

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

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

**Adaption von Produktionsstrukturen  
unter Berücksichtigung von Lebenszyklen**

**Johannes Pohl**

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

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

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Wilfried Sihn  
Technische Universität Wien / Österreich

Die Dissertation wurde am 07.05.2013 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 11.10.2013 angenommen.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>i</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>v</b>
<b>Formelzeichen</b>	<b>ix</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation und Motivation .....	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit .....	4
1.3 Spezifizierung des Untersuchungsbereichs .....	5
1.3.1 Begriffsdefinitionen .....	5
1.3.2 Eingrenzung des Untersuchungsbereichs .....	7
1.4 Aufbau der Arbeit .....	8
<b>2 Grundlagen</b>	<b>11</b>
2.1 Inhalt des Kapitels .....	11
2.2 Einflüsse auf Unternehmen und deren Erfassung .....	11
2.3 Produktions-Controlling .....	14
2.3.1 Allgemeines .....	14
2.3.2 Kennzahlensysteme für die Produktion .....	16
2.4 Zykluskonzepte .....	18
2.4.1 Allgemeines .....	18
2.4.2 Lebensphasenkonzepte .....	19
2.4.3 Lebenszykluskonzepte .....	19
2.4.4 Integrierte Lebenszykluskonzepte .....	20
2.5 Lebenszykluskostenrechnung .....	22
2.6 Zusammenfassung des Kapitels .....	25
<b>3 Stand der Forschung und Erkenntnisse</b>	<b>27</b>
3.1 Inhalt des Kapitels .....	27
3.2 Produktionsstrukturelevante Lebenszyklen .....	27
3.2.1 Allgemeines .....	27
3.2.2 Produktlebenszyklus .....	28
3.2.3 Technologielebenszyklus .....	30
3.2.4 Betriebsmittellebenszyklus .....	33
3.2.5 Zusammenhang der produktionsstrukturelevanten Lebenszyklen .....	36
3.3 Ansätze zur lebenszyklusorientierten Optimierung und Bewertung von Planungsalternativen .....	39
3.4 Fazit .....	42

<b>4</b>	<b>Anforderungen an die Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen</b>	<b>45</b>
4.1	Inhalt des Kapitels .....	45
4.2	Anforderungen an die Methode .....	45
4.3	Anforderungen an die Modelle .....	47
4.4	Zusammenfassung des Kapitels .....	48
<b>5</b>	<b>Aufbau der Modelle</b>	<b>49</b>
5.1	Inhalt des Kapitels .....	49
5.2	Übersicht der verwendeten Modelle .....	49
5.3	Produktionsstrukturmodell .....	50
5.3.1	Elemente der Produktionsstruktur .....	50
5.3.1.1	Infrastruktur .....	50
5.3.1.2	Betriebsmittel .....	51
5.3.1.3	Personal .....	52
5.3.2	Aufbau des Produktionsstrukturmodells .....	52
5.4	Kostenmodell .....	54
5.4.1	Aufbau der Kostengliederungsstruktur .....	54
5.4.2	Aufbau der Kostenbausteine .....	56
5.5	Unsicherheitenmodell .....	57
5.6	Zusammenfassung des Kapitels .....	59
<b>6</b>	<b>Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen</b>	<b>61</b>
6.1	Inhalt des Kapitels .....	61
6.2	Aufbau der Methode .....	61
6.3	Identifikation des Adaptionsbedarfs .....	63
6.3.1	Allgemeines und Vorgehen .....	63
6.3.2	Überwachung schleichender Effizienzverluste .....	64
6.3.2.1	Erhebung produktionsstrukturerelevanter Kennzahlen .....	64
6.3.2.2	Reaktive und prospektive Überwachung .....	68
6.3.2.3	Modellierung von Unsicherheiten .....	70
6.3.2.4	Modellierung des Produktlebenszyklus .....	73
6.3.2.5	Modellierung des Technologielebenszyklus .....	76
6.3.2.6	Modellierung des Betriebsmittel-lebenszyklus .....	77
6.3.3	Überwachung interner und externer zeitdiskreter Ereignisse .....	81
6.3.4	Ablauf der Identifikation des Adaptionsbedarfs .....	82
6.4	Erstellung von Adaptionsszenarien .....	84
6.4.1	Allgemeines und Vorgehen .....	84
6.4.2	Planung von Strukturmaßnahmen .....	85
6.4.3	Erhebung anfallender Adaptionskosten .....	89
6.4.4	Anpassung der Lebenszyklusverläufe .....	91

6.4.5	Ablauf der Erstellung von Adaptionsszenarien .....	92
6.5	Bewertung der Adaptionsszenarien .....	93
6.5.1	Allgemeines und Vorgehen .....	93
6.5.2	Durchführung der Bewertungssimulation .....	94
6.5.3	Analyse und Interpretation der Ergebnisse .....	97
6.5.3.1	Histogramm-Vergleich.....	97
6.5.3.2	Portfolioanalyse .....	99
6.5.3.3	Kostenstrukturanalyse .....	101
6.5.3.4	Sensitivitätsanalyse .....	103
6.5.4	Ablauf der Bewertung von Adaptionsszenarien.....	105
6.6	Zusammenfassung des Kapitels.....	107
<b>7</b>	<b>Anwendung der Methode</b>	<b>109</b>
7.1	Inhalt des Kapitels .....	109
7.2	Beschreibung des Projektbeispiels .....	109
7.2.1	Allgemeines.....	109
7.2.2	Beschreibung der Produktionsstruktur.....	110
7.2.3	Beschreibung der Kostengliederungsstruktur .....	111
7.2.4	Definition der zu betrachtenden Unsicherheiten.....	114
7.3	Anwendung der entwickelten Methode .....	116
7.3.1	Identifikation des Adaptionsbedarfs .....	116
7.3.2	Erstellung der Adaptionsszenarien .....	117
7.3.3	Bewertung der Adaptionsszenarien .....	119
7.4	Bewertung der entwickelten Methode .....	124
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>129</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>133</b>
<b>Anhang</b>		<b>161</b>
A.1	Typologie der Produktlebenszyklen .....	161
A.2	Auflistung der Betriebsmittel im Produktionsstrukturmodell ..	163
A.3	Ergebnisse der Bewertungssimulation des Projektbeispiels.....	169
A.4	Genutzte Softwareprodukte .....	170
<b>Verzeichnis betreuter Studienarbeiten</b>		<b>171</b>



## Abkürzungsverzeichnis

A	Adaptionsszenario
Adapt.	Adaptionsbedarf
Ausw.	Auswirkung
BCG	Boston Consulting Group
BDE	Betriebsdatenerfassung
BLZ	Betriebsmittellebenszyklus
BM	Betriebsmittel
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
CF	Cash-Flow
DCF	Discounted-Cash-Flow
DIN	Deutsches Institut für Normung
Diss.	Dissertation
dt.	deutsch
el.	eliminieren
engl.	englisch
ERP	Enterprise-Resource-Planning
et al.	et alii
etc.	et cetera
EUR	Euro
evtl.	eventuell
FuE	Forschung und Entwicklung
GuV	Gewinn- und Verlustrechnung
h	Stunde
Hrsg.	Herausgeber
IKR	Industriekontenrahmen

## Abkürzungsverzeichnis

---

inkl.	inklusive
ISO	Internationale Organisation für Normung
<i>iwb</i>	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
kg	Kilogramm
k.	keine
K.	Korrelation
Korr.	Korrelation
KST	Kostenstelle
lat.	lateinisch
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
max.	maximal
MDT	Mean Down Time
MTBF	Mean Time Between Failures
NPV	Net Present Value
PLZ	Produktlebenszyklus
Pro.	Produkt
Q	Quartal
S.	Seite
SM	Strukturmaßnahme
SOP	Start of Production
sub.	substituieren
T.	Technologie
Tech.	Technologie
u.	und
Übers.	Überschreitung
Unters.	Unterschreitung
usw.	und so weiter
VaR	Value-at-Risk
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

---

VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
verl.	verlagern
vgl.	vergleiche
W.	Wirkbeziehung
Z	Zielgröße
z. B.	zum Beispiel



## Formelzeichen

Hinweis: Einige der aufgeführten Formelzeichen werden teilweise mit verschiedenen Bedeutungen verwendet. Die jeweils im verwendeten Zusammenhang zutreffende Bedeutung ist im Text angegeben. Darüber hinaus sind die hier genannten Größen in der Regel dimensionslos bzw. deren Einheiten ergeben sich aus dem Kontext.

### Kleine und große griechische Buchstaben

$\alpha$	relative Wahrscheinlichkeit
$\beta$	Formparameter der Weibullverteilung
$\Delta$	Differenz
$\eta$	Skalierungsparameter der Weibullverteilung
$\lambda(t)$	Ausfallrate in Abhängigkeit der Zeit $t$
$\mu$	Mittelwert
$\mu_M$	Zugehörigkeitswert zur Menge $M$
$\sigma$	Standardabweichung
$\Omega$	Grundmenge

### Kleine und große lateinische Buchstaben

$a$	Modellparameter des Produktlebenszyklus
$A(t)$	Fixkosten in Abhängigkeit der Zeit $t$
$A_L(t)$	Fixkosten mit Lernkurveneffekt in Abhängigkeit der Zeit $t$
$A_{OL}(t)$	Fixkosten ohne Lernkurveneffekt in Abhängigkeit der Zeit $t$

## Formelzeichen

---

$b$	Modellparameter des Produktlebenszyklus
$B$	proportional steigende variable Kosten/Stück
$B_L$	proportional steigende variable Kosten/Stück mit Lernkurveneffekt
$B_{OL}$	proportional steigende variable Kosten/Stück ohne Lernkurveneffekt
$c$	Modellparameter des Produktlebenszyklus
$C(t)$	progressiv steigende variable Kosten/Stück in Abhängigkeit der Zeit $t$
$C_L(t)$	progressiv steigende variable Kosten/Stück mit Lernkurveneffekt in Abhängigkeit der Zeit $t$
$C_{OL}(t)$	progressiv steigende variable Kosten/Stück ohne Lernkurveneffekt in Abhängigkeit der Zeit $t$
$CF_t$	investitionsbedingte Zahlungsströme (Cash-Flows) in Periode $t$
$e^x$	Exponentialfunktion von $x$
$E$	Erwartungswert
$E_A$	Erwartungswert Adaptionsszenario A
$E_{Grenz}$	Grenzerwartungswert
$E_{U_i}$	Erwartungswert unsicherer Einflussfaktor $i$
$E_{Ziel}$	Zielerwartungswert
$E(K(t))$	Erwartungswert des Kostenbestandteils in Abhängigkeit der Zeit $t$
$E(K_{Ziel}(t))$	Erwartungswert der als Zielgröße definierten Kosten in Abhängigkeit der Zeit $t$
$E(U_i)$	Erwartungswertfunktion in Abhängigkeit des unsicheren Einflussfaktors $U_i$
$f_x(x)$	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion von $x$
$F(x)$	Verteilungsfunktion von $x$
$i$	Kalkulationszins

---

$I_0$	Investitionszahlung zum Zeitpunkt $t=0$
$K(t)$	Kostenfunktion in Abhängigkeit der Zeit $t$
$K_L(t)$	Kostenfunktion mit Lernkurveneffekt in Abhängigkeit der Zeit $t$
$KA(t)$	Anteil des Kostenbestandteils in Abhängigkeit der Zeit $t$
$L$	Lernrate
$M$	unscharfe Menge
$n$	Anzahl der Ziehungen bzw. Berechnungen der Monte-Carlo-Simulation
$NPV$	Kapitalwert (Net Present Value)
$o_i$	oberer Grenzwert des unsicheren Einflussfaktors $U_i$
$p$	Wahrscheinlichkeit
$p(x)$	Wahrscheinlichkeitsfunktion von $x$
$P$	Betrachtungsperiode
$S_0$	produzierte Stückzahl zum Zeitpunkt $t=0$
$S(t)$	produzierte Stückzahl in Abhängigkeit der Zeit $t$
$t$	Zeit
$T$	Lebensdauer der Investition bzw. Betrachtungszeitraum
$u_i$	unterer Grenzwert des unsicheren Einflussfaktors $U_i$
$U_i$	unsicherer Einflussfaktor $i$
$x$	Zufallsvariable



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation und Motivation

Mit Erbringung von knapp einem Fünftel der gesamtwirtschaftlichen Leistung Deutschlands und der Beschäftigung von fast 6.000.000 Menschen ist das produzierende Gewerbe<sup>1,2</sup> ein zentraler Zweig der deutschen Wirtschaft (STATISTISCHES BUNDESAMT 2010). Trotz Wachstums des Dienstleistungssektors in den letzten Jahren und in der Zukunft (BRÄUNINGER ET AL. 2008) wird die Bedeutung des produzierenden Gewerbes durch den Trend der stark zunehmenden Durchdringung der Sachgüterproduktion mit Dienstleistungs- und Servicekomponenten noch weiter verstärkt (KALMBACH ET AL. 2003). Die Fakten zeigen, dass das produzierende Gewerbe das Rückgrat des deutschen Wohlstands darstellt und die Produktion auch in Zukunft Treiber für Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland sein wird (ABELE & REINHART 2011).

Das produzierende Gewerbe steht jedoch vor großen Herausforderungen. Die steigende Globalisierung und der damit steigende internationale Wettbewerbsdruck, die zunehmende Individualisierung der Produkte, die stark schwankenden Absatzmengen oder die hohen Lohnkosten seien nur beispielhaft genannt für die große Anzahl an Faktoren, die das Umfeld und dessen Entwicklung in den letzten Jahren stark geprägt haben bzw. zukünftig prägen werden (BERGHOLZ 2008; WESTKÄMPER & ZAHN 2009; ABELE & REINHART 2011).

Schon seit Anfang der 90er-Jahre wird ein solches Unternehmensumfeld als turbulent bezeichnet (WARNECKE & HÜSER 1996; ZAHN & TILEBEIN 1998; REINHART ET AL. 1999; HERNÁNDEZ MORALES 2003; WESTKÄMPER 2006a; WIENDAHL ET AL. 2009). Die Turbulenz entsteht aus der Umfeldynamik, die durch sprunghafte und unvorhersehbare Veränderungen geprägt ist, und aus der steigenden Umfeldkomplexität, die durch stark verknüpfte Einflussgrößen und deren schlechten Prognosefähigkeiten gekennzeichnet ist (HERNÁNDEZ MORALES 2003). Diese zwei Hauptursachen für die Turbulenz erschweren einerseits Systeme mit bestehenden Methoden vollends zu verstehen bzw. zu erfassen und bergen andererseits Risiken für unternehmerische Entscheidungen.

---

<sup>1</sup> Das produzierende Gewerbe umfasst die Bereiche Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden, das verarbeitende Gewerbe, die Energie- und Wasserversorgung, die Abwasser- und Abfallentsorgung, die Beseitigung von Umweltverschmutzungen sowie das Baugewerbe (STATISTISCHES BUNDESAMT 2010).

<sup>2</sup> Die Statistik bezieht sich auf das produzierende Gewerbe ohne Baugewerbe.

# 1 Einleitung

---

Um in einem solchen Umfeld bestehen zu können, müssen produzierende Unternehmen ihre Wettbewerbsfähigkeit erhalten und ausbauen. Produkt- und Prozessinnovationen stellen einen entscheidenden Erfolgsfaktor dar (CHAKRAVARTHY 1997; CALANTONE ET AL. 2003; ACCENTURE 2005). Aus diesem Grund fokussieren sich Unternehmen oftmals auf die Diversifizierung der Produkte und der Bedienung von Nischenmärkten sowie der Bindung bestehender Kunden durch die Einführung neuer Produktvarianten und der Senkung von Lieferzeiten. Diese zunehmende Kundenorientierung gilt es in der Produktion zu bewältigen. Um diesen Herausforderungen begegnen zu können müssen Unternehmen in der Lage sein, ihre Organisation und Produktion schnell und flexibel auf die Turbulenz einzustellen (HEINEN ET AL. 2008). Voraussetzung für die Umstellung ist immer die Sicherstellung der Produktion auf höchstem wirtschaftlichen Niveau (MÖLLER 2008; ALDINGER 2009). Die Schwierigkeit liegt in der zeitgerechten Anpassung der Produktion, da die benötigte Reaktionszeit zur Adaption diametral zur der vom Umfeld geforderten Reaktionszeit verläuft (BLEICHER 2004) (vgl. Abbildung 1). Dies bedeutet, dass die zur Anpassung an Veränderungen benötigte Zeit verglichen mit der Zeit, innerhalb der eine Anpassung erfolgen muss, um den Veränderungen im Unternehmensumfeld zeitgerecht zu begegnen, aufgrund der wachsenden Komplexität größer wird.

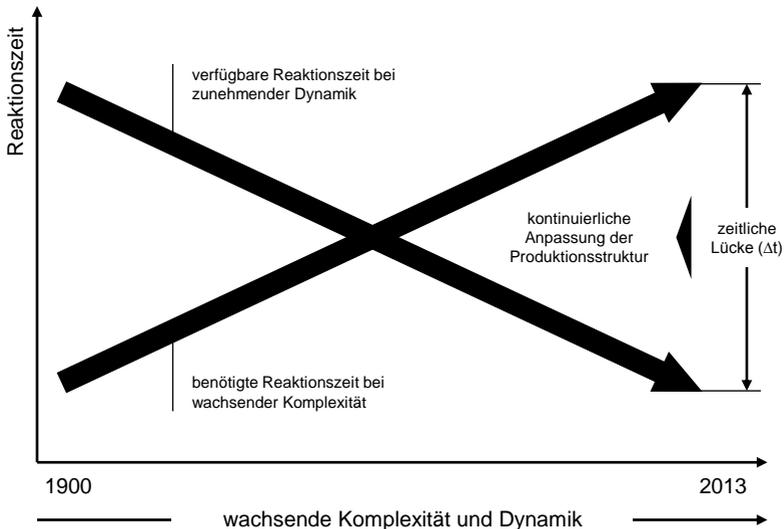


Abbildung 1: Exemplarische Darstellung der Zeitschere zwischen benötigter und verfügbarer Reaktionszeit für Anpassungen in der Produktion (in Anlehnung an BLEICHER (2004))

Die kontinuierliche Anpassung der Produktionsstruktur stellt eine Möglichkeit dar, die zeitliche Lücke zu verkleinern und die Produktion permanent am betriebswirtschaftlichen Optimum zu betreiben. Nach TOMPKINS (2003) sind durch die kontinuierliche Anpassung der Struktur an die sich verändernden Rahmenbedingungen Kosteneinsparungspotentiale von 10 - 30% möglich. Um Adaptionen der Produktionsstruktur in immer kürzeren Zeitabständen zu vollziehen, kommt der Handlungsgeschwindigkeit eine besondere Bedeutung zu (NAGEL & BÜSCHKEN 2003). Die Handlungsgeschwindigkeit gliedert sich in die Wahrnehmungs-, Aktions- und Wirkzeit, die es allesamt zu minimieren gilt (HOPFMANN 1989; JANSSEN 1997). Controllingkonzepte dienen zur Überwachung der Auswirkungen des Unternehmensumfelds sowie zur Reduzierung der Wahrnehmungszeit des Adaptionbedarfs (DOHMS 2001; HARMS 2004; CISEK 2005). Effizientes Projektmanagement führt zu Verbesserungen der Aktions- und Wirkzeit (GIDO & CLEMENTS 2008).

Ebenso wird Flexibilität<sup>3</sup> in der Produktion selbst als wichtiger Erfolgsfaktor für die kurz- und mittelfristige Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen betrachtet (KALUZA & BEHRENS 2005). Durch das Vorhalten von Flexibilität kann der Forderung nach Reaktionsschnelligkeit aufgrund der Turbulenz begegnet werden. Notwendige Adaptionen der Produktion, aufgrund unzureichender Flexibilität, können durch ihre wandlungsfähige<sup>4</sup> Gestaltung aufwandsarm realisiert werden (ELMARAGHY ET AL. 2013; PUTNIK ET AL. 2013). Flexibilität bzw. Wandlungsfähigkeit alleine reichen jedoch nicht aus, um die Turbulenz vollends zu beherrschen. Vielmehr müssen der Adaptionbedarf zeitgerecht antizipiert und die notwendigen Veränderungen in der Produktion zeitlich und wirtschaftlich aufeinander abgestimmt werden (ZAEH ET AL. 2010).

Die zeitliche Abstimmung der im Unternehmen durchzuführenden Adaptionen bietet die Möglichkeit, Produkt- und Prozessinnovationen zu fördern und somit die Wettbewerbsfähigkeit weiter zu steigern (SCHENK & WIRTH 2004; GRUNDIG 2008; GÜNTHER & TEMPELMEIER 2009). Dies kann sowohl durch die Synchronisation der Produkt-, Technologie- und Fabrikplanungsprozesse an sich (FIEBIG 2004; NYHUIS ET AL. 2010a, b) als auch durch die Harmonisierung der Produkt-, Technologie- und Betriebsmittellebenszyklen in der Produktion erfolgen (HÖFT 1992; SCHENK & WIRTH 2004; NIEMANN & WESTKÄMPER 2006; ZAEH ET AL. 2009; HERRMANN 2010). Eine Herausforderung bei der Harmonisierung ist die

---

<sup>3</sup> Die Flexibilität beschreibt die Fähigkeit eines Produktionssystems, sich innerhalb festgelegter Flexibilitätskorridore schnell und nur mit sehr geringem finanziellen Aufwand an geänderte Einflussfaktoren anzupassen (HEINEN ET AL. 2008).

<sup>4</sup> Wandlungsfähigkeit wird als Potential verstanden, auch jenseits der festgelegten Flexibilitätskorridore organisatorische und technische Veränderungen bei Bedarf reaktiv oder proaktiv durchführen zu können (ZÄH ET AL. 2005; HEINEN ET AL. 2008).

## 1 Einleitung

---

zunehmende Verkürzung der Produktlebenszyklen, die meist kürzer sind als die der Produktionsanlagen (SCHUH ET AL. 2004), und die daraus entstehende Dynamik. An der empirischen Evidenz der Verkürzung der Lebenszyklen wird nicht gezweifelt, in der Forschungsliteratur wird dieses Faktum jedoch nur sehr selten behandelt (FISCHER 2001; KINKEL 2005; GÜNTHER & TEMPELMEIER 2009).

Die zeitliche Abstimmung der Prozesse und Adaptionen hilft Unternehmen, Produktionsstrategien, die einen wesentlichen Anteil an der Durchsetzung von Unternehmensstrategien haben (HAYES & WHEELWRIGHT 1984; ZAHN 1994; WILDEMANN 1997; AKCA & ILAS 2005; WIENDAHL ET AL. 2009), zielgerichtet zu verfolgen (HÖFT 1992; ZAEH ET AL. 2009). So können Unternehmen durch eine zeitliche Abstimmung von Produkt-, Produktionstechnologie- und Betriebsmittel-Lebenszyklen beispielsweise Kostenvorteile bzw. Alleinstellungsmerkmale generieren, die zur Umsetzung der von PORTER (2008) als erfolgreich abgeleiteten Wettbewerbsstrategien (umfassenden Kostenführerschaft, Differenzierung, Konzentration auf Schwerpunkte) genutzt werden können. Grundvoraussetzung dafür sind eine Planung sowie Bewertung der notwendigen Adaptionen einer Produktion unter Berücksichtigung der Lebenszyklen und ihrer sich im Laufe der Zeit ändernden Parameter.

Im Rahmen der Adaption von Produktionen besitzen viele Entscheidungen mit strategischem Charakter eine zeitliche Tiefe und begrenzen somit die operative Dynamik (WESTKÄMPER 2006c; ALDINGER 2009). Daher fokussieren sich Unternehmen in der Produktion auf das operative Geschäft, wodurch eine Integration der Produktion in die Planung der Unternehmensstrategie nur sehr selten bis gar nicht erfolgt (WESTKÄMPER 2006b; HILL & HILL 2009). Die Notwendigkeit, die einzelnen Planungsprozesse sowie Produkt-, Technologie- und Betriebsmittel-Lebenszyklen abzustimmen ist den Unternehmen bewusst. Die zeitlichen Unterschiede der Lebenszyklen hinsichtlich Auftreten und Länge sowie deren Dynamik stellen jedoch Planer in der Praxis bei der ganzheitlichen Abstimmung von Adaptionen aufeinander vor große Herausforderungen (SCHENK & WIRTH 2004). Bislang gibt es nur systematische Ansätze und Methoden zur Synchronisation der Planungsprozesse. Zur Unterstützung der Harmonisierung von Produkt-, Technologie- und Betriebsmittel-Lebenszyklen, vor dem Hintergrund der Generierung von Wettbewerbsvorteilen, existieren bislang keine Werkzeuge sowie Methoden.

### 1.2 Zielsetzung der Arbeit

Ziel der vorliegende Arbeit ist die Unterstützung von Unternehmen bei der Adaption von Produktionsstrukturen durch die systematische Identifikation, Erstellung und Bewertung anfallender Produktionsstrukturadaptionen unter

---

## 1.3 Spezifizierung des Untersuchungsbereichs

Berücksichtigung von Lebenszyklen. Dabei sollen die sich über den Lebenszyklus ändernden Parameter sowie die Wechselwirkungen der einzelnen Lebenszyklen untereinander in den durchzuführenden Schritten berücksichtigt und integriert werden.

Aus den in Abschnitt 1.1 beschriebenen Herausforderungen ergibt sich die Aufgabe eine Methode zu entwickeln, die einerseits die Identifikation des turbulenz- und lebenszyklusbedingten Bedarfs für Adaptionen und der damit verbundenen Unsicherheiten ermöglicht und andererseits die durch die Adaptionen anfallenden Kostenaspekte mit den durch die Lebenszyklen beeinflussten Kosten koppelt. Um dies zu gewährleisten ergeben sich folgende Teilziele:

- Überwachung der Produktionsstruktur zur Identifikation des Adaptionbedarfs
- Erstellung möglicher Adaptionsszenarien der Produktionsstruktur
- Analyse und Bewertung von Adaptionsszenarien der Produktionsstruktur hinsichtlich monetärer Auswirkungen sowie auftretendem Risiko
- Integration von Produkt-, Technologie- und Betriebsmittellebenszyklen sowie der auftretenden Wechselwirkungen in die Überwachung der Produktionsstruktur, die Erstellung sowie Bewertung von Adaptionsszenarien

## 1.3 Spezifizierung des Untersuchungsbereichs

### 1.3.1 Begriffsdefinitionen

Für ein einheitliches Verständnis dieser Arbeit werden in diesem Abschnitt die Begriffe *Produktion*, *Produktionssystem*, *Produktionsstruktur*, *Produktionsstrukturadaption*, *Betriebsmittel*, *Technologie*, *Unsicherheit*, *Risiko* und *Zyklus* definiert.

Unter Produktion (von lat. *producere* = hervorbringen) wird der *„Einsatz und die Kombination von materiellen und immateriellen Gütern zur Herstellung und Verwertung anderer Güter“* (EVERSHEIM 1992, S. 2058 f.) verstanden. Die Produktion ist *„die Phase des betriebswirtschaftlichen Geschehens zwischen Beschaffung und Absatz“* (SCHWARZ 2007, S. 266).

Ein System ist eine Menge von Elementen mit Eigenschaften und Handlungsmöglichkeiten sowie eine Menge von Beziehungen (Relationen) zwischen diesen Elementen (ROPOHL 2009). Demnach ist ein Produktionssystem *„eine technisch, organisatorisch (und kostenrechnerisch) selbständige Allokation von Potential- und Mittelfaktoren zu Produktionszwecken“* (EVERSHEIM 1992, S. 2058). *„Es umfaßt alle Elemente und Relationen zwischen Elementen, die zur vollständigen*

## 1 Einleitung

---

*Erstellung eines Produktes erforderlich sind“* (SCHMIDT 2002, S. 20). Dazu gehören „*neben Elementen des technischen Herstellungsprozesses auch organisatorische Elemente zur Planung und Steuerung des Produktionsprozesses*“ (DOHMS 2001, S. 11).

Die Produktionsstruktur kann als die Struktur des Produktionssystems gedeutet werden und stellt einen Bestandteil bzw. ein Merkmal dessen dar. Man versteht darunter das Gefüge bzw. die Ordnung des Produktionssystems. Dies beinhaltet die Beschaffenheit der einzelnen Elemente sowie deren Anordnung (Relationen) und Vernetzungen innerhalb des Produktionssystems bzw. zueinander. Als Elemente der Produktionsstruktur werden hierbei die Infrastruktur, das Personal sowie die Betriebsmittel verstanden. Der Begriff Produktionsstrukturadaption wird somit im Rahmen der Arbeit als Veränderung bzw. Anpassung der Elemente hinsichtlich Anzahl, Beschaffenheit, Anordnung und Vernetzung definiert.

Betriebsmittel sind Elemente der Produktionsstruktur und werden als nutzbare Potentialfaktoren verstanden, die ihr Leistungspotential zeitbedingt, nutzungsbedingt oder beides sukzessiv über ihre Nutzungsdauer abgeben (ZEBOLD 1996). Betriebsmittel dienen der Anwendung von Technologien zur Herstellung wirtschaftlich verwertbarer Produkte. Unter dem Begriff Technologie wird im Rahmen dieser Arbeit die Kenntnis von natur- bzw. ingenieurwissenschaftlichen Wirkzusammenhängen verstanden, die als Lösungsprinzip für Anwenderprobleme dienen können (ZÄPFEL 2000).

Im Rahmen einer Bewertung können Informationen und Daten in sichere und unsichere unterschieden werden. Sichere Informationen erlauben sichere Aussagen über den zukünftigen Systemzustand. Unsichere Informationen sind im Gegensatz zu sicheren durch Informationsdefizite gekennzeichnet (BAMBERG & COENENBERG 2006) und führen zur Möglichkeit, dass mehrere unterschiedliche zukünftige Systemzustände erreicht werden können (KREBS 2012). Diese Unsicherheit resultiert aus Informationsdefiziten und steht in einem eindeutigen Wirkzusammenhang mit Risiko (KRATZHELER 1997). Unter Risiko werden alle Abweichungen von Einflussfaktoren oder Zielgrößen des produzierenden Unternehmens verstanden (BRAUN 1984; HÖLSCHER 2000; LÜCK ET AL. 2002), die aus der Unvorhersehbarkeit der Zukunft resultieren. Hierbei stellt eine negative Abweichung eine Gefahr dar, wohingegen eine positive Abweichung eine Chance für das Unternehmen bedeutet (GLEISSNER & MEIER 2001).

Unter dem Begriff Zyklus (von lat. *cyclus* = Kreis) wird ein periodisch ablaufendes Geschehen bzw. ein Kreislauf regelmäßig wiederkehrender gleichartiger, ähnlicher oder vergleichbarer Ereignisse oder Prozesse verstanden (WERMKE & KRAIF 2010). Zyklen werden durch ein Ereignis ausgelöst, weisen je nach Ausprägungsparameter ein bestimmtes Verlaufsmuster auf und durchlaufen

### 1.3 Spezifizierung des Untersuchungsbereichs

unterschiedliche Phasen, die sich in ihrer zeitlichen Länge unterscheiden können (HÖFT 1992; ZAEH ET AL. 2009) (vgl. Abbildung 2).

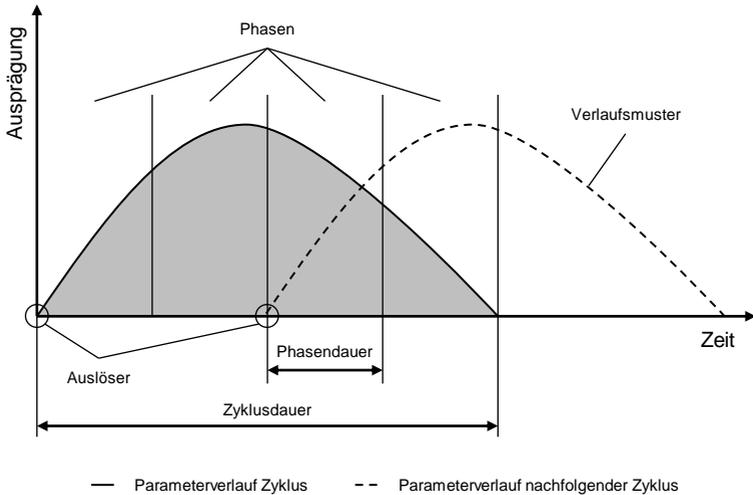


Abbildung 2: Exemplarische Darstellung eines Zyklusverlaufs (in Anlehnung an HÖFT (1992) und ZAEH ET AL. (2009))

#### 1.3.2 Eingrenzung des Untersuchungsbereichs

Eine Eingrenzung des Untersuchungsbereichs ergibt sich aus der hierarchischen Untergliederung der Betrachtungsebenen der Produktion (vgl. Abbildung 3). Die in der Arbeit entwickelte Methode bezieht sich auf die Ebenen Gebäude, Fertigungs- und Montagesysteme sowie Arbeitsplatz. Auf diesen drei Ebenen sind das Layout und die genauen technologischen Parameter der eingesetzten Betriebsmittel sowie mögliche Restriktionen aufgrund der Infrastruktur beschrieben.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der systematischen Identifikation, Erstellung und Bewertung mittelfristig anfallender Produktionsstrukturadaptionen und ist daher der unternehmerischen Disziplin der Fabrikplanung zuzuordnen. Die Methode kann in dem in der Richtlinie VDI 5200-1 (2011) definierten Planungsfall der Umplanung unterstützend eingesetzt werden.

Die Arbeit richtet sich an das Wohl der Menschheit und kann in der Fabrikplanung von Unternehmen eingesetzt werden, deren Prozesse und Produktionsstruktur aufgrund der sich ändernden Umfeldbedingungen regelmäßig angepasst

# 1 Einleitung

---

werden müssen. Vergleicht man die Einzelfertigung mit der Serienproduktion sowie der Massenproduktion ist bei den beiden erstgenannten meist eine mittlere bis hohe Produktkomplexität mit variierenden Nachfragen gegeben. Der Massenfertiger hingegen setzt aufgrund der notwendigen Investitionen eine relativ konstante Nachfrage mit Standarderzeugnissen voraus. Daraus lassen sich die Einzelfertigung sowie die Serienproduktion als Anwendungsgebiete der in dieser Arbeit beschriebenen Methode ableiten.

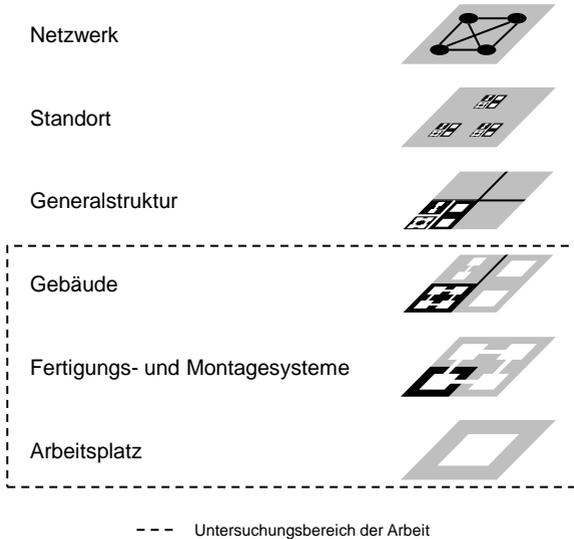


Abbildung 3: Hierarchische Betrachtungsebenen der Produktion (in Anlehnung an HENN & KÜHNLE (1999) und WIENDAHL (2005))

## 1.4 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich inklusive Einleitung und Zusammenfassung in 8 Kapitel. In den vorangegangenen Abschnitten wurden die Ausgangssituation und die sich daraus ergebende Zielsetzung beschrieben sowie der Untersuchungsbereich spezifiziert.

In Kapitel 2 werden die für das Verständnis der Methode notwendigen Grundlagen erläutert. Zuerst werden die Einflüsse auf Unternehmen und die Möglichkeit, diese systematisch zu erfassen und zu überwachen, beschrieben. Anschließend wird ein Überblick über Lebenszyklusmodelle sowie die Lebenszykluskostenrechnung gegeben.

In Kapitel 3 erfolgt vor dem Hintergrund der Problemstellung die Beschreibung des aktuellen Standes der Forschung und Erkenntnisse hinsichtlich Produkt-, Technologie- und Betriebsmittellebenszyklen sowie deren Wechselwirkungen. Des Weiteren werden bestehende Methoden und Ansätze zur Planung und Bewertung von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen diskutiert und hinsichtlich deren Nutzbarkeit für die Zielerfüllung der Arbeit analysiert.

In Kapitel 4 werden die sich aus der Problemstellung, den Grundlagen sowie dem Stand der Forschung und Erkenntnisse ergebenden Anforderungen an die entwickelte Methode abgeleitet. Hierbei werden die zur Identifikation, Erstellung und Bewertung von Produktionsstrukturadaptionen notwendigen Aspekte systematisch dargelegt.

In Kapitel 5 werden die für die Methode entwickelten bzw. verwendeten Modelle zur Abbildung der Produktionsstruktur, der Kostenstruktur und der Unsicherheiten sowie deren Zusammenspiel erläutert. Die Modelle verfolgen das Ziel, die Komplexität der für die Durchführung der Methode notwendigen Informationsmodellierung zu verringern und eine einfache Anwendung sicherzustellen.

In Kapitel 6 wird der Aufbau der Methode als auch die drei in der Methode durchzuführenden Schritte „Identifikation des Adaptionbedarfs“, „Erstellung von Adaptionsszenarien“ und „Bewertung der Adaptionsszenarien“ beschrieben. Der erste Schritt „Identifikation des Adaptionbedarfs“ beinhaltet das Vorgehen zur Identifikation des Bedarfs unternehmensumfeld- und lebenszyklusbedingter Adaptionen sowie das Modellierungsvorgehen der Lebenszyklen und Unsicherheiten und deren Integration in die Identifikation des Adaptionbedarfs. Im zweiten Schritt „Erstellung von Adaptionsszenarien“ werden Strukturmaßnahmen und mögliche Adaptionsszenarien, auf Basis der aus dem ersten Schritt erhaltenen Informationen abgeleitet. Eine systematische Analyse und Interpretation der Ergebnisse erfolgt im Schritt „Bewertung der Adaptionsszenarien“ und dient dem Unternehmen zur Entscheidungsfindung hinsichtlich des auszuwählenden Adaptionsszenarios.

In Kapitel 7 erfolgt die Anwendung und Bewertung der entwickelten Methode an einem Projektbeispiel aus der Industrie. Hierbei werden die drei Schritte der Methode nacheinander angewandt und die Ergebnisse dokumentiert. Für die Bewertung der Methode werden aus der Anwendung gewonnene Erfahrungen herangezogen sowie der für das Unternehmen angefallene Aufwand und Nutzen validiert. Die Überprüfung der Praxistauglichkeit steht im Mittelpunkt der Bewertung.

Kapitel 8 schließt mit einer Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse dieser Arbeit und beschreibt im Ausblick mögliche Weiterentwicklungen der Methode und zukünftige Forschungsfragen.



## **2 Grundlagen**

### **2.1 Inhalt des Kapitels**

Unternehmen müssen aufgrund des turbulenten Umfelds regelmäßig ihre Produktionsstruktur anpassen, um wirtschaftlich erfolgreich zu sein und wettbewerbsfähig zu bleiben. Ein Erfolgsfaktor hierfür stellt einerseits die zeitgerechte Identifikation des Adaptionsbedarfs und andererseits die zeitliche Abstimmung der Adaptionen unter Berücksichtigung der Produkt-, Technologie- und Betriebsmittellebenszyklen dar. Aus diesem Grund werden in Kapitel 2 die Einflüsse auf Unternehmen sowie deren systematische Erfassung (Abschnitt 2.2) und Überwachung (Abschnitt 2.3) als Grundlage für die zeitgerechte Identifikation des Adaptionsbedarfs beschrieben. Zur zeitlichen Abstimmung der Produktionsstrukturadaption unter Berücksichtigung von Lebenszyklen ist ein Verständnis bestehender Lebenszykluskonzepte sowie der Lebenszykluskostenrechnung notwendig, weshalb diese in Abschnitt 2.4 bzw. 2.5 erläutert werden.

### **2.2 Einflüsse auf Unternehmen und deren Erfassung**

Auf Unternehmen wirken eine Vielzahl von unterschiedlichen externen und internen Faktoren, die entweder auf das Unternehmen als Ganzes oder nur auf Teilbereiche wirken (KIRCHNER ET AL. 2003; NOFEN ET AL. 2005). So haben beispielsweise sich ändernde Fertigungstechnologien und Werkstoffe einen entscheidenden Einfluss auf die Gestaltung von Fabriken (ABELE ET AL. 2003; NOFEN ET AL. 2005). Alle diese Faktoren können sich überlagern sowie gegenseitig beeinflussen und haben ein turbulentes Umfeld zur Folge (CISEK ET AL. 2002). Laut HILDEBRAND ET AL. (2005) sind diese Faktoren durch ihre Art, ihre Intensität, ihre Auftrittswahrscheinlichkeit bzw. Häufigkeit und ihre Auftrittsdauer charakterisiert.

Die auf die Fabrik einwirkenden externen sowie internen Einflussfaktoren können in sogenannte Einflussbereiche und deren Lenkbarkeit klassifiziert sowie dem Fabrik-, Unternehmens- bzw. globalen Umfeld zugeordnet werden (vgl. Abbildung 4). Das Fabrikumfeld enthält ausschließlich lenkbare Faktoren, die sich vorwiegend an den typischen Unternehmensfunktionen orientieren und starken direkten Einfluss auf die Gestaltung der Fabrik haben. So fallen die Faktoren Produktarten und -größen beispielsweise in den Einflussbereich Absatzplanung. Die elf das Unternehmensumfeld beschreibenden Einflussbereiche sind nicht direkt beeinflussbar, wirken sich jedoch auf die Fabrik aus, wie der dem Einflussbereich Markt zuzuordnende Einflussfaktor Marktdynamik deutlich

## 2 Grundlagen

zeigt. Ebenfalls nicht lenkbar sind die sechs dem globalen Umfeld zugeschriebenen Einflussbereiche, zu denen zum Beispiel die Politik oder Technologien zählen. (HERNÁNDEZ MORALES 2003) Eine detaillierte Auflistung möglicher Einflussfaktoren sowie deren Zuordnung zu den einzelnen Einflussbereichen kann HERNÁNDEZ MORALES (2003) entnommen werden.



Abbildung 4: Einflussbereiche auf die Fabrik (HERNÁNDEZ MORALES 2003, S. 110)

Die große Anzahl an Einflussfaktoren auf Unternehmen und auf die Produktion bergen die Schwierigkeit, diese für die Planung fassbar zu machen (HERNÁNDEZ MORALES 2003; KIRCHNER ET AL. 2003; NOFEN ET AL. 2005). Um in einem solchen turbulenten Umfeld die richtigen Entscheidungen treffen zu können, ist es für Unternehmen daher essentiell, die beschriebenen Einflussfaktoren auf Unternehmen zu erkennen und systematisch zu erfassen (MÖLLER 2008). Eine Beschreibungsmöglichkeit bietet das sogenannte Rezeptormodell (vgl. Abbildung 5). Dieses basiert auf einer Analogie zur Biologie, die unter einem Rezeptor eine „Struktur im Organismus, die spezifische Reize zu empfangen vermag und eine darauf beruhende Folgereaktion vermittelt“ (REICHE 2003, S. 1595) versteht. Übertragen auf das Rezeptormodell wirken somit sämtliche interne sowie externe Einflüsse auf definierte Kanäle, sogenannte Rezeptoren,

## 2.2 Einflüsse auf Unternehmen und deren Erfassung

---

und werden durch diese wahrgenommen (CISEK ET AL. 2002; ZAEH ET AL. 2005; MÖLLER 2008; HEINEN ET AL. 2008). Welcher interne bzw. externe Reiz von welchem Rezeptor wahrgenommen wird, hängt von der Entscheidung einer strategischen Steuerungsebene ab (HEINEN ET AL. 2008). Nach MÖLLER (2008) werden Einflüsse auf das Unternehmen, abhängig von der strategischen Entscheidung der Steuerungsebene, durch einen oder mehrere der folgenden sechs Rezeptoren wahrgenommen:

- Produkt bzw. Produktvarianten: Dieser Rezeptor beschreibt die Produkte hinsichtlich ihrer Funktion, Masse, Größe oder Form.
- Stückzahl: Der Rezeptor Stückzahl erfasst die Menge der herzustellenden Produkte bzw. Produktvarianten.
- Zeit: Unter Zeit wird die maximal zulässige Dauer zwischen Bedarfsentstehung und -befriedigung verstanden.
- Kosten: Sämtliche Änderungen der Preise für Produktionsfaktoren werden über den Rezeptor Kosten wahrgenommen.
- Qualität: Der Rezeptor Qualität beschreibt die Güte der herzustellenden Produkte bzw. Produktvarianten.
- Technologie: Dieser Rezeptor umfasst die verfügbaren sowie strategisch oder gesetzlich zulässigen Ressourcen und Verfahren, die den Handlungsspielraum der Produktionsplanung beeinflussen.

Die Auswirkungen auf die Rezeptoren müssen beschrieben und interpretiert werden. „*Dies geschieht zumeist direkt durch die Unternehmensfunktionen, die die Schnittstellen zu den entsprechenden Märkten bilden*“ (MÖLLER 2008, S. 24). Die Unternehmensleitung übernimmt dann die langfristige Interpretation veränderter Rahmenbedingungen (WÖHE & DÖRING 2008). Veränderungen der einzelnen Rezeptoren können, müssen jedoch nicht zwangsweise, zu einer Adaption der Produktionsstruktur führen.

Aufgrund des Sensorcharakters können die Ausprägungen der Rezeptoren auch als Führungsgrößen einer Regelstrecke interpretiert werden, die eine Zielvorgabe für das Unternehmen und damit auch der Produktion bilden (CISEK ET AL. 2002; MÖLLER 2008). Bei Abweichungen der Leistungsfähigkeit der Produktion und den damit verbundenen Messgrößen von den Führungsgrößen muss durch geeignete Maßnahmen, sogenannte Stellgrößen, eine Anpassung des Produktionssystems bzw. der Produktionsstruktur erfolgen.

Durch das Rezeptormodell ist es möglich, die vielfältigen auf Unternehmen wirkenden Einflussfaktoren zu kanalisieren und zu beschreiben. Des Weiteren befähigt die Reduktion der Komplexität Unternehmen, Anpassungen zu antizipieren und deren Umsetzung zeitgerecht anzustoßen. Die Interpretation der Rezeptoren als Führungsgrößen ermöglicht auch die Integration des Modells in

## 2 Grundlagen

existierende Controllingkonzepte für die Produktion (CISEK ET AL. 2002; MÖLLER 2008), die einen wesentlichen Beitrag zur Befähigung von Unternehmen liefern, deren Produktionsstruktur zeitgerecht anzupassen.

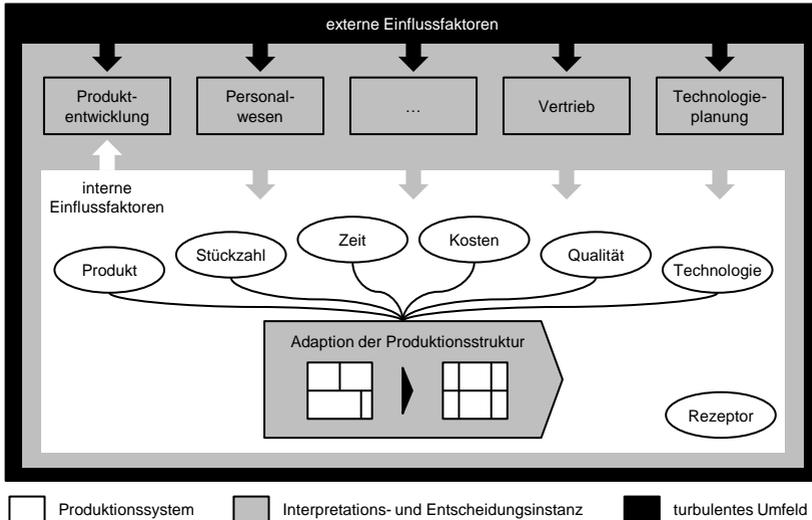


Abbildung 5: Rezeptormodell (in Anlehnung an MÖLLER (2008))

### 2.3 Produktions-Controlling

#### 2.3.1 Allgemeines

Eine einheitliche Definition des Begriffs Controlling ist schwer möglich, da in der Theorie und Praxis der Begriff mit unterschiedlichen Auffassungen verbunden ist, was vorwiegend etymologische Gründe hat (ESCHENBACH & NIEDERMAYER 1996a; HORVÁTH 2009). Allgemein kann Controlling als ein unternehmensweites zukunftsorientiertes Konzept mit dem Ziel verstanden werden, „Entscheidungsträger des Unternehmens so zu unterstützen, dass sie in der Lage sind, solche Entscheidungen zu treffen, die den Erfolg des Unternehmens am Markt erarbeiten, sichern und ausbauen helfen“ (FISCHER 2009, S. 4). Es dient sowohl zur Erreichung des langfristig strategischen Ziels, der nachhaltigen Sicherung der Unternehmensexistenz bzw. Lebensfähigkeit, als auch der kurzfristigen Ziele, wie beispielsweise Liquidität (GÜNTHER & NIEPEL 2000). Zur Sicherung der Lebensfähigkeit müssen Unternehmen folgende Führungsziele verfolgen (ESCHENBACH & NIEDERMAYER 1996b):

- Sicherung der Antizipations- und Adaptionfähigkeit
- Sicherung der Reaktionsfähigkeit
- Sicherung der Koordinationsfähigkeit

Um diese Ziele zu erreichen, lassen sich sechs Funktionen des Controllings definieren (vgl. Tabelle 1). Diese spiegeln neben der Aufgabe der Informationsversorgung (Reporting, Analysen) auch die Zukunftsorientierung (Planung, Prognosen) des Controllings wider. Des Weiteren hat das Controlling die Aufgabe die passenden Prozesse und Werkzeuge zur Verfügung zu stellen, damit die zur Erarbeitung der Handlungsempfehlungen benötigte Zeit verringert wird. (FISCHER 2009)

<b>Funktion</b>	<b>Funktionsaufgabe</b>
<b>Planung</b>	zukünftige Erfolgsgrößen, Ressourcen und Aktivitäten planen und Vorgaben für zukünftiges Handeln setzen
<b>Analysen ex-post/ex-ante</b>	vergangene, gegenwärtige und zukünftige Ergebnisse, Zusammenhänge oder Vorgänge analysieren
<b>Reporting</b>	Informationen zur Verfügung stellen
<b>Prognosen</b>	Vorhersagen auf Basis bestehender Informationen treffen
<b>Handlungsempfehlungen</b>	basierend auf Analysen Alternativen entwickeln und Empfehlungen geben
<b>Instrumente &amp; Systeme</b>	leistungsfähige Planungs-, Analyse- und Reporting-Tools zur Verfügung stellen

*Tabelle 1: Funktionen des Controllings (FISCHER 2009, S. 5)*

Das Produktions-Controlling überwacht, wie sich Veränderungen im Produktionsbereich auf die Ziele des Unternehmens auswirken und initiiert bei negativer Ausprägung Gegensteuerungsmaßnahmen, nimmt jedoch keinen Einfluss auf die Entscheidungen hinsichtlich der Ausstattung, dem Produktionsprogramm oder den Produktionsprozessen. Diese Entscheidungen obliegen in der Regel der Produktionsleitung, die sich, je nach Notwendigkeit, mit der Absatzplanung, dem Kosten- und Erfolgs-Controlling sowie dem Finanz- und Investitions-Controlling abstimmt. (REICHMANN 2001)

Neben der reinen Wirtschaftlichkeitskontrolle hat das Produktions-Controlling auch die Aufgabe, planungsunterstützend und koordinierend zu wirken (REICHMANN 2001; STAHL 2006; FISCHER 2009; HORVÁTH 2009; BUCHHOLZ 2009). Folgende Aufgaben lassen sich ableiten:

## 2 Grundlagen

---

- Überwachung der Rentabilität des in der Produktion gebundenen Kapitals (WILDEMANN 2002).
- Überwachung von Anlageninvestitionen zur Sicherstellung der Flexibilität von Betriebsmitteln, um eine Adaptionfähigkeit hinsichtlich des sich kontinuierlich ändernden Unternehmensumfelds zu gewährleisten (REICHMANN 2001).
- Überwachung der Kapazitätsauslastung mit dem Zweck, einen hohen Nutzkostenanteil<sup>5</sup> zu erreichen (REICHMANN 2001; WILDEMANN 2002; STAHL 2006).
- Überwachung der Ausschussproduktion (REICHMANN 2001; STAHL 2006).
- Information und Motivation der Mitarbeiter durch Kommunikation des Grads der Zielerreichung (GIENKE 2006).
- Identifikation von Verbesserungspotentialen im Produktionsablauf (GIENKE 2006).
- Koordination von Zielen und Maßnahmen zur Erreichung der Produktionsziele (BUCHHOLZ 2009).

### 2.3.2 Kennzahlensysteme für die Produktion

Kennzahlen sind ein zentrales Element des Produktions-Controllings (GIENKE 2006). Sie zählen zu den wichtigsten Hilfsmitteln der Unternehmensführung, da sie relevante Informationen und Zusammenhänge über einen Sachverhalt in verdichteter, quantitativ messbarer Form wiedergeben (BRECHT 2005; HORVÁTH 2009). Nach MALUCHE (1979) können Kennzahlen in Absolut- und Verhältniszahlen gegliedert werden. Einzelzahlen, Summen, Differenzen oder Mittelwerte sind den Absolutzahlen zuzuordnen, wohingegen die Verhältniszahlen in Gliederungs-, Beziehungs- und Indexzahlen unterteilt werden. Sämtliche Kennzahlen dienen zur Unternehmens- bzw. Produktionsanalyse und ermöglichen Ursachen und Wirkungen von Vorgängen als kausalen Zusammenhang zu erkennen und zu bewerten sowie die eigene Situation im Vergleich zu anderen Unternehmen zu sehen (PREISSLER 2007). Somit können Kennzahlen zur Identifikation von Schwachstellen in der Produktion und zur Einleitung von Verbesserungsprozessen dienen (SIEGWART ET AL. 2010).

