

**Anreizbasierter Austausch steuerungsrelevanter Informationen  
in Wertschöpfungsnetzwerken**

**Alexander Zipfel**

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Engineering and Design der  
Technischen Universität München zur Erlangung eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Daub

Prüfer der Dissertation: 1. Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart  
2. Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk

Die Dissertation wurde am 24.05.2023 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die TUM School of Engineering and Design am  
01.10.2023 angenommen.



## **Geleitwort der Herausgeber**

Die Produktionstechnik ist in Zeiten globaler Herausforderungen, wie der Klimakrise, dem Mobilitätswandel und der Überalterung der Gesellschaft in westlichen Ländern, für eine nachhaltige Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung. Der Einfluss eines Industriebetriebs auf die Umwelt und die Gesellschaft hängt dabei entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potenziale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen. Dabei muss größtes Augenmerk darauf gelegt werden, möglichst ressourcenschonend, effizient und resilient zu werden, um flexibel im volatilen Produktionsumfeld zu agieren.

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

Ziel der Forschungsarbeiten des iw b ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung der Anforderungen des Personals sowie von Nachhaltigkeitsaspekten entwickelt. Die dabei eingesetzten rechnergestützten und Künstliche-Intelligenz-basierten Methoden und die notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades dürfen jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung ökologischer und sozialer Aspekte in alle Planungs- und Entwicklungsprozesse spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des iw b. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Die Steuerung und der Betrieb von Produktionssystemen, die Qualitätssicherung, die Verfügbarkeit und die Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den iw b-Forschungsberichten werden neue

Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des Institutes veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und den Anwendenden zu verbessern.

*Rüdiger Daub*

*Gunther Reinhart*

*Michael Zäh*

# Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV in Augsburg sowie am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart für die stetige Förderung meiner Tätigkeit am Institut sowie die konstruktive und wohlwollende Betreuung dieser Arbeit. Ebenso möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk für die Übernahme des Korreferats und bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Daub für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission bedanken.

Darüber hinaus danke ich allen Kolleginnen und Kollegen am IGCV, die mich während meiner Zeit am Institut begleitet haben. Insbesondere Jan Klöber-Koch, Georg Höllthaler, Christoph Berger, Philipp Theumer, Lukas Bank und Laura Merhar danke ich für die zahlreichen inhaltlich sowie persönlich bereichernden Diskussionen und die wertvolle Durchsicht meiner Arbeit. Mein spezieller Dank gilt dabei Philipp, Lukas und Laura, die auch durch die tiefe private Freundschaft zu einem unvergesslichen Lebensabschnitt beigetragen haben. Zudem möchte ich allen Studierenden, die mich im Rahmen meines Promotionsvorhabens mit ihren fachlichen Beiträgen tatkräftig unterstützt haben, danken.

Von ganzem Herzen möchte ich mich bei meiner Freundin Nicole Haupt bedanken. Ohne ihren Rückhalt in dieser intensiven Promotionszeit und ihr Verständnis für die vielen Arbeitsstunden an Wochenenden und in Urlauben wäre die Vollen- dung dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, meinen Eltern Heike und Hans-Eckart und meinem Bruder Valentin, für die bedingungslose Unterstützung und immerwäh- rende Förderung meines gesamten Lebenswegs. Sie sind mir stets mit Rat und Tat zur Seite gestanden und haben durch ihre Motivation maßgeblich zum Gelingen des Promotionsvorhabens beigetragen. Euch widme ich diese Arbeit.

Augsburg, im Dezember 2023

Alexander Zipfel



# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>i</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>v</b>
<b>Verzeichnis der Formelzeichen</b> .....	<b>vii</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Ausgangssituation und Motivation .....	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit .....	5
1.3 Forschungsmethodik und Aufbau der Arbeit .....	6
<b>2 Grundlagen</b> .....	<b>11</b>
2.1 Übersicht.....	11
2.2 Planung und Steuerung industrieller Wertschöpfung.....	11
2.2.1 Allgemeines .....	11
2.2.2 Supply Chain Management .....	13
2.2.3 Produktionsplanung und -steuerung .....	16
2.2.4 Einordnung der Arbeit in die Planung und Steuerung .....	23
2.3 Informationsmanagement .....	24
2.3.1 Allgemeines .....	24
2.3.2 Begriffsklärung.....	24
2.3.3 Informationen zur Planung und Steuerung.....	25
2.3.4 Informationssysteme zur Planung und Steuerung .....	26
2.3.5 Kennzahlen und Kennzahlensysteme .....	27
2.4 Anreizsysteme.....	28
2.4.1 Allgemeines .....	28
2.4.2 Begriffsklärung.....	29
2.4.3 Aufbau von Anreizsystemen .....	31
2.5 Fazit .....	32
<b>3 Stand der Forschung und Technik</b> .....	<b>33</b>
3.1 Übersicht.....	33
3.2 Modellierung von Wirkzusammenhängen in Wertschöpfungsnetzwerken. 33	
3.2.1 Informationsmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken .....	33
3.2.2 Ansätze zur Modellierung von unternehmensübergreifenden Wirkzusammenhängen .....	36
3.2.3 Ansätze zur Modellierung von unternehmensinternen Wirkzusammenhängen .....	37
3.2.4 Fazit .....	40

3.3	Bewertung von Informationen.....	41
3.3.1	Bewertungsgrößen für Informationswerte .....	41
3.3.2	Ansätze zur Entwicklung von Kennzahlensystemen .....	44
3.3.3	Ansätze zur Quantifizierung des Informationswerts.....	46
3.3.4	Fazit .....	51
3.4	Anreizbasierter Austausch von Informationen.....	52
3.4.1	International Data Spaces als Ansatz zur Kollaboration.....	52
3.4.2	Ansätze zur Gestaltung von Anreizsystemen.....	53
3.4.3	Fazit.....	55
3.5	Handlungsbedarf.....	56
<b>4</b>	<b>System zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen .....</b>	<b>59</b>
4.1	Übersicht.....	59
4.2	Anforderungen an das System.....	59
4.2.1	Anforderungen an das Referenzmodell.....	60
4.2.2	Anforderungen an den Informationswert .....	61
4.2.3	Anforderungen an das Anreizsystem .....	61
4.2.4	Anforderungen an die Methode .....	62
4.3	Festlegung des Betrachtungsrahmens .....	62
4.4	Systemaufbau .....	65
<b>5</b>	<b>Referenzmodell des steuerungsrelevanten Informationsaustauschs.....</b>	<b>67</b>
5.1	Übersicht.....	67
5.2	Betrachtungssystem und -zeitraum .....	69
5.2.1	Betrachtungssystem.....	69
5.2.2	Betrachtungszeitraum.....	70
5.3	Wirkzusammenhänge von Informationsaustausch und Produktionssteuerung .....	72
5.3.1	Elemente der analysierten Wirkzusammenhänge .....	72
5.3.2	Qualitative Kausaldiagramme.....	77
5.4	Aufbau des Referenzmodells.....	86
5.4.1	Festlegung eines Modellierungsansatzes .....	86
5.4.2	Ebenen des Referenzmodells .....	87
5.5	Fazit .....	92
<b>6</b>	<b>Informationswert für die Produktionssteuerung .....</b>	<b>93</b>
6.1	Übersicht.....	93
6.2	Festlegung eines Bewertungsansatzes.....	93
6.2.1	Bewertungsgröße.....	94



---

6.2.2	Vorgehen zur Generierung der Datenbasis .....	97
6.2.3	Festlegung eines Simulationsansatzes zur Datengenerierung .....	99
6.3	Kennzahlensystem für die operative Produktionsperformance .....	101
6.3.1	Produktionslogistische Kennzahlen .....	102
6.3.2	Entwicklung eines Kennzahlensystems.....	109
6.4	Definition des Informationswerts .....	111
6.5	Fazit .....	112
<b>7</b>	<b>Anreizsystem für den Informationsaustausch .....</b>	<b>113</b>
7.1	Übersicht.....	113
7.2	Anreizkontext .....	113
7.3	Gestaltungsdimensionen des Anreizsystems im engeren Sinne .....	115
7.3.1	Anreizgrundsatz.....	115
7.3.2	Bemessungsgrundlage .....	116
7.3.3	Zuteilungsfunktion .....	116
7.3.4	Belohnungsrichtlinie.....	127
7.4	Fazit .....	128
<b>8</b>	<b>Methode zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen .....</b>	<b>129</b>
8.1	Übersicht.....	129
8.2	Adaption des Referenzmodells .....	130
8.2.1	Spezifizierung der Wirkzusammenhänge.....	130
8.2.2	Ableitung eines informationsorientierten Modells der Produktionssteuerung .....	133
8.3	Quantifizierung des Informationswerts .....	134
8.3.1	Spezifizierung des Kennzahlensystems.....	134
8.3.2	Simulationsbasierte Wertbestimmung.....	134
8.4	Entwicklung des Anreizsystems .....	137
8.4.1	Spezifizierung der Anreizsystemkomponenten.....	138
8.4.2	Zusammenführung des Anreizsystems.....	141
8.5	Fazit .....	142
<b>9</b>	<b>Prototypische Umsetzung und Validierung .....</b>	<b>143</b>
9.1	Übersicht.....	143
9.2	Beschreibung des Anwendungsbeispiels.....	143
9.3	Informationsorientiertes Modell der Produktionssteuerung .....	146
9.4	Kennzahlensystem zur operativen Produktionsperformance .....	148
9.5	Wert der Informationen .....	152
9.5.1	Verifizierung des Simulationsmodells .....	152

9.5.2	Definition der Untersuchungsszenarien .....	153
9.5.3	Ergebnisse der Informationswertbestimmung .....	156
9.6	Anreizsystem .....	158
9.7	Technisch-wirtschaftliche Bewertung .....	160
9.7.1	Anforderungsbezogene Bewertung .....	160
9.7.2	Wirtschaftliche Bewertung .....	163
9.8	Fazit .....	166
<b>10</b>	<b>Schlussbetrachtung .....</b>	<b>167</b>
10.1	Zusammenfassung .....	167
10.2	Ausblick .....	169
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>171</b>
<b>12</b>	<b>Verzeichnis betreuter Studienarbeiten .....</b>	<b>210</b>
<b>13</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>212</b>
<b>14</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>215</b>
<b>15</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>216</b>
15.1	Referenzmodell .....	216
15.1.1	Wirkzusammenhänge .....	216
15.1.2	Qualitative Kausaldiagramme .....	218
15.1.3	Modellierungsansatz .....	221
15.2	Anreizsystem .....	225
15.2.1	Beschreibung der Geschäftsmodellmuster .....	225
15.2.2	Fähigkeiten der Geschäftsmodellmuster .....	226
15.2.3	Unternehmensspezifische Anforderungen .....	227
15.3	Anwendungsbeispiel .....	228
15.3.1	Übersicht der Parameter .....	228
15.3.2	Übersicht der Fertigstellungstermine .....	228
15.3.3	Übersicht des informationsorientierten Modells der Produktionssteuerung .....	229
15.3.4	Ausschnitt des Informationsmodells .....	230
15.3.5	Ausschnitt des ERM für einen Eilauftrag .....	231

# Abkürzungsverzeichnis

ABS	agent based simulation
APS	Advanced Planning and Scheduling
BDE	Betriebsdatenerfassung
BKT	Betriebskalendertag
BPMN	Business Process Model and Notation
BS	Betrachtungssystem
BZR	Betrachtungszeitraum
DES	discrete event simulation
DRM	Design Research Methodology
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
ERM	Entity-Relationship-Modell
ERP	Enterprise Resource Planning
EVA	Economic Value Added
FD	Flussdiagramme
i. A.	in Anlehnung
IDS	International Data Spaces
i. e. S.	im engeren Sinne
IMF	Informations- und Materialflüsse
IT	Informationstechnologie
i. w. S.	im weiteren Sinne
i. wt. S.	im weitesten Sinne
JiT	Just-in-Time
JiS	Just-in-Sequence

KVP	kontinuierlicher Verbesserungsprozess
MDE	Maschinendatenerfassung
ME	Mengeneinheit
MES	Manufacturing Execution System
NOPAT	Net Operating Profit After Taxes
OPP	operative Produktionsperformance
PKL	Produktionskennlinie(n)
PN	Petri-Netze
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
SCM	Supply Chain Management
SCOR	Supply Chain Operations Reference
SD	system dynamics
UML	Unified Modeling Language
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
WIP	Work-in-Process

# Verzeichnis der Formelzeichen

## Große lateinische Buchstaben

Symbol	Einheit	Bedeutung
$AB$	<i>Std.</i>	<i>Abgang im Bezugszeitraum</i>
$B_{AL,i}$	€	<i>Auftragsbonus für Auftrag <math>i</math></i>
$B_m$	<i>Std.</i>	<i>mittlerer Bestand</i>
$BV$	<i>BKT</i>	<i>Belastungsverschiebung</i>
$C_F$	-	<i>Menge der maximal zusammenhängenden Subkoalitionen</i>
$F$	-	<i>durch einen (Sub-)Graphen beschriebenes Mengensystem an möglichen Koalitionen</i>
$G$	-	<i>Menge der Spieler</i>
$I_h$	€	<i>Anteil des Spielers <math>h</math> am Informationswert</i>
$I_{OPP}$	€	<i>Informationswert in Bezug auf die OPP</i>
$K_{AL,i}$	€	<i>Verzugskosten für Auftrag <math>i</math></i>
$K_{Bestand}$	€	<i>Kapitalbindungskosten des Bestands</i>
$K_{Bestand,geb}$	€	<i>durchschnittliche Kapitalbindung des Bestands</i>
$K_{Betrieb}$	€/Jahr	<i>laufende Betriebskosten</i>
$K_{fix}$	€	<i>fixe Kosten</i>
$K_{Inst}$	€	<i>Instandhaltungskosten</i>
$K_{Invest}$	€	<i>Investitionskosten</i>
$K_{Lager}$	€	<i>Kapitalbindungskosten des Lagerbestands</i>
$K_{Lager,geb}$	€	<i>durchschnittliche Kapitalbindung des Lagerbestands</i>
$K_{Masch}$	€	<i>Maschinenkosten</i>

$K_{Mat}$	€	Materialkosten
$K_{Pers}$	€	Personalkosten
$K_{Qual}$	€	Qualitätskosten
$K_{Qual,fix}$	€	fixe Qualitätskosten
$K_{var}$	€	variable Kosten
$K_{WIP}$	€	Kapitalbindungskosten des WIP
$K_{WIP,geb}$	€	durchschnittliche Kapitalbindung des WIP
$K_{ZLP,p}$	€	Kosten für ZLP in Periode $p$
$K_{ZLP,p+1}$	€	geplante Kosten für ZLP in Periode $p+1$
$L_{AL}$	€	auftragsbezogene Logistikleistung
$L_m$	Std. / BKT	mittlere Leistung
$L_{SL}$	€	systembezogene Logistikleistung
$LTA$	BKT	Lieferterminabweichung
$LTE$	%	Liefertermineinhaltung
$LTE_{Ist}$	%	Ist-Liefertermineinhaltung
$LTE_{Soll}$	%	Soll-Liefertermineinhaltung
$LTT_{Soll}$	%	Zielwert der Liefertermintreue
$N_W$	€ / Jahr	monetärer Nutzwert
$OPP_{mI}$	€	OPP mit Information
$OPP_{oI}$	€	OPP ohne Information
$P$	BKT	Länge des Bezugszeitraums
$PL$	€	Produktionsleistung
$R_t$	€ / Jahr	durchschnittlicher Einnahmeüberschuss
$RS_m$	Std.	mittlerer Rückstand
$S$	-	Koalition nach Beitritt des Spielers $h$

$S_{mI}$	-	<i>Szenario mit Information</i>
$S_{oI}$	-	<i>Szenario ohne Information</i>
$T$	-	<i>F-Komponente von S</i>
$TAA$	<i>BKT</i>	<i>Abgangsterminabweichung</i>
$TAA_m$	<i>BKT</i>	<i>mittlere Abgangsterminabweichung</i>
$TAA_\sigma$	<i>BKT</i>	<i>Streuung der Abgangsterminabweichung</i>
$TAA_{UG}$	<i>BKT</i>	<i>Untergrenze der Abgangsterminabweichung</i>
$TAA_{OG}$	<i>BKT</i>	<i>Obergrenze der Abgangsterminabweichung</i>
$TAE_{Ist}$	<i>BKT</i>	<i>Ist-Bearbeitungsende</i>
$TAE_{Plan}$	<i>BKT</i>	<i>Plan-Bearbeitungsende</i>
$TT$	%	<i>Termtreue</i>
$WA_i$	€	<i>Wert des Produktionsauftrags i</i>
$ZAD$	<i>BKT</i>	<i>Administrationszeit</i>
$ZB$	<i>BKT</i>	<i>Beschaffungszeit</i>
$ZDL$	<i>BKT</i>	<i>Durchlaufzeit</i>
$ZDL_m$	<i>BKT</i>	<i>mittlere Durchlaufzeit</i>
$ZL$	<i>BKT</i>	<i>Lieferzeit</i>
$ZLP$	<i>BKT</i>	<i>Lieferzeitpuffer</i>
$ZLP_{p,i}$	<i>BKT</i>	<i>Lieferzeitpuffer des Auftrags i in Periode p</i>
$ZV$	<i>BKT</i>	<i>Versandzeit</i>

### **Kleine lateinische Buchstaben**

<b>Symbol</b>	<b>Einheit</b>	<b>Bedeutung</b>
$d_{BZR}$	<i>s</i>	<i>Dauer des Betrachtungszeitraums</i>
$f$	-	<i>Funktion</i>

$g$	-	Anzahl der Spieler
$h$	-	Spieler $h$
$i$	-	Produktionsauftragsnummer
$k_{\text{Einkauf},i}$	€/ME	Materialeinkaufspreis des Auftrags $i$
$k_K$	%	Kapitalkostensatz
$k_{\text{Masch},j}$	€/Std.	Maschinenstundensatz der Maschine $j$
$k_{\text{Pers},\text{reg}}$	€/Std.	Personalkostensatz einer regulären Schicht
$k_{\text{Pers},\text{zus}}$	€/Std.	Personalkostensatz einer zusätzlichen Schicht
$k_{\text{Qual},\text{var}}$	€/ME	variable Qualitätskosten
$k_{\text{Rüsten},j}$	€/Std.	Rüststundensatz der Maschine $j$
$n_{\text{reg}}$	-	Anzahl der Werker in regulärer Schicht
$n_{\text{zus}}$	-	Anzahl der Werker in zusätzlicher Schicht
$n$	-	Gesamtanzahl an Produktionsaufträgen
$p_{\text{Verkauf},i}$	€/ME	Verkaufspreis des Auftrags $i$ pro Mengeneinheit
$t_a$	Jahre	Amortisationszeit
$t_{\text{Bearbeiten},i,j}$	Std.	Bearbeitungszeit des Auftrags $i$ auf Maschine $j$
$t_{\text{Bestand},i}$	BKT	Verweilzeit des Auftrags $i$
$t_{\text{Pers},\text{reg}}$	Std.	Arbeitszeit einer regulären Schicht
$t_{\text{Pers},\text{zus}}$	Std.	Arbeitszeit einer zusätzlichen Schicht
$t_{\text{Rüsten},i,j}$	Std.	Rüstzeit des Auftrags $i$ auf Maschine $j$
$t_x$	-	zu spezifizierender Zeitpunkt $x$
$v$	-	Funktion des Wertbeitrags
$v^F$	-	auf $F$ restringierte Funktion des Wertbeitrags
$x_i$	ME	Menge des Auftrags $i$
$x_{\text{Qual},i}$	ME	qualitätsrelevante Menge des Auftrags $i$



$y_i$	-	<i>Binärvariable</i>
$z_{p.a.}$	%	<i>jährlicher Zinssatz</i>
$z_{ZLP}$	%	<i>Kostensatz für den Lieferzeitpuffer</i>

**Griechische Buchstaben**

<b>Symbol</b>	<b>Einheit</b>	<b>Bedeutung</b>
$\Phi_h$	-	<i>Shapley-Wert von Spieler <math>h</math></i>
$\mu_h$	-	<i>Myerson-Wert von Spieler <math>h</math></i>
$\lambda(S)$	-	<i>definierter Faktor</i>



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation und Motivation

Produzierende Unternehmen sind mit einem zunehmend dynamischen Marktumfeld konfrontiert (REINHART & ZÜHLKE 2017). Kunden fordern individuelle Produkte höchster Qualität zu geringen Kosten bei gleichzeitig kurzen Lieferzeiten (SCHUH & RIESENER 2018). Darüber hinaus fördert die Globalisierung den Druck konkurrierender Unternehmen (LANZA ET AL. 2019).

Im Kontext des Produktionsmanagements gibt es vielfältige Bestrebungen, diesen Herausforderungen zu begegnen. Die Reduzierung von Produktstückzahlen bei gleichzeitiger Erhöhung der Variantenvielfalt führt zu einer Dynamisierung der Produktlebenszyklen (REINHART & ZÜHLKE 2017). Eine aktuelle Studie zeigt, dass zwei Drittel der befragten Unternehmen das Produktportfolio in den letzten zehn Jahren um mindestens den Faktor zehn vergrößert haben (BANK ET AL. 2021). Zudem senken viele Unternehmen ihre Eigenfertigungstiefe, um Herstellkosten reduzieren und flexibler auf sich ändernde Marktbedingungen reagieren zu können (EICKELPASCH 2015, BDI 2016, BRETZKE 2020). Damit diese Entwicklungen in Einklang gebracht werden können, ist eine geteilte Leistungserstellung und eine hohe Lieferantenvielfalt unerlässlich (HELLINGRATH ET AL. 2008, SCHUH ET AL. 2012b, SPATH ET AL. 2013). Unternehmen fokussieren sich zunehmend auf ihre Kernkompetenzen und kooperieren in strategisch gewichtigen, multilateralen Wertschöpfungsnetzwerken (WELLBROCK 2015, TREBER & LANZA 2018, CHENG ET AL. 2019). Das Ziel ist es, im Kollektiv die Effektivität und Effizienz der Wertschöpfung zu verbessern und somit die Wettbewerbsposition aller Wertschöpfungspartner zu stärken (SIEBERT 1991, HILL ET AL. 2018). SCHUH ET AL. (2012c) sehen in Netzwerken die bedeutsamste Organisationsform in der produzierenden Industrie. In einer Befragung von 48 Vertretern produzierender Unternehmen unterschiedlicher Größe und Branche gaben über 80 % an, überwiegend an langfristigen Lieferantenbeziehungen interessiert zu sein (BANK ET AL. 2021). Derartige Kooperationen kennzeichnen sich durch unternehmensübergreifende Material-, Informations- und Finanzflüsse (LANZA ET AL. 2019).

Vor dem Hintergrund zunehmender Kooperationen ist eine unternehmensübergreifende Synchronisierung der Wertschöpfungsprozesse von zentraler Bedeutung für eine langfristige Wettbewerbsfähigkeit (HELLINGRATH ET AL. 2008, FRIEDLI ET AL. 2019). Ein Stellhebel zur Reduzierung von Herstellkosten und Lieferzeiten

ist der Abbau von Bestands- und Zeitreserven auf intra- sowie interorganisationaler Ebene (HEUSLER ET AL. 2006). Just-in-Time- (JiT) / Just-in-Sequence- (JiS) Lieferstrategien zielen auf die Reduzierung ebendieser Puffer bei Auftragsfertigung ab. Ein Abbau der Sicherheitspuffer bringt jedoch eine engere Verkettung der Produktionsabläufe mit Kooperationspartnern mit sich. Die hierdurch verursachte Komplexität im Wertschöpfungsprozess führt zu einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber ungeplanten Ereignissen, wie zum Beispiel Lieferantenstörungen oder Eilaufträge (BRETZKE 2002, OTTO 2003, FISCHÄDER 2007, BENSEL ET AL. 2008, SCHENK & STICH 2014, TREBER ET AL. 2019). Insbesondere in der Auftragsfertigung kann dies aufgrund der Bedarfsorientierung und der hohen Kundenbindung die Widerstandsfähigkeit von Lieferketten gegenüber ungeplanten Ausfällen beeinträchtigen (SCHUH ET AL. 2015). Die Corona-Krise zeigte beispielhaft die möglichen Auswirkungen von hohen Abhängigkeiten in Wertschöpfungsnetzwerken. Innerhalb kurzer Zeit sind zahlreiche Lieferketten abgerissen, da benötigte Materialien und Komponenten nicht bereitgestellt werden konnten (IVANOV 2020).

Der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) kommt im Spannungsfeld zwischen einer effektiven und einer effizienten Auftragsabwicklung eine herausragende Bedeutung zu (SCHUH ET AL. 2014e). Aus der Perspektive der Effektivität besitzt die Gewährleistung einer hohen Logistikleistung in Gestalt einer hohen Liefertreue und kurzer Lieferzeiten oberste Priorität (NYHUIS & WIENDAHL 2012). Die Termintreue wird von der Mehrheit der Unternehmen als die wichtigste logistische Zielgröße angesehen (SCHUH & STICH 2013, NYHUIS ET AL. 2016). Zur Erreichung einer effizienten Auftragsabwicklung und damit einhergehender geringer Logistikkosten sind hingegen hohe Auslastungen und geringe Bestände anzustreben. Aufgabe der PPS ist es, den Konflikt aus den z. T. gegenläufigen Zielen hoher Logistikleistung und geringer Logistikkosten zu lösen (WIENDAHL ET AL. 2012).

Aufgrund der zunehmenden Volatilität des Unternehmensumfelds wird in der Planung und Steuerung von Ablaufprozessen ein Paradigmenwechsel offensichtlich. Die Umsetzung mittel-/langfristiger, prognosebasierter Planwerte wird durch den zunehmenden Eintritt von nicht vorhersehbaren Ereignissen und damit einhergehenden Planabweichungen erschwert. Die Bedeutung einer kurzfristigen, ereignisorientierten Produktionssteuerung für die Erreichung produktionslogistischer Ziele steigt. Insbesondere, wenn trotz erfolgter Frühaufklärung produktionskritischer Diskontinuitäten (s. DOBLER ET AL. 2020, 2023) der Ereigniseintritt nicht verhindert werden konnte, ist es Aufgabe der Produktionssteuerung, die unternehmensinternen und -externen Auswirkungen zu reduzieren. (CORSTEN & GÖSSINGER 2016, LÖDDING 2016, BESENFELDER ET AL. 2017, BAUER ET AL. 2021)

Um die Potenziale einer Produktionssteuerung ausschöpfen zu können, ist eine unternehmensübergreifende Transparenz des Status der Produktionssysteme der Wertschöpfungspartner unerlässlich (OTTO 2003, LANZA ET AL. 2019). Auf Basis aktueller Rückmeldedaten müssen Plan-Ist-Abweichungen identifiziert, kommuniziert und in Echtzeit in die Steuerung integriert werden, um geeignete Gegenmaßnahmen initiieren zu können (SCHUH & SCHMIDT 2014). Der Austausch von steuerungsrelevanten Informationen mit vor- und nachgelagerten Partnern stellt einen entscheidenden Erfolgsfaktor dar, um Kundenaufträge termingerecht und kostengünstig fertig zu stellen und einen resilienten Leistungserstellungsprozess zu erreichen (HEUSLER ET AL. 2006, LIU ET AL. 2020, DEEPU & RAVI 2021).

Die Grundlage für eine durchgängige Transparenz bildet die im Rahmen von Industrie 4.0<sup>1</sup> stattfindende Digitalisierung des Produktionssystems (KAGERMANN 2015, LÖDDING 2020). Die zur Produktionssteuerung erforderliche Informationsverfügbarkeit wird durch eine zunehmende Generierung von Daten und eine intelligente vertikale sowie horizontale Vernetzung sämtlicher an der Wertschöpfung beteiligten Entitäten ermöglicht (HELLINGRATH ET AL. 2008, WILKINSON & BLACK 2015). Mit steigendem Digitalisierungsgrad der industriellen Produktion verändert sich auch die Bedeutung und Rolle von Daten und Informationen für produzierende Unternehmen (s. Abbildung 1-1). Daten werden nicht mehr ausschließlich als Prozessergebnis, als Befähiger von Geschäftsprozessen oder von Produkten in digitalen Geschäftsmodellen wahrgenommen. Sie stellen darüber hinaus eigenständige und veräußerbare Wirtschaftsgüter dar. Der Wertbeitrag von Daten als strategische Ressource und Wettbewerbsfaktor wächst. (OTTO ET AL. 2016, ZECHMANN 2018, OTTO ET AL. 2019a)

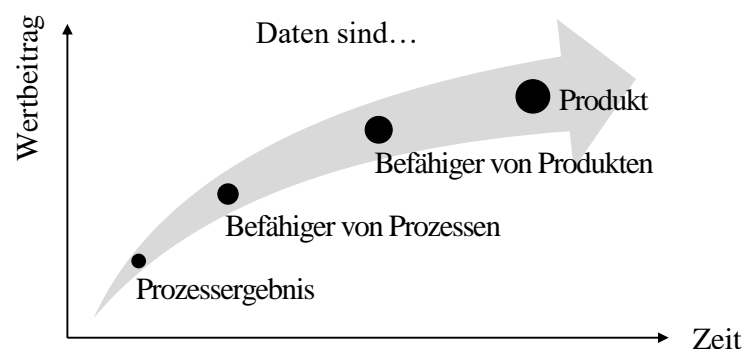


Abbildung 1-1: Rolle von Daten in der betrieblichen Leistungserstellung (i. A. an OTTO ET AL. 2016)

<sup>1</sup> Der Begriff *Industrie 4.0* (Kurzform für die vierte industrielle Revolution) kennzeichnet den Einzug des Internets der Dinge in die Produktion. Aus der Vernetzung der physischen und der digitalen Welt resultieren sog. Cyber-physische Systeme (REINHART & ZÜHLKE 2017).

Um der steigenden Bedeutung der Datenökonomie im Rahmen der europäischen Datenstrategie Rechnung zu tragen, haben das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union im Mai 2022 den Data Governance Act verabschiedet. Ziel dieser Verordnung ist es, eine übergreifende Verfügbarkeit und eine vertrauenswürdige, gemeinsame Nutzung von Daten auf Basis europaweit einheitlicher Mechanismen zu fördern. (EU 2022)

Trotz dieser Relevanz findet im Kontext der PPS bislang kein durchgängiger, interorganisationaler Informationsaustausch statt (HEUSLER ET AL. 2006, LÖDDING 2016, WANG-MLYNEK & FOERSTL 2020). In der in Abbildung 1-2 gezeigten Umfrage gaben 39 % der Unternehmen an, keine Bestandsinformationen mit Dritten zu teilen (BANK ET AL. 2021). Nach der Studie von NYHUIS ET AL. (2016) zeigt trotz erfolgter Datenerfassung und verfügbarer Vernetzungstechnologien nur eins von zehn Unternehmen eine große Bereitschaft zur Bereitstellung von für die PPS relevanten Informationen. Dies hat im Wesentlichen die folgenden drei Gründe.

Erstens fehlt ein tiefgreifendes Verständnis der Auswirkungen von ungeplanten Ereignissen auf das eigene Unternehmen sowie Wertschöpfungspartner (SCHENK & STICH 2014, NIEHUES 2016). Die Wirkzusammenhänge zwischen Informationsaustausch und Produktionssteuerung zur gezielten Reaktion auf Ereignisse sind nicht vollumfänglich untersucht (KLÖTZER & PFLAUM 2019). Unternehmen fehlt häufig die Kenntnis darüber, welche Informationen zur Entscheidungsunterstützung in der Produktionssteuerung auszutauschen sind (LIU ET AL. 2020).

Zweitens besteht ein Defizit in Bezug auf die Nutzbarmachung von Informationen als Wirtschaftsgut (MOODY & WALSH 1999, ZECHMANN 2018). Damit der Wert von steuerungsrelevanten Informationen für die Auftragsabwicklung einen adäquaten Einzug in den Geschäftsalltag der Unternehmen findet, bedarf es einer systematischen Quantifizierung des ökonomischen Informationswerts im kurzfristigen Zeithorizont der Produktionssteuerung (SCHUH ET AL. 2021).

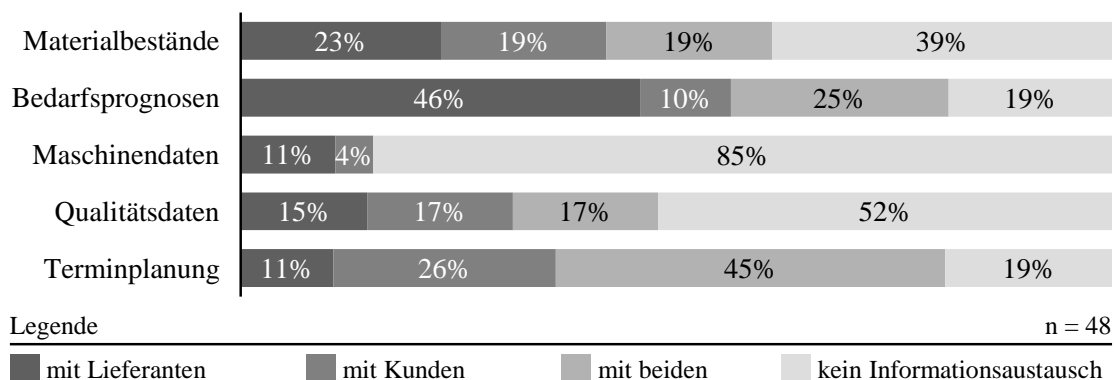


Abbildung 1-2: Austausch von PPS-relevanten Daten mit Partnern (i. A. an BANK ET AL. 2021)

Drittens fehlen spezifische Anreize, die die Unternehmen zum Informationsaustausch in langfristigen-strategischen Kooperationen motivieren (HUANG ET AL. 2003, MANATSA & MCLAREN 2008). Auf Basis einer fairen Aufteilung des durch den Informationsaustausch erzielten Mehrwerts soll jedem Partner ein individueller Nutzen garantiert und opportunistisches Verhalten vermieden werden (NARAYANAN & RAMAN 2004, WELLBROCK 2015).

## 1.2 Zielsetzung der Arbeit

Ausgehend von der dargelegten Ausgangssituation und Motivation ist die Zielsetzung dieser Arbeit, ein *System zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen in Wertschöpfungsnetzwerken* zu entwickeln. Die Intensivierung des unternehmensübergreifenden Informationsaustauschs bietet der Produktionssteuerung das Potenzial zur effizienten und effektiven Reaktion auf ungeplante Ereignisse, die in vor- oder nachgelagerten Wertschöpfungsstufen eingetreten sind oder eintreten drohen. Hierdurch sollen geeignete Gegenmaßnahmen initiiert werden können, bevor Planabweichungen im eigenen Unternehmen resultieren.

Zur Gewährleistung eines zielführenden Austauschs der richtigen Informationen sind zunächst die produktionstechnischen Wirkzusammenhänge von Informationsaustausch und Produktionssteuerung zu analysieren. Basierend darauf soll ein Referenzmodell entwickelt werden, das den steuerungsabhängigen Informationsbedarf mit dem im Wertschöpfungsnetzwerk verfügbaren Informationsangebot in Einklang bringt. Anschließend gilt es, einen Ansatz zur Quantifizierung des ökonomischen Werts der im Kontext der Produktionssteuerung auszutauschenden Informationen zu entwickeln. Hierzu ist ein geeignetes Kennzahlensystem zu konzipieren, das es ermöglichen soll, die aus der Perspektive der Produktionstechnik relevanten Auswirkungen der unternehmensübergreifenden Informationstransparenz auf die Auftragsabwicklung und die Leistungsfähigkeit des betrachteten Produktionssystems zu ermitteln. Damit die Partner eines Wertschöpfungsnetzwerks zum Informationsaustausch bereit sind, ist ein direkter monetärer Nutzen erforderlich. Infolgedessen bedarf es der Entwicklung eines Anreizsystems, das den Informationswert in eine angemessene Kompensationsleistung in Form eines Finanzflusses überführt.

Um der Zielsetzung gerecht zu werden, sind im Rahmen der vorliegenden Arbeit die folgenden Forschungsfragen zu beantworten:

- *Wie können die Wirkzusammenhänge von unternehmensübergreifendem Informationsaustausch und Produktionssteuerung in einem Referenzmodell abgebildet werden?*
- *Wie kann der Wert einer unternehmensübergreifend ausgetauschten Information für die Produktionssteuerung quantifiziert werden?*
- *Wie kann ein Anreizsystem zum Austausch steuerungsrelevanter Informationen in Wertschöpfungsnetzwerken gestaltet werden?*

### **1.3 Forschungsmethodik und Aufbau der Arbeit**

Die übergeordnete Zielsetzung dieser Arbeit, ein System zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen in Wertschöpfungsnetzwerken zu entwickeln, lässt sich nach ULRICH & HILL (1976) den angewandten Handlungswissenschaften als Teil der Realwissenschaften zuordnen. Angestrebt wird dabei „(...) *die Analyse menschlicher Handlungsalternativen zwecks Gestaltung sozialer und technischer Systeme (...)*“ (ULRICH & HILL 1976).

Zur systematischen Beantwortung der Forschungsfragen ist eine für die angewandten Handlungswissenschaften adäquate Forschungsmethodik festzulegen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde auf die von BLESSING & CHAKRABARTI (2009) entwickelte *Design Research Methodology (DRM)* zurückgegriffen (s. Abbildung 1-3). Die DRM ist eine in der ingenieurwissenschaftlichen Forschungsgemeinschaft verbreitete und anerkannte Methodik. Durch die zugrunde liegende Systematik ist die DRM geeignet für den produktionstechnischen Forschungskontext dieser Arbeit. Die Methodik unterteilt sich in die vier Stufen *Forschungsziel*, *Deskriptive Studie I*, *Präskriptive Studie* und *Deskriptive Studie II*. Nach BLESSING & CHAKRABARTI (2009) können in Bezug auf die spezifische Ausgestaltung der Untersuchung und den Detaillierungsgrad der vier Stufen sieben Forschungsprojekttypen differenziert werden. Aufgrund der verfolgten Zielsetzung und der Randbedingungen, wie bestehende Vorarbeiten, wurde für diese Arbeit der Typ 3 ausgewählt. Demnach erfolgte die Klärung des Forschungsziels sowie die Deskriptive Studie I literaturbasiert, die Präskriptive Studie umfassend und die Deskriptive Studie II initial. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Aufgabenstellung lässt sich den vier Stufen eine der Merkmalskategorien *terminologisch-deskriptiv*, *empirisch-induktiv* oder *analytisch-deduktiv* zuordnen (ULRICH & HILL 1976).



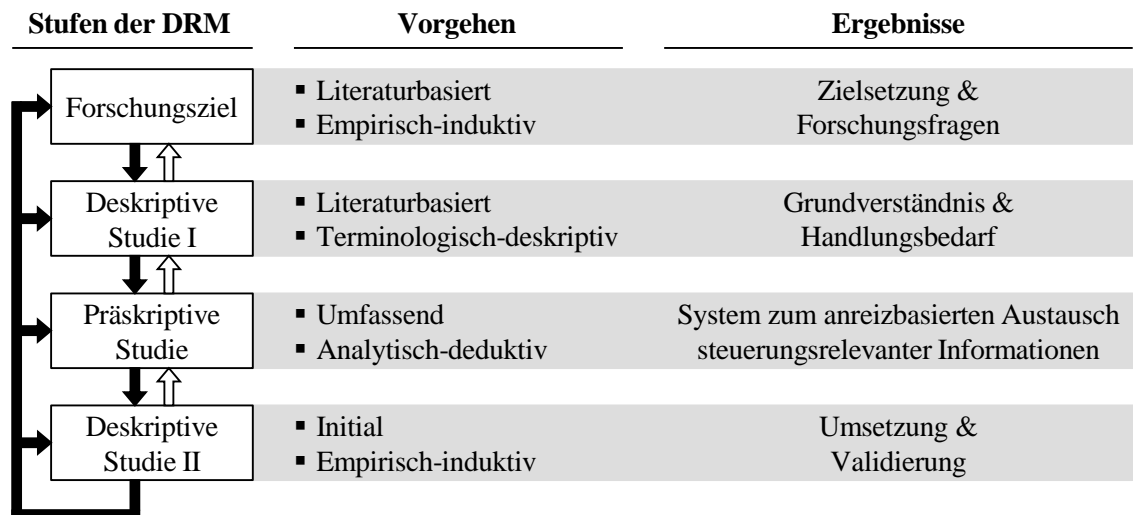


Abbildung 1-3: Forschungsmethodisches Vorgehen dieser Arbeit (i. A. an ULRICH & HILL 1976, BLESSING & CHAKRABARTI 2009)

Im Folgenden wird die auf den vorliegenden Forschungskontext adaptierte Forschungsmethodik erläutert. Hieraus leitet sich der sachlogische Aufbau der Arbeit ab. Abbildung 1-4 gibt einen Überblick der zehn Kapitel und deren Einordnung in die Stufen der DRM.

Im Rahmen von *Kapitel 1* erfolgt die Klärung des *Forschungsziels*. Hierzu wurde die Ausgangssituation empirisch-induktiv analysiert. Ausgehend von einer Literaturanalyse wurden allgemeingültige Aussagen zur Motivation der Arbeit abgeleitet. Basierend auf diesen empirischen Erkenntnissen wurde die Zielsetzung, ein System zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen in Wertschöpfungsnetzwerken zu entwickeln, bestimmt. Anschließend wurde das forschungsmethodische Vorgehen zur Beantwortung der formulierten Forschungsfragen festgelegt.

Die *Deskriptive Studie I* dient der Spezifizierung des Untersuchungsgegenstands aus einer terminologisch-deskriptiven Perspektive. Basierend auf der Recherche einschlägiger Literatur ist ein einheitliches Begriffsverständnis entwickelt worden. Die in *Kapitel 2* beschriebenen grundlegenden Definitionen tragen zu einer interdisziplinären Nachvollziehbarkeit der wissenschaftlichen Erkenntnisse bei. Aufbauend darauf wird in *Kapitel 3* der relevante Stand der Forschung und Technik erläutert. Hierdurch sollen Defizite in den Vorarbeiten zur Modellierung von produktionslogistischen Wirkzusammenhängen, zur Bewertung von steuerungsrelevanten Informationen und zum anreizbasierten Austausch von Informationen aufgezeigt sowie ein spezifischer Handlungsbedarf abgeleitet werden.

Den Schwerpunkt des forschungsmethodischen Vorgehens dieser Arbeit bildete die *Präskriptive Studie*. In dieser Stufe wurde das System zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen in Wertschöpfungsnetzwerken analytisch-deduktiv konzipiert. Im Fokus stand neben der Ausarbeitung umfassender produktionsbezogener Erklärungs- und Entscheidungsmodelle die Ableitung von Handlungsempfehlungen. Von entscheidender Bedeutung war dabei der Bezug zur Produktionstechnik. Nur durch die tiefgreifende Analyse und Integration produktionsprozesstechnischer Abhängigkeiten und Wirkmechanismen kann das System einen ingenieurwissenschaftlichen Mehrwert bieten.

Das entwickelte System ist in den Kapiteln 4 bis 8 beschrieben. *Kapitel 4* beinhaltet die wesentlichen Anforderungen an die und einen Überblick über die Systemelemente sowie deren Verbindung zueinander. In *Kapitel 5* werden zunächst die analysierten produktionsprozesstechnischen Wirkzusammenhänge von Informationsaustausch und Produktionssteuerung dargelegt. Basierend darauf wird das entwickelte Referenzmodell für den steuerungsrelevanten Informationsaustausch erklärt. In *Kapitel 6* wird der Ansatz zur Quantifizierung des Informationswerts im Kontext der Produktionssteuerung aufgezeigt. Im Fokus von *Kapitel 7* steht das konzipierte Anreizsystem zur Integration des ermittelten Informationswerts in einen ökonomischen Anreiz. Um eine hohe Anwendbarkeit des Systems im Bereich der Produktionstechnik zu gewährleisten, wurden die in den Kapiteln 5 bis 7 beschriebenen Ergebnisse anschließend in eine Methode zum anreizbasierten Informationsaustausch überführt. Die Methode wird in *Kapitel 8* vorgestellt.

Die analytisch gewonnenen Erkenntnisse wurden im Rahmen der *Deskriptiven Studie II* empirisch überprüft. Hierzu wurde das entwickelte System prototypisch umgesetzt und anhand eines praxisorientierten Anwendungsbeispiels validiert. Die Umsetzung und Validierung des Systems in einem realen Produktionssystem ist in *Kapitel 9* beschrieben. Schließlich erfolgt in *Kapitel 10* eine Zusammenfassung der Forschungsergebnisse sowie ein Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf.

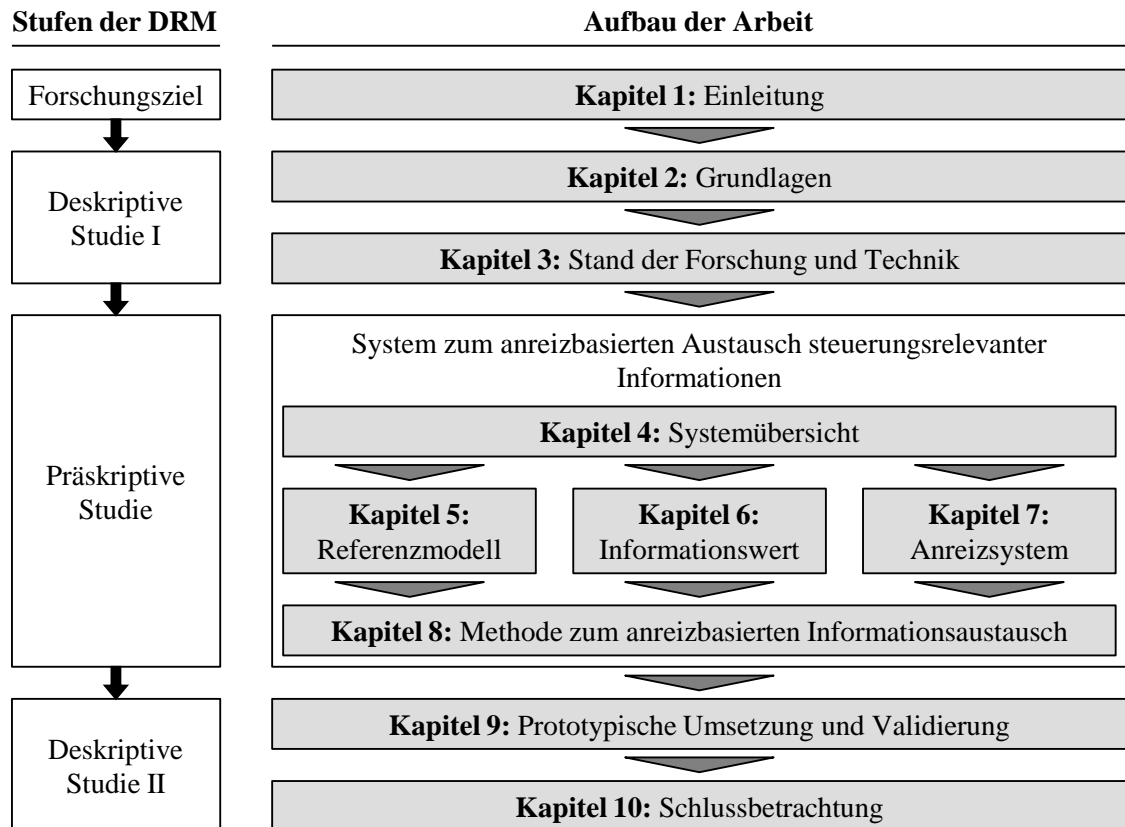


Abbildung 1-4: Aufbau der vorliegenden Arbeit und Einordnung in die Stufen der DRM



## 2 Grundlagen

### 2.1 Übersicht

Als Bestandteil der *Deskriptiven Studie I* werden in diesem Kapitel die für ein einheitliches Verständnis der Arbeit wesentlichen wissenschaftstheoretischen Grundlagen dargelegt. Abschnitt 2.2 fokussiert das Management der industriellen Wertschöpfung. Hierbei wird neben der unternehmensübergreifenden Perspektive des Supply Chain Managements (SCM) auch die unternehmensinterne Perspektive der PPS adressiert. In Abschnitt 2.3 wird die Bedeutung des Informationsmanagements für die Planung und Steuerung von Wertschöpfungsnetzwerken erläutert. Im darauf folgenden Abschnitt 2.4 werden die relevanten Grundlagen für die Entwicklung eines Anreizsystems zum Austausch von Informationen aufgezeigt.

### 2.2 Planung und Steuerung industrieller Wertschöpfung

#### 2.2.1 Allgemeines

Unter *Produktion* wird der betriebliche Transformationsprozess von materiellen und immateriellen Input-/Produktionsfaktoren (Arbeitseinsatz, Werkstoffe, Betriebsmittel, Informationen, Energie etc.) in Outputfaktoren (Produkte, Dienstleistungen etc.) verstanden (GUTENBERG 1951, KÜPPER 1987, DANGELMAIER 2003, WEBER ET AL. 2018). Die bei dem Transformationsprozess erzielte *Wertschöpfung* (engl. „value added“) errechnet sich durch den (Markt-)Wert des Outputs des Betrachtungssystems abzüglich des (Markt-)Werts der zur Erzeugung des Inputs erbrachten Vorleistungen (RUTHERFORD 1977). Der Betrag an Wertschöpfung wird somit von der spezifischen Systemgrenze der betrachteten Wertschöpfungsstufe beeinflusst. Exemplarische Systemgrenzen sind Produktionsressourcen, Unternehmen oder der Zusammenschluss mehrerer kooperierender Unternehmen. In dieser Arbeit entsprechen die Systemgrenzen den jeweiligen Unternehmensgrenzen.

Bei Berücksichtigung sämtlicher Unternehmen, die zwecks der Deckung eines Endkundenbedarfs über die diversen Wertschöpfungsstufen von der Rohstoffgewinnung bis zum Vertrieb eines Produktes kooperieren, wird von einer *Lieferkette* (engl. „supply chain“) gesprochen (POPPE 2017). Weitere synonym verwendete Begriffe sind u. a. *Wertschöpfungskette*, *value chain* oder *value-adding chain*.

Unternehmen sind zumeist in mehrere Lieferketten integriert und kooperieren simultan mit einer Vielzahl anderer Unternehmen (HELLINGRATH ET AL. 2008). Die Folge ist ein komplexes Geflecht an miteinander in Beziehung stehenden Unternehmen. Trotz der sich im allgemeinen Sprachgebrauch gefestigten Begriffe der Lieferkette bzw. Supply Chain, welche eine Linearität suggerieren, sind in der Praxis v. a. Netzwerkstrukturen vorzufinden. Lineare Wertschöpfungsketten mit eindeutig definierten und längerfristigen Eingangs- und Ausgangsbeziehungen lösen sich zugunsten von netzwerkartigen Organisationsformen auf (WILKINSON & BLACK 2015). Diese Netzwerke werden auch als *Wertschöpfungs-* (engl. „value-adding networks“), *Unternehmens- oder Produktionsnetzwerke* bzw. *supply* oder *value networks* bezeichnet. Um in dieser Arbeit einen durchgängig einheitlichen Terminus zu nutzen und zudem den Fokus auf solche Netzwerke zu legen, in denen physische Produkte hergestellt werden, wird im Folgenden der Begriff *Wertschöpfungsnetzwerk* verwendet.<sup>2</sup> Wertschöpfungsnetzwerke sind eine hybride Organisationsform, die sich durch die komplex-reziproke<sup>3</sup> Kooperation rechtlich selbständiger Unternehmen auszeichnen (SYDOW 1992, BACH ET AL. 2003, KAGERMANN ET AL. 2013). Die Hybridität basiert auf der Integration von marktlichen sowie hierarchischen Beziehungseigenschaften zwischen den kooperierenden Entitäten (SYDOW 1992, BACH ET AL. 2003). Die VDI/VDE-Gesellschaft attestiert unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerken zudem die Eigenschaften Dynamik, Echtzeitoptimierung und Selbstorganisation (GMA 2016).

Das Ziel eines Wertschöpfungsnetzwerks ist die Realisierung eines ökonomischen Mehrwerts und gemeinschaftlicher Wettbewerbsvorteile (JOHNSTON & LAWRENCE 1988, BACH ET AL. 2003). Durch die Spezialisierung des unternehmensspezifischen Leistungsangebots und die Allokation der Aufgaben und Ressourcen auf Unternehmensebene werden Skalen- und Verbundeffekte angestrebt (BACH ET AL. 2003, BAUSCH & GLAUM 2003). Die Skalen- und Verbundeffekte ermöglichen eine effizientere Auftragsabwicklung und damit eine wirtschaftlich optimierte Wertschöpfungskette zur Deckung der Endkundenbedarfe (CORSTEN 2001).

Zur Unterscheidung verschiedener Kooperationsformen in Wertschöpfungsnetzwerken lassen sich zahlreiche Typisierungsmerkmale identifizieren. Tabelle 2-1 gibt einen Überblick über die Typologie von Wertschöpfungsnetzwerken.

