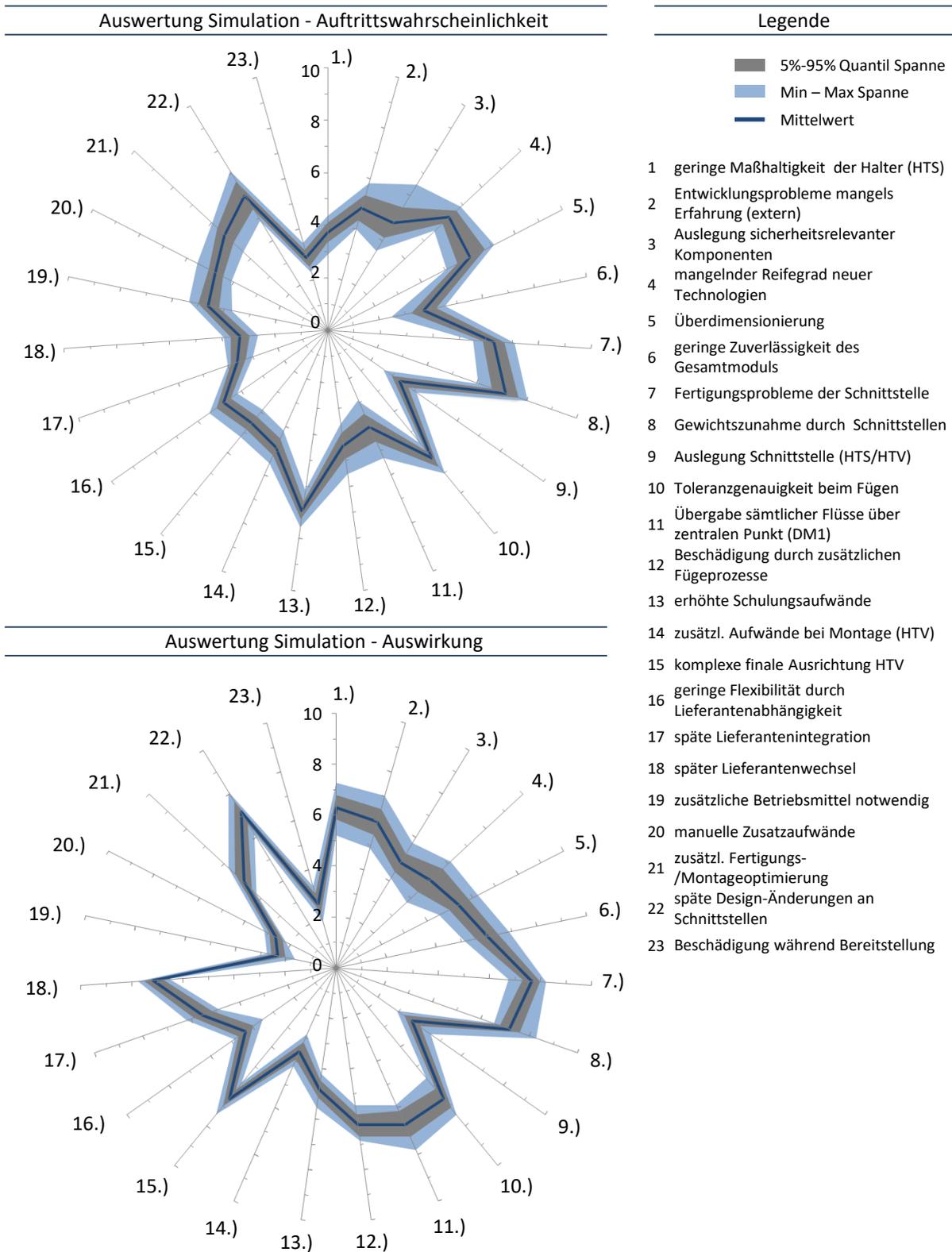
22. späte Design-Änderungen an Schnittstellen



23. Beschädigung während Bereitstellung



**F.10 Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation auf Basis der Expertenabschätzung**



F.11 Korrelationsmatrix zur Bestimmung der Wechselbeziehungen der Einzelrisiken

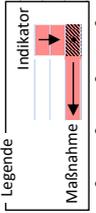
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	Aktiv	
1	0	0	0	0	0	0.33	0	0	0	1	0	0	0.66	1	0	0	0	0	0	0.66	0	0	0	0	3.65
2	0.33	1	0.66	0.66	0.66	0	0	0	0.33	0.66	0.33	0	0	0	0.33	0	0	0	0	0	0	0.33	0	0	5.29
3	0	0	1	0.66	0	0	0	0.66	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0	0	2.65
4	0	0	0.66	1	0.66	0	0	0.33	0	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.66	0	0	2.64
5	0	0	0.66	0	1	0	0	0.33	0	0	0	0	0	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0.33	0	3.65
6	0	0	0.66	0	0.33	1	0.33	0.66	0.33	0.66	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0	0	1.98
7	0	0	0.33	0.33	0.33	0.33	1	0.33	0.66	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.66	0.66	0	0	4.63
8	0	0	0	0.66	0	0	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.66	0	0	1.65
9	0	0	0.33	0	1	0.33	0	0.66	0.66	0	0	0	0.33	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4.64
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0.66	0.33	0.66	0	0.33	0.66	0	0	0	0	0	0.33	0.33	0	0	2.64
11	0	0	0.33	0	0.33	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0	0	1.65
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0.33	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0.66	0.33	0	0	1.98
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0.33	0	0	0	0	0	0	0.33	0.66	0.33	0	0	1.65
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0.66	0.66	0	0	0	0	0	0	0.66	0.33	0	0	1.98
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0	0	0	0	0.33	0	0	0.66
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0.66	0	0	0	0	1.32
18	0	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.66	0	0	0.66	0	0	0	0	0.66	0	0	0	0	2.64
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0	0	0.99
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0	0	0.66
22	0	0	0	0	0	0	0.33	0	0.66	0	0	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.32
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.33
Passiv	0.33	0.66	0.33	0.97	0.99	0.64	2.97	0.66	1.99	4.3	2.32	1.99	0.99	4.29	2.65	1.65	1.32	0	0.33	0.33	4.29	2.31	5.29	0.33	

- 1 geringe Maßhaltigkeit der Halter (HTS)
- 2 Entwicklungsprobleme mangels Erfahrung (extern)
- 3 Auslegung sicherheitsrelevanter Komponenten
- 4 mangelnder Reifegrad neuer Technologien
- 5 Überdimensionierung
- 6 geringe Zuverlässigkeit des Gesamtmoduls
- 7 Fertigungsprobleme der Schnittstelle
- 8 Gewichtszunahme durch Schnittstellen
- 9 Auslegung Schnittstelle (HTS/HTV)
- 10 Toleranzgenauigkeit beim Fügen
- 11 Übergabe sämtlicher Flüsse über zentralen Punkt (DM1)
- 12 Beschädigung durch zusätzlichen Fügeprozesse
- 13 erhöhte Schulungsaufwände
- 14 zusätzl. Aufwände bei Montage (HTV)
- 15 komplexe finale Ausrichtung HTV
- 16 geringe Flexibilität durch Lieferantenabhängigkeit
- 17 späte Lieferantenintegration
- 18 später Lieferantenwechsel
- 19 zusätzliche Betriebsmittel notwendig
- 20 manuelle Zusatzaufwände
- 21 zusätzl. Fertigungs-/Montageoptimierung
- 22 späte Design-Änderungen an Schnittstellen
- 23 Beschädigung während Bereitstellung/Prozessumstellung