Zur Gewährleistung einer ausgewogenen und konzentrierten Information sowie der Ausrichtung auf einen gemeinsamen übergeordneten Sachverhalt müssen

---

<sup>5</sup> Nutzkosten sind der Teil der Fixkosten, der durch die Leistungserstellung verursacht wird (STEGER 2010).

Kennzahlen zu einem Kennzahlensystem zusammengefasst werden (LACHNIT & MÜLLER 2006). „*Ein Kennzahlensystem ist eine sachlogische oder rechen-technische Kombination einzelner Kennzahlen*“ (BRECHT 2004, S. 134) und dient der strukturierten Aufbereitung von Informationen für die Planung und Kontrolle der einzelnen Unternehmensbereiche wie zum Beispiel der Produktion (HORVÁTH 2009). „*Die Zusammenstellung der Kennzahlen muss entscheidungsorientiert erfolgen, wobei die Auswahl der Zahlen und die Strukturierung des Zahlenwerks sich im Einzelnen nach dem Zweck richten, dem das System dienen soll*“ (LACHNIT & MÜLLER 2006, S. 263).

LACHNIT (1976) unterscheidet zwischen Analyse- und Steuerungskennzahlensystemen. Ersteres entsteht „*durch schrittweise Zerlegung eines Ausgangssachverhalts in seine Elemente*“ (HORVÁTH 2009, S. 509). Bei Zweiterem wird die sachspezifische Aufspaltung durch die stellenspezifische Aufspaltung der Unternehmensziele unterstützt. Zielwerte und erlaubte Zielabweichungen stellen Vorgabewerte dar (HORVÁTH 2009). Des Weiteren können nach LACHNIT (2004) Kennzahlensysteme folgende vier Ausprägungen aufweisen:

- Mathematisch strukturiertes Kennzahlensystem: Die Ableitung der Kennzahlen erfolgt mittels Rechenoptionen aus den über- bzw. untergeordneten Kennzahlen.
- Heuristisch strukturiertes Kennzahlensystem: Die Kennzahlen werden aus subjektiver Sicht eines Analytikers bzw. Controllers für einen Sachverhalt zusammengestellt.
- Heuristisch-mathematisch kombinierte Kennzahlensysteme: Die Ableitung der Kennzahlen stellt eine Kombination der in den beiden zuvor genannten Vorgehensweisen dar.
- Empirisch-statistisch strukturierte Kennzahlensysteme: Die Ableitung der Kennzahlen erfolgt auf Basis empirischer Untersuchungen, die statistisch belegt wurden. Die Auswahl der Kennzahlen erfolgt somit objektiv.

Folgend sind exemplarisch Kennzahlen aufgelistet, die als Basis für Kennzahlensysteme in der Produktion dienen können (GIENKE 2006):

- Herstellkosten
- Durchlaufzeit von Aufträgen
- Terminverzug nach Auftrag
- Lagerumschlagshäufigkeit
- Betriebsmittelverfügbarkeit
- Ausschussdaten
- Werkzeugstandzeiten

## 2 Grundlagen

---

- Auslastung der Arbeitsplätze
- Flächenbedarf
- Materialverfügbarkeit
- Rüstzeiten
- Instandhaltungskosten

Kennzahlensysteme für die Identifikation des Adaptionbedarfs von Produktionsstrukturen müssen so gestaltet sein, dass sie die Leistung und Effizienz der Produktionsstruktur überwachen. Ziel ist die Sicherstellung der Erfüllung der vom Kunden wahrnehmbaren und auch geforderten Marktleistungen wie Liefertreue, -zeit, Kosten und Qualität (LOEPER 1995). Der Liefertreue kommt laut COOK (1996) die wichtigste Bedeutung zu, noch vor den Aspekten Qualität und Kosten. Um dies zu gewährleisten, ist zwischen strukturelevanten und ablauforientierten Kennzahlen zu unterscheiden. Ablauforientierte Kennzahlen, wie zum Beispiel der Materialbestand, werden vorwiegend durch die angewandten Steuerungsstrategien und nur im geringen Maße durch die Produktionsstruktur bestimmt. Strukturelevante Kennzahlen hingegen sind durch die Eigenschaft gekennzeichnet, Aussagen über die Eignung einer Produktionsstruktur treffen zu können (CISEK 2005). Unter der Eignung kann die Erfüllung der Zielvorgaben hinsichtlich der Kundenzufriedenheit, für die Lieferzeit-, Kosten- und Qualitätsaspekte entscheidend sind (LOEPER 1995), und der Rentabilität der Produktion verstanden werden.

### 2.4 Zykluskonzepte

#### 2.4.1 Allgemeines

Lebensphasen- und Lebenszykluskonzepte bilden die Grundlage für eine zyklenorientierte Produktionsplanung und Bewertung. Lebenszyklen technischer Systeme können mit Systemen aus der Biologie verglichen werden (STRATMANN 2001). Einerseits durchlaufen die Zyklen unterschiedliche Phasen und andererseits ändern sich bestimmte Parameter über die Zeit (HERRMANN 2010). „*Lebensphasen- und Lebenszykluskonzepte zielen darauf ab, den Zeitbezug von Vorgängen darzustellen und anhand des Verlaufs relevanter Zustandsgrößen charakteristische Bereiche (Phasen, Hauptphasen, Subphasen) zu identifizieren*“ (HERRMANN 2010, S. 63). „*Die Grundidee besteht in der Erklärung eines dynamischen Phänomens durch die systematische Kombination von Phasen, wobei diese verbal, grafisch und/oder mathematisch beschrieben werden können*“ (FISCHER 2001, S. 14). Nach HERRMANN (2010) kann zwischen Lebensphasen-, Lebenszyklus- und integrierten Lebenszykluskonzepten unterschieden werden.

### 2.4.2 Lebensphasenkonzepte

Lebensphasenkonzepte sind flussorientierte Konzepte mit sequentiellem Charakter, die stoffliche und energetische Zusammenhänge, jedoch nicht den Verlauf bzw. die Dynamik von einzelnen Parametern, über die Zeit darstellen. In der Regel orientieren sich die einzelnen Sequenzen an dem zeitlich logischen Lebensweg von Produkten. Die zeitliche Abfolge kann in Phasen untergliedert werden. Zudem kann zwischen linearen und kreislaufförmigen Konzepten unterschieden werden. (HERRMANN 2010) Hierzu wird beispielhaft auf die Produktlebensphasenkonzepte von SENTI (1994), STRATMANN (2001) und LEBER (1995) verwiesen.

### 2.4.3 Lebenszykluskonzepte

Lebenszykluskonzepte stellen die Dynamik von Systemen dar und bilden den Verlauf von sich über die Zeit ändernden Parametern ab. Diese Parameter können qualitativer bzw. quantitativer Art sein. Das System kann systemtheoretisch als funktionales System (Black Box) mit Eingangs- (Inputs) und Ausgangsgrößen (Outputs) beschrieben werden. So lassen sich beispielsweise biologische, physikalische, technische oder soziotechnische Systeme abbilden. Beispielhaft sei hier der Umsatzverlauf von Unternehmen oder der Verschleiß eines Produkts über die Zeit genannt (vgl. Abbildung 6). (HERRMANN 2010)

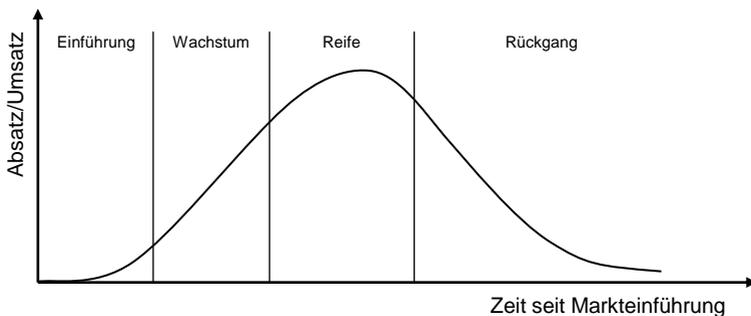


Abbildung 6: Klassisches Produktlebenszykluskonzept (in Anlehnung an HÖFT (1992))

Oftmals weisen die betrachtenden Parameter einen zyklischen Verlauf auf, sodass charakteristische Phasen definiert werden können (HERRMANN 2010). Als Beispiel sei das klassische Produktlebenszykluskonzept genannt, das die Absatz- bzw. Umsatzentwicklung über die Zeit darstellt und dem Verlauf die

## 2 Grundlagen

charakteristischen Phasen Einführung, Wachstum, Reife und Rückgang zuteilt. Dieses klassische Produktlebenszykluskonzept berücksichtigt jedoch nur die Marktphasen, weshalb in den 70er-Jahren von PFEIFFER & BISCHOF (1974) das integrierte Produktlebenszykluskonzept entwickelt wurde.

### 2.4.4 Integrierte Lebenszykluskonzepte

Integrierte Lebenszykluskonzepte stellen eine Verknüpfung der zuvor beschriebenen Lebensphasen- sowie Lebenszykluskonzepte dar. Die Erweiterung um vor- und nachgelagerte Aktivitäten führt zu einer integrierten Betrachtung (PFEIFFER & BISCHOF 1974; MATEIKA 2005; SCHILD 2005). So werden im Falle des Produktlebenszyklus die einzelnen Phasen der Produktentwicklung, die erhebliche Auswirkungen auf die Lebenszykluskosten haben, und der Entsorgung mitberücksichtigt (vgl. Abbildung 7).

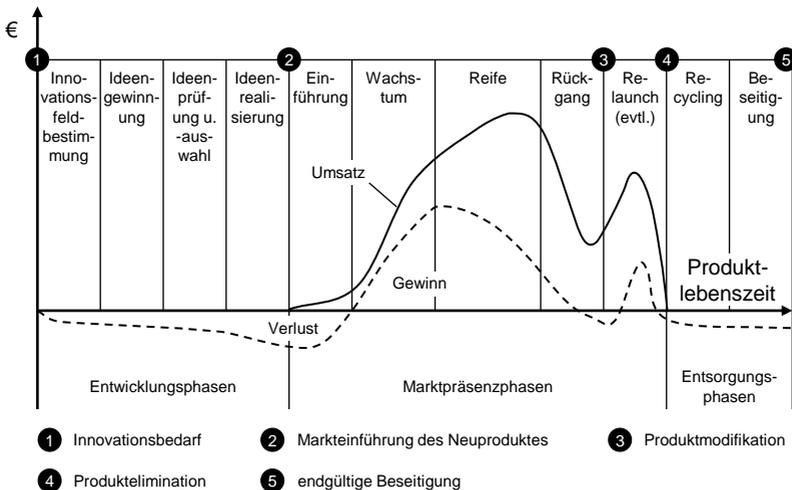
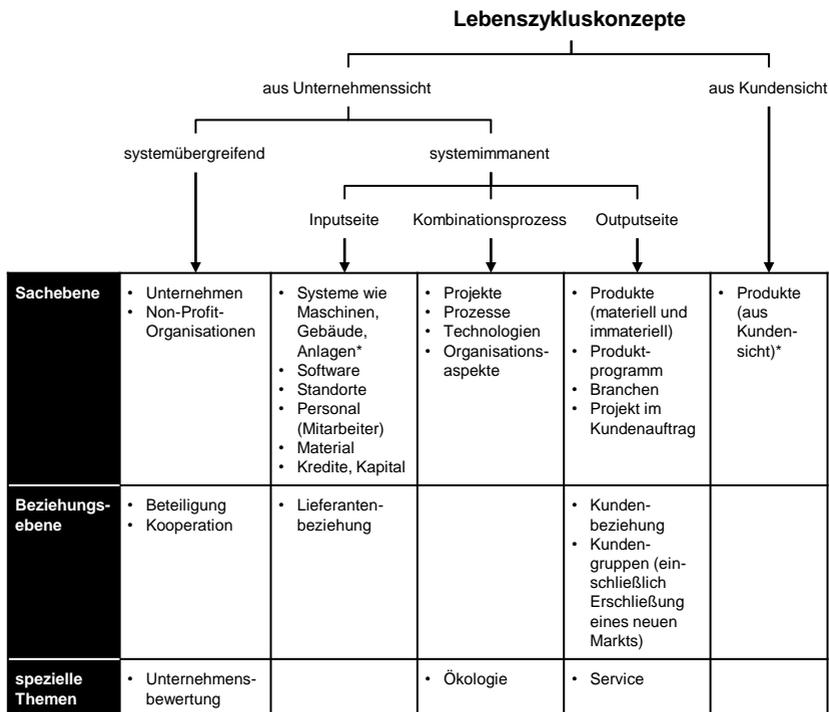


Abbildung 7: Integriertes Produktlebenszykluskonzept (in Anlehnung an FRITZ & OELSCHNITZ (2006))

Integrierte Lebenszykluskonzepte lassen sich auf verschiedenartige Bezugs- bzw. Betrachtungsobjekte, wie zum Beispiel Technologien, Unternehmen, Betriebsmittel, Branchen, Services, usw., anwenden, wodurch diese in unterschiedlichen unternehmerischen Funktionsbereichen wie dem Rechnungswesen oder der strategischen Planung zum Einsatz kommen (SCHILD 2005). „Die Gemeinsamkeiten

der verschiedenen Anwendungsgebiete beschränken sich auf die zeitliche Strukturierung des zugrundeliegenden Objekts über mehrere Perioden hinweg, ..., und die Erfassung bestimmter quantitativer und qualitativer Größen ... . Wesentliche Unterschiede können jedoch im Umfang, der Benennung und Strukturierung der Phasen bestehen“ (SCHILD 2005, S. 156).

Eine Systematisierung der Lebenszykluskonzepte hinsichtlich Bezugs- bzw. Betrachtungsobjekt nimmt SCHILD (2005) vor (vgl. Abbildung 8). Er unterscheidet zwischen Unternehmens- und Kundensicht und erweitert diese um die Gliederungsaspekte Sach-, Beziehungsebene und spezielle Themen. Lebenszykluskonzepte auf der Sachebene beschreiben materielle oder immaterielle Gegenstände bzw. Vorgänge, wohingegen Konzepte zur Abbildung von Geschäftsbeziehungen der Beziehungsebene zugeordnet werden. Sämtliche andere Lebenszykluskonzepte werden unter spezielle Themen eingegliedert.



\* identische Lebenszykluskonzepte

Abbildung 8: Systematisierung der Lebenszykluskonzepte (SCHILD 2005, S. 157)

### 2.5 Lebenszykluskostenrechnung

Die in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Lebenszykluskonzepte bilden die konzeptionelle und strukturelle Basis für die Lebenszykluskostenrechnung (ZEBBOLD 1996; SCHILD 2005). Grundidee ist die Optimierung aller über den Lebenszyklus eines Produkts bzw. Systems anfallenden Kosten und Erlöse sowie der damit verbundenen Prozesse und Erfolgsfaktoren wie Zeit und Qualität (SCHILD 2005; VDI 2884 2005). Zusätzlich werden bei dieser mehrperiodigen Ergebnisrechnung Interdependenzen zwischen verschiedenen Phasen berücksichtigt (ZEBBOLD 1996; SCHILD 2005; GEISSDÖRFER 2009). Der Lebenszykluskostenrechnung kommt dadurch eine „zentrale Aufgabe innerhalb der Instrumente des lebenszyklusorientierten Produktmanagements und -controllings zu“ (SCHILD 2005, S. 179). Sie ist ein „Instrument des Kostenmanagements und weniger auf Entscheidungen als vielmehr auf kontinuierliche Gestaltung der Erfolgsgrößen ausgelegt“ (SCHILD 2005, S. 100).

Wie in Tabelle 2 dargestellt, kann die Lebenszykluskostenrechnung von der Kosten- und Investitionsrechnung durch den Rechnungsgegenstand, die Fristigkeit, die Abbildung von Veränderungen, die zeitliche Strukturierung, das Einsatzintervall sowie den primären Einsatzzweck abgegrenzt werden (SCHILD 2005).

Trotz geringer Verbreitung der Lebenszykluskostenrechnung, was auf die fehlende Kompatibilität mit dem bestehenden Rechnungswesen zurückzuführen ist, gibt es eine Reihe an Argumenten, die das Potential untermauern, den Einsatz rechtfertigen und Informationsdefizite der traditionellen Kostenrechnung aufzeigen (SCHILD 2005). Hierbei sind folgende Punkte zu nennen:

- Frühzeitige Informationen über die resultierende Kostenfestlegung: Der Zusammenhang zwischen Kostenfestlegung und -anfall (70 - 95% der Kosten sind zum Produktionsstart bereits festgelegt) bedarf einer frühzeitigen und zukunftsorientierten Kostenfestlegung (PFOHL & WÜBBENHORST 1983; ZEBBOLD 1996). Dafür ist funktionales und methodisches Wissen zur Verfügung zu stellen, das mit wenig Informationen angemessene Prognosen ermöglicht (WÜBBENHORST 1986).
- Orientierung an Produkt- bzw. Systemprojekten: Die Lebenszykluskostenrechnung berücksichtigt Kosten und Erlöse eines Projekts und stellt, im Gegensatz zu traditionellen Kostenrechnungsmethoden, den Gesamterfolg einer mehrere Perioden und alle Lebenszyklusphasen umfassenden Projektergebnisrechnung in den Vordergrund, wodurch der Langfristigkeit und Lebenszyklusorientierung Rechnung getragen wird (SIEGWART & SENTI 1995; KEMMINER 1999).

- Berücksichtigung aller Kosten und Erlöse im Lebenszyklus: Die Zahlungsstruktur von Produkt- bzw. Systemprojekten entspricht der einer Investition, weshalb die Amortisation der Projekte von großem Interesse ist. Aus diesem Grund werden alle mit dem Projekt verbundenen Kosten sowie Erlöse in die Lebenszykluskostenrechnung einbezogen (MÜLLER 1993). Neben den Anschaffungs- und geplanten Betriebskosten werden somit auch ungeplante Betriebs-, Folge- und Optimierungskosten mit berücksichtigt (WÜBBENHORST 1986).
- Berücksichtigung von Erfahrungskurveneffekten: Das Erfahrungskurvenkonzept spiegelt die Beziehung zwischen Stückkosten und kumulierter Produkt- bzw. Prozess Erfahrung wider, die als Entwicklungsphänomen in kurzfristigen Rechnungen nicht in einem solchen Ausmaß auffällt. Dieser Effekt tritt nicht automatisch ein. Voraussetzung dafür ist die Notwendigkeit, Kostensenkungspotentiale zu erkennen und zu nutzen. Erfahrungskurveneffekte können in dynamische (Lerneffekte, technischer Fortschritt, Rationalisierung) und statische Skaleneffekte (Fixkostendegression, Betriebsgrößeneffekte) unterschieden werden (ZEHBOLD 1996; PFOHL 2002).
- Zwang zur umfassenden Planung: Im Gegensatz zu traditionellen Kostenrechnungen kann die Lebenszykluskostenrechnung nicht auf historischen Daten mit pauschalen Korrekturen beruhen (BACK-HOCK 1992). Vielmehr muss die erwartete Dynamik des Projekts explizit erfasst und offengelegt werden (WÜBBENHORST 1984; SIEGWART & SENTI 1995). Somit werden die beteiligten Funktionsbereiche eines Unternehmens frühzeitig gezwungen, die zu erwartenden monetären Auswirkungen auf das Projekt über den gesamten Zeitraum, unter Berücksichtigung der Unsicherheiten, zu quantifizieren (RIEZLER 1996). Dies wiederum schafft die Grundlage für weitere Entscheidungen (SCHILD 2005).
- Optimierung phasenbezogener Interdependenzen: Die Lebenszykluskostenrechnung erlaubt die Optimierung des Gesamterfolgs eines Projekts mittels aktiver Gestaltung der Gesamtkosten unter Berücksichtigung der phasenbezogenen Interdependenzen. So können beispielsweise durch kostenwirksame Veränderungen in vorgelagerten Phasen Folgekosten in nachgelagerten Phasen gezielt reduziert werden (BACK-HOCK 1988).

Die Bewertung der zu betrachtenden alternativen Produkt- oder Systemprojekte erfolgt in erster Linie durch den Vergleich der über den Lebenszyklus anfallenden Kosten und Erlöse. Dazu kann auf Standardverfahren der Investitionsrechnung zurückgegriffen werden (VDI 2884 2005). Gebräuchliche Verfahren mit einer Anwendungsrate von über 85% in Unternehmen sind Discounted-Cash-Flow-Verfahren (DCF-Verfahren) (PIKE 1991; PETRY & SPROW 1993). Dazu zählen

## 2 Grundlagen

die Kapitalwert-, Annuitäten-, Interne-Zinsatz- sowie Amortisationsdauer- methode (MÖLLER 2008).

Kriterium	Kostenrechnung	Investitions- rechnung	Lebenszyklus- kostenrechnung
Rechnungs- gegenstand	Vielzahl von Projekten (Querschnitt)	einzelnes Investitions- projekt	umfassendes Produkt- bzw. Systemprojekt. Konglomerat aus materiellen und immateriellen Investitionsobjekten
Fristigkeit	kurzfristig orientiert, verbunden mit der Annahme gegebener Strukturen	langfristig orientiert, verbunden mit der Bindung von Potentialen	langfristig mit Schnittstellen zur kurzfristigen Rechnung, verbunden mit der Gestaltung von Strukturen
Abbildung von Veränderungen	statisch-simultan	dynamisch	dynamisch
zeitliche Strukturierung	periodenorientiert	Nutzungsdauer ohne explizite zeitliche Gliederung	lebenszyklusorientiert
Einsatzintervall	periodisch	einmalig mit Sonderrechnungsstatus	periodisch und nach Bedarf im Projektverlauf
primärer Rechnungs- zweck	Fundierung kurzfristiger Entscheidungen	Fundierung von (strategischen) Investitions- entscheidungen	Gestaltung eines Produkt- bzw. Systemprojekts über seinen Lebenszyklus

Tabelle 2: Abgrenzung der Lebenszykluskostenrechnung gegenüber der Kosten- und Investitionsrechnung (SCHILD 2005, S. 99)

Der Kapitalwert (engl. = Net Present Value (*NPV*)) wird aus der Summe der auf die Gegenwart abgezinsten Zahlungsströme *CF* (Cash-Flows), dem sogenannten Barwert (engl. = Present Value), zuzüglich der Auszahlungen für die Investition berechnet (WÖHE & DÖRING 2008). Der Kalkulationszins *i* spiegelt die Opportunitätskosten<sup>6</sup> der Investition wider, da das eingesetzte Kapital nicht in ein alternatives Projekt investiert wird. Bei Integration von Unsicherheiten werden Erwartungswerte *E* der Zahlungsströme verwendet (COPELAND & ANTIKAROV 2001), wodurch sich für die Berechnung die folgende Formel ergibt:

<sup>6</sup> Unter Opportunitätskosten wird der „monetäre Nutzenentgang für die nächstbeste, nicht gewählte Alternative“ verstanden (OSSADNIK 2008, S. 25).

$$NPV = I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{E(CF_t)}{(1+i)^t} \quad (2.1)$$

$NPV$	Kapitalwert (Net Present Value)
$I_0$	Investitionszahlung in $t=0$
$E$	Erwartungswert
$CF_t$	Investitionsbedingte Zahlungsströme (Cash-Flows) in Periode $t$
$i$	Kalkulationszins
$T$	Lebensdauer der Investition bzw. Betrachtungszeitraum

Da sich die weiteren DCF-Verfahren aus der Kapitalwertmethode ableiten lassen (OSTEN-SACKEN 1999), wird zur weiterführenden Erläuterung auf die Literatur verwiesen (KRUSCHWITZ 2000; GÖTZE 2006).

### 2.6 Zusammenfassung des Kapitels

In diesem Kapitel sind die Einflussfaktoren auf Unternehmen beschrieben worden. Zur systematischen Erfassung dieser Faktoren wurde das Rezeptormodell vorgestellt, das sämtliche Einflüsse mit Hilfe der Rezeptoren Produkt, Stückzahl, Zeit, Kosten, Qualität und Technologie kanalisiert und für die Praxis anwendbar macht (vgl. Abschnitt 2.2). Zur Identifikation von Adaptionen der Produktionsstruktur bedarf es eines Produktionsstruktur-Controllings. Aus diesem Grund wurde in Abschnitt 2.3 die Idee des Controllings näher erläutert und der Transfer auf die Produktion geschaffen. Die Zeitpunkte für das auftreten eines Adaptionbedarfs sowie der monetäre Aufwand für die Realisierung einer Adaption sind unter anderem von der Ausgestaltung der Produktion hinsichtlich Flexibilität bzw. Wandlungsfähigkeit abhängig. Die Möglichkeiten zur aufwandsarmen Anpassung der Produktion stehen in dieser Arbeit nicht im Mittelpunkt, weshalb diese nicht detaillierter beschrieben wurden. Durch den Anspruch, Lebenszyklen in die Bewertung zu integrieren wurden in Abschnitt 2.4 bestehende Zykluskonzepte beschrieben, auf denen die in der Arbeit berücksichtigten Lebenszyklen basieren. Das in der Arbeit verwendete Kostenmodell baut auf der Lebenszykluskostenrechnung auf, weshalb in Abschnitt 2.5 eine Abgrenzung zur Kosten- und Investitionsrechnung sowie eine Ausführung über die Potentiale erfolgte.



## 3 Stand der Forschung und Erkenntnisse

### 3.1 Inhalt des Kapitels

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die theoretischen Grundlagen für diese Arbeit beschrieben. In diesem Kapitel erfolgt nun die Analyse des Forschungsstandes bezüglich produktionsstrukturelevanter Lebenszyklusmodelle (Abschnitt 3.2). Des Weiteren werden bestehende relevante Ansätze zur Erfüllung der Zielsetzung dieser Arbeit auf deren Nutzbarkeit untersucht.

### 3.2 Produktionsstrukturelevante Lebenszyklen

#### 3.2.1 Allgemeines

Der Lebenszyklus von Fabriken wurde von SCHMENNER (1983), NANDKEOLYAR ET AL. (1993), WESTKÄMPER ET AL. (2006a) und POLITZE ET AL. (2010) betrachtet und dient Unternehmen, die Nutzung von Fabriken langfristig zu bewerten (HÖFT 1992). Er wird durch Produkt- und Produktionsprozesslebenszyklen<sup>7</sup> bestimmt und erfordert die permanente Anpassung der Produktionsstruktur sowie die Harmonisierung der Lebenszyklen (SCHENK & WIRTH 2004). Produktionsstrukturadaptionen und die damit verbundene Veränderung bzw. Anpassung der Infrastruktur, des Personals bzw. der Betriebsmittel hinsichtlich Anzahl, Beschaffenheit, Anordnung und Vernetzung sind auf Veränderungen der Rezeptoren zurückzuführen (REINHART & POHL 2010) (vgl. Abschnitt 2.2). Aus diesem Grund werden in den folgenden Abschnitten die Lebenszyklen von Produkten, Technologien und Betriebsmitteln aus Unternehmenssicht (vgl. Abschnitt 2.4.4) näher erläutert. Auf eine Betrachtung von Infrastruktur- sowie Personallebenszyklen wird aus folgenden Gründen verzichtet. Einerseits sind laut Normen und Richtlinien aus dem Bereich des Bauwesens, die maximalen Zeiträume zum Austausch einzelner Infrastrukturkomponenten meist länger als die Lebenszyklen von Produkten und Betriebsmitteln (HAPM PUBLICATIONS LTD. 1992; ISO 15686 2011) und andererseits haben im Rahmen der Arbeit durchgeführte Experteninterviews ergeben, dass sowohl die Infrastruktur als auch das Personal in der Praxis unterstützende Elemente zur Aufgabenerfüllung

---

<sup>7</sup> Der Produktionsprozess setzt sich aus technologischen und logistischen Teilprozessen zusammen, die unter Nutzung bestimmter Betriebsmittel zur Herstellung der gewünschten Menge und Qualität von Produkten zu gewünschten Fertigstellungszeitpunkten und Herstellkosten dienen (SCHENK & WIRTH 2004).

### 3 Stand der Forschung und Erkenntnisse

---

darstellen und keine Adaptionen auslösen. Es gilt jedoch Veränderungen dieser Elemente zu überwachen und bei geplanten Adaptionen zu berücksichtigen.

#### 3.2.2 Produktlebenszyklus

Das Modell des Produktlebenszyklus, welches auf DEAN (1950) zurückgeht, zählt zu den ältesten Zyklusmodellen in der Betriebswirtschaftslehre und findet in sämtlichen unternehmerischen Funktionsbereichen als Instrument der Entscheidungsunterstützung Verwendung (FISCHER 2001). Der klassische Produktlebenszyklus beschreibt den Verlauf des Umsatzes bzw. Absatzes eines Produkts am Markt über die Zeit. Der Lebenszyklus wird in die Phasen Einführung, Wachstums, Reife und Rückgang unterteilt (HÖFT 1992) (vgl. Abbildung 6). Aufgrund der bereits erwähnten Einflüsse vor- bzw. nachgelagerter Aktivitäten auf die Ausprägung des Lebenszyklus, erweitert der integrierte Produktlebenszyklus die Marktpräsenzphasen um die Phasen der Produktentwicklung und Entsorgung (BULLINGER 1994) (vgl. Abbildung 7).

Der Produktlebenszyklus kann verschiedene Arten von Ausprägungen aufweisen. Nach HÖFT (1992) können diese beispielsweise durch Stückzahl, Kosten, Umsatz, Gewinn, Deckungsbeitrag oder Anzahl der Derivate quantifiziert werden. Das Verlaufsmuster der Ausprägung kann ebenfalls unterschiedliche Formen annehmen. RINK & SWAN (1979) fassen die Ergebnisse empirischer Untersuchungen aus den 60er-Jahren in einer Typologie von Produktlebenszyklen zusammen (vgl. Abschnitt A.1). Diese Typologie spiegelt idealtypische Verläufe wider. Konkrete Verlaufsmuster können jedoch sowohl in der Theorie als auch in der Praxis vom idealtypischen Verlauf abweichen. So kann der klassische Verlauf Charakteristika eines beschleunigten Zyklus bis hin zu einem verlangsamteten Zyklus mit spätem Erfolg aufweisen (EASINGWOOD 1988) (vgl. Abbildung 9).

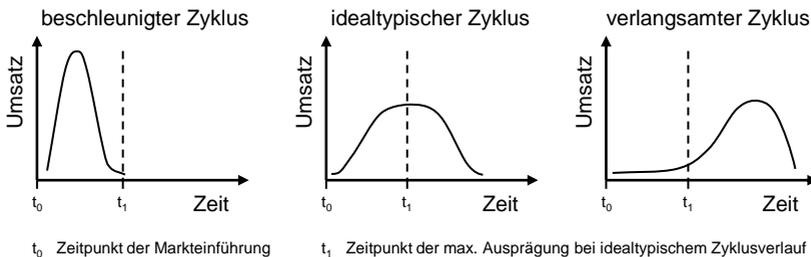


Abbildung 9: Exemplarische Abweichungen vom idealtypischen Verlauf eines klassischen Produktlebenszyklus (in Anlehnung an EASINGWOOD (1988))

### 3.2 Produktionsstrukturelevante Lebenszyklen

Wie bereits beschrieben, durchläuft das Produkt im Laufe der Zeit unterschiedliche Phasen. Die Abgrenzung der einzelnen Phasen kann einerseits durch eine grafische Analyse und andererseits durch formale Kriterien, wie beispielsweise Veränderungen von Wachstumsraten, erfolgen. Beide Ansätze zur Abgrenzung der einzelnen Phasen haben jedoch Schwächen. Für die grafischen Analysen gibt es keine transparenten und überprüfbaren Kriterien, sodass die Identifikation und Abgrenzung der Phasen willkürlich passiert. Die Festlegung formaler Kriterien schafft dahingehend Transparenz, jedoch erfolgt die Bestimmung dieser Kriterien sowie möglicher Grenzwerte, wie sie im Ansatz von POLLI & COOK (1969) beschrieben werden, ebenfalls willkürlich und ist daher, vor allem für die Phasen in denen sich das Produkt am Markt befindet, nur bedingt als Abgrenzungsansatz geeignet. (FISCHER 2001)

Auch wenn keine allgemeingültige Definition für die Abgrenzung existiert, können jeder Phase typische Eigenschaften bzw. Indikatoren für Funktionsbereiche<sup>8</sup> im Unternehmen zugeordnet werden. Die phasenbezogenen Ausprägungen für die Produktion können Tabelle 3 entnommen werden.

Phase	Merkmale der Produktion
Einführung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überkapazität</li> <li>• kleine Serien</li> <li>• hoher Anteil an qualifizierten Arbeitskräften</li> <li>• hohe Produktionskosten</li> <li>• instabile Produktionsprozesse</li> </ul>
Wachstum	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mangel an Kapazität</li> <li>• Wechsel zu Massenproduktion</li> </ul>
Reife	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geringe Überkapazität</li> <li>• optimale Losgröße</li> <li>• höhere Stabilität der Produktionsprozesse</li> <li>• Rückgang der Variantenvielfalt</li> </ul>
Rückgang	<ul style="list-style-type: none"> <li>• große Überkapazität</li> <li>• Massenproduktion</li> </ul>

Tabelle 3: Merkmale der Produktion über die einzelnen Phasen des Produktlebenszyklus (in Anlehnung an PORTER (2008))

<sup>8</sup> Unter einem Funktionsbereich versteht man aus betriebswirtschaftlicher Sicht, die Zusammenfassung gleichartiger Verrichtungen wie zum Beispiel die Beschaffung, die Lagerhaltung, die Produktion oder das Marketing (SCHNECK 2011).

#### 3.2.3 Technologielebenszyklus

Ähnlich zum Produkt bestehen auch Lebenszykluskonzepte für Produkt- und Produktionstechnologien (HÖFT 1992). Hierbei wird die dynamische Veränderung der Technologie über die Zeit widergespiegelt (BULLINGER ET AL. 2009). FORD & RYAN (1981) gliedern den Technologielebenszyklus in die sechs Phasen Technologieentstehung, Entwicklung zur Anwendungsreife, Technologieerstanwendung, wachsende Technologieanwendung, Technologiereife und Technologierückgang. Die sich über die Zeit ändernde Ausprägung ist der Ausbreitungsgrad sowie das physikalische Limit der Leistungsfähigkeit einer Technologie (HÖFT 1992) (vgl. Abbildung 10).

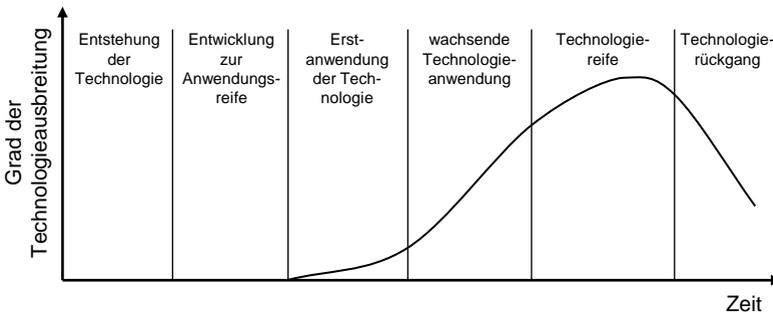


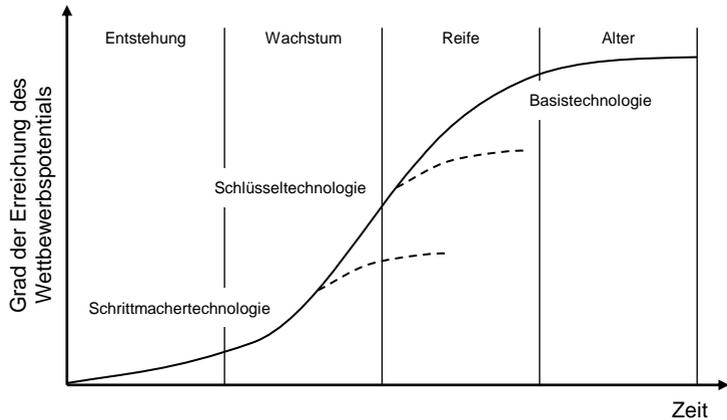
Abbildung 10: Technologielebenszyklus (in Anlehnung an FORD & RYAN (1981))

SOMMERLATTE & DESCHAMPS (1986) hingegen unterteilen den Technologielebenszyklus in die Phasen Entstehung, Wachstum, Reife und Alter (vgl. Abbildung 11). Als Ausprägung des Lebenszyklus wird das Wettbewerbspotential, sprich die möglichen Auswirkungen auf die Wettbewerbsposition des Unternehmens, herangezogen. Die Abgrenzung der einzelnen Phasen erfolgt nach qualitativen und quantitativen Indikatoren wie beispielsweise Investitionen in die Technologieentwicklung, Typ der Entwicklungsanforderungen, Zahl der Patentanmeldungen, Einsatz- und Anwendungsmöglichkeiten der Technologie, Unsicherheit der technischen Leistungsfähigkeit, Verfügbarkeit der Technologie und Zugangsbarrieren. (SOMMERLATTE & DESCHAMPS 1986)

Neue Produktionstechnologien, die sich noch im Entwicklungsstadium befinden, sind in der Entstehungsphase angesiedelt. Aufgrund des Potentials, die Wettbewerbssituation in einem Markt durch Vorteile in der Produktion, wie Erhöhung der Flexibilität oder mögliche Kosteneinsparungen, ändern zu können, werden diese auch als Schrittmachertechnologien bezeichnet. Da sich Schrittmachertechnologien im Anfangsstadium befinden, sind diese durch ein hohes

### 3.2 Produktionsstrukturelevante Lebenszyklen

Entwicklungspotential, aber auch durch hohe technische Risiken gekennzeichnet. (SOMMERLATTE & DESCHAMPS 1986; BULLINGER ET AL. 2009)



Indikatoren der Lebenszyklusphasen

Investition in Technologieentwicklung	niedrig	maximal	niedrig	vernachlässigbar
Typ der Entwicklungsanforderungen	wissenschaftlich	anwendungsorientiert	anwendungsorientiert	kostenorientiert
Zahl der Patentanmeldungen	zunehmend	hoch	abnehmend	—
Einsatz- u. Anwendungsmöglichkeiten der Technologie	unbekannt	groß	etabliert	abnehmend
Unsicherheit der techn. Leistungsfähigkeit	hoch	mittel	niedrig	sehr niedrig
Verfügbarkeit	sehr beschränkt	Restrukturierung	marktorientiert	hoch
Zugangsbarrrieren	wissenschaftliche Fähigkeit	Personal	Lizenz	Know-how

Abbildung 11: Technologielebenszyklus inklusive Indikatoren zur Phasenbestimmung (in Anlehnung an SOMMERLATTE & DESCHAMPS (1986))

### 3 Stand der Forschung und Erkenntnisse

---

In der Wachstumsphase, die nach der Entstehungsphase folgt, steigt der Grad des erreichten Wettbewerbspotentials sehr steil an und verlangsamt sich erst bei Eintritt in die Reifephase deutlich. Zu diesem Zeitpunkt haben die Technologien einen gewissen Bekanntheitsgrad erreicht und prägen den Wettbewerb, sodass sie als Schlüsseltechnologien bezeichnet werden. (SOMMERLATTE & DESCHAMPS 1986) *„Unternehmen, die auf Schrittmachertechnologien setzen, die sich in den folgenden Phasen als Schlüsseltechnologien erweisen, erzielen häufig einen signifikanten Wettbewerbsvorsprung“* (BULLINGER ET AL. 2009, S. 129).

Mit dem Übergang in die Reifephase nehmen die Technologien den Status der Basistechnologien ein, deren Wettbewerbspotential mit dem Erreichen der Altersphase vollständig erschöpft ist (MEYER 2000). Technologien haben in dieser Phase hinsichtlich des Wettbewerbspotentials eine Grenze erreicht, an der auch mit entsprechendem Forschungs- und Entwicklungsaufwand keine nennenswerten Leistungssteigerungen mehr erreicht werden können. *„Basistechnologien schließlich bilden die grundlegende Voraussetzung für die Produkt- und Produktionsprozesse einer Branche“* (BULLINGER ET AL. 2009, S. 129). Die Einordnung einer Technologie als Schlüssel- oder Basistechnologie hängt stark von der die Technologie benutzenden Branche ab. So kann ein und dieselbe Technologie in einer Branche eine Schlüsseltechnologie darstellen, wohingegen diese in einer anderen Branche bereits als Basistechnologie betrachtet wird. (SOMMERLATTE & DESCHAMPS 1986)

Die einzelnen Phasen des Technologielebenszyklus müssen nicht zwingend durchlaufen werden, da es durch mangelnde Wettbewerbsfähigkeit bzw. -bedeutung sowohl zur Aufgabe einer Technologie als auch Verdrängung durch leistungsfähigere Technologien kommen kann (SOMMERLATTE & DESCHAMPS 1986; MEYER 2000). Diese Tatsache berücksichtigt KRUBASIK (1982) mit dem Substitutionspotentialkonzept (S-Kurven-Konzept), das die Leistungsfähigkeit (Kosten-Nutzen-Verhältnis) einer Technologie über den kumulierten Forschungs- und Entwicklungsaufwand darstellt (vgl. Abbildung 12). Die Leistungsfähigkeit ist von der Lebenszyklusphase, in der sich die Technologie befindet, abhängig und wird durch die technologischen Weiterentwicklungspotentiale der Technologie begrenzt (KRUBASIK 1982).

Das S-Kurven-Konzept basiert auf der Erkenntnis, dass der Forschungs- und Entwicklungsaufwand im Laufe eines Technologielebenszyklus einen charakteristischen Wandel durchmacht, sofern die Technologie alle Phasen durchläuft (BULLINGER 1994). Durch die Substitution einer Technologie kann gegebenenfalls die Leistung bei gleichbleibendem Forschungs- und Entwicklungsaufwand gesteigert werden. In der Regel ergibt sich durch den Sprung auf eine neue Technologie ein höheres Weiterentwicklungspotential bei steigenden Forschungs- und Entwicklungsaufwänden (FIEBIG 2004).

## 3.2 Produktionsstrukturelevante Lebenszyklen

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Lebenszyklusmodelle für Produktionstechnologien weisen einen starken qualitativen Charakter auf, dienen dem Technologiemanagement eines Unternehmens jedoch als wichtiges Sensibilisierungsinstrument für die Bewertung möglicher Chancen und Gefahren beim Einsatz einzelner Technologien (BULLINGER 1994). Analog zum Produktlebenszyklus ist beim Technologielebenszyklus die rein qualitative Abgrenzung der Phasen zu bemängeln (HÖFT 1992).

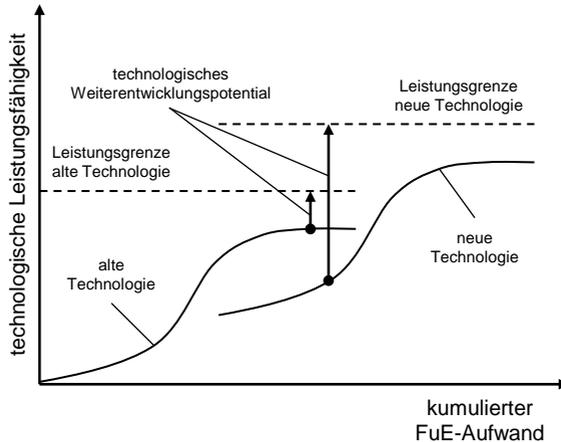


Abbildung 12: S-Kurven-Konzept (in Anlehnung an KRUBASIK (1982))

### 3.2.4 Betriebsmittellebenszyklus

Der Betriebsmittellebenszyklus beschreibt die Verweilzeit eines Betriebsmittels im Unternehmen und ist somit identisch mit dem Produktlebenszyklus aus Kundensicht (ZEBOLD 1996; SCHILD 2005; SCHRÖDER 2010) (vgl. Abschnitt 2.4.4). Der Lebenszyklus kann in die Phase vor der Nutzung, die Phase der Nutzung und die Phase nach der Nutzung untergliedert werden (ZEBOLD 1996; VDI 2884 2005; STEVEN 2007; NEBL 2009). Zur Beschreibung der Ausprägung über die Phasen werden in der Praxis häufig die anfallenden Kosten und Erlöse (vgl. Abbildung 13), die Ausfallrate, der Abnutzungsgrad und die Anlageneffektivität verwendet, wobei die drei letzteren nur in der Nutzungsphase auftreten (MATEIKA 2005; NEBL 2009; HERRMANN 2010).

Die anfallenden Kosten und Erlöse dienen der Lebenszykluskostenrechnung, die vor allem zur strukturierten Entscheidungsfindung im Anlagenmanagement verwendet wird (STEVEN 2007). Dazu gilt es, die Aktivitäten in den einzelnen Phasen zu kennen und mit Kosten zu hinterlegen. In die Phase vor

### 3 Stand der Forschung und Erkenntnisse

der Nutzung fallen beispielsweise die Aktivitäten Projektierung, Beschaffung und Installation des Betriebsmittels. In der Phase der Nutzung finden neben dem Einsatz des Betriebsmittels auch noch Instandhaltungsmaßnahmen<sup>9</sup> zum Erhalt des Leistungspotentials statt. So können Betriebsmittel über mehrere Produktlebenszyklen hinweg genutzt oder aufgrund sich ändernder Anforderungen modifiziert werden, um die Nutzungsdauer zu verlängern (MÜLLER ET AL. 2009). Die Phase nach der Nutzung beschäftigt sich mit der Ausmusterung und Entsorgung des Betriebsmittels. Zur Ausmusterung kann es aufgrund technischer oder wirtschaftlicher Gründe kommen. Beispiele hierfür sind technischer Fortschritt, zu hohe Kosten oder fehlende sinnvolle Nutzung im Unternehmen.

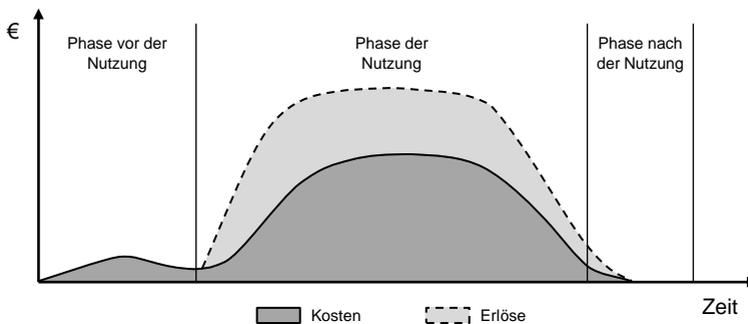


Abbildung 13: Betriebsmittellebenszyklus (in Anlehnung an MATEIKA (2005))

Die in den einzelnen Phasen anfallenden Betriebsmittelkosten können nach deren Häufigkeit und deren Verhalten bei Veränderungen der Auslastung bzw. Nutzung klassifiziert werden (vgl. Abbildung 14). So sind die in der Phase vor und nach der Nutzung des Betriebsmittels anfallenden Kosten, wie zum Beispiel die Bedarfsermittlung oder die Entsorgung, meistens den einmaligen Kosten zuzurechnen. Kosten, die hingegen in der Phase der Nutzung anfallen, wie zum Beispiel Personal-, Werkzeug- oder Instandhaltungskosten, treten regelmäßig auf und können sowohl einen fixen als auch variablen Charakter aufweisen. (DIN EN 60300-3-3 2005)

Die variablen Kosten für den Betrieb können sich proportional oder progressiv verhalten. Proportionale Aufwendungen sind beispielsweise Energie- und Hilfsstoffkosten oder Aufwendungen für die kontinuierliche Wartung. Progressive, sprich mit der Nutzungsdauer wachsende Aufwendungen, sind zum Beispiel

<sup>9</sup> Die Instandhaltung unterteilt sich in die Grundmaßnahmen Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung (DIN 31051 2012).

### 3.2 Produktionsstrukturelevante Lebenszyklen

Instandsetzungsmaßnahmen infolge von Ermüdungs- oder Verschleißausfällen. (SCHLOTTMANN & SCHNEGAS 2002)

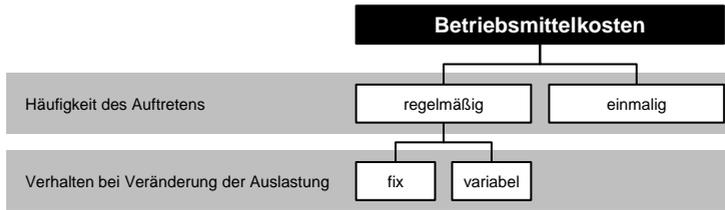


Abbildung 14: Klassifizierung der anfallenden Betriebsmittelkosten (in Anlehnung an DIN EN 60300-3-3 (2005))

Abbildung 15 zeigt eine exemplarische Auflistung möglicher in den einzelnen Lebenszyklusphasen auftretender Kosten. Da eine detaillierte Auflistung aufgrund der Vielzahl an möglichen Kosten nicht sinnvoll erscheint, wird an dieser Stelle auf Auflistungen in der Literatur verwiesen (ZEHBOLD (1996); DIN EN 60300-3-3 (2005); VDI 2884 (2005); MATEIKA (2005)).

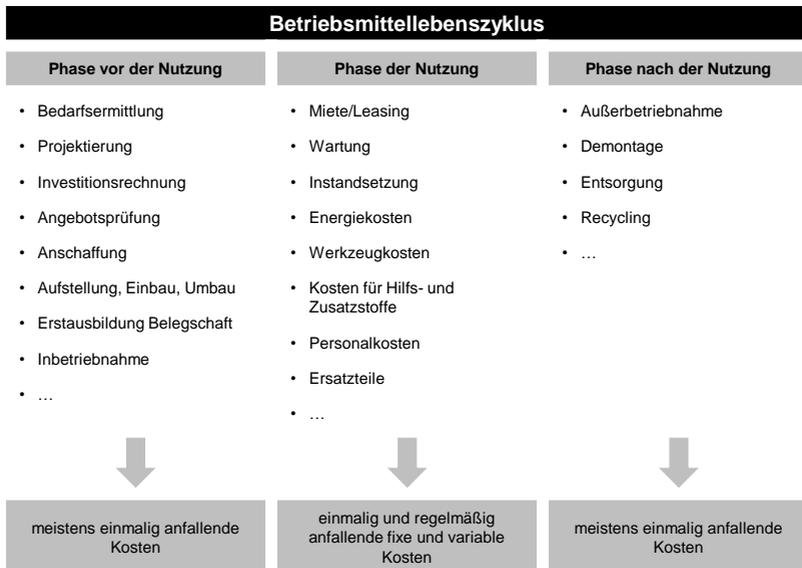


Abbildung 15: Exemplarische Auflistung anfallender Kosten pro Phase des Betriebsmittellebenszyklus (in Anlehnung an VDI 2884 (2005))

### 3 Stand der Forschung und Erkenntnisse

---

An dieser Stelle sei erwähnt, dass Betriebsmittel einen wesentlichen Einfluss auf die Produktionszeit, -kosten und -qualität haben (KIRSTEIN 1992; BEHRENBEC 1994; SCHRÖDER 2010) und somit die Nutzungsdauer des Betriebsmittels sowie die anfallenden Kosten stark von den strategischen Zielen eines Unternehmens abhängen (PRÜSS & DIEHL 2009). In diesem Zusammenhang spielen mögliche Instandhaltungsstrategien eine wichtige Rolle, da diese einerseits die Verfügbarkeit der Betriebsmittel sicherstellen und andererseits die über den Lebenszyklus anfallenden Kosten stark beeinflussen (HERRMANN 2010; SCHRÖDER 2010).

Ebenso hat die Ausfallrate maßgeblichen Einfluss auf die Verfügbarkeit von Betriebsmitteln. Diese beschreibt charakteristische Phasen über die Lebensdauer eines Betriebsmittels durch die sogenannte „Badewannenkurve“ (MATYAS 2008) (vgl. Abbildung 16). Grundlage dafür ist die Annahme, dass es während der frühen Betriebsphase zu einer Häufung von Ausfällen aufgrund von mangelhafter Prozesssicherung, Fertigungsfehlern, Bedienungsfehlern, usw. kommt. Nach Beseitigung dieser zeigt sich meist eine mehrjährige Nutzungsphase mit konstanter Ausfallrate. Diese Ausfälle werden auch als zufällig auftretende Ausfälle bezeichnet. Nach Überschreitung der durchschnittlichen Lebensdauer treten dann im verstärkten Maße Alterungs- und Verschleißausfälle auf. (SIHN & SPECHT 1999; ZINNIKER 2007) Der tatsächliche Verlauf der Ausfallrate kann bei komplexen Anlagen teilweise von der klassischen Badewannenkurve abweichen (MATYAS 2008).

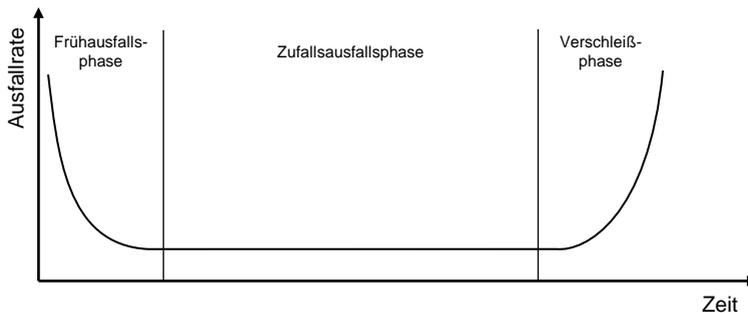


Abbildung 16: Exemplarische Darstellung einer Badewannenkurve über den Betriebsmittellebenszyklus (in Anlehnung an MATYAS (2008))

#### 3.2.5 Zusammenhang der produktionsstrukturelevanten Lebenszyklen

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die Lebenszyklen, die für die Produktionsstruktur von Bedeutung sind, vorgestellt. Jedoch können diese nicht

### 3.2 Produktionsstrukturelevante Lebenszyklen

getrennt voneinander betrachtet werden, da zwischen ihnen Wechselwirkungen existieren (HÖFT 1992).