---

<sup>2</sup> Zur Abgrenzung ist ergänzend anzumerken, dass in der Literatur sowie im allgemeinen Sprachgebrauch mit dem Begriff *Produktionsnetzwerk* häufig ein unternehmensinternes Netzwerk an kooperierenden Produktionsstandorten assoziiert wird (s. LANZA ET AL. 2019).

<sup>3</sup> Die Eigenschaft *komplex-reziprok* bezieht sich darauf, dass vielschichtige Wechselwirkungen zwischen den Kooperationspartnern bestehen (s. SYDOW 1992).

Tabelle 2-1: Typologie von Wertschöpfungsnetzwerken (i. A. an STAUDT ET AL. 1996, WIRTH &amp; BAUMANN 1996, HELLMICH 2003, SCHONERT 2008, SYDOW 2010, KOMPA ET AL. 2012)

Merkmals	Ausprägungen			
Partnerzahl	bilateral		multilateral	
Richtung	horizontal	vertikal		lateral/diagonal
Zeithorizont	Einzelfall	kurzfristig (< 1 Jahr)	mittelfristig (1-5 Jahre)	langfristig (> 5 Jahre)
Steuerungsform	hierarchisch		heterarchisch	
Machtverhältnis	fokales Unternehmen	gleichberechtigte Partner	externer Koordinator	
Substituierbarkeit	leicht	schwierig		nicht möglich
Bindungsintensität	formlose Absprache	Vertrag		Kapitalbeteiligung
Kooperationsgegenstand	Material- austausch	Materialtransfer (Logistik)	Informations- austausch	Ressourcen- nutzung
Art der Ressourcen- nutzung	Eigenfertigung	verlängerte Werkbank	Ressourcen- teilung	Ressourcenpool
Auftragsauslösung	deterministisch	sporadisch		stochastisch
Unternehmens- bereich	Beschaffung/ Einkauf	Produktion	Absatz/ Vertrieb	Sonstige (F&E etc.)
Räumlicher Bezug	lokal	regional	national	international

Voraussetzung für eine zielführende Kooperation in Wertschöpfungsnetzwerken ist eine effiziente und effektive Planung sowie Steuerung unternehmensübergreifender und -interner Material-, Informations- und Finanzflüsse. Da die Wissensbereiche SCM und PPS die zur Auftragsabwicklung relevanten Funktionalitäten bieten, werden diese in den folgenden Abschnitten eingeführt.

## 2.2.2 Supply Chain Management

### 2.2.2.1 Begriffsklärung

Die Kooperation in Wertschöpfungsnetzwerken erfordert zur Planung und Steuerung der Lieferketten eine enge Koordination mit den Partnerunternehmen vor- und nachgelagerter Wertschöpfungsstufen (CHRISTOPHER 2016, KURBEL 2016). Diese unternehmensübergreifende Integration sämtlicher zur Herstellung von Produkten erforderlichen Prozesse wird im Rahmen des SCM adressiert (ELLRAM & COOPER 1990, WERNER 2017). Die Association for SCM versteht unter SCM das Design, die Planung, die Ausführung, die Steuerung und die Überwachung von Aktivitäten entlang der Lieferkette (PITTMAN & ATWATER 2020). Der Fokus liegt dabei auf den Material-, Informations- und Finanzflüssen vom Rohstofflieferanten

bis zum Endkunden (STEVENS 1989, LEE & WHANG 2000, LUMMUS ET AL. 2001, GÖPFERT 2013). Für eine Übersicht diverser definitorischer Ansätze des SCM wird auf WELLBROCK (2015) verwiesen.

### **2.2.2.2 Ziele des Supply Chain Management**

Mit der Koordination der Lieferbeziehungen im Rahmen des SCM wird eine Vielzahl strategischer, taktischer und operativer Ziele verbunden. Übergeordnet stehen die langfristige Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der gesamten Lieferkette durch die Erreichung von Skalen- und Verbundeffekten sowie die Erhöhung der Kundenzufriedenheit durch eine schnelle und zuverlässige Lieferfähigkeit im Vordergrund. Ausgehend von der Synchronisierung von Angebot und Nachfrage soll eine bedarfsgerechte Produktion erreicht und das Bestandsniveau verringert werden. Zudem wird eine Reduzierung nicht-wertschöpfender Tätigkeiten zur Erhöhung des Wertschöpfungsgrads angestrebt. Durch die unternehmensübergreifende Abstimmung logistischer Prozesse lassen sich folglich diverse Kostensenkungspotenziale in Bezug auf Transaktions-, Kapitalbindungs-, Ressourcen- und Logistikkosten sowie Kosten der Nichtqualität realisieren. (ELLRAM & COOPER 1990, KUHN & HELLINGRATH 2002, SIMCHI-LEVI ET AL. 2008, GÖPFERT 2013, WELLBROCK 2015, CHRISTOPHER 2016, WERNER 2017, PITTMAN & ATWATER 2020)

### **2.2.2.3 Aufgaben des Supply Chain Management**

Die Aufgaben des SCM lassen sich nach diversen Typologien kategorisieren. In der Wissenschaft ist die Zuordnung zu den Aufgabenfeldern *Supply Chain Design*, *Supply Chain Planning* und *Supply Chain Execution* verbreitet (HELLINGRATH ET AL. 2008). Fokus des Designs sind langfristige, strategische Aufgaben der Netzwerkgestaltung. Dies umfasst z. B. Entscheidungen zu Partnern, Investitionen oder Distributionsstrategien. Das Supply Chain Planning ist das zentrale Element des SCM und ist durch mittelfristige, taktische Planungsaufgaben charakterisiert. Teilbereiche sind die zyklische Bedarfs- und Netzwerkplanung sowie die kapazitäts- und terminabhängige Grob- und Feinplanung von Beschaffungs-, Produktions- und Distributionsaktivitäten. Die kurzfristige, operative Steuerung der Produktions- und Logistikabläufe in der Lieferkette erfolgt im Rahmen der Supply Chain Execution. Kernfunktion der Supply Chain Execution und Bindeglied zum Supply Chain Planning ist das *Supply Chain Event Management (SCEM)*. (WIESER & LAUTERBACH 2001, NISSEN 2002, BACH ET AL. 2003, HEUSLER ET AL. 2006, BENSEL ET AL. 2008, HELLINGRATH ET AL. 2008, KURBEL 2016, WERNER 2017)



Zur Integration sämtlicher Aufgaben des SCM in idealtypische Geschäftsprozesse wurde vom Supply Chain Council das Supply Chain Operations Reference (SCOR)-Modell entwickelt (APICS 2017). Der Aufbau des SCOR-Modells wird in Abschnitt 3.2.2 erläutert.

#### 2.2.2.4 Supply Chain Event Management

Das SCEM ist ein „*proaktives Konzept der operativen, kurzfristigen Planung, Steuerung und Kontrolle*“ (STEVEN & KRÜGER 2004) der Lieferkette und wird aus zeitlicher Perspektive der Supply Chain Execution zugeordnet (BENSEL ET AL. 2008). Ziel ist es, eine netzwerkweite Transparenz über den aktuellen Status der Auftragsabwicklung zu gewährleisten, Warnmeldungen beim Eintritt ungeplanter Ereignisse (engl. „events“) zu übermitteln und proaktiv Steuerungsmaßnahmen zu initiieren (NISSEN 2002, OTTO 2003, HEUSLER ET AL. 2006). Neben Effizienz- und Effektivitätssteigerungen aufgrund reduzierter Kosten bei gleichzeitig höherer Produktivität und Qualität soll dies auch zu einer höheren Kundenzufriedenheit beitragen (NISSEN 2002, HELLINGRATH ET AL. 2008).

Das SCEM umfasst die Teilfunktionen *Überwachen, Melden, Simulieren, Steuern* und *Messen* (KNICKLE 2001). Basierend auf der echtzeitnahen Überwachung der Produktions- und Logistikprozesse können kritische Ereignisse in Form von Planabweichungen identifiziert und frühzeitig an die betroffenen Entitäten gemeldet werden (IJOUI ET AL. 2007, WERNER 2017). Relevante Ereignisse sind z. B. eingetretene oder ausbleibende Objektidentifikationen, Messwert- oder Schadensmeldungen (NISSEN 2002). Tabelle 2-2 gibt einen Überblick differenzierbarer Ereignistypen. Eine Soll-Ist-Abweichung kann sich bspw. auf die Charakteristika Zeit, Quantität oder Qualität beziehen. Die Erfassung der Ereignisse kann dabei manuell oder automatisiert erfolgen (WERNER 2017).

Tabelle 2-2: Charakterisierung von Ereignistypen (i. A. an NISSEN 2002, STEVEN & KRÜGER 2004, HELLINGRATH ET AL. 2008)

Ereignistyp	Soll-Ist-Abweichung	Spezifizierung	Handlungsbedarf
geplant	nein	konfirmatorisches Ereignis	nein
ungeplant	ja	geplantes Ereignis, ungeplanter Zustand	ja
ungeplant	ja	ungeplantes Ereignis, positive Abweichung	ja/nein
ungeplant	ja	ungeplantes Ereignis, negative Abweichung	ja

Basierend auf einer Ereignismeldung werden Maßnahmen zur Gegensteuerung simuliert und initiiert. OTTO (2003) differenziert steuernde Maßnahmen nach deren zeitlichem Eingriffshorizont von kurz- bis langfristig in die Reaktionsmöglichkeiten *Reparieren*, *Umterminieren*, *Umplanen* und *Lernen*. Das kontinuierliche Messen relevanter Parameter sowie die Auswertung getroffener Entscheidungen ermöglichen zudem das Ableiten langfristiger Trends und weiterer Handlungsempfehlungen (NISSEN 2002, BENSEL ET AL. 2008).

## **2.2.3 Produktionsplanung und -steuerung**

### **2.2.3.1 Begriffsklärung**

Die PPS bildet den organisatorischen Kern eines Produktionssystems (VAHRENKAMP & SIEPERMANN 2008, SCHUH ET AL. 2012a, GÜNTHER & TEMPELMEIER 2016). Im Fokus liegt die qualitative, quantitative und zeitliche Definition der für den Ablauf des Leistungserstellungsprozesses relevanten Produktionsfaktoren zur Erreichung der produktionslogistischen Ziele (DANGELMAIER 2009). Im Speziellen ist es Aufgabe der PPS, die Abwicklung von Produktionsaufträgen unter Berücksichtigung sämtlicher unternehmensspezifischer Restriktionen zu planen und trotz unerwartet auftretender Ereignisse effizient und effektiv durchzusetzen (HACKSTEIN 1989, WIENDAHL 2014, CORSTEN & GÖSSINGER 2016).

Übertragen auf die Notation eines klassischen Regelkreises dient die PPS dazu, spezifische Regelgrößen, die Betriebsdaten, im Produktionssystem derart zu beeinflussen, dass zuvor festgelegte Zielwerte, die Führungsgrößen, trotz auftretender Störgrößen erreicht werden (LÖDDING 2016, WIENDAHL ET AL. 2012). Abbildung 2-1 zeigt den von WIENDAHL (1997) entwickelten Regelkreis der PPS in einer erweiterten Form. Im Rahmen des Logistik-Controllings wird dabei ein fortlaufender Abgleich zwischen den Plan- und den Ist-Werten vorgenommen, um die logistische Zielerreichung (vgl. Abschnitt 2.2.3.2) zu überwachen und im Fall auftretender Abweichungen zielgerichtete Maßnahmen einzuleiten. Die verschiedenen PPS-Verfahren (vgl. Abschnitt 2.2.3.3) sind die Stellgrößen des Regelkreises.

Die Begriffe *Produktionsplanung* und *Produktionssteuerung* sind grundsätzlich nicht trennscharf voneinander abzugrenzen. In der Literatur wird häufig die Auftragsfreigabe als Übergang von planenden zu steuernden Tätigkeiten angesehen (HACKSTEIN 1989, CORSTEN & GÖSSINGER 2016). Diese Abgrenzung ist jedoch im Kontext eines unternehmensübergreifenden Austauschs von ereignisbezogenen Informationen und den damit einhergehenden Auswirkungen auf die PPS nicht

zweckmäßig. In der vorliegenden Arbeit ist für die Differenzierung von Produktionsplanung und Produktionssteuerung die Interdependenz der PPS-Aufgaben mit dem Eintritt eines ungeplanten Ereignisses entscheidend. Sämtliche Aufgaben der PPS, die unmittelbar durch ein ungeplantes unternehmensinternes oder -externes Ereignis beeinflusst werden, werden der Produktionssteuerung zugeordnet (vgl. Abschnitt 2.2.3.3). Die anderen Aufgaben werden unter der Produktionsplanung subsumiert. Analog erfolgt die Einordnung der zeitlichen Dimension in *kurzfristig* (Einflussbereich von Ereignissen → Produktionssteuerung) und *mittel-/langfristig* (nicht im Einflussbereich von Ereignissen → Produktionsplanung).

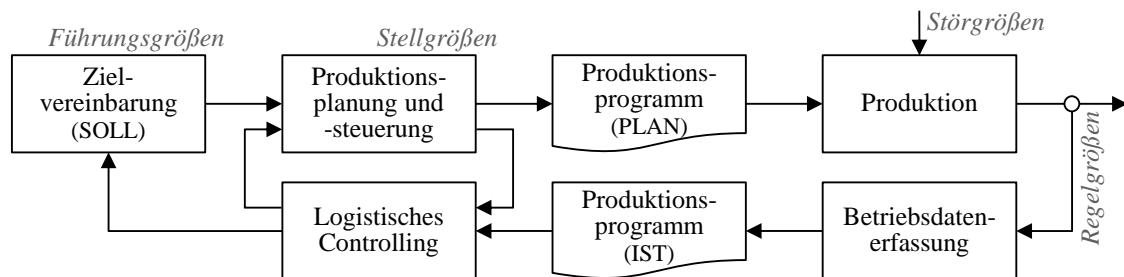


Abbildung 2-1: Regelkreis der PPS (i. A. an WIENDAHL 1997)

### 2.2.3.2 Ziele der Produktionsplanung und -steuerung

Die zentrale Herausforderung der PPS ist es, die Erreichung logistischer Leistungsziele sowie betriebswirtschaftlicher Ziele sicherzustellen (WIENDAHL 2014). Das von WIENDAHL (2014) entwickelte *Zielsystem der Produktionslogistik* enthält hierzu die Dimensionen *Logistikleistung* und *Logistikkosten*. Die von externen und internen Kunden wahrgenommene Logistikleistung lässt sich durch die Liefertreue und die Lieferzeit charakterisieren. Im Rahmen der PPS liegt dabei der Fokus auf der Erreichung der Zielgrößen *hohe Termintreue* sowie *kurze Durchlaufzeiten*. Die Logistikkosten umfassen die Prozess- und die Kapitalbindungskosten. Um möglichst geringe Kosten im Leistungserstellungsprozess zu verursachen, streben Unternehmen zudem die Zielgrößen *hohe Auslastung* ihrer Ressourcen sowie *niedrige Bestände* an Rohmaterialien, Halbfabrikaten und Fertigwaren an. (NYHUIS & WIENDAHL 2012, WIENDAHL 2014, CORSTEN & GÖSSINGER 2016)

Bei der simultanen Betrachtung der Erfolgsfaktoren Logistikleistung und -kosten wird ein Zielkonflikt offensichtlich, der auch als *Dilemma der Ablaufplanung* bezeichnet wird (GUTENBERG 1971, HACKSTEIN 1989, NYHUIS & WIENDAHL 2012). Der Zielkonflikt resultiert aus komplexen, zum Teil entgegengerichteten Wirkzusammenhängen im Kontext der Produktionslogistik. Aufgrund der Bedeutung für das zu entwickelnde System zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter

Informationen werden im Folgenden die produktionslogistischen Zielgrößen Bestand, Auslastung, Durchlaufzeit und Termintreue detailliert erklärt.

Der *Bestand* setzt sich aus dem Umlauf- (engl. „Work-in-Process“, WIP) und dem Lagerbestand zusammen. Unter Umlaufbestand werden zur Produktion freigegebene, aber noch nicht abgeschlossene Aufträge verstanden. Der Lagerbestand wird durch Rohmaterialien, Halbfabrikate und Fertigwaren gebildet. Sowohl Umlauf- als auch Lagerbestand erhöhen die Kapitalbindungskosten und sind zu reduzieren. Da der Bestand direkten Einfluss auf die anderen Zielgrößen hat, wird er auch als Regelgröße bezeichnet. In diesem Kontext wird der Bestand als Differenz von kumuliertem Arbeitszugang und -abgang eines Produktions- bzw. Arbeitssystems definiert. Für weitere Informationen zur Regelgröße Bestand wird auf das Durchlaufdiagramm nach BECHTE (1984) verwiesen. (WIENDAHL 1997, LÖDDING 2016)

Die *Auslastung* eines Betrachtungssystems kann als das Verhältnis der durchschnittlichen zur maximal möglichen Leistung definiert werden. Dabei gilt, dass sich mit zunehmender Auslastung des Betrachtungssystems die auftragsbezogenen Prozesskosten reduzieren. Die maximal mögliche Leistung wird durch den jeweils restriktiven Kapazitätsfaktor (verfügbare Betriebsmittelkapazität oder nutzbare Personalkapazität) bestimmt. (NYHUIS & WIENDAHL 2012)

Die *Durchlaufzeit* ist nach WIENDAHL (1997) als die Zeitdauer zwischen der Auftragsfreigabe und dem Bearbeitungsende definiert und kann sich entweder auf einen Produktionsauftrag oder einen Arbeitsvorgang beziehen. Gebildet wird die Durchlaufzeit durch die Liege-, Transport-, Rüst- und Bearbeitungszeit (NYHUIS & WIENDAHL 2012). Bei der Auftragsfertigung nimmt die Durchlaufzeit entscheidenden Einfluss auf die Lieferzeit. Die Lieferzeit entspricht der Zeitdauer zwischen dem Eingang und der Auslieferung eines Auftrages und wird in *Betriebskalendertagen (BKT)* angegeben. Die Lieferzeit beinhaltet neben der Durchlaufzeit die in Formel (1) dargelegten Zeiteile. (WIENDAHL 1997, LÖDDING 2016)

$$ZL = ZDL + ZB + ZLP + ZV + BV + ZAD \quad (1)$$

mit	<i>ZL</i>	Lieferzeit
	<i>ZDL</i>	Durchlaufzeit
	<i>ZB</i>	Beschaffungszeit
	<i>ZLP</i>	Lieferzeitpuffer
	<i>ZV</i>	Versandzeit
	<i>BV</i>	Belastungsverschiebung
	<i>ZAD</i>	Administrationszeit

Die *Termtreue* ist der prozentuale Anteil an Aufträgen, deren Fertigstellungstermin innerhalb festgelegter Toleranzgrenzen des geplanten Abgangstermins liegt (YU 2001). Zur Bestimmung der Termtreue muss zunächst die Abgangsterminabweichung gemäß Formel (2) ermittelt werden (LÖDDING 2016).

$$TAA = TAE_{Ist} - TAE_{Plan} \quad (2)$$

mit  $TAA$  Abgangsterminabweichung  
 $TAE_{Ist}$  Ist-Bearbeitungsende  
 $TAE_{Plan}$  Plan-Bearbeitungsende

Anschließend wird nach Formel (3) geprüft, ob die Abgangsterminabweichung der Aufträge innerhalb der festgelegten Toleranzgrenzen liegt (LÖDDING 2016).

$$TT = \frac{\text{Anzahl Aufträge mit } TAA_{UG} \leq TAA \leq TAA_{OG}}{\text{Anzahl Aufträge}} * 100 \quad (3)$$

mit  $TT$  Termtreue  
 $TAA_{UG}$  Untergrenze der Abgangsterminabweichung  
 $TAA_{OG}$  Obergrenze der Abgangsterminabweichung

Analog zur Durchlauf-/Lieferzeit wirkt sich die interne Termtreue direkt auf die Liefertreue gegenüber den Kunden aus und besitzt daher oberste Priorität. Einzig der Lieferzeitpuffer kann ggf. eine dämpfende Wirkung erzielen. (LÖDDING 2016)

### 2.2.3.3 Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung

Zur Erreichung der produktionslogistischen Ziele sind eine Vielzahl an Planungs- und Steuerungsaufgaben durchzuführen. Das Aachener PPS-Modell (s. Abbildung 2-2) differenziert die Aufgaben in unternehmensübergreifende Netzwerkaufgaben sowie unternehmensinterne Kern- und Querschnittsaufgaben. Die Datenverwaltung wird aufgrund ihrer Vielzahl an Interdependenzen allen Aufgabenbereichen zugeordnet. Auf die Datenverwaltung und das damit verbundene Informationsmanagement wird in Abschnitt 2.3 näher eingegangen. (SCHUH ET AL. 2012a)

#### *Netzwerkaufgaben*

Mit der Netzwerkkonfiguration, -absatzplanung und -bedarfsplanung lassen sich die *Netzwerkaufgaben* einer strategischen, längerfristigen Gestaltungsebene zuordnen (SCHUH ET AL. 2012b). Da der Fokus dieser Arbeit auf der operativen, kurzfristigen Produktionssteuerung liegt, werden die Netzwerkaufgaben im Folgenden nicht weiter erläutert.

Netzwerkaufgaben	Kernaufgaben	Querschnittsaufgaben		
Netzwerkconfiguration	Produktionsprogrammplanung	Auftrags- management	Bestands- management	Controlling
Netzwerkabsatzplanung	Produktionsbedarfsplanung			
Netzwerkbedarfsplanung	Fremdbezugs- planung & -steuerung			
Datenverwaltung				

Abbildung 2-2: Aufgabensicht des Aachener PPS-Modells (i. A. an SCHUH ET AL. 2012b)

### ***Kernaufgaben***

Die *Kernaufgaben* beziehen sich auf die Planung und Steuerung des Produkterstellungsprozesses und umfassen die Produktionsprogrammplanung, die Produktionsbedarfsplanung, die Fremdbezugsplanung und -steuerung sowie die Eigenfertigungsplanung und -steuerung (SCHUH ET AL. 2012b). Die Aufgabe der *Produktionsprogrammplanung* liegt in der Festlegung eines mit dem Vertrieb abgestimmten Produktionsprogrammplans zur Deckung des von Kunden nachgefragten Primärbedarfs. Ausgehend von dem zu realisierenden Programmplan wird in der *Produktionsbedarfsplanung* der mittelfristig erforderliche Ressourcenbedarf an Rohstoffen, Teilen, Baugruppen, Betriebs- und Transportmitteln sowie personellen Kapazitäten ermittelt. Die *Fremdbezugsplanung und -steuerung* dient der mengenmäßigen und zeitlichen Planung des Bezugs von Zulieferprodukten. (SCHUH ET AL. 2012b, SCHUH ET AL. 2014b, 2014c, SCHUH ET AL. 2014d, WIENDAHL 2014)

Die Aufgabe der kurzfristigen *Eigenfertigungsplanung und -steuerung* ist die Erstellung, Durchsetzung und Überwachung eines realisierbaren Feinplans zur Auftragsabwicklung. Die Teilaufgaben der Eigenfertigungsplanung und -steuerung sind: Losgrößenrechnung, Feinterminierung, Ressourcenfeinplanung, Reihenfolgeplanung sowie Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsfreigabe. (SCHUH ET AL. 2012b, SCHUH ET AL. 2014a)

Im Rahmen der *Losgrößenrechnung* werden unter Berücksichtigung von Rüst- und Kapitalbindungskosten wirtschaftliche Losgrößen für die zu bearbeitenden Aufträge berechnet. Anschließend erfolgt die *Feinterminierung* der Fertigungsaufträge unter der Annahme unbegrenzter Kapazitäten. Mit Hilfe von Terminierungsverfahren werden die in der Bedarfsplanung grob bestimmten Plan-Start- und Plan-Endtermine auf Ressourcenebene detailliert. Die *Ressourcenfeinplanung*

dient anschließend der Allokation von Produktionsaufträgen zu dedizierten Ressourcen. Ergebnis ist der Produktionsfeinplan auf Arbeitsgangebene. Hierzu wird in der Kapazitätsabstimmung der auftragsbezogene Kapazitätsbedarf dem ressourcenbezogenen Kapazitätsangebot gegenübergestellt. Das Kapazitätsangebot berücksichtigt dabei Rückmeldungen über den Ist-Zustand der Ressourcen. Bei einem Ungleichgewicht von Kapazitätsbedarf und -angebot erfolgt eine Kapazitätsanpassung (Erhöhung oder Reduzierung der Personal- oder Betriebsmittelkapazität) oder ein Kapazitätsabgleich (Erhöhung oder Reduzierung der Kapazitätsnachfrage). Die den Arbeitssystemen für das Planungsintervall zugeordneten Fertigungsaufträge bilden Warteschlangen. Bei der *Reihenfolgeplanung* (im Folgenden als *Reihenfolgebildung* bezeichnet) werden mit Hilfe vorausgewählter Kriterien möglichst optimale Bearbeitungsreihenfolgen der wartenden Aufträge festgelegt. Hierzu wird unter Berücksichtigung ressourcen- und auftragsbezogener Informationen, wie bspw. Plan-Fertigstellungstermine und Rüstmatrizen, jedem Auftrag auf Basis vorab definierter Regeln eine Priorität zugeordnet. Anschließend findet die *Verfügbarkeitsprüfung* der benötigten Produktionsfaktoren sowie die *Auftragsfreigabe* statt. Der Freigabezeitpunkt der zu bearbeitenden Aufträge wird anhand definierter Regeln festgelegt. Dabei können termin- oder belastungsorientierte Verfahren Anwendung finden. (SCHUH ET AL. 2012b, SCHUH ET AL. 2014a)

Der Fortschritt des Produktionsablaufs wird nach der Auftragsfreigabe kontinuierlich überwacht. Hierzu werden Betriebs- und Maschinendaten rückgemeldet und mit den Plan-Werten verglichen (s. Abbildung 2-1). Treten ungeplante Ereignisse auf, die zu Plan-Ist-Abweichungen führen, ist es die Aufgabe der Produktionssteuerung, den Feinplan derart anzupassen, dass die Ereignisauswirkungen durch das Ergreifen gezielter Gegenmaßnahmen reduziert werden (PIELMEIER 2020). Die potenziellen Gegenmaßnahmen können nach dem Modell der Fertigungssteuerung von LÖDDING (2016) den Aufgaben der *Auftragsfreigabe*, der *Kapazitätssteuerung* und der *Reihenfolgebildung* zugeordnet werden (s. Abbildung 2-3). Die Aufgaben wirken durch die Festlegung der Stellgrößen *Ist-Zugang*, *Ist-Abgang* und *Ist-Reihenfolge* der Aufträge auf die Regel- und Zielgrößen der PPS.

Die kurzfristigen Maßnahmen der ereignisorientierten Produktionssteuerung bedingen aufgrund des verbesserten Informationsstands eine erneute Durchführung der Aufgaben *Ressourcenfeinplanung*, *Reihenfolgebildung* und *Auftragsfreigabe*. Die Funktionalität und der Ablauf dieser drei Aufgaben ändert sich bei einer Umplanung nicht, da auch bei erstmaliger Durchführung die zu diesem Zeitpunkt aktuelle Ist-Situation berücksichtigt wurde. Die Ressourcenfeinplanung beinhaltet bspw. die Aufgabe der Kapazitätssteuerung respektive -abstimmung.

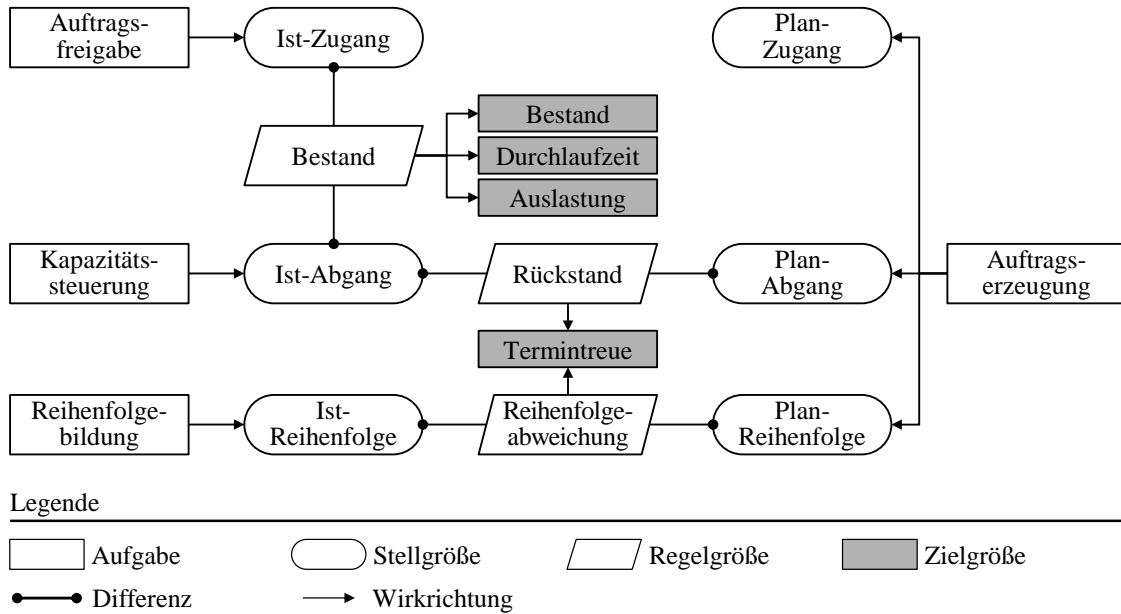


Abbildung 2-3: Modell der Fertigungssteuerung (i. A. an LÖDDING 2016)

In der vorliegenden Arbeit werden die Aufgaben Ressourcenfeinplanung, Reihenfolgebildung und Auftragsfreigabe daher der Produktionssteuerung zugeordnet. Aufgrund der kurzfristigen Auswirkungen von ungeplanten Ereignissen auf das Produktionssystem wird somit die erforderliche Berücksichtigung aktueller Rückmeldedaten in der Eigenfertigungsplanung und -steuerung anstelle der häufig in der Literatur zitierten Auftragsfreigabe als Übergang von der Produktionsplanung zur Produktionssteuerung definiert. Tabelle 2-3 gibt einen Überblick über die Differenzierung der Begriffe Produktionsplanung und Produktionssteuerung in der vorliegenden Arbeit.

Tabelle 2-3: Aufgabenorientierte Differenzierung von Produktionsplanung und Produktionssteuerung

Merkmal	Produktionsplanung	Produktionssteuerung
Aufgaben	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Produktionsprogrammplanung</li> <li>▪ Produktionsbedarfsplanung</li> <li>▪ Losgrößenrechnung</li> <li>▪ Feinterminierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ressourcenfeinplanung</li> <li>▪ Reihenfolgebildung</li> <li>▪ Auftragsfreigabe</li> </ul>
Zeithorizont	mittel- bis langfristig (Wochen, Monate, Jahre)	kurzfristig (Minuten, Stunden, Tage)

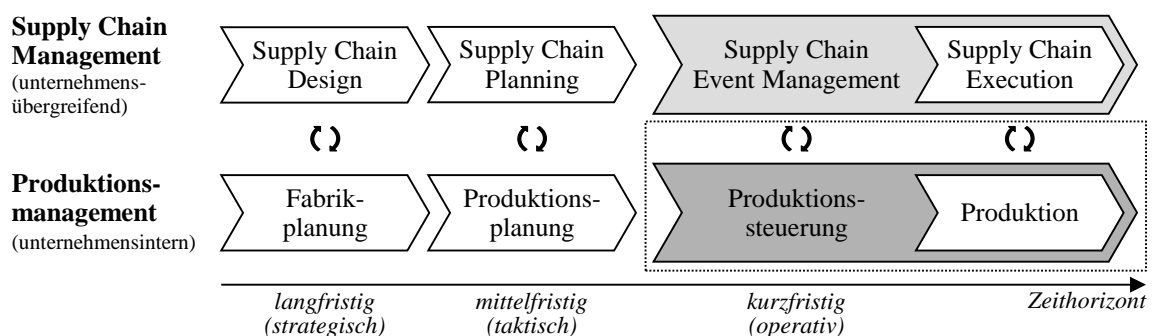


### Querschnittsaufgaben

Die *Querschnittsaufgaben* besitzen koordinierende Funktionen zwischen den Kern- und Netzaufgaben der PPS. Zu diesem Aufgabenbereich zählen das Auftragsmanagement, das Bestandsmanagement sowie das Controlling. Das *Auftragsmanagement* übernimmt mit der Auftragsplanung, -steuerung und -überwachung die Koordination zur Erfüllung der Kundenaufträge. Das *Bestandsmanagement* verfolgt auf Basis von Bestandsanalyse, -planung und -führung das Ziel der Reduzierung bestandsbedingter Kapitalbindungskosten bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Lieferfähigkeit. Im Rahmen des *Controllings* werden zeit-, mengen- und kapazitätsbezogene Betriebs- und Maschinendaten des Produktionssystems erfasst und zu Kennzahlen verarbeitet. (SCHUH ET AL. 2012b)

#### 2.2.4 Einordnung der Arbeit in die Planung und Steuerung

Die Planung und Steuerung der Leistungserstellungsprozesse in Wertschöpfungsnetzwerken erfolgt mit SCM und PPS. SCM und PPS sind zwar eng miteinander verknüpft, sie weisen aber einen unterschiedlichen funktionalen Schwerpunkt auf (s. Abbildung 2-4). Das SCM adressiert die Koordination der Lieferzusammenhänge mit Lieferanten und Kunden auf einer unternehmensübergreifenden Ebene. Der Fokus liegt auf den Material-, Informations- und Finanzflüssen von der Gewinnung der Rohstoffe bis zum Endkunden. Die unternehmensinterne PPS verfolgt das Ziel, eine effiziente und effektive Auftragsabwicklung zu erreichen. Die Produktionssteuerung dient der Initiierung intraorganisationaler Maßnahmen zur Aufrechterhaltung des geplanten Auftragsfortschritts.



Legende

- Fokus der Arbeit
- In der Arbeit adressierte Steuerungsfunktion
- Einflussbereich durch Informationsaustausch
- ( ) Informationsaustausch

Abbildung 2-4: Abgrenzung von PPS und SCM

Vor dem Hintergrund der dargelegten Ausgangssituation und Motivation wird in der vorliegenden Arbeit die unternehmensinterne, auf kurzfristig-operativer Ebene agierende Produktionssteuerung adressiert. Dabei wird die Fragestellung untersucht, welche Informationen auf welche Art und Weise unternehmensübergreifend auszutauschen sind, um den Informationsbedarf einer unternehmensspezifischen Produktionssteuerung zu decken. Der im Fokus liegende Terminus der *steuerungsrelevanten Informationen* bezieht sich somit auf ebendiese Informationen, die für die Produktionssteuerung erforderlich sind.

## 2.3 Informationsmanagement

### 2.3.1 Allgemeines

Mit dem Trend der Digitalisierung steigt die Bedeutung von Informationen für die betriebliche Leistungserstellung (MOODY & WALSH 1999, LANGE ET AL. 2018). Infolgedessen nimmt der Stellenwert des Informationsmanagements für die Erreichung einer effektiven und effizienten Wertschöpfung zu. Zur Einordnung des in dieser Arbeit adressierten Informationsaustauschs in den Kontext des Informationsmanagements eignet sich die Definition von VOß (1995). Nach dieser umfasst das Informationsmanagement *„die wirtschaftliche (effiziente) Planung, Beschaffung, Verarbeitung, Distribution und Allokation von Informationen als Ressource zur Vorbereitung und Unterstützung von Entscheidungen (...) sowie die Gestaltung der dazu erforderlichen Rahmenbedingungen“* (VOß 1995). Somit stellt der Informationsaustausch einen Teilbereich des Informationsmanagements dar.

Das Fundament für einen zielgerichteten anreizbasierten Informationsaustausch bildet die Ermittlung des ökonomischen Werts von Informationen. Zur Betonung der Relevanz, Informationen aus einer ökonomischen Perspektive zu untersuchen, prägt LANEY (2018) den Begriff *Infonomics*. Nachfolgend werden die für das Verständnis der Arbeit relevanten Grundlagen zum Informationsmanagement erklärt.

### 2.3.2 Begriffsklärung

In der wissenschaftlichen Literatur werden die Begriffe *Zeichen*, *Daten*, *Information* und *Wissen* hierarchisch geordnet. *Daten* werden über die Verdichtung von Zeichen mit Hilfe definierter Syntaxregeln erzeugt. Durch die Zuweisung einer Semantik (Bedeutung) werden Daten in *Informationen* überführt. Informationen

besitzen im Gegensatz zu Daten einen konkreten Handlungs- bzw. Verwendungsbezug. Im Rahmen dieser Arbeit wird aufgrund des bestehenden Bezugs zur Produktionssteuerung von Informationen anstelle von Daten gesprochen. Aufgrund ihrer hohen Relevanz für Entscheidungssituationen im Produktionsumfeld werden Informationen als eigenständiger Produktionsfaktor betrachtet (DANGELMAIER 2003). Wissen resultiert aus der zweckorientierten Vernetzung und Verarbeitung von Informationen. (VOß & GUTENSCHWAGER 2001, BODENDORF 2006, TÖPFER 2007, NORTH 2011, MERTENS ET AL. 2012)

### 2.3.3 Informationen zur Planung und Steuerung

Um im Kontext der zunehmenden Dynamik des Unternehmensumfelds eine zielführende Abwicklung der Wertschöpfungsprozesse zu gewährleisten, ist eine rechtzeitige Verfügbarkeit relevanter Informationen unerlässlich (ALICKE 2005). Die durch ein zielführendes Informationsmanagement erzeugte Transparenz über den Ist-Zustand des Produktionssystems und den Status der Auftragsabwicklung stellt aufgrund der steigenden Anfälligkeit gegenüber ungeplanten Ereignissen einen entscheidenden Erfolgsfaktor für die Produktionssteuerung dar (SCHUH 2015). Dabei gilt es, die für die Produktionssteuerung relevanten Informationen unternehmensintern sowie -übergreifend bereitzustellen (WIENDAHL & LUTZ 2002).

In der Literatur des SCM sind die folgenden Informationskategorien zu finden (HELLINGRATH ET AL. 2008, LOTFI ET AL. 2013, KURBEL 2016, LÖDDING 2016):

- Nachfrageinformationen (Kundenbestellungen, Absatzprognosen etc.)
- Bestandsinformationen (Rohmaterialien, Halbfabrikate, Fertigwaren etc.)
- Kapazitätsinformationen (Kapazitätsplanungen, -verfügbarkeiten etc.)
- Frühwarnsysteme (Auftrags-, Versandstatus etc.)
- Kosteninformationen (Herstellungskosten, Kostentreiber etc.)
- Informationen über die Zielerreichung (Zielerreichungsgrad etc.)

Im Rahmen der Datenverwaltung der PPS wird zwischen *Stamm-* und *Bewegungsdaten* differenziert. Der Unterschied der beiden Datenkategorien liegt in der Dauer der Gültigkeit respektive der Änderungshäufigkeit. *Stammdaten* weisen eine hohe Gültigkeitsdauer auf, weshalb sie auch als *Grunddaten* bezeichnet werden. Unter Stammdaten werden z. B. Material-, Komponenten- und Ressourcenstammdaten, Stücklisten, Arbeitspläne oder Kunden- und Lieferantenstammdaten subsumiert. *Bewegungsdaten* sind hingegen *vorgangsbezogene Daten*, die eine begrenzte zeitliche Gültigkeit besitzen. Sie lassen sich über einen Zeitbezug oder einen Status

den Stammdaten zuordnen. Zu den Bewegungsdaten zählen mitunter Lagerbestands-, Produktionsauftrags- und Betriebsdaten. Sowohl Stamm- als auch Bewegungsdaten besitzen eine Relevanz für die Produktionssteuerung. (SCHUH ET AL. 2012b, WIENDAHL 2014, KURBEL 2016)

Vor dem Hintergrund der Zielsetzung dieser Arbeit wird der Fokus des Informationsmanagements im Folgenden auf den unternehmensübergreifenden Austausch der Informationen gelegt, die im Kontext einer ereignisorientierten Produktionssteuerung relevant sind (vgl. Abschnitt 2.2.4).

### **2.3.4 Informationssysteme zur Planung und Steuerung**

Betriebliche Informations- bzw. Anwendungssysteme bilden die Grundlage für ein effektives und effizientes Informationsmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken (SCHMIDT ET AL. 2014, BUSCHER 2018). Diese Informationssysteme sind für die technische und organisatorische Abwicklung unternehmensinterner und -übergreifender Informationsflüsse verantwortlich. Außerdem gewährleisten sie eine anwendungsorientierte Informationsbereitstellung (ALISCH ET AL. 2004).

Ein Informationssystem kann entsprechend der Funktionalität einer der vier Systemebenen *Advanced Planning and Scheduling (APS)-System*, *Enterprise Resource Planning (ERP)-System*, *Manufacturing Execution System (MES)* oder System zur *Betriebs- (BDE) / Maschinendatenerfassung (MDE)* zugeordnet werden (SCHMIDT ET AL. 2014, VDI 5600-1). Eine Übersicht der vier Ebenen ist in Abbildung 2-5 gegeben.

APS-Systeme besitzen strategische, taktische und operative Funktionalitäten im unternehmensübergreifenden Kontext des SCM und werden daher der Lieferkettenleitebene zugeordnet (MEYER 2007, MEYR ET AL. 2015). Sie unterstützen bspw. bei der Prognostizierung von Bedarfen sowie der Planung erforderlicher Ressourcenkapazitäten und Bestände (HELLINGRATH ET AL. 2008). ERP-Systeme integrieren sämtliche für die Geschäftstätigkeit erforderlichen intraorganisationalen Ressourcen und bilden daher die Unternehmensleitebene (KURBEL 2016, VDI 5600-1). Sie subsumieren zur technischen und kaufmännischen Auftragsabwicklung neben länger- bis mittelfristigen Produktionsplanungsaufgaben u. a. die Funktionen Vertrieb, Personalwirtschaft und Controlling (KURBEL 2016). Das Bindeglied zwischen der Planung auf Unternehmensleitebene und der Ausführung auf Fertigungsebene bildet die Fertigungsleitebene. MES ermöglichen die kurzfristige Feinplanung, Steuerung und Überwachung der Produktionsaufträge sowie

der -ressourcen (KLETTI 2015, VDI 5600-1). Die für MES erforderliche Basis an Rückmeldedaten zum Auftragsfortschritt und Ressourcenzustand wird auf der Fertigungsebene mit BDE/MDE-Systemen generiert. Die Verknüpfung der Informationssysteme über die verschiedenen Hierarchieebenen und die daraus resultierende Datendurchgängigkeit und -transparenz wird auch als *vertikale Integration* bezeichnet. Ergänzend ist eine *horizontale Integration* durch die Verknüpfung der Informationssysteme über die Wertschöpfungsstufen hinweg charakterisiert. (KARGERMANN ET AL. 2013)

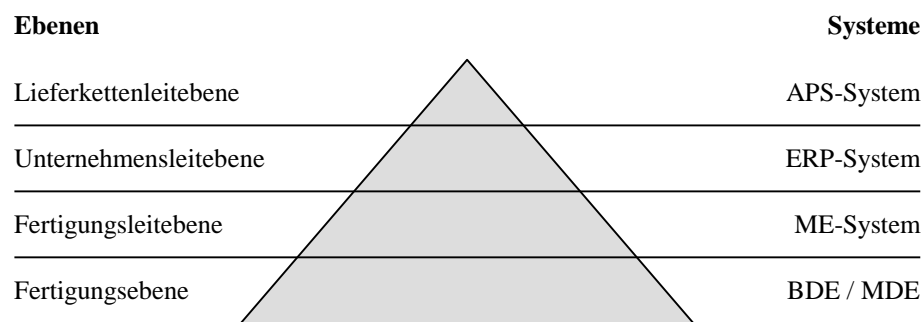


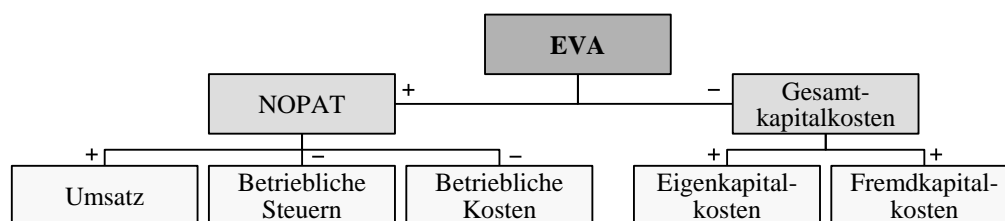
Abbildung 2-5: Informationssysteme zur Planung und Steuerung (i. A. an MEYER 2007, VDI 5600-1)

### 2.3.5 Kennzahlen und Kennzahlensysteme

Die zunehmende Erfassung von Rückmeldedaten auf der Fertigungsebene ermöglicht eine höhere Transparenz über den aktuellen Zustand des Produktionssystems. Nicht zu vernachlässigen sind dabei die mit den Datenmengen einhergehenden Herausforderungen hinsichtlich der technischen und kognitiven Verarbeitbarkeit. Aufgrund der Notwendigkeit zur kurzfristigen Entscheidungsfindung ist für die Produktionssteuerung ein geeignetes Aggregationslevel der vorhandenen Informationen elementar. Eine kontextabhängige Informationsaufbereitung in Form von *Kennzahlen* ist ein Erfolgsfaktor für das Produktionsmanagement (GLADEN 2014).

Unter einer *Kennzahl* wird allgemein eine betrieblich relevante, numerische Information verstanden, die zum Zweck der Unternehmensanalyse und -steuerung verdichtet wurde. Weitere synonym verwendete Begriffe sind u. a. *Key Performance Indicator*, *Kenngröße*, *-ziffer*, *Kontrollziffer*, *Messgröße*, *-zahl*, *Richtzahl*, *Schlüsselziffer* oder *Indikator*. Kennzahlen lassen sich nach verschiedenen Kriterien differenzieren. Relevante Kriterien sind bspw. der Zielbezug (Leistung vs. Kosten), der Produktionssystembezug (Prozess vs. Ressource vs. Produkt vs. Auftrag), der Zeitbezug (Zeitraum vs. Zeitpunkt) oder der Verdichtungsgrad (absolut vs. relativ). (SANDT 2004, GLADEN 2014, WEBER & SCHÄFFER 2016, BECKER 2018)

Für eine zielführende informationsbasierte Entscheidungsfindung im Produktionskontext sind einzelne Kennzahlen meist nicht ausreichend (REICHMANN & LACHNIT 1976, GOTTMANN 2019). Zur Erfassung komplexer Wirkzusammenhänge sind mehrere in Beziehung stehende Kennzahlen zu berücksichtigen (GHESQUIERES ET AL. 2017). Die systematische und zweckorientierte Verknüpfung von zwei oder mehreren Kennzahlen, die sich gegenseitig erklären oder in ihrer Aussagekraft ergänzen, wird als *Kennzahlensystem* bezeichnet (SANDT 2004, GOTTMANN 2019). Kennzahlensysteme lassen sich hinsichtlich ihrer Systematik in Rechen- und Ordnungssysteme unterscheiden (WEBER & SCHÄFFER 2016). *Rechensysteme* sind durch die mathematische Verknüpfung der einzelnen Kennzahlen zu einer hierarchisch übergeordneten Spitzenkennzahl charakterisiert (GLADEN 2014, GOTTMANN 2019). Bekannte Rechensysteme sind bspw. das DuPont-Kennzahlensystem zur Berechnung des Return on Investment (dt. Gesamtkapitalrentabilität) oder das in Abbildung 2-6 dargestellte Kennzahlensystem des *Economic Value Added* (EVA, dt. Geschäftswertbeitrag) (GOTTMANN 2019, WEBER ET AL. 2017). *Ordnungssysteme*, wie bspw. die von KAPLAN & NORTON (1992) entwickelte Balanced Scorecard, sind hingegen eine sachlogische Zusammenstellung für den Anwendungsfall relevanter Kennzahlen (SANDT 2004).



#### Legende

NOPAT: Net Operating Profit After Taxes (dt. Nettogewinn nach Abzug von Ertragssteuern)

Abbildung 2-6: Kennzahlensystem *Economic Value Added* (i. A. an WEBER ET AL. 2017)

## 2.4 Anreizsysteme

### 2.4.1 Allgemeines

Unternehmen zeigen derzeit nur eine geringe bis mittlere Bereitschaft zum Austausch von Rückmeldedaten mit externen Partnern (NYHUIS ET AL. 2016). Ungeplante Ereignisse, wie Störungen in der Auftragsbearbeitung oder kurzfristige Nachfrageschwankungen, führen bei fehlender Kommunikation zu einer Informationsasymmetrie zwischen den beteiligten Entitäten im Netzwerk. Insbesondere

bei der Auftragsfertigung kann diese Informationsasymmetrie aufgrund des direkten Kundenbezugs negative Auswirkungen auf die Kundenzufriedenheit haben.

Die auf JENSEN & MECKLING (1976) zurückgehende *Prinzipal-Agenten-Theorie* untersucht aus wirtschaftswissenschaftlicher Perspektive die Informationsasymmetrie zwischen einem Prinzipal (Auftraggeber) und einem Agenten (Auftragnehmer). Eine ungleiche Informationsverteilung und das daraus resultierende opportunistische Verhalten wird in der Prinzipal-Agenten-Theorie mit der Grundannahme der individuellen Nutzenmaximierung begründet (JENSEN & MECKLING 1976, ZAUNMÜLLER 2005). Das Ziel ist es, mit Hilfe der Entwicklung und Implementierung von Anreizsystemen die individuellen Bestrebungen von Prinzipal und Agent in Einklang zu bringen und Interessenskonflikte zu reduzieren respektive zu vermeiden (PETERSEN 1989, ZAUNMÜLLER 2005, LAUX 2006, DELBUFALO 2018). Für tiefere Ausführungen zur Prinzipal-Agenten-Theorie als Bestandteil der *Neuen Institutionenökonomik* wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (s. GÖBEL 2002, VOIGT 2009 oder ERLEI ET AL. 2016).

Die Prinzipal-Agenten-Theorie lässt sich zur Erklärung der Intentionen von Partnern bei einer im Wertschöpfungsnetzwerk auftretenden Informationsasymmetrie anwenden (MANATSA & MCLAREN 2008, DELBUFALO 2018). Demnach sind fehlende Anreizsysteme eine entscheidende Ursache für die mangelnde Bereitschaft von Prinzipal und Agent zum unternehmensübergreifenden Informationsaustausch (SIMATUPANG & SRIDHARAN 2002).

Für die Entwicklung eines Anreizsystems zum unternehmensübergreifenden Austausch steuerungsrelevanter Informationen im Rahmen dieser Arbeit, soll in den folgenden Abschnitten ein einheitliches Verständnis über die Begrifflichkeiten, den Aufbau und die Funktionalität von Anreizsystemen erzeugt werden.

## 2.4.2 Begriffsklärung

In der Literatur besteht bislang kein einheitliches Begriffsverständnis von Anreizen und Anreizsystemen. Gemein ist den Definitionsansätzen aber, dass *Anreize* als Instrumente bezeichnet werden, die ein bestimmtes Verhalten situationsabhängig beeinflussen und steuern (THIEL 2002, GREWE 2012). Die für die Erfolgswirksamkeit angestrebter Handlungen erforderliche Motivation wird nach RHEINBERG (1995) durch die Aktivierung personenbezogener Motive erzielt. Für weitere

Informationen zur Theorie der Anreizwirkung wird auf die Literatur des Wissenschaftsfelds der Motivationsforschung verwiesen (s. ATKINSON 1975, STEINLE 1978 oder BECKER & GIESELMANN 2018).

Anreize lassen sich nach verschiedenen Merkmalen klassifizieren, wie bspw. der *Anreizquelle* oder dem *Anreizobjekt* (PETERSEN 1989, GREWE 2012). Abbildung 2-7 gibt einen Überblick ausgewählter Typisierungsmöglichkeiten. Das Merkmal der Anreizquelle lässt sich in *intrinsische* und *extrinsische* Anreize unterscheiden (JOST 2000). Intrinsische Anreize resultieren unmittelbar durch die Leistungserstellung an sich (WEBER 2006). Die erzeugte intrinsische Motivation führt bspw. zur Befriedigung der Bedürfnisse nach Selbstverwirklichung oder Sinnggebung (GREWE 2012). Bei extrinsischen Anreizen dient die Arbeitsaufgabe hingegen als Mittel zum Zweck der Bedürfnisbefriedigung nach Geld, Status oder anderen Formen der Belohnung (JOST 2000, GREWE 2012). Extrinsische Anreize lassen sich nach dem Anreizobjekt in *materielle* und *immaterielle* Anreize differenzieren (JOST 2000, BECKER & GIESELMANN 2018). Materielle Anreize können wiederum in *monetäre* und *nicht-monetäre* Anreize unterteilt werden (WEBER 2006).