0 – keine; 0.33 – schwache; 0.66 – mittlere; 1 – starke Beeinflussung

F.12 Maßnähmenselektion Fallstudie

Handlungsfelder	Maßnahmen	Quellen	Indikatoren	Einflussfaktoren										Schwerpunkt der Wirksamkeit										
				Produktkomplexität			Prozesskomplexität			Supply Chain Netzwerk				Neuheitsgrad		späte Änderungen	Produktänderungen							
				Anzahl Komponenten	Kopplungsgrad	Anzahl	Montageschritte	Prozessvielfalt	Verkettingsgrad	Automatisierungsgrad	Grad der Entwicklungstiefe	Grad der Fertigungstiefe	Anzahl Lieferanten	Lieferantenart	Neuheitsgrad der Komponenten	Neuheitsgrad der Prozesse	Schnittstellen	Produktänderungen	späte Änderungen	Phase 1 - produkt-strategischer Fokus	Phase 2 - Qualität des Fertigungsprozesses	Phase 3 - Mengen- und Leistungsfokus	Phase 4 - Wirtschaftlichkeit der Prozesse	
Produktseitige Maßnahmen	Plattformstrategie	[Ter01a], [Sch08], [Wi109], [Kip12], [Sch05a]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	variantenreiche Produktgestaltung	[Ter01a], [Sch08], [Wi109], [Kip12], [Sch05a]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Modularisierungsstrategie	[Ter01a], [Sch08], [Wi109], [Kip12], [Sch05a]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Erhöhung der Carry-over Komponenten (Gleichteilstrategie)	[Eil13], [Wan98], [Bi198]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Prototypenmusterung und Design Reviews	[Ri03], [Jur07]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	inkrementelle Einführung technologischer Innovationen	[Bi198], [Wi109]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	sequentielle Varianteinführung	[Sch05c], [Ri03], [Wi109]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Design Flexibilität (Robustheit, Adaption, embedding Options)	[Tho97], [Lor09], [Lin09a]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Entkopplung Produkt- und Prozessentwicklung	[Fri98]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Prototypenfertigung	[Cla91], [Fri98]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Prozessseitige Maßnahmen	Postponement	[Bi198], [Hal14], [Bow99]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Erhöhung der Prozess-Kommunalität	[Bi198], [Hal14], [Bow99]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Parallelisierung von Prozessen	[Bui93], [Kip12], [Hal14]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Entkopplung von Prozessen (Pufferstationen)	[Bui93]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Erhöhung des Vormontageanteils	[Puf13]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Belastungsstets, Prinzip der Vollast	[Fio5], [Alm00], [Ber07]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	flexible Produktionsumgebung	[Kuh02], [Car06], [Wi109]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	flexible Testumgebungen für Produktionssimulation	[Eil11], [Eil13a]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Step-by-step Ansatz im Übergang altes zu neues Produkt	[Ber07], [Cla91], [Ter01a]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	geringe initiale Automatisierung von Prozessen	[Puf13], [Fri98]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Supply Chain Netzwerk	Nachbearbeitungsstationen	[Cla91], [Gar12]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Integration ins Entwicklungsteam (Resident Engineer)	[Den07], [Wi109], [Cla91]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	unternehmensübergreifendes Änderungsmanagement	[Den07], [Sch01], [Ri03]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Multi-Sourcing Strategie von First Tier Lieferanten	[Cla91], [Bi100], [Pet08]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Outsourcing von Modulen	[Cla91], [Bi100], [Al-09]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	langfristige Lieferantenauswahl/Partnerschaft	[Ber07], [Bi198], [Cla91]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Fokus auf Lieferanten entlang des kritischen Pfads	[Cla91], [Gon07]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	anlaufspezifische Anlieferungskonzepte	[Wi109], [Gon07]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	vertikale Entwicklungspartnerschaften	[Wan98]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Lieferantenaudits/-workshops	[Sch10b], [Den07], [Kuh02]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
organisatorische Maßnahmen	Interorganisationale Anlaufplanung	[Fio5], [Sch01], [Fri98]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	spezielle Anlaufteams, temporäre Organisation	[Ter01b], [Sch06], [Fio5]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Integration von Erfahrungswissen (z.B. Projekte, Mitarbeiter)	[Tho00], [Zeu98], [Fio5]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	interorganisationales Lernen (Lessons Learned)	[Fio5], [Gon07]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	anlaufgerechte Mitarbeiterqualifikation	[Zeu98], [Ri03], [Fio5]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Vernetzung aller Projektbeteiligten (IuK, Anlaufplattform)	[Zeu98], [Den07], [Ri03]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Beschleunigung/Vorsteuerung von Lernprozessen (Front Loading)	[Fio5], [Jet05], [Fri98], [Lor09]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Planungssimulation	[Bro02], [Hin04], [Re04]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	Entscheidungskompetenz auf Shop-Level	[Cla91]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	hochintelligenter Problem-Lösungsprozess	[Cla91], [Fri98], [Tho00]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Balancing der Arbeitslast und Pooling der Arbeitskapazität	[Lor09]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
hohe Rate an Tests/Experimenten trotz limitierter Kapazität	[Ter01b]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
"Copy exactly" - Ansatz	[Ter04]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	
Serienanlaufcontrolling und Reifegradmessung	[Mb105], [Wan98], [Gen94]		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	



## Literatur

- [Abd08] Abdelkafi, N.: „Variety-induced complexity in mass customization“. Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, Schmidt Verlag, Hamburg, 2008.
- [Abe03] Abele, E.; Elzenheimer, J.; Rüstig, A.: „Anlaufmanagement in der Serienproduktion“, in: ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2003, 98, S. 172–176.
- [Al-09] Al-Kindi, M.; Yassine, A. A.: „The impact of engineering design on outsourcing decisions“. in: Outsourcing, teamwork and business management. Nova Science Publishers, New York, 2009, S. 115–134.
- [Alm00] Almgren, H.: „Pilot production and manufacturing start-up: The case of Volvo S80“, in: International Journal of Production Research, 2000, 38, S. 4577–4588.
- [Alm99] Almgren, H.: „Towards a framework for analyzing efficiency during start-up An empirical investigation of a Swedish auto manufacturer“, in: International Journal of Production Economics, 1999, 60/61, S. 79–86.
- [Alt10] Altfeld, H.-H.: „Commercial aircraft projects“. Managing the development of highly complex products, Ashgate, Farnham, Surrey, 2010.
- [Aßm00] Aßmann, G.: „Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung“. Dissertation, Herbert Utz Verlag, München, 2000.
- [Bam08] Bamberg, G.; Coenenberg, A. G.; Krapp, M.: „Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre“, Vahlen, München, 2008.
- [Bam11] Bamberg, G.; Baur, F.; Krapp, M.: „Statistik“, Oldenbourg, München, 2011.
- [Bau01] Baumgarten, H.; Risse, J.: „Logistikbasiertes Management des Produktentstehungsprozesses“. in: Logistik Jahrbuch 2001. Verlagsgruppe Handelsblatt, Düsseldorf, 2001, S. 150–156.
- [Ben07] Benson, A.: „Qualitätssteigerung in komplexen Entwicklungsprojekten durch prozessbegleitende Kennzahlensysteme“. Vorgehen zur Herleitung, Einführung und Anwendung. Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, Cuvillier Verlag, Hamburg, 2007.
- [Ber07] Berg, M.: „Inadequacy of material supplies during production ramp-up“. in: Proceedings of the Swedish Production Symposium, 2007.
- [Bil98] Billington, C.; Lee, H. L.; Tang, C. S.: „Successful Strategies for Product Rollovers“, in: Sloan management review, 1998, 39, S. 23–30.