Zyklen einer Systemebene können in Zyklen einer höheren Systemebene eingebettet sein, wie beispielsweise Betriebsmittellebenszyklen in den Technologielebenszyklus (ANSOFF & MACDONNELL 1990; SCHENK & WIRTH 2004). ANSOFF & MACDONNELL (1990) beschreiben in diesem Kontext die Zusammenhänge von Nachfragezyklen<sup>10</sup>, Produkttechnologie- und Produktlebenszyklen (vgl. Abbildung 17).

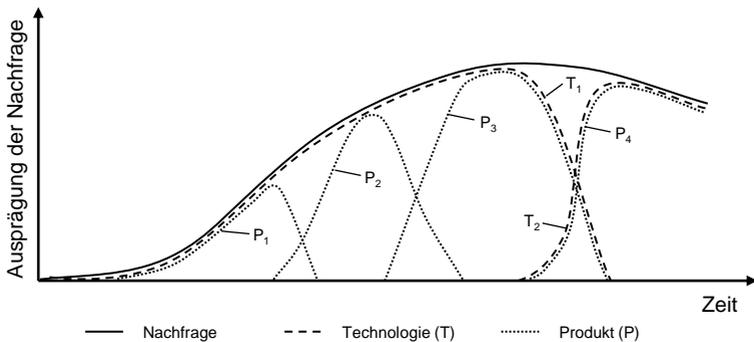


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen Nachfragezyklus, Technologie- und Produktlebenszyklus (in Anlehnung an ANSOFF & MACDONNELL (1990))

Grundlage für die Befriedigung der Nachfrage ist die Existenz von Produkttechnologien, die den Rahmen für die Herstellung der dazu notwendigen Produkte bilden. Übertragen auf die Produktion bedeutet dies, dass die Nachfrage ein produktionstechnisches Bedürfnis darstellt, wie zum Beispiel das Verbinden einer bestimmten Menge von zwei Blechbauteilen. Durch eine bestimmte Technologie, wie beispielsweise dem Nieten, und ein dementsprechendes Betriebsmittel, dem Produkt, kann diese befriedigt werden. Während eines Technologielebenszyklus können in der Regel, aufgrund der Weiterentwicklungen von Betriebsmitteln, mehrere Produktlebenszyklen differenziert werden. Im Laufe des Nachfragezyklus können auch mehrere Technologielebenszyklen existieren. So kann auf die Technologie Nieten das Schweißen folgen und darauf die Technologie Kleben.

<sup>10</sup> Unter Nachfragezyklus wird die Zeitspanne verstanden, in der gewisse Produkte bzw. Leistungen nachgefragt und gekauft werden (BISCHOF 1976).

### 3 Stand der Forschung und Erkenntnisse

Des Weiteren besteht eine Verknüpfung zwischen dem Einsatz von Produktionstechnologien sowie den zu erzielenden Stückkosten in der Produktion (vgl. Abbildung 18). Durch den Übergang von einer Technologie auf eine leistungsfähigere kann aufgrund der technischen Potentiale eine Veränderung des Kostenniveaus bzw. der Kostenstruktur und damit langfristig eine Senkung der Stückkosten erfolgen (HARTMANN 2008) (vgl. Abschnitt 3.2.3).

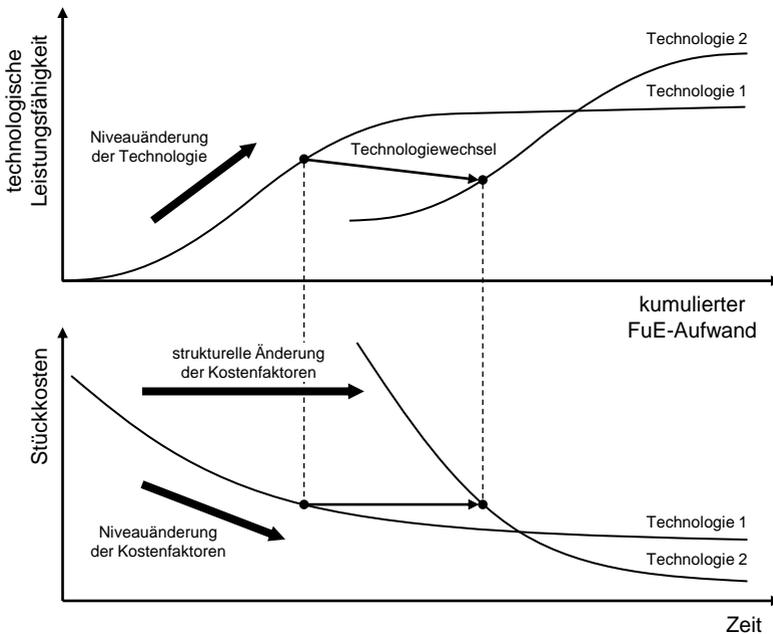


Abbildung 18: Auswirkungen von Produktionstechnologiewechsel auf die Stückkosten (in Anlehnung an HARTMANN (2008))

Des Weiteren bestehen über sämtliche Phasen des Produktlebenszyklus hinweg Beziehungszusammenhänge zum Betriebsmittellebenszyklus (vgl. Abbildung 19). Die Produktentwicklung erfolgt in enger Abstimmung mit der Bedarfschätzung, Planung und Inbetriebnahme der Betriebsmittel, um die zur rechtzeitigen und wirtschaftlichen Herstellung von Produkten mit einer bestimmten Qualität benötigten Technologien, Kapazitäten und Verfügbarkeiten sicherzustellen (HAYES & WHEELWRIGHT 1979; ZEBOLD 1996; MEYER 2000; UHL 2002; LABUSCHAGNE & BRENT 2005; BEHNCKE ET AL. 2011).

In diesem Zusammenhang sei auf die Instandhaltung von Betriebsmitteln hingewiesen, die einen entscheidenden Einfluss auf die Kosten, die produzierte

### 3.3 Ansätze zur Optimierung und Bewertung

Qualität und die Verfügbarkeit von Betriebsmitteln hat (SCHRÖDER 2010) und somit indirekt den Verlauf des Produktlebenszyklus beeinflusst.

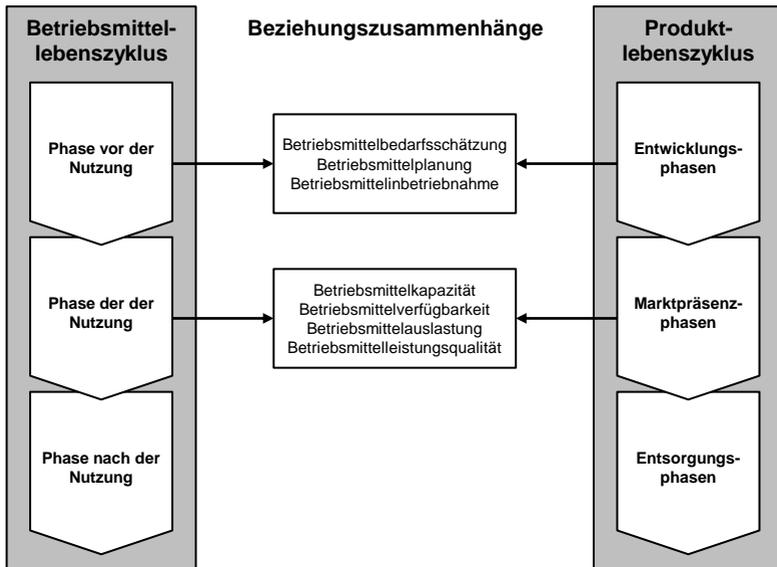


Abbildung 19: Beziehungszusammenhänge zwischen Betriebsmittel- und Produktlebenszyklus (in Anlehnung an ZEBOLD (1996))

### 3.3 Ansätze zur lebenszyklusorientierten Optimierung und Bewertung von Planungsalternativen

In diesem Abschnitt werden Ansätze zur Bewertung von Planungsalternativen mit Bezug zur Produktionsstrukturplanung näher erläutert und hinsichtlich deren Nutzbarkeit für die in dieser Arbeit entwickelte Methode untersucht. Der Fokus liegt auf der Berücksichtigung von Lebenszyklusaspekten sowie der Integration qualitativer und quantitativer Einflussfaktoren und Risiken, die durch das turbulente Unternehmensumfeld gegeben sind. Der Grund für den Schwerpunkt auf die Bewertung, ist der wesentliche Beitrag dieser zur Planung von Strukturmaßnahmen sowie der Entscheidungsfindung bezüglich der umzusetzenden Planungsalternative. Des Weiteren wird im Rahmen dieser Arbeit kein detailliertes Planungsvorgehen entwickelt, sondern nur zusätzliche Randbedingungen für den Planungsprozess an sich definiert.

### 3 Stand der Forschung und Erkenntnisse

---

Das von BRIEL (2002) entwickelte Modell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Anpassungsinvestitionen in Fertigungssystemen erweitert die Arbeit von OSTEN-SACKEN (1999), der eine ganzheitliche Erfolgsrechnung für alle Lebenszykluspartner einer Werkzeugmaschine untersucht und die Lebenszykluskostenrechnung aus Anwendersicht mit Wertschöpfungspotentialen im Servicebereich aus Herstellersicht kombiniert. BRIEL (2002) verwendet dazu ein skalierbares Modell, dessen Aufgabe es ist, „*die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit des Fertigungssystems und die durch die Anpassungsinvestition induzierte Veränderung dieser Leistungsfähigkeit ... abzubilden*“ (BRIEL 2002, S. 70). Durch die Berücksichtigung der Lebenslaufphasen des Fertigungssystems integriert er die zukünftige Entwicklung in die Bewertung. Er geht jedoch von einer definierten Entwicklung des Bewertungsobjekts aus, ohne den stochastischen Charakter der Zukunft zu berücksichtigen. Des Weiteren werden zur Definition zukünftiger Entwicklungen keine Lebenszyklusverläufe herangezogen. Ebenso beinhaltet der Ansatz keine Bewertung monetärer Risiken von Produktionsstrukturadaptionen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen.

Die von SESTERHENN (2003) entwickelte Bewertungssystematik zur Gestaltungsstruktur- und betriebsvariabler Produktionssysteme dient zur lebenszyklusorientierten Bewertung von Veränderungen der gesamten Produktion. Die betrachteten Veränderungen basieren primär auf Auslastungsschwankungen innerhalb der Produktion. Technologie- und betriebsmittelinduzierte Veränderungen in der Produktionsstruktur bleiben unberücksichtigt. Ebenso werden Wechselwirkungen der einzelnen Elemente der Produktion bzw. der berücksichtigten Lebenszyklen weder systematisch erfasst noch in die Bewertung integriert. Die Bewertung baut auf den Kostenmodellen von OSTEN-SACKEN (1999) und BRIEL (2002) auf und integriert die über die Lebenszyklen der einzelnen Elemente der Produktionsstruktur anfallenden Kosten. Die Abbildung der unsicheren Zukunft erfolgt durch Szenarien. Mögliche Risiken werden im Rahmen der Bewertung nicht berücksichtigt.

Die im Rahmen des Projekts LicoPro<sup>11</sup> durchgeführten Arbeiten beschäftigen sich ebenfalls mit der lebenszyklusorientierten Bewertung von Produktionssystemen. ALEXOPOULOS ET AL. (2005) bewerten die sich aufgrund der Auslastung ergebenden Anpassungen und nutzen verstärkt Sensitivitätsanalysen zur Berücksichtigung auftretender Risiken. URBANI ET AL. (2005) erweitern den Ansatz und unterstützen Produktionsplaner mit dem Softwareprogramm „LifeC“ bei Investitionsentscheidungen auf Basis der Lebenszykluskostenrechnung (vgl. auch URBANI (2006)). Die zeitliche Abstimmung von Produkt-, Technologie- und Betriebsmittellebenszyklen wird jedoch nicht erwähnt. Eben-

---

<sup>11</sup> Lifecycle Design for global collaborative Production (EU-Forschungsprojekt IST-2001-37603)

so werden keine Unsicherheiten in die Bewertung integriert. Die von FRIESE ET AL. (2005), BÜRKNER ET AL. (2005) und WEMHÖNER (2006) entwickelte Methodik zur Bewertung und Optimierung der Flexibilität in der Produktion stammt ebenfalls aus dem Forschungsprojekt LicoPro. Sie berücksichtigt die Variation der zukünftigen Entwicklung und Anpassungsmaßnahmen in der Produktion sowie die anfallenden Kosten mit Hilfe mathematischer Methoden aus dem Operations Research. Die Umsetzung der Ergebnisse erfolgte in den Softwareprogrammen „NetworkAnalyzer“ und „Lifecycle Adaptation Planner“. Anwendungsbeispiel der Arbeiten ist der automobiler Rohbau, in dem Anpassungen der Produktionsstruktur in der Nutzungsphase technisch sowie wirtschaftlich kaum möglich sind. Aus diesem Grund ist der Einsatz der entwickelten Methodik sowie der Softwareprogramme erheblich eingeschränkt. Als positiv ist die Nutzung von stochastischen Häufigkeitsverteilungen für in die Bewertung einfließende Parameter zu erwähnen, da dies eine differenzierte Analyse ermöglicht.

VIELHABER & BIEGE (2008) beschäftigen sich mit der Optimierung von Montagesystemen und dem organisatorischen Umfeld. Die Optimierung ist in Planungs- und Realisierungsphasen unterteilt. Zur Bewertung wird die Lebenszykluskostenrechnung herangezogen. Es wird jedoch lediglich der Lebenszyklus des gesamten Montagesystems betrachtet. Die Lebenszyklen der verwendeten Technologien und Betriebsmittel im System sowie mögliche Wechselwirkungen werden nicht berücksichtigt. Eine genaue Beschreibung der Kostenstruktur, der Modellierung der Lebenszyklen sowie der Bewertung wird nicht gegeben. Des Weiteren wird eine sichere Zukunft vorausgesetzt und es erfolgt keine Integration von Unsicherheiten, wodurch auch eine Bewertung der Risiken entfällt.

Die von MÖLLER (2008) entwickelte Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme baut auf Realloptionen aus der Finanztheorie auf und integriert Ansätze der Fabrikplanung und Lebenszyklusbewertung. Ziel der Arbeit ist ein verbesserter Nachweis der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme und somit die Verringerung des Investitionsrisikos für Unternehmen. Die Untersuchung beschränkt sich auf eine einzelne Fabrik und die zu bewertenden Alternativen werden als gegeben vorausgesetzt. Die Produktionsstruktur als solche wird nicht betrachtet. MÖLLER (2008) integriert quantitative Unsicherheiten in die Bewertung, berücksichtigt jedoch keine Abhängigkeiten zwischen diesen. Sensitivitätsanalysen dienen zur Interpretation des Risikos. Der modulare Aufbau der Bewertungsmodelle ermöglicht eine einfache Übertragbarkeit auf andere Problemstellungen. Die in der Methode angewandten komplexen Verfahren der Finanztheorie erschweren sowohl die Anwendung als auch die Transparenz für den Anwender.

Die von WULF (2011) entwickelte Methode zur Bewertung des Einflusses von Produkt- und Technologieveränderungen auf die Fabrik basiert auf einer fa-

brikobjektspezifischen Bewertung des durch das turbulente Umfeld bedingten Adaptionaufwands. Die notwendigen Anpassungen der Fabrik werden mit Hilfe einer Roadmap visualisiert. Um die in der Praxis mangelhafte Kopplung von Planung und Betrieb einer Fabrik zu verbessern, wurde ein regelungstechnisches Grundmodell zur integrativen Betrachtung von Fabrikplanung und -betrieb entwickelt. Ziel der Methode ist die zeitgerechte Einsteuerung von strategischen Adaptionmaßnahmen. Die Kosten für die Adaptionen werden in die Bewertung integriert. Zur zeitlichen und inhaltlichen Synchronisation identifizierter Interdependenzen der einzelnen Planungsobjekte wird eine Fabrikroadmap genutzt. Die Einflüsse der Fabrikobjekte untereinander werden jedoch nicht berücksichtigt. Des Weiteren werden keine Unsicherheiten in die Bewertungsmethode integriert, wodurch Risiken der einzelnen Planungsalternativen nur mangelhaft abgebildet werden.

#### 3.4 Fazit

In den vorangegangenen Kapiteln wurde deutlich, dass die Harmonisierung von Lebenszyklen der Elemente einer Fabrik einen wichtigen Bestandteil der Planung von Produktionsstrukturen darstellt. Es wurde aufgezeigt, dass erhebliche Zeit- und Kosteneinsparungspotentiale durch die zeitliche Abstimmung der sowohl in der Produktionsplanung als auch der in der Produktion vorkommenden Lebenszyklen realisiert werden können.

Die Ausführungen in diesem Kapitel zeigen, dass bereits einige Ansätze existieren, die sich mit der lebenszyklusorientierten Planung und Bewertung von Planungsalternativen mit Bezug zur Produktionsstrukturplanung beschäftigen. Durch die Lebenszyklusanalyse werden Systeme hinsichtlich der über den gesamten Zeitablauf entstehenden Kosten und der Auswirkungen von Veränderungen auf die Kostenstruktur des Systems untersucht. Die Vorgehensweise zur Erfassung, Strukturierung und Berechnung der Kosten ist durch Normen und Richtlinien klar erfasst. Es bietet die Möglichkeit, die Unsicherheit der Zukunft bei der Berechnung und Interpretation zu integrieren.

BRIEL (2002), SESTERHENN (2003), ALEXOPOULOS ET AL. (2005), URBANI ET AL. (2005), FRIESE ET AL. (2005), BÜRKNER ET AL. (2005), WEMHÖNER (2006), VIELHABER & BIEGE (2008), MÖLLER (2008) und WULF (2011) beschäftigen sich mit der lebenszyklusorientierten Bewertung von Planungsalternativen. Während BRIEL (2002) und VIELHABER & BIEGE (2008) die lebenszyklusorientierte Optimierung und Bewertung von Montage- und Fertigungssystemen betrachten, stellen die anderen beschriebenen Ansätze das gesamte Produktionssystem in den Mittelpunkt der Bewertung. SESTERHENN (2003) bricht dabei die Betrachtung auf die Ebene der einzelnen Elemente und deren Lebenszykluskosten herunter. Der Großteil der Ansätze beschäftigt sich

mit notwendigen Veränderungen aufgrund von Auslastungsschwankungen (vgl. SESTERHENN (2003), ALEXOPOULOS ET AL. (2005), URBANI ET AL. (2005), FRIESE ET AL. (2005), BÜRKNER ET AL. (2005), WEMHÖNER (2006), VIELHABER & BIEGE (2008)). Technologie- oder bertiebsmittelinduzierte Adaptionen der Produktionsstruktur bleiben, bis auf in der von WULF (2011) dargelegten Methode, unberücksichtigt. Meist erfolgt nur eine Betrachtung des übergeordneten Lebenszyklus des Systems. Die Lebenszyklen der einzelnen Elemente der Produktionsstruktur sowie die möglichen auftretenden Wechselwirkungen zwischen diesen werden nur teilweise bzw. gar nicht abgebildet, wodurch auch die Veränderungen einzelner Parameter über den Verlauf der Lebenszyklen in den meisten Fällen vernachlässigt werden. Des Weiteren ist festzustellen, dass in allen Ansätzen keine Analyse hinsichtlich möglicher Verbesserungspotentiale durch eine gezielte Beeinflussung der einzelnen Lebenszyklen erfolgt und die entwickelten Werkzeuge aufgrund deren starker Ausrichtung auf eine Industrie nur beschränkt einsetzbar sind.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass in allen Ansätzen die Notwendigkeit der zeitlichen Abstimmung von Adaptionen und die Wichtigkeit der Berücksichtigung von Lebenszyklen angesprochen wird. Bestehende Methoden zur Adaption von Produktionsstrukturen betrachten jedoch nur Teilaspekte von Adaptionen der Struktur. So wird die Identifikation, Planung und Bewertung von Adaptionen nicht als miteinander verbundene Aufgabe betrachtet, wodurch wichtige im Rahmen der Harmonisierung von Lebenszyklen zu berücksichtigende Aspekte vernachlässigt werden. Ebenso werden keine Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Elementen der Produktionsstruktur sowie das durch Unsicherheiten in der Zukunft induzierte Risiko in die Ansätze integriert. Lebenszyklen werden isoliert und nicht im Zusammenspiel miteinander betrachtet. Die Bewertung der zeitlichen Abstimmung der Lebenszyklen im Rahmen von Adaptionen erfolgt nur auf qualitativer Ebene ohne Bewertung quantitativer Zielgrößen, wie beispielsweise die zu erreichenden Stückkosten oder der Kapitalwert. Außerdem ist allen Ansätzen gemein, dass die Möglichkeiten zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit durch eine gezielte Beeinflussung der einzelnen Lebenszyklen nicht analysiert werden. Die vorgestellten Ansätze liefern gute Ansatzpunkte, genügen jedoch nicht den Anforderungen einer Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen und den durch das turbulente Umfeld entstehenden Risiken.



## 4 Anforderungen an die Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen

### 4.1 Inhalt des Kapitels

In den vorangegangenen Kapiteln wurde die aktuelle Situation, in der Unternehmen agieren, dargestellt bzw. Ansätze beschrieben, mit denen Unternehmen der geforderten Harmonisierung von Lebenszyklen bei permanenter Anpassung der Produktionsstruktur begegnen können. In diesem Kapitel werden die sich daraus ergebenden Anforderungen an die zu entwickelnde Methode beschrieben.

### 4.2 Anforderungen an die Methode

Wie in Abschnitt 1.2 beschrieben, ist das übergeordnete Ziel dieser Arbeit, die Adaption von Produktionsstrukturen durch die systematische Identifikation, Erstellung und Bewertung anfallender Produktionsstrukturadaptionen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen zu unterstützen. Dieses Ziel bedingt die Entwicklung einer Methode, die einen unternehmensexternen und -internen sowie durch die Lebenszyklen der einzelnen Elemente bedingten Adoptionsbedarf der Produktionsstruktur identifiziert, diese Informationen der Planung zur Verfügung stellt und eine monetäre Bewertung der sich ergebenden Adoptions-szenarien unter Berücksichtigung der produktionsstrukturelevanten Lebenszyklen ermöglicht. Des Weiteren gilt es, die Ergebnisse der Bewertung systematisch zu analysieren und interpretieren. Die sich für die zu entwickelnde Methode ergebenden Anforderungen sind wie folgt:

- *Berücksichtigung von externen und internen Adoptionsauslösern*: Diese Anforderung leitet sich aus dem Umfeld ab, in dem produzierende Unternehmen agieren und bestehen müssen. Hierzu müssen, wie in Abschnitt 2.2 beschrieben, sowohl interne als auch externe Auslöser eines Adoptionsbedarfs berücksichtigt werden. Dazu gilt es, die Identifikation des Adoptionsbedarfs der Produktionsstruktur, wie in Abschnitt 2.3 erläutert, in die Methode zu integrieren.
- *Überwachung schleichender Effizienzverluste sowie zeitdiskreter Ereignisse*: Veränderungen im Unternehmens- und Produktionsumfeld verlaufen oftmals nicht sprunghaft, sondern kontinuierlich und können nur bedingt mit einer bestehenden Produktionsstruktur bewältigt werden (CISEK 2005). Dadurch kommt es zu einem schleichenden Effizienzverlust

## 4 Anforderungen an die Methode

---

des Produktionssystems (LOEPER 1995) und in Folge dessen zur Schwächung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Aus diesem Grund ist die permanente Überwachung der Produktionsstruktur hinsichtlich ihrer Leistung und Effizienz erforderlich, um zeitgerecht notwendige Veränderungen zu identifizieren und lebenszyklusorientiert planen zu können. Ebenso sind zeitdiskrete Ereignisse zu überwachen und deren Auswirkungen hinsichtlich notwendiger Strukturmaßnahmen zu betrachten.

- *Berücksichtigung der sich über den Lebenszyklus verändernden Parameter:* Die Lebenszyklen der Elemente einer Produktionsstruktur sind durch sich über die Zeit ändernde Zustandsgrößen gekennzeichnet (vgl. Abschnitt 2.4), die wiederum Einfluss auf die Produktion haben. Aus diesem Grund muss eine Berücksichtigung dieser Verläufe im Rahmen der Methode erfolgen.
- *Betrachtung der lebenszyklusbedingten Wechselwirkungen:* Aufgrund der bestehenden Abhängigkeiten zwischen Produkt-, Technologie- und Betriebsmittel-Lebenszyklen und der daraus resultierenden Beeinflussung der Leistungsfähigkeit der Produktion bzw. der Produktionskosten (vgl. Abschnitt 3.2.5) gilt es im Rahmen der Methode die Interdependenzen der Lebenszyklen zu betrachten. Diese Anforderung ist eng mit der zuvor erläuterten Notwendigkeit der Betrachtung der lebenszyklusbedingten Wechselwirkungen verknüpft.
- *Monetäre Bewertung von Adaptionsszenarien:* Die Anforderung im Rahmen der Bewertung der Adaptionsszenarien eine monetäre Zielgröße zu betrachten, basiert auf den durch die Harmonisierung der Lebenszyklen zu generierenden Kostenvorteile, die es im Rahmen der Produktionsstrukturadaption zu berücksichtigen gilt. Des Weiteren liegt dieser Anforderung das ökonomischen Prinzip zu Grunde, welches die Forderung beinhaltet, ein möglichst günstiges Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen im Rahmen der betrieblichen Wertschöpfung zu erzielen (SCHIERENBECK 2003).
- *Risikobetrachtung durch Integration von Unsicherheiten:* Das turbulente Unternehmensumfeld birgt gewisse Risiken für produzierende Unternehmen (vgl. Abschnitt 1.1). Zur Erhöhung der Aussagekraft der Methode ist es notwendig, diese Turbulenzen durch Integration von Unsicherheiten zu berücksichtigen und als Risiko abzubilden. Für die Methode bedeutet dies, dass solche Risiken bezüglich Richtung (positiv bzw. negativ) und Höhe des Ausmaßes zu quantifizieren sind.
- *Praxistauglichkeit:* Die Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen muss für den industriellen Anwender verständlich, leicht handhabbar und zeitlich aufwandsarm sein sowie einen Mehrwert für das Unternehmen darstellen.

Die in Kapitel 2 und 3 beschriebenen Werkzeuge und Ansätze bieten die Basis zur Erfüllung dieser Anforderungen an die in dieser Arbeit entwickelte Methode. Es gilt, diese einerseits sinnvoll zu kombinieren und andererseits bei Bedarf weiterzuentwickeln.

### 4.3 Anforderungen an die Modelle

Zur Unterstützung der Adaption von Produktionsstrukturen werden gezielt Informationen zur Beschreibung der Produktionsstruktur, der Kosten sowie der auftretenden Unsicherheiten benötigt. Um die Komplexität zu mindern und die Anwendung zu vereinfachen, werden Modelle<sup>12</sup> zur Beschreibung dieser Informationen verwendet (BECKER ET AL. 1995). Neben den Grundsätzen ordnungsmäßiger Modellierung (GoM)<sup>13</sup> werden folgende spezielle Anforderungen an die Modelle definiert:

- *Allgemeingültigkeit*: Damit die entwickelte Methode auf unterschiedliche Unternehmen und deren Produktions- und Kostenstruktur übertragbar ist, müssen die verwendeten Modelle allgemeingültig gehalten sein. Dies erhöht die Transparenz und ermöglicht außerdem die Vergleichbarkeit der Ergebnisse.
- *Ganzheitlichkeit*: Zur Identifikation, Planung und Bewertung von Produktionsstrukturadaptionen ist es von essentieller Bedeutung, die einzelnen Elemente einer Produktionsstruktur sowie deren Eigenschaften und Beziehungen zu kennen und zu berücksichtigen. Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, muss daher eine ganzheitliche Abbildung der Produktions- und Kostenstruktur sichergestellt werden.
- *Skalierbarkeit*: Die in der Methode verwendeten Modelle müssen bezüglich des zu betrachtenden Anwendungsfalls erweitert bzw. angepasst werden können, da einerseits die Produktionsstruktur permanent verändert wird und sich andererseits die Kostenstruktur über die Zeit ändern kann. Ebenso verhält es sich mit der Anzahl an betrachteten Unsicherheiten und deren Dynamik.

---

<sup>12</sup> Unter Modellen werden immaterielle und abstrahierte Abbildungen der realen Welt bzw. realer Systeme verstanden, die zur Erklärung und Gestaltung dieser eingesetzt werden (ADAM 1996; SCHEER ET AL. 2003). Das Modell differiert von der Realität lediglich in einem dem Untersuchungsziel angemessenen Toleranzrahmen (VDI 3633-1 2010).

<sup>13</sup> Die Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung sind Richtigkeit, Relevanz, Wirtschaftlichkeit, Klarheit, Vergleichbarkeit und systematischer Aufbau (BECKER ET AL. 1995; ROSEMAN 1998; RIST 2008).

### 4.4 Zusammenfassung des Kapitels

Basierend auf den ersten drei Kapiteln wurden die Anforderungen an die zu entwickelnde Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen und der darin verwendeten Modelle abgeleitet. Im nachfolgenden Kapitel 5 werden die für die Methode entwickelten bzw. verwendeten Modelle beschrieben. In Kapitel 6 wird der Aufbau der Methode sowie das Vorgehen detailliert dargestellt.

## 5 Aufbau der Modelle

### 5.1 Inhalt des Kapitels

In diesem Kapitel erfolgt die Beschreibung der in der entwickelten Methode verwendeten Modelle sowie deren Verknüpfung untereinander. Die Modelle dienen zur systematischen Abbildung und Gliederung der Produktionsstruktur, der im Unternehmen und speziell in der Produktion anfallenden Kosten sowie auftretender Unsicherheiten.

### 5.2 Übersicht der verwendeten Modelle

Zur Sicherstellung einer einfachen Anwendung der Methode werden zur Beschreibung und Komplexitätsreduktion der Informationen bzw. Daten Modelle genutzt. Diese beschreiben die zu betrachtende Produktionsstruktur, die Kosten sowie die auftretenden Unsicherheiten und stehen miteinander in direktem Zusammenhang (vgl. Abbildung 20).

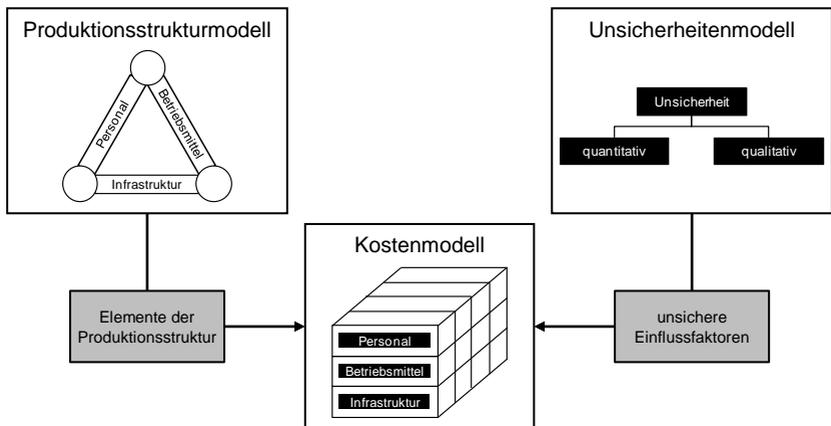


Abbildung 20: Übersicht über die in der entwickelten Methode verwendeten Modelle sowie deren Zusammenhang

Basierend auf der Definition des Begriffs Produktionsstruktur (vgl. Abschnitt 1.3.1) und der Eingrenzung des Betrachtungsbereichs (vgl. Abschnitt 1.3.2) bildet das Produktionsstrukturmodell die Beschaffenheit und Anordnung der

einzelnen Elemente sowie deren Beziehungen zueinander ab. Es stellt die Basis für die Identifikation von Abhängigkeiten bei Anpassungen der Produktionsstruktur sowie die Festlegung der Kostenbausteine im Kostenmodell dar, das zur monetären Bewertung der Produktionsstrukturadaptionen benötigt wird. Das Kostenmodell basiert auf der Lebenszykluskostenrechnung und stellt die Betrachtung der Produktionsstruktur als Systemprojekt sicher. Dies bedeutet, dass sämtliche Elemente der Produktionsstruktur inklusive deren Wechselwirkungen erfasst und berücksichtigt werden. Des Weiteren ermöglicht es die Abbildung von Unternehmensspezifika in der Kostenstruktur sowie die Berechnung einer monetären Zielgröße durch Verrechnung einzelner Kostenbausteine, deren Einflussfaktoren es bei der Anwendung des Modells zu quantifizieren gilt. Hierbei können sowohl sichere als auch unsichere Einflussfaktoren auf den Kostenbaustein wirken. Zweitere, die in direktem Wirkzusammenhang mit dem sich daraus ergebenden Risiko stehen, werden durch das Unsicherheitenmodell klassifiziert. Das Produktionsstruktur-, das Kosten- und das Unsicherheitenmodell bilden die Grundlage für die Identifikation des Adaptionbedarfs, die Erstellung der Adaptionsszenarien sowie die Analyse und Bewertung ebendieser. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Modelle erfolgt in den nachfolgenden Abschnitten.

### 5.3 Produktionsstrukturmodell

Bevor der Aufbau des Produktionsstrukturmodells erklärt wird, werden die Elemente der Produktionsstruktur näher beschrieben. Diese sind Infrastruktur, Betriebsmittel und Personal (vgl. Abschnitt 1.3.1).

#### 5.3.1 Elemente der Produktionsstruktur

##### 5.3.1.1 Infrastruktur

Die Infrastruktur umfasst alle baulichen Einrichtungen der Fabrik (vgl. Abbildung 21) und kann als Hülle für die betrachteten Fertigungs- und Montagesysteme verstanden werden. Die Infrastruktur erlegt dem Produktionsbetrieb Restriktionen auf, die maßgeblichen Einfluss auf die Positionierung der für die Produktion notwendigen Betriebsmittel und somit den Materialfluss haben können. Diese umfassen nach AGGTELEKY (1990a):

- Einschränkungen bzgl. der verfügbaren Nutzfläche
- Einschränkungen bzgl. der verfügbaren Höhe
- Einschränkungen bzgl. der Belastbarkeit

- Einschränkungen bzgl. der Schwingungsempfindlichkeit
- Einschränkungen bzgl. der Oberflächenbeschaffenheit
- Einschränkung bzgl. der chemischen Beständigkeit



Abbildung 21: Übersicht über die zur Infrastruktur zählenden Elemente einer Produktionsstruktur (in Anlehnung an AGGTELEKY (1990a))

### 5.3.1.2 Betriebsmittel

Nach VDI 2815-5 (1978) dienen Betriebsmittel (Anlagen, Geräte, Einrichtungen) zur betrieblichen Leistungserstellung. Da die Anzahl, Art und Anordnung der Betriebsmittel großen Einfluss auf die Erfüllung der Produktionsziele hinsichtlich Zeit, Kosten und Qualität haben (NEBL 2009), stellen diese einen essentiellen Bestandteil der Produktionsstruktur dar und sind im Produktionsstrukturmodell abzubilden. Anlagen, Geräte und Einrichtungen, die zur zielgerichteten Herstellung von Produkten bzw. zur Leistungserbringung dienen, können in acht Untergruppen gegliedert werden (VDI 2815-5 1978) (vgl. Abbildung 22). Eine detaillierte Auflistung der Betriebsmittel ist im Anhang in Abschnitt A.2 zu finden.

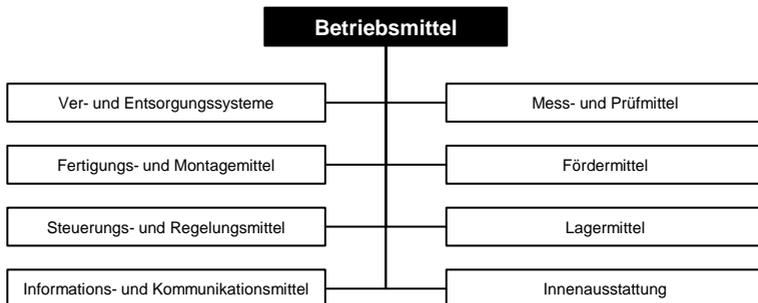


Abbildung 22: Übersicht über die zu Betriebsmitteln zählenden Elemente einer Produktionsstruktur (in Anlehnung an VDI 2815-5 (1978))

### 5.3.1.3 Personal

Zur Nutzung der Betriebsmittel wird Personal benötigt, das diese bedient (NEBL 2009). Da Personalkosten einen wesentlichen Bestandteil der Produktionskosten darstellen, gilt es im Produktionsstrukturmodell das Personal, das alle am Produktionsprozess beteiligten Mitarbeiter umfasst, abzubilden. Hierbei sind vor allem Faktoren wie Ausbildung bzw. Erfahrungswissen und Unternehmenszugehörigkeit entscheidend, da diese einerseits die Produktionskosten beeinflussen und andererseits der Planung wichtige Informationen für Adaptionen liefern.

### 5.3.2 Aufbau des Produktionsstrukturmodells

Die Bewertung von Produktionsstrukturadaptionen basiert auf einer Vielzahl an Informationen, die es in einem Produktionsstrukturmodell systematisch zu erfassen gilt. Die dazu entwickelte Gliederungsstruktur ermöglicht die Auflistung der einzelnen in den Abschnitten zuvor beschriebenen Elemente der zu betrachtenden Produktionsstruktur sowie die zur Beschreibung notwendigen Daten und Zusammenhänge zwischen den Elementen (vgl. Abbildung 23).

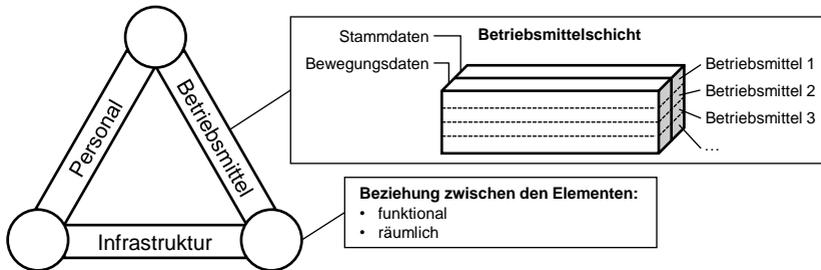


Abbildung 23: Gliederungsstruktur zur Abbildung von Produktionsstrukturen

Basis des Modells sind drei sich schneidende Schichten für die Infrastruktur, das Personal und die Betriebsmittel, denen sämtliche Elemente der Produktionsstruktur zugeordnet werden. Zur detaillierten Beschreibung der einzelnen Elemente werden Stamm- und Bewegungsdaten erfasst. Unter Stammdaten werden zustandsorientierte Daten verstanden, die der Identifizierung, Klassifizierung und Charakterisierung der Elemente dienen und die über einen längeren Zeitraum hinweg unverändert bleiben (HILDEBRAND ET AL. 2011). Hierzu gehören beispielsweise Kostenstelle, Mitarbeitername, Inventarnummer, Modellnummer, Inbetriebnahmedaten oder Technologien von Betriebsmitteln. Bewegungsdaten hingegen sind Daten, die sich häufig ändern und angepasst werden müssen bzw. aus vorhandenen Daten abgeleitet oder berechnet werden (HILDEBRAND

ET AL. 2011). Als Beispiel seien hier Informationen über Lohnstufen, Position und Ausrichtung von Betriebsmitteln oder Rüstzeiten genannt. Da eine umfassende und vollständige Beschreibung der Stamm- und Bewegungsdaten aufgrund der in der Industrie vorhandenen Heterogenität nicht zielführend ist, wird diesbezüglich darauf verzichtet. Die Kriterien zur Auswahl der für die Durchführung der Methode notwendigen Stamm- und Bewegungsdaten können Tabelle 4 entnommen werden.

Element	Stamm- und Bewegungsdaten zu(r) ...
<b>Personal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>... eindeutigen Identifikation</li> <li>... Qualifikation</li> <li>... Entlohnung</li> </ul>
<b>Betriebsmittel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>... eindeutigen Identifikation</li> <li>... Technologie</li> <li>... Position und Ausrichtung</li> <li>... Abmaßen</li> <li>... prozesstechnischen Eigenschaften</li> <li>... Instandhaltung</li> <li>... Abhängigkeiten</li> </ul>
<b>Infrastruktur</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>... eindeutigen Identifikation</li> <li>... Position und Ausrichtung</li> <li>... Abmaßen</li> <li>... technische Daten</li> <li>... Instandhaltung</li> </ul>

*Tabelle 4: Kriterien zur Auswahl von Stamm- und Bewegungsdaten*

Zur ganzheitlichen Abbildung der Produktionsstruktur werden die Beziehungen zwischen den einzelnen Elementen, sofern vorhanden, in den Schnittflächen der Schichten dargestellt. Hierbei ist zwischen funktionalen und räumlichen Beziehungen zu unterscheiden. Stamm- bzw. Bewegungsdaten zur Beschreibung der Beziehung stehen in direktem Zusammenhang mit den betroffenen Elementen. Funktionale Beziehungen sind dadurch charakterisiert, dass sich zwei Elemente gegenseitig bedingen und somit in Verbindung stehen. So bedingt eine Drehmaschine einen als Dreher ausgebildeten Mitarbeiter zur Nutzung dieser oder eine Laserschneideanlage einen Laserschutzraum. Räumliche Beziehungen stellen die Abbildung der Positionen und Ausrichtungen der einzelnen Elemente in der betrachteten Produktionsstruktur selbst als auch zueinander

dar, wodurch sich beispielsweise die exakte Position und Ausrichtung eines Betriebsmittels in der Produktionshalle beschreiben lässt. Die zur Erstellung des Produktionsstrukturmodells notwendigen Stamm- und Bewegungsdaten können ERP- und BDE-Systemen sowie Layoutplänen entnommen werden. Die Daten können hierbei zum Beispiel mit Hilfe von Microsoft® Office Excel® aufbereitet werden.

### 5.4 Kostenmodell

Das Kostenmodell entsteht durch das Zusammenwirken einer Kostengliederungsstruktur (vgl. Abschnitt 5.4.1) und ausgewählter, geeigneter Kostenbausteine (vgl. Abschnitt 5.4.2). Die Kostengliederungsstruktur des Modells systematisiert und gliedert die einzelnen Kostenbausteine nach bestimmten Regeln. Diese Bausteine können wiederum eine eigene Gliederungsstruktur enthalten oder Zusammenhänge zwischen Einflussfaktoren der Kostenentstehung und der Kostenhöhe aufzeigen. Basis für das Kostenmodell bildet die Lebenszykluskostenrechnung. In den folgenden Abschnitten werden die Kostengliederungsstruktur und die Kostenbausteine beschrieben.

#### 5.4.1 Aufbau der Kostengliederungsstruktur

Die verwendete Kostengliederungsstruktur ist an die DIN EN 60300-3-3 (2005) angelehnt. Die einzelnen Kostenbausteine werden mit Hilfe der drei Dimensionen „verursachendes Element“, „Entstehungszeitpunkt“ und „Kostenart“ eingeordnet und beschrieben (vgl. Abbildung 24).

Die in der Produktion Kosten verursachenden Elemente werden in der ersten Dimension abgebildet. Die Ableitung und Einteilung in die Elemente Infrastruktur, Betriebsmittel und Personal erfolgt auf Basis des in Abschnitt 5.3 beschriebenen Produktionsstrukturmodells. Hierbei werden die im Produktionsstrukturmodell abgebildeten Elemente in das Kostenmodell überführt.

In der zweiten Dimension werden die im Lebenszyklus der einzelnen Elemente anfallenden Kosten deren Entstehungszeitpunkt zugeordnet. Dies ermöglicht einerseits die Bewertung unterschiedlicher Adaptionsszenarien über einen bestimmten Betrachtungszeitraum und andererseits schafft es Transparenz über die Lebenszykluskosten der einzelnen Elemente im Rahmen der Planung von Produktionsstrukturadaptionen.

Die dritte Dimension bildet die Art der Kostenerfassung und der verwendeten Kostenrechnungssysteme in Unternehmen ab. Durch die Anlehnung an

bestehende Schemata wird einerseits die Akzeptanz der Methode bei den Anwendern gesteigert und andererseits die Vergleichbarkeit und Belastbarkeit der Ergebnisse sichergestellt.

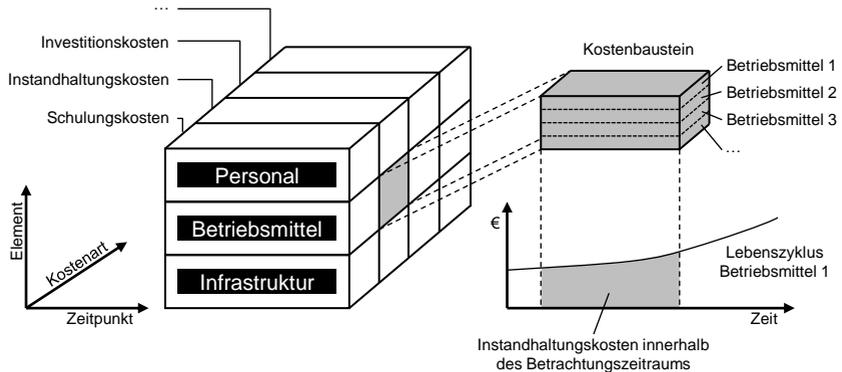


Abbildung 24: Kostengliederungsstruktur mit exemplarischer Detaillierung eines Kostenbausteins

Die Nutzung vorhandener hierarchischer Strukturen von Aufwandskonten<sup>14</sup> erleichtert die Ermittlung der für die Bewertung notwendigen Kostenbestandteile. Dies impliziert jedoch auch, dass keine allgemeingültige Kostengliederungsstruktur erstellt werden kann. Sollten im Unternehmen keine Kontenstrukturen vorhanden sein, so stellt die Nutzung der Industriekontenrahmen (IKR) (FREIDANK & VELTE 2007) eine Basis für die Entwicklung von unternehmensindividuellen Systemen dar. Die in diesem Kontenrahmen angeführten Kostenarten können je nach Bedarf verfeinert sowie den einzelnen Elementen zugeordnet werden.

Die definierten Kostenbausteine beinhalten einerseits eine genaue Gliederung der über die Zeit anfallenden Kosten sowie der auf den Baustein bzw. die einzelnen Elemente im Baustein wirkenden Einflussfaktoren und andererseits eine Berechnungslogik in Form einer Kostenfunktion. Da eine umfassende und vollständige Beschreibung geeigneter Kostenfunktionen im Rahmen dieser Arbeit nicht zielführend ist, wird diesbezüglich exemplarisch auf bestehende Normen, Richtlinien und Standardliteratur im Bereich der Lebenszykluskostenrechnung

<sup>14</sup> Aufwandskonten sind Unterkonten von Erfolgskonten, die sämtliche in die Gewinn- und Verlustrechnung (GuV) eingehenden Konten umfassen. In Aufwandskonten werden die Aufwendungen eines Unternehmens, wie beispielsweise Gehälter, Abschreibungen oder Rohstoffe, erfasst. (RISSE 2004)

## 5 Aufbau der Modelle

verwiesen (PFOHL & WÜBBENHORST 1983; WÜBBENHORST 1984; FABRYCKY & BLANCHARD 1991; ZEBOLD 1996; DOHMS 2001; DIN EN 60300-3-3 2005; VDI 2884 2005).

### 5.4.2 Aufbau der Kostenbausteine

Durch die Auswahl von Kostenbausteinen werden die Kosten definiert, die es bei der Verrechnung zu berücksichtigen gilt. Die Einordnung in die Kostenstruktur legt dann die Art und Weise der Verrechnung fest. Die Festlegung ist hierbei von der Kostenrechnungssystematik des Unternehmens abhängig. Aufgrund der in den Unternehmen in der Kostenstruktur vorherrschenden Heterogenität ist eine allgemeingültige Auswahl von Kostenbausteinen nicht sinnvoll (SCHULTE 2002; KOLAKOWSKI ET AL. 2005; MÜLLER 2007).

Bei der Identifikation und Abgrenzung der Kostenbausteine ist sowohl der Zweck als auch der Umfang der zu betrachtenden Lebenszykluskosten zugrunde zu legen (DIN EN 60300-3-3 2005). Die Festlegung der Kostenbausteine kann in einem Bottom-up-, Top-down- oder Gegenstromverfahren erfolgen (SCHUH ET AL. 2007; MÖLLER 2008) (vgl. Abbildung 25).

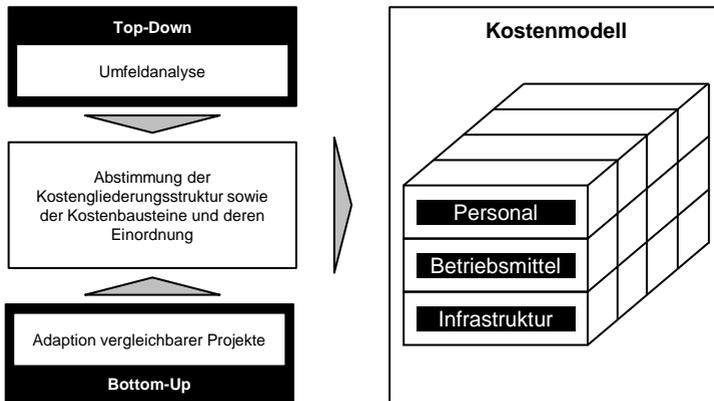


Abbildung 25: Erstellung der Kostengliederungsstruktur sowie Identifikation und Einordnung der Kostenbausteine durch das Gegenstromverfahren (in Anlehnung an BARTH & BARTH (2008))

Beim Bottom-up-Verfahren werden vergleichbare Projekte aus der Vergangenheit herangezogen und adaptiert, während beim Top-down-Verfahren auf Basis einer Analyse des bestehenden Umfelds die Kostenbausteine identifiziert und verknüpft werden. Das Gegenstromverfahren hingegen kombiniert die beiden

anderen Verfahren durch systematische Aneinanderreihung der in den Verfahren zu durchlaufenden analytischen und synthetischen Vorgehensschritte (SCHUH ET AL. 2007). Bei allen Verfahren ist zu beachten, dass stets die Transparenz und Homogenität über alle zu bewertenden Adaptionsszenarien der Produktionsstruktur gewährleistet werden.

### 5.5 Unsicherheitenmodell

Zur Berücksichtigung der auftretenden Risiken bei der Identifikation des Adoptionsbedarfs sowie bei der Erstellung und der Bewertung der Adaptionsszenarien müssen die Unsicherheiten in einem Modell dargestellt und mit dem Kostenmodell verknüpft werden. Das Unsicherheitenmodell leitet sich aus der Definition der Begriffe Risiko und Unsicherheit ab und basiert auf den Arbeiten von MÖLLER (2008), RIMPAU (2011) und KREBS (2012). Es beinhaltet eine Klassifizierung von Unsicherheiten sowie die Definition möglicher Abhängigkeiten zwischen diesen. Das Modell differenziert zwischen stochastischen (quantitativen) und linguistischen (qualitativen) Unsicherheiten<sup>15</sup>. Des Weiteren werden Unsicherheiten hinsichtlich deren Zeitabhängigkeit sowie Auftretensart (stetig oder diskret) klassifiziert (vgl. Abbildung 26).

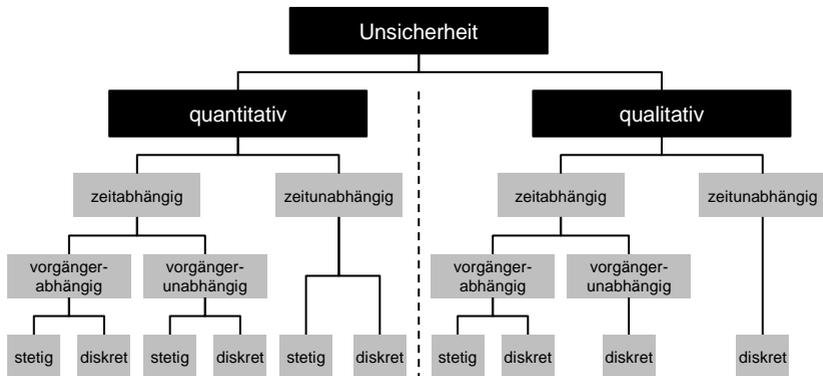


Abbildung 26: Klassifizierung von Unsicherheiten (KREBS 2012, S. 65)

<sup>15</sup> Stochastische Unsicherheiten basieren auf einem Mangel an Informationen wohingegen linguistische Unsicherheiten auf den Mangel an begrifflicher Schärfe, sprich auf eine unzureichende Abgrenzung von Aussagen oder die fehlende Möglichkeit Aussagen in exakte Zahlenwerte zu transformieren, zurückzuführen sind (KREBS 2012).

Die Zeitabhängigkeit gibt an, ob sich eine Unsicherheit über den in der Bewertung betrachteten Zeitraum verändert oder nicht, was vor allem für die Betrachtung von Lebenszyklen von Bedeutung ist. Für eine zeitabhängige Unsicherheit sei beispielhaft der Rohstoffpreis genannt. Zeitunabhängig hingegen wäre die Einführung eines neuen Produktes in der Produktion. Bei zeitabhängigen Faktoren wird des Weiteren unterschieden, ob Werte einer betrachteten Zeitperiode  $t$  von der vorangegangenen Zeitperiode  $t-1$  beeinflusst werden, wie zum Beispiel Aktienkurse, oder nicht, wie zum Beispiel Lohnkosten. Die Auftretensart drückt aus, „*ob eine Unsicherheit in stetiger Form (z.B. die Lohnkostensteigerung am Standort) oder in diskreter Form (z.B. das Auftreten von Anlaufschwierigkeiten der Produktion am Standort) vorliegt*“ (KREBS 2012, S.66).

Neben der Klassifizierung der unsicheren Faktoren sind Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Unsicherheiten abzubilden. Hierbei können nach KREBS (2012) folgende zu berücksichtigende Abhängigkeiten auftreten:

- Berechnungsvorschriften zwischen quantitativen unsicheren Einflussfaktoren
- Korrelationen zwischen quantitativen unsicheren Einflussfaktoren untereinander
- Wirkbeziehungen zwischen quantitativen und qualitativen unsicheren Einflussfaktoren
- Wirkbeziehungen zwischen qualitativen Einflussfaktoren untereinander

Die Integration von Informationsmängeln bzw. dem Mangel an begrifflicher Schärfe in das Kostenmodell ist essentieller Bestandteil zur Abbildung der in den Adaptionsszenarien auftretenden Risiken. Die Verknüpfung des Kostenmodells mit dem Unsicherheitenmodell stellt dies sicher und ermöglicht neben der deterministischen auch eine unsicherheitsbehaftete Bewertung von Adaptionsszenarien. Hierbei wird das beschriebene Kostenmodell durch die auf die Kostenbausteine bzw. die einzelnen Elemente im Kostenbaustein wirkenden unsicheren Einflussfaktoren mit dem Unsicherheitenmodell verknüpft (vgl. Abbildung 27).