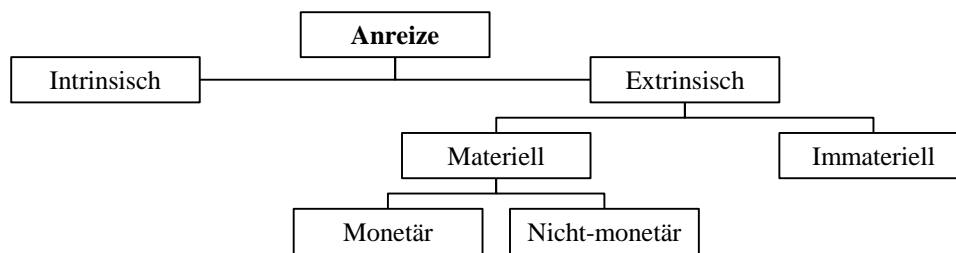


Abbildung 2-7: Klassifizierung von Anreizen (i. A. an JOST 2000, WEBER 2006)

Ein *Anreizsystem* ist nach WILD (1973) „die Summe aller bewusst gestalteten Arbeitsbedingungen, die bestimmte Verhaltensweisen (durch positive Anreize, Belohnungen etc.) verstärken, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens anderer dagegen mindern (durch negative Anreize, Sanktionen etc.)“. ROTHHAAR (2001) betont zudem die Planung und Formalisierung der Relationen zwischen zu definierenden Bemessungskriterien und Anreizen in Form von Belohnungen oder Bestrafungen. Als Beispiele für Anreizsysteme sind hier u. a. variable, leistungsabhängige Vergütungen oder Bonusprogramme zu nennen.

Die Zielsetzung zur Etablierung eines Anreizsystems ist es, *Anreizkompatibilität* zwischen den beteiligten Partnern zu erreichen (LEE & WHANG 1999, SIMATUPANG & SRIDHARAN 2002). Unter Anreizkompatibilität wird verstanden, dass alle beteiligten Entitäten den optimalen Anreiz erhalten, den gemeinsamen anstelle eines individuellen Nutzens zu maximieren (LEE & WHANG 1999). Das Ergebnis ist



eine Harmonisierung der eigenen Interessen mit der übergeordneten Zielsetzung der Supply Chain (GENSCHMER & KREY 2010). Im Kontext von Wertschöpfungsnetzwerken kann Anreizkompatibilität durch die faire Verteilung der basierend auf dem Informationsaustausch realisierten Umsatzsteigerungen erreicht werden.

### 2.4.3 Aufbau von Anreizsystemen

Zur Entwicklung eines Anreizsystems gilt es, verschiedene Anreizkomponenten zu berücksichtigen (WINTER 1996, GREWE 2012). BECKER (1990) hat hierzu eine Systematik entwickelt, mit Hilfe derer drei verschiedene Ebenen eines Anreizsystems differenziert werden (BECKER 1990, 1995, BECKER & GIESELMANN 2018). Dieser Systematik folgend, kann zwischen dem *Anreizsystem im weitesten Sinne (i. wt. S.)*, dem *Anreizsystem im weiteren Sinne (i. w. S.)* und dem *Anreizsystem im engeren Sinne (i. e. S.)* unterschieden werden. Das Anreizsystem i. wt. S. umfasst sämtliche strukturellen, operativen und prozessualen Bedingungen, in die Anreizgeber und -empfänger eingebettet sind. Die Unternehmung selbst wird in diesem Sinn als Anreizsystem verstanden. Aus dem Blickwinkel des Anreizsystems i. w. S. besitzt eine Unternehmung ein Anreizsystem in Form eines Managementsystems. Die Subbereiche Personal-, Planungs-, Kontroll- sowie Organisationssysteme dienen dabei als Führungsinstrumente, wobei das Entgeltsystem ein Element des Personalsystems darstellt. Das Anreizsystem i. e. S. stellt den Kern eines für den jeweiligen Anwendungsfall individuell auszugestaltenden Anreizsystems dar. Es wird nach BECKER (1990) über die Anreizgrundsätze, die Berechnungsverfahren, die Belohnungsrichtlinien sowie die Zuteilungsverfahren definiert. WEBER ET AL. (2017) verwenden für diese dem Inhalt nach gleichen Gestaltungsdimensionen hingegen die Termini Anreize, Bemessungsgrundlage, Belohnungsfunktion und Auszahlungsmodus. In dieser Arbeit werden die Termini *Anreizgrundsatz*, *Bemessungsgrundlage*, *Belohnungsrichtlinien* und *Zuteilungsverfahren* eingeführt. (BECKER 1990, GREWE 2012, BECKER & GIESELMANN 2018)

Für die Analyse relevanter Anreizkomponenten und die Entwicklung eines Anreizsystems zur Forcierung des unternehmensübergreifenden Informationsaustauschs sind die beiden Kategorien Anreizsystem i. wt. S. und Anreizsystem i. w. S. aufgrund ihrer Komplexität nicht zielführend. Insbesondere durch die Betrachtung mehrerer Wertschöpfungspartner ist eine ganzheitliche Beschreibung eines übergreifenden Führungssystems nicht operationalisierbar. Um dennoch relevante Kontextfaktoren des Anreizsystems i. wt. S. und des Anreizsystems i. w. S., wie bspw. strukturelle und organisatorische Rahmenbedingungen, in dieser Arbeit

zu berücksichtigen, werden ebendiese unter dem Begriff *Anreizkontext* subsumiert. Der übergeordnete Begriff des Anreizsystems umfasst damit sowohl den Anreizkontext als auch das Anreizsystem i. e. S.

## 2.5 Fazit

In Kapitel 1 wurden die Ausgangssituation und Motivation zur Entwicklung eines Systems zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen in Wertschöpfungsnetzwerken aufgezeigt. Basierend darauf wurden in Kapitel 2 die für ein einheitliches Verständnis der Arbeit relevanten Grundlagen dargelegt. Zunächst wurden mit dem SCM und der PPS zwei zentrale Methodiken zur Planung und Steuerung von Wertschöpfungsprozessen vorgestellt. Mit Hinblick auf die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit kann geschlussfolgert werden, dass das zu entwickelnde System in den Aufgabenbereich der kurzfristigen, unternehmensinternen Produktionssteuerung einzuordnen ist. Zur Untersuchung der Wirkzusammenhänge von unternehmensübergreifendem Informationsaustausch und -interner Produktionssteuerung ist zudem der Einfluss des SCEM zu berücksichtigen.

Anschließend wurde die besondere Relevanz des Produktionsfaktors Information zur Steigerung der Reaktionsfähigkeit auf ungeplante Ereignisse aufgezeigt. Um einen unternehmensübergreifenden Austausch steuerungsrelevanter Informationen zu forcieren, ist Bezug nehmend auf die Prinzipal-Agenten-Theorie die Implementierung spezifischer Anreizsysteme erforderlich. Hierzu wurden die im Rahmen dieser Arbeit zu berücksichtigenden Elemente eines Anreizsystems erläutert. Basierend auf diesen grundlegenden Ausführungen wird im folgenden Kapitel 3 der analysierte Stand der Forschung und Technik sowie der daraus abgeleitete Handlungsbedarf aufgezeigt.

## 3 Stand der Forschung und Technik

### 3.1 Übersicht

Im folgenden Kapitel wird mit dem für die vorliegende Arbeit relevanten Stand der Forschung und Technik der zweite Bestandteil der *Deskriptiven Studie I* präsentiert. Vor dem Hintergrund der Zielsetzung (vgl. Abschnitt 1.2) wird zwischen den Forschungsbereichen Modellierung von Wirkzusammenhängen in Wertschöpfungsnetzwerken (vgl. Abschnitt 3.2), Bewertung von Informationen (vgl. Abschnitt 3.3) und anreizbasierter Austausch von Informationen (vgl. Abschnitt 3.4) differenziert. Ausgehend von den gewonnenen Erkenntnissen wird der Handlungsbedarf für ein System zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen abgeleitet (vgl. Abschnitt 3.5).

### 3.2 Modellierung von Wirkzusammenhängen in Wertschöpfungsnetzwerken

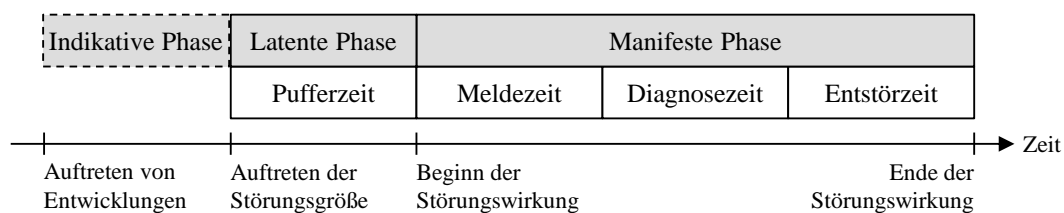
Die Vielzahl an unternehmensinternen und -übergreifenden Wirkzusammenhängen im Kontext der Wertschöpfung führt zu einer hohen Komplexität in Entscheidungssituationen der Produktionssteuerung. Um ein tiefgreifendes Verständnis der steuerungsrelevanten Wirkzusammenhänge auf kurzfristiger Ebene zu erzeugen, können vereinfachende qualitative und/oder quantitative Modelle Anwendung finden (BESENFELDER ET AL. 2017). Im Folgenden werden verschiedene modellbasierte Ansätze zur Einordnung und zum Management von Ereignisinformationen (vgl. Abschnitt 3.2.1) vorgestellt. Anschließend werden für diese Arbeit relevante Ansätze zur Modellierung von unternehmensübergreifenden (vgl. Abschnitt 3.2.2) und -internen (vgl. Abschnitt 3.2.3) Wirkzusammenhängen aufgezeigt.

#### 3.2.1 Informationsmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken

Aus der Perspektive des Informationsmanagements spielt die zeitliche Einordnung des ereignisbasierten Informationsaustauschs eine entscheidende Rolle für die Modellierung der Wirkzusammenhänge mit der Produktionssteuerung zur Reaktion auf die Ereignisse. Der idealtypische Verlauf einer Störung kann nach HEIL (1995) in eine *latente* und eine *manifeste Phase* differenziert werden (s. Abbildung 3-1). Die *manifeste Phase* entspricht der Zeitspanne zwischen dem Beginn und dem

Ende der Störungswirkung und lässt sich in die drei Zeitanteile Meldezeit, Diagnosezeit und Entstörzeit untergliedern. Der Störungsbeginn ist dabei durch das Auftreten einer Plan-Ist-Abweichung im Auftragsdurchlauf gekennzeichnet. Bei einer zeitlichen Differenz zwischen dem Auftritt der Störungsursache und dem Beginn der Störungswirkung ist die *latente Phase* vorgelagert. Die Ursache für diese potenzielle zeitliche Differenz liegt in einer bspw. durch Bestände oder Transport bedingten Pufferung. Eine effizienzorientierte Reduzierung von Zeit- und Bestandspuffern führt folglich zu einer Verkürzung der latenten Phase und damit zu einem schnelleren Eintritt der Störungsauswirkungen. (HEIL 1995, FISCHÄDER 2007)

GENC ET AL. (2014) haben diesen Verlauf um eine der latenten Phase vorgelagerte, *indikative Phase* erweitert (s. Abbildung 3-1). Kern dieser indikativen Phase ist das Auftreten eines Trends in der Entwicklung einer Größe hin zu einer Störgröße. Die eigentliche Störgröße ist zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht feststellbar. Nach GENC ET AL. (2014) ist die Transparenz über Ereignisse in der Lieferkette Voraussetzung, um stabile interne Wertschöpfungsprozesse sicherzustellen. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen entwickelt GENC (2015) ein ereignisbasiertes Frühwarnsystem für das Störungsmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken. Das Ziel ist es, Informationen über kritische Ereignisse rechtzeitig den betroffenen Partnern bereitzustellen, sodass situationsabhängige Maßnahmen für eine effektive Auftragsabwicklung ergriffen werden können. Das Frühwarnsystem basiert auf einem Referenzmodell zur Beschreibung der Prozessbausteine, der Ereignisstruktur sowie der inner- und überbetrieblichen Informationsflüsse. Wirkzusammenhänge zwischen den Steuerungsmaßnahmen und den Zielgrößen zur Erhöhung der Transparenz in der Entscheidungssituation werden allerdings nicht aufgezeigt.



Legende

□ Phasen nach HEIL 1995

▤ Erweiterung durch GENC ET AL. 2014

Abbildung 3-1: Zeitlicher Verlauf von Störungen (i. A. an HEIL 1995, GENC ET AL. 2014)

MACDONALD & CORSI (2013) grenzen i. A. an SHEFFI (2005) und ZOBEL ET AL. (2012) das Störungsmanagement vom Aufgabenfeld des Risikomanagements ab.

Die Differenzierung resultiert aus der zeitlichen Einordnung in Bezug auf den Ereignis- respektive Störungsauftritt. Die Aufgabe des Risikomanagements ist es, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens potenzieller Ereignisse zu berechnen und geeignete Gegenmaßnahmen bei Störungsauftritt zu planen. Das Risikomanagement lässt sich der Einteilung von GENC ET AL. (2014) folgend vor der indikativen Phase einordnen und wird im Rahmen dieser Arbeit daher nicht weiter berücksichtigt.

MAURER (2015) stellt einen Ansatz zur Früherkennung kritischer Situationen in Liefernetzen vor, um den Einfluss externer Störungen auf Versorgungsprozesse zu reduzieren. Ausgehend von einer modellbasierten Abbildung der Lieferkette werden mit Hilfe von Kausaldiagrammen relevante Einfluss- respektive Störfaktoren auf die Lieferprozesse identifiziert und hinsichtlich ihrer Kritikalität für die Versorgungssicherheit bewertet. Für kritisch eingestufte Prozesse werden alternative Handlungsszenarien entwickelt und ökonomisch beurteilt. Die Handlungsszenarien dienen somit als präventive Maßnahmen gegenüber identifizierten Risiken. Reaktive Steuerungsmaßnahmen werden jedoch nicht betrachtet.

MESSINA ET AL. (2020) zeigen einen Informationsmanagementansatz zur Reaktion auf operative Störungen in Wertschöpfungsnetzwerken auf. Im Fokus steht die Entwicklung eines Modells zur Erfassung, Verarbeitung und Nutzung relevanter interner und externer Informationen in Abhängigkeit von den eingetretenen Störungsereignissen. Hierzu werden die Ereignisse anhand verschiedener Kategorien (Entstehungsort, Ursache etc.) klassifiziert. Auf Grundlage von festgelegten Maßnahmen zur Entgegenwirkung des Ereigniseintritts wird der Bedarf an unternehmensübergreifendem und -internem Informationsaustausch identifiziert. Im Modell wird indes kein Bezug zur Produktionssteuerung und zu den im Rahmen der PPS verfolgten produktionslogistischen Zielgrößen hergestellt.

TREBER (2020) entwickelt ein Vorgehen zur Optimierung des Störungsmanagements auf Basis eines intensivierten Informationsaustauschs in Produktionsnetzwerken. Zur Transparenzsteigerung werden zunächst deskriptive Beschreibungsmodelle der Produktions- und Informationsebene gebildet. Der Fokus liegt dabei auf dem Auftrags-, Qualitäts- und technischen Änderungsmanagement. Neben einem Kennzahlensystem zur Messung der operativen Leistung werden Informationsreifegradmodelle entwickelt. In der Analysephase werden die Wirkzusammenhänge zwischen dem Auftritt einer Störung, dem Informationsaustausch und der Leistung im Netzwerk simulationsbasiert ermittelt. Ein direkter Bezug zu Maßnahmen der Produktionssteuerung wird allerdings ebenfalls nicht gegeben.

DOBLER ET AL. (2020, 2023) konzipieren eine Methodik zur Frühaufklärung von produktionstechnischen Defiziten. Den Ausgangspunkt bilden die Identifikation, die Verarbeitung, die Bewertung und die Evaluierung produktionskritischer Diskontinuitäten. Dabei werden neben internen auch externe Einflussfaktoren berücksichtigt. Durch Untersuchung der potenziellen negativen Folgen dieser Diskontinuitäten auf die reale Produktionstechnik werden anschließend produktionstechnische Defizite für das Unternehmen abgeleitet. Zuletzt erfolgt die Initiierung geeigneter Maßnahmen, um die Entstehung der produktionstechnischen Defizite zu verhindern. Dabei liegen allerdings weder der unternehmensübergreifende Informationsaustausch noch die Produktionssteuerung zur Reaktion auf bereits eingetretene produktionsrelevante Ereignisse im Fokus.

### **3.2.2 Ansätze zur Modellierung von unternehmensübergreifenden Wirkzusammenhängen**

Zum Verständnis der interorganisationalen Auswirkungen von Störungsereignissen sind die Abhängigkeiten zwischen Partnerunternehmen systematisch zu modellieren. In den letzten Jahren wurden hierzu verschiedene Ansätze konzipiert.

Das SUPPLY CHAIN COUNCIL (2012) stellt mit SCOR ein SCM-Referenzmodell zur standardisierten Beschreibung und Analyse unternehmensübergreifender und -interner Geschäftsprozesse vom Rohstofflieferanten bis zum Endverbraucher bereit (KUHN & WIENDAHL 2008). Das SCOR-Modell gliedert sich in vier Ebenen. In Ebene 1 werden die relevanten Kernprozesse einer Lieferkette Planen, Beschaffen, Herstellen, Liefern, Rückgabe und Ermöglichen beschrieben. Ebene 2 detailliert die sechs Kernprozesse in Prozesskategorien, wie bspw. Make-to-Stock oder Make-to-Order. In Ebene 3 werden diese Prozesskategorien in einzelne Prozessschritte unterteilt. Hierbei werden neben den Aufgaben und Aktivitäten auch Eingangs- und Ausgangsinformationen sowie geeignete Kennzahlen beschrieben. In Ebene 4 erfolgt die unternehmensspezifische Implementierung der feingranularen Prozessschritte, wie bspw. die Produktionssteuerungsaufgaben und der zugehörige Informationsaustausch. Dabei ist allerdings anzumerken, dass Ebene 4 im Grundmodell von SCOR nicht inhaltlich detailliert beschrieben wird. Es wird lediglich darauf verwiesen, dass Ebene 4 für den jeweiligen Anwendungsfall zu spezifizieren ist. Erkenntnisse zu den Wirkzusammenhängen von unternehmensübergreifendem Informationsaustausch und Produktionssteuerung sind im SCOR-Modell somit nicht enthalten. (SUPPLY CHAIN COUNCIL 2012, APICS 2017)

CARIDI ET AL. (2014) analysieren die kausalen Zusammenhänge zwischen Informationstransparenz in Lieferketten und der Leistungsfähigkeit von Unternehmen. I. A. an CARIDI ET AL. (2010) bereiten sie die Auswirkungen von Informationstransparenz auf ausgewählte Kennzahlen in Form von Ursache-Wirkdiagrammen auf. Zur Differenzierung werden vier Informationskategorien mit zehn Untergruppen berücksichtigt: Transaktionen/Ereignisse (Lieferankündigung), Statusinformationen (Auftragsstatus, Restkapazität der Produktion, Lagerbestand, Lieferantqualität), Stammdaten (Merkmale der Lagerverwaltungseinheit, Komponentenmerkmale) und Geschäftspläne (Produktionsplan, Lieferplan, Bedarfsprognose). Im Rahmen der Kausaldiagramme wird jedoch weder auf eintretende Ereignisse noch auf verschiedene Maßnahmen der Produktionssteuerung eingegangen.

PEUKERT (2021) konzipiert eine Methodik zur Steigerung der Robustheit eines Produktionsnetzwerks auf Basis eines integrierten Störungsmanagements. Ausgehend von der Modellierung von Netzwerken und darin auftretenden Störungen werden die Wirkzusammenhänge zwischen Störungen, Gegenmaßnahmen und resultierender Systemleistung untersucht. Mit Hilfe eines simulationsbasierten Design of Experiments werden die Auswirkungen verschiedener Produktions- und Logistikmaßnahmen auf definierte Störungsklassen bewertet. Der zur Produktionssteuerung erforderliche Informationsbedarf wird dabei nicht adressiert.

### **3.2.3 Ansätze zur Modellierung von unternehmensinternen Wirkzusammenhängen**

Im Gegensatz zu den primär unternehmensübergreifenden Ansätzen wurde bereits eine Vielzahl von Ansätzen zur Erklärung unternehmensinterner Wirkzusammenhänge im Kontext der Produktionslogistik entwickelt. Diese lassen sich in qualitative Wirkmodelle (vgl. Abschnitt 3.2.3.1) und quantitative Wirkmodelle (vgl. Abschnitt 3.2.3.2) unterteilen.

#### **3.2.3.1 Qualitative Wirkmodelle**

HELLMICH (2003) untersucht die Koordinationskomplexität, die in der auftragsorientierten Planung und Steuerung von Produktions- und Logistikprozessen zu beherrschen ist. Hierzu entwickelt er ein Geflecht von technischen, organisatorischen und soziokulturellen Einflussgrößen auf die Zielerreichung und deren Wechselwirkungen. Im Fokus stehen die produktionslogistischen Zielgrößen (vgl. Abschnitt 2.2.3.2). Zur Charakterisierung des Einflussgrads auf diese Zielgrößen

werden fünf Abstufungen von besonders begünstigendem Einfluss (++) bis zu stark abschwächendem Einfluss (--) eingeführt. Die spezifischen Stellgrößen der Produktionssteuerung werden in dem Wirkgeflecht allerdings unzureichend adressiert. Auch wird der Einfluss eines unternehmensübergreifenden Austauschs steuerungsrelevanter Informationen nicht einbezogen.

HEINICKE (2014) analysiert den Einfluss der Produktionssteuerung zur Erreichung resilienter Produktionssysteme. Nach dem entwickelten Ansatz gilt es, Ursache-Wirkungs-Beziehungen zur operativen, produktionslogistischen Zielerreichung herzustellen. Ausgehend von einer funktionsorientierten Differenzierung der Steuerungsaufgaben sind hierzu Einflussfaktoren auf das Produktionssystem zu identifizieren und unter Zuhilfenahme von definierten Störungs- und Steuerungsvariablen zu bewerten. Eine intuitive Anwendbarkeit des Ansatzes im vorliegenden Kontext ist allerdings nicht gegeben. Zum einen zeigt HEINICKE (2014) keine allgemeingültigen Ursache-Wirkungs-Diagramme auf. Zum anderen fehlt der Bezug zum steuerungsabhängigen, unternehmensübergreifenden Informationsbedarf.

Das von LÖDDING (2016) entwickelte Modell der Fertigungssteuerung (vgl. Abschnitt 2.2.3.3, Abbildung 2-3) veranschaulicht die Wirkzusammenhänge zwischen den Aufgaben, den Stell-, den Regel- und den Zielgrößen der Produktionssteuerung. Es bildet die Grundlage zahlreicher weiterer Forschungsvorhaben zur Modellierung unternehmensinterner Wirkzusammenhänge.

SCHÄFERS & SCHMIDT (2015) ergänzen das Modell der Fertigungssteuerung von LÖDDING (2016) um weitere Aufgaben der PPS sowie den aufgabenbezogenen Informationsbedarf zu einem integrativen Logistikmodell. Im sog. Hannoveraner Lieferkettenmodell wird jedoch der unternehmensübergreifende Austausch steuerungsrelevanter Informationen aufgrund des Fokus auf die unternehmensinterne Lieferkette nicht berücksichtigt.

BERGER ET AL. (2019) stellen einen modellgestützten Ansatz für die ereignisorientierte Produktionssteuerung von Cyber-physischen Produktionssystemen vor. Ausgehend von der Festlegung kaskadierter Regelkreise wird das Modell der Fertigungssteuerung von LÖDDING (2016) um die Regelkreisnotation erweitert. Ziel ist es, die logistische Zielerreichung auf Basis der erhöhten Datenverfügbarkeit zu verbessern. Wirkzusammenhänge der Produktionssteuerung mit unternehmensübergreifendem Informationsaustausch werden in diesem Ansatz nicht adressiert.

PIELMEIER ET AL. (2019) stellen die Zusammenhänge zwischen den Produktionssteuerungsmaßnahmen und produktionsrelevanten Kennzahlen in einer Ursache-



Wirkungs-Matrix dar. Die zur Reaktion auf Ereignisse auszuwählenden Maßnahmen lassen sich den drei Steuerungsfunktionen Auftragsfreigabe, Kapazitätsanpassung und Reihenfolgebildung zuordnen. Die Kennzahlen werden aus dem produktionslogistischen Zielsystem abgeleitet. In der Matrix finden jedoch zum einen die Abhängigkeiten zwischen den Kennzahlen keine Berücksichtigung. Zum anderen werden die Wirkzusammenhänge von Informationsaustausch und Produktionssteuerung außer Acht gelassen.

### 3.2.3.2 Quantitative Wirkmodelle

Bei der Positionierung im produktionslogistischen Zielsystem wird ein Konflikt zwischen den Zielgrößen Bestand, Durchlaufzeit, Auslastung und Termintreue deutlich (vgl. Abschnitt 2.2.3.2). Die am Institut für Fabrikanlagen und Logistik der Universität Hannover entwickelten Produktionskennlinien (PKL) visualisieren die Wirkzusammenhänge zwischen den Zielgrößen und tragen somit zur Beherrschung dieses Dilemmas bei. Grundlage für die PKL ist die auf mathematischen Modellen basierende Kennlinientheorie. Die PKL zeigen den Verlauf der Leistung, der Durchlaufzeit und der Termineinhaltung in Abhängigkeit vom Bestandsniveau (s. Abbildung 3-2). Die Wahl des Bestands als Variable lässt sich mit der direkten Beeinflussbarkeit durch die Stellgrößen der Produktionssteuerung (vgl. Modell der Fertigungssteuerung nach LÖDDING 2016) und der damit verbundenen Realisierung verschiedener Betriebszustände begründen (BREITHAUPT 2001). Die in Abbildung 3-2 skizzierten PKL werden aufgrund ihrer Relevanz für das in dieser Arbeit zu entwickelnde System im Folgenden kurz erläutert.

Die PKL zeigen, dass die Leistung und somit die Auslastung eines Arbeitssystems bis zu einem bestimmten Bestandsniveau linear mit dem Arbeitsvorrat steigen. Da das Arbeitssystem ohne kapazitätserweiternde Maßnahmen die inhärente, maximale Leistungsgrenze jedoch nicht übersteigen kann, verläuft die Leistungskurve bei hohen Bestandsniveaus weitgehend bestandsunabhängig. Die Durchlaufzeit entspricht bei geringen Bestandsniveaus der Summe von Bearbeitungs-, Rüst- und Transportzeiten und kann einen minimal erreichbaren Wert nicht unterschreiten. Wird das Bestandsniveau erhöht und erreicht das Arbeitssystem seine Leistungsgrenze, müssen zudem Wartezeiten vor den Arbeitssystemen addiert werden. Die Durchlaufzeit steigt ab dem idealen Mindestbestand annähernd proportional an. Mit einem Anstieg der Durchlaufzeit ist eine zunehmende Durchlaufzeitstreuung

und damit einhergehend eine abnehmende Termineinhaltung respektive -treue verbunden. Bei zu geringen Bestandsniveaus sinkt die Termintreue aufgrund ungeplanter Leistungseinbußen. (NYHUIS 2008, NYHUIS & WIENDAHL 2012)

Mit Hilfe der stetig weiterentwickelten PKL lassen sich zahlreiche wissenschaftstheoretische Wirkzusammenhänge in der PPS modellbasiert erklären. Der Einfluss von unternehmensübergreifender Informationstransparenz auf die in den PKL adressierten Größen wurde bislang jedoch noch nicht untersucht.

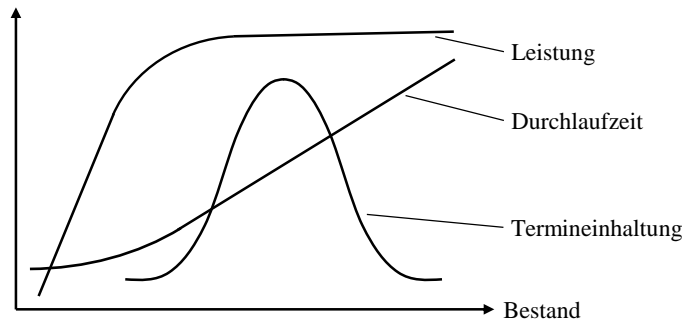


Abbildung 3-2: Schematische Darstellung der Produktionskennlinien (i. A. an NYHUIS 2008)

Ausgehend von den PKL untersuchen SCHMIDT ET AL. (2019) modellbasiert die Ursachen einer mangelhaften Zielerreichung in unternehmensinternen Wertschöpfungsketten. Mit Hilfe der logistischen Modelle werden generische Wirkbeziehungen zwischen der Leistungsfähigkeit und ihren Einflussfaktoren identifiziert. Die quantitativen Korrelationen werden für die verschiedenen logistischen Kennzahlen, wie bspw. Termintreue oder Rückstand, in jeweils eigenen Baumstrukturen aufbereitet. Die Baumstrukturen bieten somit eine Ausgangsbasis für eine strukturierte Ursachenanalyse auf funktionaler Ebene. Die Perspektive des unternehmensübergreifenden Informationsaustauschs wird allerdings nicht eingenommen.

### 3.2.4 Fazit

In der Literatur ist bislang eine Trennung zwischen unternehmensübergreifenden und -internen Ansätzen der Analyse von Abhängigkeiten und Wechselwirkungen in Wertschöpfungsprozessen ersichtlich. Mit Blick auf die PPS existieren bereits einige sehr detaillierte Modelle, welche die Wirkzusammenhänge in der kurzfristigen Auftragsabwicklung qualitativ oder quantitativ beschreiben. Dabei werden allerdings keine Ereignisse einbezogen, die in vor- oder nachgelagerten Wertschöpfungsstufen eintreten. Auf unternehmensübergreifender Ebene des SCM wird insbesondere die mittel- bis langfristige Planung der Zusammenarbeit sowie

eine generische Ableitung von Handlungsmaßnahmen adressiert. Unternehmensspezifische Anforderungen an den Informationsaustausch auf Steuerungsebene werden allerdings nicht umfassend behandelt.

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass ungeachtet der zunehmenden Bedeutung des Austauschs steuerungsrelevanter Informationen für eine effiziente und effektive Auftragsabwicklung bislang keine durchgängige Modellierungsmethode vorhanden ist, die die Wirkzusammenhänge von Informationsaustausch und der durch die Produktionssteuerung verfolgten logistischen Zielerreichung fokussiert.

### **3.3 Bewertung von Informationen**

Die primäre Zielsetzung von unternehmensübergreifendem Informationsaustausch ist die Optimierung der Leistungsfähigkeit der beteiligten Unternehmen (WANG & WEI 2007, PIDUN & FELDEN 2012). Zur Quantifizierung der erzielten Leistungssteigerung ist eine Evaluierung des durch den Informationsaustausch generierten ökonomischen Mehrwerts obligatorisch (LEE & WHANG 2000, YU ET AL. 2001, KULP 2002). OTTO ET AL. (2016) sehen daher einen wachsenden „(...) *Bedarf an Methoden und Verfahren zur ökonomischen Bewertung der Daten*“. Transparenz über den erzielten Mehrwert steigert zudem die Akzeptanz von informationsbasierten Entscheidungsunterstützungssystemen und somit die Bereitschaft zum Informationsaustausch (KEISLER 2014).

In Abschnitt 3.3.1 werden Ansätze zur Einordnung der Bewertungsgrößen für Informationswerte aufgezeigt. Um eine Quantifizierbarkeit des Mehrwerts zu erreichen, sind geeignete Kennzahlen bzw. -systeme erforderlich. Ansätze zur kennzahlbasierten Evaluierung der Leistungsfähigkeit von Unternehmen werden in Abschnitt 3.3.2 vorgestellt. In Abschnitt 3.3.3 wird auf verschiedene Vorgehen zur Erzeugung des Inputs für die Bewertung des Informationsaustauschs eingegangen.

#### **3.3.1 Bewertungsgrößen für Informationswerte**

Für eine objektive Quantifizierung von Informationswerten ist eine adäquate und standardisierte Bewertungsgröße erforderlich (VOB & GUTENSCHWAGER 2001). Die Festlegung der zugrunde liegenden Bewertungsgröße ist abhängig vom Untersuchungsgegenstand. Aufgrund des multidimensionalen Wertbeitrags von Informationen können sich verschiedene Ansätze zur Informationsbewertung eignen (ZECHMANN 2018). Des Weiteren besteht eine Vielzahl an internen und externen

Einflussfaktoren auf den Informationswert, die es bei der Auswahl des Bewertungsansatzes sowie der -größe zu berücksichtigen gilt. HECKMAN ET AL. (2015) identifizieren wert-, qualitäts- und kostenorientierte Parameter, die den Informationswert beeinflussen. PAUSE (2017) zeigt einen Ansatz zur kriterienbasierten Bewertung verschiedener Dimensionen der Wissensqualität von Kostenelementen auf. LANGE ET AL. (2018) betonen die Abhängigkeit des Informationswerts von der Marktsituation und dem Verhältnis von Angebot und Nachfrage.

LANEY (2018) stellt sechs verschiedene Ansätze zur Bewertung des Informationsvermögens vor. Diese lassen sich in Abhängigkeit von der Zielsetzung einer der beiden Kategorien *finanzielle Größen* oder *grundlegende Größen* zuordnen. Die Ansätze zur Bestimmung von finanziellen Größen sind auf die Erreichung eines wirtschaftlichen Vorteils ausgerichtet. Sie subsumieren den *kostenorientierten*, den *marktorientierten* sowie den *ökonomischen Informationswert*. Der kostenorientierte Informationswert gibt an, welche Kosten beim Verlust der Information anfallen würden. Der marktorientierte Informationswert entspricht dem durch Verkauf der Information erzielbaren Preis. Der ökonomische Informationswert kennzeichnet den Beitrag der Information zum Unternehmensergebnis über einen Kosten-Nutzen-Vergleich. Die grundlegenden Größen fokussieren hingegen die Bewertung des internen Informationsmanagements. Sie umfassen den *intrinsischen*, den *geschäftsprozessorientierten* sowie den *leistungsorientierten Informationswert*. Der intrinsische Informationswert ergibt sich aus den Qualitätsfaktoren Genauigkeit, Vollständigkeit, Zugänglichkeit und Ubiquität. Der geschäftsprozessorientierte Informationswert bezieht sich auf die Relevanz der Information für die Geschäftsprozesse. Der Beitrag einer Information zur Erreichung der Unternehmensziele wird kennzahlbasiert durch den leistungsorientierten Informationswert ermittelt. Dabei ist allerdings zu beachten, dass der ökonomische Informationswert anstelle des leistungsorientierten Informationswerts Anwendung findet, sofern der Quantifizierung einer Leistungssteigerung finanzielle Kennzahlen zugrunde liegen.

KROTOVA ET AL. (2019) und OTTO ET AL. (2019a) unterscheiden aus inhaltlicher Perspektive die gleichen Kategorien wie LANEY (2018), weichen allerdings z. T. hinsichtlich der Termini sowie der Berechnungsvorschriften ab. Sie differenzieren *finanzielle* und *nicht-finanzielle* Bewertungsverfahren bzw. -größen (s. Tabelle 3-1). Finanzielle Ansätze dienen der Festlegung eines monetären Informationswerts und werden in *kosten-*, *marktpreis-* und *nutzenorientierte* Verfahren unterteilt (s. OTTO ET AL. 2016). Nicht-finanzielle Bewertungsmethoden analysieren

hingegen operative Kennzahlen, um die Erreichung strategischer Ziele zu überwachen. Dabei wird zwischen *qualitäts-*, *prozess-* und *performanceorientierten* Verfahren unterschieden. Im Rahmen des Forschungsprojekts DEMAND entwickeln KROTOVA ET AL. (2019) und OTTO ET AL. (2019a) ein kostenorientiertes Bewertungsverfahren zur Bestimmung eines Mindestwerts von Informationen.

Tabelle 3-1: Verfahren zur Informationsbewertung  
(i. A. an KROTOVA ET AL. 2019, OTTO ET AL. 2019a)

Finanziell	Kostenorientiert	Marktpreisorientiert	Nutzenorientiert
	Kosten für Generierung, Bereitstellung, Verwaltung und Nutzung der Informationen	Marktwert an externem Markt oder bei marktähnlicher Transaktion	Finanzieller Nutzen als Beitrag zur Prozessleistung bzw. zum Unternehmenserfolg
Nicht-finanziell	Qualitätsorientiert	Prozessorientiert	Performanceorientiert
	Informationsqualitätsmetriken, z. B. Genauigkeit oder Integrität	Zusammenhang von Informationsqualität zu Geschäftsprozessen	Einfluss auf Verbesserung von nicht-finanziellen Leistungskennzahlen

Der BITKOM (2013) stellt die Kennzahl *Return on Information* zur Monetarisierung von Informationen vor. Die Kennzahl errechnet sich aus dem Quotienten von Nutzen zu Kosten der Information und stellt damit eine Kombination der nutzen- und kostenorientierten Bewertungsansätze dar. Der Nutzen wird durch das Datenvolumen, die Anzahl an Datennutzern, die erzielbare Analysetiefe und die Latenzzeit beeinflusst. Die Kosten ergeben sich aus Hardware, Lizenz und Support.

ZECHMANN (2018) entwickelt ein Konzept zur finanziellen und nutzenorientierten Datenbewertung. Der Datennutzungswert ergibt sich aus den mit der Kapitalwertmethode berechneten und dem Datenobjekt direkt zuordenbaren zukünftigen Cashflows. Der finanzielle Nutzen wird in Abhängigkeit von der verfügbaren Datenqualität im Kontext eines spezifischen Geschäftsprozesses ermittelt. Schließlich werden ausgehend von den Bewertungsergebnissen geeignete Maßnahmen abgeleitet, um den Datennutzungswert für die Folgeperiode zu erhöhen.

Den dargelegten Forschungsarbeiten ist gemein, dass keine Handlungsempfehlungen hinsichtlich des Einsatzes eines spezifischen Ansatzes im Kontext der Produktion gegeben werden. Zudem werden die Bewertungsgrößen zur Berechnung von Informationswerten lediglich generisch beschrieben. Ein direkter Bezug zur Produktionssteuerung im Sinne der Auftragsabwicklung wird dabei allerdings nicht

hergestellt. Folglich werden auch keine Berechnungsvorschriften zur Quantifizierung von steuerungsrelevanten Informationen aufgezeigt.

### **3.3.2 Ansätze zur Entwicklung von Kennzahlensystemen**

Kennzahlensysteme werden benötigt, um den Wert von Informationen auf Basis der durch den unternehmensübergreifenden Informationsaustausch erzielten Vorteile aufzuzeigen (KEMBRO & NÄSLUND 2014). Im Folgenden werden verschiedene Ansätze zur Entwicklung von Kennzahlensystemen vorgestellt, die als Grundlage für die Informationsbewertung dienen können.

CARIDI ET AL. (2014) entwickeln ein Modell zur Bewertung des Nutzens von Transparenz relevanter und zuverlässiger Informationen in Lieferketten. Die dem Modell zugrunde liegende Vorgehensweise basiert auf dem Bewertungsansatz von BRUN ET AL. (2006). Zunächst werden Kausaldiagramme zur Erklärung des Einflusses von Informationstransparenz auf verschiedene Nutzenkategorien erzeugt. Anschließend werden strategisch relevante Kennzahlen festgelegt und priorisiert. Im Fall von Plan-Ist-Abweichungen erfolgt eine Ursachenanalyse sowie die Ableitung von Informationsflüssen mit dem Potenzial zur Steigerung der Kennzahlen.

STRICKER (2016) beurteilt die Robustheit verketteter Produktionssysteme gegen ungeplante Störungen. Ausgehend von der Analyse produktionsbezogener Kennzahlen konzipiert sie ein Optimierungsmodell zur Selektion anwendungsspezifisch relevanter Kennzahlen. Um trotz der erforderlichen Komplexitätsreduzierung eine ganzheitliche Performancebetrachtung zu gewährleisten, werden die Kennzahlen über ihre Wirkzusammenhänge zu einem quantitativen Robustheitsmaß verdichtet.

LEE & RIM (2016) stellen einen Ansatz zur Bewertung und Steigerung der Informationstransparenz basierend auf dem Qualitätsmanagement-Konzept Six Sigma vor. Das Ziel ist es, mit Hilfe quantitativer Kennzahlen die Stabilität von Produktions- und Logistikprozessen zu erhöhen. Das zu einem Rechensystem aggregierte Kennzahlensystem enthält Fähigkeitsindizes zu produktionslogistischen Abläufen.

NIEHUES (2016) untersucht die Ermittlung von optimalen Auftragsreihenfolgen in der adaptiven Werkstattsteuerung. Um die Komplexität bei der Reihenfolgebildung in einer eindimensionalen Zielfunktion abzubilden, werden sämtliche Einflussfaktoren und Randbedingungen in kostenbasierte Kennzahlen überführt. Neben Fertigungs-, Bestands-, Rüst- und Transportkosten wurden auch die Kostenbestandteile Beschleunigungs-, Nichtnutzungs- und terminbezogene Kosten hinsichtlich der Abhängigkeit von der Bearbeitungsreihenfolge untersucht.

ARNDT ET AL. (2017) stellen eine Methodik zur Steuerung globaler Produktionsnetzwerke auf Basis von Standortrollen vor. Die Standorttypen (high-tech, low-cost etc.) werden über die Zieldimensionen Kosten, Zeit, Qualität, Resilienz und Nachhaltigkeit beschrieben. Zur Quantifizierung der Ziele werden Kennzahlen mit zugehörigen Zielkorridoren definiert. Die Leistungsbewertung eines Standorts und des Netzwerks erfolgt über die Aggregation der relativen Zielerreichungsgrade.

ARNDT (2018) entwickelt einen Ansatz zur unternehmensübergreifenden Planung und Steuerung von globalen Produktionsnetzwerken auf Basis der Prozessqualität. Ziel ist es, durch die integrierte Qualitätsbewertung von Beschaffungs-, Produktions-, Logistik- und Vertriebsprozessen eine Beherrschung des Netzwerks zu erreichen. Durch die wertstromorientierte Methodik wird der Ist-Zustand der Prozessqualität anhand eines Kennzahlensystems analysiert. Dabei werden diverse Zielgrößen integriert, sodass Verbesserungspotenziale simulationsgestützt evaluiert und Gestaltungshinweise für das Produktionsnetzwerk abgeleitet werden können.

PIELMEIER (2020) berechnet die durch ein Ereignis im Produktionssystem auftretenden Mehrkosten. Die Zielfunktion aggregiert die Folgekosten des Ereigniseintritts und die durch eingeleitete Maßnahmen initiierten Kosten. Die durch den Ereigniseintritt verursachten Kosten beinhalten Produktions-, Logistik-, Verzugs- (z. B. Konventionalstrafen) und Opportunitätskosten (z. B. entgangene Deckungsbeiträge). Die Maßnahmenkosten sind die Summe aus fixen (z. B. zusätzlicher Mitarbeiter) und variablen (z. B. höherer Materialverbrauch) Kostenbestandteilen.

RÖSCH (2021) entwickelt ein kostenbasiertes Zielsystem für die Produktionssteuerung. Zunächst werden die Kostenverursacher der beeinflussbaren Kostenfaktoren identifiziert. Anschließend werden die monetär bewertbaren Auswirkungen dieser Kostenverursacher systematisiert. Die sieben ermittelten Kostenbestandteile sind Verzugskosten und Konventionalstrafen, Kosten durch Vertrauensverluste, erhöhte Versandkosten, zusätzliche Lagerkosten, erhöhte Materialkosten, zusätzliche Zinskosten und erhöhte Personalkosten.

Sämtlichen Ansätzen ist gemein, dass die entwickelten Kennzahlen/-systeme die Leistung von Produktionssystemen in Bezug auf die Informationsökonomie bislang nicht ganzheitlich erfassen. Insbesondere der zeitlichen Dimension der Termintreue wird nicht ausreichend Rechnung getragen. Die mit einem Lieferzeitpuffer im Kontext der kurzfristig agierenden Produktionssteuerung einhergehenden Kosten finden bislang keine unmittelbare Berücksichtigung. Zudem geht aus keinem der Ansätze hervor, wie das jeweilige Kennzahlensystem zur Bestimmung von Informationswerten adaptiert werden kann.

### **3.3.3 Ansätze zur Quantifizierung des Informationswerts**

In der Literatur sind im Wesentlichen drei methodisch differenzierbare Vorgehen zur Quantifizierung von Informationswerten im Kontext von Wertschöpfungsnetzwerken zu finden: Mathematische Modellierung, simulative Analysen und empirische Studien. Die bereits entwickelten Ansätze und deren Eignung zur Generierung einer zielführenden Datenbasis für die kennzahlbasierte Berechnung von Informationswerten werden im Folgenden diskutiert.

#### **3.3.3.1 Mathematische Modellierung**

Der Informationsaustausch in Wertschöpfungsnetzwerken ist bereits seit einigen Jahren Forschungsgegenstand des Wissenschaftsbereichs Operation Research. Die Problemformulierung und Lösungsfindung zur Bestimmung des Werts von Informationen erfolgt mit mathematisch-analytischen Modellen. Die Herausforderung bei der mathematischen Modellierung ist die Festlegung eines für den Untersuchungszweck geeigneten Verkürzungsmerkmals (STACHOWIAK 1973). Aufgrund der Menge an Veröffentlichungen sollen im Folgenden nur ein paar ausgewählte Beiträge, die aufgrund ihres Bezugs zum Forschungsthema dieser Arbeit als besonders relevant identifiziert wurden, dargelegt werden.

LEE ET AL. (2000) entwickeln als eine der ersten ein lineares Modell zur quantitativen Nutzenbewertung des Austauschs von Nachfrageinformationen zwischen Einzelhändlern und Lieferanten. Dabei untersuchen sie die Einflussfaktoren auf und die Voraussetzungen für die durch den Informationsaustausch erzielten Kostenvorteile. Als Resultat der Auswertungen können Bestandsreduzierungen und damit verbundene Kosteneinsparungen bei den Lieferanten erreicht werden. Auch GAVIRNENI ET AL. (1999), YU ET AL. (2001), HE ET AL. (2002), ZHAO ET AL. (2002), WU & EDWIN CHENG (2008), CUI ET AL. (2015), BABAI ET AL. (2016), PARSA ET AL. (2017), TEUNTER ET AL. (2018), ZHAO & LI (2018), KOVTUN ET AL. (2019) und weitere evaluieren den durch Austausch von Nachfrageinformationen erzielbaren Mehrwert in Wertschöpfungsnetzwerken.

CACHON & FISHER (2000) und HUANG & IRAVANI (2005) beziehen neben Nachfrageinformationen auch den Austausch von Bestandsinformationen zwischen einem Lieferanten und mehreren Einzelhändlern in ihr Modell ein. Die Auswertungen zeigen ergänzend zu den Kosteneinsparungen auch Verbesserungspotenziale hinsichtlich der Reduzierung von Durchlaufzeiten, Losgrößen und weiteren ope-



rativen Zielgrößen. LAU ET AL. (2004) weiten ihre Analyse zu Nachfrage- und Bestandsinformationen auf eine dreistufige Lieferkette mit Hersteller, Distributor und Händler aus und kommen zu dem Ergebnis, dass Kosteneinsparungen mit zunehmender Nähe zum Endkunden steigen. SRIVATHSAN & KAMATH (2018) analysieren den Austausch von Bestandsinformationen zwischen einem Einzelhändler und zwei Produzenten. Sie stellen dabei die Optimierungspotenziale in Bezug auf höhere Erfüllungsraten, weniger Lieferrückstände etc. heraus.

CAVUSOGLU ET AL. (2012) nutzen ein analytisches Modell, um die Wechselwirkungen von Produktionsaufschub und Informationsaustausch bei Nachfrageunsicherheit in Lieferketten zu analysieren. BAKIR & KLUTKE (2014) analysieren ein zweistufiges Entscheidungsproblem bei unvollständiger Informationsverfügbarkeit. Unter Berücksichtigung der Risikoneigung des Entscheidungsträgers werden Kaufpreise für Informationen zu potenziell eintretenden Ereignissen ermittelt. Mit Hilfe des Modells wird gezeigt, dass die Bereitschaft der Entscheidungsträger zur Bezahlung hoher Preise für Informationen zu Ereignissen mit schwerwiegenden Auswirkungen steigt. Auch ZHENG ET AL. (2018) entwickeln ein Vorgehen zur Bestimmung von Informationswerten mit Hilfe von zweistufigen und mit Unsicherheitsfaktoren behafteten Entscheidungsproblemen. YOON ET AL. (2020) fokussieren sich auf eine dreistufige Lieferkette, bei der neben Bestands- auch Störungsinformationen übermittelt werden. Die Auswertung des Modells zeigt, dass sowohl der Hersteller als auch der Tier-1-Lieferant monetäre Vorteile beim Austausch von Informationen über den Tier-2-Lieferanten erzielen.<sup>4</sup>

LIU ET AL. (2020) untersuchen den Wert von Informationsaustausch in dezentral koordinierten Wertschöpfungsnetzwerken in Abhängigkeit vom Grad an Informationstransparenz (vollständige Informationen, Basisinformationen etc.). Der Informationswert wird i. A. an THOMAS ET AL. (2015) als relatives Verhältnis einer erzielten Leistungsgröße mit und ohne Informationsaustausch definiert.

In keinem der mathematisch-analytischen Ansätze wird eine generische Berechnungsmethode für den Wert sämtlicher steuerungsrelevanter Informationen aufgezeigt. Unter der Annahme geeigneter Randbedingungen wird in den verschiedenen Ansätzen lediglich eine begrenzte Anzahl an Partnern mit dedizierter Rolle sowie eine spezifische Art und Richtung des Informationsaustauschs untersucht. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf der Bewertung von einzelnen planungsrelevanten

---

<sup>4</sup> Die Begriffe *Tier-n* mit  $n = \{1, 2, 3, \dots\}$  beschreiben die Ebenen der Zulieferstruktur eines Herstellers. Die Zahl  $n$  gibt Auskunft darüber, in welchem Verhältnis der jeweilige Sublieferant zum Hersteller steht, z. B.: Tier-1: Systemlieferant, Tier-2: Modul-/Komponentenlieferant, Tier-3: Teilelieferant (s. ZIEGENBEIN 2007, SCHONERT 2008, SCHULZE 2009).

Informationen. Ursache ist hierfür, dass aus Komplexitätsgründen nicht sämtliche in einem Wertschöpfungsnetzwerk bestehenden Material- und Informationsflussbeziehungen in einem mathematischen Modell erfassbar sind.

### 3.3.3.2 Simulative Analysen

Simulationsbasierte Ansätze stellen eine Alternative zur Bestimmung von Informationswerten dar (HWARNG ET AL. 2005, WADHWA ET AL. 2010). Das Ziel einer Simulation ist das „*Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind*“ (VDI 3633-1). Die Systemgrenze sowie der Detaillierungsgrad des Modells sind dabei in Abhängigkeit von der spezifischen Zielsetzung zu wählen (REINHART 2000). Simulationsmodelle lassen sich anhand ihres Zeitbezugs in *kontinuierliche* und *diskrete* Modelle klassifizieren. Bei kontinuierlichen Modellierungsverfahren, wie bspw. den *systemdynamischen* (engl. „system dynamics“, SD) Simulationsansätzen, wird der Systemzustand mit Hilfe von Differentialgleichungen über einen zeitlich stetigen Verlauf abgebildet. Diskrete Modelle sind hingegen durch Zustandsänderungen zu diskreten Zeitpunkten charakterisiert. Der Simulationsablauf kann dabei zeit- oder ereignisgesteuert erfolgen. In letzterem Fall wird der Terminus *ereignisdiskrete Simulation* (engl. „discrete event simulation“, DES) verwendet. (TEMPELMEIER 2018)

Die *agentenbasierte Simulation* (engl. „agent based simulation“, ABS) ist ein Ansatz, der sowohl kontinuierliche als auch diskrete Modellelemente enthalten kann. In ABS wird das Verhalten sämtlicher Entitäten, sog. Agenten, isoliert modelliert und simuliert. Durch die Interaktion der einzelnen Agenten resultiert das Verhalten des Gesamtsystems. Die agentenbasierte Simulation erlaubt somit insbesondere die Modellierung dezentraler, verteilter Systeme. (BONABEAU 2002, ANSORGE 2008, LONG 2014)

Im Folgenden werden ausgewählte Ansätze zur Simulation der Auswirkungen von unternehmensübergreifendem Informationsaustausch hinsichtlich ihrer Eignung für die Ermittlung des Werts von steuerungsrelevanten Informationen analysiert.

WADHWA ET AL. (2010) untersuchen simulationsbasiert die Auswirkungen von Informationsverfügbarkeit auf die Lieferzeit, den Lieferverzug und den Lagerfüllgrad bei Nachfrageschwankungen und Prozessstörungen in Lieferketten. In mehreren DES-Experimenten werden verschiedene Parameter, wie bspw. der Grad an

Informationstransparenz variiert. Dabei wird u. a. eine Verbesserung der Lieferzeit bei zunehmender Informationstransparenz offensichtlich.