- [Bir11] Birkhofer, H. Hrsg.: „The Future of Design Methodology“, Springer Verlag, London, 2011.
- [Ble09] Blessing, L. T. M.; Chakrabarti, A.: „DRM, a design research methodology“, Springer Verlag, London, 2009.
- [Ble10] Blee, C.; Kipp, T.; Krause, D.: „Development of Modular Product Families: Integration of Design for Variety and Modularization“. in: Proceedings of NordDesign 2010. The 8th International NordDesign Conference, 2010, S. 159–168.
- [Ble11] Blee, C.: „Eine Methode zur Entwicklung modularer Produktfamilien“. Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, TuTech Verlag, Hamburg, 2011.
- [Bli00] Bliss, C.: „Management von Komplexität“. Ein integrierter, systemtheoretischer Ansatz zur Komplexitätsreduktion, Gabler Verlag, Wiesbaden, 2000.
- [Bog09] Bogner, A.: „Experteninterviews“. Theorien, Methoden, Anwendungsfelder, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2009.
- [Boh99] Bohn, R. E.; Terwiesch, C.: „The economics of yield-driven processes“, in: Journal of Operations Management, 1999, 18, S. 41–59.
- [Boo02] Boothroyd, G.; Dewhurst, P.; Knight, W. A.: „Product design for manufacture and assembly“, Dekker, New York, 2002.
- [Bow99] Bowersox, D. J.; Stank, T. P.; Daugherty, P. J.: „Lean launch: Managing product introduction risk through response-based logistics“, in: Journal of Product Innovation Management, 1999, 16, S. 557–568.
- [Bro01] Browning, T. R.: „Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems A Review and New Directions“, in: IEEE transactions on engineering management EM, 2001, 48, S. 292–306.
- [Bro02] Browning, T.; Deyst, J. et al.: „Adding value in product development by creating information and reducing risk“, in: IEEE Transactions on Engineering Management, 2002, 49, S. 443–458.
- [Bro12a] Brosch, M.; Beckmann, G.; Krause, D.: „Towards an Integration of Supply Chain Requirements into the Product Development Process“. in: Proceedings of the 12th International Design Conference - Design 2012, 2012, S. 23–32.
- [Bro12b] Brosch, M.; Beckmann, G. et al.: „Design for Value Chain - An Integration of Value Chain Requirements into the Product Development Process“. in: Proceedings of 9th Norddesign Conference, 2012.
- [Bro14] Brosch, M.: „Eine Methode zur Reduzierung der produktvarianteninduzierten Komplexität“. Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, TuTech Verlag, Hamburg, 2014.
- [Bru07] Bruce, M.; Daly, L.; Kahn, K. B.: „Delineating Design Factors that Influence the Global Product Launch Process“, in: Journal of Product Innovation Management, 2007, 24, S. 456–470.

- [Bul93] Bullinger, H.-J.; Rieth, D.; Euler, H. P.: „Planung entkoppelter Montagesysteme“. Puffer in der Montage, Teubner, Stuttgart, 1993.
- [Cal07] Calantone, R. J.; Griffith, D. A.: „From the Special Issue Editors: Challenges and Opportunities in the Field of Global Product Launch“, in: Journal of Product Innovation Management, 2007, 24, S. 414–418.
- [Car06] Carrillo, J. E.; Franza, R. M.: „Investing in product development and production capabilities: The crucial linkage between time-to-market and ramp-up time“, in: European Journal of Operational Research, 2006, 171, S. 536–556.
- [Cha04] Chapman, R.; Hyland, P.: „Complexity and learning behaviors in product innovation“, in: Technovation, 2004, 24, S. 553–561.
- [Che10] Chen, C.; Ibekwe-SanJuan, F.; Hou, J.: „The structure and dynamics of cocitation clusters: A multiple-perspective cocitation analysis“, in: Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2010, 61, S. 1386–1409.
- [Chi06] Chiu, Y.-C.; Chen, B. et al.: „An evaluation model of new product launch strategy“, in: Technovation, 2006, 26, S. 1244–1252.
- [Cla01] Clarkson, P.; Simons, C.; Eckert, C.: „Predicting change propagation in complex design“, in: Transactions of the ASME. Journal of Mechanical Design, 2001.
- [Cla91] Clark, K. B.; Fujimoto, T.: „Product development performance“. Strategy, organization, and management in the world auto industry, Harvard Business School Press, Boston, 1991.
- [Con97] Conrat Niemerg, J.-I.: „Änderungskosten in der Produktentwicklung“. Dissertation, Technische Universität München, München, 1997.
- [Coo88] Cooper, R. G.; Kleinschmidt, E. J.: „Resource Allocation in the New Product Process“, in: Industrial Marketing Management, 1988, 17, S. 249–262.
- [Cou92] Coughlan, P.: „Engineering Change and Manufacturing Engineering Deployment in New Product Development“. in: Integrating design and manufacturing for competitive advantage. Oxford University Press, New York, 1992, S. 157–177.
- [Cri01] Cristiano, J. J.; Liker, J. K.; White, C. C., III.: „Key factors in the successful application of quality function deployment (QFD)“, in: Engineering Management, IEEE Transactions on, 2001, 48, S. 81–95.
- [Dah02] Dahmen, J. W.: „Prozeßorientiertes Risikomanagement zur Handhabung von Produktrisiken“. Dissertation, RWTH Aachen, Shaker Verlag, Aachen, 2002.
- [Den07] Denzler, F.: „Modellanalyse von Lieferantenbeziehungen in Anlaufprozessen“. Dissertation, TCW Transfer-Centrum, München, 2007.
- [Den13] Denning, S.: „What went wrong at Boeing?“. [www.forbes.com/sites/stevedenning/2013/01/21/what-went-wrong-at-boeing/](http://www.forbes.com/sites/stevedenning/2013/01/21/what-went-wrong-at-boeing/), 22.11.2016.