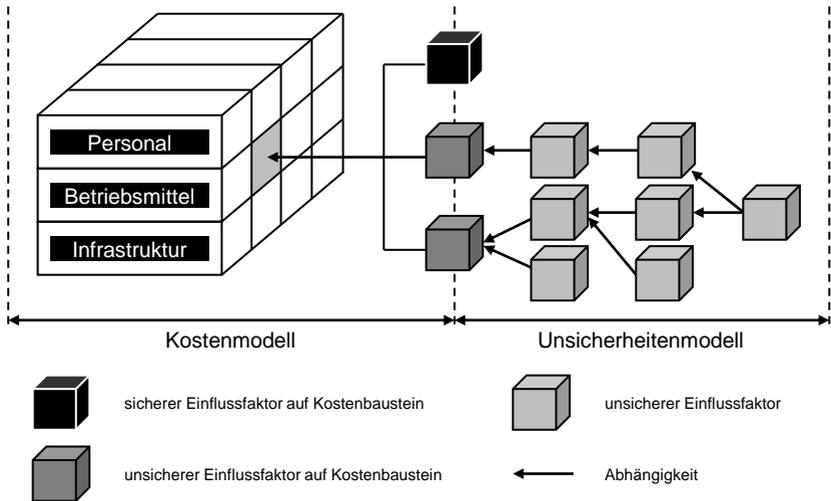


Abbildung 27: Verknüpfung des Kostenmodells mit dem Unsicherheitenmodell

## 5.6 Zusammenfassung des Kapitels

In diesem Kapitel wurden die im Rahmen der Methode zur Anwendung kommenden Modelle beschrieben. Die Modelle dienen zur realitätsnahen Abbildung der zu betrachtenden Produktionsstruktur sowie zur Berücksichtigung möglicher Risiken aufgrund des turbulenten Unternehmensumfelds bei der Identifikation des Bedarfs sowie der Erstellung und monetären Bewertung von Produktionsstrukturadaptionen. Neben dem Modell zur Beschreibung der Produktionsstruktur wurde der Aufbau der Gliederungsstruktur der Kosten sowie das Unsicherheitenmodell erklärt. Die Integration des Risikos in die Bewertung von Adaptionsszenarien erfolgt durch die Verknüpfung des Kostenmodells mit dem Unsicherheitenmodell. Die Modelle bilden die Basis für eine erfolgreiche Durchführung der Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen.



## **6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen**

### **6.1 Inhalt des Kapitels**

Die in Kapitel 4 definierten Anforderungen einbeziehend wurde eine Methode entwickelt, die Unternehmen befähigt, den Bedarf zur Adaption von Produktionsstrukturen rechtzeitig zu identifizieren, Strukturmaßnahmen abzuleiten und Adaptionsszenarien zu erstellen sowie diese unter Berücksichtigung von Lebenszyklen und der damit verbundenen Aspekte, wie die zeitliche Veränderung bestimmter Parameter, zu bewerten. In diesem Kapitel wird der Aufbau sowie der Ablauf der Methode beschrieben.

### **6.2 Aufbau der Methode**

Der Durchführung von Produktionsstrukturadaptionen gehen die Phasen der Bedarfsidentifikation, der Planung und der Bewertung voraus. Zur Identifikation des Adaptionbedarfs muss die Produktionsstruktur hinsichtlich ihrer Leistung und Effizienz überwacht werden. Die Planungsphase beschäftigt sich, ausgehend von dem Bedarf, mit der Analyse und Planung notwendiger Adaptionen zur mittelfristigen Erreichung der Produktionsziele durch die Produktionsstruktur. Die hierbei entstehenden Alternativen und Adaptionsszenarien gilt es in der Bewertungsphase hinsichtlich deren monetären Nutzen zu beurteilen sowie Verbesserungspotentiale aufzuzeigen.

Die entwickelte Methode gliedert sich in die drei Schritte „Identifikation des Adaptionbedarfs“, „Erstellung von Adaptionsszenarien“ und „Bewertung der Adaptionsszenarien“ (vgl. Abbildung 28). Basis dafür bilden die in Kapitel 5 beschriebenen Modelle.

Der erste Schritt „Identifikation des Adaptionbedarfs“ dient zur Feststellung des Bedarfs für Veränderungen der Produktionsstruktur. Dieser Bedarf kann aktuell bestehen oder zukünftig auftreten und sowohl extern als auch intern induziert sein. Hierzu werden die Leistung und Effizienz der aktuellen Produktionsstruktur mit Hilfe strukturelevanter Kennzahlen sowie zeitdiskrete Ereignisse, die oftmals Adaptionen auslösen, permanent überwacht. Einen zentralen Bestandteil der Überwachung der Produktionsstruktur bilden die Lebenszyklusverläufe der hergestellten Produkte sowie der genutzten Betriebsmittel und Technologien.

Bei Identifikation eines Adaptionbedarfs werden die im ersten Schritt erhaltenen Informationen im Schritt „Erstellung von Adaptionsszenarien“ analysiert

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

und Alternativen für mögliche Strukturmaßnahmen sowie deren Umsetzungszeitfenster abgeleitet. Die Anzahl der Kombinationsmöglichkeiten, der durch die Zeitfenster definierten Umsetzungszeitpunkte für die einzelnen Strukturmaßnahmen, ergibt die Anzahl an möglichen Adaptionsszenarien. Die einzelnen Adaptionsszenarien werden im darauf folgenden Schritt der Methode bewertet. Hierzu werden in diesem Schritt noch die anfallenden Adaptionskosten ermittelt und die Lebenszyklusverläufe der Elemente der Produktionsstruktur sowie der Produkte angepasst bzw. aktualisiert.

Im dritten Schritt „Bewertung der Adaptionsszenarien“ erfolgt die Bewertung der möglichen Adaptionsszenarien unter Berücksichtigung der Lebenszyklen auf Basis des in Abschnitt 5.4 beschriebenen Kostenmodells. Ziel ist die monetäre Bewertung der Adaptionsszenarien unter Berücksichtigung auftretender Risiken zur Identifikation des Adaptionsszenarios mit dem größten monetären Nutzen für das Unternehmen. Durch eine systematische Analyse und Interpretation der Ergebnisse werden die besten Szenarien pro Alternative ermittelt sowie mögliche Verbesserungspotentiale abgeleitet und der Planung zur Verfügung gestellt.

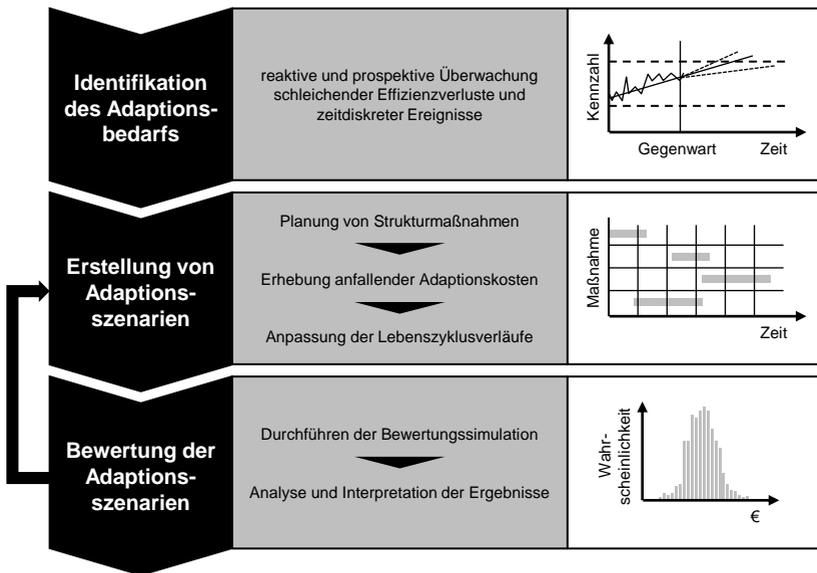


Abbildung 28: Ablauf der Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen

### 6.3 Identifikation des Adaptionsbedarfs

#### 6.3.1 Allgemeines und Vorgehen

Zur Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens ist die Leistungsfähigkeit der Produktionsstruktur permanent zu überwachen, da dies die zeitgerechte Identifikation des Adaptionsbedarfs gewährleistet und eine lebenszyklusorientierte Planung ermöglicht. Der Adaptionsbedarf entsteht durch turbulenzbedingte sowie lebenszyklusbedingte Veränderungen der Elemente einer Produktionsstruktur, die durch schleichende Effizienzverlust oder zeitdiskrete Ereignisse ausgelöst werden können (vgl. Abbildung 29).

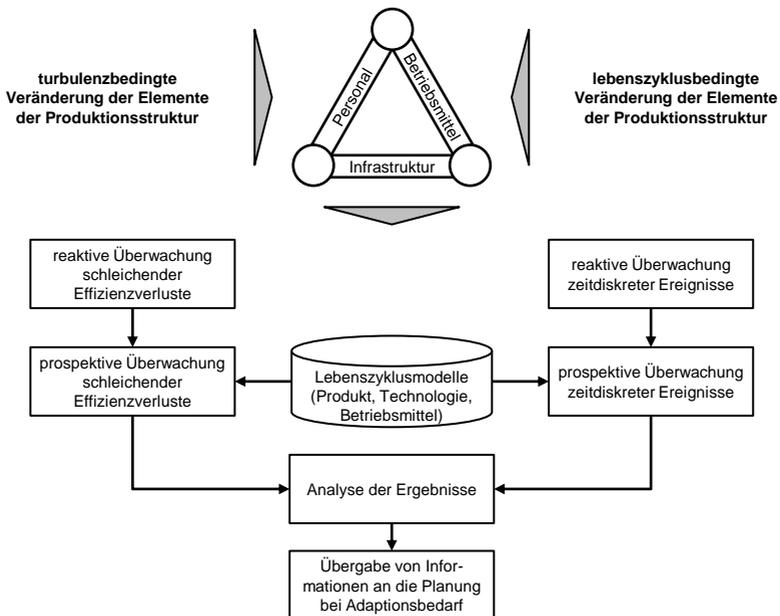


Abbildung 29: Übersicht des Schritts „Identifikation des Adaptionsbedarfs“

Schleichende Effizienzverluste treten aufgrund von Planungsunsicherheiten bei der Auslegung von Produktionsstrukturen auf. Zeitdiskrete Ereignisse, wie zum Beispiel die Neueinführung eines Produktes oder das Lebenszyklusende eines Elements der Produktionsstruktur, können ebenfalls zwingend eine Adaption der Produktionsstruktur erfordern. Beide Fälle führen zu einer Veränderung der Anzahl, Beschaffenheit, Anordnung oder Vernetzung von

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

---

Elementen der Produktionsstruktur. Zur Gewährleistung der Antizipations-, Adaption-, Reaktions- und Koordinationsfähigkeit von Unternehmen, dem Ziel des Produktionsstruktur-Controllings (vgl. Abschnitt 2.3.1), erfolgt die in der Arbeit entwickelte Überwachung der Produktionsstruktur zeitlich betrachtet sowohl reaktiv als auch prospektiv.

Die reaktive Betrachtung bezieht sich auf die Beobachtung und Kontrolle des Verlaufs von Gegenwarts- und Vergangenheitsdaten der Leistung des laufenden Produktionsbetriebs sowie aktuelle Ereignisse. Die prospektive Betrachtung hingegen prognostiziert die zukünftige Entwicklung, um einen möglichen Adaptionbedarf frühzeitig zu identifizieren. Die Prognose erfolgt unter Berücksichtigung der Lebenszyklusverläufe der hergestellten Produkte sowie der in der Produktion verwendeten Technologien und Betriebsmittel. Die Lebenszyklusverläufe der Elemente der Infrastruktur sowie des Personals werden hierbei aufgrund der Ergebnisse, der im Rahmen der Arbeit durchgeführten Experteninterviews, nicht herangezogen (vgl. Abschnitt 3.2.1).

Zur Identifikation des Adaptionbedarfs werden die Ergebnisse der Überwachung einzeln und in Kombination miteinander analysiert. Bei Adaptionbedarf der Produktionsstruktur werden der Planung die zur Ableitung von Strukturmaßnahmen notwendigen Informationen übergeben.

### 6.3.2 Überwachung schleichender Effizienzverluste

#### 6.3.2.1 Erhebung produktionsstrukturelevanter Kennzahlen

Schleichende Effizienzverluste treten aufgrund von Prognoseunsicherheiten bei der Erhebung relevanter Daten im Rahmen der Planung von Produktionsstrukturen, wie zum Beispiel den Stückzahlverläufen, sowie der sich über die Lebenszyklen der Elemente einer Produktionsstruktur verändernden Parameter auf. Um die dadurch entstehenden Ineffizienzen in der Produktion zeitgerecht zu identifizieren, werden strukturelevante Kennzahlen erhoben, auf die sich einerseits die durch die Rezeptoren wahrgenommenen Veränderungen auswirken und die andererseits die Erfüllung der Kundenanforderungen hinsichtlich Liefertreue, -zeit, Kosten und Qualität sicherstellen (vgl. Abschnitt 2.3.2). Darauf basierend wurden im Rahmen dieser Arbeit strukturelevante Kennzahlen definiert, die sowohl Indikatoren für einen möglichen turbulenz- bzw. lebenszyklusbedingten Adaptionbedarf sind als auch konkrete Informationen für notwendige Strukturmaßnahmen liefern. Diese sind:

- Liefertreue
- Durchlaufzeit
- Stückkosten

- Betriebsmittelauslastung
- Betriebsmittelverfügbarkeit
- Instandhaltungskosten

Kunden erwarten einen gewissen Lieferservice hinsichtlich Termin-, Mengen- und Produktqualität. Die Liefertreue ermöglicht in aggregierter Form eine Aussage darüber zu treffen und genießt daher bei vielen Unternehmen eine besondere Beachtung (VDI 4400-2 2004; MELZER-RIDINGER 2007). Im Rahmen dieser Arbeit wird auf eine Unterscheidung zwischen Liefertermin- und Liefermengentreue verzichtet, da Kunden in der Regel eine Abweichung der Liefermenge nicht akzeptieren. Die Abweichung kann als zu früh oder zu spät gelieferte Leistung interpretiert und gemessen werden. Die Liefertermin-treue kann somit der Liefertreue gleichgesetzt und nach VDI 4400-2 (2004) folgendermaßen definiert werden:

$$\text{Liefertreue} = \frac{\text{Anzahl liefertreuer Produktionsaufträge}}{\text{Anzahl Produktionsaufträge}} \times 100 \text{ in } \% \quad (6.1)$$

Liefertreue ist der Prozentsatz der termingerecht gefertigten Produktionsaufträge. Liefertreu sind alle Produktionsaufträge, die zum vorgegebenen Plantermin mit der geplanten Menge sowie der geforderten Qualität beendet wurden. Diese Definition beinhaltet keine Toleranz bezüglich der Termineinhaltung. Toleranzen hinsichtlich der Termineinhaltung können unternehmensspezifisch sinnvoll sein und bei Bedarf in Anlehnung an die Richtlinie VDI 4400-2 (2004) integriert werden.

Die Liefertreue kann durch die Streuung der Durchlaufzeit beeinflusst werden (MELZER-RIDINGER 2007; LÖDDING 2008), weshalb eine Überwachung dieser Kenngröße notwendig ist. Die Durchlaufzeit wird als Zeitdauer zwischen Auftragsfreigabe und Bearbeitungsende eines Auftrags definiert (WIENDAHL 1997) und setzt sich wie folgt zusammen (REFA 1991; ZÄPFEL 2001):

$$\text{Durchlaufzeit} = \text{Durchführungszeit} + \text{Übergangszeit} + \text{Zusatzzeit} \quad (6.2)$$

Die Durchführungszeit ist die Summe der Bearbeitungszeit und der Rüstzeit. Erstere ergibt sich wiederum aus der Stückzeit und der Losgröße. Die Übergangszeit setzt sich aus der Liegezeit vor und nach der Bearbeitung sowie der dazwischen liegenden Transportzeit zusammen. Zusatzzeiten beinhalten zusätzlich anfallende Tätigkeiten und störungsbedingte Unterbrechungen. Im Gegensatz zu Durchführungs- und Übergangszeiten sind Zusatzzeiten nicht planbar. (REFA 1991; ZÄPFEL 2001; VOLLMANN ET AL. 2005)

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

---

Die Durchlaufzeit wird vorwiegend durch Abweichungen der Rüstzeiten und der Übergangszeiten beeinflusst, da im Regelfall die Bearbeitungszeit als konstant angenommen werden kann, sofern diese aus Qualitäts- oder Altersgründen nicht bewusst verändert wird. Bei Annahme einer durch die Steuerungsstrategie der Produktion bereits optimierten Losgröße kann es bei einer höheren Belegung der Betriebsmitteln mit unterschiedlichen Produkten bzw. Varianten zu einem Anstieg der Rüstzeiten kommen. Übergangszeiten, die hauptsächlich für einen Anstieg der Durchlaufzeit verantwortlich sind, steigen vor allem durch Engpässe in der Produktion (CISEK 2005; MELZER-RIDINGER 2007), die zu einer Verlängerung der Liegezeiten vor und nach der Bearbeitung führen. Transportzeiten, die durch das Layout und die Transportmittel determiniert werden, schwanken bei gleich bleibendem Layout in der Regel kaum. Aus diesem Grund müssen Veränderungen der Durchlaufzeit immer in Kombination mit der Betriebsmittelauslastung und der Betriebsmittelverfügbarkeit interpretiert werden, um einen genauen Adaptionsbedarf identifizieren zu können.

Kosten stellen den wertmäßigen Verbrauch von Gütern und Leistungen dar (STEGER 2010). Sie können in variable und fixe Kosten gegliedert werden. Während die variablen Kosten sich proportional mit der Inanspruchnahme verändern, wird der fixe Anteil durch die Betriebsmittel bestimmt. Eine niedrigere Auslastung der Betriebsmittel erhöht somit den Fixkostenanteil pro Produkt und kann als Maß für nicht genutzte Kapazitäten interpretiert werden, welche nur durch eine Anpassung des Betriebsmittelportfolios verändert werden kann (CISEK 2005). Bei Annahme, dass im Rahmen der Produktionsprogrammplanung bereits Stückkosten definiert wurden, zu denen eine wirtschaftliche Produktion noch möglich ist, stellt die Kennzahl Stückkosten somit eine Möglichkeit dar, bei Abweichungen einen Adaptionsbedarf im Hinblick auf das Betriebsmittelportfolio abzuleiten. Stückkosten werden mit Hilfe des Kostenmodells wie folgt berechnet:

$$\text{Stückkosten} = \frac{\text{anfallende Produktionskosten}}{\text{produzierte Stückzahl}} \quad (6.3)$$

Die Analyse der Betriebsmittelauslastung in Kombination mit der Durchlaufzeit kann Hinweise auf Engpässe geben und somit zu möglichen Anpassungen der Produktionsstruktur führen. Eine niedrige Auslastung kann jedoch auch auf das Lebenszyklusende eines Betriebsmittels hindeuten. Aus diesem Grund erfolgt die Überwachung der Betriebsmittelauslastung in Anlehnung an PAWELLEK (2007) wie folgt:

$$\text{Betriebsmittelauslastung} = \frac{\text{tatsächliche Betriebsmittelnutzung}}{\text{verfügbare Betriebsmittelkapazität}} \quad (6.4)$$

Die Auslastung gibt das Verhältnis zwischen der tatsächlichen Nutzung des Betriebsmittels und der theoretisch verfügbaren Kapazität an. Für die Analyse der Produktionsstruktur werden hierbei die einzelnen Betriebsmittel zu relevanten Maschinen- und Handarbeitsplätzen zusammengefasst sowie die Transportmittel betrachtet. Die theoretisch verfügbare Kapazität eines Betriebsmittels kann dabei durch Bearbeitungs-, Rüst- oder unproduktive Zeiten in Anspruch genommen werden. Oftmals wird die Belegungszeit, die sich aus Bearbeitungs- und Rüstzeiten zusammensetzt (NEBL 2009), für die tatsächliche Nutzung herangezogen. Um eine Analyse der Produktionsstruktur in Kombination mit den Stückkosten zu gewährleisten, darf jedoch nur die Summe der Bearbeitungszeiten für die tatsächliche Nutzung verwendet werden. Grund dafür ist die Erhöhung der Rüstzeit bei steigendem Produkt- bzw. Variantemix, die so zu einer höheren Auslastung und fälschlicherweise zu sinkenden Stückkosten führen würde (CISEK 2005). Unproduktive Zeiten wie personalbedingte Stillstände oder Betriebsmittelstörungen limitieren die Auslastung, da sie mögliche für die Bearbeitung nutzbare Zeitanteile der theoretischen Kapazität in Anspruch nehmen.

Die Nutzungsdauer von Betriebsmitteln ist von technischen bzw. wirtschaftlichen Aspekten bestimmt (MÄNNEL 1988) (vgl. Abschnitt 3.2.4). Technische Gründe können die Nichterfüllung produkt- oder prozessbedingter Anforderungen sein. Diese basieren meist auf Veränderungen des Produktportfolios bzw. des Produktionsprogramms. Verschleiß, Instandhaltungskosten, Verfügbarkeit, Leistungsfähigkeit und alternative Betriebsmittel sind Faktoren, die die Wirtschaftlichkeit eines Betriebsmittels beeinflussen und bei Entscheidungen über die Ausmusterung bzw. den Ersatz eines Betriebsmittels zu berücksichtigen sind (NEBL 2009). Die Überwachung der Durchlaufzeit, der Stückkosten bzw. der Betriebsmittelauslastung liefert bereits erste Hinweise hinsichtlich des Bedarfs, das Betriebsmittelpportfolio eines Unternehmens zu verändern. Eine detaillierte Interpretation der Ergebnisse ist jedoch nur in Kombination mit einer Überprüfung der Betriebsmittelverfügbarkeit und der damit in Zusammenhang stehenden Instandhaltungskosten sinnvoll, da diese Kennzahlen die Betriebsmittelauslastung und die Stückkosten beeinflussen.

Unternehmen sind bestrebt die Produktivität der Betriebsmittel zu maximieren (SIHN & SPECHT 1999). Dieses Maximum kann nur bei maximaler Betriebsmittelauslastung erzielt werden. Da die Auslastung, wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, durch personalbedingte Stillstände und Betriebsmittelstörungen limitiert wird, ist es sinnvoll die tatsächliche Verfügbarkeit zu überwachen. Diese definiert sich nach VDI 4004-4 (1986) und DIN EN 61703 (2002) unter Verwendung der Kenngrößen für die mittlere Betriebsdauer zwischen zwei Ausfällen (MTBF – „Mean Time Between Failures“) sowie der mittleren Störungsdauer (MDT – „Mean Down Time“) folgendermaßen:

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \quad (6.5)$$

Um eine Maximierung der Verfügbarkeit zu gewährleisten, ist unter anderem die Erhöhung der Zuverlässigkeit bzw. der hiermit gleichzusetzenden MTBF (SIHN & SPECHT 1999) notwendig, die von der Ausfallrate  $\lambda$  eines Betriebsmittels bzw. Systems wie folgt abhängt (DIN EN 61703 2002):

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (6.6)$$

Nach MAUDERER (1998) und ALCALDE RASCH (2000) ist eine Verringerung der Ausfallrate nur durch einen dementsprechenden Mehraufwand in der Instandhaltung zu realisieren, der sich wiederum in den Stückkosten niederschlägt. Aus diesem Grund bietet die Betrachtung der Instandhaltungskosten eine gute Basis für die Entscheidungsfindung über die wirtschaftliche Ausmusterung bzw. den Ersatz eines Betriebsmittels. Instandhaltungskosten fallen, wie in Abschnitt 3.2.4 beschrieben, proportional und progressiv zur Auslastung über die Zeit an (SCHLOTTMANN & SCHNEGAS 2002). Die Ermittlung der durchschnittlichen Instandhaltungskosten erfolgt auf Basis der Betriebsmittelnutzung, wodurch sichergestellt wird, dass das Produktionsvolumen, das den Verschleiß der Betriebsmittel bestimmt und somit auch wesentlichen Einfluss auf die Instandhaltungskosten hat, mit in die Überwachung eingeht (SIHN & SPECHT 1999). Zur Berechnung werden die im Überwachungszeitraum angefallenen Instandhaltungskosten pro Betriebsmittel bzw. Arbeitsplatz ermittelt und ins Verhältnis zur tatsächlichen Betriebsmittelnutzung gesetzt:

$$\varnothing \text{ Instandhaltungskosten} = \frac{\text{angefallene Instandhaltungskosten}}{\text{tatsächliche Betriebsmittelnutzung}} \quad (6.7)$$

Sowohl die Entwicklung der durchschnittlichen Instandhaltungskosten als auch das Verhältnis der angefallenen Instandhaltungskosten zur Verfügbarkeit, das Hinweise für den für die Produktivität zu betreibenden Aufwand gibt, liefern Informationen, die für die wirtschaftliche Ausmusterung bzw. den Ersatz eines Betriebsmittels von Interesse sind.

### 6.3.2.2 Reaktive und prospektive Überwachung

Zur Identifikation eines möglichen Adaptionbedarfs wird ein Soll-Ist-Vergleich der Kennzahlen mit vorgegebenen Grenzwerten durchgeführt. Die Grenzwerte werden unternehmensspezifisch, basierend auf der von der Unternehmensleitung vorgegebenen Unternehmens- und Produktionsstrategie sowie den durch

### 6.3 Identifikation des Adaptionsbedarfs

die Rezeptoren wahrgenommenen Veränderungen des Unternehmensumfelds, definiert. Ziel ist die Überprüfung der Unter- bzw. Überschreitung vorgegebener Grenzwerte für die jeweiligen Kennzahlen unter Berücksichtigung der zeitlichen Dimension (vgl. Abbildung 30). Aus diesem Grund erfolgt die Überwachung sowohl reaktiv als auch prospektiv.

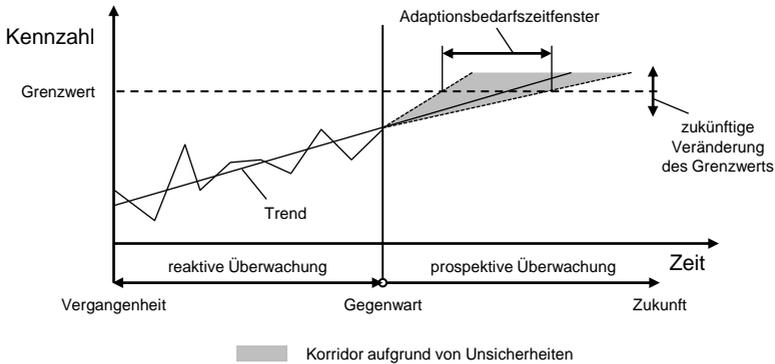


Abbildung 30: Reaktive und prospektive Überwachung der Kennzahlen

Die reaktive Überwachung bezieht sich auf die Beobachtung und Kontrolle des Verlaufs von Gegenwarts- und Vergangenheitswerten der in Abschnitt 6.3.2.1 beschriebenen Kennzahlen. Die prospektive Überwachung berücksichtigt die zeitliche Entwicklung dieser Kennzahlen sowie der jeweiligen Grenzwerte mit Ausnahme der Liefertreue und Durchlaufzeit, deren Prognose aufgrund der Vielfalt möglicher Einflussfaktoren keinen Mehrwert für die Identifikation des Adaptionsbedarfs bietet. Basis der prospektiven Überwachung bilden Produkt-, Technologie- und Betriebsmittellebenszyklen, deren Verläufe in direktem Zusammenhang zueinander und mit den Kennzahlen stehen (vgl. Abbildung 31), sowie statistische Verfahren zur Prognose<sup>16</sup> dieser und weiterer zu berücksichtigender Faktoren. Hierbei ist zu beachten, dass die Verfahren je nach Verlauf unterschiedlich geeignet sind und ex ante keines der Verfahren uneingeschränkt empfohlen werden kann (LOEPER 1995). Wichtig ist jedoch, dass dieselben Verfahren für die einzelnen Faktoren sowie die Lebenszyklen verwendet wer-

<sup>16</sup> Gängige Prognoseverfahren sind der gleitende Durchschnitt, die lineare Regression, die quadratische Regression, die Regression höheren Polynomgrades und die exponentielle Glättung (KETTNER ET AL. 1984; AGGTELEKY 1987; SCHWEITZER & KÜPPER 2003). Für weiterführende Details zu Prognoseverfahren wird an dieser Stelle beispielhaft auf HÜTTNER (1986), PFEIFER (2001) und MEISSNER (2004) verwiesen.

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

den, um bei positiver bzw. negativer Korrelation auf kausale Zusammenhänge schließen zu können (CISEK 2005).

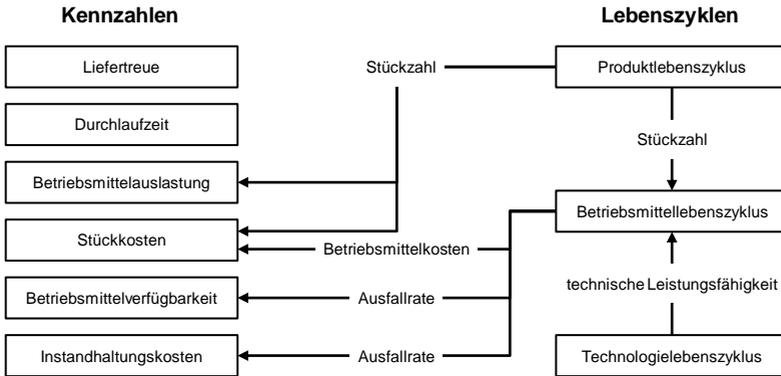


Abbildung 31: Zusammenhang zwischen strukturelevanten Kennzahlen und Lebenszyklen

Im Zuge der prospektiven Überwachung werden die Prognosen für die Verläufe der Lebenszyklen bzw. der zu berücksichtigenden Faktoren mit Unsicherheiten verknüpft, wodurch ein Korridor für den möglichen Verlauf der Kennzahlen aufgespannt wird. Die Zeitpunkte für die Über- bzw. Unterschreitung des definierten Grenzwertes der beiden Korridor Grenzen bilden den zeitlichen Rahmen bzw. das sogenannte Adaptionsbedarfszeitfenster. Dieses Zeitfenster stellt die Zeitspanne dar, in der bei isolierter Betrachtung der Kennzahl zukünftig der Bedarf zur Produktionsstrukturadaption besteht. Durch Analyse der Ursache hinsichtlich der Entwicklung der einzelnen Kennzahlen und Kombination der Ergebnisse dieser, kann ein tatsächlich bestehender Adaptionsbedarf sowie das durch Unsicherheiten aufgespannte Zeitfenster aufgrund schleichender Effizienzverluste festgestellt werden. Die hierbei erhaltenen Informationen werden als Eingangsdaten für die in Abschnitt 6.4 beschriebene Erstellung von Adaptionszenarien bereitgestellt.

### 6.3.2.3 Modellierung von Unsicherheiten

Die Modellierung der Unsicherheiten basiert auf dem in Abschnitt 5.5 beschriebenen Unsicherheitenmodell. An dieser Stelle wird ein Überblick über die Modellierung nach MÖLLER (2008), RIMPAU (2011) und KREBS (2012) gegeben und für weitere Details auf deren Arbeiten verwiesen.

### 6.3 Identifikation des Adaptionsbedarfs

Quantitative Unsicherheiten werden mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitstheorie modelliert. Durch eine Verteilungsfunktion  $F(x)$  wird der Raum für mögliche Funktionswerte einer Zufallsvariable  $x$  aufgespannt. Dieser Raum wird von den zugeordneten Wahrscheinlichkeiten  $p$  definiert. Der Wertebereich von  $F(x)$  ist auf das Intervall  $[0;1]$  beschränkt. Bei diskreten Zufallsvariablen entspricht der Wert der Verteilungsfunktion der Wahrscheinlichkeit. Für die Beschreibung der Wahrscheinlichkeiten stetiger Zufallsvariablen wird das Integral der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion verwendet (vgl. Abbildung 32). Um eine praxisnahe Modellierung sicherzustellen, kann es auch erforderlich sein, Grenzen für die Wahrscheinlichkeit zu setzen oder rechts- bzw. linksschiefe Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen zu nutzen (COTTIN & DÖHLER 2009; MEISSNER 2004).

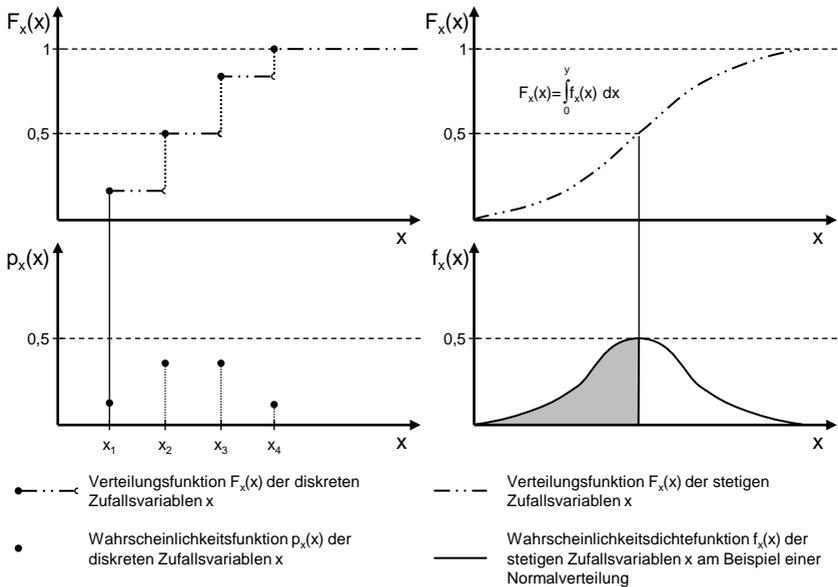


Abbildung 32: Modellierung einer quantitativen Unsicherheit (RIMPAU 2011, S. 69)

Eine Auflistung der in dieser Arbeit verwendeten Modellierungsarten für quantitative Unsicherheiten ist Abbildung 33 zu entnehmen. Für die mathematische Modellierung wird an dieser Stelle auf KREBS (2012) verwiesen.

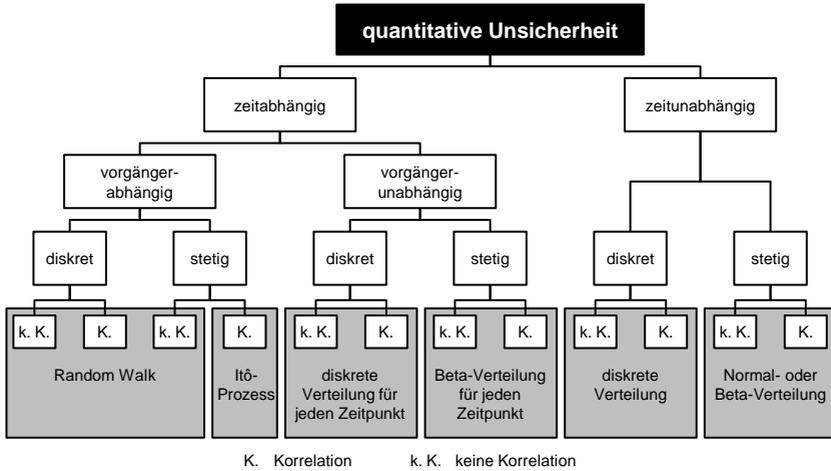


Abbildung 33: Modellierungsarten quantitativer Unsicherheiten (KREBS 2012, S. 68)

Zur Modellierung qualitativer Unsicherheiten wird die von ZADEH (1965) entwickelte Fuzzy-Set-Theorie herangezogen, die in den letzten Jahren immer mehr Einzug in die Produktionstechnik hält, wie die Studie von WONG & LAI (2011) zeigt. Die Fuzzy-Set-Theorie ermöglicht es unscharfe bzw. linguistische Begriffe mathematisch mit sogenannten Fuzzy-Mengen zu modellieren, wodurch umgangssprachliches Wissen technisch nutzbar gemacht wird (KEMPF 2004). Mit Hilfe der Fuzzy-Set-Theorie kann, im Gegensatz zur scharfen Mengenabgrenzung der klassischen Mengenlehre, eine fließende bzw. unscharfe Abgrenzung einer Mengenlehre vorgenommen werden (ZADEH 1965). Dies bedeutet, dass Elemente auch nur teilweise einer Menge angehören können (NAUCK ET AL. 1996). Mittels kontinuierlicher Zugehörigkeitsfunktion, deren exakte Definition Grundvoraussetzung ist (ZADEH 1973), werden sämtlichen Elementen einer Grundmenge  $\Omega$  ein bestimmter Zugehörigkeitswert  $\mu$  zugewiesen, der das Maß an Zugehörigkeit zu der Menge angibt (ROMMELFANGER & EICKEMEIER 2002):

$$\mu_M : \Omega \rightarrow [0, 1] \tag{6.8}$$

- $\mu_M$  Zugehörigkeitswert zur Menge  $M$
- $\Omega$  Grundmenge
- $M$  unscharfe Menge

## 6.3 Identifikation des Adaptionsbedarfs

Mit Hilfe der Fuzzy-Logik kann den definierten Zugehörigkeitsfunktionen ein scharfer Wert zugeordnet werden (STRIETZEL 1996). Bei zeitabhängigen qualitativen Unsicherheiten wird dieser scharfe Wert als Eingang für den zeitlich nachfolgenden Schritt verwendet. Das dadurch entstehende dynamische System wird als rekurrentes Fuzzy-System bezeichnet (DIEPOLD & LOHMANN 2010). Eine Auflistung der in dieser Arbeit verwendeten Modellierungsarten für qualitative Unsicherheiten ist Abbildung 34 zu entnehmen. Für die mathematische Modellierung wird an dieser Stelle auf KREBS (2012) verwiesen.

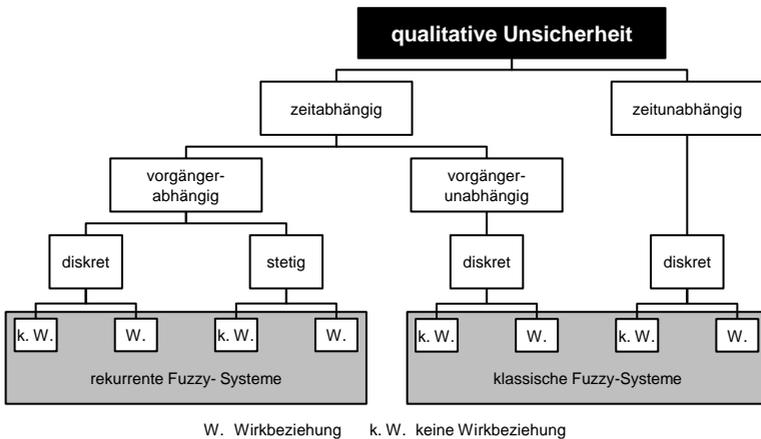


Abbildung 34: Modellierungsarten qualitativer Unsicherheit (KREBS 2012, S. 74)

### 6.3.2.4 Modellierung des Produktlebenszyklus

Der Produktlebenszyklus wird quantitativ als Verlauf der Stückzahl über die Zeit modelliert (vgl. Abbildung 36), da der Bedarf zur Adaption von Produktionsstrukturen oftmals mit Änderungen der Stückzahl korreliert. So können Engpässe in der Produktion, die zur Senkung der Liefertreue führen, durch steigende Stückzahlen bedingt sein (CISEK 2005) und Instandhaltungskosten durch die erhöhte Beanspruchung schneller steigen (SCHLOTTMANN & SCHNEGAS 2002).

Zur Modellierung des Produktlebenszyklus wird der idealtypische Verlauf herangezogen, der mathematisch mit folgender Funktion beschrieben werden kann (HOMBURG 2000):

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

$$S(t) = a \cdot t^b \cdot e^{-ct} \quad (6.9)$$

$S(t)$  produzierte Stückzahl in Abhängigkeit der Zeit  $t$   
 $a, b, c$  Modellparameter ( $a > 0, b > 1, c > 0$ )

Während der Faktor  $a$  die absolute Höhe der produzierten Stückzahl beeinflusst, reflektiert der Faktor  $t^b$  den Wachstum über die Dauer des Produktlebenszyklus und führt zum anfänglichen Anstieg der Kurve.  $e^{-ct}$  hingegen spiegelt die Sättigung über die Zeit wider und ist für den Abfall der Kurve verantwortlich. Für die Modellierung sind der Parameter  $a$  und der Quotient der Parameter  $b/c$  entscheidend. Durch Variation des Parameters  $a$  kann die Funktion in vertikaler Richtung gestreckt bzw. gestaucht werden. Veränderungen des Quotienten bewirken eine Verschiebung der Maximumsstelle und führen zu einer Streckung bzw. Stauchung in horizontaler Richtung (vgl. Abbildung 35). Der Parameter  $t$  entspricht bei der Modellierung der Anzahl an Betrachtungsperioden über den Produktlebenszyklus. (HOMBURG 2012)

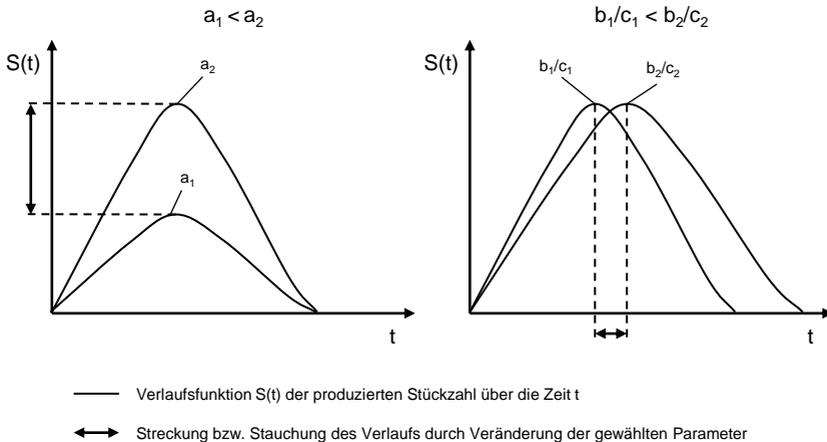


Abbildung 35: Stauchung bzw. Streckung der Stückzahlverläufe durch Veränderung der Parameter (HOMBURG 2000, S. 99)

Die für die Modellierung der Produktlebenszyklen zu verwendenden Parameter werden auf Basis von Vergangenheitsdaten der Stückzahlverläufe des Produkts bzw. bei neuen Produkten auf Basis der Stückzahlverläufe ähnlicher Produkte



## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

Modellierung von Produkt-, Technologie- und Betriebsmittellebenszyklen sowie die Bewertung zu definieren.

### 6.3.2.5 Modellierung des Technologielebenszyklus

Der Entwicklungsstand einer Technologie hat sowohl auf die Kosten und die Effizienz von Prozessen als auch auf das Anwendungsspektrum einer Technologie erheblichen Einfluss und bietet dadurch Möglichkeiten zur Differenzierung im Wettbewerb (SOMMERLATTE & DESCHAMPS 1986; BUCHHOLZ 2009). Die Modellierung des Technologielebenszyklus als Verlauf des Wettbewerbspotentials einer Technologie erfolgt einerseits zur Abschätzung von Unsicherheiten der Betriebsmittelkosten und andererseits zur Informationsbereitstellung für die Erstellung von Planungsalternativen bei der Ableitung von Strukturmaßnahmen (vgl. Abbildung 37).

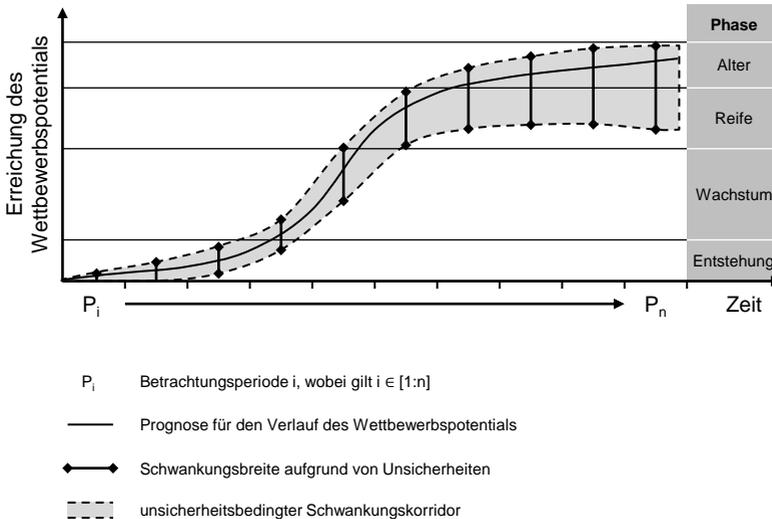


Abbildung 37: Exemplarisch modellierter Technologielebenszyklus

Zur Bestimmung des Grades der Erreichung des Wettbewerbspotentials werden die von SOMMERLATTE & DESCHAMPS (1986) zur Verfügung gestellten Indikatoren verwendet (vgl. Abschnitt 3.2.3). Durch Analyse der aktuellen Ausprägung der Indikatoren sowie einer Einschätzung der zukünftigen Entwicklung in den einzelnen Betrachtungsperioden durch unternehmensinterne und -externe Experten erfolgt die Einordnung der Technologie in die Phase

Entstehung, Wachstum, Reife bzw. Alter sowie eine Abschätzung des erreichten Wettbewerbspotentials und dessen zu erwartenden zukünftigen Verlaufs. Hierbei sind auch mögliche Unsicherheiten zu betrachten und in die Modellierung zu integrieren (vgl. Abbildung 37).

### 6.3.2.6 Modellierung des Betriebsmittellebenszyklus

Die Modellierung des Betriebsmittellebenszyklus erfolgt, wie in Abschnitt 3.2.4 beschrieben, sowohl über die Ausfallrate als auch über die in den einzelnen Phasen des Zyklus anfallenden Kosten. Da die mit den über den Betriebsmittellebenszyklus anfallenden Instandhaltungskosten sowie die Verfügbarkeit eines Betriebsmittels in direktem Zusammenhang mit der Ausfallrate stehen, wird der Betriebsmittellebenszyklus zuerst mit dem Verlauf der Ausfallrate über die Zeit modelliert (vgl. Abbildung 38). Mathematisch lässt sich der durch die Badewannenkurve charakterisierte Verlauf mit Hilfe der Weibullverteilung, welche die am häufigsten verwendete Wahrscheinlichkeitsverteilung zur Analyse von Lebensdauerdaten ist, wie folgt beschreiben (DIN EN 61649 2009; DIETRICH & SCHULZE 2009):

$$\lambda(t) = \eta \cdot \beta \cdot (\eta \cdot t)^{\beta-1} \quad (6.10)$$

$\lambda(t)$	Ausfallrate in Abhängigkeit der Zeit $t$
$\beta$	Formparameter ( $\beta \geq 0$ )
$\eta$	charakteristische Lebensdauer oder Skalierungsparameter ( $\eta > 0$ )

Der Formparameter  $\beta$  zeigt hierbei die Änderungsgeschwindigkeit der momentanen Ausfallrate über der Zeit an (Frühausfallphase:  $\beta < 1$ , Zufallsausfallsphase:  $\beta = 1$ , Verschleißphase:  $\beta > 1$ ). Sowohl der Skalierungs- als auch der Formparameter werden auf Basis von Vergangenheitsdaten vergleichbarer Betriebsmittel mit Hilfe der Maximum-Likelihood-Methode geschätzt, welche gegenwärtig die am weitesten verbreitete Technik diesbezüglich ist (DIN EN 61649 2009). Für weiterführende Details wird auf ZINNIKER (2007) verwiesen. Da Schätzungen mit Unsicherheiten verbunden sind, werden diese ebenfalls integriert, wodurch ein sogenannter Schwankungskorridor aufgespannt wird, in dem sich die Ausfallrate bewegt.

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

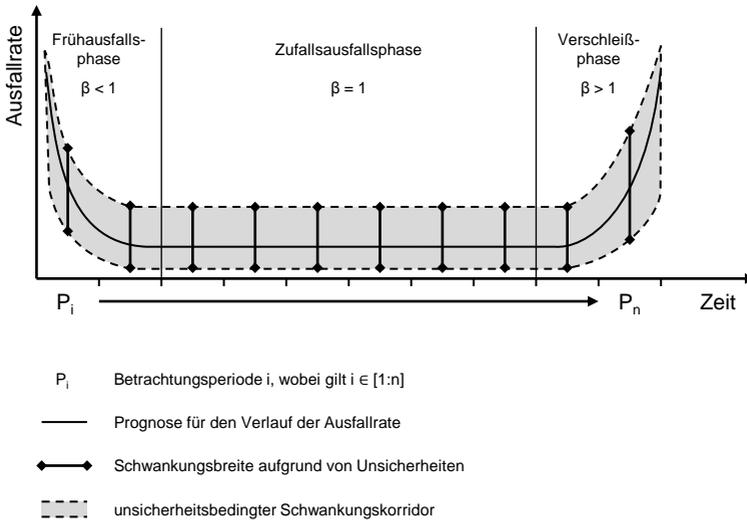


Abbildung 38: Beispielhaft modellierte Ausfallrate eines Betriebsmittels

Für die Modellierung des Betriebsmittellebenszyklus über die anfallenden Kosten müssen die je Phase relevanten einmalig bzw. regelmäßig anfallenden Kosten erhoben werden. Die Auflistung der Kosten in der Richtlinie VDI 2884 (2005) ermöglicht diesbezüglich für alle Phasen ein systematisches Vorgehen. Des Weiteren ist für die während der Nutzung anfallenden Kosten eine Differenzierung zwischen Fixkosten, proportional steigenden, variablen Kosten sowie progressiv steigenden, variablen Kosten durchzuführen (vgl. Abbildung 39). Die während der Nutzung anfallenden Kosten werden dann in Anlehnung an EICHLER (1990) mit folgender Funktion beschrieben:

$$K(t) = A(t) + B \cdot S(t) + C(t) \cdot S(t) \quad (6.11)$$

- $K(t)$  Kostenfunktion in Abhängigkeit der Zeit  $t$   
 $A(t)$  Fixkosten in Abhängigkeit der Zeit  $t$   
 $B$  proportional steigende, variable Kosten/Stück  
 $C(t)$  progressiv steigende, variable Kosten/Stück  
 in Abhängigkeit der Zeit  $t$   
 $S(t)$  produzierte Stückzahl in Abhängigkeit der Zeit  $t$

### 6.3 Identifikation des Adaptionsbedarfs

Die auf dem Betriebsmittel zu produzierenden Stückzahlen sind den Produktlebenszyklen zu entnehmen (vgl. Abschnitt 6.3.2.4). Die Höhe der proportional sowie progressiv steigenden, variablen Kosten sind betriebsmittelspezifisch statistisch auf Basis historischer Erfahrungswerte und Herstellerangaben zu ermitteln. Hierbei ist zu beachten, dass die proportional anfallenden Instandhaltungskosten mit der zuvor modellierten Ausfallrate korrelieren.

Da sich durch Lerneffekte die Kosten über die Laufzeit verringern und somit das Ergebnis der monetären Bewertung beeinflussen, besteht die Notwendigkeit, diese Effekte in die Entwicklung der Betriebsmittelkosten zu integrieren. Lerneffekte ergeben sich durch die Wiederholung von Arbeitsgängen (HANSMANN 2006). Mit zunehmender kumulierter Produktion und Erfahrung kommt es zu einer Verkürzung der Fertigungszeiten, zu Qualitäts- sowie Produktivitätssteigerungen (WRIGHT 1936; BREIT 1985). Bei einer Verdoppelung der kumulierten Stückzahl sinken die Kosten mit einer konstanten spezifischen Rate (YELLE 1979). Davon sind sowohl die fixen als auch die variablen Kosten betroffen (HANSMANN 2006). Somit ergibt sich, unter Berücksichtigung der von YELLE (1979) definierten mathematischen Funktion für Lernkurven, folgende Funktion für die Lebenszykluskosten unter Berücksichtigung von Lernkurveneffekten:

$$K_L(t) = A_{OL}(t) + B_{OL} \cdot S(t) + C_{OL}(t) \cdot S(t) + (A_L(t) + B_L \cdot S(t) + C_L(t) \cdot S(t)) \cdot \left(\frac{L}{100}\right)^{\log_2\left(\frac{\int_0^t S(t)}{S_0}\right)} \quad (6.12)$$

- $K_L(t)$  Kostenfunktion mit Lernkurveneffekt in Abhängigkeit der Zeit  $t$
- $A_{OL}(t)$  Fixkosten ohne Lernkurveneffekt in Abhängigkeit der Zeit  $t$
- $B_{OL}$  proportional steigende, variable Kosten/Stück ohne Lernkurveneffekt
- $C_{OL}(t)$  progressiv steigende, variable Kosten/Stück ohne Lernkurveneffekt in Abhängigkeit der Zeit  $t$
- $A_L(t)$  Fixkosten mit Lernkurveneffekt in Abhängigkeit der Zeit  $t$
- $B_L$  proportional steigende, variable Kosten/Stück mit Lernkurveneffekt
- $C_L(t)$  progressiv steigende, variable Kosten/Stück mit Lernkurveneffekt in Abhängigkeit der Zeit  $t$
- $S(t)$  produzierte Stückzahl in Abhängigkeit der Zeit  $t$
- $S_0$  produzierte Stückzahl zu Beginn
- $L$  Lernrate in Prozent

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

Die Lernrate ist unternehmensspezifisch durch Expertenschätzungen sowie Analysen von Vergangenheitsdaten<sup>18</sup> festzulegen und kann der Empirie nach, je nach Branche und Ausgestaltung der Produktionsstruktur, zwischen 70 und 100% liegen (HANSMANN 2006).