BARLAS & GUNDUZ (2011) analysieren den Einfluss von Informationsaustausch auf das Auftragsmanagement zur Reduzierung des Bullwhip-Effekts in einer dreistufigen Lieferkette. Die in einem SD-Simulationsmodell durchgeführten Experimente unterscheiden sich dabei u. a. hinsichtlich der Bestellstrategien, Durchlaufzeiten oder der Art der Störungen. Die Autoren schlussfolgern, dass der Bullwhip-Effekt durch den fehlenden Austausch von Nachfrageinformationen im Rahmen einer kollaborativen Planung hervorgerufen und verstärkt wird.

SCHUH ET AL. (2015) konzipieren ein SD-Simulationsmodell, um das Störungsmanagement in Lieferketten zu bewerten. Aufbauend auf dem Lieferkettenmodell von STERMAN (2000) wurden weitere Parameter, wie bspw. logistische Kosten- und Leistungskennzahlen, in das Simulationsmodell integriert, um die Auswirkungen von Störungen und geeigneter Gegenmaßnahmen quantifizieren zu können.

GREINACHER (2017) entwickelt einen DES-Ansatz zur Optimierung ressourceneffizienter Produktionssysteme. Ausgehend von der Modellierung der Material-, der Informations- und der Energieflüsse wird der Ablauf der Auftragsabwicklung im Produktionssystem bei unterschiedlichen Parameterkonfigurationen bspw. der Ressourcenverfügbarkeit, der Qualitätsraten oder der Kundenbedarfe simuliert. Die Ergebnisse der Simulationsdurchläufe werden hinsichtlich der Erreichung vordefinierter Zielkriterien evaluiert.

LI ET AL. (2017) untersuchen Strategien für den Informationsaustausch zur Minimierung der Risiken, die durch Kapazitätsunsicherheiten bzw. -störungen bei Lieferanten auftreten. Die entwickelten Strategien werden mit Hilfe eines SD-Simulationsmodells in Kombination mit einer multikriteriellen Optimierung validiert. Dabei wird eine Lieferkette aus Lieferanten, Distributoren und einem Einzelhändler betrachtet. Als Ergebnis des Informationsaustauschs werden reduzierte Bestände sowie eine geringere Anzahl an Lieferrückständen ersichtlich.

YUAN ET AL. (2019) untersuchen den Einfluss von Informationsaustausch auf die logistische Leistungsfähigkeit einer Lebensmittellieferkette mit Hilfe von ABS. Die Autoren zeigen, dass eine kollaborative Logistik mehrere Leistungsindikatoren des Netzwerks, wie bspw. den Servicegrad der Lieferfähigkeit oder die Auslastung der Transportfahrzeuge, verbessert. Der Informationsaustausch wird dabei in Form mehrdimensionaler Indikatoren anstelle einzelner Zielwerte evaluiert.

Die in der Literatur zu findenden kontinuierlichen oder diskreten Simulationsansätze zeigen das Potenzial, zur Quantifizierung der durch einen Informationsaustausch erzielbaren Leistungsverbesserung des Produktionssystems eingesetzt zu werden. In keinem der Ansätze wird allerdings die Bewertbarkeit von steuerungsrelevanten Informationen explizit untersucht. Die Eignung der verschiedenen Simulationsansätze ist abhängig von den anwendungsspezifischen Anforderungen.

### **3.3.3.3 Empirische Studien**

Eine weitere Möglichkeit zur Analyse der Potenziale von ausgetauschten Informationen für die Leistungsfähigkeit von Unternehmen und Wertschöpfungsnetzwerken bieten empirische Studien und Umfragen. Im Folgenden werden verschiedene Ansätze zur Feststellung des Werts von Informationen dargelegt.

WIENGARTEN ET AL. (2010) werten im Rahmen einer Studie in der deutschen Automobilindustrie die Korrelation zwischen dem Informationsaustausch und der Leistungsfähigkeit einer Lieferkette aus. Sie schlussfolgern, dass eine erhöhte Qualität der auszutauschenden Information einen positiven Effekt auf die operative Performance besitzt.

KEMBRO & NÄSLUND (2014) analysieren die Chancen von Informationsaustausch für die Wertschöpfung in Netzwerken auf Basis einer systematischen Auswertung von 82 wissenschaftlichen Beiträgen. Sie stellen fest, dass die Mehrheit der Artikel dyadische Beziehungen eines fokalen Unternehmens mit seinen Kunden oder Lieferanten untersucht. In den wenigen multilateralen Ansätzen lassen sich zwar qualitative Beschreibungen einer allgemeinen Vorteilhaftigkeit von Informationsaustausch finden, empirische Belege für den konkreten Nutzen fehlen allerdings.

SCHOLTEN & SCHILDER (2015) untersuchen den Einfluss von Kollaboration auf die Resilienz von Lebensmittellieferketten. Im Rahmen der explorativen Fallstudie konnte der Informationsaustausch als entscheidender Faktor für Transparenz, Geschwindigkeit und Flexibilität in der Lieferkette und somit als Treiber von Resilienz identifiziert werden. Die durchgeführten Interviews zeigten zudem eine positive Korrelation zwischen dem Grad der gegenseitigen Abhängigkeit der Wertschöpfungspartner und der Bereitschaft zum Informationsaustausch auf.

PANAHIFAR ET AL. (2018) evaluieren die Wirkzusammenhänge zwischen Informationsaustausch, Kollaboration und Unternehmensleistung. Basierend auf einer Studie mit 189 Führungskräften schlussfolgern sie, dass Vertrauen, Bereitschaft und Sicherheit von Informationsaustausch eine positive Auswirkung auf den Grad der

Kollaboration haben. Eine effektive Kollaboration korreliert positiv mit der operativen Leistung und besitzt eine hohe Kritikalität für den Unternehmenserfolg.

YANG & ZHANG (2019) analysieren die Implikationen von unternehmensübergreifendem Informationsaustausch auf die Prognosegenauigkeit von schnelllebigen Konsumgütern mit volatiler Nachfrage. Im Rahmen einer empirischen Studie werden unterschiedliche Austauschintensitäten an Prognoseinformationen betrachtet. Es zeigt sich, dass die beste Prognosegenauigkeit bei vollständigem Informationsaustausch erzielt wird. Die Bereitstellung aggregierter Informationen durch die Einzelhändler bietet ebenfalls einen großen Mehrwert.

PÉREZ-LÓPEZ ET AL. (2019) untersuchen den Einfluss der Verfügbarkeit von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) auf das Wirkgefüge von Informationsaustausch, operativem Management, Produktionssteuerung, Distributionsaktivitäten und operativen Nutzensvorteilen. Die Umfrage unter 80 Unternehmen zeigt, dass der durch IKT ermöglichte Informationsaustausch besonders großes Potenzial für eine effiziente und effektive Produktionssteuerung und damit einhergehende operative Vorteile hinsichtlich Leistung und Kosten aufweist.

Die Übersicht ausgewählter Literatur zeigt, dass empirische Studien vornehmlich zur Bestimmung von positiven Korrelationen zwischen Informationsaustausch und der Leistungsfähigkeit eines Unternehmens oder einer Lieferkette verwendet werden. Daraus lassen sich v. a. qualitative Aussagen über die Vorteilhaftigkeit von Informationsaustausch ableiten. In den analysierten empirischen Studien erfolgte jedoch keine Berechnung dezidierter Werte für spezifische Informationen.

### 3.3.4 Fazit

Der Wert einer Information kann in Abhängigkeit von der Zielsetzung auf verschiedene Art und Weise definiert werden. Neben finanziellen Ansätzen sind auch nicht-finanzielle Ansätze möglich, um den Wertbeitrag einer Information zu bestimmen. Bisher hat sich noch kein universell anwendbarer Bewertungsansatz durchgesetzt (KROTOVA ET AL. 2019). Da Informationen keine physischen Güter darstellen, ist eine kennzahlbasierte Auswertung der durch die Information bewirkten Situation bzw. der Systemveränderung Voraussetzung zur Ermittlung eines quantitativen Mehrwerts. Im Kontext der Produktionssteuerung ist jedoch kein ganzheitliches Kennzahlensystem verfügbar, mit dessen Hilfe der Wert einer unternehmensübergreifend ausgetauschten Information ermittelt werden kann. Mitunter fehlt ein Ansatz zur umfassenden Bewertung der logistischen Leistung eines

Produktionssystem (BUSCHER 2018). Der anwendungsbezogene Input für das Kennzahlensystem lässt sich in Abhängigkeit vom geforderten Detaillierungsgrad auf Basis mathematisch-analytischer Modelle, simulativer Modelle oder empirischer Studien erzeugen. Jedoch ist keiner der in der Literatur verfügbaren Ansätze auf die Wertermittlung von steuerungsrelevanten Informationen ausgerichtet.

### **3.4 Anreizbasierter Austausch von Informationen**

In der Ausgangssituation und Motivation wurde die mangelnde Bereitschaft von Unternehmen zum unternehmensübergreifenden Informationsaustausch aufgezeigt. Einer der Hauptgründe hierfür liegt in fehlenden finanziellen Anreizen (vgl. Abschnitt 1.1). Zur Implementierung von interorganisationalen Anreizsystemen ist ein strukturiertes Rahmenwerk erforderlich, das den Ablauf der Transaktion von Information und finanzieller Entlohnung regelt. Hierzu wird in Abschnitt 3.4.1 der etablierte Ansatz der International Data Spaces vorgestellt. In Abschnitt 3.4.2 werden verschiedene Ansätze zur Ausgestaltung von Anreizsystemen aufgezeigt.

#### **3.4.1 International Data Spaces als Ansatz zur Kollaboration**

In der von der Fraunhofer-Gesellschaft etablierten Initiative *International Data Spaces* (IDS, vormals *Industrial Data Space*) wird eine Referenzarchitektur für offene Daten-Ökosysteme entwickelt. Ziel der IDS ist es, ein Rahmenwerk zur anforderungsgerechten Konzipierung domänenspezifischer Architekturmodelle für den Datenaustausch bereitzustellen. Hierdurch soll das Potenzial von Daten zur Optimierung von Wertschöpfungsnetzwerken durch einen sicheren unternehmensübergreifenden Datenaustausch gehoben werden. Die Initiative ist im Anwenderverein *International Data Spaces Association* institutionalisiert.

Die Schlüsselmerkmale des Forschungsansatzes sind neben der Gewährleistung von Vertrauen, Datensicherheit und -souveränität sowie standardisierter Interoperabilität zudem die Bereitstellung von Marktplätzen in den Daten-Ökosystemen sowie wertschaffender Apps. Vertrauen und Datensicherheit werden durch die Bewertung und Zertifizierung der beteiligten Partner sowie sämtlicher Hard- und Softwarekomponenten erreicht. Der sog. Identity Provider übernimmt hierzu die Funktion einer neutralen Zertifizierungsstelle. Datensouveränität wird durch eine dezentrale anstelle einer zentralen Datenspeicherung mit festgelegten Nutzungsbestimmungen ermöglicht. Das Management der für den Datenaustausch erforder-

lichen Metadaten wird durch einen neutralen Broker übernommen. Hinzukommend dient die Abrechnungsstelle als Intermediär zur Abwicklung der Daten- und Finanz-Transaktionen. Interoperabilität basiert in den IDS auf standardisierten Konnektoren, die einen unternehmensübergreifenden Datenaustausch aus informationstechnologischer Perspektive sicherstellen. Die marktplatzorientierte Umsetzung des Ökosystems bedarf der Charakterisierung der Datengüter (Quelle, Wert, Nutzung etc.). Die Funktion des Marktplatzes wird über zugrunde liegende Governance-Modelle und anwendungsspezifisch ausgestaltbare Abrechnungsfunktionen erzielt. (OTTO ET AL. 2016, OTTO ET AL. 2019b, BADER ET AL. 2020)

Das Referenzarchitekturmodell ist in verschiedene Ebenen und Perspektiven gegliedert, um sämtliche relevanten Aspekte des unternehmensübergreifenden Datenaustauschs zu adressieren. Die Struktur der IDS ist in Abbildung 3-3 dargestellt. Für detaillierte Ausführungen wird auf OTTO ET AL. (2019b) verwiesen.

Zusammenfassend bieten die IDS ein individuell konfigurierbares Rahmenwerk, um anwendungsspezifische Informationsbedarfe und -angebote in einem Wertschöpfungsnetzwerk in Einklang zu bringen. Hierdurch wird zwar aus einer organisatorischen Perspektive der zunehmenden Bedeutung der Informationsökonomie Rechnung getragen. Allerdings wird die inhaltliche Perspektive eines anreizbasierten Austauschs steuerungsrelevanter Informationen nicht adressiert.

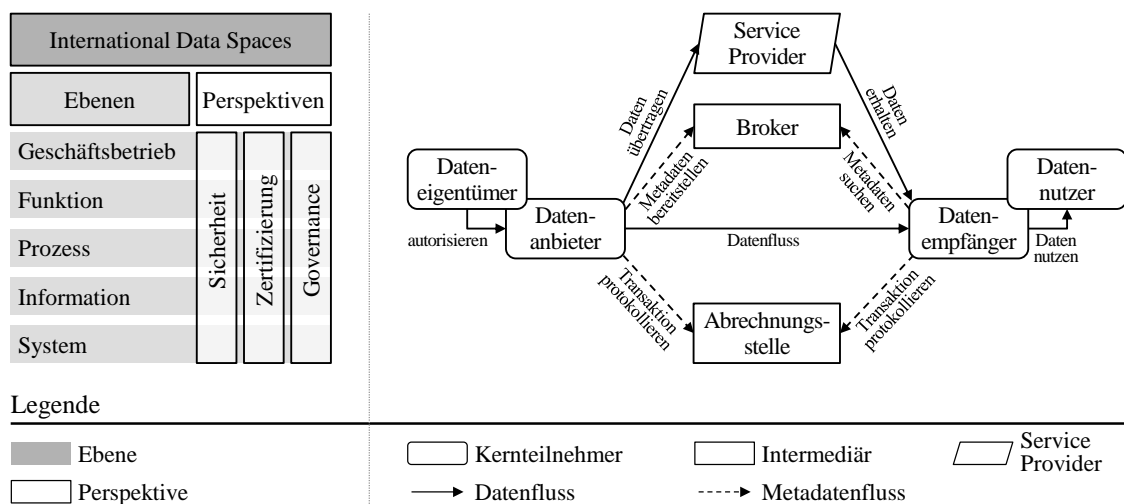


Abbildung 3-3: Referenzarchitekturmodell und Rollenmodell der IDS (i. A. an OTTO ET AL. 2019b)

### 3.4.2 Ansätze zur Gestaltung von Anreizsystemen

In der unternehmerischen Praxis sind die aus Informationstransparenz erzielbaren Vorteile häufig nicht gerecht unter den Partnern verteilt. Die Nutzeffekte treten

verstärkt bei den Informationsempfängern auf. Weil beim Informationslieferanten jedoch Kosten für die Informationsgenerierung und -bereitstellung entstehen, sollte der unternehmensübergreifende Informationsaustausch durch finanzielle Anreize motiviert werden. *“The challenge is to get all the firms in your supply network to play the game so that everybody wins. The only way you can do that is by aligning incentives”* (NARAYANAN & RAMAN 2004). Im Folgenden werden verschiedene Ansätze zur Gestaltung von Anreizsystemen vorgestellt.

NARAYANAN & RAMAN (2004) untersuchen die Erfolgsfaktoren für die Implementierung von Anreizsystemen in Lieferketten. Um gegensätzliche Intentionen in Einklang zu bringen und die Entstehung von Interessenskonflikten zu verhindern, müssen Ursache-Wirkzusammenhänge unter Berücksichtigung der individuellen Ziele der Partner identifiziert werden. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen kann ein optimiertes Anreizsystem entwickelt werden. NARAYANAN & RAMAN (2004) verweisen auf die Vorteilhaftigkeit der Einbeziehung neutraler Dritter, geben allerdings keine konkreten Handlungsempfehlungen für ein Anreizsystem zur Forcierung von unternehmensübergreifendem Informationsaustausch.

MANATSA & MCLAREN (2008) analysieren die Gestaltung von Anreizsystemen unter Verwendung der Prinzipal-Agenten-Theorie. Sie begründen den mangelnden Informationsaustausch unter Wertschöpfungspartnern mit einer ungleichen Verteilung von Risiken, Kosten und Nutzenvorteilen. Die Autoren schlussfolgern mit Hilfe des entwickelten Modells, dass die Informationsweitergabe in Lieferketten eine Kombination aus Gewinnbeteiligung, Zahlungen für Nachfrageprognosen und nicht-monetären Anreizen erfordert. Fixe einmalige oder wiederkehrende Zahlungen seien aufgrund des fehlenden Bezugs zur Informationsverwendung hingegen nicht zielführend. Einen Ansatz, wie die Bemessungsgrundlage eines Anreizsystems bestimmt werden kann, zeigen sie jedoch nicht auf.

LENG & PARLAR (2009) untersuchen die Allokation von Kosteneinsparungen, die aus dem Austausch von Nachfrageinformationen in der Lieferkette resultieren. Der durch die eingesparten Kosten erzielte Mehrwert wird mit Bezug zur kooperativen Spieltheorie über verschiedene Allokationsschemata, wie den Shapley-Werten, auf den Hersteller, den Distributor und den Einzelhändler verteilt. Dabei werden notwendige Bedingungen für stabile Kooperationen analytisch abgeleitet. LENG & PARLAR (2009) leisten neben weiteren Autoren, wie CACHON & NETESSINE (2006), SOŠIĆ (2010), BIAN ET AL. (2016), PONTE ET AL. (2016) oder DELBUFALO (2018), einen wertvollen Beitrag zur Festlegung von Zuteilungsfunktionen aus einer spieltheoretischen Perspektive. Die anderen Gestaltungsdimensionen von Anreizsystemen (vgl. Abschnitt 2.4.3) werden allerdings stets nicht berücksichtigt.



WIENGARTEN ET AL. (2010) zeigen im Rahmen ihrer Studie, dass neben dem Informationsaustausch an sich auch die gezielte Abstimmung der partnerspezifischen Anreize die operative Leistungsfähigkeit einer Lieferkette positiv beeinflusst. Voraussetzung ist dabei eine hohe Informationsqualität. Die Autoren geben jedoch keine Gestaltungsempfehlungen für Anreizsysteme.

WANG ET AL. (2014) entwickeln ein ganzheitliches Modell zur Analyse und Bewertung quantitativer sowie qualitativer Anreizmechanismen für den Informationsaustausch in Lieferketten. Ziel des Modells ist es, die Wirkzusammenhänge zwischen Anreizsystemen und der informationsbasierten Leistungsfähigkeit der Lieferkette mit Hilfe des eingeführten Information Sharing Index zu quantifizieren. Dabei spezifizieren WANG ET AL. (2014) jedoch nicht, wie der Index in einen konkreten Anwendungsfall überführt und den Partnern zugeordnet werden kann.

TAO ET AL. (2020) untersuchen den Informationsaustausch zwischen einem Käufer und zwei konkurrierenden Lieferanten zu Beschädigungen des Produkts, die während des Transports auftreten. Die Autoren weisen die Potenziale zur Kostensenkung beim Käufer und zur Gewinnsteigerung bei den Lieferanten analytisch nach. Die Entscheidung, ob die Information geteilt wird, ist dabei vom Zeitpunkt und dem Ausmaß der Störung abhängig. Um die Wahrscheinlichkeit des Informationsaustauschs zu erhöhen und damit die Leistungsfähigkeit der gesamten Lieferkette zu steigern, wird ein Anreizsystem implementiert.

### **3.4.3 Fazit**

Die Effizienz und die Effektivität einer unternehmensübergreifenden Kooperation werden von der Verfügbarkeit und der gezielten gegenseitigen Ausrichtung von monetären Anreizen beeinflusst. Das Referenzarchitekturmodell der IDS bietet ein Rahmenwerk für den anreizbasierten Informationsaustausch. Auf Basis von Datensouveränität, geeigneten Governance-Regeln und Zertifizierungsverfahren kann eine sichere unternehmensübergreifende Transaktion von Informationen und finanziellen Gegenleistungen gewährleistet werden. Über diesen Anreizkontext hinaus besteht kein Ansatz, der zu einer ganzheitlichen Gestaltung eines für den Informationsaustausch geeigneten Anreizsystems i. e. S. beiträgt.

## **3.5 Handlungsbedarf**

Die Ausführungen in Kapitel 3 zeigen den aktuellen Stand der Forschung und Technik auf. Dabei wird deutlich, dass keiner der bereits bestehenden Ansätze der Zielsetzung dieser Arbeit, einen anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen in Wertschöpfungsnetzwerken zu gewährleisten, vollumfänglich gerecht wird. Zur Befähigung der unternehmensbezogenen Produktionssteuerung, kurzfristig auf ungeplante Ereignisse reagieren zu können, ist die unternehmensübergreifende Verfügbarkeit relevanter Informationen unabdingbar. Um die Bereitschaft zum Informationsaustausch in Wertschöpfungsnetzwerken zu erhöhen, muss der Informationswert einen stärkeren Einzug in den Geschäftsalltag produzierender Unternehmen finden. Der Handlungsbedarf lässt sich hierbei in vier Handlungsfelder gliedern, welche nachstehend erläutert werden.

### **Referenzmodell zur Erklärung der Wirkzusammenhänge**

Die Potenziale des unternehmensübergreifenden Informationsaustauschs werden bislang vornehmlich im Kontext der strategischen und taktischen Planung von mittel- bis langfristigen Absatzbedarfen in Lieferketten untersucht und realisiert. Ursache für den geringen kurzfristigen Informationsaustausch ist ein fehlendes Verständnis der Auswirkungen von Informationstransparenz auf die Produktionssteuerung zur zielführenden Reaktion auf ungeplante Ereignisse, die in vor- oder nachgelagerten Produktionssystemen eingetreten sind. Es bedarf daher eines allgemeingültigen Referenzmodells, welches die Wirkzusammenhänge von unternehmensübergreifendem Informationsaustausch und Produktionssteuerung auf operativer, kurzfristiger Ebene erklärt. Durch die damit verbundene Integration von SCM und PPS werden die Voraussetzungen geschaffen, um Informationsbedarf und -angebot in Einklang zu bringen.

### **Quantifizierung des ökonomischen Informationswerts**

Um der sich wandelnden Rolle von Informationen hin zu eigenen Wirtschaftsgütern gerecht zu werden, ist die Quantifizierung des Informationswerts unerlässlich. Zur Steigerung des Austauschs steuerungsrelevanter Informationen und der damit einhergehenden unternehmerischen Reaktionsfähigkeit bei ungeplanten Ereignissen, ist in dieser Arbeit der ökonomische Informationswert im Kontext der Produktionssteuerung zu bestimmen. Dabei gilt es, eine ganzheitliche, quantitative Bewertung der Auswirkungen von Informationsaustausch auf die operative Auftragsabwicklung im Produktionssystem durchzuführen. Hierzu bedarf es der Entwicklung eines geeigneten Kennzahlensystems.

### **Anreizsystem zum Austausch steuerungsrelevanter Informationen**

Monetäre Anreize bieten das Potenzial zur Forcierung von unternehmensübergreifendem Informationsaustausch. Hierzu ist es erforderlich, ein geeignetes Anreizsystem zu entwickeln, das den quantifizierten Mehrwert der steuerungsrelevanten Informationen unter den beteiligten Wertschöpfungspartnern in Form monetärer Vorteile aufteilt. Auf diese Weise kann das gewünschte Verhalten zur Steigerung der Informationstransparenz im Wertschöpfungsnetzwerk situationsabhängig aktiviert werden. Voraussetzung ist, dass das zu konzipierende Anreizsystem sämtliche für eine Transaktion von Informationen und Geldmitteln relevanten Gestaltungsdimensionen abdeckt.

### **Methode zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen**

Der unternehmensübergreifende Austausch steuerungsrelevanter Informationen bietet eine Vielzahl an Potenzialen zur Steigerung der Effizienz und Effektivität in der Auftragsabwicklung. Um diese Potenziale in einem spezifischen Anwendungsfall zu identifizieren und gezielt zu heben, bedarf es einer strukturierten methodischen Vorgehensweise. Zur Gewährleistung einer breiten Anwendbarkeit, muss die zu entwickelnde Methode die Adaptierbarkeit des Referenzmodells auf den unternehmensbezogenen Kontext adressieren. Darüber hinaus muss die Methode die relevanten Schritte zur systematischen Bewertung und anreizbasierten Nutzbarmachung der richtigen Informationen im kurzfristigen Zeithorizont der Produktionssteuerung herausstellen.



## 4 System zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen

### 4.1 Übersicht

Ausgehend vom identifizierten Handlungsbedarf ist die Zielsetzung der Arbeit, die Produktionssteuerung in Unternehmen durch einen intensivierten interorganisationalen Informationsaustausch zur kurzfristigen Reaktion auf Ereignisse zu befähigen. Hierzu wurde im Rahmen der *Präskriptiven Studie* ein System zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen in Wertschöpfungsnetzwerken entwickelt. Nachfolgend wird die Konzeption dieses Systems vorgestellt. Zunächst werden relevante Anforderungen an das System erläutert (vgl. Abschnitt 4.2). Die Anforderungen dienen in Form von Erfolgskriterien zur Überprüfung der angestrebten Zielerreichung (BLESSING & CHAKRABARTI 2009, EBERT 2019). Um eine hohe Anwendbarkeit des Systems zu gewährleisten, werden Annahmen zur Festlegung des Betrachtungsrahmens formuliert (vgl. Abschnitt 4.3). Anschließend wird der grundlegende Systemaufbau beschrieben (vgl. Abschnitt 4.4).

### 4.2 Anforderungen an das System

Aus dem Stand der Forschung und Technik lassen sich verschiedene Anforderungen an einen anreizbasierten Informationsaustausch ableiten. Dabei ist zwischen Anforderungen an das Referenzmodell, den Informationswert, das Anreizsystem und die Methode zu unterscheiden (s. Tabelle 4-1). Die für diese Arbeit relevanten Anforderungen werden in den folgenden Abschnitten 4.2.1 bis 4.2.4 beschrieben.

Tabelle 4-1: Übersicht der formulierten Anforderungen

Kategorie	Anforderung
Referenzmodell	Berücksichtigung unternehmensinterner/-übergreifender Dimensionen
	Erklärung relevanter Wirkzusammenhänge
	Durchgängige und redundanzfreie Modellierung
Informationswert	Objektive und monetäre Bewertung der operativen Leistungsfähigkeit
	Szenariobasierte Quantifizierung des Informationswerts
Anreizsystem	Gerechtigkeit und Transparenz
	Wirtschaftlichkeit durch Anreizwirkung
Methode	Universalität und Adaptierbarkeit

## **4.2.1 Anforderungen an das Referenzmodell**

### **Berücksichtigung unternehmensinterner und -übergreifender Dimensionen**

Die Aufgabe der unternehmensinternen Produktionssteuerung ist es, geeignete Maßnahmen der Ressourcenfeinplanung, Reihenfolgebildung und Auftragsfreigabe zu initiieren, um negative Auswirkungen ungeplanter Ereignisse auf die logistische Zielerreichung zu reduzieren. Da Ereignisse aber nicht nur im fokussierten Unternehmen, sondern auch in vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen auftreten können, muss das Referenzmodell unternehmensintern sowie -übergreifend relevante Dimensionen des Informationsaustauschs berücksichtigen.

### **Erklärung relevanter Wirkzusammenhänge**

Eine weitere Anforderung an das Referenzmodell ist die Fokussierung auf die wesentlichen Wirkzusammenhänge zwischen den drei Dimensionen der Ereignisse, der Produktionssteuerung und des unternehmensübergreifenden Informationsaustauschs. Ziel des Modells ist es, den Bedarf an relevanten Informationen zur Initiierung von Steuerungsmaßnahmen mit dem netzwerkweiten Informationsangebot in Einklang zu bringen. Das Relevanzkriterium resultiert aus der einem Wertschöpfungsnetzwerk inhärenten Komplexität. Um trotz dieser Komplexität eine hohe Übersichtlichkeit des Referenzmodells sicherzustellen, ist es zweckmäßig, nicht die Integration sämtlicher Einflussfaktoren anzustreben. Vielmehr sind die wesentlichen Wirkzusammenhänge in Bezug auf die logistische Zielerreichung in einem geeigneten Abstraktionsgrad zu erklären.

### **Durchgängige und redundanzfreie Modellierung**

Ein allgemeingültiges Referenzmodell besitzt per Definition Vorlagencharakter und dient zur Ableitung von unternehmensspezifischen Modellen (KLINGER & WENZEL 2000, KRCCMAR 2015, VDI/VDE 2019). Um die Anwendbarkeit des Referenzmodells zu gewährleisten, sind folglich verschiedene formale und kontextbezogene Kriterien zu erfüllen. Von hoher Priorität ist zunächst eine durchgängig strukturierte und redundanzfreie Modellierungsweise. Hierdurch kann ein einheitliches und auf den jeweiligen Anwendungsfall anpassbares Modell der Wirkzusammenhänge erreicht werden, welches für die verschiedenen an der PPS beteiligten Fachdomänen leicht verständlich ist.

## **4.2.2 Anforderungen an den Informationswert**

### **Objektive und monetäre Bewertung der operativen Leistungsfähigkeit**

Zur Ermittlung des Informationswerts im Kontext der Produktionssteuerung sind die Auswirkungen auf die operative Leistungsfähigkeit des Produktionssystems monetär zu quantifizieren. Die Anforderung der Objektivität gewährleistet dabei, eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus der Leistungsbewertung zu erreichen und etwaigen Interpretationsspielraum zu vermeiden. Um die Objektivität bei der Bestimmung des steuerungsbezogenen Informationswerts sicherzustellen, bedarf es eines geeigneten quantitativen Kennzahlensystems, das relevante produktionslogistische Zielgrößen berücksichtigt.

### **Szenariobasierte Quantifizierung des Informationswerts**

Die Verfügbarkeit von Ereignisinformationen aus vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen bietet der Produktionssteuerung das Potenzial, frühzeitig Maßnahmen zur Entgegenwirkung der Folgen des Ereigniseintritts zu initiieren. Im Rahmen der Informationswertbestimmung gilt es, das Verhalten des Produktionssystems unter Berücksichtigung der durch die Produktionssteuerung vorgenommenen Aktualisierungen des Produktionsplans zu analysieren. Aufgrund dieses prädiktiven Charakters bedarf es eines experimentierfähigen Modells, das die operative Leistungsfähigkeit in verschiedenen Szenarien mit variierender Informationsverfügbarkeit bewertet und somit eine Quantifizierung der Auswirkungen des Informationsaustauschs auf die Auftragsabwicklung ermöglicht.

## **4.2.3 Anforderungen an das Anreizsystem**

### **Gerechtigkeit und Transparenz**

Das Ziel der Anreizkompatibilität wird langfristig nur bei gerechter Aufteilung der erzielten monetären Vorteile unter den Wertschöpfungspartnern erreicht. Gerechtigkeit meint hierbei, dass die Zuteilung die Beiträge der Partner widerspiegelt und sämtliche Unternehmen unter Berücksichtigung der verfügbaren Datengrundlage gleichgestellt sind. Um die Nachvollziehbarkeit der Anreizsystemgestaltung zum intensivierten Informationsaustausch zu gewährleisten, bedarf es daher zum einen einer leistungsorientierten Ausrichtung des Anreizsystems. Zum anderen ist ein hoher Grad an Transparenz hinsichtlich der abzuwickelnden Transaktion von Informationen und Finanzmitteln im Wertschöpfungsnetzwerk erforderlich.

## **Wirtschaftlichkeit durch Anreizwirkung**

Die Funktion des zu entwickelnden Anreizsystems ist die Sicherstellung der Anreizwirkung bei den Wertschöpfungspartnern. Hierzu muss der monetäre Nutzen den Aufwand zur Entwicklung, Implementierung und Anwendung des anreizbasierten Systems zum Informationsaustausch überwiegen. Nur bei einer durch das Anreizsystem gegebenen Wirtschaftlichkeit können Unternehmen langfristig zu einem Austausch steuerungsrelevanter Informationen motiviert werden.

### **4.2.4 Anforderungen an die Methode**

#### **Universalität und Adaptierbarkeit**

Unternehmen und Wertschöpfungsnetzwerke weisen spezifische Charakteristika auf, wie z. B. Unternehmensgröße, Branchenzugehörigkeit, Produktspektrum oder eingesetzte Ressourcen. Voraussetzung der universellen Anwendbarkeit des Systems innerhalb des Betrachtungsbereichs (vgl. Abschnitt 4.3) ist ein hoher Grad an Übertragbarkeit. Die Grundlage für die Erreichung einer Adaptierbarkeit wird durch verschiedene Faktoren gebildet. Zum einen gilt es, auf Basis einer allgemeingültigen und konsistenten Beschreibung eine hohe Nachvollziehbarkeit zu erzeugen. Zum anderen muss eine generische und modular konzipierte Methode entwickelt werden. Diese muss wiederum eine aufwandsarme Implementierung des Systems in verschiedenen Anwendungsfällen ermöglichen.

## **4.3 Festlegung des Betrachtungsrahmens**

Im Folgenden wird der Betrachtungsrahmen des in dieser Arbeit zu entwickelnden Systems spezifiziert. Die Grundlage bildet der aus der Analyse des Stands der Forschung und Technik abgeleitete Handlungsbedarf. Basierend auf diesem Handlungsbedarf werden wesentliche Annahmen formuliert, die den Gültigkeitsbereich des wissenschaftlichen Ansatzes in Bezug auf die Anwendbarkeit eingrenzen.

#### **Charakteristika des Wertschöpfungsnetzwerks**

Das zu untersuchende Wertschöpfungsnetzwerk ist konfiguriert und wird als gegeben angenommen. Beteiligte Partner und deren Beziehungen sind eindeutig identifizier-, definier- und abgrenzbar. Das Wertschöpfungsnetzwerk weist die in Tabelle 4-2 ausgewiesenen Charakteristika auf.



Tabelle 4-2: Festlegung des Betrachtungsrahmens hinsichtlich Wertschöpfungsnetzwerken  
(Fokus der Arbeit: graue Markierung)

Merkmals	Ausprägungen			
Partnerzahl	bilateral		multilateral	
Richtung	horizontal	vertikal		lateral/diagonal
Zeithorizont	Einzelfall	kurzfristig ( $< 1$ Jahr)	mittelfristig (1-5 Jahre)	langfristig ( $> 5$ Jahre)
Steuerungsform	hierarchisch		heterarchisch	
Machtverhältnis	fokales Unternehmen	gleichberechtigte Partner		externer Koordinator
Substituierbarkeit	leicht	schwierig		nicht möglich
Bindungsintensität	formlose Absprache	Vertrag		Kapitalbeteiligung
Kooperationsgegenstand	Materialaustausch	Materialtransfer (Logistik)	Informationsaustausch	Ressourcennutzung
Art der Ressourcennutzung	Eigenfertigung	verlängerte Werkbank	Ressourcenteilung	Ressourcenpool
Auftragsauslösung	deterministisch	sporadisch		stochastisch
Unternehmensbereich	Beschaffung/ Einkauf	Produktion	Absatz/ Vertrieb	Sonstige (F&E etc.)
Räumlicher Bezug	lokal	regional	national	international

Zudem ist darauf hinzuweisen, dass zur Komplexitätsreduzierung ausschließlich lineare Wertschöpfungsketten untersucht werden. Potenzielle Wechselwirkungen zwischen sich gegenseitig beeinflussenden parallelen Zulieferketten werden hingegen nicht berücksichtigt.

### Charakteristika der Produktionssteuerung

Das System adressiert die kurzfristige, operative Perspektive der Produktionssteuerung. Langfristige, strategische Gestaltungsaufgaben sind ebenso wenig Gegenstand der Untersuchung wie mittelfristige, taktische Planungsaufgaben der Aufbau- und Ablauforganisation von Unternehmen und Wertschöpfungsnetzwerken. Die Informationswertbestimmung erfolgt auf Basis eines gegebenen Produktionsplans zur Erfüllung konkreter Kundenaufträge. Für den Auftragszugang und -abgang sowie die Reihenfolge sind initiale Plan-Werte festgelegt.

Der Fokus der Arbeit liegt auf Störungsereignissen, die innerhalb der Wertschöpfungskette eintreten und einer schnellen Reaktion im Rahmen der Produktionssteuerung bedürfen. Potenzielle zukünftige Risiken werden hingegen nicht betrachtet. Sie sind Bestandteil eines Risikomanagements. Auch werden externe Umwelteinflüsse, wie makroökonomische (z. B. Naturkatastrophen) oder politisch-rechtliche Ereignisse, nicht berücksichtigt.

Aufträge werden frühestens zum geplanten Liefertermin abgeschlossen. Verfrühte Lieferungen zum Kunden werden nicht berücksichtigt. Im Fall einer zeitigeren Fertigstellung wartet der Auftrag in einem Fertigwarenlager bis zum Liefertermin.

### **Charakteristika der Informationen und des Informationsaustauschs**

Unter Berücksichtigung der Ausgangssituation hinsichtlich informationstechnologischer Entwicklungen steigt die Menge erhobener auftragsrelevanter Rückmelde-daten kontinuierlich an. Durch die zunehmende horizontale und vertikale Vernetzung von IT-Systemen kann die Ad-hoc-Verfügbarkeit von Informationen gewährleistet werden (GHESQUIERES ET AL. 2017). In dieser Arbeit wird daher angenommen, dass keine technologischen Einschränkungen in Bezug auf Infrastruktur und Anwendungssysteme zur Deckung von Informationsbedarfen bestehen. Zudem wird von der Annahme ausgegangen, dass eine für den Nutzungszweck ausreichende Informationsqualität zur Verfügung steht. Die diversen die Informationsqualität charakterisierenden Dimensionen werden somit als gegeben angesehen. Hierzu zählen bspw. Genauigkeit, Konsistenz, Vollständigkeit, Verfügbarkeit oder Aktualität der Informationen (OTTO & ÖSTERLE 2016, ZECHMANN 2018).

Der Austausch von Informationen zwischen zwei Partnern eines heterarchisch gesteuerten Wertschöpfungsnetzwerks (s. Tabelle 4-2) kann trotz der Anforderungen an die Objektivität des Informationswerts und die Gerechtigkeit des Anreizsystems (vgl. Abschnitt 4.2) von psychologischen Effekten, wie bspw. Vertrauen, Verantwortung oder Sicherheitsbedürfnis, beeinflusst werden (PANAHIFAR ET AL. 2018). Da der Fokus dieser Arbeit allerdings auf der Untersuchung der produktionstechnischen anstelle der psychologischen Wirkzusammenhänge von Informationsaustausch und Produktionssteuerung liegt, werden diese subjektiv-menschlichen Einflüsse nicht tiefergehend berücksichtigt. Unter Beachtung der übergeordneten Ziele des Wertschöpfungsnetzwerks wird ein vertrauens- und verantwortungsvolles Handeln der gleichberechtigten Partner (ggf. unter Zuhilfenahme eines neutralen Koordinators) vorausgesetzt. Im Übrigen wird darauf hingewiesen, dass der interorganisationale Informationsaustausch unter der Prämisse erfolgt, dass keine gesetzlichen Vorschriften oder vertragliche Restriktionen verletzt werden.

Mit dem Austausch der Ereignisinformation wird unmittelbar die simulationsbasierte Umplanung im Rahmen der Produktionssteuerung und die damit einhergehende Quantifizierung des Informationswerts ausgelöst. Informationsaustausch und -bewertung finden folglich in der gleichen Zeitperiode statt. Durch den Informationsaustausch wird kein Nutzen in einer nachgelagerten Periode erzeugt. Somit sind bei der Wertermittlung keine Diskontierungsfaktoren zu berücksichtigen.

## 4.4 Systemaufbau

Für das in dieser Arbeit zu entwickelnde System zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen sind mehrere Systemelemente erforderlich. Abbildung 4-1 gibt einen Überblick der Elemente *Referenzmodell*, *Informationswert*, *Anreizsystem* und *Methode zum anreizbasierten Informationsaustausch*.

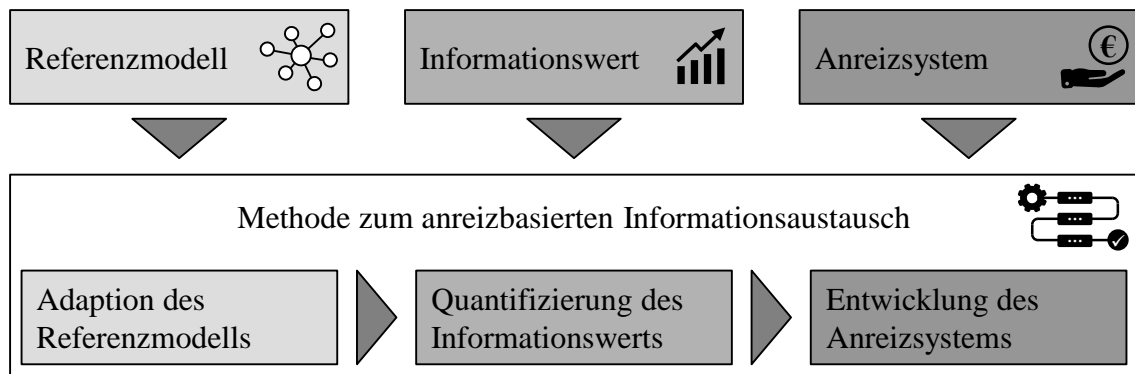


Abbildung 4-1: Aufbau des Systems zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen

Das *Referenzmodell* (vgl. Kapitel 5) bildet das Fundament für den anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen. Um im Rahmen der Produktionssteuerung auf die in vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen eintretenden Ereignisse reagieren zu können, bedarf es eines zielführenden unternehmensübergreifenden Informationsaustauschs. Ziel des Referenzmodells ist die Abbildung und Erklärung der allgemeingültigen Wirkzusammenhänge zwischen Informationsaustausch und Produktionssteuerung. Hierdurch kann das dem Betrachtungssystem zur Verfügung stehende Informationsangebot mit dem steuerungsabhängigen Informationsbedarf in Einklang gebracht werden. Zunächst ist es erforderlich, die durch Informationstransparenz bedingten Wirkzusammenhänge im Kontext der Produktionssteuerung zu analysieren. Dies ermöglicht es, die Auswirkungen von Informationsaustausch auf die logistischen Zielgrößen zu bewerten und somit die Leistungsfähigkeit der Produktion zu erhöhen. Zur Integration sämtlicher relevanter logischer Beziehungen beinhaltet das Referenzmodell mehrere Dimensionen. Diese können anwendungsfallspezifisch adaptiert werden.

Grundvoraussetzung für die Akzeptanz von Informationen als eigenständige Wirtschaftsgüter ist die Berechnung des *Informationswerts* (vgl. Kapitel 6). Die Bewertung des monetären Mehrwerts, der durch einen intensivierten unternehmensübergreifenden Informationsaustausch erzielt wird, soll die Relevanz von Transparenz in der Auftragsabwicklung vom Rohstofflieferanten bis zum Endkunden

aufzeigen. Zur Quantifizierung des Informationswerts bedarf es in einem ersten Schritt der Festlegung eines Bewertungsansatzes. Hierauf aufbauend ist ein Kennzahlensystem zu entwickeln, das den Einfluss der ausgetauschten Information auf die Leistungsfähigkeit des Produktionssystems bestimmt. Dazu muss das Kennzahlensystem sämtliche relevanten Dimensionen der produktionstechnischen Leistungserstellung integrieren. Der schließlich in Form einer aggregierten Kennzahl zu definierende Informationswert resultiert aus den Unterschieden der operativen Leistung des Produktionssystems in Abhängigkeit von der zeitbezogenen Verfügbarkeit der Information.

Im Rahmen des Systemelements *Anreizsystem* (vgl. Kapitel 7) wird der Informationsaustausch aus einer unternehmensübergreifenden, transaktionsorientierten Perspektive untersucht. Durch ein Anreizsystem soll gewährleistet werden, dass Unternehmen einen direkten finanziellen Vorteil erhalten. Hierdurch soll ihre Motivation zur Bereitstellung von steuerungsrelevanten Informationen gesteigert werden. Dies setzt zunächst voraus, dass die organisatorischen Rahmenbedingungen des Anreizkontexts feststehen, welche für die material-, informations- und finanzflussbezogene Interaktion mit Partnerunternehmen unerlässlich sind. Im Übrigen gilt es, die verschiedenen Gestaltungsdimensionen eines Anreizsystems i. e. S. für den Kontext der vorliegenden Arbeit zu spezifizieren. Im Ergebnis tragen die Gestaltungsdimensionen wesentlich zur Überführung des quantifizierten Informationswerts in einen unternehmensübergreifenden Finanzfluss bei.

Das Ziel der *Methode zum anreizbasierten Informationsaustausch* (vgl. Kapitel 8) ist die Forcierung der unternehmensübergreifenden Transparenz von steuerungsrelevanten Informationen in industriellen Anwendungsfällen. Hierzu gilt es, die Erkenntnisse aus den drei Systemelementen Referenzmodell, Informationswert und Anreizsystem in einer anwendungsorientierten Vorgehensweise zu integrieren. Ausgehend von dem entwickelten Referenzmodell muss zunächst für den definierten Anwendungsfall ein Modell der Produktionssteuerung abgeleitet werden, das den steuerungsabhängigen Informationsbedarf beinhaltet (vgl. Abschnitt 8.2). Anschließend folgt die kennzahlengestützte Quantifizierung des Informationswerts (vgl. Abschnitt 8.3). Zuletzt wird ein anwendungsspezifisches Anreizsystem entwickelt, das den Informationswert in einen finanziellen Anreiz überführt (vgl. Abschnitt 8.4). Bei der Entwicklung der Methode ist nach dem Turnus der im Zuge der Anwendung durchzuführenden Schritte zu differenzieren. Manche Methodenschritte bedürfen einer einmaligen unternehmensbezogenen Adaption, andere hingegen sind bei jedem Informationsaustausch erforderlich.

## 5 Referenzmodell des steuerungsrelevanten Informationsaustauschs

### 5.1 Übersicht

Die Zielsetzung des Referenzmodells ist die Beschreibung und Erklärung wesentlicher, allgemeingültiger Wirkzusammenhänge von Informationsaustausch und Produktionssteuerung zur Erreichung produktionslogistischer Ziele. Das Referenzmodell dient Entscheidungsträgern in Unternehmen zur Ableitung anwendungsspezifischer Modelle. Hierdurch sollen die Informationstransparenz in Wertschöpfungsnetzwerken gesteigert und Differenzen zwischen Bedarf und Angebot an steuerungsrelevanten Informationen behoben werden. In Abbildung 5-1 ist eine Übersicht der nachfolgend erklärten Bestandteile des Referenzmodells gegeben.

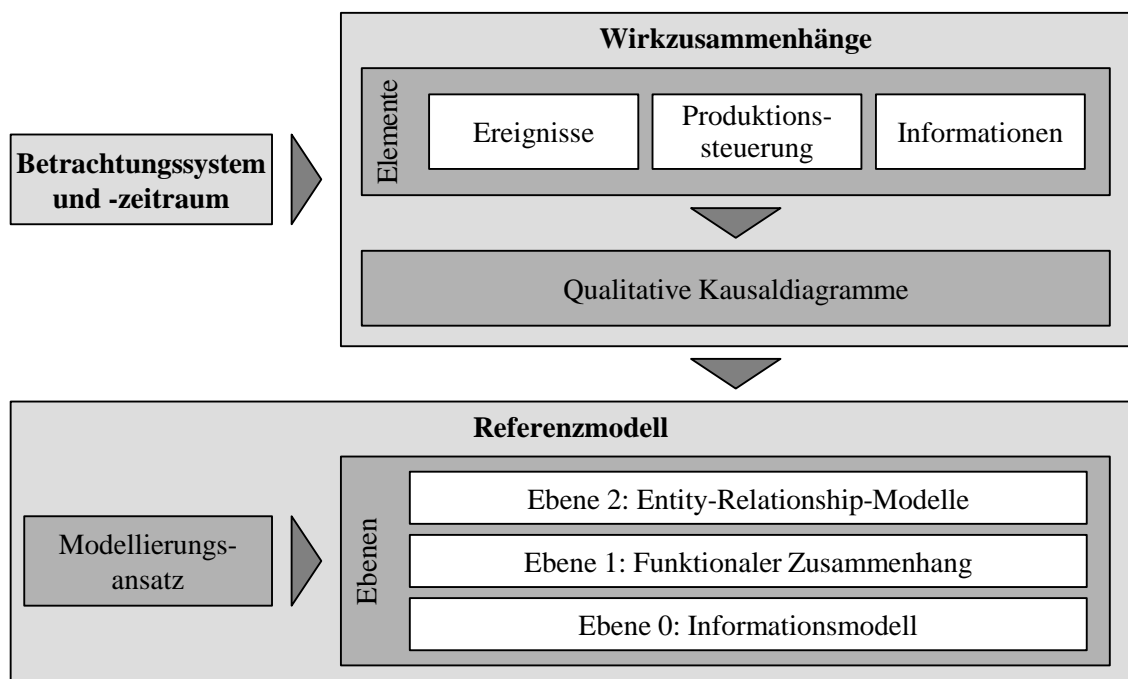


Abbildung 5-1: Übersicht des Referenzmodells

Die Grundlage für das Referenzmodell bildet ein einheitliches Verständnis über das *Betrachtungssystem* und den *Betrachtungszeitraum* (vgl. Abschnitt 5.2). Ausgehend von der generischen Definition der Systemgrenze sowie des zeitlichen Ablaufs des steuerungsrelevanten Informationsaustauschs erfolgt die Analyse der *Wirkzusammenhänge* (vgl. Abschnitt 5.3). Hierzu sind zunächst die in Bezug auf

die Integration in das Referenzmodell relevanten Elemente der Dimensionen *Ereignisse*, *Produktionssteuerung* und *Informationen* zu identifizieren, zu analysieren und zu strukturieren (vgl. Abschnitt 5.3.1). Ausgehend hiervon werden die Wirkzusammenhänge von Informationsaustausch und Produktionssteuerung untersucht und in Form qualitativer Kausaldiagramme aufbereitet (vgl. Abschnitt 5.3.2). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird für die drei Aufgaben der Produktionssteuerung Ressourcenfeinplanung, Reihenfolgebildung und Auftragsfreigabe jeweils ein separates Kausaldiagramm entwickelt.

Anschließend sind die gewonnenen Erkenntnisse in ein ganzheitliches und allgemeingültiges *Referenzmodell* des steuerungsrelevanten Informationsaustauschs zu integrieren (vgl. Abschnitt 5.4). Das Ziel des Referenzmodells ist es, das zur Verfügung stehende Informationsangebot mit dem steuerungsabhängigen Bedarf an Informationen zum Auftragsfortschritt, zu Beständen, zu Kapazitäten etc. in Einklang zu bringen. Um eine hohe Einheitlichkeit und Nachvollziehbarkeit als Voraussetzung für eine breite Anwendbarkeit des Referenzmodells zu gewährleisten, ist zunächst ein geeigneter und standardisierter Modellierungsansatz festzulegen (vgl. Abschnitt 5.4.1).

Das Referenzmodell ist aus mehreren Ebenen aufgebaut (vgl. Abschnitt 5.4.2). Ebene 0 enthält das dem Referenzmodell zugrunde liegende Informationsmodell. Das strukturierte und auswertbare Informationsmodell beinhaltet verschiedene Kategorisierungsmöglichkeiten sowie Details hinsichtlich des Bezugs zur Produktionssteuerung und der Netzwerkelevanz der unternehmensübergreifend auszutauschenden Informationen. Auf Ebene 1 wird der funktionale Zusammenhang zwischen dem Ablauf respektive den Aufgaben der Produktionssteuerung, dem hieraus resultierenden Informationsbedarf sowie dem unternehmensübergreifenden Informationsangebot beschrieben. Die Basis von Ebene 1 bilden die qualitativen Kausaldiagramme. In Ebene 2 werden die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Informationsentitäten mit Hilfe von Entity-Relationship-Modellen (ERM) aufgezeigt.

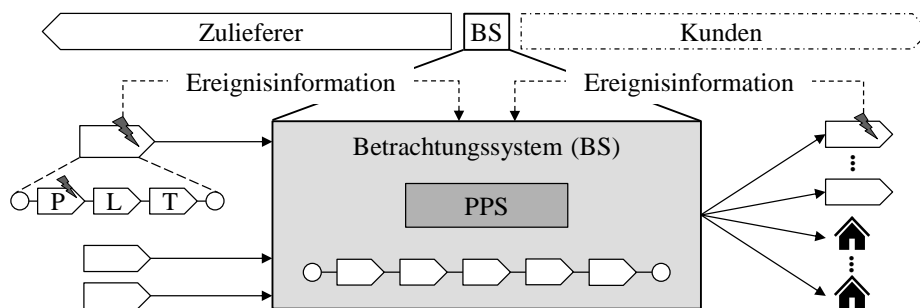
Das Referenzmodell bietet eine grundlegende Orientierungshilfe zum steuerungsrelevanten Informationsaustausch. Um den unternehmenskontextabhängigen Anforderungen und Rahmenbedingungen gerecht zu werden, muss das generische Referenzmodell anwendungsspezifisch adaptiert werden (vgl. Abschnitt 8.2). Neben der Erklärung der allgemeinen Wirkzusammenhänge dient das Referenzmodell zudem als Grundlage für die zur Quantifizierung von Informationswerten zu entwickelnde Simulationsumgebung (vgl. Kapitel 6).