- [Eck04] Eckert, C.; Clarkson, P.; Zanker, W.: „Change and customisation in complex engineering domains“, in: *Research in engineering design*, 2004, 15, S. 1–21.
- [Ehr09] Ehrlenspiel, K.: „Integrierte Produktentwicklung“. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit, Hanser Verlag, München, 2009.
- [Eil13a] Eilmus, S.; Krause, D.: „Product Life-Oriented Development of Component Commonality and Variety“. in: *Proceedings of the ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition - 2013*. ASME, New York, 2013.
- [Eil13b] Eilmus, S.; Ripperda, S.; Krause, D.: „Towards the development of commonal product programs“. in: *Proceedings of ICED13 - 19th International Conference on Engineering Design. Design theory and research methodology*. Design Society, 2013, S. 209–218.
- [Eil16] Eilmus, S.: „Methodische Unterstützung der Entwicklung von Produktprogrammen mit hoher Kommunalität“. Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, TuTech Verlag, Hamburg, 2016.
- [Els11] Elstner, S.; Halfmann, N.; Krause, D.: „Systematic ramp-up approach in the early development phase for the assembly of aircraft cabins“, in: *3rd International Workshop on Aircraft System Technologies - AST 2011*, 2011.
- [Els13a] Elstner, S.; Krause, D.; Gehm, M.; Jacobsen, S.: „Modulare Überkopf-Gepäckablage“. Patentnummer DE102012009632A1. 2013.
- [Els13b] Elstner, S.; Krause, D.: „From product development to market introduction: A co-citation analysis in the field of ramp-up“. in: *Proceedings of ICED13 - 19th International Conference on Engineering Design. Design theory and research methodology*. Design Society, 2013, S. 289–298.
- [Els13c] Elstner, S.; Biele, A.; Krause, D. et al.: „Erhöhung der Flexibilität im Umgang mit späten Änderungen im Serienanlauf“, in: *ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 2013, 108, S. 962–966.
- [Els14] Elstner, S.; Krause, D.: „Methodical Approach for Consideration of Ramp-up Risks in the Product Development of Complex Products“, in: *Procedia CIRP*, 2014, 20, S. 20–25.
- [Epp12] Eppinger, S. D.; Browning, T. R.: „Design structure matrix methods and applications“, MIT Press, Cambridge, 2012.
- [Eri98] Erixon, G.: „Modular function deployment“. Dissertation, Kungl. Tekn. Högsk, The Royal Institute of Technology Department of Manufacturing Systems Assembly Systems Division, Stockholm, 1998.
- [Eur16] European Aviation Safety Agency: „Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes“. CS-25. [https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/CS-25%20Amendment%2018\\_0.pdf](https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/CS-25%20Amendment%2018_0.pdf), 13.11.2016.

- [Fig09] Figgen, A.: „Der schwierige Weg bis zum Erstflug“, in: Aero International, 2009, S. 40–43.
- [Fit05] Fitzek, D.: „Anlaufmanagement in Netzwerken“. Dissertation, Universität St. Gallen, Haupt Verlag, St. Gallen. 2005.
- [Fle04] Fleischer, J.; Wawerla, M. et al.: „Proaktive Anlaufsteuerung von Produktionssystemen entlang der Wertschöpfungskette“, in: Industrie Management, 2004, 20, S. 29–32.
- [Fle05] Fleischer, J.; Lanza, G.; Ender, T.: „Quality prognosis and process innovation in production ramp-up“, in: ZWF - Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2005, 100, S. 510–516.
- [Fra03] Frankenberger, E.: „Technology Development and Future Aircraft Design as a Methodical Challenge“. in: Research for practice - innovation in products, processes and organisations. ICED 03, 14th International Conference on Engineering Design. Design Society, Glasgow, 2003, S. 1–11.
- [Fra07] Frankenberger, E.: „Concurrent Design and Realization of Aircraft Production Flow Lines“. Process Challenges and Successful Design Methods. in: Proceedings of ICED 2007, 16th International Conference on Engineering Design, 2007, S. 1–11.
- [Fri98] Fritsche, R.: „Bewertung und Verkürzung von Anlaufprozessen für Betriebsmittel“. Dissertation, Technische Universität Berlin, IPK, Berlin, 1998.
- [Gal73] Galbraith, J.: „Designing complex organizations“, Addison-Wesley, Reading, 1973.
- [Gar12] Gartzten, T.: „Diskrete Migration als Anlaufstrategie für Montagesysteme“. Dissertation, RWTH Aachen, Apprimus Verlag, Aachen, 2012.
- [Gat11a] Gates, D.: „A 'prescient' warning to Boeing on 787 trouble“. [http://seattletimes.nwsources.com/html/sundaybuzz/2014125414\\_sundaybuzz06.html](http://seattletimes.nwsources.com/html/sundaybuzz/2014125414_sundaybuzz06.html), 15.12.2015.
- [Gat11b] Gates, D.: „Boeing celebrates 787 delivery as program's costs top \$32 billion“. [http://seattletimes.com/html/business/technology/2016310102\\_boeing25.html](http://seattletimes.com/html/business/technology/2016310102_boeing25.html), 13.01.2016.
- [Geb15] Gebhardt, N.; Bahns, T.; Krause, D.: „An Example of Visually Supported Design of Modular Product Families“. in: Mass customization and personalization. 24th CIRP Design Conference 2014, Milano, Italy, 14 - 15 April 2014. Curran, New York, 2014, S. 75–80.
- [Geb16] Gebhardt, N.; Kruse, M.; Krause, D.: „Gleichteile-, Modul- und Plattformstrategie“. in: Handbuch Produktentwicklung. Hanser Verlag, München, 2016, S. 111–149.
- [Gem95] Gemmerich, M.: „Technische Produktänderungen“. Dissertation, Universität Passau, Deutscher Universitätsverlag, Passau, 1995.

- [Gen94] Gentner, A.: „Entwurf eines Kennzahlensystems zur Effektivitäts- und Effizienzsteigerung von Entwicklungsprojekten“. Dargestellt am Beispiel der Entwicklungs- und Anlaufphasen in der Automobilindustrie. Dissertation, Verlag Franz Vahlen, München, 1994.
- [Gmü03] Gmür, M.: „Co-citation analysis and the search for invisible colleges: A methodological evaluation“, in: SCIENTOMETRICS, 2003, 57, S. 27–57.
- [Gon07] Gong, Y.: „Lieferantenmanagement in der Produktionsanlaufphase“. Ein systematisches Konzept zur Integration der Lieferanten in die ramp-up-Phase. Dissertation, Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, 2007.
- [Gri97] Griffin, A.: „The Effect of Project and Process Characteristics on Product Development Cycle Time“, in: Journal of Marketing Research, 1997, 34, S. 24–35.
- [Gro10] Gross, U.; Renner, T.: „Coordination and Cooperation during Production Ramp-up: An Empirical Study of the European Manufacturing Industry“, in: POMS 21st Annual Conference, 2010.
- [Gro12] Gross, U.: „Organisationstheoretische Aspekte des Produktionsanlaufs von Neuprodukten“. Dissertation, RWTH Aachen, Aachen, 2012.
- [Gus89] Gustmann, K.-H.; Rettschlag, G. et al.: „Produktionsanlauf neuer Erzeugnisse und Anlagen“, Verlag Die Wirtschaft, Berlin, 1989.
- [Hal12] Halfmann, N.; Krause, D.: „Assembly Target specific Structuring of modular Product Families“. in: Proceedings of 9th Norddesign Conference, 2012.
- [Hal15] Halfmann, N.: „Montagegerechtes Produktstrukturieren im Kontext einer Lebensphasenmodularisierung“. Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, TuTech Verlag, Hamburg, 2015.
- [Har01] Hart-Smith, L. J.: „Out-Sourced Profits - The Cornerstone of successful Subcontracting“. <http://seattletimes.nwsources.com/ABPub/2011/02/04/2014130646.pdf>, 20.12.2015.
- [Har07] Harvey, M. G.; Griffith, D. A.: „The Role of Globalization, Time Acceleration, and Virtual Global Teams in Fostering Successful Global Product Launches“, in: Journal of Product Innovation Management, 2007, 24, S. 486–501.
- [Har11] Hartmann, J.; Wüpper, G.: „Airbus verärgert Kunden mit Verspätungen beim A350“. <http://www.welt.de/wirtschaft/article13437778/Airbus-veraergert-Kunden-mit-Verspaetungen-beim-A350.html>, 07.01.2014.
- [Hav09] Havemann, F.: „Einführung in die Bibliometrie“, Gesellschaft für Wissenschaftsforschung, Berlin, 2009.
- [Her08a] Hertrampf, F.; Nickel, R.; Stirzel, M.: „Produktionsanläufe als Erfolgsfaktor zur Einhaltung der Time-to-Market“. Planung mit einem Anlaufreferenzmodell, in: ZWF - Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2008, 103, S. 236–239.