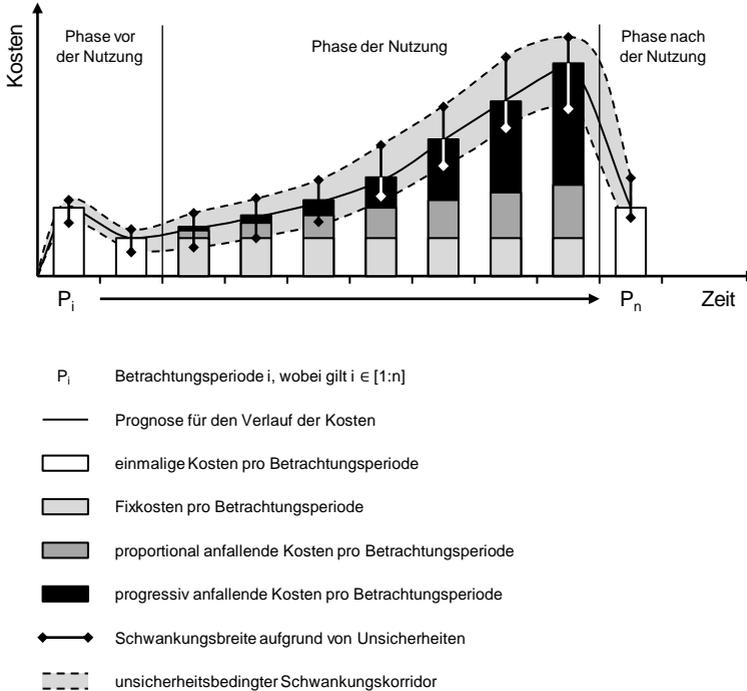


Abbildung 39: Exemplarisch modellierte Lebenszykluskosten eines Betriebsmittels

Da die Lebenszykluskostenrechnung stark von Annahmen und Schätzungen zukünftiger Werte abhängt (WOODWARD 1997), werden analog zur Modellierung des Produkt- und Technologielebenszyklus auch beim Betriebsmittellebenszyklus Unsicherheiten hinsichtlich der auftretenden Kosten und Lerneffekte berücksichtigt. Die Festlegung der Unsicherheiten erfolgt durch Expertenschätzung auf Basis von Herstellerangaben zu den Betriebsmitteln, Vergangenheitsdaten

<sup>18</sup> Zur Festlegung der Lernrate wird an dieser Stelle auf das Vorgehen nach EVERSHEIM (1997) verwiesen.

von aktuell im Unternehmen genutzter ähnlicher Betriebsmittel sowie der zu den jeweiligen Zeitpunkten erreichten Phase im Technologielebenszyklus. Durch Integration von Unsicherheiten in die Berechnung der Lebenszykluskosten ergibt sich ein sogenannter Schwankungskorridor, der den Rahmen für die möglichen auftretenden Kosten vorgibt.

### 6.3.3 Überwachung interner und externer zeitdiskreter Ereignisse

Die Interpretation der Informationen bzw. Ergebnisse der Kennzahlenüberwachung muss in Kombination mit internen und externen zeitdiskret auftretenden Ereignissen erfolgen, um mögliche Zusammenhänge zu identifizieren und somit umfassende Informationen an die Planung zu liefern. Unter zeitdiskreten Ereignissen werden sowohl unvorhersehbare als auch vorhersehbare Vorkommnisse bzw. Entscheidungen verstanden. Unvorhersehbare Ereignisse können nur reaktiv erfasst werden wohingegen Vorhersehbare bei der prospektiven Überwachung identifiziert werden. In beiden Fällen ist ein intensiver Informationsaustausch der einzelnen Funktionsbereiche eines Unternehmens Grundvoraussetzung. Zeitdiskrete Ereignisse müssen bei Eintreten bzw. bei Kenntnisnahme hinsichtlich ihres Einflusses auf die Produktionsstruktur analysiert werden und führen gegebenenfalls zu einer Adaption der Struktur. Beispiele dafür sind

- die Einführung neuer bzw. der Wegfall alter Produkte,
- Technologiesprünge,
- die Erweiterung der Produktionsfläche,
- demographiebedingte Veränderungen des Personals,
- Produktionsverlagerungen,
- der Eintritt neuer Wettbewerber in den Markt oder
- das Inkrafttreten neuer Gesetze und Richtlinien.

Die prospektive Überwachung zeitdiskreter Ereignisse ist nur bedingt möglich. Für die Überwachung von zukünftigen Veränderungen des Produkt- und Technologieportfolios können jedoch lebenszyklusorientierte Methoden genutzt werden. Zur zeitgerechten Identifikation von Veränderungen im Produktportfolio kann die Boston Consulting Group-Matrix (BCG-Matrix) sowie die Hofer Produkt/Markt-Evolutions-Matrix verwendet werden, die Aussagen über die Lebenszyklusphasen der Produkte sowie dem möglichen Ende des Produktlebenszyklus erlauben. Für nähere Details wird an dieser Stelle auf HOFER & SCHENDEL (1978), MCKIERNAN (1992), KOZAMI (2005), WHEELLEN & HUNGER (2008) und JOHNSON ET AL. (2011) verwiesen.

Die Überwachung des Technologieportfolios kann durch den Einsatz des Technologie- bzw. Technologiekettenkalenders erfolgen. Durch den Technologiekalender werden Einsatzmöglichkeiten neuer Fertigungstechnologien systematisch ermittelt und transparent dargestellt (EVERSHEIM ET AL. 1996). Er schafft einen Zusammenhang zwischen neu einzuführenden Produkten und Produktionskonzepten und wird auf Basis des künftigen Produktionsspektrums generiert (TSCHIRKY & KORUNA 1998; SCHRAFT ET AL. 1999; BRANDENBURG 2002). Eine Weiterentwicklung des Technologiekalenders stellt der Technologiekettenkalender dar, der diesen um technologiekettenspezifische Aspekte, wie Abhängigkeiten zwischen den Technologien sowie die Zyklizität in der Technologieevolution, erweitert (REINHART ET AL. 2009b, a; REINHART & SCHINDLER 2011). Für weitere Details wird an dieser Stelle auf EVERSHEIM ET AL. (1996) und REINHART & SCHINDLER (2011) verwiesen. Zur Sicherstellung einer unternehmensweit einheitlichen Überwachung des Produkt- und Technologieportfolios empfiehlt es sich, diese Methoden in enger Zusammenarbeit mit der Produktentwicklung sowie der Technologieplanung anzuwenden.

### 6.3.4 Ablauf der Identifikation des Adaptionsbedarfs

Grundlage der Identifikation des Adaptionsbedarfs ist die Definition von Grenzwerten und die permanente Überwachung der Kennzahlen hinsichtlich der Unterschreitung (Liefertreue, Verfügbarkeit) bzw. Überschreitung (Durchlaufzeit, Stückkosten, Auslastung, Instandhaltungskosten) dieser sowie die Beobachtung auftretender zeitdiskreter Ereignisse (vgl. Abbildung 40). Bis auf die Kennzahlen Liefertreue und Durchlaufzeit werden alle Kennzahlen sowohl reaktiv als auch prospektiv überwacht (vgl. Abschnitt 6.3.2.2). Bei Unter- bzw. Überschreitung des Grenzwertes einer Kennzahl werden je nach Kennzahl weiterführende Untersuchungen zur Analyse der Ursache durchgeführt.

Die Kennzahlen Liefertreue und Durchlaufzeit geben keinen direkten Hinweis auf notwendige Strukturmaßnahmen, stellen jedoch wichtige Indikatoren für die Erfüllung der Kundenanforderungen und somit den Bedarf von Adaptionen dar. Beide Kennzahlen sind von einer Vielzahl an Faktoren abhängig, weshalb Abweichungen nicht zwangsweise strukturbedingt sein müssen. Um mögliche strukturbedingte Gründe zu identifizieren, erfolgt bei Unter- bzw. Überschreitung der jeweiligen Kennzahl eine Überprüfung von Korrelationen mit der Auslastung und Verfügbarkeit sowie dem Stückzahlverlauf über die Produktlebenszyklen. Grund für die Berücksichtigung der Stückzahlverläufe ist, dass hohe Stückzahlen zu Engpässen in der Produktion und somit zu einer Reduktion der Liefertreue führen können. Abhängigkeiten bezüglich des Layouts, wie lange Transportzeiten aufgrund eines ungerichteten Materialflusses, sind für Abweichungen bei der Durchlaufzeit zu ermitteln. Zur detaillierten Untersuchung der Stückkosten werden strukturbedingte Kostentreiber analysiert

### 6.3 Identifikation des Adaptionbedarfs

sowie Zusammenhänge mit dem Stückzahlverlauf geprüft, da niedrigere Stückzahlen als geplant zu einer Unterauslastung führen und somit einen Anstieg der Stückkosten bewirken.

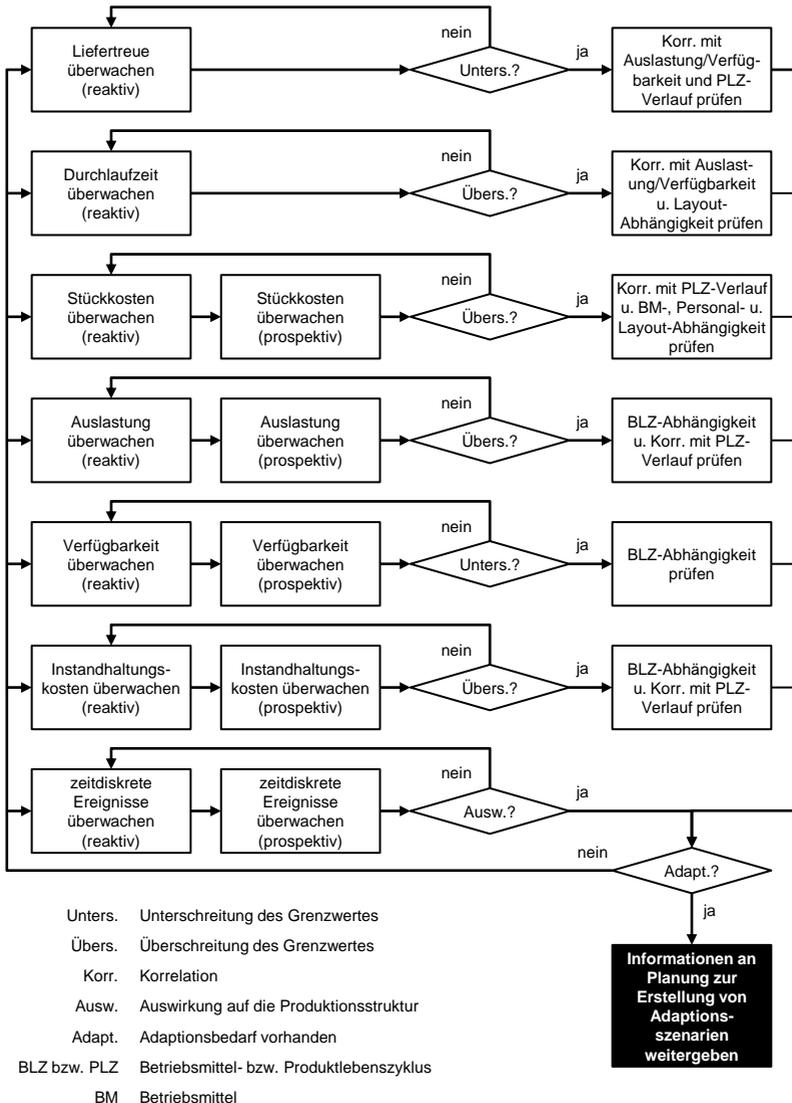


Abbildung 40: Ablauf der Identifikation des Adaptionbedarfs

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

---

Um Hinweise für notwendige Adaptionen der Produktionsstruktur auf Basis der Kennzahlen Auslastung, Verfügbarkeit und Instandhaltungskosten zu erhalten, werden die Lebenszyklen der betroffenen Betriebsmittel hinsichtlich eines möglichen Endes untersucht und zusätzlich mögliche Korrelationen mit dem Stückzahlverlauf analysiert.

Beim Auftreten von unvorhersehbaren als auch vorhersehbaren zeitdiskreten Ereignissen müssen diese hinsichtlich deren Auswirkungen auf die Produktionsstruktur analysiert werden. Sowohl die Informationen aus der Überwachung schleichender Effizienzverluste als auch die aus der Überwachung zeitdiskreter Ereignisse müssen in Kombination miteinander interpretiert werden, um einen tatsächlichen Bedarf zur Adaption der Produktionsstruktur zu identifizieren. Wichtiger Bestandteil bei der Interpretation der Informationen ist die zeitliche Dimension, da Anpassungen der Produktionsstruktur oftmals kostenintensiv sind und kurzfristige Unregelmäßigkeiten nicht zwingend Adaptionen auslösen. Bei Identifikation des Adaptionbedarfs werden sämtliche aus der Überwachung erhaltenen Informationen an die Planung zur Erstellung von Adaptionsszenarien übergeben.

### 6.4 Erstellung von Adaptionsszenarien

#### 6.4.1 Allgemeines und Vorgehen

Nach der Identifikation des Adaptionbedarfs erfolgt die Erstellung von Planungsalternativen und den dazugehörigen Adaptionsszenarien. Hierzu müssen die Informationen aus dem ersten Schritt der Methode analysiert und Restriktionen durch organisatorische Abhängigkeiten zwischen den Elementen der Produktionsstruktur und der zu produzierenden Produkte identifiziert werden (vgl. Abbildung 48). Basierend darauf werden Planungsalternativen mit unterschiedlich durchzuführenden Strukturmaßnahmen abgeleitet. Hierbei werden die sich aufgrund der Adaptionbedarfszeitfenster ergebenden zeitlichen Spielräume für die Durchführung der einzelnen Strukturmaßnahmen definiert. Die möglichen Kombinationen der durch die Zeitfenster definierten Durchführungszeitpunkte der einzelnen Strukturmaßnahmen entsprechen der Anzahl möglicher Adaptionsszenarien pro Planungsalternative.

Die Auswirkungen der einzelnen Szenarien auf das Kostenmodell müssen für die im nachfolgenden Schritt durchgeführte Bewertung beschrieben werden. Hierzu werden die für die Strukturmaßnahmen anfallenden Kosten unter Berücksichtigung von Synergieeffekten ermittelt und den Kostenbausteinen des Kostenmodells zugeordnet. Die Ermittlung der Kosten erfolgt mit Hilfe des Produktionsstrukturmodells sowie Expertenschätzungen aus den betroffenen

## 6.4 Erstellung von Adaptionsszenarien

Funktionsbereichen des Unternehmens. Des Weiteren müssen die Lebenszyklusverläufe der durch die Strukturmaßnahmen betroffenen Elemente der Produktionsstruktur angepasst werden, sofern diese hinsichtlich deren Länge oder Ausprägung beeinflusst werden. Die durch die Erstellung der Adaptionsszenarien erhaltenen bzw. aufbereiteten Daten und Informationen werden im Anschluss für die Bewertung bereitgestellt.

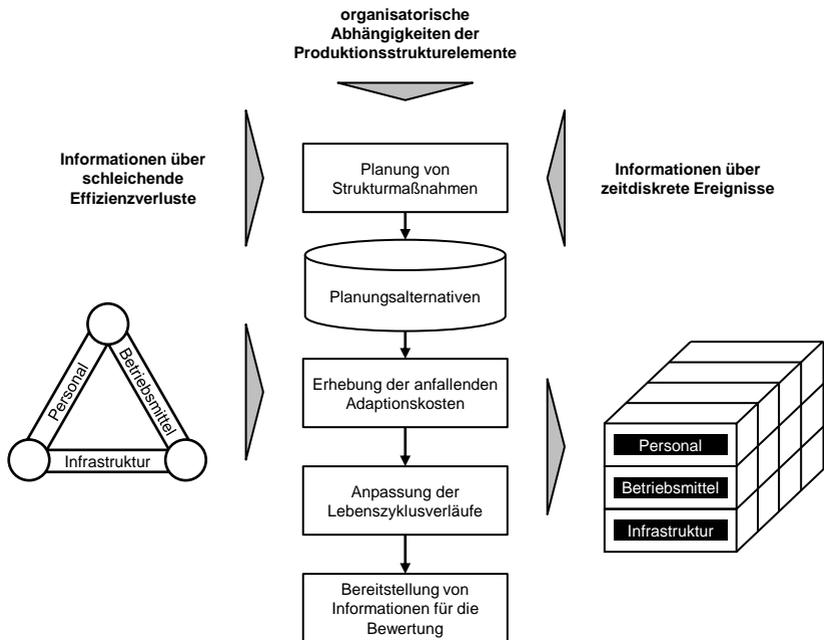


Abbildung 41: Übersicht des Schritts „Erstellung von Adaptionsszenarien“

### 6.4.2 Planung von Strukturmaßnahmen

Basierend auf den Informationen aus der für die Identifikation des Adaptionsbedarfs durchgeführten Überwachung der Produktionsstruktur, hat die Planung zum Ziel Strukturmaßnahmen abzuleiten, die zur mittel- bzw. langfristigen Erreichung bzw. Einhaltung der definierten Strukturkennzahlen bzw. Anforderungen zeitdiskreter Ereignisse führen. Hierzu werden die Strukturmaßnahmen nach ZÄH ET AL. (2004) um die Maßnahme „Position ändern“ ergänzt, um reine Änderungen der Position zum Beispiel zur Ausrichtung des Materialflusses zu berücksichtigen (vgl. Abbildung 42). Die abzuleitenden Strukturmaßnahmen sind auf ihre Durchführbarkeit hinsichtlich der Produktionsprozessabläufe bzw.

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

der technischen Realisierbarkeit zu prüfen und deren Umsetzung zeitlich auszuplanen. Hierzu sind vorhersehbare zeitdiskrete Ereignisse, organisatorische Abhängigkeiten zwischen den Elementen und zu produzierenden Produkten sowie Änderungen an der Infrastruktur und beim Personal zu berücksichtigen.

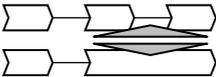
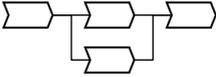
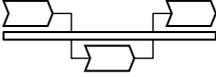
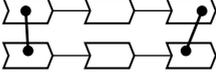
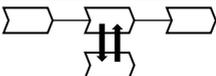
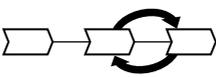
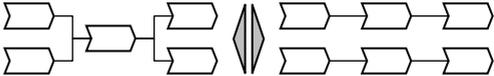
Strukturmaßnahmen	
integrieren/ modularisieren	
parallelisieren	
kooperieren	
verlagern	
eliminieren	
substituieren	
Reihenfolge ändern	
zentralisieren/ dezentralisieren	
neuer Prozess	
Position ändern	

Abbildung 42: Auflistung von Strukturmaßnahmen (in Anlehnung an ZÄH ET AL. (2004))

## 6.4 Erstellung von Adaptionsszenarien

Die organisatorischen Abhängigkeiten werden in produkt-, technologie- und betriebsmittelspezifische Abhängigkeiten untergliedert und in sogenannten Abhängigkeitsmatrizen, die der Planung zur Verfügung gestellt werden, visualisiert (vgl. Abbildung 43).

<b>produktspezifische Abhängigkeit</b>	<b>Bestand</b>	<b>Bestand</b>				<b>Neu</b>		
		Tech. A	Tech. B	Tech. C	...	Tech. X	Tech. Y	...
		Pro. A	X	X	X	X		
		Pro. B	X		X	X		
		Pro. C	X	X	OR (T. Y)		OR (T. C)	
	...							
	<b>Neu</b>	Pro. X	X		X	X		
		Pro. Y		OR (T. X)	X	X	OR (T. B)	
		...						
<b>technologiespezifische Abhängigkeit</b>	<b>Bestand</b>	<b>Bestand</b>				<b>Neu</b>		
		BM A	BM B	BM C	...	BM X	BM Y	...
		Pro. A	X	X	X	X		
		Pro. B	X		X	X		
		Pro. C		X		X		
	...							
	<b>Neu</b>	Pro. X	X		X	X		
		Pro. Y		X	X	X		
		...						
<b>betriebsmittelspezifische Abhängigkeit</b>	<b>Bestand</b>	<b>Bestand</b>				<b>Neu</b>		
		Tech. A	Tech. B	Tech. C	...	Tech. X	Tech. Y	...
		Tech. A	X	X				
		Tech. B			X			
		Tech. C				X		
	...							
	<b>Neu</b>	Tech. X						
		Tech. Y						
		...						
<b>betriebsmittelspezifische Abhängigkeit</b>	<b>Bestand</b>	<b>Bestand</b>				<b>Neu</b>		
		BM A	BM B	BM C	...	BM X	BM Y	...
		BM A	X					
		BM B			X			
		BM C				X		
	...							
	<b>Neu</b>	BM X						
		BM Y						
		...						

X benötigt (prozess-, produktmerkmals- oder systembedingt)      BM Betriebsmittel  
 OR oder      Pro. Produkt  
 E ersetzt      T., Tech. Technologie

Abbildung 43: Exemplarische Darstellung von Abhängigkeitsmatrizen

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

---

Die Abhängigkeiten werden durch Analyse der Schnittstellen im Produktionsstrukturmodell (vgl. Abschnitt 5.3) sowie mit Hilfe von Arbeitsplänen der zu produzierenden Produkte identifiziert und durch Verwendung von Logik-Verknüpfungen abgebildet. Der Operator  $X$  symbolisiert, dass ein Produkt bzw. ein Element der Produktionsstruktur ein anderes benötigt. Dies kann prozess-, produktmerkmals- oder systembedingt sein. Der Operator  $E$  stellt den Ersatz eines Produkts bzw. Elements für ein anderes dar und der Operator  $OR$  wird bei den produktspezifischen Abhängigkeitsmatrizen eingesetzt, um alternative Bearbeitungs- bzw. Prozessmöglichkeiten aufzuzeigen. Nach Abschluss der Planung müssen die Abhängigkeitsmatrizen für die bestehenden Elemente um die zukünftig produzierten Produkte bzw. genutzten Technologien und Betriebsmittel erweitert werden. Grund dafür ist Unterstützungsfunktion der Matrizen bei der Erfassung der in den Adaptionsszenarien anfallenden Kosten je Strukturmaßnahme.

Neben den Abhängigkeiten gilt es auch die zuvor identifizierten Adaptionbedarfszeitfenster für den anfallenden Adaptionbedarf in die Planung als Randbedingung zu integrieren, wodurch Zeitfenster definiert werden können, in denen die Strukturmaßnahmen frühestens bzw. spätestens durchzuführen sind. Eine detaillierte Beschreibung des Planungsvorgehens ist an dieser Stelle nicht zielführend, da es dem klassischen Vorgehen entspricht und die zur Verfügung gestellten Informationen lediglich zusätzliche Randbedingungen darstellen. Aus diesem Grund wird darauf verzichtet und auf die hierzu existierende Literatur verwiesen (KETTNER ET AL. 1984; AGGTELEKY 1987, 1990a, b; SCHMIGALLA 1995; GRUNDIG 2008; PAWELLEK 2008).

Ergebnis der Planung ist ein Gantt-Diagramm<sup>19</sup> pro Planungsalternative, das neben der Einführung neuer Produkte die Zeitfenster für die geplanten Strukturmaßnahmen über den Betrachtungszeitraum visualisiert (vgl. Abbildung 44). Hierbei ist zu beachten, dass die Dauer für Betriebsmittelanschaffungen sowie die Anlaufphase für neue Betriebsmittel berücksichtigt und mit den zuvor ermittelten Adaptionbedarfszeitfenstern abgestimmt werden. Des Weiteren werden Strukturmaßnahmen, die in prozess- oder systembedingter Abhängigkeit zueinander stehen und somit zeitgleich durchzuführen sind, zu sogenannten Strukturmaßnahmenbündel zusammengefasst. Dies dient zur Reduktion der Anzahl an Adaptionsszenarien und dem damit verbundenen Aufwand für die Erhebung der für die Bewertung notwendigen Daten.

---

<sup>19</sup> Das Gantt-Diagramm ist ein Werkzeug aus dem Projektmanagement, das die zeitliche Abfolge von Aktivitäten in Form von Balken über einer Zeitachse darstellt. Es dient zur übersichtlichen Visualisierung von Projektabläufen (CLARK 1922).

## 6.4 Erstellung von Adaptionszenarien

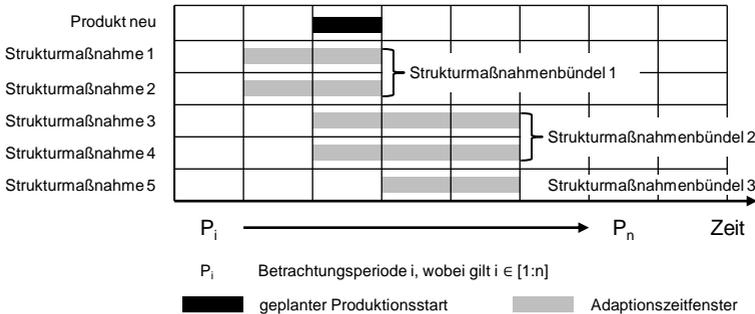


Abbildung 44: Exemplarische Darstellung eines Gantt-Diagramms als Ergebnis einer Planungsalternative von Strukturmaßnahmen

### 6.4.3 Erhebung anfallender Adaptionskosten

Zur Nutzbarmachung der Ergebnisse müssen die für die Strukturmaßnahmenbündel anfallenden Kosten berechnet werden. Hierzu sind die über den Betrachtungszeitraum zu den einzelnen Zeitpunkten anfallenden Kosten systematisch zu erfassen (vgl. Abbildung 45).

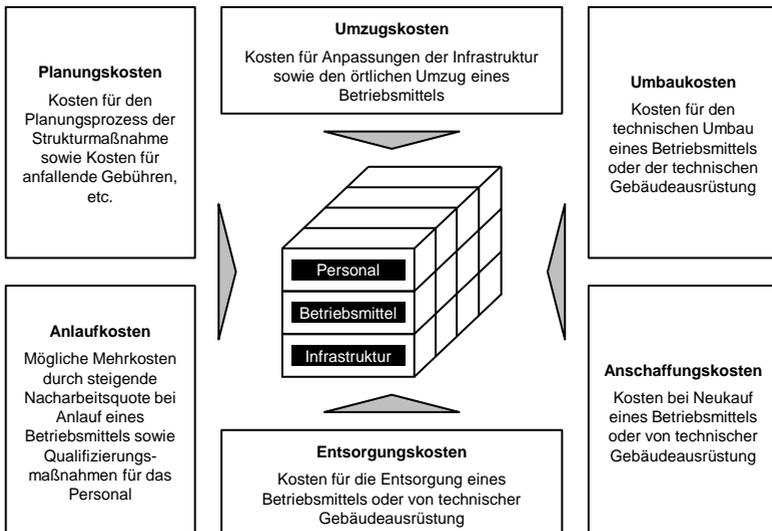


Abbildung 45: Kostengliederung zur Erhebung des Adaptionsaufwands

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

Die anfallenden Kosten werden in Planungs-, Umzugs-, Umbau-, Anschaffungs-, Entsorgungs- und Anlaufkosten untergliedert (BRIEKE 2009) und den einzelnen Kostenbausteinen des Kostenmodells zugeordnet. Ausgangszeitpunkt ist hierbei jeweils der frühest mögliche Zeitpunkt des Adaptionzeitfensters des Strukturmaßnahmenbündels. Planungskosten werden, sofern nicht direkt zu-rechenbar, über alle Strukturmaßnahmenbündel gleichverteilt umgelegt. Nach Bestimmung der für den frühest möglichen Zeitpunkt der Umsetzung eines Strukturmaßnahmenbündels anfallenden Kosten sind die damit verbundenen Unsicherheiten festzulegen. Hierbei müssen sowohl der Verlauf der Unsicherheiten über die Zeit als auch mögliche Änderungen der Unsicherheiten bei Durchführung des Strukturmaßnahmenbündels zu einem späteren Zeitpunkt definiert werden. Zweiteres betrifft vor allem Unsicherheiten bei den Anlaufkosten, die sich zum Beispiel durch Weiterentwicklungen von Technologien bzw. Betriebsmitteln innerhalb des angegebenen Zeitfensters verändern können. Die Ermittlung der Kosten erfolgt durch Experten aus der Planung unter Zuhilfenahme des Produktionsstrukturmodells, das beispielsweise Hinweise auf notwendige Schulungen oder Umbaumaßnahmen an der Infrastruktur liefert, und der Abhängigkeitsmatrizen, die Informationen hinsichtlich möglicher Folgekosten durch Adaptionen bereitstellen.

Aufgrund möglicher zeitlicher Überlappungen der Strukturmaßnahmenbündel können Synergieeffekte hinsichtlich der anfallenden Planungs-, Umzugs-, Umbau-, Anschaffungs-, Entsorgungs- oder Anlaufkosten entstehen, die wiederum zu Differenzen der Aufwände je Szenario führen können. Mögliche temporale Synergien sind durch Experten aus der Planung zu erfassen bzw. abzuschätzen und mit Hilfe von „Wenn..., dann...“-Regeln abzubilden (vgl. Abbildung 46).

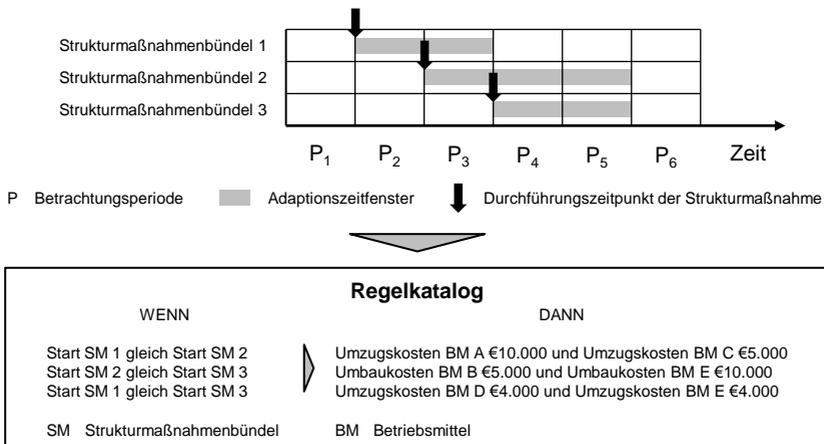


Abbildung 46: Exemplarische Darstellung eines Regelkatalogs

Synergien zwischen sich zeitlich nicht überlappenden Strukturmaßnahmenbündeln werden aufgrund der zeitlich zunehmenden Prognoseunsicherheiten sowie unvorhersehbarer zeitdiskreter Ereignisse und der damit verbundenen Möglichkeit von Fehlinvestitionen nicht berücksichtigt.

### 6.4.4 Anpassung der Lebenszyklusverläufe

Der Bedarf zur Produktionsstrukturadaption basiert auf Ineffizienzen innerhalb der Produktionsstruktur, dem Mangel an Kapazität sowie auf neuen Anforderungen hinsichtlich des zu erfüllenden Aufgabenspektrums. Dies impliziert, dass sich die davon abgeleiteten Strukturmaßnahmen auf die Lebenszyklen der betroffenen Elemente auswirken und zur Verlängerung bzw. Verkürzung des jeweiligen Lebenszyklus und/oder zur Erhöhung bzw. Verringerung der Ausprägung führen können. In direktem Zusammenhang damit steht der sich dadurch ergebende Einfluss auf das Bewertungsergebnis. Aus diesem Grund sind vor Durchführung der monetären Bewertung die Lebenszyklusverläufe der betroffenen Elemente hinsichtlich deren Anpassungsbedarfs zu prüfen und gegebenenfalls anzupassen (vgl. Abbildung 47).

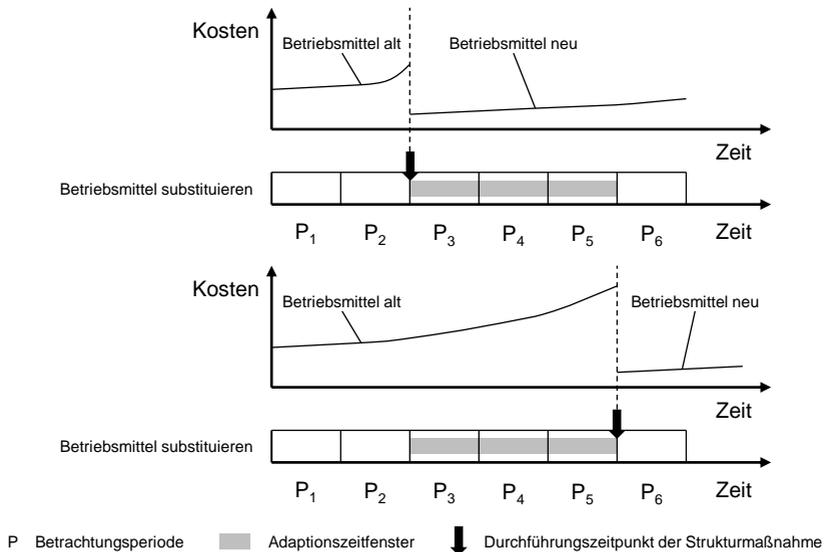


Abbildung 47: Exemplarisch Darstellung eines angepassten Betriebsmittellebenszyklus aufgrund unterschiedlicher Durchführungszeitpunkte der Strukturmaßnahme

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

---

Ebenso verhält es sich mit den Lebenszyklusverläufen der Produkte, die direkten Einfluss auf die Lebenszykluskosten der Betriebsmittel haben (vgl. Abschnitt 6.3.2.6). Diese können einerseits über die Zeit vom prognostizierten Verlauf abweichen, weshalb es zu schleichenden Effizienzverlusten kommen kann, und andererseits durch zeitdiskrete Ereignisse, wie den Eintritt eines neuen Wettbewerbers oder die Einführung eines neuen Produktes, beeinflusst werden.

Für die Lebenszyklen der Elemente sind die möglichen unterschiedlichen Zeitpunkte für die Durchführung von Strukturmaßnahmen zu berücksichtigen, wodurch bei Elimination bzw. Substitution von Elementen die Lebenszyklusverläufe der betroffenen Elemente bis zum jeweiligen Durchführungszeitpunkt anzupassen sind. Bei der Anpassung der Produktlebenszyklen hingegen sind die möglichen Zeitpunkte auftretender zeitdiskreter Ereignissen in die Anpassung zu integrieren. Bei Hinzukommen neuer Elemente bzw. Produkte, sind deren Lebenszyklen neu zu modellieren.

### 6.4.5 Ablauf der Erstellung von Adaptionsszenarien

Grundlage für die Erstellung der Adaptionsszenarien sind die von der Identifikation des Adaptionsbedarfs erhaltenen Informationen sowie die organisatorischen Abhängigkeiten der Produktionsstruktur, die es im ersten Schritt zu ermitteln gilt (vgl. Abbildung 48). Darauf basierend werden alternative Strukturmaßnahmen geplant, die der Erreichung und Einhaltung der von der Unternehmensleitung vorgegebenen Grenzwerte sowie der sich aufgrund zeitdiskreter Ereignisse ergebenden neuen Anforderungen an die Produktionsstruktur dienen. Maßnahmen, die sich prozess- oder systembedingt voraussetzen, werden zu Strukturmaßnahmenbündel zusammengefasst.

Die Ergebnisse der Planung werden mit Gantt-Diagrammen visualisiert, die neben den notwendigen Strukturmaßnahmenbündel auch deren möglichen Umsetzungszeiträume darstellen. Die Kombination der möglichen unterschiedlichen Zeitpunkte zur Umsetzung der einzelnen Strukturmaßnahmenbündel entsprechen der Anzahl möglicher Adaptionsszenarien pro Planungsalternative.

In einem nächsten Schritt werden die Adaptionskosten der einzelnen Szenarien ermittelt und deren Unsicherheiten definiert. Dies erfolgt auf Basis des Produktionsstrukturmodells, den Abhängigkeitsmatrizen sowie Einschätzungen von Experten aus der Planung. Anschließend werden die Kosten den entsprechenden Kostenbausteinen des Kostenmodells zugeordnet. Mögliche Synergieeffekte durch zeitliche Überlappungen der Strukturmaßnahmenbündel, die es in Form eines Regelkatalogs zu erfassen gilt, bilden das Ende der Erfassung der Adaptionskosten.

Zur Abbildung der Auswirkungen der einzelnen Strukturmaßnahmenbündel unter Berücksichtigung der Lebenszyklen werden die Lebenszyklusverläufe der durch die Maßnahmen betroffenen Elemente der Produktionsstruktur sowie der zu produzierenden Produkte angepasst. Abschließend werden die erhaltenen Kosten sowie die angepassten Lebenszyklusverläufe als Informationen für die monetäre Bewertung der einzelnen Adaptionsszenarien bereitgestellt.

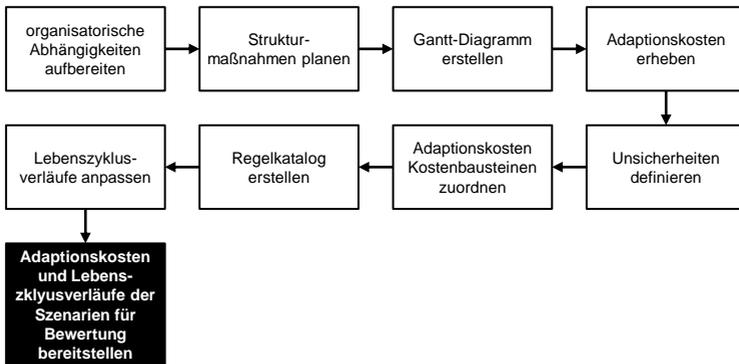


Abbildung 48: Ablauf der Erstellung von Adaptionsszenarien

## 6.5 Bewertung der Adaptionsszenarien

### 6.5.1 Allgemeines und Vorgehen

Zur Bewertung der in Abschnitt 6.4 erstellten Adaptionsszenarien müssen die im vorangegangenen Schritt erhobenen Daten und Informationen bzw. angepassten Lebenszyklusverläufe in das Kostenmodell eingepflegt und sämtliche Einflussfaktoren bei Bedarf mit Unsicherheiten verknüpft werden (vgl. Abbildung 49).

Nach Definition der Bewertungszielgrößen erhält man für diese durch numerische Simulation für jedes Adaptionsszenario eine Verteilung hinsichtlich des zu erwartenden Wertes. Die Simulationsergebnisse werden im darauf folgenden Schritt bezüglich der Erwartungswerte für die jeweilige Zielgröße und den damit verbundenen Risiken systematisch analysiert und interpretiert. Im Rahmen der Analyse und Interpretation erfolgt eine Auswahl der zur Erreichung der vorgegebenen Unternehmensziele besten Adaptionsszenarien sowie die Identifikation von Möglichkeiten zur Verbesserung der Planungsergebnisse.

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

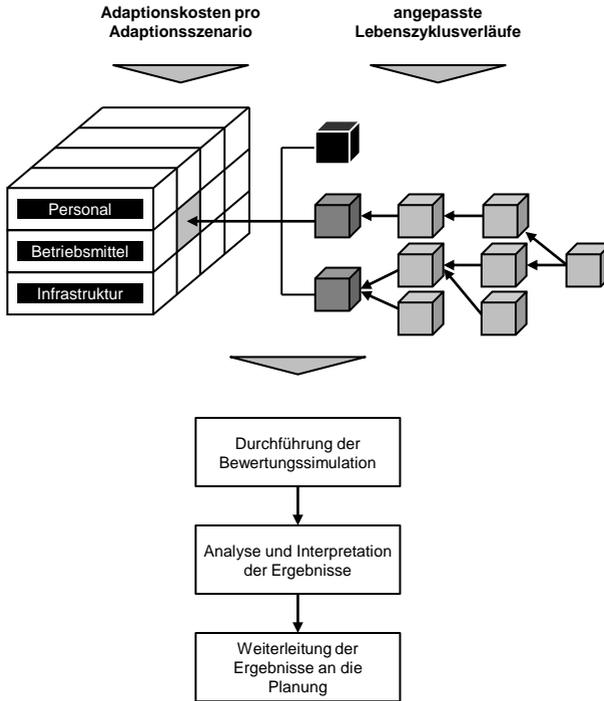


Abbildung 49: Übersicht des Schritts „Bewertung der Adaptionsszenarien“

### 6.5.2 Durchführung der Bewertungssimulation

Basis der Bewertung bildet die Integration der sich durch die Zeitfenster ergebenden Dynamik der Daten in das Kostenmodell (vgl. Abschnitt 5.4). Bevor die Bewertungssimulation durchgeführt werden kann, muss das Kostenmodell mit dem Unsicherheitenmodell verknüpft (vgl. Abschnitt 5.5) und zu betrachtende Zielgrößen sowie Zielwerte definiert werden. Unter Zielgröße wird hierbei eine Kenngröße verstanden, die für das Unternehmen einen hohen Stellenwert für die Wahl eines Adaptionsszenarios hat. Dies kann beispielsweise der Kapitalwert oder die Stückkosten sein. Der Zielwert hingegen beschreibt die Erwartung des Unternehmens hinsichtlich der Höhe des Werts der gewählten Zielgröße. Nach Definition der Zielgrößen und der Zielwerte erfolgt die Bewertung sowohl deterministisch als auch unsicherheitsbehaftet. Im Gegensatz zur deterministischen Bewertung liegt bei letzterer aufgrund der in die Simulation einfließenden Verteilungsfunktionen anstelle eines Ergebniswertes für die jeweilige Zielgröße

ein Ergebnishistogramm vor. Der aus der relativen Häufigkeitsverteilung angenäherten Verteilung lässt sich dann ein Erwartungswert zuordnen, der in der Regel jedoch nicht mit dem deterministisch berechneten Wert übereinstimmt (KORVES & KREBS 2008) (vgl. Abbildung 50).

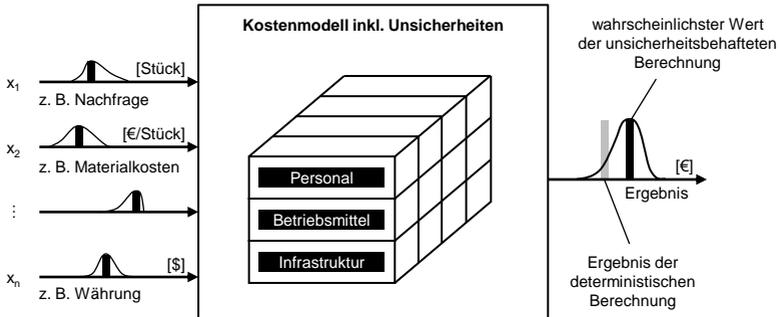


Abbildung 50: Abweichung der Erwartungswerte bei deterministischer und unsicherheitsbehafteter Bewertung (in Anlehnung an KORVES & KREBS (2008))

Zur Analyse der Ergebnisse werden mindestens zwei Zielgrößen aufgrund der Portfolioanalyse sowie beide Bewertungsvorgehen benötigt. Die Deterministische dient zur Konsistenzprüfung durch den Abgleich mit Vergleichsrechnungen, sofern diese dem Unternehmen vorliegen, sowie für Kostenstruktur- und Sensitivitätsanalysen zur Analyse der Faktoren mit dem größten Einfluss auf das Ergebnis bzw. das Risiko. Die Unsicherheitsbehaftete wird für eine umfassende Risikoanalyse genutzt.

Die deterministische Bewertung erfolgt analytisch unter Verwendung der Mittelwerte der unsicheren Faktoren. Die Unsicherheitsbehaftete hingegen wird numerisch mit Hilfe der Monte-Carlo-Simulation, welche sich für solche Bewertungen in den letzten Jahren durchgesetzt hat (DENK & EXNER-MERKELT 2005), berechnet<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> Die Nutzung der Monte-Carlo-Simulation stützt sich auf folgende Punkte:

- Geringe Komplexität verglichen mit analytischen Verfahren, wodurch die Akzeptanz in Unternehmen gesteigert wird (GLEISSNER & ROMEIKE 2005)
- Anwendbar auf beliebige Modelle (ERBEN ET AL. 2008)
- Einfache Wiederholung der Simulation bei Anpassung der Modelle (KREBS 2012)
- Möglichkeit zur Integration stochastischer Abhängigkeiten einzelner Parameter durch die Integration von Korrelationsfaktoren (GÖTZE 2006)

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

Bei der Monte-Carlo-Simulation werden  $n$  Berechnungen der Zielgröße durchgeführt, wobei bei jeder Berechnung ein Wert aus den als Wahrscheinlichkeitsverteilungen angegebenen Unsicherheiten gezogen und verrechnet wird (vgl. Abbildung 51).

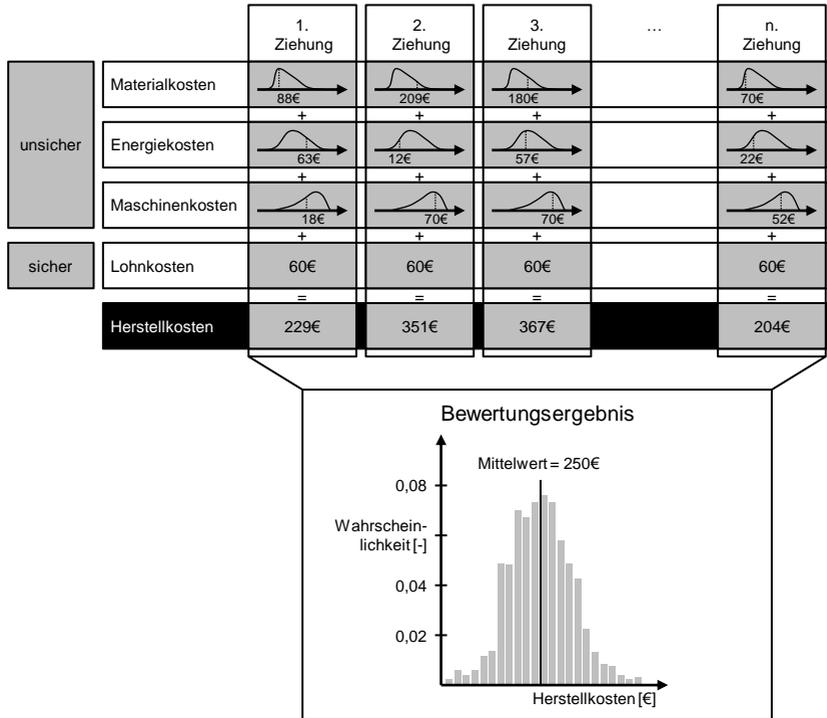


Abbildung 51: Exemplarische Anwendung der Monte-Carlo-Simulation anhand der Berechnung der Herstellkosten

Das Ergebnis der Bewertungssimulation für jedes Adaptionsszenario ist ein Histogramm<sup>21</sup> für die jeweilige Zielgröße, das sich nach  $n$  Berechnungen und  $n$  Ziehungen aus jeder Wahrscheinlichkeitsverteilung ergibt und womit das Gesamtrisiko identifiziert werden kann (DENK & EXNER-MERKELT 2005). Je

<sup>21</sup> Ein Histogramm ist die grafische Darstellung der relativen Häufigkeitsverteilung (STELAND 2010).

mehr die Anzahl der Ziehungen gegen unendlich strebt, desto mehr nähert sich das Ergebnis einer Wahrscheinlichkeitsverteilung an. Ebenso erhält man den Erwartungswert bzw. den Mittelwert  $\mu$ , der die absolute Größe des vorliegenden Wertes der Zielgröße angibt.

### 6.5.3 Analyse und Interpretation der Ergebnisse

Im Rahmen der Analyse und Interpretation werden sowohl die deterministisch berechneten Ergebnisse als auch die Unsicherheitsbehafteten herangezogen, um basierend darauf Verbesserungsvorschläge für die Adaptionsszenarien abzuleiten sowie eine Entscheidungsvorlage für das Unternehmen zu erstellen. Zur Gewährleistung einer fundierten Entscheidungsbasis werden zur Analyse Histogramm-Vergleich, Portfolio-, Kostenstruktur- und Sensitivitätsanalyse eingesetzt, die in den folgenden Abschnitten näher erläutert werden.

#### 6.5.3.1 Histogramm-Vergleich

Wie in Abschnitt 6.5.2 beschrieben, liegt als Ergebnis der Bewertungssimulation für jedes Adaptionsszenario ein Histogramm vor, aus dem sowohl der Erwartungs- bzw. Mittelwert  $\mu$  der Zielgröße als auch die Abweichung bzw. Standardabweichung<sup>22</sup>  $\sigma$  von diesem abgeleitet werden kann.

Die sich ergebenden Histogramme für eine Zielgröße können hinsichtlich der vom Unternehmen vorgegebenen Zielwerte verglichen werden. Abbildung 52 zeigt exemplarisch einen Vergleich von zwei Adaptionsszenarien mit unterschiedlichen Erwartungswerten und Standardabweichungen hinsichtlich eines Zielwerts, der mindestens vom Erwartungswert erreicht werden muss. Adaptionsszenario 2 hat diesbezüglich verglichen mit Adaptionsszenario 1 einen „besseren“ Erwartungswert. Durch die größere Standardabweichung birgt Adaptionsszenario 2 jedoch auch das Risiko, das Werte erreicht werden, die geringer sind als der Minimalwert von Adaptionsszenario 1.

Der Vergleich der kumulierten Wahrscheinlichkeit erlaubt eine Untersuchung hinsichtlich des Intervalls, in dem ein Adaptionsszenario einen bestimmten Wert der Zielgröße erreicht, wie zum Beispiel Adaptionsszenario 1 den Erwartungswert von Adaptionsszenario 2. Durch Festlegung eines maximal erlaubten Intervalls können dezidiert schlechtere Szenarien eliminiert werden. Die Grenze

---

<sup>22</sup> Ein Maß für die Abweichung vom Erwartungswert ist die Standardabweichung  $\sigma$  (KUNZE & SCHWEDT 2002; ECKEY ET AL. 2005). Sie quantifiziert das Ausmaß der Schwankung einer risikobehafteten Größe und kann als Risikomaß verwendet werden (GEBHARDT & MANSCH 2001; GLEISSNER & ROMEIKE 2005).

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

für das erlaubte Intervall ist hierbei unternehmensspezifisch auf Basis der Risikobereitschaft zu definieren. Risikoaffine Unternehmen wählen im Vergleich zu risikoaversen Unternehmen einen höheren Wert. Es empfiehlt sich jedoch eine Grenze von maximal  $\mu \pm 2\sigma$  zu wählen, da Werte außerhalb dieser Grenze statistisch oftmals als Ausreißer behandelt werden (STOYAN 1993; STORM 2007).

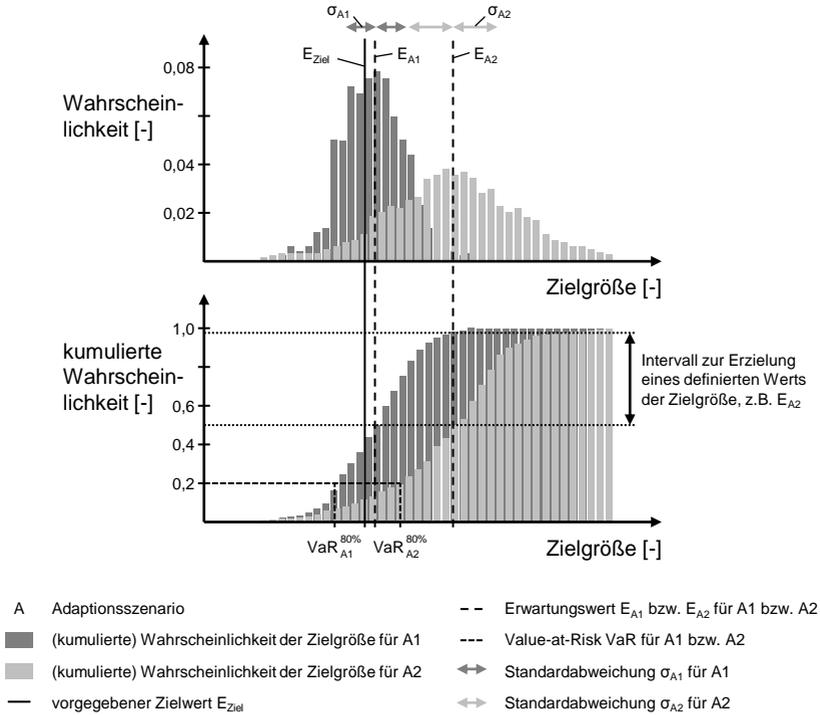


Abbildung 52: Exemplarischer Vergleich von zwei Histogrammen

Eine weitere Kennzahl zur Analyse der Histogramme ist der Value-at-Risk (VaR, dt. = Wert im Risiko). Dieser ist ein einseitiges, verlustorientiertes Risikomaß und misst den Wert der mit einer relativen Wahrscheinlichkeit  $\alpha$ , dem unternehmensspezifisch je nach Risikobereitschaft zu wählenden Konfidenzniveau bzw. Vertrauensintervall  $1-\alpha$ , nicht unterschritten wird und ermöglicht die Aggregation der Risikosituation in einem Wert (STEINMETZ 2007). So bestimmt der  $VaR^{80\%}$  den Wert der zu 20% nicht überschritten bzw. zu 80% überschritten wird.

Der Histogramm-Vergleich liefert einerseits erste Informationen hinsichtlich der zu erreichenden Erwartungswerte und der damit verbundenen Risiken und andererseits ermöglicht er eine Elimination schlechter Adaptionsszenarien, was wiederum zu einer Reduktion des Folgeaufwands der Bewertung führt. Da eine Entscheidung nur auf Grundlage dieser Informationen nicht fundiert ist, müssen weitere Analysen zur detaillierteren Untersuchung der Adaptionsszenarien vorgenommen werden.

### 6.5.3.2 Portfolioanalyse

Ein Portfolio dient der Bewertung und Auswahl von Adaptionsszenarien zur Maximierung des Nutzens und Minimierung des Risikos (HUANG 2010; HULT 2012). Aus diesem Grund wurde eine Portfolioanalyse entwickelt, die es Unternehmen ermöglicht die einzelnen Adaptionsszenarien hinsichtlich des Erwartungswerts und des damit verbundenen Risikos detaillierter miteinander zu vergleichen. Hierbei werden die Adaptionsszenarien in zwei zweidimensionalen Matrizen mit jeweils unterschiedlichen Dimensionen abgebildet.