## 5.2 Betrachtungssystem und -zeitraum

### 5.2.1 Betrachtungssystem

Die Grundlage für eine zielführende Analyse der Wirkzusammenhänge auf Produktionssteuerungsebene und die Ermittlung des Werts interorganisational auszutauschender Informationen bildet die Festlegung des Betrachtungssystems. Eine geeignete Systemgrenze für die Untersuchung der operativen Abläufe eines Produktionssystems lässt sich auf der Prozessebene bestimmen. Die Produktions- und Logistikprozesse eines Wertschöpfungsnetzwerks lassen sich unter Verwendung der Referenzprozesse *Produzieren*, *Lagern* und *Transportieren* vollständig modellieren. Aus Gründen der Übersichtlichkeit der Modelle ist die Bildung von Prozesshierarchieebenen zur Aggregation von Subprozessen respektive Prozessschritten zu übergeordneten Prozessebenen zweckmäßig. (ZIPFEL ET AL. 2021)

In Abbildung 5-2 ist die Einordnung des Betrachtungssystems in ein Wertschöpfungsnetzwerk schematisch dargestellt (vgl. hierzu auch das in Abschnitt 3.2.2 vorgestellte SCOR-Modell). Entscheidend ist in diesem Zusammenhang, dass innerhalb der Systemgrenze Produktionssteuerungsmaßnahmen zur Reaktion auf unvorhergesehene Ereignisse ergriffen werden können. Voraussetzung für das Betrachtungssystem ist daher, dass mindestens ein Produktionsprozess innerhalb der Systemgrenze liegt. Die Granularität dieses Produktionsprozesses ist unerheblich. Je feingranularer der Prozess modelliert wird, desto vielfältiger sind die Potenziale der Produktionssteuerung. Produktionsaufträge bilden die Basiselemente der Materialflussprozesse. Das Betrachtungssystem stellt einen Ausschnitt des Wertschöpfungsnetzwerks dar und besitzt Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen.



#### Legende

Prozess(-schritte): Produzieren (P), Lagern (L), Transportieren (T)	Kunde
Materialfluss	Informationsfluss
Störungsereignis	Prozessstart/-ende

Abbildung 5-2: Übersicht des Betrachtungssystems (i. A. an ZIPFEL ET AL. 2021)

Die Systemgrenze des Betrachtungssystems ist von der Zielsetzung des Anwendungsfalls abhängig. Vorliegend werden die Unternehmensgrenzen als Systemgrenze festgelegt (vgl. Abschnitt 2.2.1). Berücksichtigung finden in dieser Arbeit solche Ereignisse, die bei Zulieferern oder Kunden eintreten können, Auswirkungen auf das Betrachtungssystem besitzen und zu deren Gegensteuerung ein Informationsaustausch erforderlich ist. Details zu diesen *Störungsereignissen* sind in Abschnitt 5.3.1.1 gegeben. Aufgrund der mit den Ereignissen einhergehenden Abweichungen vom ursprünglichen Plan-Zustand, befindet sich das Betrachtungssystem in einem sog. *Störungsbetrieb* (s. Abbildung 5-3).

## 5.2.2 Betrachtungszeitraum

Darüber hinaus ist der für das Referenzmodell und die Informationswertbestimmung heranzuziehende Betrachtungszeitraum zu definieren. Die Festlegung charakteristischer Zeitpunkte erzeugt ein einheitliches Verständnis über den zeitlichen Ablauf des Informationsaustauschs in einem generischen Betrachtungszeitraum. Die zeitliche Einordnung der Auswirkungen eines in einer vor- oder nachgelagerten Wertschöpfungsstufe eingetretenen Ereignisses sowie des aus dem Informationsaustausch resultierenden Potenzials ist in Abbildung 5-3 dargestellt.

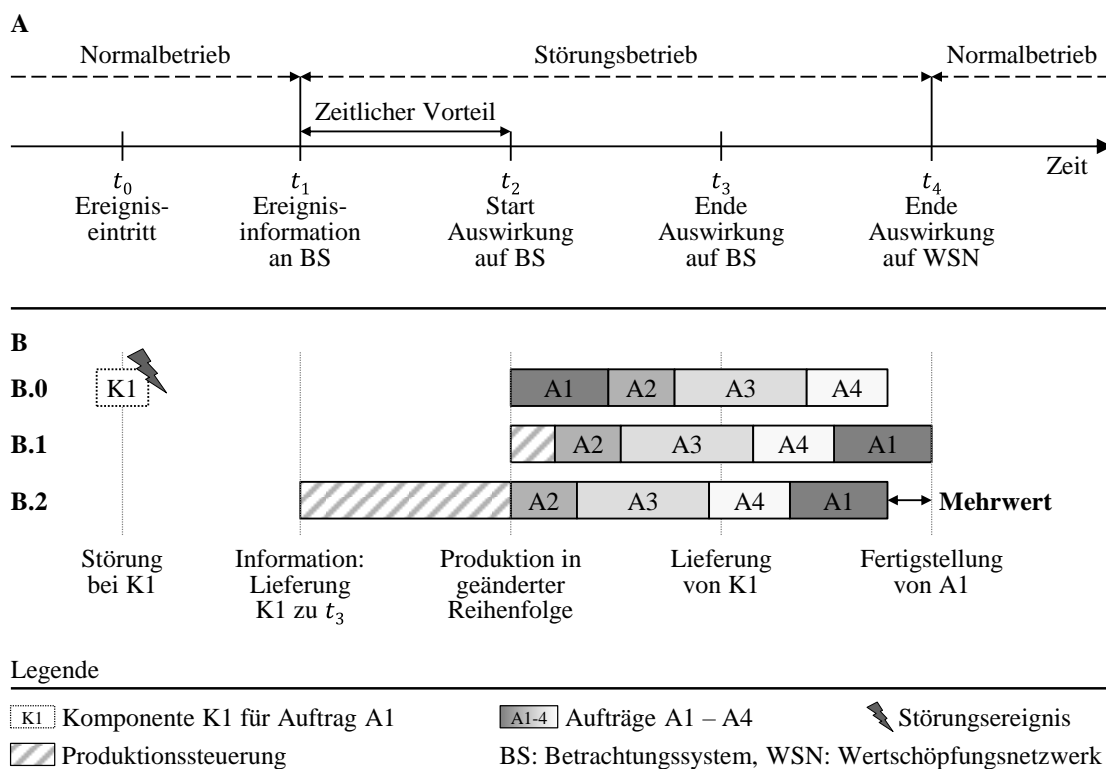


Abbildung 5-3: (A) Übersicht des Betrachtungszeitraums mit (B) beispielhafter Erklärung des Mehrwerts durch Informationsaustausch (i. A. an ZIPFEL ET AL. 2021)



Der Betrachtungszeitraum (s. Ausschnitt A in Abbildung 5-3) beginnt mit dem Eintreten eines Ereignisses zum Zeitpunkt  $t_0$ . Bezogen auf den idealtypischen Störungsverlauf nach HEIL (1995) entspricht dies dem Beginn der latenten Phase (vgl. Abschnitt 3.2.1). Zum Zeitpunkt  $t_1$  wird die Information über den Ereignisseintritt an das Betrachtungssystem übermittelt. Da in dieser Arbeit etwaige Latenzzeiten bei der Informationsübertragung aufgrund ihres geringen Einflusses keine Berücksichtigung finden, entspricht  $t_1$  dem Zeitpunkt, in welchem die Information dem Betrachtungssystem zur Verarbeitung vorliegt. Die Aufgabe der Produktionssteuerung ist es, unmittelbar nach dem Eintritt von  $t_1$  und dem damit verbundenen Übergang vom Normal- in den Störungsbetrieb, geeignete Gegenmaßnahmen zu initiieren und die Auswirkungen des Ereignisses auf das Betrachtungssystem zu reduzieren. Der Zeitpunkt  $t_2$  ist durch den Beginn der Ereignisauswirkungen auf den Materialfluss des Betrachtungssystems charakterisiert und stellt somit den Beginn der manifesten Phase nach HEIL (1995) dar. Die Differenz zwischen  $t_1$  und  $t_2$  entspricht dem zeitlichen Vorsprung, der basierend auf dem Informationsaustausch zur Initiierung von Steuerungsmaßnahmen zur Verfügung steht. Die Höhe des durch diesen Handlungsspielraum erzielten Mehrwerts ist abhängig vom Anwendungsfall (vgl. Kapitel 6). Findet hingegen kein Informationsaustausch zwischen den Wertschöpfungspartnern statt, fallen die Zeitpunkte  $t_1$  und  $t_2$  zusammen. Der Zeitpunkt  $t_3$  ist durch das Ende der Störungswirkung auf den eingehenden Materialfluss des Betrachtungssystems gekennzeichnet. Da die Entstörung des vom Betrachtungssystem ausgehenden Materialflusses zu  $t_3$  noch nicht abgeschlossen ist, endet die manifeste Phase des Störungsbetriebs erst zum Zeitpunkt  $t_4$ . Der Zeitpunkt  $t_4$  entspricht dem Ende der Ereignisauswirkungen auf die vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen. Durch das Ergreifen von Steuerungsmaßnahmen ist zu  $t_4$  der störungsbedingte Rückstand abgebaut und das Betrachtungssystem geht in den Normalbetrieb über.  $t_4$  ist somit von der operativen Leistung des durch die Produktionssteuerung beeinflussten Produktionssystems und damit von der Informationstransparenz im Wertschöpfungsnetzwerk abhängig.

In Ausschnitt B von Abbildung 5-3 ist der erzielbare Mehrwert in einem anwendungsorientierten Beispiel dargestellt. Infolge einer Störung beim Zulieferer der für Auftrag A1 benötigten Komponente K1, kann K1 nicht rechtzeitig zu  $t_2$ , sondern erst zu  $t_3$  geliefert werden. Der ursprüngliche Produktionsplan (B.0) ist somit nicht umsetzbar. Erfolgt kein Informationsaustausch an das Betrachtungssystem (B.1), beginnt die Produktionssteuerung zu  $t_2$ , potenzielle Gegenmaßnahmen zu prüfen und bei Eignung zu initiieren. Findet hingegen ein frühzeitiger Informationsaustausch statt (B.2), steigt das Potenzial der Produktionssteuerung, durch die Optimierung des Produktionsablaufs einen Mehrwert gegenüber B.1 zu erreichen.

## 5.3 Wirkzusammenhänge von Informationsaustausch und Produktionssteuerung

### 5.3.1 Elemente der analysierten Wirkzusammenhänge

#### 5.3.1.1 Ereignisse

Der Eintritt von Ereignissen bildet die Ausgangssituation für die Initiierung von kurzfristigen Produktionssteuerungsmaßnahmen. Primäres Anliegen ist es, negative Auswirkungen der Ereignisse auf die logistische Zielerreichung zu reduzieren. Um die Potenziale der Produktionssteuerung bestmöglich auszuschöpfen und bei Identifizierung eines Ereignisses ad hoc und zielorientiert zu reagieren, ist eine Analyse, Klassifizierung und Priorisierung der Ereignisse erforderlich.

Im Fokus dieser Arbeit stehen außerbetrieblich verursachte Ereignisse, die zu ungeplanten und unerwünschten Plan-Ist-Abweichungen im unternehmensübergreifenden Materialfluss führen. Innerhalb des Betrachtungssystems verursachte Störungsereignisse werden nicht adressiert, wie z. B. mit einem internen Maschinenausfall einhergehende Kapazitätsreduzierungen. Zur zielgerichteten, kurzfristigen Reaktion durch die Produktionssteuerung erfordern diese Ereignisse einen dem Materialfluss zugehörigen Informationsfluss zwischen den Kooperationspartnern. Neben Störungen in vorgelagerten Wertschöpfungsstufen (z. B. Lieferverzögerungen) werden auch Ereignisse aus nachgelagerten Wertschöpfungsstufen (z. B. Eilaufträge) adressiert. Geplante, konfirmatorische Ereignisse werden aufgrund des fehlenden Erfordernisses zur Reaktion nicht betrachtet. Ebenfalls nicht berücksichtigt werden sollen aufgrund der verhältnismäßig geringen Eintrittswahrscheinlichkeit und -häufigkeit externe makroökonomische Umfeldeinflüsse, die außerhalb der materialflussbezogenen Lieferkette liegen (vgl. Abschnitt 4.3).

Störungsereignisse lassen sich nach verschiedenen Merkmalen und charakteristischen Merkmalsausprägungen klassifizieren (s. SCHWARTZ & VOß 2004, NIEHUES 2016 oder BENSEL ET AL. 2008). Aus Perspektive des Betrachtungssystems (vgl. Abschnitt 5.2.1) ist der logistische Bezug der in vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen eingetretenen Ereignisse zum unternehmensübergreifenden Materialfluss von zentraler Bedeutung. Ereignisse können sich auf Divergenzen hinsichtlich des *richtigen Objekts*, der *richtigen Quantität*, des *richtigen Zeitpunkts*, des *richtigen Orts* oder der *richtigen Qualität* beziehen. In der Literatur

werden diese 5 „R“ häufig um die Faktoren *richtige Kosten* und *richtige Information* zur sog. 7 „R“-Regel der Logistik erweitert (VOIGT ET AL. 2018). Da im Rahmen der Produktionssteuerung jedoch nicht auf Kostenabweichungen in vorgelagerten Wertschöpfungsstufen reagiert werden kann, wird dieser Faktor im Weiteren nicht berücksichtigt. Der Faktor *richtige Information* stellt die Zielgröße dieser Arbeit dar und wird daher ebenfalls nicht als Einflussgröße betrachtet. In Tabelle 5-1 sind die nach den 5 „R“ klassifizierten Ereignisse zusammengefasst.

Tabelle 5-1: Übersicht der Ereignisklassifizierung in dieser Arbeit

<i>Richtige/r/s...</i>	Lieferant (vorgelagert)	Kunde (nachgelagert)
<i>Objekt</i>	falsches Produkt	Eilauftrag
<i>Quantität</i>	unvollständige Lieferung	Änderung der Produktmenge
<i>Zeitpunkt</i>	zu späte Lieferung (Fertigstellung)	Änderung des Liefertermins
<i>Ort</i>	falscher Lieferort	
<i>Qualität</i>	Qualitätsfehler	

Die zugrunde liegende Ursache eines Störungsereignisses ist eine unerwünschte Abweichung eines der Produktionsfaktoren Mensch, Betriebsmittel, Material, Energie oder Information. Dabei können verschiedene bei vor- oder nachgelagerten Wertschöpfungspartnern eingetretene Ereignisursachen die gleiche Wirkung auf das Betrachtungssystem nach sich ziehen. Zum Beispiel kann das Ereignis einer verspäteten Lieferung sowohl durch eine Maschinenstörung beim Lieferanten als auch eine Transportstörung beim Logistikpartner ausgelöst werden. Da eine äquivalente Ereigniswirkung überwiegend die gleiche Reaktion im Rahmen der Produktionssteuerung erfordert und damit einhergehend auch der gleiche steuerungsabhängige Informationsbedarf besteht, ist für diese Arbeit ausschließlich die Dimension der Ereigniswirkung entscheidend. Eine Differenzierung potenzieller Ereignisursachen, wie bspw. Maschinen- oder Transportstörungen, erfolgt in der vorliegenden Arbeit nicht. Diese Eingrenzung trägt zur Strukturierung des steuerungsrelevanten Informationsaustauschs und zur Komplexitätsreduzierung des Referenzmodells bei.

Eine Erweiterung des Referenz- oder unternehmensspezifischen Modells um Ereignisursachen ist aufgrund des fehlenden Einflusses auf den steuerungsrelevanten Informationsaustausch aufwandsarm möglich. Hierdurch können die Potenziale zur mittel- bis langfristigen Störungsvermeidung im Sinne eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses analysiert werden.

### 5.3.1.2 Produktionssteuerung

Die Aufgaben der Produktionssteuerung werden in dieser Arbeit in die Kategorien *Ressourcenfeinplanung*, *Reihenfolgebildung* und *Auftragsfreigabe* differenziert (vgl. Abschnitt 2.2.3). Den Aufgabenkategorien lassen sich verschiedene Stellhebel zuordnen (s. FANDEL ET AL. 2011, SCHUH ET AL. 2014a, SCHUH ET AL. 2014e, LÖDDING 2016 und PIELMEIER 2020). Aufgrund der Zielsetzung, ein allgemeingültiges Referenzmodell zu entwickeln, werden die Stellhebel i. A. an LÖDDINGS (2016) Modell der Fertigungssteuerung zu generischen Stell- und Regelgrößen der Produktionssteuerung konsolidiert. Abbildung 5-4 gibt einen Überblick der in das Referenzmodell integrierten Aufgaben, Stell- und Regelgrößen.

In der *Ressourcenfeinplanung* erfolgt die Allokation von Aufträgen zu Ressourcen mit Hilfe der Stellgröße *Ist-Ressourcenbelegung*. Ziel der Ressourcenbelegung ist es, simultan eine hohe Termintreue und eine gleichmäßig hohe Auslastung zu erreichen. Wird aus dem Vergleich von Kapazitätsbedarf und -angebot eine Über- oder Unterauslastung ersichtlich, bedarf es gezielter Maßnahmen der Kapazitätsanpassung oder des -abgleichs. Dabei wird die Stellgröße *Ist-Kapazität* beeinflusst. Die personelle Kapazität lässt sich bspw. durch Überstunden, Zusatzschichten, Kurzarbeit oder Mehrmaschinenbedienung anpassen. Die Betriebsmittelkapazität kann durch die Substitution der Ressource, den Einsatz zusätzlicher Ressourcen oder eine Intensitätsanpassung in Form veränderter Bearbeitungsgeschwindigkeit beeinflusst werden. Mögliche Maßnahmen des Kapazitätsabgleichs sind ein Auftragsplit (Überlagerung von Abläufen), die zeitliche Verschiebung innerhalb der Termingrenzen oder die Fremdvergabe des Auftrags. Die *Ist-Ressourcenbelegung* und die *Ist-Kapazität* beeinflussen wiederum die Regelgröße *Ist-Abgang* der Aufträge von einer Ressource. Treten Ereignisse auf, die zu Abweichungen des *Ist-Abgangs* vom initialen Produktionsfeinplan führen, ist eine erneute Ressourcenfeinplanung innerhalb der festgelegten Kapazitätsflexibilität erforderlich.

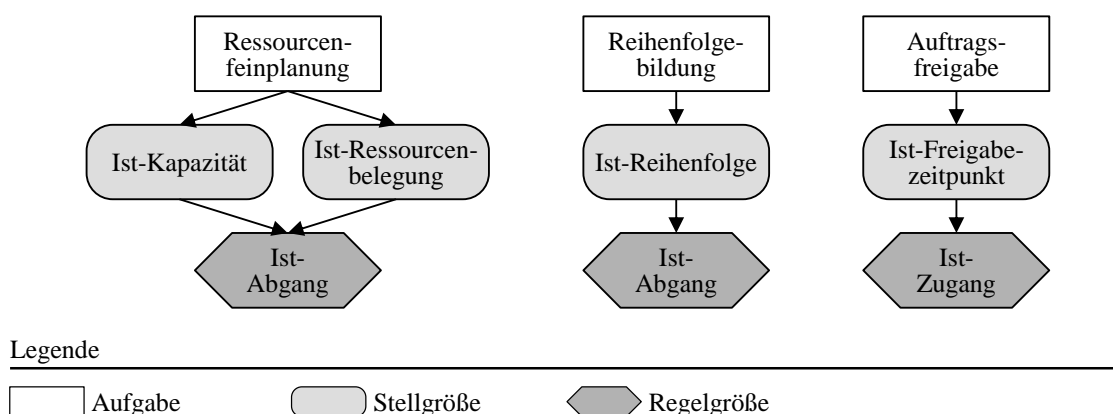


Abbildung 5-4: Übersicht der Aufgaben, Stell- und Regelgrößen der Produktionssteuerung

Bei der *Reihenfolgebildung* wird die *Ist-Reihenfolge* der sich zur Abarbeitung in einer Warteschlange vor einem Arbeitssystem befindenden Produktionsaufträge festgelegt. Da die *Ist-Reihenfolge* ebenfalls einen direkten Einfluss auf die Regelgröße *Ist-Abgang* hat, lassen sich mit der Reihenfolgebildung v. a. die produktionslogistischen Zielgrößen Termintreue und Leistung beeinflussen. Analog zur Ressourcenfeinplanung kann der Eintritt eines Störungsereignisses zu Terminverschiebungen oder einer Reduzierung der verfügbaren Kapazitäten führen und eine Aktualisierung der initialen Auftragsprioritäten erfordern. Dabei können diverse termin- und leistungsorientierte Verfahren, wie z. B. First-In-First-Out, Schlupf- oder Rüstzeitoptimierung Anwendung finden.

Charakteristisch für die *Auftragsfreigabe* ist die Stellgröße *Ist-Freigabezeitpunkt*. Über den *Ist-Freigabezeitpunkt* wird die Regelgröße *Ist-Zugang* und folglich der Auftragsbestand respektive die Belastung an den Arbeitssystemen beeinflusst. Zur Produktionssteuerung können bspw. gegenüber dem initialen Feinplan kurzfristig weitere, weniger oder andere Aufträge freigegeben werden. Auch die Fremdvergabe eines Auftrags an einen Auftragsfertiger kann situationsabhängig zu einer fristgerechten Produktauslieferung beitragen. Neben Auftragsprioritäten (z. B. in Form von Eilaufträgen) und -losgrößen sind zudem auch Instandhaltungsstrategien zu berücksichtigen.

Die Eignung einer Maßnahme der Produktionssteuerung ist von einer Vielzahl von Einflussfaktoren abhängig. Neben internen Faktoren, wie bspw. die Verfügbarkeit freier Kapazitäten oder die geplante Dauer bis zur Störungsbehebung, sind auch externe Faktoren, wie bspw. die strategische Relevanz des Kunden, die Höhe der Lieferverzugskosten oder die Flexibilität des Transportdienstleisters zu prüfen. Entscheidend für die Priorisierung von Maßnahmen ist die anwendungsspezifische Wirkung der Stell- und Regelgrößen auf die produktionslogistischen Zielgrößen.

### **5.3.1.3 Steuerungsrelevante Informationen**

Informationstransparenz über den aktuellen Zustand des Wertschöpfungsnetzwerks ist die Voraussetzung für die Auswahl und Initiierung einer geeigneten Produktionssteuerungsmaßnahme (ZIPFEL ET AL. 2019). In dieser Arbeit wird daher der Bedarf an unternehmensübergreifend auszutauschenden, steuerungsrelevanten Informationen adressiert. Die Grundlage dazu bildet eine Informationsflussanalyse der in Abschnitt 5.3.1.2 beschriebenen Aufgaben der Produktionssteuerung. Mit Hilfe der Informationsflussanalyse kann der für die jeweilige Funktionalität erforderliche Informationsbedarf aus vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen

identifiziert werden. I. A. an das Produkt-Prozess-Ressourcen-Modell der ISO 15531-1 lassen sich die für die Produktionssteuerung relevanten Informationen in die Kategorien *Auftragsinformationen*, *Bestandsinformationen* und *Kapazitätsinformationen* einteilen (s. Abbildung 5-5). Innerhalb der Kategorien können weiterhin Stammdaten und Bewegungsdaten differenziert werden. Andere Informationskategorien, wie z. B. Nachfrageprognosen, werden aufgrund des fehlenden Bezugs zur kurzfristig agierenden Produktionssteuerung nicht berücksichtigt.

*Auftragsinformationen* lassen sich der *Auftragskoordination* oder der *Auftragsüberwachung* zuordnen. Im Rahmen der Auftragskoordination bedarf es einer Vielzahl von Stamm- und Bewegungsdaten, um das zu fertigende Produkt entsprechend den geforderten Charakteristika termingerecht fertigzustellen. Unter Stammdaten sind in diesem Kontext bspw. Produktinformationen (Produktstruktur in Form der Stückliste, Materialstammdaten etc.) und kalkulierte Produktionszeitanteile (Mittelwert und Varianz der Durchlaufzeit, Bearbeitungs-, Rüst-, Liege-, Transport- oder Wiederbeschaffungszeit etc.) zu subsumieren. Bewegungsdaten beinhalten auftragsspezifische Informationen, wie bspw. die Quantität, die Losgröße oder den Liefertermin. Zur Auftragsüberwachung relevante Informationen betreffen den Auftragsstatus, den Lieferstatus oder die Qualität.

*Bestandsinformationen* betreffen die Höhe und damit die Kosten des Lagerbestands an Rohmaterialien, Halbfabrikaten und Fertigwaren sowie des Umlaufbestands. Der Servicegrad (auch: Service Level) ist bspw. eine aggregierte Kennzahl, die Auskunft über den prozentualen Anteil an unmittelbar aus dem Lager bedienbaren Aufträgen gegenüber der Gesamtzahl an Aufträgen gibt (LÖDDING 2016). Darüber hinaus sind zu den Stammdaten zu zählende allgemeine Lagerinformationen, wie die maximale Lagerplatzzahl oder die Höhe des Sicherheitsbestands, im Rahmen eines unternehmensübergreifenden Informationsaustauschs vorteilhaft.

In Bezug auf ressourcenbezogene *Kapazitätsinformationen* ist zwischen Informationen hinsichtlich des *Produktionsplans* sowie der *Kapazitätsverfügbarkeit* zu differenzieren. Der Produktionsplan beinhaltet bspw. den Aufträgen zuordenbare Prozessinformationen zum Ablauf der Wertschöpfung. Die Informationen zur Kapazitätsverfügbarkeit setzen sich aus Stammdaten zur fähigkeitsbasierten Kapazitätsflexibilität einschließlich der maximal erreichbaren Leistungen und Bewegungsdaten zu freien, ungeplanten Kapazitäten zusammen.

Der Einfluss dieser auszutauschenden Informationen auf die Produktionssteuerung und die damit einhergehende Relevanz für die Erreichung der produktionslogistischen Ziele wird nachfolgend mit Hilfe der qualitativen Kausaldiagramme erklärt.

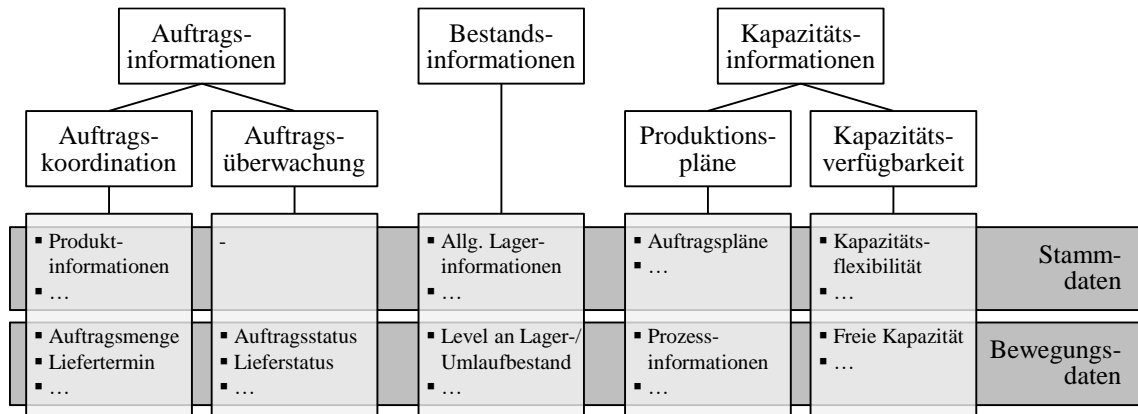


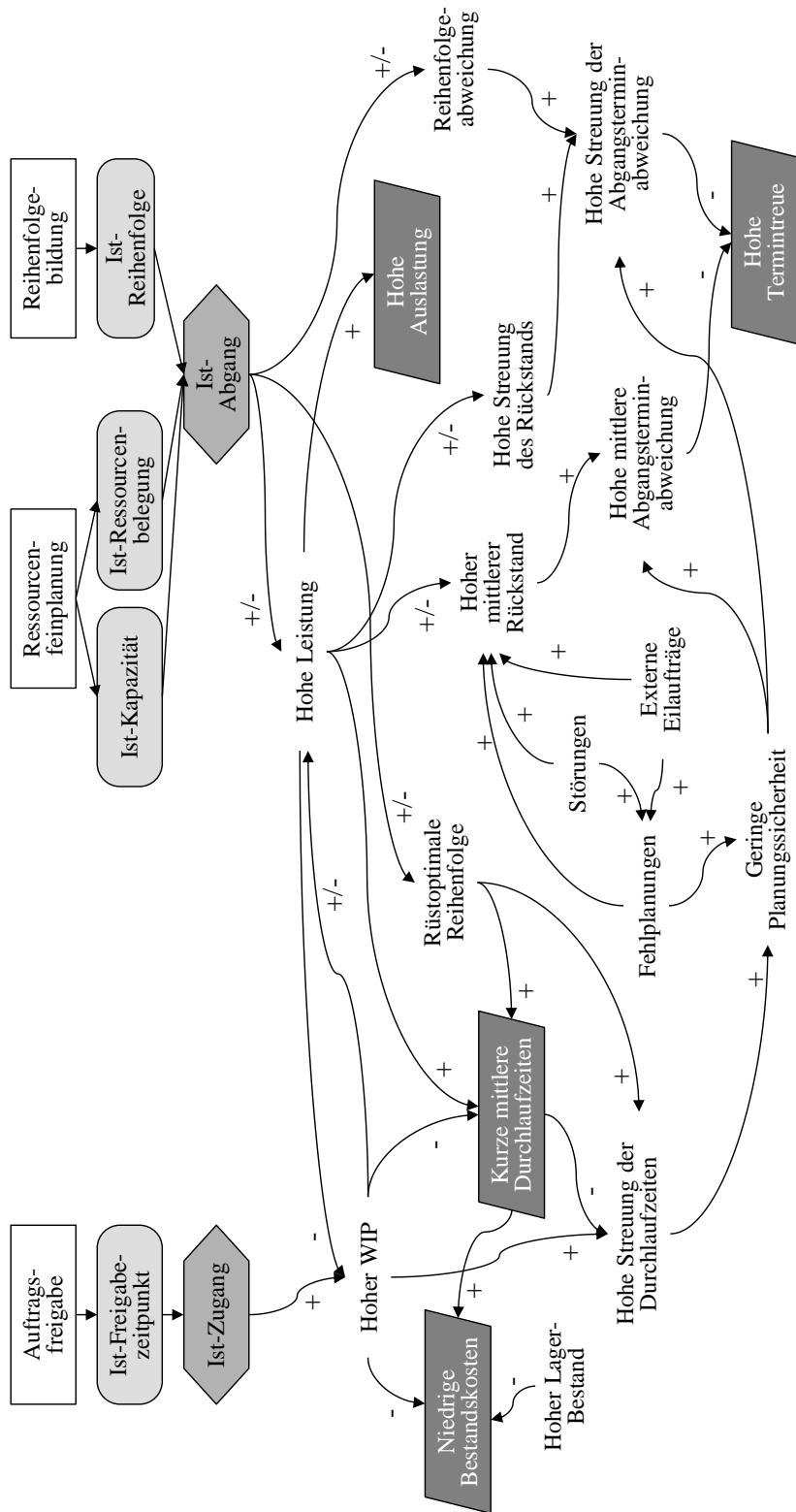
Abbildung 5-5: Kategorisierung steuerung relevanter Informationen mit Beispielen

### 5.3.2 Qualitative Kausaldiagramme

Für die Entwicklung des Referenzmodells zum steuerung relevanten Informationsaustausch ist das Verständnis über die Wirkzusammenhänge zwischen den dargelegten Elementen (vgl. Abschnitt 5.3.1) entscheidend. Die Grundlage hierfür bilden die Abhängigkeiten auf der Produktionssteuerungsebene. In Abschnitt 5.3.2.1 werden daher zunächst die Wirkzusammenhänge zwischen den Aufgaben der Produktionssteuerung und den produktionslogistischen Zielen diskutiert und in ein qualitatives Kausaldiagramm integriert. Dieses Kausaldiagramm wird anschließend in Abschnitt 5.3.2.2 um die Wirkzusammenhänge von unternehmensübergreifendem Informationsaustausch und Produktionssteuerung erweitert.

#### 5.3.2.1 Wirkzusammenhänge zwischen Produktionssteuerung und produktionslogistischen Zielen

Die Ausgangsbasis der qualitativen Kausaldiagramme bilden zum einen aus der wissenschaftstheoretischen Literatur abgeleitete, quantitative Grundprinzipien der PPS. Zu referenzieren sind an dieser Stelle v. a. LÖDDING (2008, 2016) und NYHUIS & WIENDAHL (2012). Zum anderen beruhen die Kausaldiagramme auf den Erkenntnissen von HELLMICH (2003) zu den Auswirkungen diverser Einflussgrößen auf die logistischen Zielgrößen *hohe Kapazitätsauslastung*, *geringe Durchlaufzeit*, *geringe Bestandskosten* und *hohe Liefertermintreue* (vgl. Abschnitt 3.2.3.1). Das von HELLMICH (2003) entwickelte Kausaldiagramm wurde im Rahmen dieser Arbeit umfassend überarbeitet und um die Wirkzusammenhänge der Aufgaben, Stell- und Regelgrößen der Produktionssteuerung mit den produktionslogistischen Zielen erweitert. Die elementaren Wirkbeziehungen sind in Abbildung 5-6 qualitativ dargestellt und werden nachfolgend erklärt.



Legende

- Aufgabe
- Stellgröße
- Regelgröße
- Zielgröße
- + Begünstigender Einfluss
- +/- Indifferenter Einfluss
- Abschwächender Einfluss

Abbildung 5-6: Qualitatives Kausaldiagramm der Produktionssteuerung (auf Basis von HELLMICH 2003)



## **Ressourcenfeinplanung**

Die Stellgrößen *Ist-Kapazität* und *Ist-Ressourcenbelegung* charakterisieren mit der Ist-Reihenfolge den *Ist-Abgang* (vgl. Abschnitt 5.3.1.2). Wird der Ist-Abgang in Relation zum Betrachtungszeitraum gesetzt, ergibt sich – analog zur physikalischen Leistung – die mittlere logistische Leistung eines Arbeitssystems. Die Ressourcenfeinplanung hat somit einen Einfluss auf die Leistungshöhe und das Ziel einer hohen Kapazitätsauslastung. Eine hohe Auslastung resultiert zwar in niedrigen auftragsbezogenen Prozesskosten. Sie erfordert jedoch auch ein hohes WIP-Level, sodass der Materialfluss nicht abreißt. Demgegenüber führt ein hoher Ist-Abgang bzw. eine hohe Leistung zu einer Reduzierung des WIP.<sup>5</sup> Die Auswirkungen des WIP werden aufgrund ihrer Relevanz nachgelagert gesondert untersucht.

Der mittlere Rückstand eines Arbeitssystems lässt sich durch Vergleich von kumuliertem Ist- und Plan-Abgang ermitteln. Somit resultiert eine hohe Leistung nicht zwingend in einem geringen Rückstand. Ein Rückstand kann durch Störungen, Fehlplanungen oder eine kurzfristig erhöhte Nachfrage in Form von Eilaufträgen auftreten. Der Quotient aus mittlerem Rückstand und mittlerer Leistung entspricht der mittleren Abgangsterminabweichung. Aufgrund der positiven Korrelation der Abgangsterminabweichung mit der Termintreue (s. Formel (3)) führt ein Rückstand zu einer Verschlechterung der Liefertermintreue. Um dies zu vermeiden, muss der die Leistung bestimmende Ist-Abgang durch die Initiierung gezielter Produktionssteuerungsmaßnahmen erhöht und somit an den Plan-Abgang angepasst werden. Hierdurch werden Rückstände abgebaut und eine hohe Liefertermintreue erzielt. Voraussetzung für Leistungssteigerungen sind neben der Verfügbarkeit von Personal- und Betriebsmittelkapazität ein vorhandener Bestand. Darüber hinaus führen leistungsbezogene Schwankungen des Ist-Abgangs zu Schwankungen des Rückstands. Diese können erhöhte Streuungen der Abgangsterminabweichung und damit eine Reduzierung der Liefertermintreue bewirken. Zusammenfassend wird die Termintreue maßgeblich von der Ist-Kapazität und der Ist-Ressourcenbelegung als Stellgrößen der Ressourcenfeinplanung beeinflusst.

## **Reihenfolgebildung**

Die Reihenfolgebildung besitzt durch die Beeinflussung des *Ist-Abgangs* analog zur Ressourcenfeinplanung vielfältige Auswirkungen auf die produktionslogistische Zielerreichung. In Abhängigkeit von der jeweiligen Zielsetzung kann zwi-

---

<sup>5</sup> Für Erklärungen zu den Abhängigkeiten von WIP, Leistung und Durchlaufzeit wird auf Anhang 15.1.1 und die weiterführende Literatur (s. LÖDDING 2008, 2016 oder NYHUIS & WIENDAHL 2012) verwiesen.

schen verschiedenen termin- und leistungsorientierten Verfahren ausgewählt werden. Terminorientierte Mechanismen der Reihenfolgebildung priorisieren die Aufträge nach den Plan-Start- und/oder Plan-Fertigstellungsterminen. Der Vorteil ist hierbei, dass Aufträge von hoher Wichtigkeit eine kurze Durchlaufzeit erreichen. Sie können folglich zum gewünschten Liefertermin fertiggestellt werden. Leistungsorientierte Mechanismen sind hingegen auf die Auslastungsmaximierung ausgerichtet. Die Zusammenfassung von Fertigungslosen zur Rüstzeitoptimierung kann in Abhängigkeit von den Bearbeitungs- und Rüstzeitanteilen mehrere Auswirkungen haben. Zum einen bewirkt das optimierte Verhältnis von wertschöpfender zu nicht-wertschöpfender Zeit eine Leistungssteigerung des Ist-Abgangs. Nach Little's Law (vgl. Anhang 15.1.1) wird zudem eine Reduzierung der mittleren Durchlaufzeit erreicht. Voraussetzung für eine rüstoptimierte Reihenfolgebildung ist jedoch ein Mindestmaß an WIP. Da mit einer Bestands- auch eine Durchlaufzeiterhöhung einhergeht, sind die beiden gegenläufigen Einflüsse der Leistungssteigerung und der Bestandserhöhung auf die Durchlaufzeit im Anwendungsfall zu evaluieren. Zum anderen führt die Losbildung zu einer erhöhten Streuung der Auftragsdurchlaufzeiten. Die Streuung von Auftragsdurchlaufzeiten erhöht allerdings die Wahrscheinlichkeit von Terminabweichungen, verschlechtert die Termintreue und erschwert zudem auch die Terminplanung zukünftiger Aufträge.

Unabhängig vom konkreten Verfahren zur Reihenfolgebildung ist den Ansätzen gemein, dass eine Abweichung der Ist- gegenüber der Plan-Reihenfolge zu einer Streuung der Abgangsterminabweichung und folglich zu einer Reduzierung der Termintreue führt. Bei Eintritt eines Störungsereignisses kann eine Reihenfolgeabweichung zwar zweckmäßig sein, um einen bestimmten Auftrag zu priorisieren. Wegen der Auswirkungen auf die Termintreue aller Aufträge sollte eine Reihenfolgeabweichung jedoch nur in Ausnahmefällen vorgenommen werden.

### **Auftragsfreigabe**

Die Auftragsfreigabe beeinflusst den *Ist-Zugang* über die Stellgröße *Ist-Freigabezeitpunkt*. Dabei gilt, dass eine verstärkte Auftragsfreigabe und die damit einhergehende Erhöhung des Ist-Zugangs von Aufträgen positiv mit dem WIP korreliert. Ein hoher WIP ermöglicht zwar eine hohe Auslastung. Ein solcher führt allerdings auch zu einem Anstieg der mittleren Durchlaufzeit sowie der Streuung der Durchlaufzeiten. Die Durchlaufzeitschwankungen verschlechtern die Planungssicherheit und resultieren in einer hohen mittleren sowie einer zunehmend streuenden Abgangsterminabweichung. Nach YU (2001) wird die Abgangsterminabweichung entscheidend durch die Streuung der Durchlaufzeit und diese wiederum durch das Bestandsniveau beeinflusst. Die Folge ist eine Reduzierung der Termintreue.

Im Übrigen ist anzumerken, dass das Kausaldiagramm die Realität aufgrund seines modellhaften Charakters auf verkürzende und pragmatische Art und Weise abbildet (vgl. die Merkmale eines Modells nach STACHOWIAK 1973). Demnach sind nicht sämtliche potenziell auftretenden Einflussfaktoren berücksichtigt. Die Gültigkeit der Wirkzusammenhänge ist im Einzelfall zu prüfen (vgl. Abschnitt 8.2.1).

### **5.3.2.2 Wirkzusammenhänge zwischen unternehmensübergreifendem Informationsaustausch und Produktionssteuerung**

Um das Potenzial der Produktionssteuerung zur Erreichung der produktionslogistischen Ziele auszuschöpfen, ist die Transparenz relevanter Informationen im Wertschöpfungsnetzwerk erforderlich. Die Erkenntnisse aus der Untersuchung der Wirkzusammenhänge von unternehmensübergreifendem Informationsaustausch und Produktionssteuerung wurden in das qualitative Kausaldiagramm der Produktionssteuerung (vgl. Abschnitt 5.3.2.1) integriert. Das Ergebnis ist je ein um die Dimension des Informationsaustauschs erweitertes qualitatives Kausaldiagramm für die drei Aufgaben der Produktionssteuerung (s. Abbildungen 5-7 bis 5-9). Zur besseren Lesbarkeit sind die Abbildungen 5-7 bis 5-9 zudem in Anhang 15.1.2 vergrößert dargestellt.

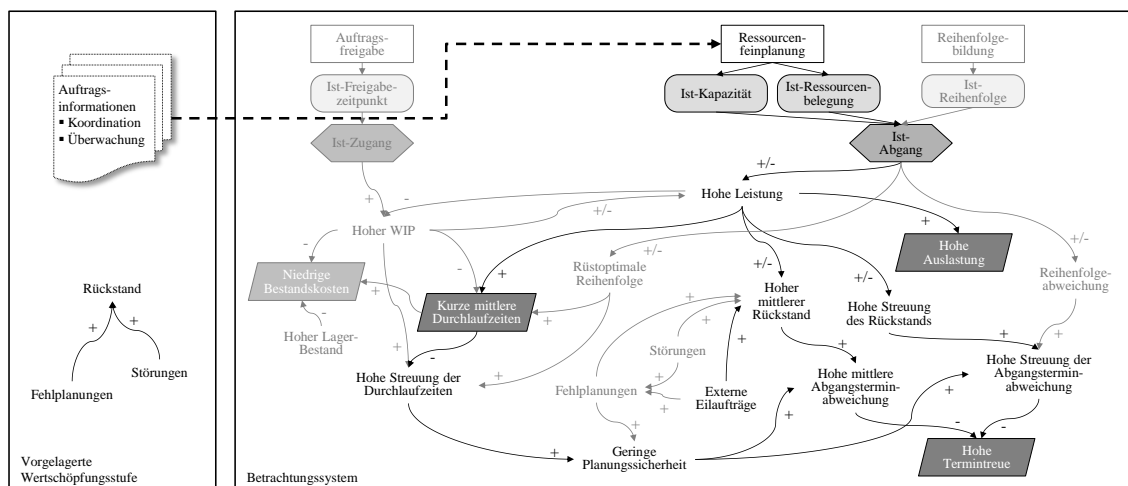
Neben dem Informationsbedarf sind in den qualitativen Kausaldiagrammen auch die für die jeweilige Aufgabe maßgeblichen Einflussfaktoren und Wirkmechanismen visualisiert. Dies bietet die Möglichkeit, die Auswirkungen der durch ein Ereignis ausgelösten Informationsflüsse auf die produktionslogistischen Stell-, Regel- und Zielgrößen in einem Anwendungsfall systematisch zu analysieren.

Der zeitliche Ablauf von Ereigniseintritt, Informationsaustausch und Auswirkungen auf die Produktionssteuerung folgt den in Abschnitt 5.2.2 dargelegten Zeitpunkten des Betrachtungszeitraums. Ferner werden ausschließlich die in direktem Zusammenhang mit dem Ereignis stehenden kurzfristigen Auswirkungen auf das Betrachtungssystem analysiert. Mittel-/langfristige Auswirkungen werden aufgrund der fehlenden Beeinflussbarkeit in der Produktionssteuerung nicht berücksichtigt. Zudem werden indirekte Zusammenhänge, wie bspw. der Einfluss auf weitere Lieferanten oder Dienstleister, aus Komplexitätsgründen nicht adressiert.

### **Ressourcenfeinplanung**

Tritt ein Ereignis in einer vor- oder nachgelagerten Wertschöpfungsstufe ein, welches eine Reaktion durch die Produktionssteuerung erfordert, ist es die Aufgabe der Ressourcenfeinplanung, die *Ist-Kapazität* und die *Ist-Ressourcenbelegung* zu

prüfen und bei Bedarf anzupassen. Ziel ist es, den Ist-Abgang derart zu steuern, dass das eingetretene Ereignis nicht zu einer verspäteten Lieferung gegenüber dem Kunden führt. Unternehmensübergreifend sind dabei insbesondere Informationen zur Koordination und Überwachung des Auftrags auszutauschen. Hierzu zählen neben dem Auftragsfortschritt der ursprünglich angestrebte Plan- und aktualisierte Ist-Liefertermin sowie die Plan- und Ist-Auftragsmenge. Auf Basis aktueller Informationen zu Liefertermin und -menge kann eine rechtzeitige Umplanung der Produktionsaufträge stattfinden. Hierdurch werden Auslastungsverluste reduziert. Die höhere Leistung des Produktionssystems führt v. a. zu einer Reduzierung des WIP, des Mittelwerts sowie der Streuung von Durchlaufzeiten und Rückstand. Die Folge ist eine geringere Abgangsterminabweichung und damit einhergehend eine höhere Termintreue (s. Abbildung 5-7, Anhang 15.1.2.1).



Legende  
 ----> Informationsfluss  
 —> Wirkzusammenhänge hoher Priorität  
 - - -> Wirkzusammenhänge geringer Priorität

Abbildung 5-7: Ausschnitt des qualitativen Kausaldiagramms der Ressourcenfeinplanung

Da die Qualität der im Produktionsprozess verwendeten Rohstoff- und Halbfertigprodukte einen Einfluss auf den Produktionsprozess hat, sind auch Qualitätsdaten zwischen dem Lieferanten und dem Betrachtungssystem auszutauschen. Zum einen kann bspw. die Oberflächenbeschaffenheit die Vorgabegeschwindigkeit und insofern auch die Leistung einer Bearbeitungsmaschine bestimmen. Zum anderen besteht bei einem heterogenen Maschinenpark die Option, eine qualitätsbedingte Zuordnung des Auftrags zu einer bestimmten Produktionsressource vorzunehmen.

Der Auftragsfortschritt beim Lieferanten ist von dessen Ist-Kapazität abhängig. Die für den Auftrag tatsächlich verfügbare Kapazität wird durch den Status der Produktionsressourcen einschließlich der Mitarbeiterverfügbarkeit sowie dem Produktionsplan bestimmt. Um verlässliche Aussagen über den voraussichtlichen

Liefertermin treffen zu können, bedarf es der Aggregation und des Austauschs dieser Kapazitätsinformationen zwischen den Wertschöpfungspartnern. Aus der damit einhergehenden Steigerung der Transparenz hinsichtlich der Lieferfähigkeit im Wertschöpfungsnetzwerk resultiert eine optimierte, auf aktuellen Informationen basierende Steuerbarkeit der nachfolgenden Prozesse bei den Partnern.

Kann der geplante Liefertermin gegenüber den Kunden des Betrachtungssystems trotz einer erneuten Ressourcenfeinplanung nicht eingehalten werden, sind die Auswirkungen auf die nachgelagerten Wertschöpfungsstufen zu analysieren. Die Basis für diese Analyse bildet ein interorganisationaler Austausch von Auftrags- und Bestandsinformationen mit den Kunden. In Abhängigkeit von der Auftragspriorität, die mitunter durch anfallende Konventionalstrafen bei Nichteinhaltung des Liefertermins bedingt wird, wird dem Kundenauftrag das Attribut des Eilauftrags hinzugefügt. Der Lagerbestand des Kunden lässt sich mit Hilfe der Attribute der Plan- und Ist-Lagerabgänge und -zugänge sowie des festgelegten Sicherheitsbestands charakterisieren. Die Abgänge aus dem Wareneingangslager bieten den gleichen Informationsgehalt wie ein Produktionsplan des Kunden. Die gleichen Informationsentitäten mit den zugehörigen Attributen sind bei einem zusätzlichen Auftrag des Kunden auszutauschen.

Ein weiterer Faktor ist die Transportlogistik zwischen den Wertschöpfungspartnern. Diese hat unmittelbaren Einfluss auf die Ressourcenfeinplanung in der Produktionssteuerung. Von Bedeutung sind zunächst die je Transportart verfügbaren Ist-Kapazitäten. Auswirkungen haben aber auch die jeweilige Transportzeit einschließlich der zugehörigen Transportkosten. In Abhängigkeit von diesen Einflussfaktoren besteht bspw. die Möglichkeit, den internen Liefertermin im Rahmen des Lieferzeitpuffers zu verschieben, um einen Handlungsspielraum für die Ressourcenfeinplanung zu erhalten. Eine Veränderung der Auftragspriorität hat zudem Auswirkungen auf die Reihenfolgebildung sowie die Auftragsfreigabe.

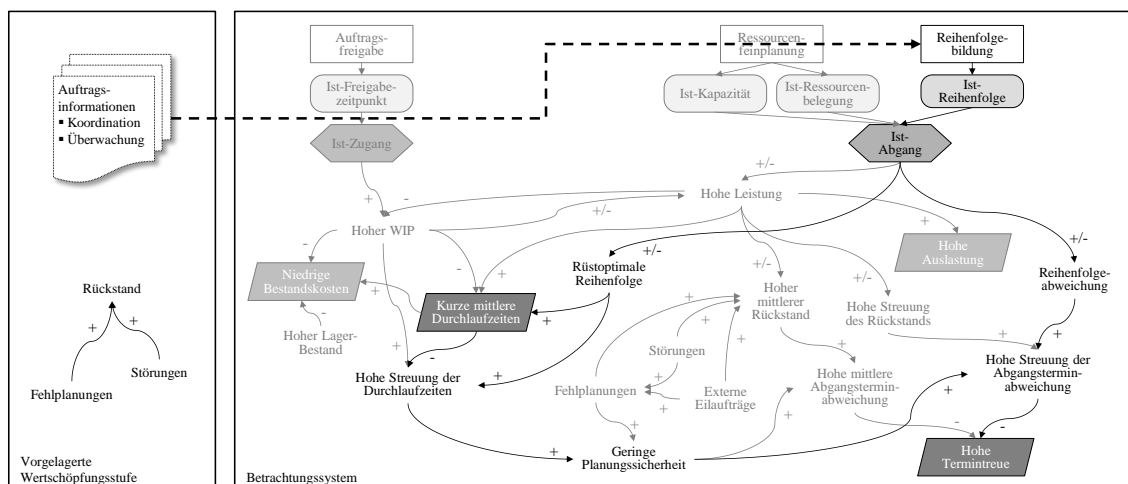
### **Reihenfolgebildung**

Die Reihenfolgebildung ist aus funktionaler Perspektive eng mit der Ressourcenfeinplanung verknüpft. Die den Produktionsressourcen zugeordneten Aufträge werden gemäß vorab definierter Regeln priorisiert und in eine Bearbeitungsreihenfolge gebracht. In Abhängigkeit von der obersten Planungsprämisse wird die Ist-Reihenfolge bspw. nach den Kriterien der Rüstzeitoptimierung und der damit angestrebten Auslastungsmaximierung oder der geringsten Schlupfzeit bestimmt.

Aus unternehmensübergreifender Perspektive kommt terminorientierten Verfahren bei der Gewährleistung eines möglichst optimalen Wertschöpfungsprozesses

vom Rohstoffhersteller bis zum Endkunden eine besondere Bedeutung zu. Insbesondere durch geringe Zeit- und Bestandspuffer bei JiT/JiS-Lieferstrategien können Terminabweichungen zu weitreichenden Folgen in der gesamten Wertschöpfungskette führen. Um einen Abriss des Materialflusses in der nachgelagerten Wertschöpfungsstufe zu vermeiden, sind die Aufträge mit dem höchsten Liefertermindruck zu priorisieren. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass Reihenfolgeänderungen zwar vorteilhaft für die Termintreue einzelner, hochpriorisierter Aufträge sein können. Gleichzeitig besitzen Reihenfolgeabweichungen aber negative Auswirkungen auf die Abgangsterminabweichung und somit die Termintreue der anderen Aufträge. Die Folgen einer Reihenfolgeänderung auf das gesamte Produktionssystem sind daher im jeweiligen Anwendungsfall zu analysieren.