- [Her08b] Hertrampf, F.; Stirzel, M.; Eberspächer, R.: „Referenzmodell für eine effiziente Planung unternehmensübergreifender Produktionsanläufe“. Konzept und beispielhafte Darstellung eines Planungstools, in: PPS-Management Zeitschrift für ERP-Systeme in Produktion und Logistik, 2008, 13, S. 49–52.
- [Hil97] Hiller, F.: „Ein Konzept zur Gestaltung von Änderungsprozessen in der Produktentwicklung“. Dissertation, Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 1997.
- [Hin04] Hinrichs, J.; Rittscher, J.; Hellingrath, B.: „Kollaboratives Anlaufmanagement“. Zielgerichteter IT-Einsatz, in: Industrie Management, 2004, S. 33–37.
- [Hin10] Hinsch, M.: „Industrielles Luftfahrtmanagement“. Technik und Organisation luftfahrttechnischer Betriebe, Springer Verlag, Berlin, 2010.
- [Hit06] Hitsch, G. J.: „An Empirical Model of Optimal Dynamic Product Launch and Exit Under Demand Uncertainty“, in: Marketing Science, 2006, 25, S. 25–50.
- [Ho02] Ho, T.-H.; Savin, S.; Terwiesch, C.: „Managing Demand and Sales Dynamics in New Product Diffusion Under Supply Constraint“, in: Management Science, 2002, 48, S. 187–206.
- [Hof85] Hoffmann, K.: „Risk Management“. Neue Wege der betrieblichen Risikopolitik, Verlag Versicherungswirtschaft, Karlsruhe, 1985.
- [Hor03] Horváth, P.: „Controlling“, Vahlen Verlag, München, 2003.
- [Hün10] Hüntelmann, J.: „Terminplanung und -überwachung von Produktionsanläufen in Wertschöpfungsnetzwerken“. Dissertation, Universität Hannover, PZH Produktionstechnisches Zentrum GmbH, Hannover, 2010.
- [Jar04] Jarratt, Timothy A. W.: „A model-based approach to support the management of engineering change“. Dissertation, Cambridge University, Cambridge, 2004.
- [Jen08] Jennemann, T.: „Two musts for aero builders ramp up and slim down“, in: American Metal Market, 2008, 117, S. 24-24.
- [Jet05] Jetter, A.: „Produktplanung im "Fuzzy Front End"“. Handlungsunterstützungssystem auf der Basis von Fuzzy Cognitive Maps. Dissertation, RWTH Aachen, Deutscher Universitätsverlag, Aachen, 2005.
- [Joc11] Jochem, R.; Butz, H.: „Anforderungsmanagement in der Produktentwicklung“. Komplexität reduzieren, Prozesse optimieren, Qualität sichern, Symposium Publishing GmbH, Düsseldorf, 2011.
- [Jon14] Jonas, H.: „Eine Methode zur strategischen Planung modularer Produktprogramme“. Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, TuTech Verlag, Hamburg, 2014.
- [Jun05] Junge, M.: „Controlling modularer Produktfamilien in der Automobilindustrie“. Entwicklung und Anwendung der Modularisierungs-Balanced-Scorecard. Dissertation, Deutscher Universitätsverlag, Mainz, 2005.

- [Jür07] Jüring, J.: „Systemdynamische Analyse des Serienanlaufs in der Automobilindustrie“. Dissertation, Verlag Dr. Kovač, Mannheim, 2007.
- [Kam12] Kaminski-Morrow, D.: „Keeping in Line“. Airbus has its work cut out to meet rigorous A350XWB deadlines it has set itself, but the airframer remains insistent that doing so is feasible, in: *Flight international*, 2012, S. 50–52.
- [Kei07] Keil, S.; Lasch, R. et al.: „Einfluss- und Erfolgsfaktoren auf den Ramp-Up in der Halbleiterindustrie“. in: *Logistikmanagement. Analyse, Bewertung und Gestaltung logistischer Systeme*. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2007, S. 201–230.
- [Kia12] Kiani-Kreß, R.: „Airbus-Chef sieht Lieferprobleme gelassen“. <http://www.wiwo.de/unternehmen/industrie/fabrice-bregier-airbus-chef-sieht-lieferprobleme-gelassen/7104818.html>, 08.01.2014.
- [Kip12] Kipp, T.: „Methodische Unterstützung der variantengerechten Produktgestaltung“. Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, TuTech Verlag, Hamburg, 2012.
- [Kle91] Kleinschmidt, E. J.; Cooper, R. G.: „The Impact of Product Innovativeness on Performance“, in: *Journal of Product Innovation Management*, 1991, 8, S. 240–251.
- [Kön08] König, R.: „Management betrieblicher Risiken bei produzierenden Unternehmen“. Dissertation, RWTH Aachen, Aachen, 2008.
- [Kra11] Krause, D.; Eilmus, S.: „Methodical Support for the Development of Modular Product Families“. in: *The Future of Design Methodology*. Springer Verlag, London, 2011, S. 35–45.
- [Kra14] Krause, D.; Beckmann, G. et al.: „Integrated Development of Modular Product Families: A Methods Toolkit“. in: *Advances in Product Family and Product Platform Design: Methods & Applications*. Springer Verlag, New York, 2014, S. 245–269.
- [Kru09] Kruse, J.: „Einführung in die qualitative Interviewforschung“, Selbstverlag, Freiburg, 2009.
- [Kuh02] Kuhn, A. Hrsg.: „Fast ramp up“. Schneller Produktionsanlauf von Serienprodukten, Verlag Praxiswissen, Dortmund, 2002.
- [Lai03] Laick, T.: „Hochlaufmanagement“. Sicherer Produktionshochlauf durch zielorientierte Gestaltung und Lenkung des Produktionsprozesssystems. Dissertation, Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2003.
- [Lan04] Lanza, G.: „Simulationsbasierte Anlaufunterstützung auf Basis der Qualitätsfähigkeiten von Produktionsprozessen“. Dissertation, Universität Karlsruhe, wbk Institut für Produktionstechnik, Karlsruhe, 2004.
- [Lan05] Langerak, F.; Hultink, E. J.: „The Impact of New Product Development Acceleration Approaches on Speed and Profitability: Lessons for Pioneers and Fast Followers“, in: *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2005, 52, S. 30–42.