KREBS ET AL. (2009) haben festgestellt, dass der Erwartungswert und sein Verhältnis zur Standardabweichung ein wesentliches Kriterium für die Bewertung des Risikos darstellt. Aus diesem Grund wird zur Analyse für jedes bewertete Adaptionsszenario der Quotient aus Standardabweichung und Erwartungswert<sup>23</sup>, mit dem Quotient aus Erwartungswert und dem vom Unternehmen vorgegebenen Zielwert ins Verhältnis gesetzt (vgl. Abbildung 53).

Das Portfolio kann in drei Bereiche eingeteilt werden, die unterschiedliche Höhen von Chancen bzw. Gefahren widerspiegeln und somit die Auswahl und Interpretation unterstützen. Adaptionsszenarien, die im Bereich I eingeordnet werden, weisen einen guten Erwartungswert und aufgrund der verhältnismäßig geringen Varianz eine relativ geringe Gefahr auf, wodurch diese für weitere Entscheidungen in Betracht gezogen werden sollten. Im Gegensatz dazu sollte auf die Umsetzung von Adaptionsszenarien im Bereich III aufgrund des schlechten Erwartungswerts und des hohen Risikos verzichtet werden. Ob Adaptionsszenarien im Bereich II aussortiert werden oder nicht, ist von der Risikobereitschaft des Unternehmens und der damit verbundenen Definition der Risikogrenzen abhängig. Die Risikogrenzen für die Ausprägung der Bereiche II und III werden mit Hilfe von unternehmensinternen Größen, wie zum Beispiel der Kapitalverfügbarkeit, in Kombination mit der jeweiligen Risikobereitschaft definiert.

---

<sup>23</sup> Der Quotient aus Standardabweichung und Erwartungswert wird in der Statistik als Variationskoeffizient bezeichnet und definiert das relative Streuungsmaß (MAYER 2006).

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

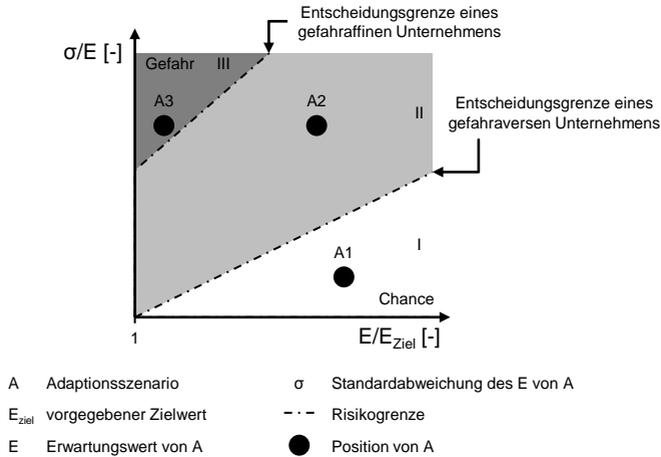


Abbildung 53: Exemplarische Portfolioanalyse anhand des Erwartungswerts und des Risikos (in Anlehnung an KREBS ET AL. (2009))

Im Rahmen der Bewertung werden von Unternehmen oftmals mehrere Zielgrößen definiert. Da es zu möglichen Zielkonflikten<sup>24</sup> kommen kann, erfolgt eine weitere Analyse durch Einordnung der Adaptionsszenarien in eine zweidimensionale Matrix anhand von zwei Zielgrößen (vgl. Abbildung 54). Hierbei spannen die für die Zielgrößen vorgegebenen Zielwerte vier Quadranten auf. Adaptionsszenarien bei denen die Erwartungswerte beider Zielgrößen besser als die vorgegebenen Zielwerte sind, befinden sich im Zielquadrant und weisen einen Nutzen für das Unternehmen auf. Je weiter das Szenario sich vom Schnittpunkt der Quadranten entfernt, desto höher kann der Nutzen eingestuft werden. Adaptionsszenarien, bei denen die Erwartungswerte beider Zielgrößen schlechter als die vorgegebenen Zielwerte sind, sollten aufgrund des fehlenden Nutzens aussortiert werden. Handelt es sich um ein Adaptionsszenario mit einem besseren und einem schlechteren Erwartungswert, so hängt die Entscheidung hinsichtlich der weiteren Betrachtung von der Risikobereitschaft des Unternehmens ab.

Mit Hilfe von Risikointervallen wird zusätzlich zur Einordnung der Adaptionsszenarien in die Matrix ein sogenannter Erwartungsraum aufgespannt, der die Fläche abbildet, in der sich das Ergebnis aufgrund des Risikos bewegen kann.

<sup>24</sup> Zwei Zielgrößen können sich zueinander neutral, komplementär oder konkurrierend verhalten. Dies bedeutet, dass Maßnahmen zur Verbesserung der einen Zielgröße die andere Zielgröße nicht, positiv oder negativ beeinflussen kann. (LAUX & LIERMANN 2005)

## 6.5 Bewertung der Adaptionsszenarien

Durch Definition einer Risikogrenze können somit Adaptionsszenarien mit zu hohem Risiko identifiziert werden. Sowohl das gewählte Risikointervall pro Zielgröße als auch die Risikogrenze ist hierbei von der Risikobereitschaft des Unternehmens abhängig. Risikoaffine Unternehmen wählen größere Intervalle sowie eine größere Risikogrenze. Die Definition erfolgt wie zuvor mit Hilfe von unternehmensinternen Größen, wie zum Beispiel der Kapitalverfügbarkeit. Für die Risikointervalle empfiehlt sich jedoch, wie beim Histogramm-Vergleich, eine Grenze von maximal  $\mu \pm 2\sigma$  zu wählen.

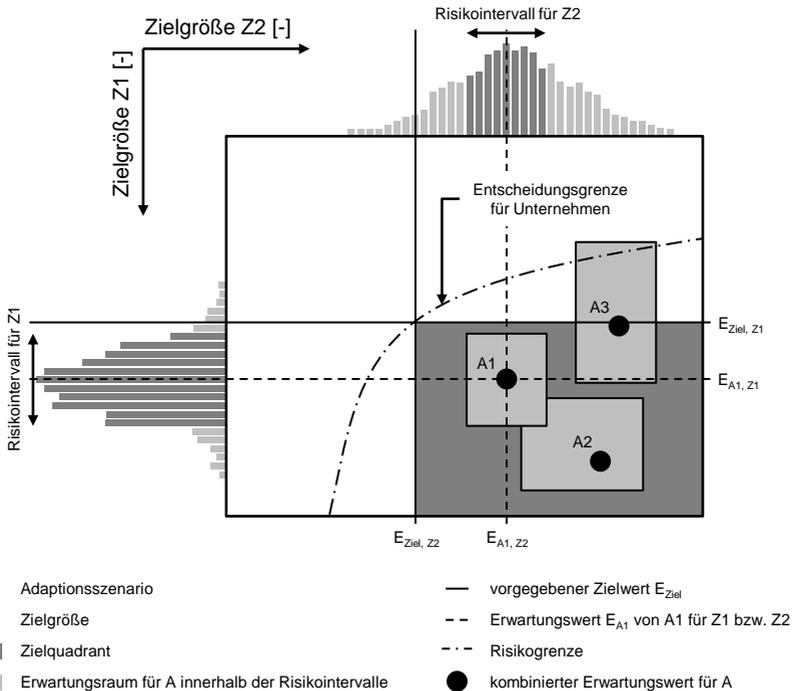


Abbildung 54: Exemplarische Portfolioanalyse anhand zweier Zielgrößen

### 6.5.3.3 Kostenstrukturanalyse

Handelt es sich bei der gewählten Zielgröße um Kosten, so erhält man durch die Kostenstrukturanalyse wichtige Informationen über die Zusammensetzung dieser sowie deren zeitlicher Entwicklung. Hierbei werden die Kosten in die einzelnen Kostenbestandteile zerlegt und hinsichtlich deren Relevanz untersucht, wodurch sogenannte Kostentreiber identifiziert werden können (vgl. Abbildung

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

55). Bei Bedarf ist eine Skalierung der Zerlegung von Kostenbausteinen bis hin zu den monetären Einflussfaktoren auf diese möglich. Dies ermöglicht eine Analyse der Kostenstruktur der gesamten Produktionsstruktur als auch ihrer Elemente. Hierdurch kann die Ableitung von Maßnahmen zur Verbesserung des Erwartungswerts der Zielgröße systematisch vorgenommen werden, da durch die Analyse die wesentlichen Kostentreiber hervorgehoben werden. Zur Untersuchung der zeitlichen Entwicklung wird die Kostenstrukturanalyse für jede Betrachtungsperiode durchgeführt. Bei unsicheren Kostenbestandteilen werden die Erwartungswerte zur Berechnung verwendet. Der Anteil der einzelnen Kosten an den als Zielgröße definierten Kosten, wird wie folgt berechnet:

$$KA(t) = \frac{E(K(t))}{E(K_{Ziel}(t))} \quad (6.13)$$

- $KA(t)$  Anteil des Kostenbestandteils an den als Zielgröße definierten Kosten in Abhängigkeit der Zeit  $t$
- $E(K(t))$  Erwartungswert des Kostenbestandteils in Abhängigkeit der Zeit  $t$
- $E(K_{Ziel}(t))$  Erwartungswert der als Zielgröße definierten Kosten in Abhängigkeit der Zeit  $t$

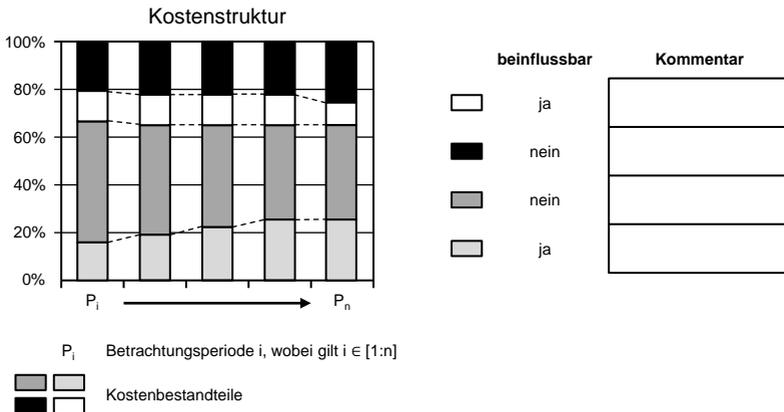


Abbildung 55: Exemplarische Darstellung einer Kostenstrukturanalyse

In Kombination mit einer Analyse der Beeinflussbarkeit der Kostenbestandteile durch Maßnahmen, die das Unternehmen selbst initiieren kann, können

mit Hilfe der Kostenstrukturanalyse gezielt Verbesserungsmöglichkeiten des Ergebniswertes abgeleitet werden.

### 6.5.3.4 Sensitivitätsanalyse

Nach Analyse und erster Selektion der Adaptionsszenarien hinsichtlich deren Erwartungswerten und der damit verbundenen Risiken erfolgt die Sensitivitätsanalyse, durch die Aussagen über die Stabilität von Adaptionsszenarien getroffen werden können (STEPAN & FISCHER 2001). Durch Analyse der Sensitivitäten können sowohl die den Erwartungswert als auch das Risiko am stärksten beeinflussenden unsicheren Faktoren identifiziert werden (GÖTZE 2006). Dies ermöglicht, zielgerichtet Maßnahmen zur Verbesserung des Erwartungswertes bzw. zur Reduktion der Risiken abzuleiten, die im Anschluss daran der Planung zurück gespiegelt werden.

Basis für die Sensitivitätsanalysen bilden Ergebnisse der deterministischen Bewertung (EISENFÜHR & WEBER 2002). Mittels systematischer Parametervariation unter Ceteris-Paribus-Bedingungen<sup>25</sup> werden dann alle unsicheren, sich dynamisch verändernden Einflussfaktoren hinsichtlich deren Auswirkung auf den Ergebniswert überprüft (SCHIERENBECK & LISTER 2002; PRESSLER 2007; SALTELLI 2008). Ergebnis der Analyse sind Aussagen über die Relevanz der einzelnen Unsicherheiten bezogen auf den Ergebniswert sowie das Risiko. Je größer die Veränderung des Erwartungswertes bei Variation des Einflussfaktors ausfällt, desto größer ist der Einfluss auf das betrachtete Adaptionsszenario (vgl. Abbildung 56).

Auf der Abszisse wird die Veränderung der unsicheren Einflussfaktoren und auf der Ordinate der sich jeweils ergebende Erwartungswert aufgetragen. Den nicht variierten Parametern wird Konstanz unterstellt. Bei quantitativen Unsicherheiten sind mögliche Grenzen bei der Untersuchung der Sensitivitäten zu berücksichtigen. Bei qualitativen Unsicherheiten sind die durch die Defuzzifizierung erhaltenen quantitativen Output-Werte heranzuziehen (KREBS 2012). Eine Verbesserung des Erwartungswertes bei Veränderung des unsicheren Einflussfaktors ist für das Unternehmen als Chance zu interpretieren, eine Verschlechterung hingegen als Gefahr.

Zur detaillierten Untersuchung der Sensitivität der Ergebnisse auf Veränderungen unsicherer Einflussgrößen werden auf Basis der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion des unsicheren Einflussfaktors  $p$ -Quantile<sup>26</sup>, wie beispielsweise das

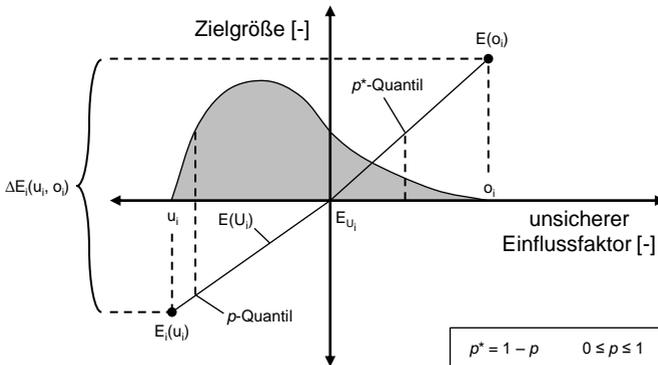
---

<sup>25</sup> Den nicht variierten Parametern wird Konstanz unterstellt.

<sup>26</sup> Das  $p$ -Quantil ist ein Lagemaß in der Statistik und legt die Menge an Werten einer Verteilung fest, die über oder unter einer bestimmten Grenze liegen (STELAND 2010).

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

10%- und 90%-Quantil, definiert. Dies liefert zusätzliche Informationen über die möglichen Chancen und Gefahren auf Grundlage der Verteilung der jeweiligen Unsicherheit. Bei symmetrischer Variation der Unsicherheit verbessert bzw. verschlechtert sich der Erwartungswert der Zielgröße gleich stark. Bei einer schiefsymmetrischen Verteilung hingegen kann es zu einer unterschiedlich starken Verbesserung bzw. Verschlechterung des Erwartungswertes kommen.



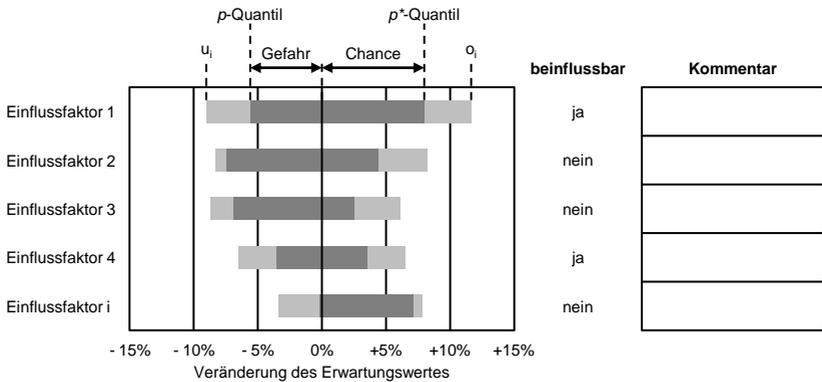
- $U_i$  unsicherer Einflussfaktor  $i$ , wobei gilt  $i \in [1:n]$       ●● Erwartungswertfunktion  $E(U_i)$  in Abhängigkeit von  $U_i$
- $E_i$  Erwartungswert bei Grenzwert von  $U_i$       ■ Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion von  $U_i$
- $u_i$  unterer Grenzwert von  $U_i$        $E_{u_i}$  Erwartungswert von  $U_i$
- $o_i$  oberer Grenzwert von  $U_i$        $\Delta E(u_i, o_i)$  Differenz von  $E_i$  bei unterem u. oberem Grenzwert

Abbildung 56: Grafische Darstellung der Sensitivitätsanalyse

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse werden anschließend in einem Tornado-diagramm dargestellt. Dieses visualisiert, welche unsicheren Einflussfaktoren den größten Einfluss auf den Ergebniswert haben (PFNÜR ET AL. 2010) und wie sich die Verteilung der Unsicherheit auf die Entwicklung des Ergebniswertes auswirkt (vgl. Abbildung 57).

In Kombination mit einer Analyse hinsichtlich der Beeinflussbarkeit der unsicheren Einflussfaktoren kann die Planung gezielt Maßnahmen zur Verbesserung des Ergebniswertes und der Reduktion des Risikos eines Adaptionsszenarios ableiten. Hierbei kann es sich um allgemeine Maßnahmen handeln bzw. Maßnahmen zur gezielten Beeinflussung von Lebenszyklen, wie zum Beispiel der Instandhaltung zur Verlängerung des Lebenszyklus von Betriebsmitteln.

## 6.5 Bewertung der Adaptionsszenarien



$u_i$  unterer Grenzwert von unsicherem Einflussfaktor  $i$ , wobei gilt  $i \in [1:n]$

$$p^* = 1 - p \quad 0 \leq p \leq 1$$

$o_i$  oberer Grenzwert von unsicherem Einflussfaktor  $i$ , wobei gilt  $i \in [1:n]$

Abbildung 57: Exemplarische Darstellung eines Tornadodiagramms zur Visualisierung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

### 6.5.4 Ablauf der Bewertung von Adaptionsszenarien

Ausgangspunkt der Bewertung der einzelnen Adaptionsszenarien ist die Integration der Informationen und Daten aus der Erstellung der Adaptionsszenarien (vgl. Abbildung 58). Hierbei wird das Kostenmodell für jedes Adaptionsszenario angepasst und im Anschluss daran mit Unsicherheiten verknüpft. Vor Durchführung der Bewertungssimulation werden die Zielgrößen sowie die dazugehörigen Zielwerte unternehmensspezifisch definiert.

Vor dem Vergleich der Histogramme sind die Kriterien zu definieren, die eine weitere Betrachtung von Adaptionsszenarien ausschließen. Grund dafür ist die schrittweise Auswahl geeigneter Adaptionsszenarien sowie die Reduktion des Aufwands für die nachfolgenden Schritte. Diese Kriterien sind einerseits eine zu definierende Intervallgrenze für das Erreichen eines bestimmten Wertes der Zielgröße und andererseits der Value-at-Risk. Basierend darauf werden die sich aus der Simulation ergebenden Histogramme miteinander verglichen. Bei Erfüllung der Auswahlkriterien werden die jeweiligen Adaptionsszenarien in der Portfolioanalyse detaillierter untersucht.

Hierzu sind die Zielgrößen auszuwählen sowie die unternehmensspezifischen Risikogrenzen und Risikointervalle für das Portfolio festzulegen. Danach erfolgt die Einordnung in die zweidimensionale Matrix und die Erstellung der Erwartungsräume. Überschreiten Adaptionsszenarien die Risikogrenzen, so werden

## 6 Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen

diese aussortiert und nicht weiter betrachtet. Alle anderen Adaptionsszenarien werden hinsichtlich deren Sensitivitäten analysiert.

Für die bis dahin im Bewertungsprozess übrig gebliebenen Adaptionsszenarien wird, sofern es sich bei der Zielgröße um Kosten handelt, der Detaillierungsgrad für die Kostenstrukturanalyse festgelegt und diese durchgeführt. Die identifizierten Kostentreiber werden hinsichtlich deren Beeinflussbarkeit geprüft. Im Anschluss daran werden die Erwartungswerte der Adaptionsszenarien für die einzelnen Zielgrößen deterministisch berechnet sowie die zu berücksichtigenden  $p$ -Quantile definiert. Nach Identifikation der unsicheren Faktoren mit dem größten Einfluss auf den Erwartungswert werden diese hinsichtlich deren Beeinflussbarkeit durch das Unternehmen analysiert und die Ergebnisse in einem Tornadodiagramm visualisiert.

Anschließend werden die Ergebnisse aus dem Histogramm-Vergleich, der Portfolio- sowie der Sensitivitätsanalyse der Planung zur Verfügung gestellt, um gezielt Maßnahmen zur Verbesserung der Erwartungswerte sowie der Reduktion des Risikos abzuleiten.

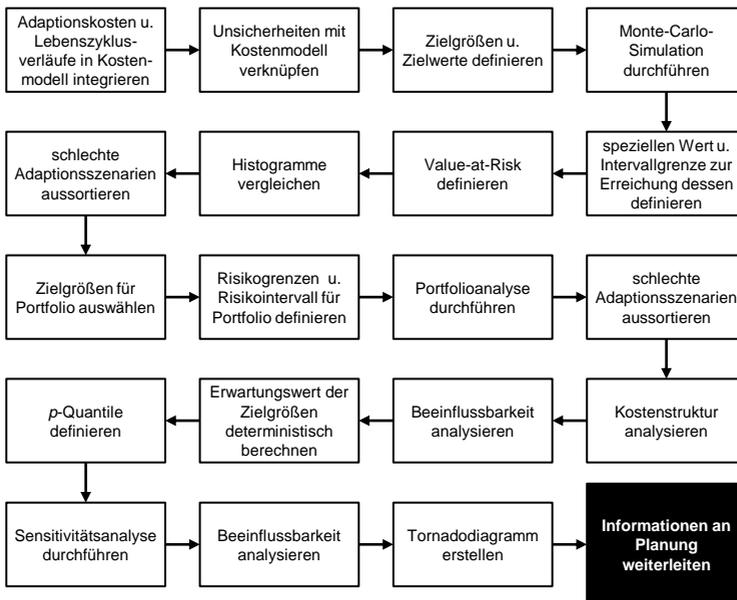


Abbildung 58: Ablauf der Bewertung von Adaptionsszenarien

### 6.6 Zusammenfassung des Kapitels

In diesem Kapitel wurde eine Methode zur Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen beschrieben. Sie besteht aus den Schritten „Identifikation des Adaptionbedarfs“, „Erstellung von Adaptionsszenarien“ und „Bewertung der Adaptionsszenarien“ und basiert auf den in Kapitel 5 beschriebenen Modellen.

Der erste Schritt der Methode „Identifikation des Adaptionbedarfs“ befasst sich mit der reaktiven sowie prospektiven Identifikation des Adaptionbedarfs (vgl. Abschnitt 6.3). Dies erfolgt durch Überwachung von strukturelevanten Kennzahlen und zeitdiskreten Ereignissen unter Berücksichtigung der Lebenszyklusverläufe der einzelnen Elemente der Produktionsstruktur sowie möglicher Unsicherheiten. Bei Auftreten eines Adaptionbedarfs werden die aus der Überwachung erhaltenen Informationen und Daten aufbereitet und an die Planung weitergeleitet.

Die Planung leitet im zweiten Schritt der Methode „Erstellung von Adaptionsszenarien“ notwendige Strukturmaßnahmen zur Erreichung und Einhaltung der Unternehmensziele bzw. -vorgaben ab (vgl. Abschnitt 6.4). Hierbei werden die aus der Überwachung erhaltenen Adaptionbedarfszeitfenster sowie die organisatorischen Abhängigkeiten der einzelnen Elemente in die Planung integriert. Als Ergebnis erhält man Planungsalternativen mit möglichen Strukturmaßnahmen sowie den dazugehörigen Adaptionzeitfenstern, in denen die Strukturmaßnahmen umzusetzen sind. Die sich aus den Adaptionzeitfenstern ergebenden Möglichkeiten zur zeitlichen Anpassung der Produktionsstruktur bilden die zu bewertenden Adaptionsszenarien. Die für die Szenarien anfallenden Adaptionskosten werden systematisch erhoben sowie ein Regelkatalog zur Abbildung temporaler Synergien zwischen den Strukturmaßnahmen erstellt. Die Erstellung der Adaptionsszenarien endet mit der Anpassung der Lebenszyklusverläufe der betroffenen Elemente sowie der zu produzierenden Produkte.

Der dritte Schritt der Methode „Bewertung der Adaptionsszenarien“ dient zur Analyse und Interpretation der zuvor erstellten Adaptionsszenarien (vgl. Abschnitt 6.5). Hierzu werden die aus dem zweiten Schritt erhaltenen Daten in das Kostenmodell integriert und mit dem Unsicherheitenmodell verknüpft. Die Bewertung erfolgt sowohl deterministisch als auch unsicherheitsbehaftet. Schlechte Adaptionsszenarien werden systematisch durch einen Histogramm-Vergleich sowie eine Portfolioanalyse aussortiert. Eine abschließende Sensitivitätsanalyse hinsichtlich der größten Einflussfaktoren und deren Beeinflussbarkeit liefert weitere Hinweise für die Auswahl des für das Unternehmen am besten geeigneten Adaptionsszenarios sowie der Möglichkeiten zur Verbesserung des Ergebnisses und der Reduktion des Risikos. Das Ergebnis dient als Basis für weiterführende Entscheidungen bezüglich der mittelfristig anfallenden Produktionsstrukturadaptionen unter Berücksichtigung der Lebenszyklen.



## **7 Anwendung der Methode**

### **7.1 Inhalt des Kapitels**

In diesem Kapitel wird die Anwendung der in dieser Arbeit entwickelten Methode anhand eines Projektbeispiels beschrieben und die industrielle Anwendung aufgezeigt. Zuerst wird ein Überblick über das Projektbeispiel gegeben (vgl. Abschnitt 7.2). Hierbei werden die Produktionsstruktur (vgl. Abschnitt 7.2.2) sowie die Kostengliederungsstruktur (vgl. Abschnitt 7.2.3) und die abgebildeten Unsicherheiten (vgl. Abschnitt 7.2.4) beschrieben. Nach Anwendung der entwickelten Methode (vgl. Abschnitt 7.3) erfolgt ihre Bewertung und Analyse hinsichtlich Anwendbarkeit (vgl. Abschnitt 7.4).

### **7.2 Beschreibung des Projektbeispiels**

#### **7.2.1 Allgemeines**

Das Projektbeispiel wurde bei einem mittelständischen Unternehmen zur Herstellung von Bohrfuttern durchgeführt. Ziel des Projekts war die Identifikation des zukünftigen Adaptionbedarfs sowie die monetäre Bewertung möglicher Adaptionsszenarien der Produktionsstruktur unter Berücksichtigung der Lebenszyklen.

Seitens der Geschäftsführung wurden neben dem übergeordneten Ziel, der Anwendung und Bewertung der entwickelten Methode, folgende Punkte verfolgt:

- Identifikation des zukünftigen Adaptionbedarfs und Unterstützung der Planung von ProduktionsstruktuRADaptionen durch Bereitstellung relevanter Informationen.
- Detaillierte Bewertung der mit den möglichen Adaptionsszenarien verbundenen Risiken bis inklusive dem Kalenderjahr 2015, unter Berücksichtigung aller relevanten Einflussfaktoren und Unsicherheiten.
- Aufbereitung der Ergebnisse für die Ableitung von Handlungsmaßnahmen zur Reduzierung des Risikos ausgewählter Adaptionsszenarien.

Für die Modellierung der Lebenszyklen sowie die Durchführung der Bewertung wurde der Betrachtungszeitraum bis Ende 2015 gewählt und in Quartale unterteilt.



## 7.2 Beschreibung des Projektbeispiels

Element	Stamm- und Bewegungsdaten
<b>Personal</b>	Name und Personalnummer
	organisatorische Position
	Qualifikation
	Lohnstufe
	Kostenstelle
<b>Betriebsmittel</b>	Herstellernamen/Modellnummer
	Inventarnummer
	Art
	Position und Ausrichtung
	Datum der Inbetriebnahme
	Kostenstelle
	Technologie
	Abmaße
	technische Daten
	Prozesszeiten
	Rüstzeiten
Wartungsplan und Wartungskosten	
<b>Infrastruktur</b>	Abhängigkeiten
	Position und Ausrichtung
	Abmaße
	technische Daten
	Wartungsplan und Wartungskosten

Tabelle 5: Erfasste Stamm- und Bewegungsdaten im Produktionsstrukturmodell des Projektbeispiels

### 7.2.3 Beschreibung der Kostengliederungsstruktur

In Kooperation mit den Produktionsverantwortlichen sowie den Controllern des Unternehmens wurden die zur Durchführung der Methode heranzuziehenden und die Produktionsstruktur betreffenden Kostenarten definiert und den Elementen Personal, Betriebsmittel und Infrastruktur zur Erstellung der Kostenbausteine zugeordnet (vgl. Tabelle 6).

## 7 Anwendung der Methode

Element	Kostenart	Einheit
<b>Personal</b>	Lohnkosten	€/Zeitperiode
	Lohnnebenkosten	€/Zeitperiode
	Schulungskosten	€/Zeitperiode
	Personalgemeinkosten	€/Zeitperiode
<b>Betriebsmittel</b>	Investitionskosten	€/Zeitperiode
	Kosten für Positionsänderung	€/Zeitperiode
	Kosten für Hilfs- und Zusatzstoffe	€/Zeitperiode
	Werkzeugkosten	€/Zeitperiode
	Qualitätskosten	€/Zeitperiode
	Instandhaltungskosten	€/Zeitperiode
	Stromkosten	€/Zeitperiode
	Materialgemeinkosten	€/Zeitperiode
	Overheadkosten	€/Zeitperiode
	Raumkosten	€/Zeitperiode
	Kosten für Außerbetriebnahme	€/Zeitperiode
Abschreibung	€/Zeitperiode	
<b>Infrastruktur</b>	Investitionskosten	€/Zeitperiode
	Instandhaltungskosten	€/Zeitperiode
	Kosten für Außerbetriebnahme	€/Zeitperiode

Tabelle 6: Kostenarten der Kostengliederungsstruktur des Projektbeispiels

Ebenso wurden die Einflussfaktoren auf die Kostengliederungsstruktur in Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen des Projektpartners definiert (vgl. Tabelle 7 und 8) und die für die Bewertung zu nutzenden Verrechnungsvorschriften festgelegt. Hierbei wurden zur Gewährleistung der notwendigen Transparenz und Akzeptanz für den Projektpartner bereits im Unternehmen bestehende Verrechnungsvorschriften genutzt und gegebenenfalls in Abstimmung mit den verantwortlichen Controllern angepasst.

## 7.2 Beschreibung des Projektbeispiels

Einflussfaktoren	Einheit
Kosten für Entgeltgruppen	€
Schichtzuschlag pro Entgeltgruppe	€
Lohnkostensteigerung pro Entgeltgruppe pro Jahr	%
Kosten Rohmaterial	€/kg
Kosten Rohteile	€/Stk.
Kosten Zukaufteile	€/Stk.
Materialkostenentwicklung	%
kalkulatorische Materialgemeinkosten	%
Wechselkursverhältnis Fremdwährung in EUR	Fremdwährung/€
Menge Rohteile pro Produkt	Stk.
Menge Zukaufteile pro Produkt	Stk.
Stückzahlverlauf	Stk.
Materialmenge pro Stück	kg
Verkaufspreis	€/Stk.
Planungsaufwand für Produktionsstrukturadaption	h
Entgeltgruppe Produktionsplaner	-
Planungs- und Angebotskosten	€
Anschaffungspreis pro Maschine	€
Kosten für Inbetriebnahme	€
Schulungskosten	€
Personalaufwand pro Betriebsmittel pro Schicht	h
Entgeltgruppe des Betriebsmittelnutzers	-
Personalaufwand für Positionsänderung des Betriebsmittels	h
Entgeltgruppe des für die Positionsänderung verantwortlichen Personals	-
Umbaukosten für Betriebsmittel	€
Nacharbeitsquote	%
Änderung der Nacharbeitsquote bei Betriebsmittelanlauf	%
Instandhaltungsplan für Betriebsmittel	-
Werkzeugverbrauch	€/h
Bearbeitungszeit pro Produktvariante	h/Stk.

*Tabelle 7: Einflussfaktoren auf die Kostenbausteine der Kostengliederungsstruktur des Projektbeispiels – Teil 1*

## 7 Anwendung der Methode

---

<b>Einflussfaktoren</b>	<b>Einheit</b>
Losgröße	Stk.
Rüstzeit pro Losgröße	h/Los
Verbrauch von Hilfs- und Zusatzstoffen	€/Stk.
Stromverbrauch	€/Stk.
Stromkostensteigerung pro Jahr	%
Flächenbedarf pro Betriebsmittel	m <sup>2</sup>
Instandhaltungsaufwand	€/Stk.
Ersatzteilverbrauch	€/Stk.
Umlagefaktor Overhead	€/h
Umlagefaktor Raum	€/m <sup>2</sup>
Lernrate	%
Kosten für Gutachten	€
Verkaufspreis von Betriebsmitteln	€
Demontage und Verschrottung von Betriebsmitteln	€
Art der Abschreibung	-
Prozentsatz für kalkulatorische Abschreibung	%
Prozentsatz für kalkulatorische Zinsen	%
Umbaukosten für Infrastruktur	€
Demontage und Verschrottung von Elementen der Infrastruktur	€
Instandhaltungsplan für Elemente der Infrastruktur	-

*Tabelle 8: Einflussfaktoren auf die Kostenbausteine der Kostengliederungsstruktur des Projektbeispiels – Teil 2*

### 7.2.4 Definition der zu betrachtenden Unsicherheiten

Zur Erstellung des Unsicherheitenmodells wurden die Informationen bezüglich der Einflussfaktoren auf das Kostenmodell hinsichtlich deren Sicherheit bzw. Unsicherheit analysiert. Hierzu wurden Workshops und Interviews mit Mitarbeitern aus den Funktionsbereichen durchgeführt, die für die jeweiligen Einflussfaktoren das notwendige Expertenwissen besaßen. Die im Projektbeispiel als unsicher definierten Einflussfaktoren können Tabelle 9 entnommen werden. Die Klassifizierung sowie die gewählte Modellierungsart wurden auf Basis von unternehmensinternen sowie -externen Statistiken und in Abstimmung mit den jeweiligen Experten festgelegt.

## 7.2 Beschreibung des Projektbeispiels

unsichere Einflussfaktoren	Klassifizierung	Modellierungsart
Lohnkostensteigerung pro Entgeltgruppe pro Jahr	zeitabhängig, vorgängerunabhängig	stetig, Normalverteilung
Kosten Rohmaterial	zeitabhängig, vorgängerunabhängig	stetig, Normalverteilung
Kosten Rohteile	zeitabhängig, vorgängerunabhängig	stetig, Normalverteilung
Kosten Zukaufteile	zeitabhängig, vorgängerunabhängig	stetig, Normalverteilung
Materialkostenentwicklung	zeitabhängig, vorgängerunabhängig	stetig, Normalverteilung
Wechselkursverhältnis Fremdwährung in EUR	zeitabhängig, vorgängerabhängig	Itô-Prozess, Normalverteilung
Stückzahlverlauf	zeitabhängig, vorgängerunabhängig	stetig, Beta-Verteilung
Verkaufspreis	zeitabhängig, vorgängerunabhängig	stetig, Normalverteilung
Planungs- und Angebotskosten	zeitunabhängig	diskret, Normalverteilung
Anschaffungspreis pro Maschine	zeitabhängig, vorgängerunabhängig	diskret, Normalverteilung
Kosten für Inbetriebnahme	zeitabhängig, vorgängerunabhängig	diskret, Normalverteilung
Schulungskosten	zeitunabhängig, vorgängerunabhängig	diskret, Normalverteilung
Umbaukosten	zeitabhängig, vorgängerunabhängig	diskret, Normalverteilung
Nacharbeitsquote	zeitabhängig, vorgängerabhängig	diskret, Normalverteilung
Änderung der Nacharbeitsquote bei Betriebsmittelanlauf	zeitunabhängig	stetig, Normalverteilung
Werkzeugverbrauch	zeitabhängig, vorgängerunabhängig	stetig, Normalverteilung
Instandhaltungsaufwand	zeitabhängig, vorgängerabhängig	stetig, Normalverteilung
Ersatzteilverbrauch	zeitabhängig, vorgängerunabhängig	stetig, Normalverteilung
Verkaufspreis von Betriebsmitteln	zeitabhängig, vorgängerunabhängig	diskret, Normalverteilung
Demontage und Verschrottung	zeitabhängig, vorgängerunabhängig	diskret, Normalverteilung

Tabelle 9: Im Rahmen des Projektbeispiels berücksichtigte Unsicherheiten sowie deren Klassifizierung und Modellierungsart

### 7.3 Anwendung der entwickelten Methode

#### 7.3.1 Identifikation des Adaptionbedarfs

Im Rahmen der Identifikation des Adaptionbedarfs der Produktionsstruktur wurden die in Abschnitt 6.3.2 definierten Kennzahlen reaktiv und prospektiv sowie zukünftige vorhersehbare zeitdiskrete Ereignisse auf Basis der Produkt-, Technologie- und Betriebsmittellebenszyklen überwacht. Hierbei konnte aufgrund der Unter- bzw. Überschreitung von Kennzahlen sowie zeitdiskreter Ereignisse ein Adaptionbedarf identifiziert werden (vgl. Abbildung 60).

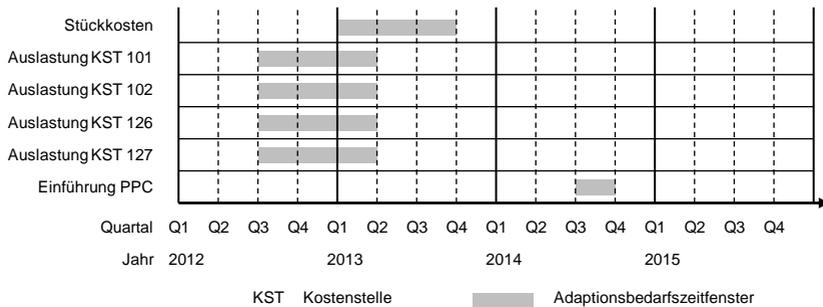


Abbildung 60: Übersicht der Adaptionbedarfszeitfenster aufgrund der Über- bzw. Unterschreitung von Kennzahlen sowie zeitdiskreter Ereignisse im Projektbeispiel

Im Rahmen der reaktiven Überwachung gaben die Unterschreitung des Grenzwertes für die Liefertreue sowie die Überschreitung des Grenzwertes für die Durchlaufzeit erste Hinweise auf einen möglichen Adaptionbedarf der Produktionsstruktur. Die daraufhin durchgeführte Analyse hinsichtlich Korrelation mit der Auslastung bzw. der Verfügbarkeit der Betriebsmittel und dem Stückzahlverlauf der Produktlebenszyklen deutete jedoch auf ein Produktionssteuerungsproblem hin, da unter anderem eine massive Unterauslastung der Betriebsmittel im Jahr 2012 festgestellt wurde. Diese Unterauslastung korrelierte mit den Produktlebenszyklen und trug wesentlich zu einer Erhöhung der Stückkosten bei, weshalb prospektiv eine Überschreitung der von der Unternehmensleitung festgelegten maximalen Stückkosten ab dem zweiten Quartal des Jahres 2013 identifiziert werden konnte. An dieser Stelle sei angemerkt, dass, aus Vertraulichkeitsgründen dem Projektpartner gegenüber, auf eine detaillierte Darstellung der Kennzahlen und deren zeitliche Entwicklung verzichtet wird.

Zusätzlich wurde aus strategischen Gründen von der Unternehmensführung die Einführung einer neuen Bohrfuttervariante mit dem Namen „PPC“ im dritten

### 7.3 Anwendung der entwickelten Methode

Quartal des Jahres 2014 geplant. Die neue Bohrfuttermittelvariante soll zur Erhöhung der Auslastung auf bereits bestehenden Betriebsmitteln gefertigt werden. Für die Modellierung des Produktlebenszyklus der neuen Bohrfuttermittelvariante wurden in Zusammenarbeit mit der Produktionsleitung sowie dem Controlling folgende Werte für die Parameter  $a$ ,  $b$  und  $c$  bei einer Länge des Lebenszyklus von 15 Jahren gewählt (vgl. Abschnitt 6.3.2.4) (vgl. Abbildung 61):

$$a = 15.000$$

$$b = 1,1$$

$$c = 0,25$$

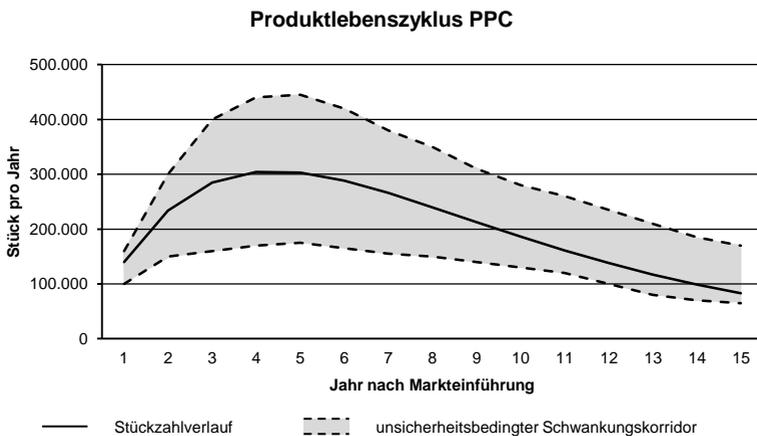
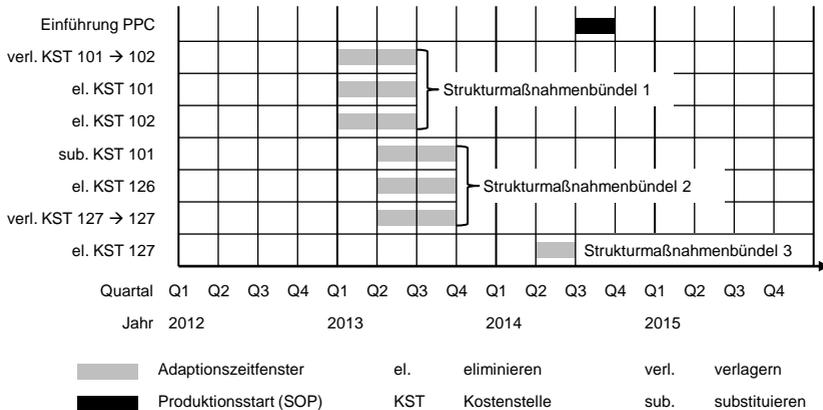


Abbildung 61: Produktlebenszyklus der für das dritte Quartal 2014 geplanten neuen Bohrfuttermittelvariante

#### 7.3.2 Erstellung der Adaptionsszenarien

Der im vorangegangenen Schritt identifizierte Adaptionbedarf sowie die im Rahmen der Überwachung erhaltenen Daten wurden an die Produktionsplanung des Unternehmens weitergeleitet. Diese plante notwendige Strukturmaßnahmen unter Berücksichtigung der Randbedingungen und erstellte die dafür möglichen Adaptionzeitfenster (vgl. Abbildung 62). Insgesamt entstanden drei Strukturmaßnahmenbündel, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten umzusetzen waren und aufgrund der Adaptionzeitfenster, bei Annahme eines fixen Produktionsstarts des neuen Produkts im dritten Quartal 2014, in Summe 18 Adaptionsszenarien ergaben.

## 7 Anwendung der Methode



Strukturmaßnahmenbündel 1	Strukturmaßnahmenbündel 2	Strukturmaßnahmenbündel 3
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verlagerung von Produktionsprozessen von KST 101 zu KST 102</li> <li>• Elimination von Betriebsmitteln in KST 101</li> <li>• Elimination von Betriebsmitteln in KST 102</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Substitution von Betriebsmitteln in KST 101</li> <li>• Elimination von Betriebsmitteln in KST 126</li> <li>• Verlagerung von Produktionsprozessen innerhalb KST 127</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elimination von Betriebsmitteln in KST 127</li> </ul>

Auflistung der Adaptionsszenarien											
	SM 1	SM 2	SM 3		SM 1	SM 2	SM 3		SM 1	SM 2	SM 3
Szenario 1	Q1/13	Q2/13	Q2/14	Szenario 7	Q2/13	Q2/13	Q2/14	Szenario 13	Q3/13	Q2/13	Q2/14
Szenario 2	Q1/13	Q3/13	Q2/14	Szenario 8	Q2/13	Q3/13	Q2/14	Szenario 14	Q3/13	Q3/13	Q2/14
Szenario 3	Q1/13	Q4/13	Q2/14	Szenario 9	Q2/13	Q4/13	Q2/14	Szenario 15	Q3/13	Q4/13	Q2/14
Szenario 4	Q1/13	Q2/13	Q3/14	Szenario 10	Q2/13	Q2/13	Q3/14	Szenario 16	Q3/13	Q2/13	Q3/14
Szenario 5	Q1/13	Q3/13	Q3/14	Szenario 11	Q2/13	Q3/13	Q3/14	Szenario 17	Q3/13	Q3/13	Q3/14
Szenario 6	Q1/13	Q4/13	Q3/14	Szenario 12	Q2/13	Q4/13	Q3/14	Szenario 18	Q3/13	Q4/13	Q3/14

SM Strukturmaßnahmenbündel      Q Quartal

Abbildung 62: Gantt-Diagramm der geplanten Strukturmaßnahmen und Auflistung der Adaptionsszenarien im Projektbeispiel

Strukturmaßnahmenbündel 1 umfasste Verlagerungsmaßnahmen von Produktionsprozessen von Kostenstelle 101 zu Kostenstelle 102 sowie die Elimination und Entsorgung von kaum ausgelasteten und somit sich am Ende des Lebenszyklus befindenden Betriebsmitteln. Strukturmaßnahmenbündel 2 beinhaltete die Substitution von drei veralteten Betriebsmitteln aus Kostenstelle 101 durch

drei Neue, die in späterer Folge auch für die Herstellung des neuen Produkts verwendet werden sollten. Ebenso wurde die Elimination und Entsorgung von Betriebsmitteln von Kostenstelle 126 geplant, da deren Auslastung aufgrund der Verlaufsentwicklung der Produktlebenszyklen rückläufig war. Des Weiteren wurden in diesem Maßnahmenbündel Produktionsprozesse innerhalb der Kostenstelle 127 zur Erhöhung der Auslastung rentablerer Betriebsmittel verlagert. Strukturmaßnahmenbündel 3 umfasste aus den gleichen Gründen wie zuvor bei Kostenstelle 126 die Entsorgung von Betriebsmitteln der Kostenstelle 127.

In einem nächsten Schritt wurden die Kosten für die Strukturmaßnahmenbündel in Kooperation mit den Produktionsverantwortlichen sowie dem Controlling erhoben und den Kostenbausteinen des Kostenmodells zugeordnet. Anschließend wurden mögliche Auswirkungen der Maßnahmen auf die einzelnen Kostenstellen überprüft. Bei der Erstellung des Regelkatalogs konnten temporale Synergieeffekte für die sich zeitlich überlappenden Maßnahmenbündel 1 und 2 identifiziert werden. Hierbei ergaben sich sowohl Kosteneinsparungen beim Umzug als auch bei der Entsorgung von Betriebsmitteln der Kostenstellen 101, 102 und 126.

Basierend auf diesen Informationen wurden die Lebenszyklusverläufe der durch die Strukturmaßnahmen betroffenen Betriebsmittel für die einzelnen Szenarien angepasst. Ebenso erfolgte die Aktualisierung bzw. Anpassung der Produktlebenszyklen aufgrund der sich zukünftig ändernden Wettbewerbssituation auf dem Markt.

### 7.3.3 Bewertung der Adaptionsszenarien

Vor Durchführung der Bewertungssimulation wurden sowohl der Kapitalwert als auch die Stückherstellkosten pro Bohrfuttervariante im vierten Quartal 2015 als Zielgrößen definiert. Hierbei wurde von der Produktionsleitung ein Zielwert von 20 Millionen Euro für den Kapitalwert beschlossen. Die Zielwerte für die Stückherstellkosten der einzelnen Produkte wurden auf Basis von Markt- und Wettbewerbsanalysen festgelegt<sup>27</sup>. Danach erfolgte für jedes Adaptionsszenario die Bewertungssimulation, bei der jeweils 10.000 Ziehungen durchlaufen wurden.

Beim Vergleich der Histogramme konnte festgestellt werden, dass einerseits bei den Erwartungswerten für den Kapitalwert Unterschiede bis zu 4 Millionen Euro auftraten und andererseits nicht alle Adaptionsszenarien die definierten

---

<sup>27</sup> Aus Vertraulichkeitsgründen dem Projektpartner gegenüber werden keine konkreten Zahlen genannt.

## 7 Anwendung der Methode

Zielwerte erreichen (vgl. Abbildung 63). Da dies seitens des Projektpartners als Ausschlusskriterium zu werten war und sich alle anderen Szenarien innerhalb der zuvor festgelegten Intervallsgrenze von  $+2\sigma$  befanden, wurden insgesamt zehn Adaptionsszenarien verworfen und die Szenarien 1, 2, 4, 5, 8, 11, 14 und 17 für die weiterführende Portfolioanalyse herangezogen.

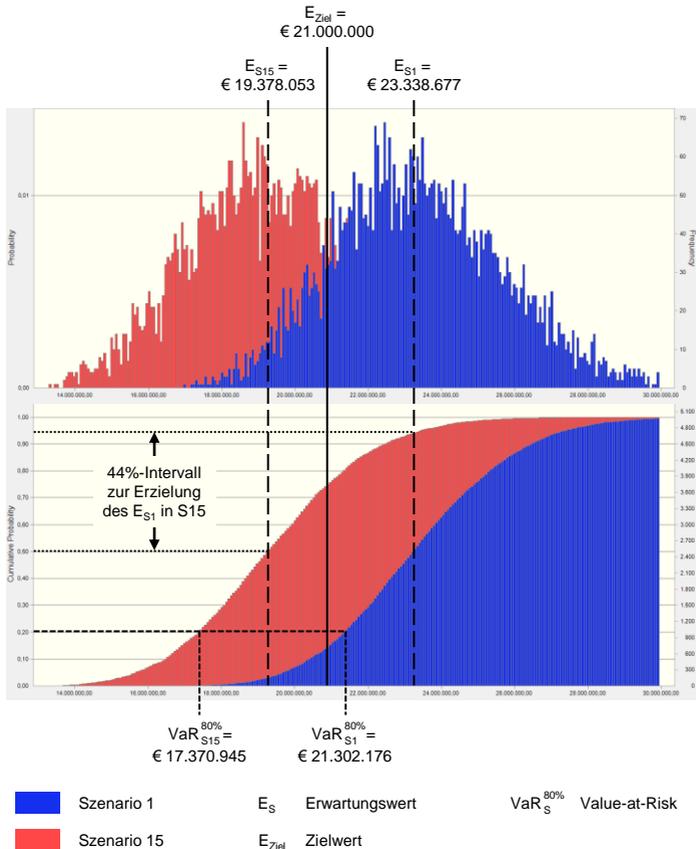


Abbildung 63: Exemplarischer Histogramm-Vergleich der Adaptionsszenarien 1 und 15 für die Zielgröße Kapitalwert

Auffallend war, dass alle Adaptionsszenarien mit dem spätestens Umsetzungszeitpunkt für das Strukturmaßnahmenbündel 2 verworfen wurden. Grund dafür waren einerseits die Lernkurveneffekte, die vor allem die Produktionskosten der durch die Anschaffung der neuen Betriebsmittel betroffenen Produkte stark be-

### 7.3 Anwendung der entwickelten Methode

einflussten und andererseits die in dieser Zeit stark steigenden Instandhaltungskosten der zu substituierenden Betriebsmittel. Auch niedrigere Anlaufkosten aufgrund niedrigerer Produktionsstückzahlen zum späteren Umsetzungszeitpunkt des Maßnahmenbündels konnten die Effekte nicht aufwiegen.

Eine detaillierte Auflistung der Erwartungswerte, Standardabweichungen sowie Minima und Maxima der einzelnen Adaptionsszenarien für den Kapitalwert befindet sich im Anhang in Abschnitt A.3. Eine Rangliste für die Stückherstellkosten, basierend auf dem Verhältnis von Erwartungswert zu Zielgröße, kann ebenfalls diesem Abschnitt entnommen werden. Hierbei sind sowohl die besten Adaptionsszenarien als auch diejenigen, deren Erwartungswert unter dem vorgegebenen Zielwert lagen, in absteigender Reihenfolge aufgelistet.

Im Rahmen der Portfolioanalyse konnten die Szenarien 8, 11, 14 und 17 verworfen werden, da sich diese im für den Projektpartner mit zu großem Risiko verbundenen Bereich II befanden. Die Szenarien 1, 2, 4 und 5 hingegen befanden sich im Bereich I, weshalb diese einer weiteren Analyse unterzogen wurden.

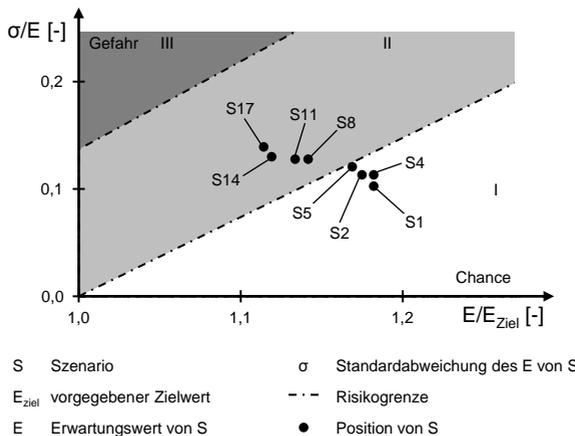


Abbildung 64: Portfolioanalyse der Adaptionsszenarien hinsichtlich der Zielgröße Kapitalwert

Diese vier Szenarien wurden anschließend in einer Portfolioanalyse mit den Stückherstellkosten im vierten Quartal im Jahr 2015 detaillierter betrachtet. Abbildung 65 zeigt das Ergebnis für die umsatzstarken Produkte C und D. Hierbei konnte festgestellt werden, dass Szenario 5 verglichen zu den Szenarien 1, 2 und 4 für diese Produkte bessere Stückherstellkosten aufwies. Auffallend war, dass der Erwartungswert für Szenario 2 gerade an der Grenze des mit der

## 7 Anwendung der Methode

Risikointervallgrenze von  $+2\sigma$  aufgespannten Erwartungsraums für Szenario 5 lag. Obwohl Szenario 5 in der Portfolioanalyse zuvor an der Risikogrenze zwischen Bereich I und II lag, erzielte es bei allen Produkten den besten Erwartungswert hinsichtlich der Stückherstellkosten und lag somit für die gesamten im Jahr 2015 zu erwartenden Herstellkosten rund €200.000 unter den Ergebnissen der anderen Szenarien.