Aufgrund der bestehenden funktionalen Relationen ist der Informationsbedarf der Reihenfolgebildung analog zur Aufgabe der Ressourcenfeinplanung (s. Abbildung 5-8, Anhang 15.1.2.2). Neben Auftrags- und Bestandsinformationen sind auch Kapazitätsinformationen der in der Wertschöpfungskette vorgelagerten Partner interorganisational auszutauschen. Hierdurch kann der Zeitpunkt der voraussichtlichen Verfügbarkeit fehlender Eingangswaren in die Steuerung der Reihenfolge einbezogen werden. Der spezifische Informationsbedarf variiert dabei mit dem eingesetzten Verfahren. Darüber hinaus erfordert die Reihenfolgebildung insbesondere Informationen zu Lagerbeständen sowie dem geplanten Beginn der für den Endkundenauftrag obligatorischen nachgelagerten Produktionsschritte. Diese Informationen sind v. a. bei terminorientierten Verfahren entscheidend für die Priorität des jeweiligen Auftrags und damit einhergehend für die Bearbeitungsreihenfolge im Betrachtungssystem.



Legende

- > Informationsfluss
- Wirkzusammenhänge hoher Priorität
- Wirkzusammenhänge geringer Priorität

Abbildung 5-8: Ausschnitt des qualitativen Kausaldiagramms der Reihenfolgebildung

## Auftragsfreigabe

Im Anschluss an die Ressourcenfeinplanung und die Reihenfolgebildung erfolgt die Auftragsfreigabe. Voraussetzung der Auftragsfreigabe ist, dass zum einen der Produktionsfeinplan unter Berücksichtigung der geforderten Termine realisierbar ist. Zum anderen müssen sämtliche zur Produktion benötigten Ressourcen in der geforderten Qualität zur Verfügung stehen.

Der Auftragsfreigabe können verschiedene auslösende Mechanismen zugrunde liegen, wie z. B. eine terminorientierte oder bestandsregelnde Steuerung. Diesen ist gemein, dass sie überwiegend unternehmensintern vorhandene Informationen benötigen. Bestandsregelnde Auftragsfreigabeverfahren wie die Constant Work-in-Process- oder die Engpass-Steuerung geben einen Auftrag frei, wenn der Bestand des Produktions- respektive Arbeitssystems einen Schwellwert unterschreitet und Kapazität für die Bearbeitung eines neuen Auftrags vorhanden ist. Über die Steuerung des Bestandsniveaus lassen sich die Durchlaufzeit sowie die Auslastung und damit einhergehend die Termintreue zielgerichtet steuern.

Von vor- oder nachgelagerten Wertschöpfungsstufen sind diese Verfahren nur mittelbar über den Arbeitsvorrat der sich in der Warteschlange befindenden Aufträge abhängig (s. Abbildung 5-9, Anhang 15.1.2.3). Einzig die Auftragsfreigabe nach Termin bezieht die Plan- und Ist-Termine des Zugangs vom Lieferanten sowie die geplanten Liefertermine gegenüber den Kunden mit ein.

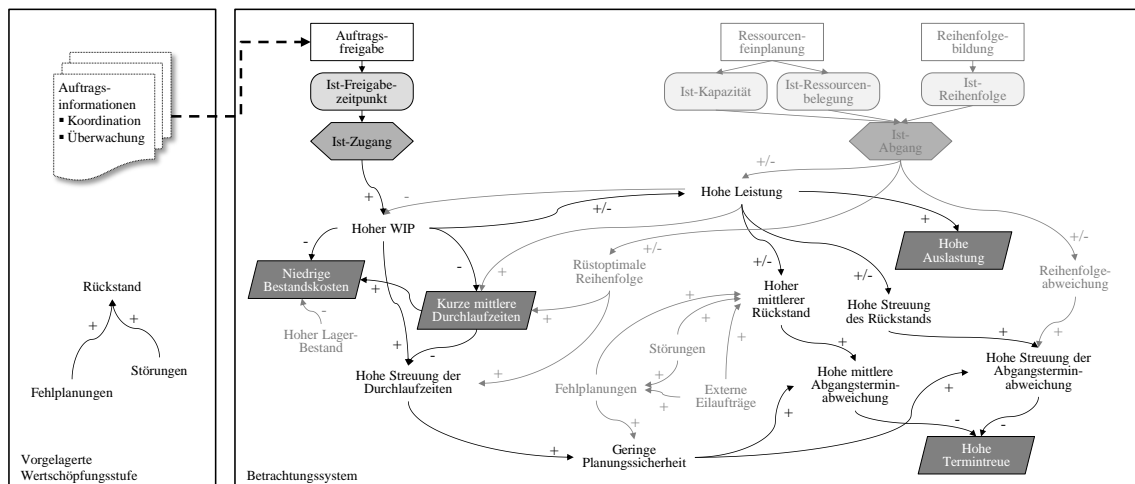


Abbildung 5-9: Ausschnitt des qualitativen Kausaldiagramms der Auftragsfreigabe

Aufgrund der Vielzahl an Einflussfaktoren auf das Produktionssystem und der damit einhergehenden Komplexität bei der anwendungsspezifischen Auswahl von Produktionssteuerungsmaßnahmen, ist eine höhere Detailtiefe der kausalen Wirkzusammenhänge nicht zweckmäßig. Einerseits kann keine allgemeingültige Aussage über die Vorteilhaftigkeit einer bestimmten Steuerungsmaßnahme zur Reaktion auf Störungsereignisse getroffen werden. Die Konfiguration der Produktionssteuerung ist in der Anwendung stets unter Berücksichtigung der unternehmensspezifischen Priorisierung der produktionslogistischen Zielgrößen sowie der jeweiligen Situation zu evaluieren. Analog variiert der spezifische Informationsbedarf in Abhängigkeit von den vorliegenden Randbedingungen. Andererseits kann aus den qualitativen Kausaldiagrammen geschlussfolgert werden, dass zum Teil mehrere Möglichkeiten der Produktionssteuerung bestehen, auf ein eingetretenes Ereignis zu reagieren, um die produktionslogistische Zielerreichung sicherzustellen. Die in Kapitel 8 beschriebene Methode zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen adressiert die anwendungsspezifische Adaption der Wirkzusammenhänge und bietet ein Vorgehen zur situativen Festlegung einer Produktionssteuerungsmaßnahme und deren Informationsbedarf.

## **5.4 Aufbau des Referenzmodells**

Das in dieser Arbeit entwickelte Referenzmodell bildet die allgemeingültigen Wirkzusammenhänge von unternehmensübergreifendem Informationsaustausch und Produktionssteuerung ab. Die Intention ist, eine Referenz für die anforderungsgerechte Ableitung anwendungsspezifischer Modelle für den steuerungsrelevanten Informationsaustausch bereitzustellen. Hierzu werden die Erkenntnisse der Wirkzusammenhänge (vgl. Abschnitt 5.3) in ein Referenzmodell überführt.

Voraussetzung für eine hohe Übertrag- und Anwendbarkeit des Referenzmodells bildet ein standardisierter, einheitlicher und zugleich in der unternehmerischen Praxis bewährter Modellierungsansatz. In Abschnitt 5.4.1 wird die Auswahl einer geeigneten Modellierungsumgebung beschrieben. In Abschnitt 5.4.2 wird anschließend das mehrere Dimensionen integrierende Referenzmodell erklärt.

### **5.4.1 Festlegung eines Modellierungsansatzes**

Modelle dienen der vereinfachenden, abstrahierenden Darstellung komplexer Systeme (BUNGARTZ ET AL. 2013, VDI 3633-1). In Abhängigkeit vom Modellie-



rungszweck wurden in der Vergangenheit eine Vielzahl von Modellierungssprachen mit unterschiedlicher Syntax entwickelt. Die festgelegte Syntax stellt ein standardisiertes Regelwerk der jeweiligen Modellierungssprache dar, das die Einheitlichkeit und Eindeutigkeit der Modelle gewährleistet.

Im Fokus des zu entwickelnden Referenzmodells liegt die integrierte Betrachtung der Dimensionen Produktionssteuerung und Informationsaustausch. Zur ereignisorientierten Abbildung von Material- und Informationsflüssen haben sich in diesem Kontext die folgenden Modellierungssprachen etabliert: Unified Modeling Language (UML), ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK), Business Process Model and Notation (BPMN), Flussdiagramme (FD) und Petri-Netze (PN). Eine Beschreibung der Modellierungssprachen ist Anhang 15.1.3.1 zu entnehmen.

In der vorliegenden Forschungsarbeit wurde die Eignung dieser Modellierungssprachen für die Umsetzung des Referenzmodells zum steuerungsrelevanten Informationsaustausch mit Hilfe eines Anforderungs-Fähigkeits-Vergleichs bewertet. Die Beurteilung basiert auf in der Wissenschaft anerkannten Anforderungskriterien. Diese Kriterien lassen sich i. A. an FRANK & VAN LAAK (2003) in grundlegende, formale und anwendungsbezogene Anforderungen differenzieren. Eine Beschreibung der Anforderungskriterien ist in Anhang 15.1.3.2 gegeben. Aus dem Bewertungsergebnis der Anforderungskriterien (vgl. Anhang 15.1.3.3) resultiert, dass BPMN die am besten geeignete der fünf vorausgewählten und analysierten Modellierungssprachen ist. BPMN wird daher als zentrales Element des Modellierungsansatzes für das Referenzmodell zum steuerungsrelevanten Informationsaustausch herangezogen. Die Sprachen UML und EPK weisen eine mittlere, PN und FD nur eine geringe bis sehr geringe Eignung auf.

Zur Erreichung eines ganzheitlichen Referenzmodells ist die auf BPMN basierende Prozessmodellierung um eine informationsorientierte Perspektive zu ergänzen. Hierzu finden neben einem grundlegenden Informationsmodell zur Beschreibung sämtlicher Informationsentitäten auch ERM Anwendung.

## 5.4.2 Ebenen des Referenzmodells

Das entwickelte Referenzmodell des steuerungsrelevanten Informationsaustauschs basiert auf den Erkenntnissen der analysierten Wirkzusammenhänge. Um eine übersichtliche Darstellung des Referenzmodells zu gewährleisten, ist dieses in mehrere Ebenen mit unterschiedlichem Abstraktionslevel gegliedert (s. Abbildung 5-10). Das Fundament (Ebene 0) bildet eine Matrix sämtlicher im Kontext

der Produktionssteuerung erforderlicher Informationen mit Verweis auf deren Relevanz für einen unternehmensübergreifenden Informationsaustausch (vgl. Abschnitt 5.4.2.1). Darauf aufbauend beinhaltet Ebene 1 zum einen die funktionalen Aufgaben und den Ablauf einer Produktionssteuerung. Zum anderen sind die aus den Kausaldiagrammen geschlussfolgerten Wirkzusammenhänge von Informationsbedarf und -angebot sowie den Steuerungsfunktionen integriert (vgl. Abschnitt 5.4.2.2). In den die Ebene 2 charakterisierenden ERM werden Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Informationsentitäten ersichtlich (vgl. Abschnitt 5.4.2.3).

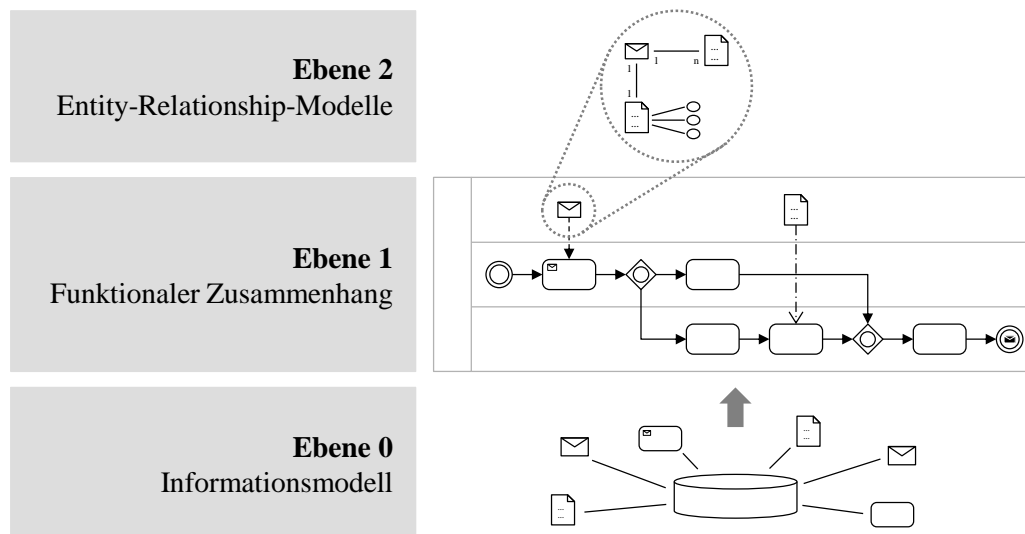


Abbildung 5-10: Aufbau des Referenzmodells für den steuerungsrelevanten Informationsaustausch

Das Referenzmodell dient somit der systematischen und strukturierten Beschreibung und Erklärung der Wirkzusammenhänge beim Austausch von steuerungsrelevanten Informationen. Zudem bildet es die Grundlage für die bei der Quantifizierung des Informationswerts zu generierende Datenbasis (vgl. Abschnitt 6.2.2).

Aus Gründen der Übersichtlichkeit sowie der Allgemeingültigkeit ist das Referenzmodell mit Einschränkungen verbunden. Zunächst werden nur die wesentlichen Wirkzusammenhänge zwischen Informationsaustausch und Produktionssteuerung abgebildet. Darüber hinaus bedarf es im Rahmen der Spezifizierung der Produktionssteuerungsaufgaben im Anwendungskontext der unternehmensbezogenen Ableitung eines informationsorientierten Modells der Produktionssteuerung (vgl. Abschnitt 8.2). So besitzt bspw. eine belastungsorientierte Auftragsfreigabe einen anderen Informationsbedarf gegenüber einer terminorientierten Auftragsfreigabe. (ZIPFEL ET AL. 2019)

### 5.4.2.1 Ebene 0: Informationsmodell

Die Basis des Referenzmodells für den interorganisationalen Austausch steuerungsrelevanter Informationen bildet das in Abbildung 5-11 schematisch dargestellte Informationsmodell. Das Informationsmodell aggregiert in einer strukturierten, durchsuch- und auswertbaren Matrix die Erkenntnisse der qualitativen Kausaldiagramme (vgl. Abschnitt 5.3.2).

Jede Informationsentität besitzt Attribute zur eindeutigen Charakterisierung und ist gemäß definierter Kategorisierungsmöglichkeiten verschiedenen Klassen zugeordnet. Zu diesen gehören bspw. Bestands-, Auftrags- bzw. Kapazitätsinformation oder Stamm- bzw. Bewegungsdaten. Darüber hinaus ist die Relevanz sämtlicher Informationsentitäten für die Produktionssteuerungsaufgaben der Ressourcenfeinplanung, Reihenfolgebildung und Auftragsfreigabe erklärt. Zur Adressierung der unternehmensübergreifenden Dimension des Informationsaustauschs enthält das Informationsmodell Begründungen zur Netzwerkrelevanz. Der Netzwerkbezug wird um Details zum Ort der Entstehung sowie Verwendung der Information im Wertschöpfungsnetzwerk aus der Perspektive des Betrachtungssystems (Lieferant, Produzent, Kunde) ergänzt.

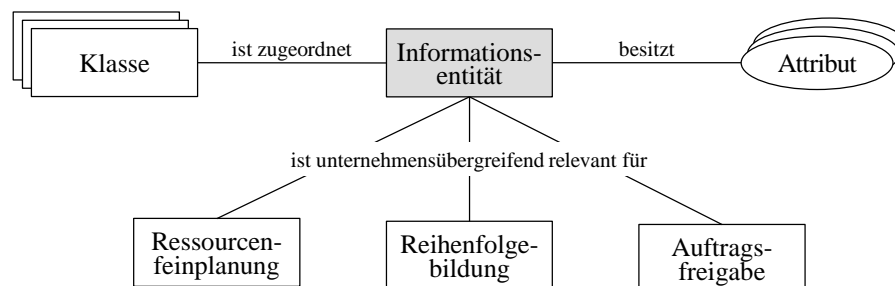


Abbildung 5-11: Schematische Darstellung des Informationsmodells

Mit Hilfe des Informationsmodells lässt sich folglich das prinzipiell zur Verfügung stehende Informationsangebot im Wertschöpfungsnetzwerk mit dem steuerungsabhängigen Bedarf an Informationen zum Auftragsfortschritt, Beständen, Kapazitäten etc. in Einklang bringen.

### 5.4.2.2 Ebene 1: Funktionaler Zusammenhang

Basierend auf dem Informationsmodell wird in Ebene 1 des Referenzmodells der Zusammenhang zwischen dem Informationsaustausch und der Produktionssteuerung aus einer funktionsorientierten Perspektive beschrieben. Abbildung 5-12

zeigt schematisch die Einordnung der Aufgaben der Produktionssteuerung in den Kontext des Wertschöpfungsnetzwerks. Intra- und interorganisationale Schnittstellen kennzeichnen den Informationsaustausch mit der Produktionssteuerung.

Intraorganisationale Schnittstellen bestehen zu weiteren, für den Ablauf der Produktionssteuerung erforderlichen Funktionen. Diese interagieren unmittelbar mit der Produktionssteuerung, sind allerdings aufgrund ihres (z. B. vorwiegend planerischen) Aufgabenspektrums abzugrenzen. Hierzu zählen neben der Produktionsplanung das Auftrags- und Bestandsmanagement, das Produktionscontrolling sowie die eigentliche Produktion auf dem Shopfloor. Darüberhinausgehende Funktionen sind aufgrund des Fokus auf die Produktionssteuerung nicht im Referenzmodell dargestellt. Die Funktionen sind durch Ereignisse sowie zugehörige Informationsflüsse verknüpft, wie bspw. den Austausch von Produktionsplänen oder Betriebsdaten. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind in Abbildung 5-12 die relevanten Informationsflüsse aggregiert dargestellt.

Das Referenzmodell beinhaltet schwerpunktmäßig die in der vorliegenden Arbeit adressierten interorganisationalen Schnittstellen zu den für die Produktionssteuerung des Betrachtungssystems relevanten Funktionen in den vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen sowie zu externen Logistikdienstleistern. Die interorganisationalen Schnittstellen sind im Referenzmodell durch Flüsse von Auftrags-, Bestands- und Kapazitätsinformationen charakterisiert. In Abbildung 5-12 sind diese exemplarisch für ein repräsentatives Partnerunternehmen dargestellt. Die auszutauschenden Informationen werden für die Aufgaben der Ressourcenfeinplanung, Reihenfolgebildung und Auftragsfreigabe verwendet.

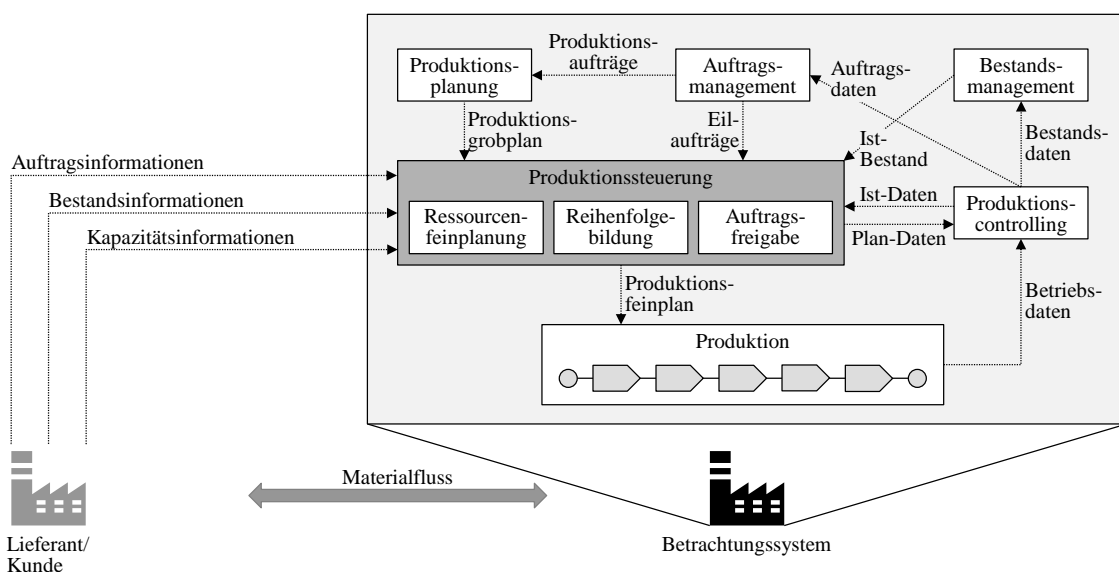


Abbildung 5-12: Schematische Darstellung des funktionalen Zusammenhangs von Produktionssteuerung und Informationsaustausch

Elementar für das in BPMN 2.0 umgesetzte Referenzmodell ist die Überführung des in Abbildung 5-12 dargestellten Zusammenhangs von Steuerungsfunktionen und Informationsaustausch in ein ereignisorientiertes Kollaborationsdiagramm. In diesem Diagramm werden die ablauforganisatorischen Abhängigkeiten feingranular erläutert. Das bietet die Möglichkeit, den Einfluss von Informationsverfügbarkeit auf die Funktion der Produktionssteuerung simulieren zu können.

### 5.4.2.3 Ebene 2: Entity-Relationship-Modelle

Im Rahmen des unternehmensübergreifenden Austauschs von Auftrags-, Bestands- und Kapazitätsinformationen wird eine Vielzahl unterschiedlicher Informationsentitäten übertragen. Die Zusammenhänge und Beziehungen zwischen den einzelnen Informationsentitäten werden in Ebene 2 des Referenzmodells mit Hilfe von ERM dargestellt (s. Abbildung 5-13). Das auf CHEN (1976) zurückgehende ERM bietet das Potenzial, neben semantischen Relationen zwischen Entitäten auch Attribute zur Charakterisierung der Entitäten in einem Informationsmodell zu integrieren (STAHLKNECHT & HASENKAMP 2003).

In Abhängigkeit von der jeweiligen Produktionssteuerungsaufgabe variiert der Bedarf an unternehmensintern und -übergreifend auszutauschenden Informationen zu Aufträgen, Beständen und Kapazitäten (vgl. Abschnitt 5.3.2). Um eine hohe Übersichtlichkeit zu gewährleisten, beinhaltet das Referenzmodell getrennte ERM für die Ressourcenfeinplanung, die Reihenfolgebildung und die Auftragsfreigabe.

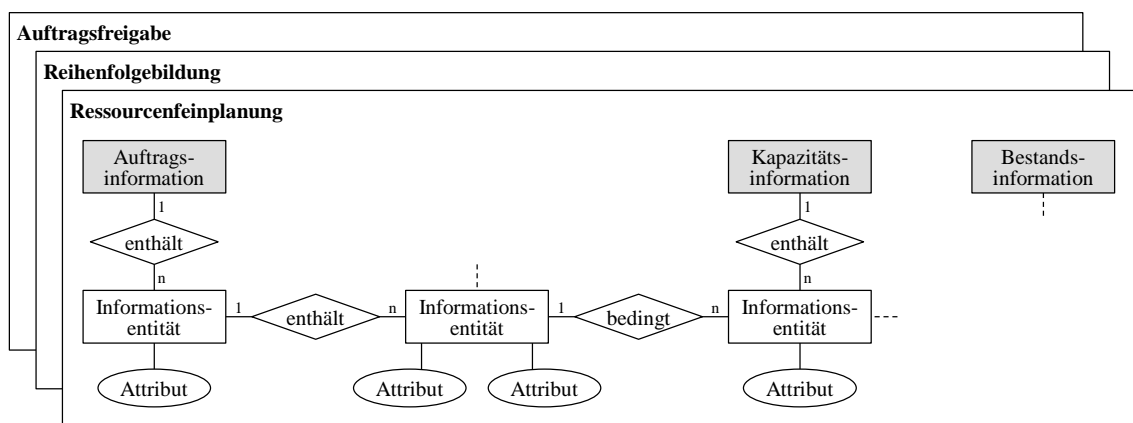


Abbildung 5-13: Entity-Relationship-Modelle des steuerungsrelevanten Informationsaustauschs

## 5.5 Fazit

Das entwickelte Referenzmodell aggregiert die Erkenntnisse der analysierten Wirkzusammenhänge im Kontext des unternehmensübergreifenden Austauschs von Informationen, die für die Produktionssteuerung relevant sind. Zielsetzung ist es, ein ganzheitliches und allgemeingültiges Rahmenwerk zur Gestaltung von Produktionssteuerungssystemen zur Verfügung zu stellen. Hierdurch soll im Kontext der Produktionssteuerung nicht nur eine hohe intra-, sondern insbesondere eine hohe interorganisationale Informationstransparenz erreicht werden.

Die in den qualitativen Kausaldiagrammen aufgezeigten, teilweise konfligierenden Abhängigkeiten zwischen den produktionslogistischen Stell-, Regel- und Zielgrößen führen zu einer hohen Komplexität in Entscheidungssituationen der Produktionssteuerung. Im Fall des Eintritts eines ungeplanten Ereignisses ist eine ganzheitliche Analyse der Auswirkungen einer Produktionssteuerungsmaßnahme auf sämtliche die operative Leistungsfähigkeit des Produktionssystems charakterisierenden Zielgrößen erforderlich. Der Fokus des Kapitels 6 liegt daher auf der Quantifizierung dieser Auswirkungen, um schließlich der zur Verfügung gestellten Information über den Ereigniseintritt einen konkreten Wert beizumessen.

## **6 Informationswert für die Produktionssteuerung**

### **6.1 Übersicht**

Die Quantifizierung des Informationswerts für die Produktionssteuerung stellt die Grundlage für die Intensivierung des unternehmensübergreifenden Austauschs steuerungsrelevanter Informationen dar. Eine monetäre Bewertung des durch Informationstransparenz erzielbaren Vorteils bildet die Bemessungsgrundlage für die Entwicklung von Anreizsystemen zum Informationsaustausch in Wertschöpfungsnetzwerken.

Zunächst gilt es, ausgehend von den bereits entwickelten Bewertungsansätzen für Informationen (vgl. Abschnitt 3.3), einen für den Kontext dieser Arbeit geeigneten Ansatz festzulegen (vgl. Abschnitt 6.2). Anschließend bedarf es der Definition von Bewertungskriterien als Bemessungsgrundlage für den Informationswert. Hierzu wird ein Kennzahlensystem entwickelt, das die durch die Produktionssteuerung beeinflussbare operative Leistungsfähigkeit des Produktionssystems quantifiziert (vgl. Abschnitt 6.3). Im darauffolgenden Abschnitt 6.4 wird beschrieben, wie basierend auf diesem Kennzahlensystem die Auswirkungen einer auszutauschenden Information auf das Betrachtungssystem ermittelt und in einen Informationswert überführt werden.

### **6.2 Festlegung eines Bewertungsansatzes**

Der Wert einer Information kann über eine Vielzahl an möglichen Ansätzen bestimmt werden (vgl. Abschnitt 3.3). Die Ansätze unterscheiden sich hinsichtlich der übergeordneten Bewertungsgröße des Informationsguts sowie des Vorgehens zur Generierung der Inputdaten für die Informationsbewertung. Im Folgenden wird die Auswahl eines zur Erreichung der Zielsetzung dieser Arbeit geeigneten Bewertungsansatzes dargelegt. In Abschnitt 6.2.1 werden zunächst die grundlegenden finanziellen und nicht-finanziellen Bewertungsmethoden gegenübergestellt. Anschließend wird die Eignung von mathematischer Optimierung, von Simulationsmodellen und von empirischen Studien zur Erzeugung der Datenbasis analysiert (vgl. Abschnitt 6.2.2).

### 6.2.1 Bewertungsgröße

Zur Ermittlung des Werts einer Information können finanzielle und nicht-finanzielle Bewertungsverfahren und zugehörige -größen Anwendung finden (vgl. Abschnitt 3.3.1). Angelehnt an physische Wirtschaftsgüter wird der Informationswert bei finanziellen Verfahren aus einer ökonomischen Perspektive monetär quantifiziert. Nicht-finanzielle Verfahren legen hingegen den Fokus auf die Optimierung der Leistungsfähigkeit und der Qualität des Informationsmanagements.

Zielsetzung dieser Arbeit ist es, für die Produktionssteuerung relevante Informationen als Wirtschaftsgüter zu etablieren und mit Hilfe gezielter Geldflüsse einen verstärkten unternehmensübergreifenden Informationsaustausch zu forcieren. Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden ausschließlich die finanziellen Bewertungsverfahren nach KROTOVA ET AL. (2019) und OTTO ET AL. (2019a) zur Bestimmung der *Kosten*, des *Marktwerts* und des *Nutzwerts* einer Information analysiert. Die den nicht-finanziellen Bewertungsverfahren zuordenbaren qualitäts-, prozess- und performanceorientierten Ansätze werden nicht weiter berücksichtigt.

#### **Kosten**

Bei einem *kostenorientierten* Ansatz wird der monetäre Informationswert basierend auf sämtlichen zur Generierung und zum Austausch der Informationen entstandenen *Kosten* ermittelt. Neben Investitionskosten werden insbesondere operative Kosten zur Datenaufnahme, -verarbeitung, -speicherung und -verwaltung sowie die zur interorganisationalen Übertragung anfallenden Transaktionskosten einbezogen. Die Summe der Kostenbestandteile entspricht dem Betrag, der bei vollständigem Verlust und erneuter Generierung der Informationen anfallen würde. Durch die Akkumulation sämtlicher in der Vergangenheit angefallener Kosten besitzt dieser Ansatz eine verhältnismäßig geringe Komplexität bei gleichzeitiger hoher Objektivität (KROTOVA ET AL. 2019).

Eine Schwierigkeit besteht darin, dass einige Kostenbestandteile des Informationsmanagements im Rahmen der allgemein erforderlichen Datenerfassung ohnehin anfallen und nicht ausschließlich auf den Informationsaustausch zurückzuführen sind. Da diese Kosten nicht direkt zurechenbar sind, müssen sie über Kostensätze umgeschlagen werden. Eine weitere Problematik liegt darin begründet, dass kostenorientierte Ansätze nicht den mit Hilfe der Informationstransparenz erzielbaren Mehrwert mit einbeziehen. Insbesondere im Kontext der interorganisationalen Kooperation stellt dies bei immateriellen Vermögensgegenständen eine große Herausforderung dar. Aufgrund des fehlenden materiellen Werts des Wirtschaftsguts



erwarten Unternehmen einen positiven und messbaren Nutzen aus dem Kauf der Informationen. Für die Aufwände, die beim Partnerunternehmen zur Generierung und Kommunikation der Informationen entstanden sind, sind Unternehmen nur indirekt bereit zu bezahlen. Insbesondere fixe Investitionskosten, die im Verhältnis zu den variablen Kostenanteilen überwiegen (LINDE 2009, LANGE ET AL. 2018), sind argumentativ nur schwer begründbar. Sie können nicht geltend gemacht werden, sondern werden als Voraussetzung für eine Kooperation angesehen.

Daraus folgt, dass kostenorientierte Ansätze nur eine geringe Akzeptanz im Rahmen eines unternehmensübergreifenden Austauschs steuerungsrelevanter Informationen erzeugen. Sie bieten allerdings einen Richtwert für den Aufwand, der mit Informationsaustausch einhergeht und aus mittel-/langfristiger Perspektive somit gedeckt sein muss. Aufgrund der eingeschränkten Aussagekraft bei der Anwendung wird der Informationswert im Rahmen dieser Arbeit nur dann kostenbasierend ermittelt, wenn kein geeigneterer Ansatz identifizierbar ist.

### **Marktwert**

*Marktpreisorientierte* Ansätze analysieren und quantifizieren den *Marktwert* einer Information auf Basis des für die jeweilige Information auf einem externen, offenen Markt durchsetzbaren Preises. Voraussetzung für die Bestimmung des Marktwerts ist die Verfügbarkeit einer Plattform, auf der die Veräußerung der immateriellen Vermögenswerte einschließlich sämtlicher Eigentumsrechte unter Wettbewerb stattfinden kann. Der Daten- bzw. Informationswert wird dabei durch verschiedene marktabhängige Faktoren und Mechanismen beeinflusst, wie bspw. Angebot und Nachfrage. Durch diese Marktbedingungen wird eine hohe Objektivität eines Informationswerts sichergestellt (KROTOVA ET AL. 2019).

Problematisch ist bei einem Austausch steuerungsrelevanter Informationen die hohe Spezifität in der Verwendbarkeit ebendieser Informationen. Für die Produktionssteuerung erforderliche Informationen, wie bspw. Auftrags- oder Kapazitätsinformationen (vgl. Kapitel 5), sind ausschließlich für dedizierte Wertschöpfungspartner relevant. Mit diesen muss wiederum eine Materialflussbeziehung bestehen. Externe Dritte können keinen Mehrwert aus diesen Informationen erzielen. Ein marktpreisorientierter Ansatz ist aufgrund der eingeschränkten Veräußerbarkeit für den in dieser Arbeit vorliegenden Anwendungsbereich somit nicht geeignet.

### **Nutzwert**

Im Rahmen des *nutzenorientierten* Ansatzes wird der Informationswert auf Grundlage des durch die Verfügbarkeit und die Verwendung der Information erzielbaren

ökonomischen Nutzens ermittelt. Der Wertbeitrag resultiert dabei aus Effizienz- und Effektivitätsgewinnen im Produktionsablauf. Die daraus folgenden Kostenreduzierungen und Umsatzsteigerungen führen zu einem unmittelbaren finanziellen Nutzen. Für die Ermittlung dieses *Nutzwerts* ist eine detaillierte Leistungsanalyse des Produktionssystems unabdingbar. Durch die Quantifizierung des Mehrwerts anstelle der Kosten der Information kann im Kontext des interorganisationalen Austauschs steuerungsrelevanter Informationen grundsätzlich von einer hohen Akzeptanz ausgegangen werden. Voraussetzung und zugleich Herausforderung für den nutzenorientierten Ansatz ist jedoch die Gewährleistung von Objektivität. Um eine objektive Wertermittlung trotz der damit einhergehenden Komplexität zu gewährleisten, ist ein hoher Aufwand erforderlich (KROTOVA ET AL. 2019).

Der Zeitpunkt der Quantifizierung des Nutzwerts stellt eine weitere Herausforderung dar. Auf der einen Seite argumentieren SHAPIRO & VARIAN (1999), dass der Wert eines Informationsgutes aufgrund des situationsabhängigen Nutzens für den jeweiligen Entscheider erst nach dem Erhalt oder der Verwendung der Information ermittelbar ist. Auf der anderen Seite richtet sich der Informationswert auf die in der Zukunft liegenden Nutzenpotenziale. Zur Lösung dieses Dilemmas ist ein die Realität abbildendes Modell erforderlich, das eine zukunftsorientierte Nutzenbestimmung erlaubt. Voraussetzung für die Erstellung dieses Modells ist die Kenntnis über die wesentlichen Wirkzusammenhänge im Betrachtungssystem (ZECHMANN & MÖLLER 2016, MÖLLER ET AL. 2017, ZECHMANN 2018). Die Grundlage für diese Analyse der Wirkzusammenhänge bilden die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten qualitativen Kausaldiagramme (vgl. Abschnitt 5.3.2). Ausgehend von den qualitativen Kausaldiagrammen kann der durch die Informationstransparenz erzielte Mehrwert objektiv quantifiziert werden. Unter der Prämisse der Begegnung der aufgezeigten Herausforderungen erfüllt der nutzenorientierte Ansatz somit die Anforderungen an die Bewertung steuerungsrelevanter Informationen im Kontext von Wertschöpfungsnetzwerken (vgl. Abschnitt 4.2.2).

## **Fazit**

Die Eignung der drei finanziellen Ansätze zur Erreichung der Zielsetzung dieser Arbeit ist in Tabelle 6-1 zusammengefasst. Im Ergebnis stellt sich der nutzenorientierte Ansatz als am besten für den vorliegenden Anwendungskontext geeignet dar. Ein rein kostenorientierter Ansatz ist aufgrund der fehlenden Berücksichtigung des im Kontext von Wertschöpfungsnetzwerken erzielbaren Mehrwerts nicht empfehlenswert. Marktwertorientierte Ansätze sind aufgrund des fehlenden offenen Markts für steuerungsrelevante Informationen nicht anwendbar.

Tabelle 6-1: Evaluation finanzieller Bewertungsgrößen für Informationswerte

Kosten	Marktwert	Nutzwert
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ geringe Komplexität</li> <li>▪ hohe Objektivität</li> <li>▪ Mehrwert der Information nicht berücksichtigt</li> <li>▪ geringe Akzeptanz bei unternehmensübergreifendem Informationsaustausch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ geringe Komplexität</li> <li>▪ hohe Objektivität</li> <li>▪ Voraussetzung ist Verfügbarkeit eines Marktes</li> <li>▪ Veräußerbarkeit aufgrund spezifischer Verwendbarkeit nicht immer gegeben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ hohe Komplexität</li> <li>▪ Objektivität nur mit hohem Aufwand erreichbar</li> <li>▪ hohe Akzeptanz bei unternehmensübergreifendem Informationsaustausch durch Fokus auf Mehrwert</li> </ul>
→ Kosten geeignet als langfristiger Richtwert	→ Marktwert nicht geeignet	→ Nutzwert geeignet als Informationswert

Voraussetzung für die Zweckmäßigkeit eines Informationsaustauschs ist allerdings ein positives Nutzen-Aufwand-Verhältnis. Um dieses sicherzustellen, muss der erzielbare Nutzwert die angefallenen Kosten zur Informationsgenerierung und -verarbeitung übersteigen. Für die vorliegende Arbeit wird somit primär der nutzenorientierte Ansatz verfolgt. Dieser wird im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbewertung um die Berechnung der aus Kostenperspektive relevanten Amortisationszeit ergänzt (vgl. Abschnitt 8.4.2).

Methoden zur Bestimmung von Nutzwerten finden bei einer Vielzahl unterschiedlicher Problemstellungen Anwendung. Unabhängig davon, ob es sich bspw. um die Bewertung des zukünftigen Nutzens (im-)materieller Güter oder die Auswahl einer Entscheidungsalternative im Rahmen einer Nutzwertanalyse handelt, ist den Ansätzen gemein, dass eine geeignete Datengrundlage gegeben sein muss. Diese Datenbasis schafft Transparenz zu den jeweiligen Auswirkungen des unternehmensübergreifenden Austauschs steuerungsrelevanter Informationen und ermöglicht die Nutzwertbestimmung im Sinne eines vorlaufenden Indikators. Das im folgenden Abschnitt dargelegte Vorgehen zur Generierung einer validen Datenbasis für den nutzenorientierten Ansatz bewirkt somit die Überführung eines subjektiven zu einem objektiven Informationswert. Dieser ist weitestgehend unabhängig von der verwendenden Person.

### 6.2.2 Vorgehen zur Generierung der Datenbasis

Die Verfügbarkeit einer geeigneten Datenbasis bildet die Voraussetzung für die Ermittlung der Bewertungsgröße *Nutzwert* einer Information für die Produktionssteuerung. Die Datenbasis dient der Beschreibung einer gegebenen oder potenziellen Produktionssituation. Hierdurch lassen sich die durch den Informationsaustausch erzielbaren Auswirkungen auf die Auftragsabwicklung analysieren. Eine

Datenbasis kann mit Hilfe einer der Vorgehensweisen *mathematische Modellierung*, *simulative Analysen* und *empirische Studien* generiert werden (vgl. Abschnitt 3.3.3). Im Folgenden werden die drei Ansätze analysiert, um den für diese Arbeit am besten geeigneten Ansatz auszuwählen.

### **Mathematische Modellierung**

Ziel eines mathematischen Optimierungsmodells ist die Analyse und Lösung eines Minimierungs- oder Maximierungsproblems unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen. Nebenbedingungen beschreiben sämtliche Anforderungen an die Lösung, wie bspw. die zur Verfügung stehenden Ressourcenkapazitäten oder die zu bearbeitenden Produktionsaufträge. Mit einer mathematisch-analytischen Untersuchung sind jedoch einige Herausforderungen verbunden. Zum einen lassen sich nicht sämtliche Kontextbedingungen deterministisch erfassen, wie bspw. stochastisch und unvorhergesehen eintretende Ereignisse. Zum anderen gehen mit einer umfassenden Berücksichtigung sämtlicher im vorliegenden Anwendungskontext relevanten unternehmensinternen und -übergreifenden Wechselwirkungen (vgl. das Referenzmodell in Kapitel 5) ein hoher Modellierungsaufwand sowie eine lange Rechenzeit einher.

Die Komplexität des analytischen Modells könnte zwar durch die Festlegung einschränkender Annahmen reduziert werden (LI ET AL. 2005). Dies würde allerdings nicht der Zielsetzung dieser Arbeit, den mit einem Informationsaustausch einhergehenden Nutzen objektiv und ganzheitlich zu quantifizieren, entsprechen. Vor diesem Hintergrund ist ein mathematischer Ansatz der Problemformulierung und Lösungsfindung in der vorliegenden Arbeit nicht geeignet.

### **Empirische Studien**

Mit Hilfe empirischer Studien werden vorab definierte Hypothesen methodisch-systematisch analysiert und ausgewertet. Im Vordergrund steht dabei die qualitative und/oder quantitative Überprüfung von Wirkzusammenhängen unterschiedlicher Faktoren.

Die Auswirkungen eines potenziell vorhandenen oder fehlenden Informationsaustauschs auf die Leistungsfähigkeit eines Produktionssystems lassen sich mit empirischen Studien zwar überschlagsmäßig beziffern. Absolute Werte für den Austausch steuerungsrelevanter Informationen in einem konkreten Anwendungsfall können mit diesem Ansatz aber nicht quantifiziert werden. Empirische Studien stellen aufgrund ihres induktiven Charakters somit keine geeignete Methode für die Quantifizierung des steuerungsbezogenen Informationswerts dar.

## **Simulative Analysen**

Neben mathematischen Optimierungsmodellen und empirischen Studien stellen simulationsbasierte Verfahren eine weitere Möglichkeit zur Generierung der Datenbasis für die Informationswertbestimmung dar. Die mit Simulationsmodellen durchführbaren Analysen bieten das Potenzial, die dynamischen Auswirkungen eines Ereigniseintritts auf den Auftragsablauf zu prognostizieren und zu analysieren (OJHA ET AL. 2019). Gleichmaßen lässt sich der Einfluss von Produktionssteuerungsmaßnahmen, die durch einen zielführenden Informationsaustausch initiiert werden, auf die Leistungsfähigkeit eines realen Produktionssystems ermitteln. Der Detailgrad und die damit einhergehende Komplexität des Modells kann in Abhängigkeit von den im spezifischen Anwendungsfall zu berücksichtigenden Einflussfaktoren variiert werden. Relevante unternehmensinterne sowie -übergreifende Abhängigkeiten des Material- und Informationsflusses lassen sich mit Hilfe von modularen und skalierbaren Simulationsmodellen abbilden.

### **Fazit**

Es lässt sich schlussfolgern, dass ein simulationsbasierter Ansatz am besten zur Generierung der Datenbasis für die Leistungsbewertung eines Produktionssystems bei Austausch einer Ereignisinformation geeignet ist. In der Literatur lassen sich verschiedene Simulationsansätze finden (vgl. Abschnitt 3.3.3.2). Im nachfolgenden Abschnitt 6.2.3 wird die Festlegung eines für die Informationswertbestimmung geeigneten Simulationsansatzes dargelegt.

### **6.2.3 Festlegung eines Simulationsansatzes zur Datengenerierung**

Im Kontext der Simulation von Material- und Informationsflüssen lassen sich die drei grundlegenden Ansätze ABS, DES und SD unterscheiden (vgl. Abschnitt 3.3.3.2). Tabelle 6-2 gibt einen Überblick im Rahmen der Arbeit analysierter Merkmale der drei Simulationsansätze. Darüber hinaus besteht eine Vielzahl hybrider Ansätze, die die Stärken von ABS, DES und SD kombinieren. Aufgrund des erhöhten Aufwands zur Entwicklung hybrider Simulationen (KOPPE 2012) sind diese für den vorliegenden Anwendungsbereich nicht geeignet und werden daher im Folgenden nicht weiter berücksichtigt. Für weitere Informationen wird u. a. auf TAKO & ROBINSON (2012) verwiesen.

Tabelle 6-2: Übersicht der analysierten Simulationsansätze

Merkmal	ABS	DES	SD
Betrachtungsfokus	Interaktionen	Prozessabläufe	dynam. Änderungen
Zeitbezug	ereignisorientiert	ereignisorientiert	kontinuierlich
Abstraktionsgrad	variabel	gering	hoch
Modellierungsaufwand	hoch	gering	mittel
Eignung für die Produktionssteuerung	mittel	hoch	gering

### Agentenbasierte Simulation

Bei *ABS* ist das Verhalten des Produktionssystems durch die Interaktion unabhängiger Agenten gekennzeichnet (DECKERT & KLEIN 2010). Der hohe Freiheitsgrad bei der Modellierung individueller Agenten ermöglicht es, den Abstraktionsgrad der Simulation entsprechend den spezifischen Anforderungen flexibel festzulegen. Zur kurzfristigen Steuerung der Produktionsabläufe ist ein hoher Detailgrad des Simulationsmodells erforderlich. Andernfalls würde das Risiko bestehen, dass relevante Abhängigkeiten zwischen den Entitäten nicht ausreichend berücksichtigt würden. Folglich wären die Erkenntnisse der Simulationsstudie nicht auf das reale Produktionssystem übertragbar. Der für ein valides Simulationsmodell erforderliche hohe Modellierungsaufwand mindert somit die aus funktioneller Sicht hohe Eignung zur Bestimmung des Werts steuerungsrelevanter Informationen.

### Ereignisdiskrete Simulation

Der Betrachtungsfokus von *DES* liegt auf der ereignisorientierten Modellierung von Prozessabläufen. Von Interesse ist die Simulation der Auswirkungen von Ereignissen auf das Verhalten einzelner Entitäten (LAW 2015). Der Zustand des Produktionssystems ändert sich zu diskreten Zeitpunkten (TAKO & ROBINSON 2012). Neben qualitativen lassen sich auch quantitative Schlussfolgerungen zum Zustand des Produktionssystems ableiten. Aufgrund des geringen Abstraktionsgrads ist die *DES* für die Untersuchung operativer Fragestellungen im kurzfristigen Zeithorizont der Produktionssteuerung prädestiniert (REINHART & GYGER 2008).

### Systemdynamische Simulation

Simulationsmodelle, die den Fokus auf die Beschreibung und Analyse der dynamischen Wirkzusammenhänge zwischen Systemelementen legen, werden den Ansätzen des *SD* zugeordnet (BOSSEL 2004). Der Systemzustand wird dabei durch Bestands- und Flussgrößen charakterisiert und unterliegt kontinuierlichen anstelle

von zeitdiskreten Veränderungen (TAKO & ROBINSON 2012). Damit sind SD-Modelle prädestiniert für die Untersuchung langfristiger Entwicklungen in der strategischen und taktischen Produktionsplanung, bspw. des Bullwhip Effects. Aufgrund der fehlenden Ereignisorientierung sind die Ansätze des SD jedoch nicht für eine Anwendung im Kontext der Produktionssteuerung geeignet.

### **Fazit**

Vor dem Hintergrund der Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung wird DES als Simulationsansatz zur zeitdiskreten Generierung der Datenbasis für eine kennzahlbasierte Bewertung des Systemzustands präferiert. Die Anwendung von SD und ABS ist zwar grundsätzlich für die Analyse von Wirkzusammenhängen bei Produktionsabläufen möglich. Sie wird im Kontext der Produktionssteuerung allerdings aufgrund der erläuterten Charakteristika als nicht zielführend erachtet.

Die aus den simulativen Analysen gewonnenen Erkenntnisse dienen als Input für das im folgenden Abschnitt 6.3 erläuterte Kennzahlensystem zur Bewertung der operativen Produktionsperformance.

## **6.3 Kennzahlensystem für die operative Produktionsperformance**

Um den Wert von steuerungsrelevanten Informationen zu eruieren, sind die Auswirkungen der Informationsverfügbarkeit auf die im Rahmen der Produktionssteuerung beeinflussbare operative Leistungsfähigkeit des Produktionssystems ganzheitlich zu quantifizieren. Mittel-/langfristige taktische sowie strategische Auswirkungen von Informationsaustausch auf das Produktionssystem sind nicht im Betrachtungsfokus der kurzfristig operierenden Produktionssteuerung. Sie werden daher im Folgenden nicht berücksichtigt (vgl. Abschnitt 4.3). Um eine Wirtschaftlichkeit des unternehmerischen Handelns zu gewährleisten, wird ein optimales Verhältnis von Nutzen zu Aufwand angestrebt (WEBER ET AL. 2018). Voraussetzung für eine Vergleichbarkeit von Nutzen und Aufwand im Rahmen des Kennzahlensystems stellt eine einheitliche Bewertungsgröße dar. Aufgrund des unmittelbaren ökonomischen Bezugs wird die Bewertungsgröße *Geldeinheit* festgelegt.

Die zur Bestimmung des Nutzwerts von Informationen für die Produktionssteuerung relevanten produktionslogistischen Kennzahlen werden in Abschnitt 6.3.1 beschrieben. Im Abschnitt 6.3.2 werden die Kennzahlen in ein als Rechensystem aufgebautes Kennzahlensystem mit einer Spitzenkennzahl überführt.

### 6.3.1 Produktionslogistische Kennzahlen

Die im Kontext der Produktionssteuerung zu berücksichtigenden Kennzahlen leiten sich aus den produktionslogistischen Zielen (vgl. Abschnitt 2.2.3.2) ab. Um die Vergleichbarkeit der verschiedenen Zieldimensionen und die Zusammenführung in einer Spitzenkennzahl zu ermöglichen, werden die produktionslogistischen Ziele in Form monetärer Kennzahlen quantifiziert. Die Kennzahlen sind gemäß den Zieldimensionen in Logistikkosten mit der Auslastung (6.3.1.1) und dem Bestand (6.3.1.2) sowie in Logistikleistung mit der Durchlaufzeit (6.3.1.3) und der Termintreue (6.3.1.4) gegliedert.

#### 6.3.1.1 Auslastung

Das produktionslogistische Ziel einer hohen Auslastung wird vor dem Hintergrund einer ökonomischen Wertschöpfung verfolgt. Zum einen führen leistungssteigernde Maßnahmen zu einem höheren Ist-Abgang und damit zu Umsatzwachstum. Zum anderen resultiert aus der Fixkostendegression eine Reduzierung der auftragsbezogenen Herstellkosten. Zur monetären Bewertung der Auslastung gilt es folglich, die Leistung sowie die Herstellkosten zu berücksichtigen.

Die Leistung eines Arbeits- respektive Produktionssystems wird im produktionstechnischen Kontext durch den kumulierten Ist-Abgang pro Zeiteinheit (s. Formel (39) in Anhang 15.1.1) berechnet. Vor dem Hintergrund des definierten Betrachtungszeitraums (vgl. Abschnitt 5.2.2) lässt sich die Zeiteinheit vernachlässigen. Die Produktionsleistung kann daher über die in der betrachteten Periode fertiggestellten Produktionsaufträge bestimmt werden. Um die Produktionsleistung in einer monetären Einheit anstelle der zeitlichen Einheit (Arbeitsstunden) zu bewerten, werden die Produktionsaufträge gemäß Formel (4) mit ihrem monetären Wert gewichtet.

$$PL = \sum_{i=1}^n WA_i * y_i \quad (4)$$

mit	$PL$	Produktionsleistung
	$WA_i$	Wert des Produktionsauftrags $i$
	$y_i$	= 1, wenn $i$ in BZR abgeschlossen; sonst 0
	$i$	Produktionsauftragsnummer
	$n$	Gesamtanzahl an Produktionsaufträgen



Die maximal erreichbare Leistung wird durch die verfügbare Betriebsmittel- und Personalkapazität begrenzt. Für den Betrachtungszeitraum wird eine Plan-Leistung in Form der Menge an fertigzustellenden Produktionsaufträgen als Zielwert vorgegeben. Bei Abweichung der Ist- von der Plan-Leistung kann im Rahmen der Produktionssteuerung eine Kapazitätsabstimmung und -anpassung erfolgen, um den Abgang des Produktionssystems zu erhöhen.