- [Lan88] Langowitz, N. S.: „An exploration of production problems in the initial commercial manufacture of products“, in: *Research Policy*, 1988, 17, S. 43–54.
- [Lee03] Lee, Y.; O’Connor, G. C.: „New product launch strategy for network effects products“, in: *Journal of Academy of Marketing Science*, 2003, 31, S. 241–255.
- [Lee05] Lee, K. H.: „First Course on Fuzzy Theory and Applications“, Springer Verlag, Berlin, 2005.
- [Lee10] Lee, K. B.; Wong, V.: „New product development proficiency and multi-country product rollout timeliness“, in: *International Marketing Review*, 2010, 27, S. 28–54.
- [Lee80] Leenders, M. R.; Henderson, R.: „Startup Research Presents Purchasing Problems and Opportunities (I)“, in: *International Journal of Operations & Production Management*, 1980, 1, S. 83–94.
- [Len09] Lenfle, S.; Midler, C.: „The launch of innovative product-related services: Lessons from automotive telematics“, in: *Research Policy*, 2009, 38, S. 156–169.
- [Les06] Leslie, M.; Holloway, C. A.: „The sales learning curve“, in: *Harvard Business Review*, 2006, 84, S. 115–123.
- [Lin09a] Lindemann, U.: „Methodische Entwicklung technischer Produkte“. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden, Springer Verlag, Berlin, 2009.
- [Lin09b] Lindemann, U.; Maurer, M.; Braun, T.: „Structural complexity management“. An approach for the field of product design, Springer Verlag, Berlin, 2009.
- [Lin98] Lindemann, U.: „Integriertes Änderungsmanagement“, Springer Verlag, Berlin, 1998.
- [Loc99] Loch, C. H.; Terwiesch, C.: „Accelerating the Process of Engineering Change Orders: Capacity and Congestion Effects“, in: *Journal of Product Innovation Management*, 1999, 16, S. 145–159.
- [Löd08] Lödding, H.: „Verfahren der Fertigungssteuerung“. Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration, Springer Verlag, 2008.
- [Lor09] Lorenz, M.: „Handling of strategic uncertainties in integrated product development“. Dissertation, Technische Universität München, Dr. Hut Verlag, München, 2009.
- [Lot06] Lotter, B.; Wiendahl, H.-P.: „Montage in der industriellen Produktion“. Ein Handbuch für die Praxis, Springer Verlag, Berlin, 2006.
- [Lua10] Luan, Y. J.; Sudhir, K.: „Forecasting Marketing-Mix Responsiveness for New Products“, in: *Journal of Marketing Research*, 2010, 47, S. 444–457.
- [Lüh05] Lührig, T.: „Risikomanagement in der Produktentwicklung der deutschen Automobilindustrie“. Dissertation, Technische Universität Darmstadt, Shaker Verlag, Darmstadt, 2005.

- [Mai93] Maier, T.: „Gleichteileanalyse und Ähnlichkeitsermittlung von Produktprogrammen“. Dissertation, Universität Stuttgart, Stuttgart, 1993.
- [Mar96] Martin, M.; Ishii, K.: „Design For Variety: A Methodology for Understanding the Costs of Product Proliferation“. in: Proceedings of the ASME 1996 Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference. American Society of Mechanical Engineers, New York, 1996.
- [Mei04] Meier, N.; Hanenkamp, N.; Schramm, J. J.: „Holistic production ramp-up in small and medium sized enterprise“, in: Industrie Management, 2004, 20, S. 25–28.
- [Mey09] Meyer, M.; Lorscheid, I.; Troitzsch, K. G.: „The Development of Social Simulation as Reflected in the First Ten Years of JASSS: a Citation and Co-Citation Analysis“, in: The Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 2009, 12, S. A224-A243.
- [Mey92] Meyer, A. de: „The development/manufacturing interface: empirical analysis of the 1990 European manufacturing futures survey“. in: Integrating design and manufacturing for competitive advantage. Oxford University Press, New York, 1992, S. 69–81.
- [Mey95] Meyer, M.; Utterback, J.: „Product development cycle time and commercial success“, in: IEEE Transactions on Engineering Management, 1995, 42, S. 297–304.
- [Mic03] Micheal, K.; Rochford, L.; Wotruba, T. R.: „How New Product Introductions Affect Sales Management Strategy: The Impact of Type of “Newness” of the New Product“, in: Journal of Product Innovation Management, 2003, 20, S. 270–283.
- [Möl05] Möller, K.: „Anlaufkosten in der Serienfertigung - Management und Controlling im Rahmen eines Lebenszykluskonzepts“. in: Synchronisation von Produktentwicklung und Produktionsprozess. Produktreife - Produktneuanläufe - Produktionsauslauf. TCW Transfer-Centrum, München, 2005, S. 137–171.
- [Moo70] Moore, R. F.: „Five ways to bridge the gap between R&D and production“, in: Research Management, 1970, 13, S. 367–373.
- [Nag11] Nagel, J.: „Risikoorientiertes Anlaufmanagement“. Dissertation, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Gabler Verlag, Cottbus, 2011.
- [Nak88] Nakajima, S.: „Introduction to TPM“. Total productive maintenance, Productivity Press, Portland, 1988.
- [Nau12] Nau, B. R.: „Anlauforientierte Technologieplanung zur Auswahl von Fertigungstechnologien“. Dissertation, RWTH Aachen, Apprimus Verlag, Aachen, 2012.
- [Ock09] Ocker, D.: „Unscharfe Risikoanalyse strategischer Ereignisrisiken“. Dissertation, Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main, 2010.
- [Ott07] Otto, A.; Obermaier, R. Hrsg.: „Logistikmanagement“. Analyse, Bewertung und Gestaltung logistischer Systeme, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 2007.
- [Pah07] Pahl, G.; Beitz, W. et al.: „Konstruktionslehre“. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung; Methoden und Anwendung, Springer Verlag, Berlin, 2007.

- [Pet08] Peters, N.; Hofstetter, J. S.: „Konzepte und Erfolgsfaktoren für die Anlaufstrategien in Netzwerken der Automobilindustrie“. in: Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen. Ein Leitfaden für die Praxis. Springer Verlag, 2008, S. 9–29.
- [Pri04] Pritchard, D.; MacPherson, A.: „Industrial Subsidies and the Politics of World Trade The Case of the Boeing 7e7“, in: Industrial Geographer, 2004, 1, S. 57–73.
- [Pru08] Pruet, M.; Thomas, H.: „Experience-based learning in innovation and production“, in: R&D Management, 2008, 38, S. 141–153.
- [Puf13] Pufall, A. A.: „Ramp-up performance in consumer electronics“, BOXPress, Eindhoven, 2013.
- [Pur10] Purdy, G.: „ISO 310002009--Setting a New Standard for Risk Management“, in: Risk Analysis: An International Journal, 2010, 30, S. 881–886.
- [Rei04] Reinfelder, A.; Wuttke, C. C.; Blumenau, J. C.: „Planung Anlaufrobuster Produktionssysteme. Planning or production systems insensitive to ramp-up impacts“, in: Industrie Management, 2004, 20, S. 41-44.
- [Rei11] Reichmann, T.; Hoffjan, A.: „Controlling mit Kennzahlen“. Die systemgestützte Controlling-Konzeption mit Analyse- und Reportinginstrumenten, Vahlen Verlag, München, 2011.
- [Ren12] Renner, T.: „Performance-Management im Produktionsanlauf“. Dissertation, RWTH Aachen, Aachen, 2012.
- [Ris02] Risse, J.: „Time-to-Market-Management in der Automobilindustrie“. Ein Gestaltungsrahmen für ein logistikorientiertes Anlaufmanagement. Dissertation, Haupt Verlag, Bern, 2003.
- [Rog02] Rogler, S.: „Risikomanagement im Industriebetrieb“. Analyse von Beschaffungs-, Produktions- und Absatzrisiken, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 2002.
- [Rom05] Romberg, A.; Haas, M.: „Der Anlaufmanager“. Effizient arbeiten mit Führungssystem und Workflow; von der Produktidee bis zu Serie, LOG X, Stuttgart, 2005.
- [Sch02b] Scharer, M.: „Quality Gate-Ansatz mit integriertem Risikomanagement“. Dissertation, Universität Karlsruhe, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik, Karlsruhe, 2002.
- [Sch01] Schmahls, T.: „Beitrag zur Effizienzsteigerung während Produktionsanläufen in der Automobilindustrie“. Dissertation, Technische Universität Chemnitz, Chemnitz, 2001.
- [Sch97b] Schmidt, A.: „Flugzeughersteller zwischen globalem Wettbewerb und internationaler Kooperation“. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, Ed. Sigma, Berlin, 1997.