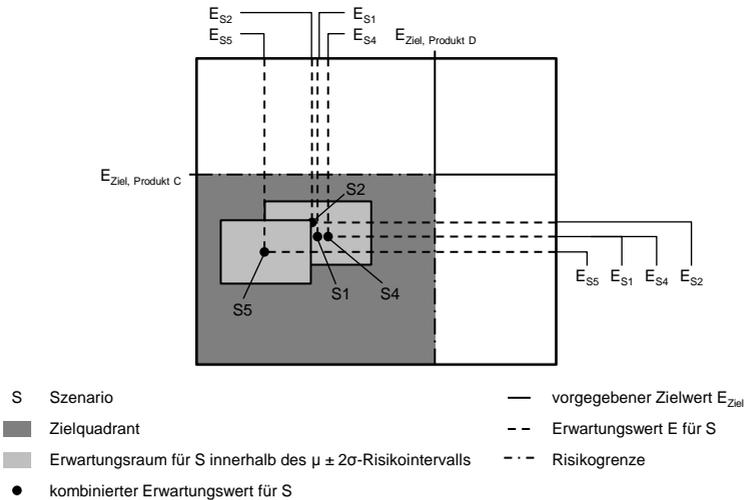


Abbildung 65: Portfolioanalyse der Adaptionsszenarien hinsichtlich der Zielgrößen Stückherstellkosten für die Produkte C und D

Auf Basis der Ergebnisse aus dem Histogramm-Vergleich und der Portfolioanalyse wurde eine Kostenstrukturanalyse sowie eine Sensitivitätsanalyse für die Adaptionsszenarien 1, 2, 4 und 5 durchgeführt. Hierbei erfolgte eine Untersuchung der Kostenstruktur für die gesamte Produktionsstruktur sowie für die Stückherstellkosten der einzelnen Produkte. Abbildung 66 zeigt die prozentuale Verteilung der pro Kostenstelle anfallenden Kosten für die Produktion von Produkt D. Neben den 23% Materialkosten und dem Anteil von 9% an indirekten Kosten konnte die Kostenstelle 102 trotz Adaptionsmaßnahmen als Hauptkostentreiber identifiziert werden.

### 7.3 Anwendung der entwickelten Methode

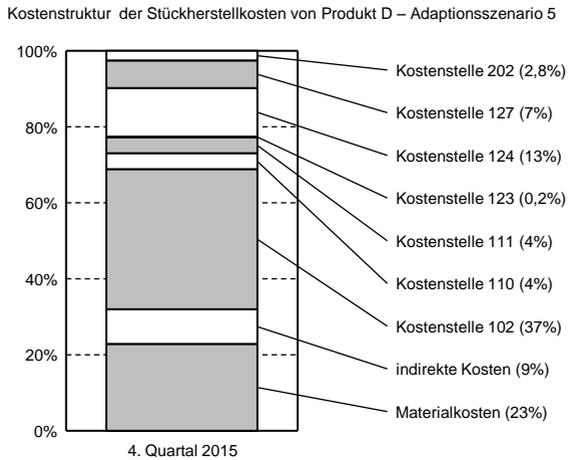


Abbildung 66: Analyse der Kostenstruktur der Stückherstellkosten für Produkt D bei Adaptionsszenario 5 im vierten Quartal 2015

Die Sensitivitätsanalyse wurde sowohl für den Kapitalwert als auch die Stückherstellkosten der Produkte durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass vor allem die unsicheren Stückzahlverläufe sowie Verkaufspreise der Produkte den größten Einfluss auf den Kapitalwert hatten. Bei den Stückherstellkosten der Produkte wurden über alle Produkte die gleichen Faktoren mit dem größten Einfluss auf den Erwartungswert festgestellt. Abbildung 67 zeigt die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Stückherstellkosten von Produkt D im vierten Quartal im Jahr 2015. Vor allem die Unsicherheit bezüglich der Materialpreisentwicklung beeinflusste das Ergebnis. Als zweiter Faktor wurden die Instandhaltungskosten mit einem Einfluss auf den Erwartungswert von bis zu 2% identifiziert.

Aufgrund der Möglichkeiten des Projektpartners, das bei den Stückherstellkosten durch die Instandhaltungskosten entstehende Risiko zu verringern, wurden die zuvor in der Kostenstrukturanalyse als Hauptkostentreiber pro Produkt identifizierten Kostenstellen näher untersucht. Hierbei zeigte sich für Produkt D, dass vor allem Kostenstelle 102 aufgrund alter und wartungsintensiver Betriebsmittel überdurchschnittlich hohe Instandhaltungskosten aufwies und maßgeblich für die Varianz des Erwartungswertes verantwortlich war.

## 7 Anwendung der Methode

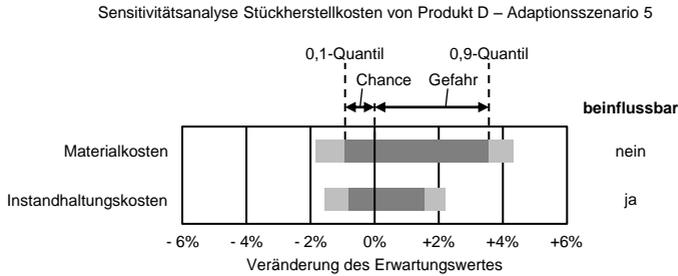


Abbildung 67: Sensitivitätsanalyse der unsicheren Einflussfaktoren auf die Herstellkosten von Produkt D bei Adaptionsszenario 5 im vierten Quartal 2015

Abschließend wurden die Ergebnisse der einzelnen Analysen herangezogen, um gezielt Maßnahmen zur Verbesserung des Erwartungswertes bzw. zur Reduktion des Risikos abzuleiten. Möglichkeiten dafür stellten einerseits die Substitution von Betriebsmitteln dar, die sich am Ende ihres Lebenszyklus befanden, jedoch bei den bereits geplanten Strukturmaßnahmen nicht berücksichtigt wurden, und andererseits gezielte Verlagerungen von Produktionsprozessen zur Nutzung von Betriebsmitteln mit geringeren Instandhaltungskosten. Die Umsetzung der Vorschläge wurde im Anschluss von der Produktionsplanung hinsichtlich Durchführbarkeit geprüft.

### 7.4 Bewertung der entwickelten Methode

In diesem Abschnitt erfolgt eine Bewertung und kritische Reflexion der Modelle sowie der entwickelten Methode hinsichtlich der Erfüllung der in Kapitel 4 definierten Anforderungen. Hierzu werden sowohl die Erfahrungen aus dem Projektbeispiel als auch aus weiteren vom Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) durchgeführten Projekten im Bereich der Produktionsstrukturplanung bei produzierenden Unternehmen herangezogen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 68 grafisch zusammengefasst.

In dieser Arbeit wurde eine Methode entwickelt, die eine Berücksichtigung der Lebenszyklen im Rahmen von Produktionsstrukturadaptionen ermöglicht und hierbei durch eine monetäre Bewertung möglicher Adaptionsszenarien die Umsetzung der Harmonisierung von Lebenszyklen unterstützt. Basis der Methode bilden das Produktionsstruktur-, das Kosten- und das Unsicherheitenmodell, an die Anforderungen der *Allgemeingültigkeit*, *Ganzheitlichkeit* und *Skalierbarkeit* gestellt wurden. Die klare Definition der Elemente einer Produktionsstruktur

## 7.4 Bewertung der entwickelten Methode

sowie der Klassifizierung der zur Beschreibung der Produktionsstruktur notwendigen Informationen in Stamm- und Bewegungsdaten stellt eine ganzheitliche und unternehmensunabhängige Darstellung von Produktionsstrukturen sicher. Durch Hinzufügen bzw. Elimination einzelner Elemente kann das Modell beliebig skaliert werden. Des Weiteren bildet das Produktionsstrukturmodell die Basis für das skalierbare, lebenszyklus- und bewertungsorientierte Kostenmodell. In beiden Modellen besteht die Möglichkeit Unternehmens- und Produktionsstrukturspezifika abzubilden. Das in der Methode verwendete Unsicherheitenmodell klassifiziert sämtliche Ausprägungen von Unsicherheiten und bildet das Grundgerüst zur Integration von zu berücksichtigenden Risiken bei Produktionsstrukturadaptionen.

Anforderung an die Modelle	Erfüllungsgrad
Allgemeingültigkeit	●
Ganzheitlichkeit	●
Skalierbarkeit	●
Anforderung an die Methode	Erfüllungsgrad
Berücksichtigung von externen und internen Adaptionenauslösern	●
Überwachung schleichender Effizienzverluste sowie zeitdiskreter Ereignisse	●
Berücksichtigung der sich über den Lebenszyklus verändernden Parameter	●
Betrachtung der lebenszyklusbedingten Wechselwirkungen	◐
monetäre Bewertung von Adaptionsszenarien	●
Risikobetrachtung durch Integration von Unsicherheiten	●
Praxistauglichkeit	◐

● vollständig erfüllt	◐ überwiegend erfüllt	◑ teilweise erfüllt
◒ kaum erfüllt	○ nicht erfüllt	

Abbildung 68: Bewertung der Modelle und der Methode hinsichtlich Erfüllung der gestellten Anforderungen

Die entwickelte Methode unterstützt die Identifikation eines extern bzw. intern ausgelösten Adaptionenbedarfs sowie die Planung und Bewertung der daraus abgeleiteten Adaptionsszenarien. Das Vorgehen zur Überwachung der Leistungsfähigkeit der Produktionsstruktur sowie zur Identifikation des Adaptionenbedarfs ist an das Rezeptormodell gekoppelt und berücksichtigt somit *externe als auch*

## 7 Anwendung der Methode

---

*interne Adaptionensauslöser*, die durch eine Veränderung eines oder mehrerer Rezeptoren angezeigt werden.

Durch permanente Überwachung ausgewählter strukturelevanter Kennzahlen wird sowohl die Veränderung der Rezeptoren als auch die Leistungsfähigkeit der Produktionsstruktur beobachtet. Ziel der Überwachung ist die Identifikation von Abweichungen hinsichtlich der Zielvorgaben des Unternehmens sowie den bei der Produktionsstrukturplanung prognostizierten Verläufen planungsrelevanter Kennzahlen. Zusätzlich erfolgt eine systematische und teilweise durch Methoden gestützte Überwachung zeitdiskreter Ereignisse im Unternehmensumfeld sowie im Unternehmen selbst, die sich ebenfalls auf die Rezeptoren auswirken können und oftmals eine Adaption der Produktionsstruktur bedingen. Dies ermöglicht es, den Adaptionsbedarf aufgrund *schleichender Effizienzverluste als auch zeitdiskreter Ereignisse* zu identifizieren.

Zur zeitgerechten Identifikation des Adaptionsbedarfs und der Bewertung der sich daraus ergebenden Adaptionsszenarien werden sowohl aktuelle Daten und Ereignisse als auch Prognosen der Verläufe und möglicher eintretender Ereignisse verwendet. Einen wichtigen Bestandteil der Prognosen bilden Lebenszyklusmodelle der produzierten Produkte sowie der in der Produktion genutzten Betriebsmittel und Technologien. Für die Modellierung der Lebenszyklen wurden Parameter mit direktem Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Produktionsstruktur gewählt. Durch Nutzung der Lebenszyklusmodelle können die Auswirkungen der sich *über den Lebenszyklus verändernden Parameter* in die Identifikation des Adaptionsbedarfs sowie die Bewertung der Adaptionsszenarien integriert werden. Die Anforderung hinsichtlich der Berücksichtigung *lebenszyklusbedingter Wechselwirkungen*, die Einfluss auf die Lebenszyklusverläufe haben, wurde zwischen den Produkt- und Betriebsmittellebenszyklen durch die Verknüpfung über die Stückzahl der zu produzierenden Produkte bzw. zwischen den Betriebsmittel- und Technologielebenszyklen über die Ausprägung der Unsicherheiten hinsichtlich der technologischen Leistungsfähigkeit realisiert.

Durch Abbildung der sich je nach Adaptionsszenario innerhalb der Kostenbausteine im Kostenmodell unterscheidenden Verläufe der Produkt- und Betriebsmittellebenszyklen wird eine *monetäre Bewertung der Adaptionsszenarien* unter Berücksichtigung der Lebenszyklen hinsichtlich unternehmensspezifisch definierbarer Zielgrößen ermöglicht. Des Weiteren können dadurch mögliche, durch die zeitliche Abstimmung der Lebenszyklen, zu generierende Kostenvorteile aufgezeigt werden. Die zusätzliche Verknüpfung mit dem Unsicherheitenmodell und der damit verbundenen Abbildung unsicherer Einflussfaktoren erlaubt eine umfassende *Risikobetrachtung* der Bewertungsergebnisse.

Zur Sicherstellung der Anwendbarkeit der entwickelten Methode wurde die Anforderung hinsichtlich *Praxistauglichkeit* gestellt, die eine einfache und zeit-

lich aufwandsarme Anwendung bei gleichzeitiger Schaffung eines Mehrwerts für das Unternehmen fordert. Die Nutzung von Modellen trägt zu einer erheblichen Reduktion der Komplexität bei und stellt die Transparenz der Methode und der betrachteten Produktionsstruktur sicher. Der schrittweise Aufbau der Methode sowie das systematische Vorgehen befähigen den Nutzer zielgerichtet zu arbeiten und die Komplexität der Aufgabe zu beherrschen. Die Möglichkeit der Verwendung der in Unternehmen weit verbreiteten Tabellenkalkulation Microsoft® Office Excel® sowie die einfache Modellierung der Unsicherheiten und Durchführung der Bewertungssimulation mit der Software Crystal Ball® von Oracle® fördert die Akzeptanz bei den Nutzern. Durch die Modellierung der Lebenszyklen ist der Aufwand für die Durchführung der Methode, verglichen mit anderen Methoden, höher, sofern die Lebenszykluskostenrechnung im Unternehmen noch nicht als Werkzeug verwendet wird. Der damit verbundene Zwang zur umfassenden Planung und Abschätzung der zukünftigen Dynamik steht im Gegensatz zu traditionellen Kostenrechnungen und kann zu zusätzlicher Informationsarbeit bei den Mitarbeitern im Unternehmen führen.

Der Mehrwert der Methode spiegelt sich in mehreren Punkten wider. Einerseits unterstützt die Methode die frühzeitige Identifikation eines unternehmensumfelds- bzw. lebenszyklusbedingten Adaptionbedarfs unter Berücksichtigung von Unsicherheiten und befähigt dadurch Unternehmen, deren Produktionsstruktur rechtzeitig zur Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit anzupassen. Andererseits können durch die Berücksichtigung von Produkt-, Technologie- und Betriebsmittellebenszyklen die Umsetzungszeitpunkte einzelner Strukturmaßnahmen mit dem größten Wettbewerbspotential für das Unternehmen identifiziert werden. Dies basiert auf der in die Bewertung integrierten Kopplung von Lebenszyklen mit der Veränderung bestimmter, die Leistungsfähigkeit der Produktionsstruktur beeinflussender Parameter sowie der Betrachtung und Bewertung aller Elemente der Produktionsstruktur als ein System. Hierbei hat sich bei Anwendung der Methode gezeigt, dass die Auswirkungen der sich über den Lebenszyklus ändernden Parameter die Bewertungsergebnisse der Adaptionsszenarien stark beeinflussen und zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Die Berücksichtigung der Lebenszyklen ermöglicht somit die Identifikation von Wettbewerbspotentialen, die bei anderen Methoden nicht aufgezeigt werden. Eine generische Aussage bezüglich des monetären Mehrwerts verglichen mit anderen Methoden ist nicht möglich und kann nur a posteriori auf Basis des Mehraufwands sowie der zusätzlich identifizierten Potentiale, verglichen mit bereits existierenden Methoden, ermittelt werden. Im Rahmen des Projektbeispiels standen jedoch einem durch die Modellierung der Lebenszyklen bedingten Mehraufwand von €30.000 zusätzliche Einsparungspotentiale von mindestens €500.000 bei den Herstellkosten bis Ende 2015 gegenüber.



## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Das produzierende Gewerbe stellt mit seiner Leistung und Größe einen wichtigen Zweig der deutschen Wirtschaft dar. Die Rahmenbedingungen, die Unternehmen bei der Leistungserbringung zu berücksichtigen haben, ändern sich jedoch stetig und immer schneller, wie der Trend zu immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen deutlich zeigt. Produkt- und Prozessinnovationen stellen in einem solchen Umfeld eine Möglichkeit dar, die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten bzw. auszubauen. Gleichzeitig führt dies jedoch dazu, dass aufgrund des hohen Lohnniveaus in Deutschland und der Verwendung von oftmals kapitalintensiven Produktionseinrichtungen, Unternehmen zur Gewährleistung der Wirtschaftlichkeit permanent deren Produktion anpassen müssen. In der Wissenschaft und Praxis wird hierbei die Harmonisierung der Lebenszyklen und die damit verbundene zeitliche Abstimmung der durchzuführenden Adaptionen als Möglichkeit zur Generierung von Kostenvorteilen gesehen. Dies stellt die Produktionsplaner immer wieder vor neue Herausforderungen, die Komplexität, aufgrund der oftmals großen Anzahl an sich in unterschiedlichen Phasen ihres Lebenszyklus befindlichen Produkte, Technologien und Betriebsmittel, zu beherrschen.

Die Untersuchung bestehender Arbeiten hat gezeigt, dass bereits einige Ansätze zur lebenszyklusorientierten Identifikation, Planung und Bewertung von Produktionsstrukturadaptionen bestehen. Dies zeigt die Relevanz der Aufgabenstellung zur Abstimmung von Adaptionen der Produktionsstruktur unter Berücksichtigung von Lebenszyklen. Allerdings beschäftigen sich existierende Ansätze nur mit Teilaspekten der Produktionsstrukturadaption, wodurch die Identifikation, Planung und Bewertung von Adaptionen nicht im Zusammenspiel betrachtet werden. Dies führt zur Vernachlässigung wichtiger im Rahmen der Harmonisierung von Lebenszyklen zu berücksichtigender Aspekte. Es konnte festgestellt werden, dass derzeit keine Methode existiert, die eine alle drei Phasen übergreifende Integration von Lebenszyklen zur Unterstützung der Harmonisierung bereitstellt.

Um dies zu gewährleisten, werden bei der in dieser Arbeit entwickelten Methode Lebenszyklen und deren Wechselwirkungen in die Phase der Identifizierung des Adoptionsbedarfs sowie die Phasen der Planung und Bewertung von Strukturmaßnahmen integriert und berücksichtigt. Basierend auf Modellen, die zur Abbildung der Produktions- und Kostenstruktur sowie der auftretenden Unsicherheiten innerhalb der drei Phasen entwickelt wurden, erfolgt im ersten Schritt eine reaktive als auch prospektive Überwachung der Leistungsfähigkeit der Produktionsstruktur. Für die Prognosen im Rahmen der prospektiven Überwachung wird die zeitliche Entwicklung der Lebenszyklusverläufe von Produkten, Betriebsmitteln und Technologien herangezogen. Hierbei wurden die

Lebenszykluskosten der Betriebsmittel an die Stückzahlverläufe der Produktlebenszyklen gekoppelt sowie mögliche auftretende Unsicherheiten auf Basis der Leistungsfähigkeit der einzelnen Technologien abgeschätzt. Die Verknüpfung mit Unsicherheiten ermöglicht Risiken der Prognose abzubilden, wodurch sogenannte Adaptionbedarfszeitfenster identifiziert werden. Basierend auf den Ergebnissen der Identifikation werden im Rahmen der Planung Strukturmaßnahmen zur Adaption der Produktionsstruktur abgeleitet. Die zeitlichen Kombinationsmöglichkeiten für die Durchführung der Maßnahmen bilden die im darauf folgenden Schritt zu bewertenden Adaptionsszenarien. Basis der Bewertung bildet das mit dem Unsicherheitenmodell verknüpfte Kostenmodell, das einerseits die anfallenden Kosten den Elementen der Produktionsstruktur zuordnet und andererseits lebenszyklusbedingte Verläufe der Einflussfaktoren integriert. Grund für die Nutzung einer monetären Zielgröße ist die Möglichkeit, die durch die zeitliche Abstimmung von Strukturmaßnahmen zu generierenden Kostenvorteile zu identifizieren. Um dies zu gewährleisten sind seitens des Unternehmens Zielgrößen und Zielwerte zu definieren, hinsichtlich der die einzelnen Adaptionsszenarien zu bewerten sind. Zur Abbildung der durch die Unsicherheiten modellierten Risiken erfolgt am Beginn der Bewertung die numerische Simulation eines jeden Adaptionsszenarios. Die erhaltenen Ergebnisse werden anschließend mit Hilfe des Histogramm-Vergleichs, der Portfolio-, Kostenstruktur- und Sensitivitätsanalyse untersucht und interpretiert. Die zwei letzten Methoden werden hierbei gezielt zur Identifikation von allgemeinen sowie lebenszyklusorientierten Maßnahmen zur Verbesserung der Ergebnisse und zur Reduktion der auftretenden Risiken eingesetzt.

Die Anwendung im Rahmen eines industriellen Projektbeispiels zeigte sowohl die Potentiale der entwickelten Methode als auch noch bestehenden Handlungsbedarf auf. Die Modellierung der Lebenszyklen und der damit verbundene Zwang zur Abschätzung bzw. Planung der zukünftigen Dynamik führte bei den Anwendern der Methode zu einer höheren Transparenz hinsichtlich der Produktionsstruktur und anfallender Adaptionkosten sowie einer verstärkten Sensibilisierung für den tatsächlichen Bedarf an Produktionsstrukturadaptionen. Die Berücksichtigung von Produkt-, Technologie- und Betriebsmittellebenszyklen im Rahmen der Bewertung zeigte deutlich, dass durch die zeitliche Abstimmung der Umsetzung von Strukturmaßnahmen mittel- bis langfristige Kostenvorteile erzielt werden können, die von herkömmlichen Bewertungsmethoden nicht erfasst werden.

Ein Ansatz für weitere Forschungsarbeiten stellt die Erweiterung der Modellierung von Produktlebenszyklen um zusätzliche, für die Produktionsstruktur leistungsrelevante Aspekte dar. So könnte eine Modellierung der Markt- bzw. Wettbewerbssituation mit der Modellierung der Produktlebenszyklen gekoppelt werden. Ebenso besteht Handlungsbedarf bei der Reduktion des Modellierungsaufwands für Lebenszyklen und die zu berücksichtigenden Unsicherheiten. Der

---

Aufwand kann jedoch durch den Aufbau entsprechender Wissensdatenbanken zur Strukturierung und Formalisierung der notwendigen Informationen reduziert werden. Generell sollte hierbei eine Verankerung der Lebenszykluskostenrechnung im Unternehmen angestrebt werden. Die Entwicklung einer Software mit grafischer Oberfläche zur Unterstützung der Anwendung der Methode vom Aufbau der Modelle bis hin zur Bewertung würde zu einer Verringerung des Gesamtaufwands beitragen. Im Rahmen des Projektbeispiels zeigte sich auch der Bedarf, die Dauer zur Umsetzung von Strukturmaßnahmen variabel zu gestalten, da diese oftmals von der geplanten Zeit abweicht und Auswirkungen auf das Ergebnis haben kann.

Die in dieser Arbeit entwickelte Methode leistet einen Beitrag zur Harmonisierung von Lebenszyklen im Rahmen von Produktionsstrukturadaptionen. Sie ermöglicht eine hohe Transparenz hinsichtlich des Bedarfs zur Adaption und verbessert, durch die ganzheitliche Betrachtung der Produktionsstruktur, den Nachweis monetärer Auswirkungen sowie Risiken durch die zeitliche Abstimmung von Strukturmaßnahmen. Der prospektive Ansatz verbindet die Möglichkeit, rechtzeitig planen und schnell auf Veränderungen im Unternehmensumfeld reagieren zu können. Die Methode befähigt Unternehmen somit ihre Wettbewerbsfähigkeit sicherzustellen bzw. auszubauen.



## Literaturverzeichnis

ABELE & REINHART 2011

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

ABELE ET AL. 2003

Abele, E.; Radtke, P.; Blitzer, A.: Automobilindustrie im Wandel – Wertschöpfungsarchitekturen der Zukunft. In: Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Marktchance Individualisierung. Berlin: Springer 2003, S. 109–117.

ACCENTURE 2005

Accenture: Was macht Innovationen erfolgreich? Wie die richtige Innovationsstrategie den Unternehmenswert steigert. Kronberg, 2005.

ADAM 1996

Adam, D.: Planung und Entscheidung: Modelle – Ziele – Methoden. 4. Auflage. Wiesbaden: Gabler 1996.

AGGTELEKY 1987

Aggteleky, B.: Fabrikplanung: Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung: Band 1: Grundlagen – Zielplanung – Vorarbeiten. Unternehmerische und systemtechnische Aspekte. 2. Auflage. München: Hanser 1987.

AGGTELEKY 1990a

Aggteleky, B.: Fabrikplanung: Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung: Band 3: Ausführungsplanung und Projektmanagement. Planungstechnik in der Realisationsphase. Neuausg. Auflage. München: Hanser 1990.

AGGTELEKY 1990b

Aggteleky, B.: Fabrikplanung: Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung: Band 2: Betriebsanalyse und Feasibility-Studie. Technisch-wirtschaftliche Optimierung von Anlagen und Bauten. 2. Auflage. München: Hanser 1990.

AKCA & ILAS 2005

Akca, N.; Ilas, A.: Produktionsstrategien: Überblick und Systematisierung. Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Essen, 2005.

ALCALDE RASCH 2000

Alcalde Rasch, A.: Erfolgspotential Instandhaltung: Theoretische Untersuchung und Entwurf eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements. Berlin: Erich Schmidt 2000.

### ALDINGER 2009

Aldinger, L. A.: Methode zur strategischen Leistungsplanung in wandlungsfähigen Produktionsstrukturen des Mittelstandes. Heimsheim: Jost-Jetter 2009. (IPA-IAO-Forschung und Praxis Nr. 491).

### ALEXOPOULOS ET AL. 2005

Alexopoulos, K.; Bürkner, S.; Milionis, I.; Chryssolouris, G.: DESYMA – An integrated method to aid the design and the evaluation of reconfigurable manufacturing systems. In: Zaeh, M. F.; Reinhart, G. (Hrsg.): 1<sup>st</sup> International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2005). Herbert Utz 2005. S. 467–475.

### ANSOFF & MACDONNELL 1990

Ansoff, H. I.; MacDonnell, E. J.: Implanting strategic management. 2. Auflage. New York: Prentice Hall 1990.

### BACK-HOCK 1988

Back-Hock, A.: Lebenszyklusorientiertes Produktcontrolling: Ansätze zur computergestützten Realisierung mit einer Rechnungswesen-Daten- u. -Methodenbank. Berlin: Springer 1988.

### BACK-HOCK 1992

Back-Hock, A.: Towards strategic accounting in product management: Implementing a holistic approach in a data and methods base for managerial accounting. *European Journal of Operational Research* 61 (1992) 1-2, S. 98–105.

### BAMBERG & COENENBERG 2006

Bamberg, G.; Coenenberg, A. G.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. 13. Auflage. München: Vahlen 2006.

### BARTH & BARTH 2008

Barth, T.; Barth, D.: Controlling. 2. Auflage. München: Oldenbourg 2008.

### BECKER ET AL. 1995

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

### BEHNCKE ET AL. 2011

Behncke, F. G. H.; Gabriel, F.; Langer, S.; Hepperle, C.; Lindemann, U.; Karl, F.; Pohl, J.; Schindler, S.; Reinhart, G.; Zaeh, M. F.: Analysis of information flows at interfaces between strategic product planning, product development and production planning to support process management – A literature based approach. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): Conference proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics 2011. IEEE 2011. S. 72–79.

BEHRENBECK 1994

Behrenbeck, K. R.: DV-Einsatz in der Instandhaltung: Erfolgsfaktoren und betriebswirtschaftliche Gesamtkonzeption. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verlag 1994.

BERGHOLZ 2008

Bergholz, D.: Einleitung: Wandlungsfähige Produktionssysteme – der Zukunft einen Schritt voraus. In: Nyhuis, P.; Reinhart, G.; Abele, E. (Hrsg.): Wandlungsfähige Produktionssysteme. Garbsen: PZH Produktionstechnisches Zentrum 2008, S. 13–18.

BISCHOF 1976

Bischof, P.: Produktlebenszyklen im Investitionsgüterbereich: Produktplanung unter Berücksichtigung von Widerständen bei der Markteinführung. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht 1976.

BLEICHER 2004

Bleicher, K.: Das Konzept integriertes Management: Visionen – Missionen – Programme. 7. Auflage. Frankfurt am Main: Campus 2004.

BRANDENBURG 2002

Brandenburg, F.: Methodik zur Planung technologischer Produktinnovationen. Aachen: Shaker 2002.

BRAUN 1984

Braun, H.: Risikomanagement: Eine spezifische Controllingaufgabe. Darmstadt: Toeche-Mittler 1984.

BRÄUNINGER ET AL. 2008

Bräuninger, M.; Schlitte, F.; Stiller, S.; Zierahn, U.: Deutschland 2018 – Die Arbeitsplätze der Zukunft. PricewaterhouseCoopers und Hamburgisches WeltWirtschaftsInstitut, 2008.

BRECHT 2004

Brecht, U.: Controlling für Führungskräfte: Was Entscheider im Unternehmen wissen müssen. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2004.

BRECHT 2005

Brecht, U.: BWL für Führungskräfte: Was Entscheider im Unternehmen wissen müssen. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2005.

BREIT 1985

Breit, C.: Lern- und Erfahrungseffekte in der Produktionstheorie. München: GBI-Verlag 1985.

## Literaturverzeichnis

---

BRIEKE 2009

Brieke, M.: Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung in der Fabrikplanung. Garbsen: PZH Produktionstechnisches Zentrum 2009.

BRIEL 2002

Briel, R. v.: Ein skalierbares Modell zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Anpassungsinvestitionen in ergebnisverantwortlichen Fertigungssystemen. Heimsheim: Jost-Jetter 2002.

BUCHHOLZ 2009

Buchholz, L.: Strategisches Controlling: Grundlagen – Instrumente – Konzepte. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2009.

BULLINGER 1994

Bullinger, H.-J.: Einführung in das Technologiemanagement: Modelle, Methoden, Praxisbeispiele. Stuttgart: Teubner 1994.

BULLINGER ET AL. 2009

Bullinger, H.-J.; Spath, D.; Warnecke, H.-J.; Westkämper, E.: Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung. 3. Auflage. Berlin: Springer 2009.

BÜRKNER ET AL. 2005

Bürkner, S.; Roscher, J.; Schmitt, M.; Friese, M.: Methods for flexibility evaluation in automotive industry. In: Zaeh, M. F.; Reinhart, G. (Hrsg.): 1<sup>st</sup> International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2005). Herbert Utz 2005. S. 446–451.

CALANTONE ET AL. 2003

Calantone, R.; Garcia, R.; Dröge, C.: The Effects of Environmental Turbulence on New Product Development Strategy Planning. *Journal of Product Innovation Management* 20 (2003) 2, S. 90–103.

CHAKRAVARTHY 1997

Chakravorthy, B.: A New Strategy Framework for Coping with Turbulence. *Sloan Management Review* 38 (1997) 2, S. 69–82.

CISEK 2005

Cisek, R.: Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen. München: Herbert Utz 2005. (Forschungsberichte IWB Nr. 191).

CISEK ET AL. 2002

Cisek, R.; Habicht, C.; Neise, P.: Gestaltung wandlungsfähiger Produktionssysteme. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 97 (2002) 9, S. 441–445.

CLARK 1922

Clark, W.: The Gantt Chart: A Working Tool of Management. New York: The Ronald Press Company 1922.

COOK 1996

Cook, A.: Vision in Manufacturing: Planning for the Future. R&D Management 26 (1996) 3, S. 309–310.

COPELAND & ANTIKAROV 2001

Copeland, T. E.; Antikarov, V.: Real Options: A practitioner's guide. New York: Texere 2001.

COTTIN & DÖHLER 2009

Cottin, C.; Döhler, S.: Risikoanalyse: Modellierung, Beurteilung und Management von Risiken mit Praxisbeispielen. Wiesbaden: Vieweg + Teubner/GWV Fachverlage 2009.

DEAN 1950

Dean, J.: Pricing Policies for New Products. Harvard Business Review 28 (1950) 6, S. 45–53.

DENK & EXNER-MERKELT 2005

Denk, R.; Exner-Merkelt, K. (Hrsg.): Corporate Risk Management: Unternehmensweites Risikomanagement als Führungsaufgabe. Wien: Linde International 2005.

DIEPOLD & LOHMANN 2010

Diepold, K.; Lohmann, B.: Transient Probabilistic Recurrent Fuzzy Systems. In: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.): Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics 2010. IEEE 2010. S. 3529–3536.

DIETRICH & SCHULZE 2009

Dietrich, E.; Schulze, A.: Statistische Verfahren zur Maschinen- und Prozessqualifikation. 6. Auflage. München: Hanser 2009.

DIN 31051 2012

DIN 31051: DIN-Norm 31051, Grundlagen der Instandhaltung, ICS-Notation: 01.040.03. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2012.

DIN EN 60300-3-3 2005

DIN EN 60300-3-3: DIN-Norm EN 60300-3-3, Zuverlässigkeitsmanagement – Teil 3-3: Anwendungsleitfaden – Lebenszykluskosten, ICS-Notation: 03.120.10. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2005.

DIN EN 61649 2009

DIN EN 61649: DIN-Norm EN 61649, Weibull-Analyse (IEC 61649:2008), ICS-Notation: 03.120.30. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2009.

DIN EN 61703 2002

DIN EN 61703: DIN-Norm EN 61703, Mathematische Ausdrücke für Begriffe der Funktionsfähigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Instandhaltungsbereitschaft, ICS-Notation: 01.040.07. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2002.

DOHMS 2001

Dohms, R.: Methodik zur Bewertung und Gestaltung wandlungsfähiger, dezentraler Produktionsstrukturen. Aachen: Shaker 2001.

DOLEZALEK 1965

Dolezalek, C. M.: Die industrielle Produktion in der Sicht des Ingenieurs. Technische Rundschau 57 (1965) 35, S. 2–5.

EASINGWOOD 1988

Easingwood, C. J.: Product lifecycle patterns for new industrial products. R&D Management 18 (1988) 1, S. 23–32.

ECKEY ET AL. 2005

Eckey, H.-F.; Kosfeld, R.; Türck, M.: Deskriptive Statistik: Grundlagen – Methoden – Beispiele. 4. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2005.

EICHLER 1990

Eichler, C.: Instandhaltungstechnik. 5. Auflage. Berlin: Technik/Huss Medi 1990.

EISENFÜHR & WEBER 2002

Eisenführ, F.; Weber, M.: Rationales Entscheiden. 4. Auflage. Berlin: Springer 2002.

ELMARAGHY ET AL. 2013

ElMaraghy, H. A.; Schuh, G.; ElMaraghy, W.; Piller, F.; Schönsleben, P.; Tseng, M.; Bernard, A.: Product Variety Management. Annals of the CIRP – Manufacturing Technology 62 (2013) 2, S. 629–652.

ERBEN ET AL. 2008

Erben, R.; Kalwait, R.; Meyer, R.; Romeike, F.; Schellenberger, O.: Risikomanagement in der Unternehmensführung: Wertgenerierung durch chancen- und kompetenzorientiertes Management. 1. Auflage. Weinheim: Wiley-VCH 2008.

ESCHENBACH & NIEDERMAYER 1996a

Eschenbach, R.; Niedermayer, R.: Die Konzeption des Controlling. In: Eschenbach, R. (Hrsg.): Controlling. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1996, S. 65–93.

ESCHENBACH & NIEDERMAYER 1996b

Eschenbach, R.; Niedermayer, R.: Controlling in der Literatur. In: Eschenbach, R. (Hrsg.): Controlling. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1996, S. 49–64.

EVERSHEIM 1992

Eversheim, W.: Flexible Produktionssysteme. In: Frese, E. (Hrsg.): Handwörterbuch der Organisation. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1992.

EVERSHEIM 1997

Eversheim, W.: Prozeßorientiertes Qualitätscontrolling: Qualität meßbar machen. Berlin: Springer 1997.

EVERSHEIM ET AL. 1996

Eversheim, W.; Böhlke, U. H.; Martini, C. J.; Schmitz, W. J.: Innovativer mit dem Technologiekettenkalender. Harvard Business Manager 18 (1996) 1, S. 105–114.

FABRYCKY & BLANCHARD 1991

Fabrycky, W. J.; Blanchard, B. S.: Life-cycle cost and economic analysis. Englewood Cliffs: Prentice Hall 1991.

FIEBIG 2004

Fiebig, C.: Synchronisation von Fabrik- und Technologieplanung. Düsseldorf: VDI 2004.

FISCHER 2001

Fischer, M.: Produktlebenszyklus und Wettbewerbsdynamik: Grundlagen für die ökonomische Bewertung von Markteintrittsstrategien. 1. Auflage. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verlag 2001.

FISCHER 2009

Fischer, D.: Controlling: Balanced Scorecard, Kennzahlen, Prozess- und Risikomanagement. München: Vahlen 2009.

FORD & RYAN 1981

Ford, D.; Ryan, C.: Taking technology to market. Harvard Business Review 59 (1981) 2, S. 117–126.

FREIDANK & VELTE 2007

Freidank, C.-C.; Velte, P.: Rechnungslegung und Rechnungslegungspolitik. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2007.

### FRIESE ET AL. 2005

Friese, M.; Bihlmaier, R.; Bürkner, S.: Planning of Flexible Production Networks in Automotive Industry. In: Zaeh, M. F.; Reinhart, G. (Hrsg.): 1<sup>st</sup> International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2005). Herbert Utz 2005. S. 343–346.

### FRITZ & OELSNITZ 2006

Fritz, W.; Oelsnitz, D. d. v.: Marketing: Elemente marktorientierter Unternehmensführung. 4. Auflage. Stuttgart: Kohlhammer 2006.

### GEBHARDT & MANSCH 2001

Gebhardt, G.; Mansch, H.: Risikomanagement und Risikocontrolling in Industrie- und Handelsunternehmen: Empfehlungen des Arbeitskreises „Finanzierungsrechnung“ der Schmalenbach-Gesellschaft für Betriebswirtschaft e. V. Düsseldorf: Verlagsgruppe Handelsblatt 2001.

### GEISSDÖRFER 2009

Geißdörfer, K.: Total Cost of Ownership (TCO) und Life Cycle Costing (LCC): Einsatz und Modelle: Ein Vergleich zwischen Deutschland und USA. 1. Auflage. Münster: LIT 2009. (Controlling und Management 7).

### GIDO & CLEMENTS 2008

Gido, J.; Clements, J. P.: Successful project management. 4. Auflage. Mason: South-Western 2008.

### GIENKE 2006

Gienke, H.: Controlling-Grundlagen: Ziele, Strategien und Aufgaben des Produktionscontrolling. In: Gienke, H.; Kämpf, R. (Hrsg.): Praxishandbuch Produktion. Köln: Dt. Wirtschaftsdienst 2006, S. 42–46.

### GLEISSNER & MEIER 2001

Gleißner, W.; Meier, G.: Wertorientiertes Risiko-Management für Industrie und Handel: Methoden, Fallbeispiele, Checklisten. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2001.

### GLEISSNER & ROMEIKE 2005

Gleißner, W.; Romeike, F.: Risikomanagement: Umsetzung, Werkzeuge, Risikobewertung; Controlling, Qualitätsmanagement und Balanced Scorecard als Plattform für den Aufbau. 1. Auflage. Freiburg: Haufe 2005.

### GÖTZE 2006

Götze, U.: Investitionsrechnung: Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. 5. Auflage. Berlin: Springer 2006.

### GRUNDIG 2008

Grundig, C. G.: Fabrikplanung: Planungssystematik – Methoden – Anwendungen. 3. Auflage. München: Hanser 2008.

GÜNTHER & NIEPEL 2000

Günther, T.; Niepel, M.: Controlling. Die Betriebswirtschaft (2000) 2, S. 222–239.

GÜNTHER & TEMPELMEIER 2009

Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.: Produktion und Logistik. 8. Auflage. Berlin: Springer 2009.

HANSMANN 2006

Hansmann, K.-W.: Industrielles Management. 8. Auflage. München: Oldenbourg 2006.

HAPM PUBLICATIONS LTD. 1992

HAPM Publications Ltd.: HAPM Component Life Manual. London: E&FN Spon 1992.

HÄRDLER 2007

Härdler, J. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre für Ingenieure: Lehr- und Praxisbuch für Ingenieure und Wirtschaftsingenieure. 3. Auflage. München: Hanser 2007.

HARMS 2004

Harms, T.: Agentenbasierte Fabrikstrukturplanung. Garbsen: PZH Produktionstechnisches Zentrum 2004.

HARTMANN 2008

Hartmann, M.: Technologie-Kostenanalyse. In: Schmeisser, W.; Mohnkopf, H.; Hartmann, M.; Metze, G. (Hrsg.): Innovationserfolgsrechnung. Berlin: Springer 2008, S. 291–303.

HAYES & WHEELWRIGHT 1979

Hayes, R. H.; Wheelwright, S. C.: Link manufacturing process and product life cycles. Harvard Business Review (1979) January-February, S. 133–140.

HAYES & WHEELWRIGHT 1984

Hayes, R. H.; Wheelwright, S. C.: Restoring our competitive edge: Competing through manufacturing. New York: John Wiley 1984.

HEINEN ET AL. 2008

Heinen, T.; Rimpau, C.; Wörn, A.: Wandlungsfähigkeit als Ziel der Produktionssystemgestaltung. In: Nyhuis, P.; Reinhart, G.; Abele, E. (Hrsg.): Wandlungsfähige Produktionssysteme. Garbsen: PZH Produktionstechnisches Zentrum 2008, S. 19–32.

HENN & KÜHNLE 1999

Henn, G.; Kühnle, H.: Strukturplanung. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Produktion und Management. Berlin: Springer 1999.

HERNÁNDEZ MORALES 2003

Hernández Morales, R.: Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung. Düsseldorf: VDI 2003. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 16, Technik und Wirtschaft 149).

HERRMANN 2010

Herrmann, C.: Ganzheitliches Life Cycle Management: Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung in Unternehmen. Berlin: Springer 2010. VDI-Buch.

HILDEBRAND ET AL. 2005

Hildebrand, T.; Mäding, K.; Günther, U.: Plug+Produce: Gestaltungsstrategien für die wandlungsfähige Fabrik. Chemnitz: IBF 2005.

HILDEBRAND ET AL. 2011

Hildebrand, K.; Gebauer, M.; Hinrichs, H.; Mielke Michael (Hrsg.): Daten- und Informationsqualität: Auf dem Weg zur Information Excellence. 2. Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner 2011.

HILL & HILL 2009

Hill, A.; Hill, T.: Manufacturing operations strategy. 3. Auflage. Basingstoke: Palgrave Macmillan 2009.

HOFER & SCHENDEL 1978

Hofer, C. W.; Schendel, D.: Strategy formulation: Analytical concepts. St. Paul: West Pub. Co. 1978.

HOFFMANN ET AL. 2009

Hoffmann, K.; Krenn, E.; Stanker Gerhard: Fördertechnik 1: Bauelemente, ihre Konstruktion und Berechnung. 8. Auflage. München: Oldenbourg 2009.

HÖFT 1992

Höft, U.: Lebenszykluskonzepte: Grundlage für das strategische Marketing- und Technologiemanagement. Berlin: E. Schmidt 1992.

HÖLSCHER 2000

Hölscher, R.: Gestaltungsformen und Instrumente des industriellen Risikomanagements. In: Schierenbeck, H. (Hrsg.): Risk-Controlling in der Praxis. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2000, S. 297–363.

HOMBURG 2000

Homburg, C.: Quantitative Betriebswirtschaftslehre: Entscheidungsunterstützung durch Modelle. 3. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2000.

HOMBURG 2012

Homburg, C.: Marketingmanagement: Strategie – Instrumente – Umsetzung – Unternehmensführung. 4. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2012.

HOMPEL ET AL. 2007

Hompel, M. t.; Schmidt, T.; Nagel, L.: Materialflusssysteme: Förder- und Lagertechnik. 3. Auflage. Berlin: Springer 2007.

HOPFMANN 1989

Hopfmann, L.: Flexibilität im Produktionsbereich: Ein dynamisches Modell zur Analyse und Bewertung von Flexibilitätspotentialen. Frankfurt am Main: P. Lang 1989.

HORVÁTH 2009

Horváth, P.: Controlling. 11. Auflage. München: Vahlen 2009.

HUANG 2010

Huang, X.: Portfolio analysis: From probabilistic to credibilistic and uncertain approaches. Berlin: Springer Verlag 2010.

HULT 2012

Hult, H.: Risk and portfolio analysis: Principles and methods. New York: Springer 2012.

HÜTTNER 1986

Hüttner, M.: Prognoseverfahren und ihre Anwendung. Berlin: De Gruyter 1986.

ISO 15686 2011

ISO 15686: Hochbau und Bauwerke – Planung der Lebensdauer. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2011.

JANSSEN 1997

Janssen, H.: Flexibilitätsmanagement: Theoretische Fundierung und Gestaltungsmöglichkeiten in strategischer Perspektive. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1997.

JOHNSON ET AL. 2011

Johnson, G.; Scholes, K.; Whittington, R.: Strategisches Management – Eine Einführung: Analyse, Entscheidung und Umsetzung. 1. Auflage. München: Pearson Studium 2011.

JUNG 2006

Jung, H.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 10. Auflage. München: Oldenbourg 2006.

## Literaturverzeichnis

---

KALMBACH ET AL. 2003

Kalmbach, P.; Franke, R.; Knottenbauer, K.; Krämer, H.; Schaefer, H.: Die Bedeutung einer wettbewerbsfähigen Industrie für die Entwicklung des Dienstleistungssektors. Bremen, 2003.

KALUZA & BEHRENS 2005

Kaluza, B.; Behrens, S.: Erfolgsfaktor Flexibilität: Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen. Berlin: Schmidt 2005. (Technological economics 60).

KEMMINER 1999

Kemminer, J.: Lebenszyklusorientiertes Kosten- und Erlösmanagement. Wiesbaden: Gabler 1999.

KEMPF 2004

Kempf, R.: Rekurrente Fuzzy-Systeme. Düsseldorf: VDI 2004.

KETTNER ET AL. 1984

Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.-R.: Leitfaden der systematischen Fabrikplanung. München: Hanser 1984.

KINKEL 2005

Kinkel, S.: Anforderungen an die Fertigungstechnik von morgen: Wie verändern sich Variantenzahlen, Losgrößen, Materialeinsatz, Genauigkeitsanforderungen und Produktlebenszyklen tatsächlich? VDI-Zeitschrift für integrierte Produktionstechnik 148 (2005) 7/8, S. 58–61.

KIRCHNER ET AL. 2003

Kirchner, S.; Winkler, R.; Westkämper, E.: Unternehmensstudie zur Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 4, S. 254–260.

KIRSTEIN 1992

Kirstein, H.: Betriebsmittelwartung als wesentlicher Faktor zur Qualitätssicherung. In: VDI-Ausschuß Instandhaltung/VDEh-Ausschuß für Anlagenstechnik (Hrsg.): Tagungsband, 1992. S. 221–240.

KOLAKOWSKI ET AL. 2005

Kolakowski, M.; Reh, D.; Sallaba, G.: Erweiterte Wirtschaftlichkeit (EWR): Ganzheitliche Bewertung von Varianten und Ergebnissen in der Fabrikplanung. wt Werkstattstechnik online 95 (2005) 4, S. 210–215.

KORVES & KREBS 2008

Korves, B.; Krebs, P.: Bewertung und Planung von Fabriken unter Flexibilitätsgesichtspunkten bei der Siemens AG. In: Zäh, M. F.; Hoffmann, H.; Reinhart, G. (Hrsg.): Münchener Kolloquium Innovationen für die Produktion. München: Herbert Utz 2008, S. 57–67.

KOZAMI 2005

Kozami, A.: Business policy and strategic management. 2. Auflage. New-Delhi: McGraw-Hill 2005.

KRATZHELLER 1997

Kratzheller, J. B.: Risiko und Risk Management aus organisationswissenschaftlicher Perspektive. Diss., Universität Wiesbaden 1997.

KREBS 2012

Krebs, P.: Bewertung vernetzter Produktionsstandorte unter Berücksichtigung multidimensionaler Unsicherheiten. München: Herbert Utz 2012. (Forschungsberichte IWB Nr. 255).

KREBS ET AL. 2009

Krebs, P.; Mueller, N.; Reinhardt, S.; Schellmann, H.; Bredow, M. v.; Reinhart, G.: Ganzheitliche Risikobewertung für produzierende Unternehmen. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 104 (2009) 3, S. 174–181.

KRUBASIK 1982

Krubasik, E. G.: Technologie: Strategische Waffe. Wirtschaftswoche 36 (1982) 25, S. 28–33.

KRUSCHWITZ 2000

Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung. 8. Auflage. München: Oldenbourg 2000.

KUNZE & SCHWEDT 2002

Kunze, U. R.; Schwedt, G.: Grundlagen der qualitativen und quantitativen Analyse: 25 Tabellen. 5. Auflage. Weinheim: Wiley-VCH 2002.

LABUSCHAGNE & BRENT 2005

Labuschagne, C.; Brent, A.: Sustainable Project Life Cycle Management: the need to integrate life cycles in the manufacturing sector. International Journal of Project Management 23 (2005) 2, S. 159–168.

LACHNIT 1976

Lachnit, L.: Zur Weiterentwicklung betriebswirtschaftlicher Kennzahlensysteme. Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 28 (1976), S. 216–230.

LACHNIT 2004

Lachnit, L.: Bilanzanalyse: Grundlagen – Einzel- und Konzernabschlüsse – internationale Abschlüsse – Unternehmensbeispiele. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2004.

## Literaturverzeichnis

---

LACHNIT & MÜLLER 2006

Lachnit, L.; Müller, S.: Unternehmenscontrolling: Managementunterstützung bei Erfolgs-, Finanz-, Risiko- und Erfolgspotenzialsteuerung. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2006.

LAUX & LIERMANN 2005

Laux, H.; Liermann, F.: Grundlagen der Organisation: Die Steuerung von Entscheidungen als Grundproblem der Betriebswirtschaftslehre. 6. Auflage. Berlin: Springer 2005.

LEBER 1995

Leber, M.: Entwicklung einer Methode zur restriktionsgerechten Produktgestaltung auf der Basis von Ressourcenverbräuchen. Diss., RWTH Aachen 1995.

LÖDDING 2008

Lödding, H.: Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration. 2. Auflage. Berlin: Springer 2008.

LOEPER 1995

Loeper, S.: Kennzahlengestütztes Beratungssystem zur Verbesserung der Logistikleistung in der Werkstattfertigung. Diss., Universität Karlsruhe 1995.

LÜCK ET AL. 2002

Lück, W.; Henke, M.; Gaenslen, P.: Die Interne Revision und das Interne Überwachungssystem vor dem Hintergrund eines integrierten Risikomanagements. In: Hölscher, R.; Elfgen, R. (Hrsg.): Herausforderung Risikomanagement. Wiesbaden: Gabler 2002, S. 225–238.

MALUCHE 1979

Maluche, C.: Entwicklung eines Kennzahlensystems für den Produktionsbereich auf der Basis sekundär-statistischer Daten. Diss., RWTH Aachen 1979.

MÄNNEL 1988

Männel, W. (Hrsg.): Integrierte Anlagenwirtschaft. Köln: TÜV Rheinland 1988.

MATEIKA 2005

Mateika, M.: Unterstützung der lebenszyklusgerechten Produktplanung am Beispiel des Maschinen- und Anlagenbaus. Essen: Vulkan 2005.

MATYAS 2008

Matyas, K.: Taschenbuch Instandhaltungslogistik: Qualität und Produktivität steigern. 3. Auflage. München: Hanser 2008.

MAUDERER 1998

Mauderer, M.: Verfügbarkeit an Produktionsanlagen. In: Milberg, J.; Reinhart, G. (Hrsg.): Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit. Herbert Utz 1998. S. 1–10.

MAYER 2006

Mayer, H.: Beschreibende Statistik: Mit 80 Beispielen. 4. Auflage. München: Hanser 2006.

MCKIERNAN 1992

McKiernan, P.: Strategies of growth: Maturity, recovery, and internationalization. London: Routledge 1992.

MEISSNER 2004

Meißner, J.-D.: Statistik: Verstehen und sinnvoll nutzen: Anwendungsorientierte Einführung für Wirtschaftler. München: Oldenbourg 2004.

MELZER-RIDINGER 2007

Melzer-Ridinger, R.: Supply Chain Management: Prozess- und unternehmensübergreifendes Management von Qualität, Kosten und Liefertreue. München: Oldenbourg 2007.

MEYER 2000

Meyer, D.: Strategisches Prozessmanagement in der intelligenten Unternehmung: Entscheidungen über die Leistungstiefe, Prozesslebenszykluskonzept. Aachen: Shaker 2000.

MÖLLER 2008

Möller, N.: Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme. München: Herbert Utz 2008. (Forschungsberichte IWB Nr. 212).

MÜLLER 1993

Müller, H.: Produkt-Lebenszyklus-Rechnung. In: Seicht, G. (Hrsg.): Jahrbuch für Controlling und Rechnungswesen. Wien: Orac 1993, S. 45–51.