Mit der Produktionsleistung gehen betriebliche Herstellkosten einher. Diese setzen sich aus fixen und variablen Kostenanteilen zusammen. Fixe Kosten  $K_{fix}$ , wie bspw. Gehälter, Gebäudekosten, Abschreibungen für Anlagen etc., können im kurzfristigen Betrachtungshorizont der Produktionssteuerung nicht beeinflusst werden. Sie werden entsprechend einer Teilkostenrechnung daher nicht den Aufträgen als Kostenträger direkt zugerechnet. Da fixe Kostenbeträge im Rahmen einer ganzheitlichen Leistungsbewertung eines Produktionssystems jedoch nicht zu vernachlässigen sind, wird  $K_{fix}$  als gegeben angenommen und als nicht weiter detaillierte Kennzahl erfasst. Variable Kosten  $K_{var}$  beinhalten neben Materialkosten auch den variablen Anteil der Fertigungskostenarten Maschinen-, Personal-, Qualitäts- und Instandhaltungskosten. Formel (5) gibt die zugehörige Berechnungsvorschrift wieder. Die im Rahmen der Produktionssteuerung beeinflussbaren variablen Anteile der Maschinen- und Personalkosten beinhalten bspw. Rüstkosten sowie die bei einer kurzfristigen Kapazitätserhöhung anfallenden Kosten für Überstunden oder Springer. Durch Ausschuss oder Nacharbeit anfallende Zusatzkosten werden unter den Qualitätskosten subsumiert.

$$K_{var} = K_{Mat} + K_{Masch} + K_{Pers} + K_{Qual} + K_{Inst} \quad (5)$$

mit	$K_{var}$	variable Kosten
	$K_{Mat}$	Materialkosten
	$K_{Masch}$	Maschinenkosten
	$K_{Pers}$	Personalkosten
	$K_{Qual}$	Qualitätskosten
	$K_{Inst}$	Instandhaltungskosten

### 6.3.1.2 Bestand

Der Bestand vereint die beiden Anteile WIP und Lagerbestand (vgl. Abschnitt 2.2.3.2). Der WIP besitzt als Stell- und Regelgröße eines Produktionssystems einen entscheidenden Einfluss auf den Ablauf der Wertschöpfung und die Erreichung der produktionslogistischen Ziele. Die Berücksichtigung der monetären

Auswirkungen des WIP in Form einer Kennzahl ist für die Bestimmung der Leistungsfähigkeit eines Produktionssystems daher unerlässlich. Auch der Lagerbestand an Rohmaterialien, Halbfabrikaten und Fertigwaren besitzt einen hohen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit eines produzierenden Unternehmens. Gemein ist WIP und Lagerbestand, dass sie sich über das in ihnen gebundene Kapital monetär quantifizieren lassen. Die Bestandskosten ergeben sich entsprechend Formel (6) durch Summation der Kapitalbindungskosten des WIP und des Lagerbestands. Die Kapitalbindungskosten des WIP berechnen sich wiederum gemäß Formel (7) durch das im Betrachtungszeitraum durchschnittlich im WIP gebundene Kapital multipliziert mit einem Kapitalkostensatz  $k_K$ . Analog berechnen sich die Kapitalbindungskosten des Lagerbestands nach Formel (8).

$$K_{Bestand} = K_{WIP} + K_{Lager} \quad (6)$$

$$K_{WIP} = K_{WIP,geb} * k_K \quad (7)$$

$$K_{Lager} = K_{Lager,geb} * k_K \quad (8)$$

mit	$K_{Bestand}$	Kapitalbindungskosten des Bestands
	$K_{WIP}$	Kapitalbindungskosten des WIP
	$K_{Lager}$	Kapitalbindungskosten des Lagerbestands
	$K_{WIP,geb}$	durchschnittl. Kapitalbindung des WIP
	$k_K$	Kapitalkostensatz
	$K_{Lager,geb}$	durchschnittl. Kapitalbindung des Lagerbestands

Da sich der Kapitalkostensatz bei WIP und Lagerbestand nicht unterscheidet, lassen sich die Formeln (6) - (8) wie folgt zusammenfassen:

$$K_{Bestand} = K_{Bestand,geb} * k_K \quad (9)$$

mit  $K_{Bestand,geb}$  durchschnittl. Kapitalbindung des Bestands

Weitere Formen der Kapitalbindungskosten aus Anlagevermögen, ausstehenden Forderungen etc. sind nicht im Kontext der Produktionssteuerung beeinflussbar und werden daher über den Fixkostenanteil  $K_{fix}$  berücksichtigt.

### 6.3.1.3 Durchlaufzeit

Aus strategischer Perspektive sind kurze Durchlaufzeiten und daraus folgende kurze Lieferzeiten von hoher Relevanz für den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens. Der Grund hierfür ist, dass eine kurze Lieferzeit ein entscheidendes

Kriterium bei der Kaufentscheidung eines Produkts darstellt und somit die Wettbewerbsposition stärkt (LÖDDING 2016). Auf der taktischen Planungsebene erfolgt die grundsätzliche logistische Positionierung des Produktionssystems. Durch die Wahl eines Betriebspunkts werden Plan-Vorgaben für Bestand, Leistung und Durchlaufzeit festgelegt (NYHUIS & WIENDAHL 2012). Diese Plan-Werte werden bei der auftragsbezogenen Losgrößenbildung, Terminierung sowie der Ressourcenfeinplanung berücksichtigt. Die operative Ebene der Produktionssteuerung verfolgt das Ziel, die geplanten Termine einzuhalten. Hierzu stehen die Stellgrößen Ist-Zugang, Ist-Kapazität, Ist-Ressourcenbelegung und Ist-Reihenfolge zur Verfügung (vgl. Abschnitt 5.3.1.2). Die Durchlaufzeit wird im Rahmen der Produktionssteuerung nicht aktiv adressiert. Sie resultiert vielmehr aus den beiden Regelgrößen Bestand und Leistung. Die Durchlaufzeit stellt deshalb selbst keinen direkten Wert- oder Kostentreiber dar. Auf eine zusätzliche monetäre Bewertung der Durchlaufzeit wird im Rahmen dieser Arbeit daher verzichtet.

Es ist jedoch nicht zu vernachlässigen, dass eine Abweichung der Ist- von der Plan-Durchlaufzeit eine Terminabweichung zur Folge hat. Auf die monetären Auswirkungen von Terminabweichungen wird im folgenden Abschnitt detailliert eingegangen.

#### 6.3.1.4 Termintreue

Die Termintreue entspricht dem Verhältnis der zum geplanten Zeitpunkt fertiggestellten Aufträge zur Gesamtzahl an fertiggestellten Aufträgen. Unerwünschte Abgangsterminabweichungen, die außerhalb definierter Ober-/Untergrenzen liegen, führen zu einer Verschlechterung der Termintreue (s. Formel (3) in Abschnitt 2.2.3.2). Abgangsterminabweichung und Termintreue beziehen sich als logistische Zielgrößen auf festgelegte Fertigstellungstermine. Damit eine interne Abgangsterminabweichung nicht unmittelbar zu einer Lieferterminabweichung gegenüber externen Kunden führt, berücksichtigen Unternehmen einen zeitlichen Puffer zwischen Fertigstellungs- und Liefertermin. Die durch diesen Lieferzeitpuffer erzielte Entkoppelung der internen Abgangsterminabweichung von der externen Lieferterminabweichung wird durch Formel (10) ausgedrückt. (LÖDDING 2016)

$$LTA = \begin{cases} 0, & TAA \leq ZLP \\ TAA - ZLP, & TAA > ZLP \end{cases} \quad (10)$$

mit  $LTA$  Lieferterminabweichung

Der zu definierende Lieferzeitpuffer ist abhängig von der angestrebten Liefertermintreue sowie dem Mittelwert und der Streuung der Abgangsterminabweichung. Formel (11) gibt diesen funktionalen Zusammenhang wieder. Es gilt der Grundsatz, dass je höher der Mittelwert und die Streuung der Abgangsterminabweichung sind, desto höher muss der Lieferzeitpuffer gewählt werden, um die Liefertermine einzuhalten zu können. (LÖDDING 2016)

$$ZLP = f(LTT_{Soll}, TAA_m, TAA_\sigma) \quad (11)$$

mit  $LTT_{Soll}$  Zielwert der Liefertermintreue  
 $TAA_m$  mittlere Abgangsterminabweichung  
 $TAA_\sigma$  Streuung der Abgangsterminabweichung

Neben einer Verlängerung der Lieferzeit führt ein Lieferzeitpuffer zu einem Lagerbestand an Fertigwaren. Das in diesem Bestand gebundene Kapital stellt die Basis für die monetäre Quantifizierung des zur Erreichung der Liefertermintreue verwendeten Lieferzeitpuffers dar. Eine Reduzierung des Lieferzeitpuffers im Sinne eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP), ohne dass eine Verschlechterung der Liefertermintreue eintritt, lässt eine Leistungssteigerung des Produktionssystems erkennen. I. A. an ZIPFEL ET AL. (2021) wird im Folgenden der Zusammenhang der Soll-Liefertermintreue, des Mittelwerts und der Streuung der Abgangsterminabweichung mit der Höhe des Lieferzeitpuffers und des damit einhergehenden Bestands zur Quantifizierung der Termintreue erläutert (s. Abbildung 6-1).

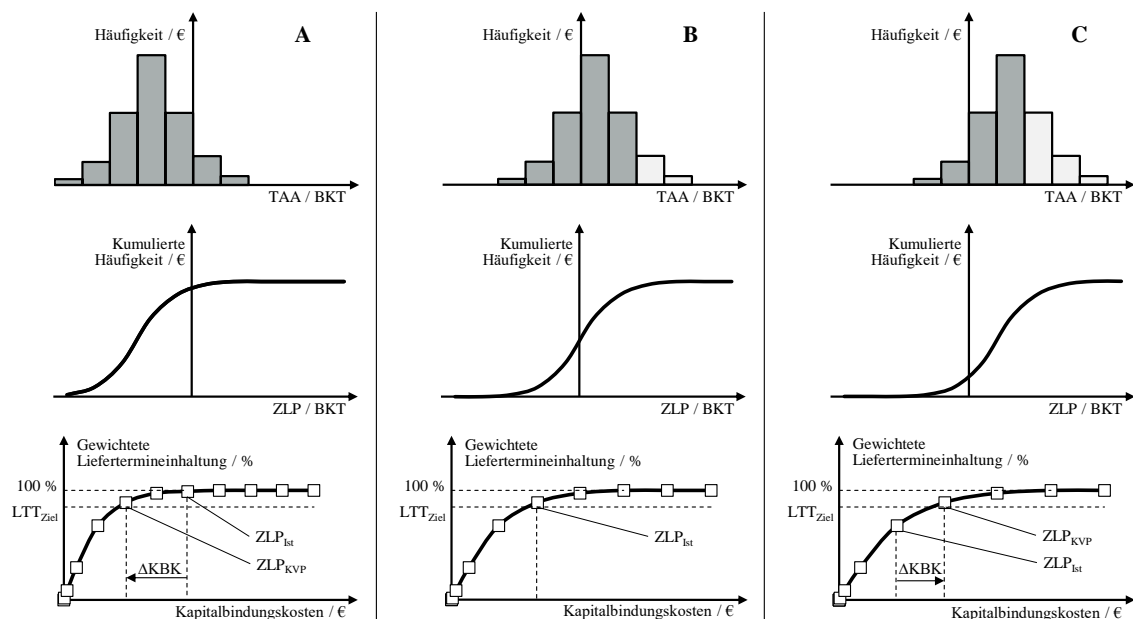


Abbildung 6-1: Quantifizierung der Abgangsterminabweichung über Anpassung der Lieferzeitpuffer (i. A. an ZIPFEL ET AL. 2021)

Die qualitativen Histogramme A, B und C zeigen drei exemplarische Verteilungen von auftragsbezogenen Abgangsterminabweichungen. In allen drei Fällen wird ein in der Produktionsplanung festgelegter Lieferzeitpuffer von  $ZLP_{Ist} = 2 \text{ BKT}$  als gegeben angenommen. Die rechtzeitig vor dem Liefertermin fertig gestellten Aufträge sind grau gefärbt. Mit Hilfe der Kurven zur kumulierten Häufigkeit lässt sich ablesen, welcher Anteil an Aufträgen der zugehörigen Verteilung der Abgangsterminabweichungen in Abhängigkeit vom Lieferzeitpuffer rechtzeitig fertig gestellt wurde. In Fall A wird eine (Ist-)Liefertermineinhaltung von  $LTE_{Ist,A} = 100 \%$ , in Fall B von  $LTE_{Ist,B} = 85 \%$  und in Fall C von  $LTE_{Ist,C} = 60 \%$  erreicht. Die Liefertermineinhaltung ist dabei von der Liefertermintreue zu differenzieren. Während die Liefertermintreue durch sämtliche Aufträge, die außerhalb der Ober- oder Untergrenze der Abgangsterminabweichung liegen, reduziert wird, wird die Liefertermineinhaltung lediglich durch ein Überschreiten des Liefertermins negativ beeinflusst. Vor der Untergrenze der Abgangsterminabweichung beendete Aufträge erhöhen den Bestand an Fertigwaren. Sie wirken sich jedoch nicht auf die Liefertermineinhaltung aus. Die Kurven der untersten Reihe aus Abbildung 6-1 zeigen die gewichtete Liefertermineinhaltung aufgetragen über das durchschnittlich gebundene Kapital respektive den zugehörigen Kapitalbindungskosten. Diese Kurve resultiert aus der Integration der kumulierten Häufigkeiten. Gekennzeichnet ist in den drei Kurven der angestrebte Zielwert der Liefertermineinhaltung  $LTE_{Soll}$ . In Fall A liegt die Liefertermineinhaltung über dem Zielwert ( $LTE_{Ist,A} > LTE_{Soll}$ ). Eine Reduzierung des Lieferzeitpuffers  $ZLP_{Ist,A}$  auf  $ZLP_{KVP,A}$  führt zu einer deutlichen Einsparung an Kapitalbindungskosten. Bei der Verteilung der Abgangsterminabweichungen in Fall B entspricht die Liefertermineinhaltung dem Vorgabewert ( $LTE_{Ist,B} = LTE_{Soll}$ ). In Fall C hingegen ist der Lieferzeitpuffer nicht ausreichend, um die gewünschte Liefertermineinhaltung zu erreichen ( $LTE_{Ist,C} < LTE_{Soll}$ ). Eine Vergrößerung des Lieferzeitpuffers  $ZLP_{Ist,C}$  auf  $ZLP_{KVP,C}$  führt zwar zu höheren Beständen, resultiert aber auch in einer höheren Kundenzufriedenheit. Hierbei wird der Zielkonflikt aus einer hohen Liefertermintreue und den mit geringen Beständen verbundenen Kapitalbindungskosten offensichtlich.

Für die Quantifizierung der Zielgröße Termintreue ist zu berücksichtigen, dass der Lieferzeitpuffer in der zu bewertenden Betrachtungsperiode nicht verändert werden kann. Im Rahmen des KVP wird eine Anpassung des Lieferzeitpuffers für die nachfolgende Periode verfolgt. Das Intervall des KVP, in dem der Lieferzeitpuffer angepasst werden kann, entspricht somit dem Betrachtungszeitraum. Für die Anpassung des Lieferzeitpuffers wird eine auf den Erkenntnissen der betrachteten Periode basierende Prognose der Abgangstermine für die nachfolgende Periode

durchgeführt und in die Berechnung der zu aktualisierenden Höhe des Lieferzeitpuffers einbezogen. Die Performance der nachgelagerten Periode wird zwar nicht bei der Ermittlung des Informationswerts erfasst. Die Anpassung des Lieferzeitpuffers kann allerdings aufgrund des Einflusses auf den KVP der Betrachtungsperiode kalkulatorisch zugerechnet werden.

Zur monetären Bewertung des Einflusses des Lieferzeitpuffers wird die Kennzahl der systembezogenen Logistikleistung  $L_{SL}$  eingeführt. Die systembezogene Logistikleistung beinhaltet die Veränderung des Lieferzeitpuffers und bewertet somit das Potenzial bzw. die Mehrkosten, die aus der Abgangsterminabweichung und der damit verbundenen Termintreue resultieren. Die Berechnungsvorschrift ist in Formel (12) dargelegt. Besitzt  $L_{SL}$  ein positives Vorzeichen, besteht das Potenzial zur Reduzierung des Lieferzeitpuffers und folglich zur Leistungssteigerung des Produktionssystems. Die Kapitalbindungskosten des Lieferzeitpuffers werden über die Bestandskosten (vgl. Abschnitt 6.3.1.2) berücksichtigt.

$$L_{SL} = K_{ZLP,p} - K_{ZLP,p+1} \quad (12)$$

mit  $L_{SL}$  systembezogene Logistikleistung  
 $K_{ZLP,p}$  Kosten für ZLP in Periode p  
 $K_{ZLP,p+1}$  geplante Kosten für ZLP in Periode p+1

Übersteigt die Abgangsterminabweichung den Lieferzeitpuffer, resultiert daraus eine Lieferterminabweichung. Expresslieferungen stellen zwar eine Möglichkeit dar, die Lieferterminabweichung zu reduzieren. Jedoch sind sie auch mit zusätzlichen Transportkosten verbunden. Tritt dennoch eine zeitliche Verzögerung des Zugangs in der nachfolgenden Wertschöpfungsstufe ein, führt dies bei geringen Sicherheitsbeständen zu Auslastungsverlusten. Im schlimmsten Fall haben sie Lieferprobleme gegenüber den Endkunden zur Folge. Zur Kompensation der damit einhergehenden Umsatzverluste werden vertraglich geregelte Konventionalstrafen fällig. Transportmehrkosten und Strafzahlungen für verspätete Lieferungen werden unter Verzugskosten subsumiert. Der infolge verspäteter Lieferungen resultierende Vertrauensverlust und damit verbundene zukünftig ausbleibende Erträge werden in dieser Arbeit aufgrund des langfristigen Charakters nicht berücksichtigt.

Daneben sind auch auftragsabhängige Bonuszahlungen bei Liefertermineinhaltung möglich. Zur Erfassung der Verzugskosten und der Bonuszahlungen wird die Kennzahl der auftragsbezogenen Logistikleistung  $L_{AL}$  eingeführt. Die auftragsbezogene Logistikleistung berechnet sich gemäß Formel (13).

$$L_{AL} = \sum_{i=1}^n B_{AL,i} * y_i - \sum_{i=1}^n K_{AL,i} * y_i \quad (13)$$

mit	$L_{AL}$	auftragsbezogene Logistikleistung
	$B_{AL,i}$	Auftragsbonus für Auftrag i
	$K_{AL,i}$	Verzugskosten für Auftrag i

Zusammenfassend lässt sich die Termintreue über die beiden Anteile der systembezogenen und der auftragsbezogenen Logistikleistung quantifizieren. Die Berücksichtigung von auftrags- und systembezogener Logistikleistung ist im Kontext der unternehmensübergreifenden Kooperation von hoher Bedeutung. Eine reine Betrachtung von Verzugskosten bildet die Wirkbeziehungen zwischen den Partnerunternehmen nicht adäquat ab. Die systembezogene Logistikleistung adressiert die Auswirkungen von internen Terminabweichungen auf den zu definierenden Lieferzeitpuffer. Überschreitet die interne Abgangsterminabweichung den Lieferzeitpuffer, berücksichtigt die auftragsbezogene Logistikleistung die aus der Lieferterminabweichung resultierenden Folgekosten.

### 6.3.2 Entwicklung eines Kennzahlensystems

Die in Abschnitt 6.3.1 dargelegten Kennzahlen ermöglichen eine ganzheitliche Bewertung der Auswirkungen eines interorganisationalen Informationsaustauschs auf die Leistungsfähigkeit des Produktionssystems im kurzfristigen Zeithorizont der Produktionssteuerung. Um den auszutauschenden Informationen einen spezifischen Wert beimessen zu können, sind die Kennzahlen in ein Kennzahlensystem zu integrieren. Die Spitzenkennzahl des in Form eines Rechensystems entwickelten Kennzahlensystems ist die *operative Produktionsperformance (OPP)*.

Die Ausgangsbasis zur Integration der definierten Kennzahlen in das Kennzahlensystem bietet das wertorientierte Konzept des EVA (vgl. Abschnitt 2.3.5). Der EVA gibt das Ergebnis der betrieblichen Tätigkeit in einem absoluten, monetären Wertbeitrag wieder. Analog aggregiert und quantifiziert die OPP die im Rahmen der Produktionssteuerung beeinflussbare Wertschöpfung. Die Aggregation in einer Spitzenkennzahl birgt zwar das Risiko der Entstehung von Interpretationsspielraum bei der Analyse der operativen Leistung des Produktionssystems, sie ist allerdings für die Berechnung eines absoluten Informationswerts erforderlich.

Die OPP leitet sich in Anlehnung an den EVA von dem ökonomischen Prinzip und den damit einhergehenden strategischen Unternehmenszielen ab. Unter Berücksichtigung der Beeinflussbarkeit im Produktionskontext bilden dabei jedoch die

produktionslogistischen Zielgrößen die Zieldimensionen der OPP. Die OPP aggregiert somit die monetäre Quantifizierung der Logistikleistung als Nutzen und der Logistikkosten als Aufwand der Produktionssteuerung.

Das Kennzahlensystem der OPP ist in Abbildung 6-2 dargestellt. Die OPP wird mit Hilfe von Rechenoperatoren aus den Faktoren der Logistikleistung und den Logistikkosten gebildet. Somit ergibt sich die OPP aus der Summe von *Produktionsleistung* und *quantitativer Logistikleistung* abzüglich der *Herstellkosten* und den *Kapitalbindungskosten des Bestands*. Die quantitative Logistikleistung setzt sich aus der über Lieferzeitpuffer bestimmbar systembezogenen Logistikleistung gegen Terminabweichungen und aus der auftragsbezogenen Logistikleistung in Bezug auf Lieferterminabweichungen zusammen. Für detaillierte Beschreibungen der einzelnen Faktoren wird auf den vorherigen Abschnitt 6.3.1 verwiesen.

Eine Vielzahl an Wert- und Kostentreibern produzierender Unternehmen werden bereits in der mittel- bis langfristigen Produktionsplanung festgelegt, wie bspw. das Produktionsprogramm. Die zu Erlösen führenden *Auftragswerte* sowie die Bestandteile *fixe Kosten*, *Materialkosten* und *Kapitalkostensatz* lassen sich nicht im Rahmen der Produktionssteuerung beeinflussen. Sie werden daher als gegeben angenommen (s. kursiver Schriftschnitt in Abbildung 6-2). Da diese Faktoren jedoch für eine ganzheitliche Quantifizierung der ablaufforientierten Wertschöpfung im kurzfristigen Zeithorizont der Produktionssteuerung erforderlich sind, sind sie trotz der fehlenden Beeinflussbarkeit Bestandteil des Kennzahlensystems OPP.

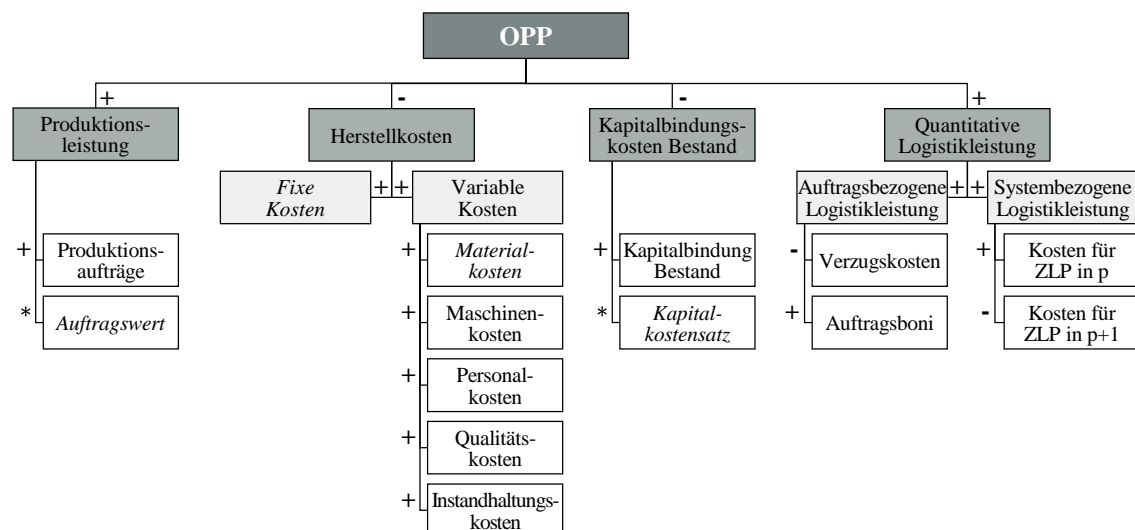


Abbildung 6-2: Kennzahlensystem der operativen Produktionsperformance (i. A. an ZIPFEL ET AL. 2021)



## 6.4 Definition des Informationswerts

Die Kennzahl der OPP gibt Aufschluss über die im Rahmen der Produktionssteuerung beeinflussbare Leistungsfähigkeit des betrachteten Produktionssystems. Im Fokus stehen die monetär bewerteten Faktoren Logistikleistung und -kosten. Die Verfügbarkeit steuerungsrelevanter Informationen nimmt dabei entscheidenden Einfluss auf die zu erwartende operative Wertschöpfung des Produktionssystems und somit auf die OPP. Der durch eine spezifische Information erzielbare Nutzenvorteil in Bezug auf die OPP wird ebendieser Information als Wertbeitrag zugeschrieben. Der Wert einer Information  $I_{OPP}$  wird entsprechend Formel (14) definiert als die Differenz der OPP mit und der OPP ohne Informationsverfügbarkeit in der Betrachtungsperiode.

$$I_{OPP} = OPP_{ml} - OPP_{ol} \quad (14)$$

mit	$I_{OPP}$	Informationswert in Bezug auf die OPP
	$OPP_{ml}$	OPP mit Information
	$OPP_{ol}$	OPP ohne Information

Bei Informationsaustausch ( $OPP_{ml}$ ) wird der Handlungsspielraum der Produktionssteuerung vergrößert, um bestmöglich auf das eingetretene Ereignis reagieren zu können, wie bspw. eine Störung im Materialfluss beim Lieferanten. Dabei gilt: Je früher die Information verfügbar ist, desto größer ist der Handlungsspielraum zur Optimierung des gestörten Produktionsablaufs. Der Zeitpunkt des Informationsaustauschs besitzt damit entscheidenden Einfluss auf die OPP sowie den Wert der Information. Der Vollständigkeit ist an dieser Stelle anzumerken, dass der Informationswert nicht uneingeschränkt steigen kann. Er unterliegt limitierenden Faktoren. Zu diesen Faktoren zählen z. B. die maximale Ressourcenkapazität oder der nicht zu unterschreitende Mindestbestand an Rohmaterialien und Halbfabrikaten.

Findet kein unternehmensübergreifender Informationsaustausch statt ( $OPP_{ol}$ ), werden ungeplante Ereignisse, die im Wertschöpfungsnetzwerk eintreten, erst bei direkten Auswirkungen auf den Produktionsablauf im Betrachtungssystem ersichtlich. Die Menge an zur Verfügung stehenden Produktionssteuerungsmaßnahmen zur Reduzierung der Ereignisfolgen ist in diesem Fall aufgrund der Kurzfristigkeit begrenzt. Eine proaktive Initiierung von Maßnahmen zur Gegensteuerung ist zu diesem Zeitpunkt nicht mehr möglich. Folglich ist von einer Verschlechterung der OPP auszugehen. Die Höhe der resultierenden OPP ist im jeweiligen Anwendungsfall zu bestimmen.

Die Informationsbewertung erfolgt zum Zeitpunkt des Informationsaustauschs  $t_1$  (vgl. Abschnitt 5.2.2). Der Wert einer Information ist folglich eine zeitpunktbezogene Kennzahl, die das Potenzial der Information zur Optimierung der Leistungsfähigkeit des Produktionssystems im Betrachtungszeitraum  $p$  beziffert. Aufgrund der Prognostizierung des Wertbeitrags zur Wertschöpfung handelt es sich beim Informationswert um eine vorlaufende Kennzahl.

Die Eingangsdaten für die Berechnung von  $OPP_{ml}$  und  $OPP_{ol}$  werden simulationsbasiert generiert. Der Informationswert resultiert aus den mit Hilfe des Simulationsmodells (vgl. Abschnitt 6.2.3) prognostizierten Auswirkungen der Informationsverfügbarkeit auf die im Rahmen der Produktionssteuerung beeinflusste Auftragsabwicklung im Betrachtungssystem. Der Ablauf zur anwendungsspezifischen Quantifizierung eines Informationswerts wird detailliert in Abschnitt 8.3.2 vorgestellt.

## 6.5 Fazit

Der Wert einer Information lässt sich über eine Vielzahl verschiedener Ansätze ermitteln. Im Kontext des unternehmensübergreifenden Austauschs von steuerungsrelevanten Informationen eignet sich am besten der nutzenorientierte Ansatz. Zur Quantifizierung des Nutzwerts von Informationen ist eine adäquate Datenbasis unerlässlich. Diese Datenbasis wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit mit Hilfe einer ereignisdiskreten Simulation erzeugt. Die Auswirkungen des Eintritts des ungeplanten Ereignisses auf den Produktionsablauf werden für die beiden Fälle mit bzw. ohne Informationsverfügbarkeit analysiert und mit Hilfe der Kennzahl der OPP monetär quantifiziert. Die OPP ist die Spitzenkennzahl des entwickelten Systems aus sämtlichen für die Produktionssteuerung relevanten produktionslogistischen Kennzahlen. Auf Basis des Vergleichs der durch die beiden OPP charakterisierten Zustände des Betrachtungssystems lässt sich der zeitpunktbezogene Wert der spezifischen Information bestimmen.

## 7 Anreizsystem für den Informationsaustausch

### 7.1 Übersicht

Zielsetzung des zu entwickelnden Anreizsystems ist es, die Bereitschaft zum unternehmensübergreifenden Austausch steuerungsrelevanter Informationen zu stärken. Dies soll zu einer Reduzierung der Informationsasymmetrie zwischen den Partnern eines Wertschöpfungsnetzwerks beitragen. Ein Anreizsystem lässt sich gemäß der Ausführungen in Abschnitt 2.4 in die beiden Bereiche *Anreizkontext* und *Anreizsystem i. e. S.* differenzieren. Die für diese Arbeit relevanten Bestandteile des Anreizkontexts werden in Abschnitt 7.2 erklärt. In Abschnitt 7.3 werden die verschiedenen zur Gestaltung eines Anreizsystems i. e. S. zu berücksichtigenden Dimensionen adressiert. I. A. an BECKER (1990) und WEBER ET AL. (2017) ist ein Anreizsystem i. e. S. charakterisiert durch die Gestaltungsdimensionen *Anreizgrundsatz*, *Bemessungsgrundlage*, *Zuteilungsverfahren* und *Belohnungsrichtlinien*. Die zuvor genannten Gestaltungsdimensionen werden in den nachfolgenden Abschnitten 7.3.1 - 7.3.4 für den Anwendungsbereich des anreizbasierten Austauschs steuerungsrelevanter Informationen untersucht.

### 7.2 Anreizkontext

Der Anreizkontext bildet die strukturellen und organisatorischen Rahmenbedingungen, die für die Funktionsweise eines Anreizsystems unerlässlich sind. Abbildung 7-1 (s. S. 114) gibt eine Übersicht der zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen erforderlichen Elemente des Anreizkontexts. Von großer Bedeutung für die vorliegende Forschungsarbeit sind die neutralen Instanzen *Zertifizierungsstelle*, *Broker* und *Abrechnungsstelle*. Durch die gezielte Interaktion der drei Instanzen mit den Informationsanbietern und -empfängern kann ein vertrauensvoller Austausch wahrheitsgemäßer Informationen sowie eine sichere Transaktion von Geldmitteln als Kompensationsleistung sichergestellt werden. Somit tragen Zertifizierungsstelle, Broker und Abrechnungsstelle in der Funktion als Intermediäre zwischen den Wertschöpfungspartnern zur Reduzierung subjektiv-psychologischer Effekte, wie bspw. Misstrauen, taktisches Kalkül oder fehlendes Sicherheitsbedürfnis, bei. Der Broker hat die Vermittlerrolle zwischen den beteiligten Partnern inne. An ihn übermitteln Informationsanbieter und -empfänger

relevante Metadaten zum potenziellen Informationsaustausch, wie bspw. die Spezifika des Betrachtungssystems. Der Broker analysiert sämtliche zur Verfügung stehenden Angebote und Gesuche und führt schließlich Informationsangebot und -bedarf zweier oder mehrerer Partner zusammen. Im Rahmen der interorganisationalen Transaktion einer Information ist der zugehörige Informationswert zu quantifizieren. Die Zertifizierungsstelle ist für die Abnahme und Freigabe des zur Simulation und Wertermittlung erforderlichen Services nach der Richtlinie VDI 3633-2 verantwortlich. Die mit dem Informationsaustausch einhergehende Transaktion von Geldmitteln wird durch die Abrechnungsstelle koordiniert.

Die beschriebenen IDS-Rollen Zertifizierungsstelle, Broker und Abrechnungsstelle werden – neben den Anforderungen an die informationstechnologische Infrastruktur – im Referenzarchitekturmodell (vgl. Abschnitt 3.4.1) ausgeführt. Darüber hinaus umfasst das Rahmenwerk die für ein Daten-Ökosystem relevanten Governance-Funktionen zur Sicherstellung von Vertrauen, Datensicherheit und Interoperabilität (OTTO ET AL. 2019b). Hierdurch bietet das IDS-Referenzarchitekturmodell sämtliche für diese Arbeit erforderlichen Elemente des Anreizkontexts zur Organisation des Aufbaus und Ablaufs von Informationsaustausch in Wertschöpfungsnetzwerken. Auf vertiefte Untersuchungen hinsichtlich der einzelnen Komponenten eines Anreizkontexts wird im Folgenden daher verzichtet. Stattdessen wird an dieser Stelle auf das IDS-Rahmenwerk verwiesen (vgl. Abschnitt 3.4.1). Der Vollständigkeit halber ist anzuführen, dass im IDS die menschlich-psychologischen Effekte des unternehmensübergreifenden Informationsaustauschs nicht adressiert werden. Insofern besteht hier weiterer Forschungsbedarf.

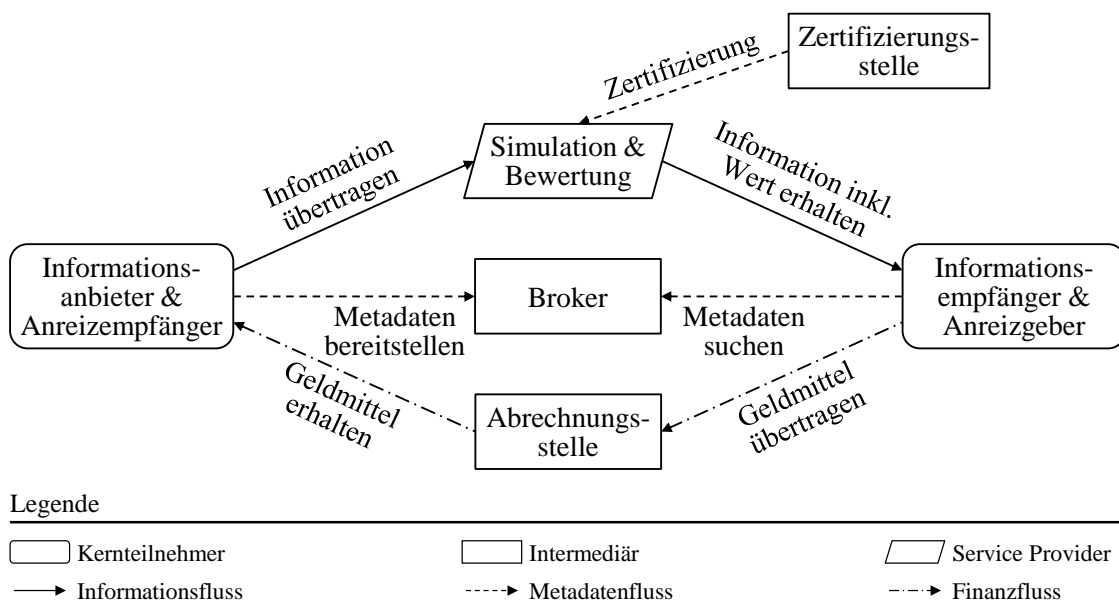


Abbildung 7-1: Übersicht des Anreizkontexts (auf Basis von OTTO ET AL. 2019b)

## 7.3 Gestaltungsdimensionen des Anreizsystems im engeren Sinne

### 7.3.1 Anreizgrundsatz

Der Anreizgrundsatz stellt den Kern eines Anreizsystems dar. Er gibt Aufschluss über den Inhalt und die Notwendigkeit eines spezifischen Anreizes. Er ist damit entscheidend für die Erreichung von Anreizkompatibilität, also die Harmonisierung der Motive von Anreizgeber (Prinzipal) und -empfänger (Agent). Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird Anreizkompatibilität zwischen zwei Unternehmen durch den Austausch von steuerungsrelevanten Informationen erreicht. Die mit der Anreizwirkung einhergehende Transaktion kann dabei aus der *informations-* und der *motivationsbezogenen* Perspektive betrachtet werden.

Die informationsbezogene Perspektive bezieht sich auf den Inhalt, die Relevanz und die Verwendung einer Information zur Produktionssteuerung. Diese Aspekte werden im Rahmen des Referenzmodells erörtert (vgl. Kapitel 4.4). Um den Informationsaustausch zu ermöglichen, werden die Metadaten zum Informationsangebot und -bedarf an den neutralen IDS-Broker übermittelt (vgl. Abschnitt 7.2).

Außerdem ist die Transaktion aus der Perspektive des für die Informationsbereitstellung verantwortlichen Motivs zu analysieren. Im Kontext einer wertorientiert gesteuerten Kooperation von rechtlich selbständigen Unternehmen besitzen die jeweils eigenen wirtschaftlichen Ziele oberste Priorität. Um eine rechtzeitige Informationsverfügbarkeit zu gewährleisten, bedarf es eines konkreten finanziellen Mehrwerts als Gegenleistung für die ausgetauschte Information. Sowohl intrinsische als auch extrinsisch-immaterielle Motive, wie etwa die Zusicherung kürzerer Lieferzeiten, bieten aufgrund des für Unternehmen zunehmenden ökonomischen Werts von Informationen nur in Ausnahmefällen eine ausreichende Anreizwirkung zum umfassenden Informationsaustausch. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Fokus daher auf monetäre Kompensationsleistungen in Form fixer respektive leistungsabhängiger Zahlungen gelegt. Dabei wird der zur Kompensation zu zahlende Anreizbetrag an den Nutzwert der Information gekoppelt (vgl. Kapitel 6). Die Ausgestaltung des Finanzflusses ist gemäß den spezifischen Anforderungen und Randbedingungen des jeweiligen Anwendungsfalls zu adaptieren. Im Fall eines Lieferverzugs, der durch eine Maschinenstörung beim Lieferanten bedingt wird, kann durch einen frühzeitigen Informationsaustausch bspw. die vertraglich festgelegte Konventionalstrafe reduziert, ein Preisabschlag gewährt oder ein hiervon unabhängiger Geldfluss ausgelöst werden.

### 7.3.2 Bemessungsgrundlage

Die Bemessungsgrundlage bietet den quantitativen Ansatzpunkt für die Gewährung des finanziellen Anreizes. Dabei wird festgelegt, welche Größe(n) respektive welche Kennzahl(en) als Bemessungsgrundlage für die Festlegung der Anreizhöhe herangezogen wird. Bei klassischen Anreizsystemen zur leistungsabhängigen Vergütung von Mitarbeitenden wird die Anreizhöhe auf Basis der erbrachten Leistung des Anreizempfängers berechnet. In dieser Forschungsarbeit hingegen ist die monetär zu quantifizierende Leistung durch die Auswirkungen der informationsbedingt initiierten Produktionssteuerungsmaßnahmen auf die OPP charakterisiert. Die Leistung wird damit nicht durch den Anreizempfänger, sondern den Anreizgeber – der zugleich Informationsempfänger ist – erbracht (s. Abbildung 7-1). Die Bemessungsgrundlage des Anreizsystems stellt folglich der Nutzwert der Information beim Prinzipal und nicht etwa beim Agenten dar. Der Grund hierfür ist, dass der Mehrwert durch die ausgetauschte Information situationsspezifisch variieren und ausschließlich durch den Informationsempfänger bestimmt werden kann. Das Verfahren zur Berechnung des Informationswerts ist in Kapitel 6 beschrieben. Die anwendungsspezifische Überführung dieses Informationswerts in einen Anreiz ist in Abschnitt 8.4 erläutert.

Dieses Verhältnis von Prinzipal zu Agent birgt eine große Herausforderung für die Abwicklung der Transaktion. Der Agent stellt eine Information bereit. Er muss ferner darauf vertrauen, dass der Informationswert und der darauf basierende Anreiz durch den Prinzipal korrekt ermittelt wird. Um dieser Herausforderung zu begegnen, muss die Validität des Berechnungsverfahrens gewährleistet und ein nicht kontrollierbares Verhalten des Anreizgebers verhindert werden. Hierzu wird auf die Zertifizierungsfunktion des IDS-Referenzarchitekturmodells zurückgegriffen. Voraussetzung für die Ermittlung des Werts einer Information ist im Ergebnis also, dass das Simulationsmodell von der neutralen Zertifizierungsinstanz validiert ist.

### 7.3.3 Zuteilungsfunktion

Mit Hilfe von Anreizsystemen soll das Verhalten kooperierender Unternehmen zur langfristigen Intensivierung des unternehmensübergreifenden Informationsaustauschs gezielt beeinflusst werden. Voraussetzung ist dabei eine möglichst gerechte Zuteilung des in Form des Informationswerts berechneten Nutzens unter den Wertschöpfungspartnern. Die wissenschaftstheoretische Grundlage für die Untersuchung des Verhaltens von mehreren Beteiligten in derartigen Entscheidungssituationen bildet die Spieltheorie. Kernthema der kooperativen Spieltheorie

ist im Speziellen, wie Kooperationsgewinne auf einzelne Partner zu verteilen sind, um gewünschte Effekte zu erreichen. In Literatur und Praxis sind verschiedene Ansätze der Gewinn- und Kostenverteilung zu finden, welche auf das vorliegende Anwendungsfeld übertragbar sind. Im Rahmen einer Vorauswahl wurden die drei Ansätze *Shapley-Werte*, *Myerson-Werte* und *Gleichverteilung* als vielversprechende Zuteilungsfunktionen identifiziert. Aufgrund der spezifischen Vor- und Nachteile dieser Zuteilungsfunktionen wird im Folgenden deren Eignung anhand eines Anforderungs-Fähigkeits-Vergleichs analysiert. Hierzu werden zunächst relevante Kriterien vorgestellt (vgl. Abschnitt 7.3.3.1), anhand derer sodann die Eignung der Lösungsansätze bewertet wird (vgl. Abschnitt 7.3.3.2).

### 7.3.3.1 Kriterien

Die Eignung als Zuteilungsfunktion wird anhand der drei Kriterien *Gerechtigkeit*, *Stabilität der Kooperation* und *Anwendbarkeit* beurteilt. Diese Kriterien leiten sich aus den allgemeinen Anforderungen an ein Anreizsystem ab (vgl. Abschnitt 4.2.3, s. auch BERGER 2009). Um eine möglichst objektive Untersuchung zu gewährleisten, werden verstärkt subjektive Faktoren bewusst vernachlässigt. Zu den zu vernachlässigenden Faktoren zählen bspw. Marktmacht und Kompromissbereitschaft.

Das Kriterium der Gerechtigkeit beeinflusst entscheidend die Bereitschaft eines Partners, sich aktiv an einer Kooperation zu beteiligen. In der Volkswirtschaftslehre existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Begriffsdefinitionen von Gerechtigkeit (für eine Übersicht s. BEHRENS & KIRSPERL 2010). In dieser Arbeit wird mit Bezug auf die nutzenorientierte Informationswertbestimmung das Prinzip der *Leistungsgerechtigkeit* zugrunde gelegt. Leistungsgerechtigkeit lässt sich durch die Aufteilung des durch die Kooperation bzw. den Informationsaustausch generierten Mehrwerts gemäß den anteiligen Beiträgen der jeweiligen Partner erzielen. Gerechtigkeit meint in diesem Kontext, dass die Zuteilung die Bemühungen der verschiedenen Partner widerspiegelt. MYERSON (1980) bezeichnet diese Aufteilung des Nutzenvorteils einer Kooperation in Relation zu den Beträgen, die die Partner ohne Kooperation erhalten würden, als das *equal-gains principle* (dt. Grundsatz des gleichen Gewinns).

Auch wenn sämtliche Kooperationspartner den gewährten Anreiz als *gerecht* empfinden, besteht dennoch die Möglichkeit, dass Unternehmen einen größeren finanziellen Mehrwert bei ausbleibendem Informationsaustausch sehen. Im Fokus liegt daher die Entwicklung eines Lösungskonzepts, das durch gezielte Auszahlungen

zwischen den Partnern eine stabile Kooperation anstrebt. Das Kriterium der *Stabilität* beschreibt, dass kein Beteiligter einen monetären Anreiz besitzt, die Koalition aufgrund einer potenziellen Besserstellung zu verlassen bzw. nicht am Informationsaustausch zu partizipieren. Ist keine Stabilität gegeben, kann ein Unternehmen seinen individuellen Nutzen zu Lasten des übergeordneten Ziels einer gesamtoptimierten Lieferkette erhöhen. In der vorliegenden Arbeit wird die Erfüllung des Stabilitätskriteriums mit Hilfe des in der Spieltheorie bekannten Konzepts des *Kerns*<sup>6</sup> überprüft.

Das Kriterium der *Anwendbarkeit* bezieht sich auf mehrere Faktoren im Rahmen der Operationalisierung. Um eine hohe Akzeptanz der Zuteilungsfunktion zu gewährleisten, muss diese leicht verständlich und nachvollziehbar sein. Zudem muss der anteilige Wert der verschiedenen Partner mit vertretbarem Aggregations- und Rechenaufwand kalkulierbar sein. Aufgrund der Volatilität der Zusammensetzung eines Wertschöpfungsnetzwerks bedarf es darüber hinaus einer unkomplizierten Adaptierbarkeit des Anreizsystems.

### 7.3.3.2 Bewertung und Auswahl

Im Folgenden werden die drei Lösungsansätze *Shapley-Werte*, *Myerson-Werte* und *Gleichverteilung* erklärt und hinsichtlich ihrer Fähigkeit zur Erfüllung der Anforderungskriterien bewertet.

#### Shapley-Wert

Das bekannteste Lösungskonzept der kooperativen Spieltheorie zur Zuteilung von Kooperationsgewinnen ist der Shapley-Wert (engl. „Shapley value“). Der nach SHAPLEY (1953) benannte Wert gibt den durchschnittlichen marginalen Mehrwert eines Spielers am Gesamtwert einer Koalition von mehreren Spielern an. Der Gesamtwert entspricht dem in der jeweiligen Situation erzielbaren Mehrwert. Der Shapley-Wert berechnet sich entsprechend Formel (15).

$$\Phi_h(G, v) = \sum_{S \subseteq G: h \in S} \frac{(|S| - 1)! (g - |S|)!}{g!} [v(S) - v(S \setminus \{h\})] \quad (15)$$

<sup>6</sup> Der sog. Kern ist in der Spieltheorie eine Menge von Auszahlungskombinationen, bei denen kein Spieler einen Anreiz hat, eine andere Koalition mit einer für ihn vorteilhafteren Verteilung einzugehen. Somit umfasst der Kern die Gesamtheit aller pareto-effizienten Zuteilungsoptionen, die zu stabilen Kooperationen führen. Für weiterführende Informationen wird auf die Literatur verwiesen (s. OSBORNE & RUBINSTEIN 1994, PETERS 2008, LENG & PARLAR 2009 oder SOŠIĆ 2010).



mit	$\Phi_h$	Shapley-Wert von Spieler $h$ mit $\Phi(G, v) \in \mathbb{R}^G$
	$G$	Menge der Spieler mit $h \in G$
	$g$	Anzahl der Spieler mit $g =  G $
	$S$	Koalition nach Beitritt des Spielers $h$ mit $S \subseteq G$
	$v(S)$	Wertbeitrag durch die Koalition $S$ mit $v : 2^G \rightarrow \mathbb{R}$
	$v(S \setminus \{h\})$	Wertbeitrag durch die Koalition $S$ ohne Spieler $h$

Die Berechnung des durchschnittlichen marginalen Wertbeitrags ist erforderlich, da die Bildung der  $2^g$  möglichen Koalitionen in Abhängigkeit vom Beitritt der Spieler in  $g!$  unterschiedlichen Reihenfolgen respektive Permutationen erfolgen kann. Der Zähler gibt für jede Koalition  $S$  die Anzahl der möglichen Reihenfolgen an, die anderen Spieler vor Spieler  $h$   $[(|S| - 1)!]$  sowie nach Spieler  $h$   $[(g - |S|)!]$  anzuordnen. Die Differenz  $[v(S) - v(S \setminus \{h\})]$  entspricht dem marginalen Mehrwert, der durch den Kooperationsbeitritt des Spielers  $h$  erzielt wird. Für weitere grundlegende Informationen zum Shapley-Wert wird auf die Literatur verwiesen (s. SHAPLEY (1953), ROTH (1988), MÜLLER (2020) oder WIESE (2021)).

Die Eigenschaft des Ansatzes von SHAPLEY (1953), Kooperationsgewinne entsprechend den durchschnittlichen marginalen Wertbeiträgen der partizipierenden Spieler aufzuteilen, bietet das Potenzial, als Zuteilungsfunktion im Rahmen eines Anreizsystems Anwendung zu finden. Die Möglichkeit eines Transfers auf den Kontext der vorliegenden Forschungsarbeit wird im Folgenden näher untersucht.

Diejenigen Wertschöpfungspartner, die vom Austausch der steuerungsrelevanten Informationen betroffen sind, bilden die Koalition von Spielern. Der Informationsaustausch zwischen den Partnerunternehmen ist damit gleichzusetzen mit dem Beitritt ebendieser Spieler in die Koalition. Ziel der Verwendung des Shapley-Lösungsansatzes ist es, den durch den Informationsaustausch erzielten Nutzen entsprechend dem Verhältnis der Shapley-Werte den einzelnen Spielern zuzuteilen. Auf diese Weise kann gewährleistet werden, dass die Wertschöpfungspartner gemäß dem Verhältnis ihrer durchschnittlichen marginalen Wertbeiträge von dem Informationsaustausch profitieren. Vorteilhaft ist hierdurch die grundsätzlich auf Basis von Shapley-Werten erzielbare hohe Leistungsgerechtigkeit.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Vorgehensweise nicht der ursprünglichen, klassischen Anwendung der Shapley-Werte in kooperativen Spielen entspricht. In der Spieltheorie würde der durch die Koalition generierte Wertbeitrag  $v(S)$  gemäß der Shapley-Werte auf die Spieler ausgezahlt werden. Würde im vorliegenden Fall der zuzuteilende Informationswert als Wertbeitrag  $v(S)$  angenommen werden,

würde der gesamte Kooperationsgewinn respektive Nutzwert dem Informationsempfänger zugeteilt werden. Begründen lässt sich dies über die der Informationswertbestimmung inhärenten Charakteristika. Demnach basiert der Informationswert rein auf dem durch den Empfänger erzielbaren Nutzenvorteil. Der durchschnittliche marginale Wertbeitrag des Informationslieferanten wäre gleich Null ( $v(S \setminus \{h\}) = 0$ ) und würde folglich keine Anreizwirkung bei diesem zum Informationsaustausch nach sich ziehen. Es bedarf somit einer anderen, zusätzlichen Funktion als der OPP, um den Wertbeitrag der Koalitionen und damit einhergehend die Shapley-Werte zu bestimmen.

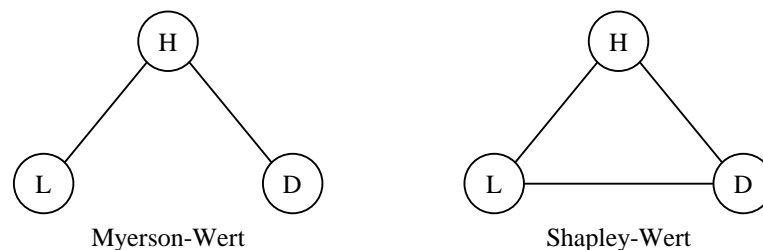
Darüber hinaus bestehen weitere Herausforderungen in Bezug auf den Transfer des Shapley-Lösungsansatzes auf die vorliegende Problemstellung. Die obligatorische Granularität der Datenbasis kann für diesen Anwendungsbereich per se nicht oder nicht unter vertretbarem Aufwand generiert werden. Zum einen erfordert die Berechnung der Shapley-Werte die vollständige Verfügbarkeit der reihenfolgeabhängigen marginalen Wertbeiträge bei verschiedenen Partnerkonstellationen. Bei einer bilateralen Kooperation ist jedoch weder eine Aussage über die Reihenfolge des Kooperationsbeitritts noch zum Wertbeitrag des vermeintlich ersten Partners möglich. Zum anderen ist die reihenfolgespezifische Bildung vieler Kooperationskonstellationen bei drei oder mehr Partnern in der Realität nicht umsetzbar. Zu denken ist an die hypothetische Koalition, in welcher ein Großhändler der chronologisch erste Kooperationspartner ist, selbst wenn Rohstofflieferant und Produzent bereits Informationen austauschen. Das Kriterium der Anwendbarkeit wird durch Shapley-Werte somit nicht ausreichend erfüllt.