- [Sch10a] Schmitt, R.; Schuh, G. et al.: „Das Aachener Modell zum interdisziplinären Anlaufmanagement“. Entwicklung von Entscheidungsmodellen im Produktionsanlauf, in: wt Werkstattstechnik online, 2010, 100, S. 317–322.
- [Sch10b] Schmitt, R.; Pfeifer, T.; Schmitt-Pfeifer: „Qualitätsmanagement“. Strategien, Methoden, Techniken, Hanser Verlag, München, 2010.
- [Sch02a] Schneider, M.; Lücke, M.: „Kooperations- und Referenzmodelle für den Anlauf“. Schneller Produktionsanlauf von Serienprodukten, in: wt Werkstattstechnik online, 2002, 92, S. 514–518.
- [Sch06] Schneider, M.: „Assistenzsystem zur Strategiefestlegung in der Anlaufplanung“. Dissertation, Universität Dortmund, Verlag Praxiswissen, Dortmund, 2006.
- [Sch97a] Schnorrenberg, U.; Goebels, G.; Rassenberg, S.: „Risikomanagement in Projekten“. Methoden und ihre praktische Anwendung, Vieweg Verlag, Braunschweig, 1997.
- [Sch04] Scholz-Reiter, B.; Hohns, H. et al.: „Hybrid product change management in the ramp-up phase of the automotive industry“, in: Industrie Management, 2004, 20, S. 21–24.
- [Sch10c] Scholz-Reiter, B.; Krohne, F. et al.: „Reaktionsstrategiemodell für ein effizientes Anlaufmanagement“, in: wt Werkstattstechnik online, 2010, 100, S. 323–328.
- [Sch05a] Schuh, G.; Desoi, J.-C.; Tücks, G.: „Holistic Approach for Production Ramp-Up in Automotive Industry“. in: Advances in Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering. Springer Verlag, Dordrecht, 2005, S. 255–268.
- [Sch05b] Schuh, G.: „Produktkomplexität managen“. Strategien - Methoden - Tools, Hanser Verlag, München, 2005.
- [Sch05c] Schuh, G.; Kampker, A.; Franzkoch, B.: „Anlaufmanagement“. Kosten senken - Anlaufzeit verkürzen - Qualität sichern, in: wt Werkstattstechnik online, 2005, 95, S. 405–409.
- [Sch08] Schuh, G.; Stölzle, W.; Straube, F. Hrsg.: „Anlaufmanagement in der Automobilindustrie erfolgreich umsetzen“. Ein Leitfaden für die Praxis, Springer Verlag, 2008.
- [Sei95] Seifert, H.; Steiner, M.: „F+E: Schneller, schneller, schneller“, in: Harvard Business Manager, 1995, 17, S. 16–22.
- [Sma73] Small, H.: „Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents“, in: Journal of the American Society for Information Science, 1973, 24, S. 265–269.
- [Sod12a] Sodhi, M. S.; Tang, C. S.: „Mitigating New Product Development Risks - The Case of the Boeing 787 Dreamliner“. in: Managing Supply Chain Risk. Springer Verlag, 2012, S. 161–179.
- [Sod12b] Sodhi, M.S.; Tang, C.S. Hrsg.: „Managing Supply Chain Risk“, Springer Verlag, 2012.

- [Son09] Song, M.; Swink, M.: „Marketing—Manufacturing Integration Across Stages of New Product Development: Effects on the Success of High- and Low-Innovativeness Products“, in: IEEE Transactions on Engineering Management, 2009, 56, S. 31–44.
- [Spi01] Spitz, W.; Golaszewski, R. et al.: „Development cycle time simulation for civil aircraft“, Langley Research Center, National Aeronautics and Space Administration, Langley Research Center, Hampton, 2001.
- [Ste91] Steward, D. V.: „Planning and managing the design of systems“. in: Technology Management the New International Language, 1991, S. 189–193.
- [Str06] Straub, W.; Weidmann, M.; Baumeister, M.: „Erfolgsfaktoren für einen effizienten Anlauf in der automobilen Montage“, in: ZWF - Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2006, 101, S. 124–129.
- [Suh07] Suh, E. S.; de Weck, Olivier L.; Chang, D.: „Flexible product platforms: framework and case study“, in: Research in Engineering Design, 2007, 18, S. 67–89.
- [Suh09] Suh, E. S.; Furst, M. R. et al.: „Technology infusion for complex systems: A framework and case study“, in: Systems Engineering, 2009, S. 186–203.
- [Swi04] Swink, M. L.; Calantone, R.: „Design-Manufacturing Integration as a Mediator of Antecedents to New Product Design Quality“, in: IEEE Transactions on Engineering Management, 2004, 51, S. 472–482.
- [Tal10a] Talke, K.; Hultink, E. J.: „The Impact of the Corporate Mind-set on New Product Launch Strategy and Market Performance“, in: Journal of Product Innovation Management, 2010, 27, S. 220–237.
- [Tal10b] Talke, K.; Hultink, E. J.: „Managing Diffusion Barriers When Launching New Products“, in: Journal of Product Innovation Management, 2010, 27, S. 537–553.
- [Tal10c] Talbot, D.: „Reinventing the Commercial Jet“, in: Technology Review, 2010, 113, S. 80–81.
- [Tat00] Tatikonda, M. V.; Rosenthal, S. R.: „Technology novelty, project complexity, and product development project execution success: a deeper look at task uncertainty in product innovation“, in: IEEE Transactions on Engineering Management, 2000, 47, S. 74–87.
- [Ter01a] Terwiesch, C.; Bohn, R.; Chea, K.: „International product transfer and production ramp-up: a case study from the data storage industry“, in: R and D Management, 2001, 31, S. 435–451.
- [Ter01b] Terwiesch, C.; Bohn, R. E.: „Learning and process improvement during production ramp-up“, in: International Journal of Production Economics, 2001, 70, S. 1–19.
- [Ter04] Terwiesch, C.; Xu, Y.: „The Copy-Exactly Ramp-Up Strategy: Trading-Off Learning With Process Change“, in: IEEE Transactions on Engineering Management, 2004, 51, S. 70–84.