MÜLLER 2007

Müller, S.: Elementiert und mit System – Innovative Konzepte für spezielle Lösungen. In: 7. Deutsche Fachkonferenz Fabrikplanung (Hrsg.): Fabrikplanung schnell, sicher, effizient, 2007.

MÜLLER ET AL. 2009

Müller, E.; Engelmann, J.; Löffler, T.; Strauch, J.: Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben. 1. Auflage. Berlin: Springer 2009.

## Literaturverzeichnis

---

NAGEL & BÜSCHKEN 2003

Nagel, M.; Büschken, J.: Flexibilitätsmanagement: Ein systemdynamischer Ansatz zur quantitativen Bewertung von Produktionsflexibilität. 1. Auflage. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verlag 2003. Wirtschaftswissenschaft.

NANDKEOLYAR ET AL. 1993

Nandkeolyar, U.; Subba Rao, S.; Rana, K.: Facility Life Cycles. International Journal of Management Science 21 (1993) 2, S. 245–254.

NAUCK ET AL. 1996

Nauck, D.; Klawonn, F.; Kruse, R.: Neuronale Netze und Fuzzy-Systeme: Grundlagen des Konnektionismus, neuronaler Fuzzy-Systeme und der Kopplung mit wissensbasierten Methoden. 2. Auflage. Braunschweig: Vieweg 1996.

NEBL 2009

Nebl, T.: Produktionswirtschaft. 6. Auflage. München: Oldenbourg 2009.

NIEMANN & WESTKÄMPER 2006

Niemann, J.; Westkämper, E.: Life Cycle Controlling von Produktionssystemen. wt Werkstattstechnik online 96 (2006) 7/8, S. 460–466.

NOFEN ET AL. 2005

Nofen, D.; Klußmann, J. H.; Löllmann, F.: Bedeutung der Wandlungsfähigkeit für die Zukunftsrobustheit von Fabriken. In: Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Planung modularer Fabriken. München: Hanser 2005, S. 8–15.

NYHUIS ET AL. 2010a

Nyhuis, P.; Hirsch, B.; Klemke, T.; Wulf, S.; Denkena, B.; Eikötter, M.: Synchronisation der Planungsprozesse in Fabriken. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 105 (2010) 4, S. 369–374.

NYHUIS ET AL. 2010b

Nyhuis, P.; Wulf, S.; Klemke, T.; Hirsch, B.: Integrative factory, technology, and product planning-systemizing the information transfer on the operational level. Production Engineering (2010) 4, S. 231–237.

OSSADNIK 2008

Ossadnik, W.: Kosten und Leistungsrechnung. Berlin: Springer 2008.

OSTEN-SACKEN 1999

Osten-Sacken, D. v. d.: Lebenslauforientierte, ganzheitliche Erfolgsrechnung für Werkzeugmaschinen. Heimsheim: Jost-Jetter 1999.

PAWELLEK 2007

Pawellek, G.: Produktionslogistik: Planung – Steuerung – Controlling. München: Hanser 2007.

PAWELLEK 2008

Pawellek, G.: Ganzheitliche Fabrikplanung: Grundlagen, Vorgehensweise, EDV-Unterstützung. Berlin: Springer 2008. VDI-Buch.

PETRY & SPROW 1993

Petry, G. H.; Sprow, J.: The theory and practice of finance in the 1990s. *The Quarterly Review of Economics and Finance* 33 (1993) 4, S. 359–381.

PFEIFER 2001

Pfeifer, T.: Qualitätsmanagement: Strategien, Methoden, Techniken. 3. Auflage. München: Hanser 2001.

PFEIFFER & BISCHOF 1974

Pfeiffer, W.; Bischof, P.: Produktlebenszyklen als Basis der Unternehmensplanung. *ZfB Zeitschrift für Betriebswirtschaft* 44 (1974) 10, S. 635–666.

PFNÜR ET AL. 2010

Pfnür, A.; Schetter, C.; Schöbener, H.: Risikomanagement bei public private partnerships. Berlin: Springer 2010.

PFOHL & WÜBBENHORST 1983

Pfohl, H.-C.; Wübbenhorst, K. L.: Lebenszykluskosten: Ursprung, Begriff und Gestaltungsvariablen. *Journal für Betriebswirtschaft* 33 (1983) 3, S. 142–155.

PFOHL 2002

Pfohl, M. C.: Prototypgestützte Lebenszyklusrechnung. Diss., Universität Stuttgart 2002.

PIKE 1991

Pike, R. H.: An Empirical Study of the Adoption of Sophisticated Capital Budgeting Practices and Decision-Making Effectiveness. *Accounting and Business Research* 18 (1991) 3, S. 341–351.

POLITZE ET AL. 2010

Politze, D. P.; Bathelt, J.; Reinhard, M.; Jufer, N.; Kunz, A.: Interfacing Product Development and Factory Planning: Towards a Unified Life Cycle Management. In: Danube Adria Association for Automation & Manufacturing (Hrsg.): Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference of DAAAM Baltic, 2010. S. 334–339.

POLLI & COOK 1969

Polli, R.; Cook, V.: Validity of the product life cycle. *The Journal of Business* 42 (1969) 4, S. 385–400.

### PORTER 2008

Porter, M. E.: Wettbewerbsstrategie: Methoden zur Analyse von Branchen und Konkurrenten. 11. Auflage. Frankfurt am Main: Campus 2008.

### PREISSLER 2007

Preißler, P. R.: Controlling: Lehrbuch und Intensivkurs. 13. Auflage. München: Oldenbourg 2007.

### PRÜSS & DIEHL 2009

Prüß, H.; Diehl, H.: Umsetzung einer ganzheitlichen Assetmanagementstrategie: Am Beispiel der Instandhaltungsstrategie. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 104 (2009) 10, S. 864–870.

### PUTNIK ET AL. 2013

Putnik, G.; Sluga, A.; ElMaraghy, H. A.; Teti, R.; Koren, Y.; Tolio, T.; Hon, B.: Scalability in manufacturing system design and operations: State-of-the-art and future developments roadmap. Annals of the CIRP – Manufacturing Technology 62 (2013) 2, S. 751–774.

### REFA 1991

REFA: Methodenlehre der Betriebsorganisation: Planung und Steuerung, Teil 3. 1. Auflage. München: Hanser 1991.

### REICHE 2003

Reiche, D.: Roche Lexikon Medizin. 5. Auflage. München: Urban & Fischer 2003.

### REICHMANN 2001

Reichmann, T.: Controlling mit Kennzahlen und Managementberichten: Grundlagen einer systemgestützten Controlling-Konzeption. 6. Auflage. München: Vahlen 2001.

### REINHART & POHL 2010

Reinhart, G.; Pohl, J.: Production Structure Monitoring – A Neurologic Approach. World Academy of Science, Engineering and Technology 6 (2010) 69, S. 396–401.

### REINHART & SCHINDLER 2011

Reinhart, G.; Schindler, S.: Strategic Evaluation of Technology Chains for Producing Companies. In: ElMaraghy, H. A. (Hrsg.): Enabling manufacturing competitiveness and economic sustainability. Berlin: Springer 2011, S. 391–396.

### REINHART ET AL. 1999

Reinhart, G.; Dürrschmidt, S.; Hirschberg, A.; Selke, C.: Reaktionsfähigkeit – Eine Antwort auf turbulente Märkte. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (1999) 1-2, S. 21–24.

REINHART ET AL. 2009a

Reinhart, G.; Schindler, S.; Pohl, J.: Zyklusorientierte Produktionstechnologieplanung: Kontinuierliche Produktionsplanung mittel Synchronisationsmedium Technologiekettenkalender. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 104 (2009) 1-2, S. 50–53.

REINHART ET AL. 2009b

Reinhart, G.; Schindler, S.; Pohl, J.; Rimpau, C.: Cycle-Oriented Manufacturing Technology Chain Planning. In: Zäh, M. (Hrsg.): 3<sup>rd</sup> International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production. Herbert Utz 2009. S. 702–711.

RIEZLER 1996

Riezler, S.: Lebenszyklusrechnung: Instrument des Controlling strategischer Projekte. Wiesbaden: Gabler 1996.

RIMPAU 2011

Rimpau, C.: Wissensbasierte Risikobewertung in der Angebotskalkulation für hochgradig individualisierte Produkte. München: Herbert Utz 2011. (Forschungsberichte IWB Nr. 239).

RINK & SWAN 1979

Rink, D. R.; Swan, J. E.: Product Life Cycle Research: A Literature Review. Journal of Business Research 7 (1979) 3, S. 219–242.

RISSE 2004

Risse, J.: Buchführung und Bilanz für Einsteiger. 2. Auflage. Heidelberg: Physica 2004.

RIST 2008

Rist, T.: Ein Verfahren zur Modellierung von Produktionsbetrieben zum Zwecke der Anordnungsplanung. Heimsheim: Jost-Jetter 2008.

ROMMELFANGER & EICKEMEIER 2002

Rommelfanger, H. J.; Eickemeier, S. H.: Entscheidungstheorie: Klassische Konzepte und Fuzzy-Erweiterungen. Berlin: Springer 2002. Springer-Lehrbuch.

ROPOHL 2009

Ropohl, G.: Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik. 3. Auflage. Karlsruhe: Univ.-Verlag Karlsruhe 2009.

ROSEMANN 1998

Rosemann, M.: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung: Intention, Entwicklung, Architektur und Multiperspektivität. In: Maicher, M.; Scheruhn, H.-J. (Hrsg.): Informationsmodellierung: Referenzmodelle und Werkzeuge. Wiesbaden: Gabler 1998, S. 1–21.

## Literaturverzeichnis

---

SALTELLI 2008

Saltelli, A.: Global sensitivity analysis: The primer. Chichester: John Wiley 2008.

SCHEER ET AL. 2003

Scheer, A.-W.; Thomas, O.; Wagner, D.: Verfahren und Werkzeuge der Unternehmensmodellierung. In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Neue Organisationsformen im Unternehmen. Berlin: Springer 2003, S. 740–760.

SCHENK & WIRTH 2004

Schenk, M.; Wirth, S.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb: Methoden für die wandlungsfähige und vernetzte Fabrik. Berlin: Springer 2004.

SCHIERENBECK 2003

Schierenbeck, H.: Grundzüge der Betriebswirtschaftslehre. 16. Auflage. München: Oldenbourg 2003.

SCHIERENBECK & LISTER 2002

Schierenbeck, H.; Lister, M.: Value Controlling: Grundlagen wertorientierter Unternehmensführung. 2. Auflage. München: Oldenbourg 2002.

SCHILD 2005

Schild, U.: Lebenszyklusrechnung und lebenszyklusbezogenes Zielkostenmanagement: Stellung im internen Rechnungswesen, Rechnungsausgestaltung und modellgestützte Optimierung der intertemporalen Kostenstruktur. 1. Auflage. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verlag 2005.

SCHLOTTMANN & SCHNEGAS 2002

Schlottmann, D.; Schnegas, H.: Sicherheit von Konstruktionselementen: Sicherheit, Lebensdauer und Zuverlässigkeit im Maschinenbau. 2. Auflage. Berlin: Springer 2002.

SCHMENNER 1983

Schmenner, R. W.: Every Factory has a Life Cycle. Harvard Business Review 61 (1983) 2, S. 121–129.

SCHMIDT 2002

Schmidt, K.: Methodik zur integrierten Grobplanung von Abläufen und Strukturen mit digitalen Fabrikmodellen. Diss., RWTH Aachen 2002.

SCHMIGALLA 1995

Schmigalla, H.: Fabrikplanung: Begriffe und Zusammenhänge. 1. Auflage. München: Hanser 1995.

### SCHNECK 2011

Schneck, O.: Lexikon der Betriebswirtschaft: 3500 grundlegende und aktuelle Begriffe für Studium und Beruf. 8. Auflage. München: Deutscher Taschenbuch Verlag 2011.

### SCHRAFT ET AL. 1999

Schraft, R. D.; Eversheim, W.; Tönshoff, H. K.; Milberg, J.; Reinhart, G.: Planung von Produktionssystemen. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Produktion und Management. Berlin: Springer 1999.

### SCHRÖDER 2010

Schröder, W.: Ganzheitliches Instandhaltungsmanagement: Aufbau, Ausgestaltung und Bewertung. 1. Auflage. Wiesbaden: Gabler 2010.

### SCHUH ET AL. 2004

Schuh, G.; Lösch, F.; Gottschalk, S.; Harre, J.; Kampker, A.: Gestaltung von Betriebsmitteln in der Serienproduktion. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 99 (2004) 5, S. 212–217.

### SCHUH ET AL. 2007

Schuh, G.; Gottschalk, S.; Lösch, F.; Wesch, C.: Fabrikplanung im Gegenstromverfahren. wt Werkstattstechnik online 97 (2007) 7/8, S. 550–554.

### SCHULTE 2002

Schulte, H.: Fabrikplanung und Wandlungsfähigkeit – Gedanken und Empfehlungen für Planer und Betreiber. In: Westkämper, E. (Hrsg.): Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen für die variantenreiche Serienproduktion. Stuttgart: Fraunhofer-IRB 2002, Forschung im Dialog, S. 99–120.

### SCHWARZ 2007

Schwarz, M.: Produktionswirtschaft. In: Härdler, J. (Hrsg.): Betriebswirtschaftslehre für Ingenieure. München: Hanser 2007, S. 264–295.

### SCHWEITZER & KÜPPER 2003

Schweitzer, M.; Küpper, H.-U.: Systeme der Kosten- und Erlösrechnung. 8. Auflage. München: Vahlen 2003.

### SENTI 1994

Senti, R.: Produktlebenszyklusorientiertes Kosten- und Erlösmanagement. Diss., Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften St. Gallen 1994.

### SESTERHENN 2003

Sesterhenn, M.: Bewertungssystematik zur Gestaltung struktur- und betriebsvariabler Produktionssysteme. Aachen: Shaker 2003.

SIEGWART & SENTI 1995

Sieewart, H.; Senti, R.: Product life cycle management: Die Gestaltung eines integrierten Produktlebenszyklus. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1995.

SIEGWART ET AL. 2010

Sieewart, H.; Reinecke, S.; Sander, S.: Kennzahlen für die Unternehmensführung. 7. Auflage. Bern: Haupt 2010.

SIHN & SPECHT 1999

Sihn, W.; Specht, D.: Instandhaltung von Produktionssystemen. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Produktion und Management. Berlin: Springer 1999.

SOMMERLATTE & DESCHAMPS 1986

Sommerlatte, T.; Deschamps, J.-P.: Der strategische Einsatz von Technologien. In: Arthur D. Little International (Hrsg.): Management im Zeitalter der strategischen Führung. Wiesbaden: Gabler 1986, S. 39–76.

SPATH ET AL. 1999

Spath, D.; Weck, M.; Seliger, G.: Produktionssysteme. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Produktion und Management. Berlin: Springer 1999.

STAHL 2006

Stahl, H.-W.: Controlling-Grundlagen: Theoretische Grundlagen des Controlling. In: Gienke, H.; Kämpf, R. (Hrsg.): Praxishandbuch Produktion. Köln: Dt. Wirtschaftsdienst 2006, ( 2), S. 1–42.

STATISTISCHES BUNDESAMT 2010

Statistisches Bundesamt: Statistisches Jahrbuch 2010: Für die Bundesrepublik Deutschland mit Internationalen Übersichten. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2010.

STEGER 2010

Steger, J.: Kosten- und Leistungsrechnung: Einführung in das betriebliche Rechnungswesen, Grundlagen der Vollkosten-, Teilkosten-, Plankosten- und Prozesskostenrechnung. 5. Auflage. München: Oldenbourg 2010.

STEINMETZ 2007

Steinmetz, M.: Risikosituation und -handhabung in der Produktion. Diss., Technische Universität München 2007.

STELAND 2010

Steland, A.: Basiswissen Statistik: Kompaktkurs für Anwender aus Wirtschaft, Informatik und Technik. 2. Auflage. Berlin: Springer 2010.

STEPAN & FISCHER 2001

Stepan, A.; Fischer, E. O.: Betriebswirtschaftliche Optimierung: Einführung in die quantitative Betriebswirtschaftslehre. 7. Auflage. München: Oldenbourg 2001.

STEVEN 2007

Steven, M.: Handbuch Produktion: Theorie – Management – Logistik – Controlling. Stuttgart: Kohlhammer 2007.

STORM 2007

Storm, R.: Wahrscheinlichkeitsrechnung, mathematische Statistik und statistische Qualitätskontrolle. 12. Auflage. München: Carl-Hanser 2007.

STOYAN 1993

Stoyan, D.: Stochastik für Ingenieure und Naturwissenschaftler: Eine Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und die Mathematische Statistik. Berlin: Akademie Verlag 1993.

STRATMANN 2001

Stratmann, J.: Bedarfsgerechte Informationsversorgung im Rahmen eines produktlebenszyklusorientierten Controlling. Lohmar: Eul 2001.

STRIETZEL 1996

Strietzel, R.: Fuzzy-Regelung. München: Oldenbourg 1996.

TOMPKINS 2003

Tompkins, J. A.: Facilities planning. 3. Auflage. Hoboken: J. Wiley 2003.

TSCHIRKY & KORUNA 1998

Tschirky, H.; Koruna, S.: Technologiemanagement: Idee und Praxis. Zürich: Industrielle Organisation 1998.

UHL 2002

Uhl, H.: Mehrdimensionale Optimierung der Lifecycle Costs von komplexen (Industrie-)Anlagen und Systemen unter Beachtung von Wissensmanagement-Ansätzen. Diss., Universität Essen 2002.

URBANI 2006

Urbani, A.: Life Cycle Cost Calculation for Manufacturing Systems by Means of Reconfigurability Analysis. In: Dashchenko, A. I. (Hrsg.): Reconfigurable manufacturing systems and transformable factories. Berlin: Springer 2006, S. 643–658.

URBANI ET AL. 2005

Urbani, A.; Avai, A.; Colombo, C.; Beccaris, M.: Changeability as a key for lifecycle oriented investment evaluation. In: Zaeh, M. F.; Reinhart, G. (Hrsg.): 1<sup>st</sup> International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2005). Herbert Utz 2005. S. 359–466.

## Literaturverzeichnis

---

### VDI 2815-5 1978

VDI 2815-5: VDI-Richtlinie 2815, Blatt 5, Begriffe für die Produktionsplanung und -steuerung – Betriebsmittel, ICS-Notation: 01.040.03. Berlin: Beuth Verlag GmbH 1978.

### VDI 2860-1 1990

VDI 2860-1: VDI-Richtlinie 2860, Blatt 1, Montage- und Handhabungstechnik Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole, ICS-Notation: 25.040.30. Berlin: Beuth Verlag GmbH 1990.

### VDI 2884 2005

VDI 2884: VDI-Richtlinie 2884, Beschaffung, Betrieb und Instandhaltung von Produktionsmitteln unter Anwendung von Life Cycle Costing (LCC), ICS-Notation: 03.100.10. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2005.

### VDI 3633-1 2010

VDI 3633-1: VDI-Richtlinie 3633, Blatt 1, Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Grundlagen, ICS-Notation: 03.100.10. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2010.

### VDI 4004-4 1986

VDI 4004-4: VDI-Richtlinie 4400, Blatt 4, Zuverlässigkeitskenngrößen; Verfügbarkeitskenngrößen, ICS-Notation: 21.020. Berlin: Beuth Verlag GmbH 1986.

### VDI 4400-2 2004

VDI 4400-2: VDI-Richtlinie 4400, Blatt 2, Logistikkennzahlen für die Produktion, ICS-Notation: 03.100.50. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2004.

### VDI 5200-1 2011

VDI 5200-1: VDI-Richtlinie 4400, Blatt 1, Fabrikplanung – Planungsverfahren, ICS-Notation: 03.100.99. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2011.

### VIELHABER & BIEGE 2008

Vielhaber, W.; Biege, S.: Anforderungen an lebenszyklusoptimierte Montagen. In: Witte, K.-W.; Vielhaber, W. (Hrsg.): Lebenszyklusoptimierte Montage. Aachen: Shaker 2008, S. 23–38.

### VOLLMANN ET AL. 2005

Vollmann, T. E.; Berry, W. L.; Whybark, D. C.; Jacobs; F. Robert: Manufacturing planning and for supply chain management. 5. Auflage. London: McGraw-Hill 2005.

WARNECKE & HÜSER 1996

Warnecke, H.-J.; Hüser, M.: Die Fraktale Fabrik: Revolution der Unternehmenskultur. neue Auflage. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt 1996. (rororo science 9708).

WEMHÖNER 2006

Wemhöner, N.: Flexibilitätsoptimierung zur Auslastungssteigerung im Automobilrohbau. Aachen: Shaker 2006.

WERMKE & KRAIF 2010

Wermke, M.; Kraif, U.: Duden - das Fremdwörterbuch: Auf der Grundlage der aktuellen amtlichen Rechtschreibregeln. 10. Auflage. Mannheim: Dudenverlag 2010.

WESTKÄMPER 2006a

Westkämper, E.: Produktion: Wandlungsfähigkeit der industriellen Produktion. München: TCW Transfer-Centrum 2006. (TCW-Report 44a).

WESTKÄMPER 2006b

Westkämper, E.: Innovationsmanagement mit dem Technologiekalender. In: Gleich, R. (Hrsg.): Innovationsmanagement in der Investitionsgüterindustrie treffsicher voranbringen. Frankfurt am Main: VDMA 2006, S. 104–113.

WESTKÄMPER 2006c

Westkämper, E.: Deutschland – Standort mit Zukunft? Forschung für die Zukunft: Germany – Location with Future? Research for the Future. In: Von der integrierten Fertigung zur vernetzten Produktion: Festschrift zum Ehrenkolloquium anlässlich des 70. Geburtstages von Prof. Siegfried Wirth. Chemnitz 2006, S. 27–50.

WESTKÄMPER & ZAHN 2009

Westkämper, E.; Zahn, E. (Hrsg.): Wandlungsfähige Produktionsunternehmen: Das Stuttgarter Unternehmensmodell. Berlin: Springer 2009.

WESTKÄMPER ET AL. 2006a

Westkämper, E.; Constantinescu, C.; Hummel, V.: New Paradigm in Manufacturing Engineering: Factory Life Cycle. Production Engineering 8 (2006) 1, S. 143–146.

WESTKÄMPER ET AL. 2006b

Westkämper, E.; Warnecke, H.-J.; Decker, M.: Einführung in die Fertigungstechnik. 7. Auflage. Wiesbaden: Teubner 2006.

## Literaturverzeichnis

---

WHEELLEN & HUNGER 2008

Wheelen, T. L.; Hunger, J. D.: Strategic management and business policy: Concepts and cases. 11. Auflage. Upper Saddle River: Pearson/Prentice Hall 2008.

WIENDAHL 1997

Wiendahl, H.-P.: Fertigungsregelung: Logistische Beherrschung von Fertigungsabläufen auf Basis des Trichtermodells. München: Hanser 1997.

WIENDAHL 2005

Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Planung modularer Fabriken: Vorgehen und Beispiele aus der Praxis. München: Hanser 2005.

WIENDAHL ET AL. 2009

Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.: Handbuch Fabrikplanung: Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. München: Hanser 2009.

WILDEMANN 1997

Wildemann, H.: Fertigungsstrategien: Reorganisationskonzepte für eine schlanke Produktion und Zulieferung. 3. Auflage. München: TCW Transfer-Centrum 1997.

WILDEMANN 2002

Wildemann, H.: Produktionscontrolling: Controlling von Verbesserungsprozessen in Unternehmen. 4. Auflage. München: TCW Transfer-Centrum 2002.

WÖHE & DÖRING 2008

Wöhe, G.; Döring, U.: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 23. Auflage. München: Vahlen 2008.

WONG & LAI 2011

Wong, B. K.; Lai, V. S.: A survey of the application of fuzzy set theory in production and operations management:1998–2009. International Journal of Production Economics 129 (2011), S. 157–168.

WOODWARD 1997

Woodward, D. G.: Life cycle costing - theory, information acquisition and application. International Journal of Project Management 15 (1997) 6, S. 335–344.

WRIGHT 1936

Wright, T. P.: Factors Affecting the Cost of Airplanes. Journal of Aeronautical Sciences 3 (1936), S. 122–128.

WÜBBENHORST 1984

Wübbenhorst, K. L.: Konzept der Lebenszykluskosten: Grundlagen, Problemstellungen u. technolog. Zusammenhänge. Darmstadt: Verlag für Fachliteratur 1984.

WÜBBENHORST 1986

Wübbenhorst, K. L.: Life Cycle Costing for Construction Projects. Long-Range Planning 19 (1986) 4, S. 87–97.

WULF 2011

Wulf, S.: Bewertung des Einflusses von Produkt- und Technologieveränderungen auf die Fabrik. Garbsen: PZH Produktionstechnisches Zentrum 2011.

YELLE 1979

Yelle, L. E.: The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey. Decision Science 10 (1979) 2, S. 302–328.

ZADEH 1965

Zadeh, L. A.: Fuzzy Sets. Information and Control (1965) 8, S. 338–353.

ZADEH 1973

Zadeh, L. A.: Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (1973) 3, S. 28–44.

ZAEH ET AL. 2005

Zaeh, M. F.; Mueller, N.; Rimpau, C.: A Holistic Framework for Enhancing the Changeability of Production Systems. In: Zaeh, M. F.; Reinhart, G. (Hrsg.): 1<sup>st</sup> International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2005). Herbert Utz 2005. S. 77–84.

ZAEH ET AL. 2009

Zaeh, M. F.; Reinhart, G.; Pohl, J.; Schindler, S.; Karl, F.; Rimpau, C.: Modelling, Anticipating and Managing Cyclic Behaviour in Industry. In: Zäh, M. (Hrsg.): 3<sup>rd</sup> International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production. Herbert Utz 2009. S. 16–43.

ZAEH ET AL. 2010

Zaeh, M. F.; Reinhart, G.; Karl, F.; Schindler, S.; Pohl, J.; Rimpau, C.: Cyclic influences within the production resource planning process. Production Engineering (2010) 4, S. 309–317.

ZÄH ET AL. 2004

Zäh, M. F.; Müller, N.; Prash, M.; Sudhoff, W.: Methodik zur Erhöhung der Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 99 (2004) 4, S. 173–177.

## Literaturverzeichnis

---

ZÄH ET AL. 2005

Zäh, M. F.; Möller, N.; Vogl, W.: Symbiosis of Changeable and Virtual Production - The Emperor's New Clothes or Key Factor for Future Success. In: Zaeh, M. F.; Reinhart, G. (Hrsg.): 1<sup>st</sup> International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2005). Herbert Utz 2005. S. 3–10.

ZAHN 1994

Zahn, E.: Produktion als Wettbewerbsfaktor. In: Handbuch Produktionsmanagement. Wiesbaden: Gabler 1994, S. 241–258.

ZAHN & TILEBEIN 1998

Zahn, E.; Tilebein, M.: Führung wandlungsfähiger Unternehmen – eine Herausforderung in neuen Dimensionen. Industrie Management 14 (1998) 6, S. 49–52.

ZÄPFEL 1989

Zäpfel, G.: Taktisches Produktions-Management. Berlin: W. de Gruyter 1989.

ZÄPFEL 2000

Zäpfel, G.: Strategisches Produktions-Management. 2. Auflage. München: Oldenbourg 2000.

ZÄPFEL 2001

Zäpfel, G.: Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement. 2. Auflage. München: Oldenbourg 2001.

ZEBOLD 1996

Zehbold, C.: Lebenszykluskostenrechnung. Wiesbaden: Gabler 1996.

ZINNIKER 2007

Zinniker, P.: Zuverlässigkeits- und Sicherheitsplanung. In: Schmitt, R.; Pfeifer, T. (Hrsg.): Masing Handbuch Qualitätsmanagement. München: Hanser 2007, S. 441–466.

# Anhang

## A.1 Typologie der Produktlebenszyklen

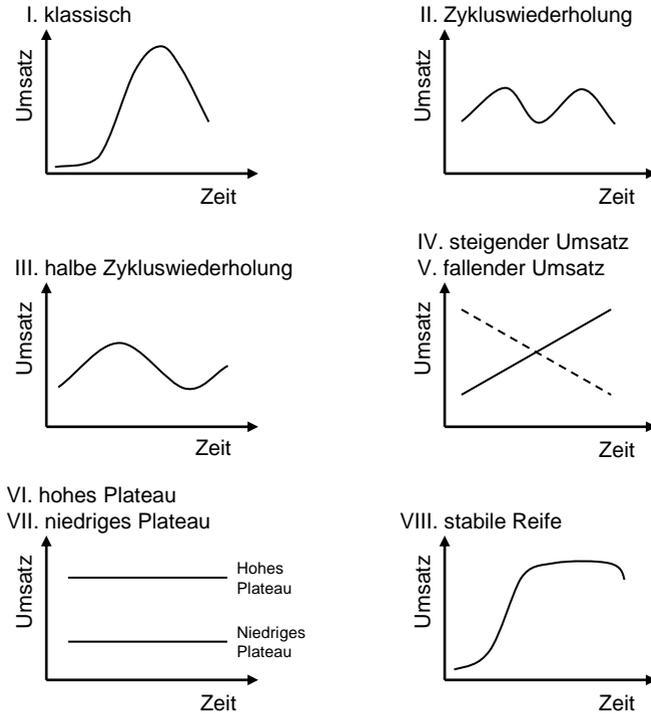


Abbildung 69: Teil 1: Typologie der Produktlebenszyklen (in Anlehnung an RINK & SWAN (1979))

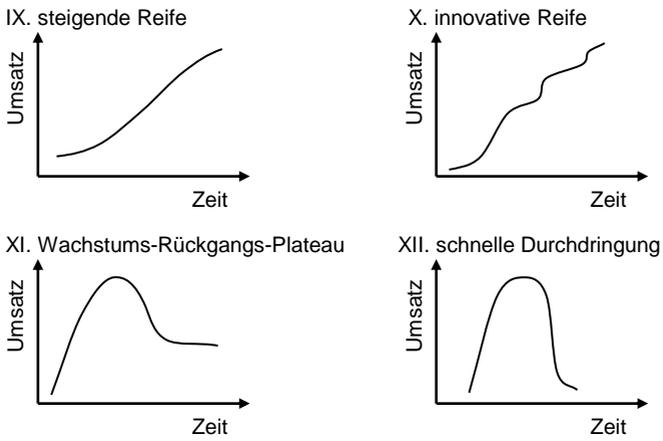


Abbildung 70: Teil 2: Typologie der Produktlebenszyklen (in Anlehnung an RINK & SWAN (1979))

### A.2 Auflistung der Betriebsmittel im Produktionsstrukturmodell

#### Ver- und Entsorgungsmittel

Ver- und Entsorgungsmittel stellen die Versorgung mit Strom, Wasser, Druckluft, Gas, Wärme sowie der Entsorgung von Abwasser, Altöl, Abwärme und ähnlichem sicher. Sie können in die Bereiche allgemeine Anlagen, Haustechnik und spezielle Medien eingeteilt werden. (AGGTELEKY 1990b; NEBL 2009)

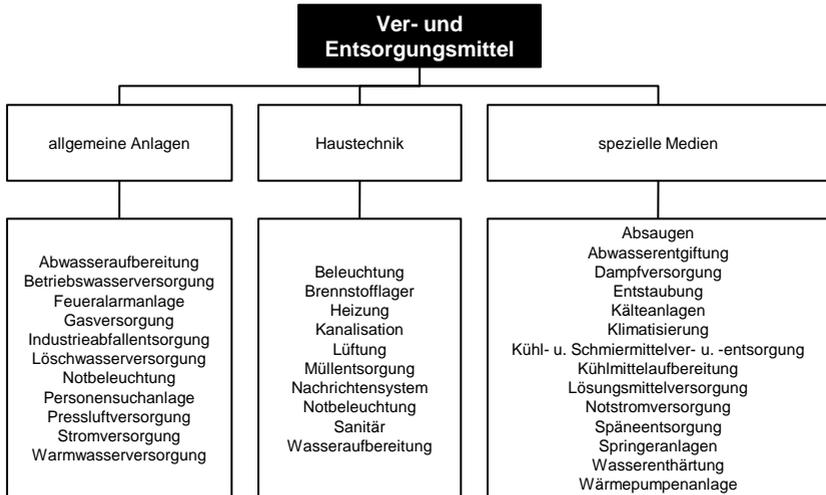


Abbildung 71: Übersicht Ver- und Entsorgungsmittel (AGGTELEKY 1990b)

#### Fertigungsmittel

Fertigungsmittel dienen zur Herstellung oder Veränderung eines Werkstücks mit geometrisch bestimmter Gestalt hinsichtlich Form, Substanz oder Zustand durch mechanische oder chemische Einwirkung (DOLEZALEK 1965; SPATH ET AL. 1999). Hierbei kann je nach Art des Verfahrens zwischen Urformen, Beschichten, Fügen, Trennen, Umformen und Ändern der Stoffeigenschaften unterschieden werden (ZÄPFEL 1989).

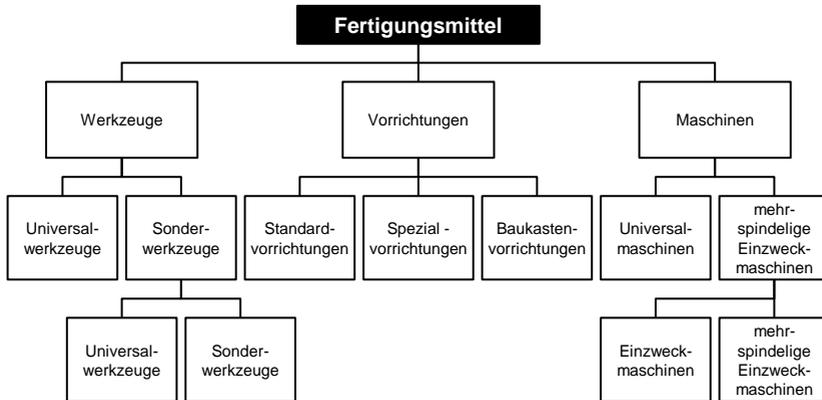


Abbildung 72: Übersicht Fertigungsmitteln (SPATH ET AL. 1999)

### Montagemittel

Zu Montagemitteln zählen alle Werkzeuge und Hilfsmittel, die zur Erfüllung von Montagefunktionen eingesetzt werden (SPATH ET AL. 1999). Unter Montage wird der Zusammenbau von geometrisch bestimmten Werkstücken verstanden, bei dem auch zusätzlich formloser Stoff, wie Kleber oder Schmierstoffe, zur Anwendung kommen kann (VDI 2860-1 1990).

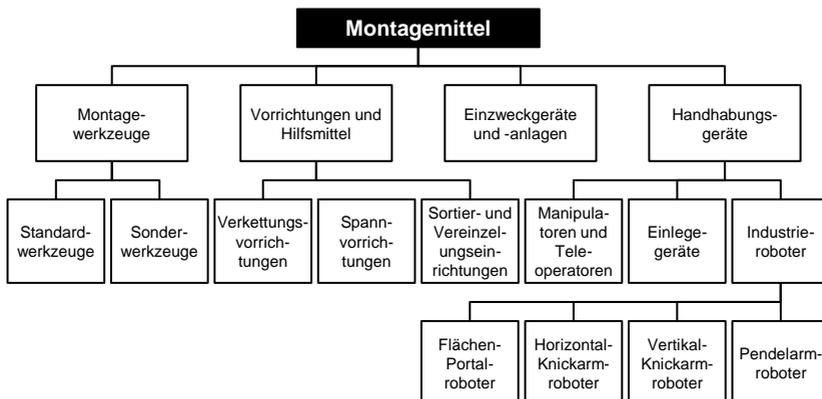


Abbildung 73: Übersicht Montagemittel (SPATH ET AL. 1999)

### Steuerungs- und Regelungsmittel

Steuerungs- und Regelungsmittel einer Produktion dienen sowohl zur Überwachung der Produktionsleistung als auch zur Korrektur bei Abweichungen von Planwerten. Steuerungsmittel können in die Bereiche Produktionssteuerung, Leitsysteme, Bereichssteuerungssysteme und Systeme der Betriebsdatenerfassung gegliedert werden (SPATH ET AL. 1999). Die Kombination dieser vier Bereiche bildet die Basis für Regelungsmittel.

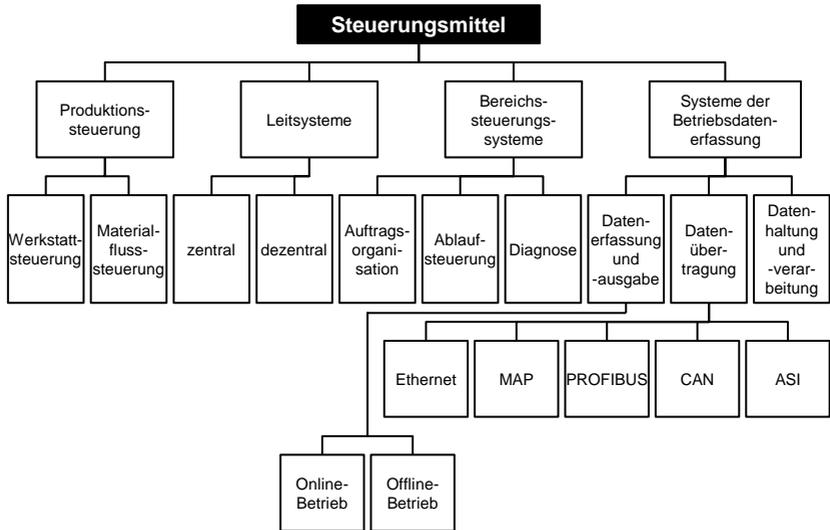


Abbildung 74: Übersicht Steuerungsmittel (SPATH ET AL. 1999)

**Informations und Kommunikationsmittel**

Informations- und Kommunikationsmittel einer Produktionsstruktur dienen der Erstellung, Verarbeitung und Übertragung von Informationen und Daten (JUNG 2006).

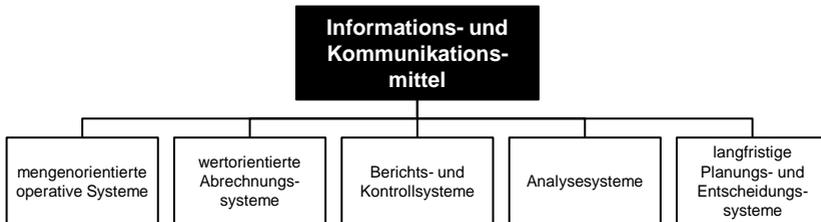


Abbildung 75: Übersicht Informations und Kommunikationsmittel (HÄRDLER 2007)

**Mess- und Prüfmittel**

Unter Mess- und Prüfmittel sind alle Werkzeuge zu verstehen, die zur Überprüfung der Identität von Vorgaben und Ergebnissen benötigt werden. Dies können Handmesswerkzeuge, Messgeräte, Lehren, Normalen oder entsprechende Hilfsmittel sein (WESTKÄMPER ET AL. 2006b).

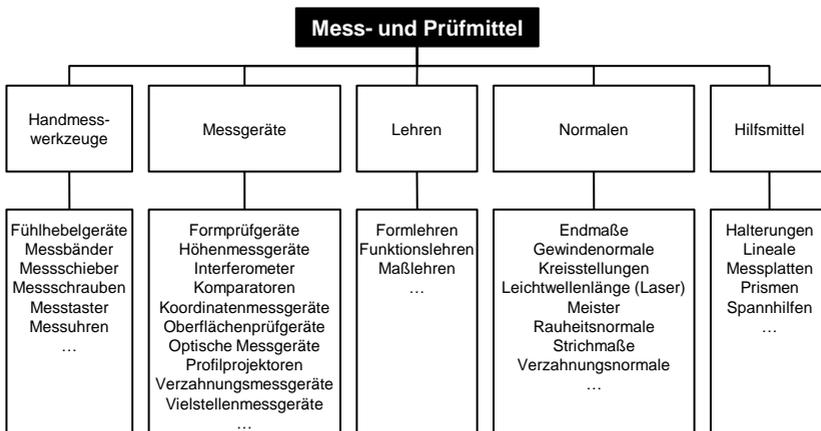


Abbildung 76: Auflistung von Ver- und Entsorgungsmittel (WESTKÄMPER ET AL. 2006b)

### Fördermittel

Zu Fördermitteln zählen alle Einrichtungen, die unmittelbar zur Realisierung der Transportkette, sprich der Förderung von Produkten, Halbzeugen oder Rohstoffen, eingesetzt werden (HOFFMANN ET AL. 2009). Es kann zwischen flurgebundenen und flurfreien Transportsystemen unterschieden werden (STEVEN 2007).

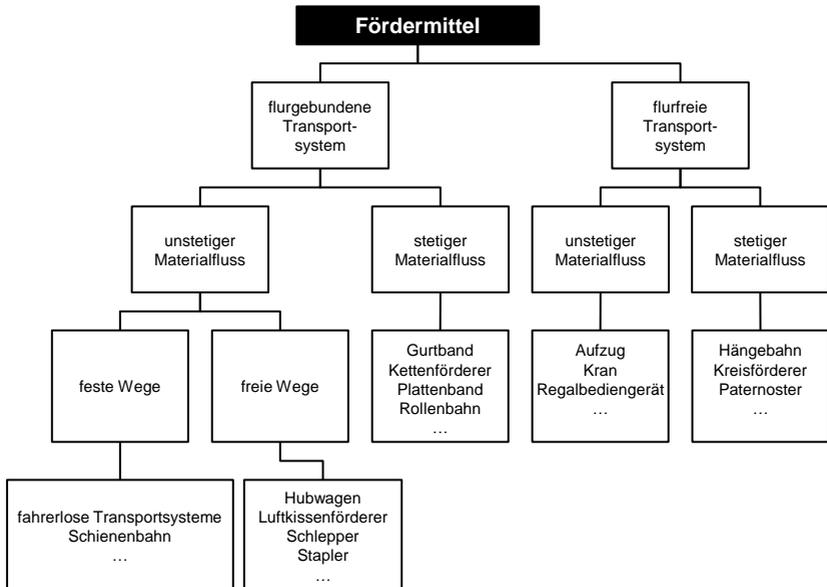


Abbildung 77: Übersicht Fördermittel (STEVEN 2007)

### Lagermittel

Lagermittel dienen zur Aufnahme von Lagergut und können in die drei Grundarten Bodenlagerung, Regallagerung und Lagerung auf Fördermitteln unterschieden werden (HOMPEL ET AL. 2007).

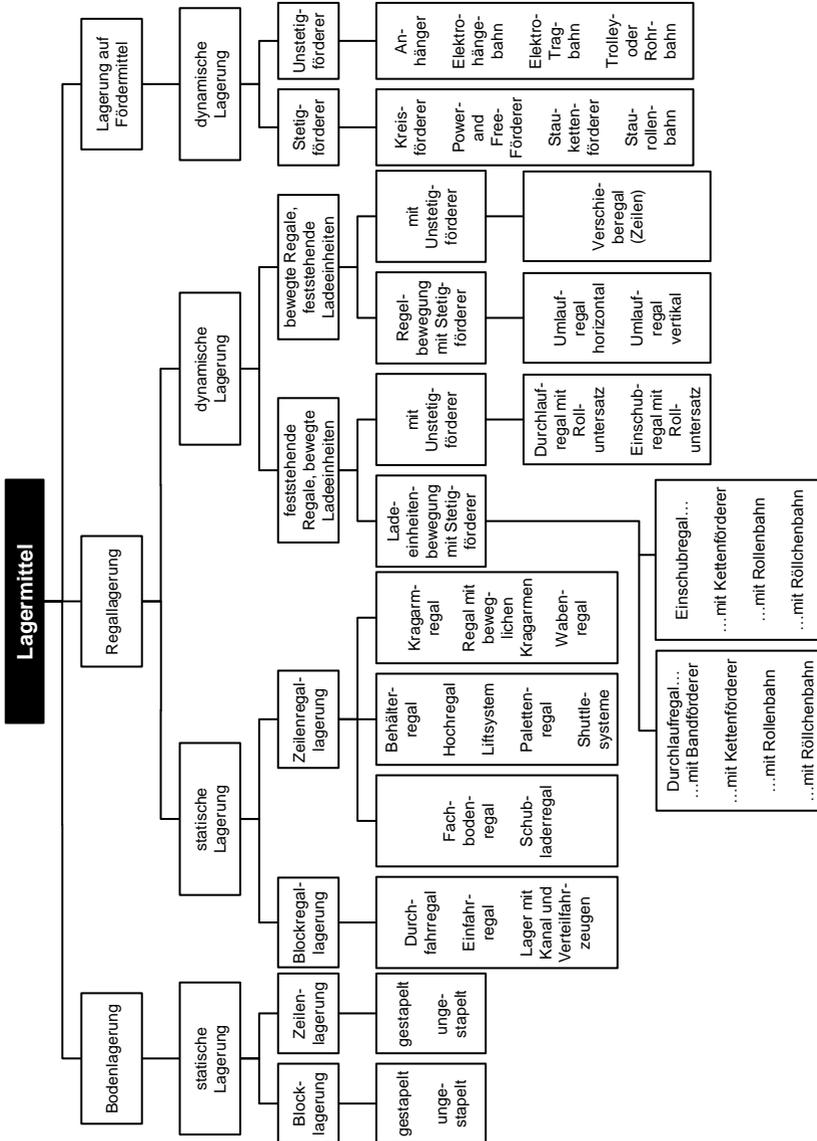


Abbildung 78: Übersicht Lagermittel (HOMPEL ET AL. 2007)

## A.3 Ergebnisse der Bewertungssimulation des Projektbeispiels

### Innenausstattung

Zur Innenausstattung werden alle Elemente gezählt, die der Nutzung oder Sicherung der Grundstücke und Gebäude dienen oder aber zur Durchführung einer betrieblichen Tätigkeit erforderlich sind und keiner der vorherigen Kategorien angehören, wie zum Beispiel Stühle, Feuerschutzeinrichtungen, Leuchten oder Belegschaftseinrichtungen (VDI 2815-5 1978).

### A.3 Ergebnisse der Bewertungssimulation des Projektbeispiels

	Kapitalwert			
	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
Szenario 1	€ 23.338.677	€ 2.360.285	€ 16.314.686	€ 33.807.117
Szenario 2	€ 23.301.691	€ 2.372.662	€ 16.807.385	€ 33.378.473
Szenario 3	€ 19.508.891	€ 2.359.897	€ 12.731.703	€ 31.474.944
Szenario 4	€ 23.333.748	€ 2.373.555	€ 16.303.418	€ 32.835.104
Szenario 5	€ 23.272.066	€ 2.393.523	€ 16.931.363	€ 33.898.188
Szenario 6	€ 19.427.630	€ 2.348.015	€ 12.904.280	€ 29.569.390
Szenario 7	€ 21.943.597	€ 2.399.718	€ 15.498.156	€ 31.667.671
Szenario 8	€ 22.628.896	€ 2.375.462	€ 16.211.896	€ 33.300.505
Szenario 9	€ 19.422.300	€ 2.376.988	€ 12.749.307	€ 29.407.321
Szenario 10	€ 21.975.758	€ 2.375.100	€ 15.251.149	€ 32.226.641
Szenario 11	€ 22.586.277	€ 2.377.821	€ 16.015.317	€ 32.493.414
Szenario 12	€ 19.426.839	€ 2.354.766	€ 12.761.954	€ 28.583.403
Szenario 13	€ 21.712.032	€ 2.365.429	€ 14.990.189	€ 31.710.859
Szenario 14	€ 22.412.999	€ 2.364.132	€ 15.915.077	€ 31.773.534
Szenario 15	€ 19.378.053	€ 2.348.902	€ 12.806.502	€ 30.034.579
Szenario 16	€ 21.755.160	€ 2.364.285	€ 15.091.107	€ 33.073.972
Szenario 17	€ 22.382.262	€ 2.406.720	€ 15.632.325	€ 34.207.855
Szenario 18	€ 19.342.533	€ 2.386.848	€ 12.411.414	€ 29.902.107

Tabelle 10: Simualtionsergebnisse für die Zielgröße Kapitalwert

## Anhang

Rang	Kapitalwert	Produkt A	Produkt B	Produkt C	Produkt D	Produkt E	Produkt F	PPC
1	Szenario 1	Szenario 5						
2	Szenario 4	Szenario 1	Szenario 1	Szenario 17	Szenario 3	Szenario 3	Szenario 3	Szenario 1
3	Szenario 2	Szenario 4	Szenario 4	Szenario 4	Szenario 12	Szenario 4	Szenario 1	Szenario 2
4	Szenario 5	Szenario 2	Szenario 2	Szenario 14	Szenario 15	Szenario 15	Szenario 18	Szenario 4
5	Szenario 8	Szenario 8	Szenario 8	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 2	Szenario 6	Szenario 8
6	Szenario 11	Szenario 17	Szenario 14	Szenario 8	Szenario 18	Szenario 6	Szenario 9	Szenario 11
7	Szenario 14	Szenario 11	Szenario 11	Szenario 11	Szenario 6	Szenario 1	Szenario 12	Szenario 14
8	Szenario 17	Szenario 14	Szenario 17	Szenario 2	Szenario 1	Szenario 9	Szenario 15	Szenario 17
9	Szenario 10	Szenario 10	Szenario 16	Szenario 7	Szenario 9	Szenario 12	Szenario 2	Szenario 7
10	Szenario 7	Szenario 3	Szenario 10	Szenario 16	Szenario 4	Szenario 18	Szenario 4	Szenario 10
11	Szenario 16	Szenario 6	Szenario 7	Szenario 10	Szenario 17	Szenario 8	Szenario 8	Szenario 13
12	Szenario 13	Szenario 13	Szenario 13	Szenario 13	Szenario 8	Szenario 17	Szenario 11	Szenario 16
13	Szenario 3	Szenario 18	Szenario 3	Szenario 3	Szenario 14	Szenario 11	Szenario 17	Szenario 3
14	Szenario 6	Szenario 16	Szenario 18	Szenario 18	Szenario 11	Szenario 14	Szenario 14	Szenario 9
15	Szenario 12	Szenario 7	Szenario 9	Szenario 9	Szenario 13	Szenario 10	Szenario 7	Szenario 6
16	Szenario 9	Szenario 15	Szenario 15	Szenario 6	Szenario 16	Szenario 13	Szenario 10	Szenario 12
17	Szenario 15	Szenario 12	Szenario 6	Szenario 12	Szenario 10	Szenario 7	Szenario 16	Szenario 15
18	Szenario 18	Szenario 9	Szenario 12	Szenario 15	Szenario 7	Szenario 16	Szenario 13	Szenario 18

Erwartungswert < Zielwert

Tabelle 11: Übersicht der Adaptionsszenarien hinsichtlich der Erreichung des Zielwerts

### A.4 Genutzte Softwareprodukte

Microsoft® Office Excel® 2007: Tabellenkalkulation (Microsoft Corporation)

Oracle® Crystal Ball® Version 11.1.2.1.000: Software zur Durchführung der Monte-Carlo-Simulation (Oracle Corporation)

## Verzeichnis betreuter Studienarbeiten

Im Rahmen dieser Dissertation entstanden am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) unter wesentlicher wissenschaftlicher, fachlicher und inhaltlicher Anleitung des Autors die im Folgenden aufgeführten studentischen Arbeiten, in welchen verschiedene Fragestellungen zur Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen untersucht wurden. Deren Ergebnisse sind in Teilen in das vorliegende Dokument eingeflossen. Der Autor dankt allen Studierenden für ihr Engagement bei der Unterstützung dieser wissenschaftlichen Arbeit.

- Dickow A.            Entwicklung einer Fertigungssimulation zur operativen Produktionsplanung unter Unsicherheiten, Diplomarbeit, abgegeben im April 2011, eingeflossen in Abschnitt 6.3.2.2.
- Fischl M.            Analyse und Weiterentwicklung von Produktionsstrukturmonitoringsystemen anhand des Rezeptor-Modells, Bachelor Thesis, abgegeben im Oktober 2009, eingeflossen in Abschnitt 5.3, Abschnitt 6.3.2.1 und Abschnitt 6.3.2.2.
- Friedel A.           Identifikation und Beschreibung von Zyklusmodellen von Fabrikelementen, Semesterarbeit, abgegeben im Januar 2010, eingeflossen in Abschnitt 6.3.2.4, Abschnitt 6.3.2.5 und Abschnitt 6.3.2.6.
- Greiss S.            Entwicklung eines Konzepts zur Synchronisation von Zyklen in der Fabrikplanung, Semesterarbeit, abgegeben im September 2010, eingeflossen in Abschnitt 6.4.
- Haux M. A.           Entwicklung eines Produktionsstrukturzyklus-Modells, Semesterarbeit, abgegeben im Mai 2011, eingeflossen in Abschnitt 6.3.2.4, Abschnitt 6.3.2.5 und Abschnitt 6.3.2.6.
- Leppla B.            Methodik zur Bewertung lebenszyklusorientierter Produktionsstrukturadaptionen, Diplomarbeit, abgegeben im Dezember 2012, eingeflossen in Abschnitt 6.5.2 und Abschnitt 6.5.3.
- Schröder T.         Auswahl und Weiterentwicklung von Modellen zur Prognose von Adaptionauslösern, Semesterarbeit, abgegeben im März 2010, eingeflossen in Abschnitt 6.3.2.2 und Abschnitt 6.3.3.

## Verzeichnis betreuter Studienarbeiten

---

- Schröder T.      Aufbau eines Produktionsstrukturmodells, Semesterarbeit, abgegeben im August 2010, eingeflossen in Abschnitt 5.3.
- Strelkow B.      Studie über zyklische Einflussfaktoren auf den Produktionsplanungsprozess, Diplomarbeit, abgegeben im August 2011, eingeflossen in Abschnitt 6.3.2.4, Abschnitt 6.3.2.5 und Abschnitt 6.3.2.6.
- Wagenstetter N.   Entwicklung eines zyklenbasierten Prognoseverfahrens für die Produktionsstrukturplanung, Diplomarbeit, abgegeben im November 2011, eingeflossen in Abschnitt 6.3.2.2 und Abschnitt 6.3.3.