- [Thi08] Thiebus, S.: „Integriertes Zykluskonzept unter Einsatz von Methoden des Wissensmanagements beim Serienanlauf in der Automobilindustrie“. Dissertation, Techn. Univ, Shaker Verlag, Cottbus, 2008.
- [Tho00] Thomke, S.; Fujimoto, T.: „The Effect of "Front-Loading" Problem-Solving on Product Development Performance“, in: *Journal of Product Innovation Management*, 2000, 17, S. 128–142.
- [Tho97] Thomke, S. H.: „The role of flexibility in the development of new products An empirical study“, in: *Research policy policy and management studies of science, technology and innovation*, 1997, 26, S. 105–120.
- [Tüc10] Tücks, G.: „Ramp-Up Management in der Automobilindustrie“. Dissertation, RWTH Aachen, Apprimus Verlag, Aachen, 2010.
- [Tyr91] Tyre, M. J.: „Managing the introduction of new process technology - International differences in a multiplant network“, in: *Research Policy*, 1991, 20, S. 57–76.
- [Ulr95] Ulrich, H.; Probst, Gilbert J. B.: „Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln“. Ein Brevier für Führungskräfte, Haupt Verlag, Bern, 1995.
- [Van03] Vandavelde, A.; van Dierdonck, R.: „Managing the design-manufacturing interface“, in: *International Journal of Operations & Production Management*, 2003, 23, S. 1326–1348.
- [Vos08] Vose, D.: „Risk analysis“. A quantitative guide, Wiley, Chichester, 2008.
- [Wan09] Wang, J.; Lin, Y.-I.: „An overlapping process model to assess schedule risk for new product development“, in: *Computers and Industrial Engineering*, 2009, 57, S. 460–474.
- [Wan98] Wangenheim, S. von: „Planung und Steuerung des Serienanlaufs komplexer Produkte“. Dissertation, Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main, 1998.
- [Web05] Weber, C.: „What is "complexity"?.“ in: *Engineering design and the global economy. 15th International Conference on Engineering Design - ICED 05. The Design Society, Melbourne*, 2005, S. 1–12.
- [Wec07] Weck, O. d.; Eckert, C.; Clarkson, J.: „A Classification of Uncertainty for Early Product and System Design“. in: *Proceedings of ICED 2007, 16th International Conference on Engineering Design*, 2007.
- [Wec97] Weck, M.; Klocke, F. et al.: „Evaluating alternative production cycles using the extended fuzzy AHP method“, in: *European Journal of Operational Research*, 1997, 100, S. 351–366.
- [Wei06] Weinzierl, J.: „Produktreifegrad-Management in unternehmensübergreifenden Entwicklungsnetzwerken“. Ein ganzheitlicher Ansatz zur Entscheidungsunterstützung im strategischen Anlaufmanagement. Dissertation, Verlag Praxiswissen, Dortmund, 2006.

- [Wei08] Weig, S.: „Konzept eines integrierten Risikomanagements für die Ablauf- und Strukturgestaltung in Fabrikplanungsprojekten“. Dissertation, Herbert Utz Verlag, München, 2008.
- [Wie02a] Wiendahl, H.-P.; Hegenscheidt, M.; Winkler, H.: „Anlaufrobuste Produktionssysteme“, in: wt Werkstattstechnik online, 2002, 92, S. 650–655.
- [Wie02b] Wiesinger G., Housein, G.: „Schneller Produktionsanlauf von Serienprodukten: Wettbewerbsvorteile durch ein anforderungsgerechtes Anlaufmanagement“, in: wt Werkstattstechnik online, 2002, 92, S. 505–508.
- [Wie14] Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.: „Handbuch Fabrikplanung“. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten, Hanser Verlag, München, 2014.
- [Wil04] Wildemann, H.: „Präventive Handlungsstrategien für den Produktionsanlauf“, in: Industrie-Management, 2004, S. 17–20.
- [Wil05a] Wildemann, H.: „Management leistungswirtschaftlicher Risiken in der Produktion“, in: ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2005, S. 187–191.
- [Wil05b] Wildemann, H. Hrsg.: „Synchronisation von Produktentwicklung und Produktionsprozess“. Produktreife - Produktneuanläufe - Produktionsauslauf, TCW Transfer-Centrum, München, 2005.
- [Wil06] Wildemann, H.: „Risikomanagement und Rating“, TCW Transfer-Centrum, München, 2006.
- [Wil08] Wildemann, H.: „Risikomanagement“. Leitfaden zur Umsetzung eines Risikomanagement-Systems für die wertorientierte Steuerung von Unternehmen, TCW Transfer-Centrum, München, 2008.
- [Wil09] Wildemann, H.: „Anlaufmanagement“. Leitfaden zur Optimierung der Anlaufphase von Produkten, Anlagen und Dienstleistung, TCW Transfer-Centrum, München, 2009.
- [Win07] Winkler, H.: „Modellierung vernetzter Wirkbeziehungen im Produktionsanlauf“. Dissertation, Universität Hannover, Hannover, 2007.
- [Win09] Winkler, H.; Slamanig, M.: „Koordination des Supply Chain-Netzwerks bei Produktwechselprojekten“, in: ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2009, 104, S. 566–571.
- [Wiß06] Wißler, F. E.: „Ein Verfahren zur Bewertung technischer Risiken in der Phase der Entwicklung komplexer Serienprodukte“. Dissertation, Universität Stuttgart, Jost-Jetter Verlag, Stuttgart, 2006.
- [Wit06] Witt, C.: „Interorganizational new product launch management“. Dissertation, Universität St. Gallen, St. Gallen, 2006.
- [Wol03] Wolf, K.: „Risikomanagement im Kontext der wertorientierten Unternehmensführung“, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden, 2003.

- [Wyn07] Wynn, D. C.: „Model-Based Approaches to Support Process Improvement in Complex Product Development“. Dissertation, University of Cambridge, Cambridge, 2007.
- [Wün09] Wünscher, T.: „Störungsmanagement im Entwicklungs- und Herstellungsprozess komplexer, kundenindividueller Produkte“. Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, Cuvillier Verlag, Hamburg, 2009.
- [Yin09] Yin, R. K.: „Case study research“. Design and methods, Sage, Los Angeles, 2009.
- [Zab85] Zabka, W.: „The Judgement and evaluation of long-term investments, demonstrated by means of a civil aircraft program“. Lecture given at the University of Dhahran, Messerschmitt-Bölkow-Blohm, MBB-Berichte, München, 1985.
- [Zäh04] Zäh, M. F.; Möller, N.: „Risikomanagement bei Produktionsanläufen“, in: Industrie Management, 2004, 20, S. 13–16.
- [Zeu98] Zeugträger, K.: „Anlaufmanagement für Großanlagen“. Dissertation, Universität Hannover, VDI-Verlag, Hannover, 1998.
- [Zim06] Zimolong, B., Meier, H., Preuss, S., Homuth, M.: „KMU-gerechtes Anlaufmanagement in der Lieferkette“, in: Industrie Management, 2006, 22, S. 35–38.

## Zum Forschungsthema betreute studentische Arbeiten

Barth, H.: „Analyse von Methoden des Störungsmanagements im Umfeld des Serienanlaufs am Beispiel komplexer, kundenindividueller Produkte“, Studienarbeit, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2011.

Finkendey, T.: „Entwicklung einer modularen Produktstruktur am Beispiel des Kabinenlinings“, Studienarbeit, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2011.

Froese, M.: „Risikoabschätzung unter Unsicherheit im Kontext der Produktentwicklung“, Masterarbeit, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2014.

Mittenzwei, A.: „Bewertung von Erfolgsfaktoren für einen effizienten Markteintritt aus Sicht der Produktentwicklung“, Projektarbeit, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2012.

Schimanowski, A.: „Bewertung von Erfolgsfaktoren für einen effizienten Markteintritt aus Sicht der Produktentwicklung“, Studienarbeit, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2011.

Steimle, N.: „Optimierung des Anforderungsmanagements im Offshore-Business eines Windenergieanlagenherstellers“, Studienarbeit, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2012.

Steile, E.: „Methodischer Wissenstransfer aus bestehenden Montageuntersuchungen eines Kabinenlining-Moduls zur Optimierung des Serienanlaufs“, Diplomarbeit, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2013.

Tran, T.: „Entwicklung eines innovativen modularen Handgepäck-Konzepts für die Flugzeugkabine“, Bachelorarbeit, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2012.