Hinsichtlich der angestrebten Stabilität des Anreizsystems ist hervorzuheben, dass deren Erfüllung von dem verwendeten Bewertungskriterium abhängig ist. Wird das o. g. Kriterium des Kerns zugrunde gelegt, kann der Shapley-Ansatz in kurzfristiger Perspektive zu Konstellationen führen, die nicht im Kern liegen und somit als instabil gelten (CACHON & NETESSINE 2006). Aus langfristiger Perspektive hingegen führen Shapley-Werte zu stabilen Kooperationen (SOŠIĆ 2010). Da im Rahmen der vorliegenden Arbeit zwar der kurzfristige Austausch steuerungsrelevanter Informationen adressiert wird, die Kooperationsdauer der Partner aber mittel-/langfristig ausgelegt ist (vgl. Abschnitt 4.3), wird das Kriterium der Stabilität als erfüllt gewertet.

Ein anderer Lösungsansatz, der die Nachteile der Shapley-Werte in Bezug auf die Anwendbarkeit als Zuteilungsfunktion für ein Anreizsystem zum unternehmensübergreifenden Informationsaustausch zu beheben versucht, ist der der Myerson-Werte.

## Myerson-Wert

Der von MYERSON (1977) eingeführte Wert (engl. „Myerson value“) basiert auf der spieltheoretischen Grundidee der Shapley-Werte, bei der die Allokation des aus der Kooperation resultierenden monetären Mehrwerts auf die Partner entsprechend den marginalen Wertbeiträgen erfolgt. Der Myerson-Lösungsansatz bezieht dabei allerdings ausschließlich realisierbare Kooperationsstrukturen mit ein. Rein hypothetische Partnerkonstellationen, für die kein Wertbeitrag quantifiziert werden kann, werden nicht berücksichtigt. Mit Blick auf den Kontext dieser Arbeit adressiert der Myerson-Wert ausschließlich solche unternehmensübergreifende Kooperationen, bei denen ein bilateraler Informationsaustausch erfolgt. Hierzu hat MYERSON (1977) erstmals die Theorie der durch Graphen beschränkten Spiele vorgestellt (s. Abbildung 7-2), mit Hilfe derer der Unterschied der beiden Ansätze von Myerson und Shapley deutlich wird.



### Legende

Ⓛ Lieferant      Ⓜ Hersteller      Ⓧ Distributor

Abbildung 7-2: Vergleich von Myerson-Wert und Shapley-Wert

Zwar wird in beiden dargestellten Szenarien von einer großen Koalition ausgegangen, in der relevante Informationen für alle Partner transparent sind. Für die Berechnung der durchschnittlichen marginalen Wertbeiträge werden beim Myerson-Wert jedoch nur die direkten Verbindungen unter den Spielern zugrunde gelegt. Der Myerson-Wert einer durch einen spezifischen (Sub-)Graphen beschriebenen Kommunikationssituation entspricht nach Formel (16) damit dem auf diese Koalition restringierten Shapley-Wert. Für weiterführende Erklärungen zu mathematischen Eigenschaften, Beweisführungen und Algorithmen zu den folgenden Formeln wird auf die Literatur verwiesen (s. ALGABA ET AL. 2001, SKIBSKI ET AL. 2014 oder SKIBSKI ET AL. 2019).

$$\mu_h(G, v, F) = \Phi_h(G, v^F) \quad (16)$$

mit  $\mu_h$  Myerson-Wert von Spieler  $h$  mit  $\mu(G, v, F) \in \mathbb{R}^G$

$F$  durch einen (Sub-)Graphen beschriebenes Mengensystem an möglichen Koalitionen mit  $F \subseteq 2^G$   
 $v^F$  auf  $F$  restringierte Funktion des Wertbeitrags mit  
 $v^F : 2^G \rightarrow \mathbb{R}$

Durch Einsetzen von Formel (15) in Formel (16) lässt sich hieraus ableiten:

$$\mu_h(G, v, F) = \sum_{S \subseteq G: h \in S} \lambda(S) [v^F(S) - v^F(S \setminus \{h\})] \quad (17)$$

wobei

$$\lambda(S) = \frac{(|S| - 1)! (g - |S|)!}{g!} \quad (18)$$

Das als vereinigungsstabil bezeichnete Mengensystem  $F$  wird durch paarweise disjunkte Komponenten gebildet. Diese sog.  $F$ -Komponenten sind die durch den Graphen bzw. die Subgraphen jeweils maximal möglichen Koalitionen von Spielern, die in der Menge aller Koalitionen  $S$  liegen. Die Gesamtheit der  $F$ -Komponenten wird mit  $C_F(S)$  bezeichnet. Die Funktion des Wertbeitrags der durch  $F$  restringierten Koalition  $S$  lässt sich wie folgt definieren:

$$v^F(S) = \sum_{T \in C_F(S)} v(T) \quad (19)$$

mit  $v^F(S)$  Wertbeitrag der durch  $F$  restringierten Koalition  $S$   
 $T$   $F$ -Komponente von  $S$  mit  $T \in F, T \subseteq S$   
 $C_F(S)$  Menge der maximal zusammenhängenden Subkoalitionen von  $S$  mit  $C_F \subseteq S$

Wird die Berechnungsvorschrift (19) für den Wertbeitrag der durch  $F$  restringierten Koalition  $S$  in Formel (17) integriert, lässt sich der Myerson-Wert eines Spielers  $h$  für die Menge an möglichen Koalitionen auf folgende Weise berechnen:

$$\mu_h(G, v, F) = \sum_{S \subseteq G: h \in S} \lambda(S) \left[ \sum_{T \in C_F(S)} v(T) - \sum_{T' \in C_F(S \setminus \{h\})} v(T') \right] \quad (20)$$

Dieser Lösungsansatz nach MYERSON (1977) ist wie folgt auf den in dieser Forschungsarbeit adressierten Anwendungskontext zu übertragen: Analog der Shapley-Werte geben die Myerson-Werte einen durchschnittlichen marginalen Wertbeitrag der Wertschöpfungspartner wieder. Das Verhältnis dieser marginalen Wertbeiträge wird als Basis herangezogen, um den durch den unternehmensübergreifenden Austausch erzielten Informationswert leistungsgerecht den Partnern

zuzuteilen. Die Zuteilungsfunktion des Informationswerts kann Formel (21) entnommen werden. Der Vektor  $I(G, \mu)$  gibt die Anteile  $I_h(G, \mu)$  des auf die einzelnen Partner aufzuteilenden Informationswerts in der Kooperation wider.

$$I_h(G, \mu) = I_{OPP} * \frac{\mu_h}{\sum_{h \in G} \mu_h} \quad (21)$$

mit  $I_h(G, \mu)$  Spieler  $h$  zugewiesener Anteil des Informationswerts mit  $I(G, \mu) \in \mathbb{R}^G$

Hierzu werden bei der Berechnung der Myerson-Werte ausschließlich die Kooperationen berücksichtigt, bei denen eine direkte Kommunikation in Form eines Informationsaustauschs zwischen den beteiligten Partnern stattfindet. Der Myerson-Ansatz begegnet damit einem Großteil der dem Shapley-Wert inhärenten Nachteile der Anwendbarkeit. Insbesondere die reduzierte Menge an benötigten Daten begünstigt die Implementierung in einem Anreizsystem. Das Kriterium der Stabilität wird dabei ebenfalls erfüllt.

Die marginalen Wertbeiträge werden durch die Koalitionsfunktion bestimmt. Analog des Shapley-Ansatzes besteht auch beim Allokationskonzept nach MYERSON (1977) die Problematik, dass die in die Berechnung der Myerson-Werte eingehenden Wertbeiträge der durch Kommunikation gekennzeichneten Kooperationen nicht mit dem durch den Informationsaustausch erzielten Nutzen gleichzusetzen sind. Würde der ermittelte Informationswert als Wertbeitrag angenommen werden, würde der gesamte Nutzwert der Information dem Informationsverwender zugeteilt werden. Derjenige, der die Informationen zur Verfügung stellt, würde folglich keine Anreizwirkung erhalten. Um für alle Partner einen finanziellen Anreiz zu erzeugen, bedarf es einer vom Informationswert abweichenden Koalitionsfunktion, die die Berechnung marginaler Wertbeiträge der einzelnen Partner erlaubt.

Im Kontext dieser Arbeit sind die Wertschöpfungsanteile der am Informationsaustausch beteiligten Partnerunternehmen prädestiniert als Basis für die Koalitionsfunktion. Der Grund für diese Präferenz zur Bestimmung der marginalen Wertbeiträge liegt im Bezug zur übergeordneten Zielsetzung eines Wertschöpfungsnetzwerks, eine möglichst hohe Kundenzufriedenheit zu erreichen. Hierbei kann angenommen werden, dass der erbrachte Wertschöpfungsanteil der Partner positiv mit ihrem Beitrag zur Erzielung des Endkundennutzens korreliert. Der funktionale Zusammenhang zwischen dem Wertschöpfungsanteil in einer Lieferkette und dem marginalen Wertbeitrag eines Partners ist in Formel (22) dargestellt.

$$\text{Marginaler Wertbeitrag} = f(\text{Wertschöpfungsanteil}) \quad (22)$$

Nach RUGGLES & RUGGLES (1965) bemisst sich der Wertschöpfungsanteil aus dem Marktwert der veräußerten Produkte abzüglich der Kosten für bezogene Vorleistungen, wie bspw. Materialien. Der Wertschöpfungsanteil ist folglich ein Maß für den Nettobeitrag eines Unternehmens am Wert eines Produktes für den Kunden (RUTHERFORD 1977).

Von Nachteil bei der Verwendung des Wertschöpfungsanteils zur Berechnung des marginalen Wertbeitrags ist die implizit eingenommene Produktperspektive. Die Fokussierung auf das Produkt erfordert ein feingranulares Produktdatenmanagement entlang der gesamten Lieferkette. Nur so kann ein Bezug zum Produktionssystem, welches im Betrachtungsfokus der OPP liegt, hergestellt werden. Eine vollständige Datendurchgängigkeit sämtlicher in ein Produkt eingeflossenen Materialien und Komponenten ist Voraussetzung, um bereits im Voraus bestimmen zu können, welche Produkte im Betrachtungssystem von dem Ereignis betroffen sind, auf welches durch den Informationsaustausch hingewiesen wird. Kann bspw. ein Los Schrauben aufgrund eines Maschinenausfalls nicht rechtzeitig ausgeliefert werden, sind alle von dieser Verzögerung beeinflussten Produktionsaufträge und die jeweiligen Wertschöpfungsanteile der zugehörigen Produkte zu berücksichtigen. Insbesondere dann, wenn das fokussierte Ereignis Auswirkungen auf mehrere Wertschöpfungspartner hat, steigt die Anzahl der einzubeziehenden Produkte. Damit einher geht auch eine exponentiell zunehmende Komplexität bei der Bestimmung des Wertschöpfungsanteils eines Unternehmens. Zu deren Beherrschung bedarf es der Entwicklung einer ganzheitlichen Methodik, die eine strukturierte Ermittlung von produktionssystembezogenen Wertschöpfungsanteilen ermöglicht. Darauf aufbauend gilt es, mit Hilfe einer Koalitionsfunktion die marginalen Wertbeiträge der beteiligten Partner abzuleiten. Diese sollen eine leistungsgerechte Zuteilung des erzielten Mehrwerts anhand objektiver Kriterien gewährleisten.

Da die Entwicklung einer solchen Methodik jedoch außerhalb des Betrachtungsfokus der vorliegenden Arbeit liegt und daher nicht im Detail untersucht werden kann, wird an dieser Stelle auf den Bedarf weiterer Forschungstätigkeiten verwiesen. Um den Lösungsansatz der Myerson-Werte für die vorliegende Arbeit fruchtbar machen zu können, muss folgende Voraussetzung erfüllt sein: Es muss eine begrenzte Anzahl von betroffenen Produkten im Betrachtungssystem vorliegen, bei denen der Wertschöpfungsanteil für die beteiligten Partnerunternehmen gegeben ist oder unter geringem Aufwand ermittelt werden kann. Wird diese Voraussetzung aufgrund der mit dem betrachteten Wertschöpfungsnetzwerk einhergehenden Komplexität nicht erfüllt, kann eine Gleichverteilung unter den Partnern anstelle einer Koalitionsfunktion Abhilfe schaffen.

## Gleichverteilung

Bei der Methode der Gleichverteilung wird der durch den Informationsaustausch erzielte Nutzwert gleichmäßig unter den Partnern aufgeteilt. Mit Bezug zum Myerson-Ansatz wird dabei implizit angenommen, dass alle Partner den identischen durchschnittlichen marginalen Wertbeitrag zur Kooperation leisten. Dies lässt sich damit begründen, dass gleiche durchschnittliche marginale Wertbeiträge aufgrund der dem Myerson- wie auch dem Shapley-Ansatz inhärenten Eigenschaft der Symmetrie in betragsmäßig gleichen Myerson-/Shapley-Werten resultieren. Die Berechnungsformel (21) lässt sich für eine Gleichverteilung wie folgt vereinfachen:

$$I_{h,GV} = I_{OPP} * \frac{1}{|S|} \quad (23)$$

mit  $I_{h,GV}$       Spieler  $h$  zugewiesener Anteil des Informationswerts bei Gleichverteilung  
 $|S|$               Anzahl der am Informationsaustausch beteiligten Partner

Aus Sicht der Anwendbarkeit im Kontext der Informationswertzuteilung stellt der geringe Aggregations- und Rechenaufwand einer Gleichverteilung einen Vorteil gegenüber den Shapley- und Myerson-Lösungsansätzen dar. In Ergänzung zum ermittelten Informationswert ist lediglich zu analysieren, welche Partner von dem Informationsaustausch betroffen sind. Da bei einer Gleichverteilung des Informationswerts alle Beteiligten bessergestellt sind als bei ausbleibendem Informationsaustausch, ist bei gegebenem Wertschöpfungsnetzwerk eine kurz-/mittelfristig stabile Kooperation festzustellen. Aus langfristiger Perspektive besteht die Möglichkeit der Reorganisation des Wertschöpfungsnetzwerks. Durch eine gezielte Auswahl von Partnerunternehmen mit großem Potenzial zur informationsbasierten Optimierung der OPP lässt sich der Informationswert erhöhen. Das Gleiche gilt für den individuellen Nutzen. Weil dieser Umstand auch für die anderen untersuchten Zuteilungsfunktionen zutrifft, lässt sich hinsichtlich des Kriteriums der Stabilität kein Vor- oder Nachteil ableiten. Liefern die einzelnen Partner keinen identischen Beitrag zum Kooperationserfolg, resultiert aus einer Gleichverteilung in der Regel keine leistungsgerechte Zuteilung (s. hierzu STRANGMEIER & FIEDLER 2011). Insbesondere bei stark streuenden Wertschöpfungsanteilen und/oder abweichenden Anteilen der Partner am Kooperationserfolg kann dies als ungerecht empfunden werden. Auf lange Sicht kann dies zu einer ausbleibenden Anreizwirkung und instabilen Kooperationen führen.

## Auswertung

Die Ergebnisse der Analyse verschiedener Lösungskonzepte zur Eignung als Zuteilungsfunktion im Rahmen des Anreizsystems in einem unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerk sind in Tabelle 7-1 zusammengefasst:

Tabelle 7-1: Bewertungsergebnis der Eignung der Zuteilungsfunktionen

Kriterium	Shapley-Werte	Myerson-Werte	Gleichverteilung
Gerechtigkeit	●	●	◐
Stabilität der Kooperation	◐	◐	◐
Anwendbarkeit	○	◐	●
Eignung	◐	◐	◐

### Legende

○ Sehr gering      ◐ Gering      ◑ Neutral      ◒ Ausgeprägt      ● Sehr ausgeprägt

Das Shapley-Lösungskonzept weist eine hohe Leistungsgerechtigkeit auf und führt zu stabilen Kooperationen. Aufgrund der mangelnden Anwendbarkeit, die sich dadurch begründet, dass die erforderliche Datengrundlage nicht oder nur unter äußerst hohem Aufwand erzeugt werden kann, eignen sich Shapley-Werte allerdings nicht als Zuteilungsfunktion für den vorliegenden Anwendungsbereich.

Myerson-Werte adressieren entsprechend den Shapley-Werten die Kriterien der Gerechtigkeit und Stabilität. Ein Nachteil ist die fehlende Verfügbarkeit einer einheitlichen und allgemein anerkannten Vorgehensweise zur situationsspezifischen Berechnung des Wertschöpfungsbeitrags eines Unternehmens im Netzwerk. Obwohl weniger Daten benötigt werden, ist eine Anwendung dieses Lösungskonzepts ebenfalls nur bedingt möglich. Voraussetzung ist, dass die Wertschöpfungsanteile und folglich die Wertbeiträge der am Informationsaustausch beteiligten Partner gegeben oder bestimmbar sind.

Die Zuteilungsfunktion der Gleichverteilung führt aus der Perspektive der kooperativen Spieltheorie mangels einer Leistungsorientierung nur bedingt zu einer gerechten Aufteilung des erzielten Informationswerts auf die Partner. Da alle den identischen Auszahlungsbetrag erhalten, kann jedoch nicht nur von einer stabilen Kooperation ausgegangen werden. Die Einfachheit der Berechnungslogik garantiert auch eine hohe Anwendbarkeit.



Sowohl der Myerson-Lösungsansatz als auch die Gleichverteilung weisen damit Vor- und Nachteile auf, die anwendungsspezifisch zu gewichten sind. Es ist zu schlussfolgern, dass die Wahl der Zuteilungsfunktion zwischen den Myerson-Werten und der Gleichverteilung in Abhängigkeit vom spezifischen Anwendungsfall zu treffen ist.

### 7.3.4 Belohnungsrichtlinie

Ergänzend zur Festlegung des Anreizgrundsatzes, der Bemessungsgrundlage und der Zuteilungsfunktion, sind die Belohnungsrichtlinien als ein weiterer Kernbestandteil des Anreizsystems i. e. S. zu bestimmen. Die Belohnungsrichtlinien beschreiben aus einer Geschäftsmodellperspektive den Auszahlungsmodus bzw. die Abwicklung der durch das Anreizsystem initiierten Transaktionen. Ausgehend von einer strukturierten Literaturrecherche wurden elf Geschäftsmodellmuster identifiziert, die sich grundsätzlich als Belohnungsrichtlinien im Rahmen eines Anreizsystems zum unternehmensübergreifenden Informationsaustausch eignen. Abbildung 7-3 gibt einen Überblick der vorausgewählten Geschäftsmodellmuster. Diese lassen sich in Abhängigkeit von ihrem jeweiligen Schwerpunkt in die Kategorien *inhaltliche Perspektive*, *Turnus der Transaktion*, *Erweiterbarkeit* und *nicht-monetäre Geschäftsmodellmuster* einteilen. Beschreibungen zu den elf Konzepten finden sich in Anhang 15.2.1 (s. GASSMANN ET AL. 2013).

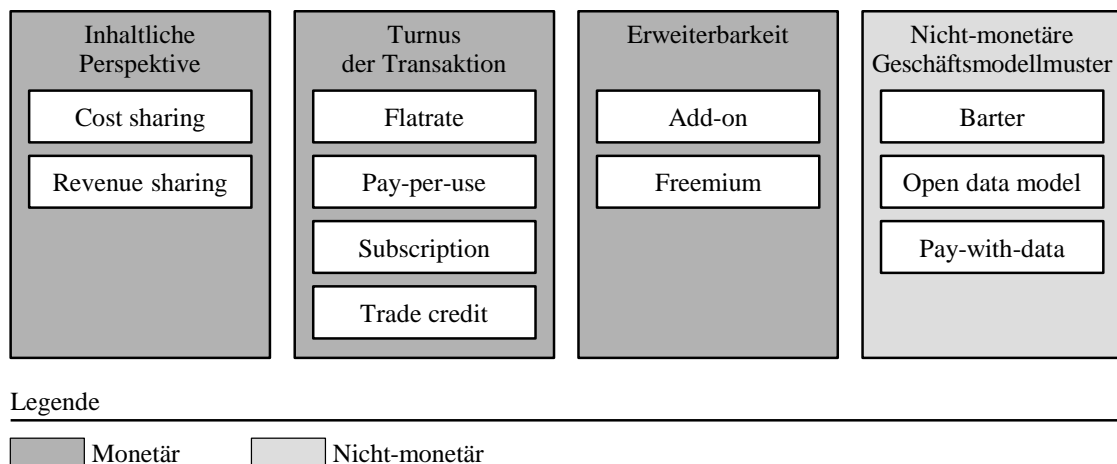


Abbildung 7-3: Übersicht von Geschäftsmodellmustern als Belohnungsrichtlinie (i. A. an ZIPFEL ET AL. 2020)

Die Geschäftsmodellmuster bieten in Abhängigkeit vom konkreten Einsatzszenario unterschiedliche Potenziale zur Forcierung eines Informationsaustauschs. Dabei ist auch eine Kombination mehrerer Geschäftsmodellmuster aus verschiedenen

Kategorien möglich, aber nicht zwingend erforderlich. Zum Beispiel kann ein turnusmäßiges Subscription-Modell auf Basis eines Cost sharing oder eines davon unabhängigen Betrags erfolgen. Für die Wirkung des Anreizsystems ist die Auswahl eines für den spezifischen Anwendungsfall geeigneten Geschäftsmodellmusters als Belohnungsrichtlinie elementar. Das in Anlehnung an ZIPFEL ET AL. (2020) entwickelte Vorgehen zur Auswahl von Geschäftsmodellmustern ist detailliert in Abschnitt 8.4.1 beschrieben.

## **7.4 Fazit**

Ein Anreizsystem motiviert die Partner durch einen individuellen Nutzensvorteil zum Informationsaustausch. Zur Gestaltung des Anreizkontexts wird in der vorliegenden Arbeit auf das etablierte Referenzarchitekturmodell der IDS zurückgegriffen. Darin eingebettet befindet sich das Anreizsystem i. e. S. Dieses gibt Aufschluss über den Anreizgrundsatz, die Bemessungsgrundlage, die Zuteilungsfunktion sowie die Belohnungsrichtlinie. Anreizgrundsatz und Bemessungsgrundlage sind durch das Referenzmodell bzw. den Informationswert bestimmt. Die Entscheidung zwischen Myerson-Werten und einer Gleichverteilung als Zuteilungsfunktion ist aufgrund der jeweiligen Vor- und Nachteile anwendungsfallabhängig zu treffen. Gleiches gilt für die Belohnungsrichtlinie. Diese ist unternehmensspezifisch aus den elf vorausgewählten Geschäftsmodellmustern zu selektieren.

## 8 Methode zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen

### 8.1 Übersicht

Im Folgenden wird die Methode zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen vorgestellt. Ziel der entwickelten Methode ist es, den unternehmensübergreifenden Informationsaustausch in der produzierenden Industrie zu forcieren. Hierzu werden die gewonnenen Erkenntnisse aus den drei Elementen Referenzmodell, Informationswert und Anreizsystem (vgl. Kapitel 5 - 7) in eine anwendungsorientierte Vorgehensweise integriert.

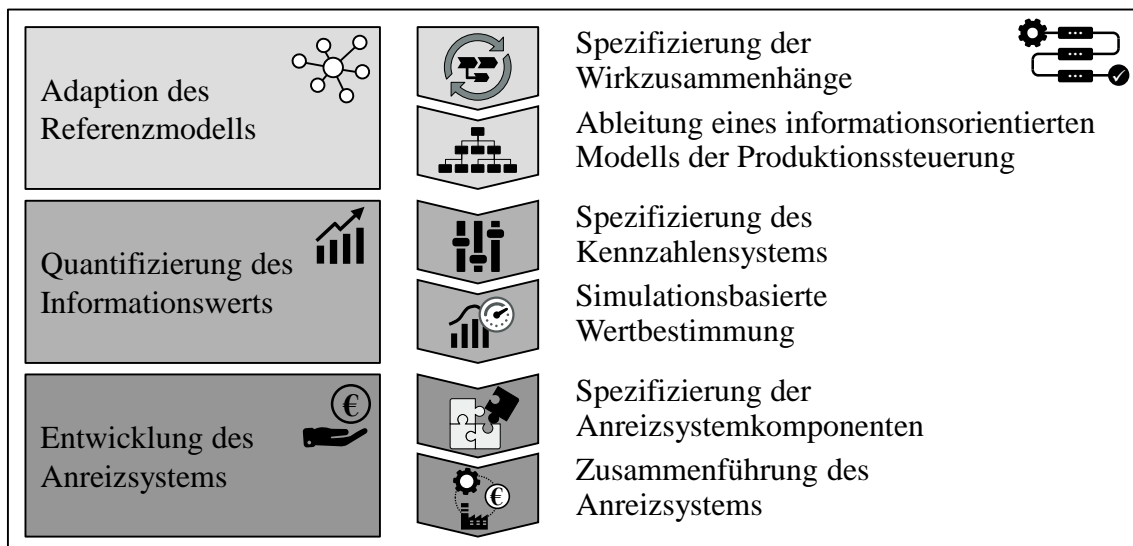


Abbildung 8-1: Übersicht der Methode zum anreizbasierten Informationsaustausch

Zunächst ist die *Adaption des Referenzmodells* entsprechend den Charakteristika des jeweiligen Anwendungsfalls zu untersuchen (vgl. Abschnitt 8.2). Hierbei sind die allgemein aufgestellten Wirkzusammenhänge zwischen der Informationsverfügbarkeit und den initiierbaren Maßnahmen der Produktionssteuerung zur Erreichung der produktionslogistischen Ziele zu analysieren und zu spezifizieren. Darauf aufbauend ist ein auf das anwendende Unternehmen ausgerichtetes Modell der Produktionssteuerung abzuleiten, das die Verknüpfung von Informationsbedarf zu -angebot herstellt.

Der zweite Schritt der Methode adressiert die *Quantifizierung des Informationswerts* (vgl. Abschnitt 8.3). Zur Bewertung des durch den Informationsaustausch

erzielten Nutzens bedarf es der Detaillierung und Implementierung des Kennzahlensystems der OPP. Die Datenbasis zur Quantifizierung des Werts einer ausgewählten Information muss anschließend simulationsbasiert erzeugt werden. Hierzu sind mehrere Simulationsstudien des Materialflusses durchzuführen und auszuwerten.

Im dritten Methodenschritt erfolgt die *Entwicklung des Anreizsystems*. Damit sollen die Partner auf Basis eines direkten finanziellen Vorteils zur unternehmensübergreifenden Bereitstellung steuerungsrelevanter Informationen motiviert werden (vgl. Abschnitt 8.4). Um den quantifizierten Informationswert in Form eines Finanzflusses im Wertschöpfungsnetzwerk zu realisieren, muss eine unternehmensübergreifende Perspektive eingenommen werden. Nach der Spezifizierung der Anreizsystemkomponenten, die für die material-, informations- und finanzflussbezogene Interaktion mit Partnerunternehmen unerlässlich sind, gilt es, diese in ein übergeordnetes Anreizsystem zusammenzuführen.

Die Methode zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen in Wertschöpfungsnetzwerken wird in den nachfolgenden Abschnitten im Detail erläutert.

## **8.2 Adaption des Referenzmodells**

Zur Adaption des Referenzmodells auf den zu untersuchenden Anwendungsfall sind mehrere aufeinanderfolgende Prozessschritte erforderlich. In Abbildung 8-2 ist der Ablauf zur Spezifizierung der Wirkzusammenhänge (vgl. Abschnitt 8.2.1) und zur Ableitung eines informationsorientierten Modells der Produktionssteuerung (vgl. Abschnitt 8.2.2) schematisch dargestellt. Sämtliche Prozessschritte sind einmalig bzw. bei Änderungen im betrachteten Produktionssystem durchzuführen.

### **8.2.1 Spezifizierung der Wirkzusammenhänge**

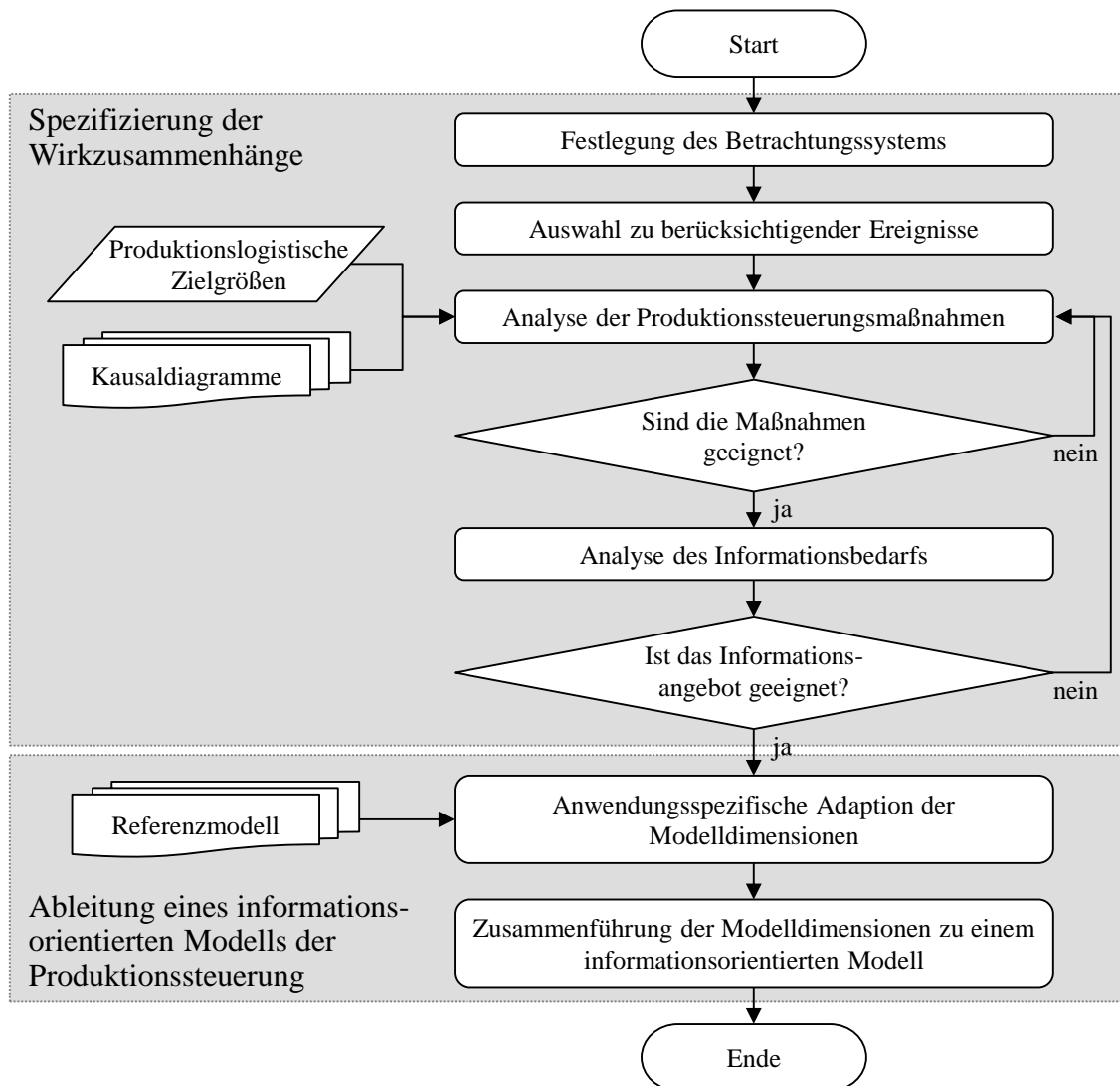
Zur Spezifizierung der Wirkzusammenhänge ist zunächst das im Anwendungsfall adressierte Betrachtungssystem festzulegen. Aufgabe ist es, die innerhalb des Betrachtungssystems stattfindenden Materialflüsse mit Hilfe der Referenzprozesse Produzieren, Transportieren und Lagern abzubilden (vgl. Abschnitt 5.2.1). Die Granularität der Modellierung ist in Abhängigkeit vom jeweiligen Untersuchungszweck zu bestimmen. Für ein ganzheitliches Verständnis der Wirkzusammenhänge bei der Auftragsabwicklung sind zudem die aus ablauforganisatorischer

Sicht elementaren Informationsflüsse aufzunehmen. Für die Modellierung ist von hoher Relevanz, die Systemgrenze zweckmäßig zu bestimmen. Die Systemgrenze definiert zum einen die Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen. In Abhängigkeit von den gewählten Schnittstellen lassen sich die Ereignisse identifizieren, die außerhalb des Betrachtungssystems eintreten können und somit im Kontext dieser Methode zu berücksichtigen sind. Die Auswahl der potenziellen Ereignisse erfolgt anhand der in Abschnitt 5.3.1.1 aufgezeigten Ereigniskategorien. Zum anderen beeinflusst die Systemgrenze die Menge an kurzfristigen Maßnahmen der Produktionssteuerung, die zur Reaktion auf die unerwünschten Ereignisse prinzipiell möglich sind.

In einem nächsten Schritt sind die Auswirkungen der unternehmensindividuellen Steuerungsmaßnahmen auf das produktionslogistische Zielsystem unter der Annahme des Eintritts der kategorisierten Ereignisse systematisch zu analysieren. Die Grundlage für die Untersuchung dieser anwendungsspezifischen Wirkzusammenhänge bilden die allgemeingültig definierten qualitativen Kausaldiagramme (vgl. Abschnitt 5.3.2). Basierend auf den eruierten Wirkzusammenhängen erfolgt die Prüfung, ob die Produktionssteuerung im Rahmen der zur Verfügung stehenden Maßnahmen zur Ressourcenfeinplanung, Reihenfolgebildung oder Auftragsfreigabe geeignet ist, adäquat auf die Ereignisse reagieren zu können. Sollte dies nicht der Fall sein, bedarf es der Definition anderer Steuerungsmaßnahmen sowie einer erneuten Diskussion der Wirkbeziehungen mit den produktionslogistischen Zielgrößen. Bei einem positiven Ergebnis aus der Eignungsprüfung der Produktionssteuerung muss in einem nächsten Schritt der Fokus auf die Informationslogistik gelegt werden. Hierbei gilt es, den steuerungsabhängigen Informationsbedarf mit dem unternehmensübergreifend zur Verfügung stehenden Informationsangebot in Einklang zu bringen. Der bedingt durch die Charakteristika der Produktionssteuerung erforderliche Informationsbedarf lässt sich aus dem Informationsmodell des Referenzmodells (vgl. Abschnitt 5.4.2.1) ableiten. Er ist jedoch unternehmens- sowie anwendungsbezogen zu spezifizieren.

Anschließend ist die Eignung des Informationsangebots zur Deckung des Informationsbedarfs zu prüfen. Werden Informationsdefizite offensichtlich, ist die Umsetzbarkeit anderer Produktionssteuerungsmaßnahmen zu analysieren, die unter Berücksichtigung der produktionslogistischen Zielerreichung einen abweichenden Informationsbedarf aufweisen. Resultiert aus der Prüfung hingegen, dass die für die Produktionssteuerung richtigen Informationen in der richtigen Form und Qualität zur richtigen Zeit am richtigen Ort verfügbar sind, kann zielführend auf ein

eintretendes Ereignis reagiert werden. Die Wirkbeziehung von Informationstransparenz und einer verbesserten operativen Leistungsfähigkeit des Produktionssystems ist damit über die Befähigung der Produktionssteuerung gegeben. Anschließend erfolgt die Ableitung und Zusammenführung eines informationsorientierten Modells der unternehmensspezifischen Produktionssteuerung zur Reaktion auf ungeplant eintretende Ereignisse (vgl. Abschnitt 8.2.2).



## Legende

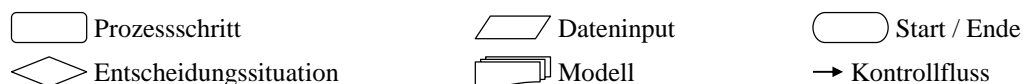


Abbildung 8-2: Ablaufdiagramm zur Adaption des Referenzmodells

## 8.2.2 Ableitung eines informationsorientierten Modells der Produktionssteuerung

Ausgehend von der Identifizierung und Analyse der kausalen Wirkzusammenhänge bedarf es anschließend der Entwicklung eines informationsorientierten Modells zur Produktionssteuerung. Das auf dem allgemeingültigen Referenzmodell (vgl. Abschnitt 5.4) aufbauende Modell bildet die unternehmensspezifischen Maßnahmen der Produktionssteuerung zur Reaktion auf potenziell eintretende Ereignisse ab. Im Fokus liegen die zur Befähigung der Produktionssteuerung unternehmensübergreifend auszutauschenden Informationen.

Zunächst sind die verschiedenen Ebenen des Referenzmodells anwendungsbezogen zu adaptieren (vgl. Abschnitt 5.4.2). Dies betrifft im Speziellen das Informationsmodell (Ebene 0), die funktionalen Zusammenhänge in der Produktionssteuerung (Ebene 1) und die ERM (Ebene 2). Anzumerken ist, dass in diesem Ablaufschritt der Methode noch keine finale Festlegung einer Produktionssteuerungsmaßnahme zur Reaktion auf ein dediziertes Ereignis erfolgt. Vielmehr werden in dem adaptierten Modell die unternehmensabhängigen Möglichkeiten zur Produktionssteuerung, deren Informationsbedarf sowie das zur Verfügung stehende Informationsangebot dargelegt. Vor diesem Hintergrund muss die Flexibilität, die in realen Entscheidungssituationen im Produktionssystem vorhanden ist, adäquat in den Modellebenen abgebildet werden. Kann im Rahmen der Produktionssteuerung bspw. für einen bestimmten Anwendungsfall aus verschiedenen Handlungsalternativen, wie einer Kapazitätserhöhung durch Überstunden oder einer Rüstzeitreduzierung durch Reihenfolgevertauschung, ausgewählt werden, müssen sämtliche Optionen eindeutig dem Modell entnommen werden können. Eine im Modell fest zugewiesene „Wenn-Dann-Verknüpfung“ wäre hingegen nicht zweckmäßig. Denn eine solche könnte entgegen der Realität die Möglichkeit zur Auswahl aus den bestehenden Steuerungsalternativen nicht aufzeigen.

Abschließend werden die verschiedenen Modelldimensionen zusammengeführt. Das resultierende Modell gibt einen umfassenden Überblick der kontextrelevanten Abhängigkeiten des unternehmensübergreifenden Informationsaustauschs auf die verschiedenen zur Verfügung stehenden Produktionssteuerungsmaßnahmen. Darüber hinaus bietet das Modell Unternehmen eine Hilfestellung bei der Konfiguration der Produktionssteuerung und der hierzu relevanten Informationsflüsse zur Erreichung der produktionslogistischen Zielgrößen.

## 8.3 Quantifizierung des Informationswerts

Im Anschluss an die Festlegung des steuerungsabhängigen Informationsaustauschs sind die zugehörigen Informationswerte anwendungsbezogen zu quantifizieren. Analog der Adaption des Referenzmodells bedarf es hierzu mehrerer Vorgehensschritte (s. Abbildung 8-3). Der Ablauf lässt sich in die Spezifizierung des Kennzahlensystems (vgl. Abschnitt 8.3.1) und die eigentliche simulationsbasierte Wertbestimmung (vgl. Abschnitt 8.3.2) differenzieren.

### 8.3.1 Spezifizierung des Kennzahlensystems

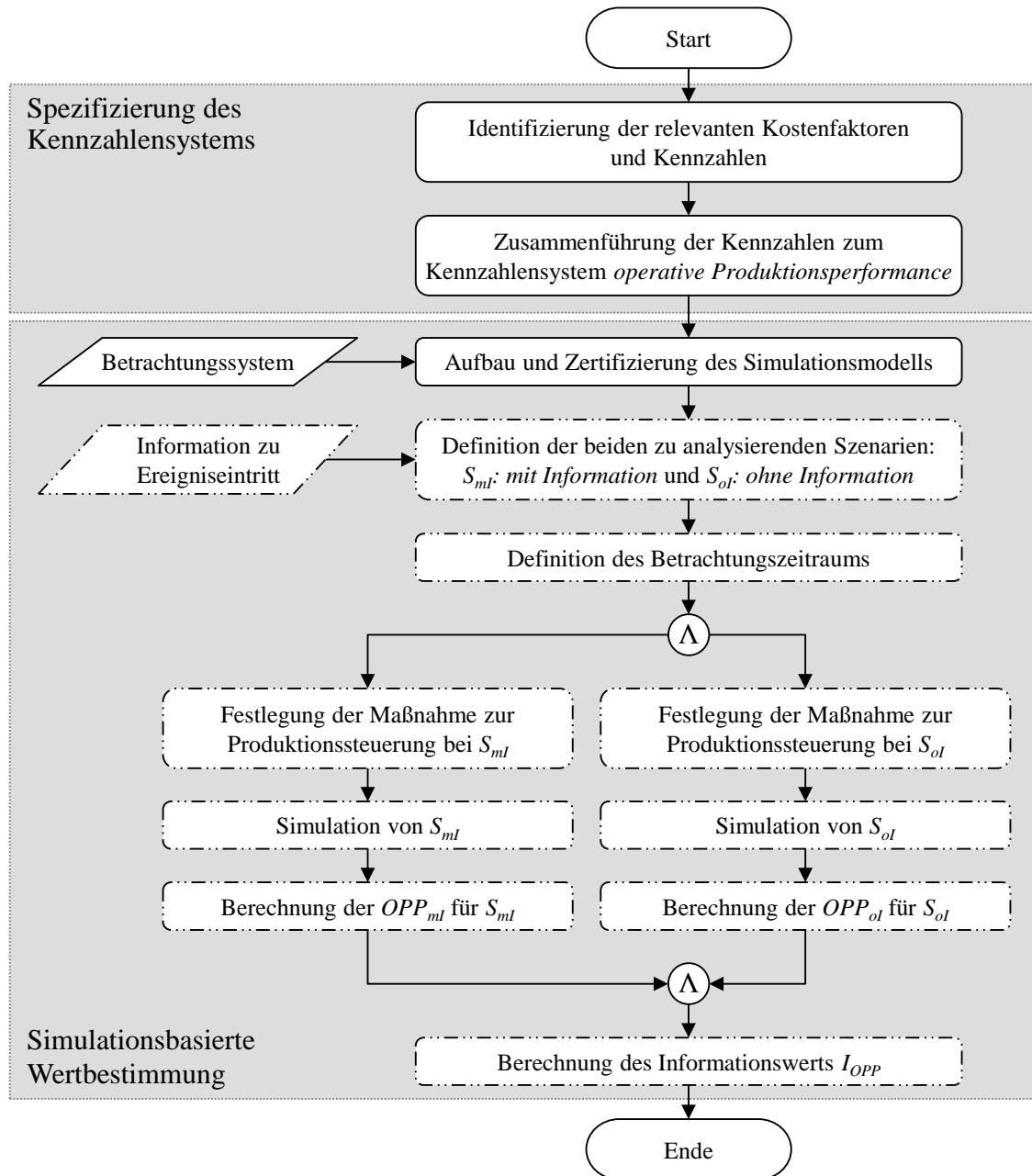
Bevor eine nutzenorientierte Informationsbewertung im Rahmen des Produktionscontrollings erfolgen kann, sind die Bewertungsgrößen zu definieren. Zur Orientierung können die in Abschnitt 6.3.1 allgemein beschriebenen produktionslogistischen Kennzahlen herangezogen werden. Für die Quantifizierung des durch den Informationsaustausch erzielten Vorteils wurden in der vorliegenden Arbeit die Dimensionen *Produktionsleistung*, *quantitative Logistikleistung*, *Herstellkosten* und *Kapitalbindungskosten Bestand* herausgearbeitet. Diese sind jedoch unter Einbeziehung sämtlicher Ressourcen unternehmensspezifisch zu detaillieren. Zum Beispiel müssen die Kostenfaktoren *Kapitalkostensatz*, *Maschinenstundensatz* und *Personalkostensatz* festgelegt werden. Die Dimensionen sind anschließend in einem Kennzahlensystem mit der Spitzenkennzahl OPP zusammenzuführen. Anzumerken ist, dass die Schritte zur Spezifizierung des Kennzahlensystems einmalig vor der ersten Informationsbewertung respektive bei größeren Veränderungen struktureller Art im Produktionssystem durchzuführen sind. Die nachfolgenden Schritte der simulationsbasierten Wertbestimmung sind abgesehen vom Aufbau des Simulationsmodells hingegen bei jeder Informationsbewertung erforderlich.

### 8.3.2 Simulationsbasierte Wertbestimmung

Die Datenbasis für das Kennzahlensystem wird mit Hilfe von Simulationsstudien erzeugt. Im Rahmen der Simulationsstudien wird der Einfluss der durch den Informationsaustausch initiierten Steuerungsmaßnahmen auf die operative Leistungsfähigkeit des Produktionssystems untersucht. Hierzu gilt es zunächst, das Betrachtungssystem einschließlich der Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Wertschöpfungspartnern in einem Simulationsmodell abzubilden. Ausgehend von der durchgeführten Analyse (vgl. Abschnitt 6.2.3) wird der ereignisdiskrete Simulationsansatz appliziert. Da die Ergebnisse der simulationsbasierten Wertbestimmung



von Informationen die Grundlage für das nachgelagert zu entwickelnde Anreizsystem bilden, bedarf es im Anschluss an den Aufbau der Zertifizierung des Simulationsmodells durch die IDS-Zertifizierungsstelle (vgl. Abschnitt 7.2).



## Legende

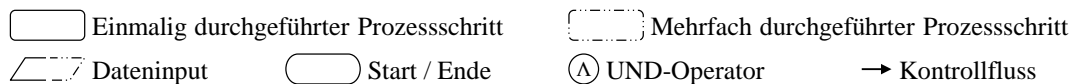


Abbildung 8-3: Ablaufdiagramm zur Quantifizierung des Informationswerts

Sobald das Betrachtungssystem eine Information zu einem in einer vor- oder nachgelagerten Wertschöpfungsstufe eingetretenen Ereignis erhält, wird die Quantifizierung des Werts ebendieser Information ausgelöst. In einem ersten Schritt werden hierzu die beiden zu analysierenden Szenarien differenziert. Das Szenario  $S_{ml}$  ist durch den Informationsaustausch bzgl. des bei einem Wertschöpfungspartner eingetretenen Ereignisses gekennzeichnet. Im Szenario  $S_{ol}$  tritt das gleiche Ereignis ein, allerdings findet kein unmittelbarer unternehmensübergreifender Informationsaustausch zwischen den Partnern statt. Bei  $S_{ol}$  werden die durch das Ereignis induzierten Planabweichungen erst in Folge direkter Auswirkungen auf das Betrachtungssystem offensichtlich, wie bspw. ein ausbleibender Materialfluss. Das Betrachtungssystem besitzt damit bei  $S_{ml}$  gegenüber  $S_{ol}$  einen zeitlichen Vorteil, der als zusätzlicher Handlungsspielraum zur Umplanung im Rahmen der Produktionssteuerung genutzt werden kann.

Bevor die beiden Szenarien detailliert ausgearbeitet und untersucht werden können, bedarf es der Definition des Betrachtungszeitraums (vgl. Abschnitt 5.2.2). Der Startzeitpunkt  $t_{start}$  der Untersuchung entspricht dem Zeitpunkt der Informationsübermittlung  $t_1$  ( $t_{start} = t_1$ ). Das Ereignis tritt zwar bereits zu  $t_0$  ein, da dies allerdings außerhalb des Betrachtungssystems erfolgt und noch kein Informationsaustausch stattgefunden hat, liegt  $t_0$  nicht im Betrachtungszeitraum. Zum Zeitpunkt  $t_2$  beginnen dann die eigentlichen Auswirkungen auf das Betrachtungssystem, wie bspw. das Ausbleiben einer geplanten Lieferung von Rohmaterialien. Sofern zum Zeitpunkt der Informationsübermittlung bereits prognostiziert werden kann, wann die externe Auswirkung auf das Betrachtungssystem enden und bspw. die Materiallieferung erfolgen wird, kann  $t_3$  bestimmt werden. Der Zeitpunkt  $t_4$  kann initial noch nicht definiert werden. Er resultiert aus den zur Verfügung stehenden Maßnahmen der Produktionssteuerung, die den Übergang des Störungsbetriebs in den planmäßigen Normalbetrieb bewirken. Für die beiden im Anschluss zu untersuchenden Szenarien mit ( $S_{ml}$ ) bzw. ohne ( $S_{ol}$ ) Informationsaustausch sind grundsätzlich unterschiedliche Steuerungsmaßnahmen möglich. Ursache hierfür ist der zeitliche Vorsprung im Fall des Informationsaustauschs. Dies hat zur Folge, dass die Zeitpunkte  $t_4$  der beiden Szenarien variieren können ( $t_{4,ml} \neq t_{4,ol}$ ). Um einen ganzheitlichen Vergleich der beiden Störungsmodi zu gewährleisten und sämtliche Auswirkungen eines Ereignisses auf die OPP zu berücksichtigen, ist der Betrachtungszeitraum einheitlich zu wählen. Der Endzeitpunkt  $t_{Ende}$  beider Untersuchungen ist folglich gleich dem späteren der Zeitpunkte  $t_{4,ml}$  und  $t_{4,ol}$  zu setzen. Insofern ist auf den zur Bewertung der systembezogenen Logistikleistung eingeführten KVP des Lieferzeitpuffers zu verweisen (vgl. Abschnitt 6.3.1.4). Ist dieser KVP implementiert, muss die Dauer des Betrachtungszeitraums  $d_{BZR}$  mit

$$d_{BZR} = t_{Ende} - t_{Start} \quad (24)$$

einem Vielfachen des KVP-Intervalls entsprechen. Eine Verlängerung des Betrachtungszeitraums über  $t_4$  hinaus ist hinsichtlich der Quantifizierung des Informationswerts unerheblich. Denn der Ablauf der Auftragsabwicklung im Normalbetrieb ist in beiden Szenarien mit und ohne der Verfügbarkeit von Informationen identisch und hat somit keinen Einfluss auf den Informationswert.

Im Anschluss an die Definition des Betrachtungszeitraums erfolgt die getrennte Analyse der Szenarien  $S_{ml}$  und  $S_{ol}$ . Hierzu werden die zur Verfügung stehenden Produktionssteuerungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit überprüft und die am besten geeigneten Maßnahmen ausgewählt. Nachfolgend wird der Auftragsabwicklungsprozess für beide Szenarien unter Berücksichtigung der jeweils initiierten Produktionssteuerungsmaßnahmen für den Betrachtungszeitraum ereignisdiskret simuliert. In den Simulationsstudien sind insbesondere die Unterschiede im Produktionsablauf, die in Abhängigkeit von der zeitbezogenen Verfügbarkeit der Ereignisinformationen resultieren, von Interesse. Auf Basis der Erkenntnisse aus den Simulationsläufen wird für die Szenarien  $S_{ml}$  und  $S_{ol}$  die jeweilige *OPP* ( $OPP_{ml}$  bzw.  $OPP_{ol}$ ) berechnet. Durch Vergleich der *OPP* lässt sich somit der Einfluss der zur Verfügung gestellten Information auf die operative Leistungsfähigkeit des Produktionssystems quantifizieren. Der durch den Informationsaustausch erzielte Nutzen wird der Information als Informationswert  $I_{OPP}$  attribuiert.

Dabei ist zu betonen, dass der Wert  $I_{OPP}$  aufgrund der zur Quantifizierung erfolgten Aggregation einzelner Kennzahlen keine unmittelbaren Rückschlüsse auf die anwendungsspezifischen Wirkzusammenhänge des Informationsaustauschs mit der Produktionssteuerung erlaubt. Für eine detaillierte Analyse der Hauptfaktoren, die maßgeblich zur Erzielung des monetären Mehrwerts durch die Informationsverfügbarkeit beitragen, sind sämtliche Kennzahlen des Kennzahlensystems für die operative Produktionsperformance  $OPP_{m/ol}$  (vgl. Abschnitt 6.3) heranzuziehen.

## 8.4 Entwicklung des Anreizsystems

Die Erkenntnisse aus den Schritten zur Adaption des Referenzmodells und zur Quantifizierung des Informationswerts bilden die Ausgangsbasis für die Entwicklung des Anreizsystems. Eine Übersicht der relevanten Methodenschritte ist in Abbildung 8-4 dargestellt. Zunächst sind die einzelnen Anreizsystemkomponenten zu konkretisieren (vgl. Abschnitt 8.4.1). Anschließend gilt es, diese Komponenten zu einem übergeordneten Anreizsystem zusammenzuführen (vgl. Abschnitt 8.4.2).

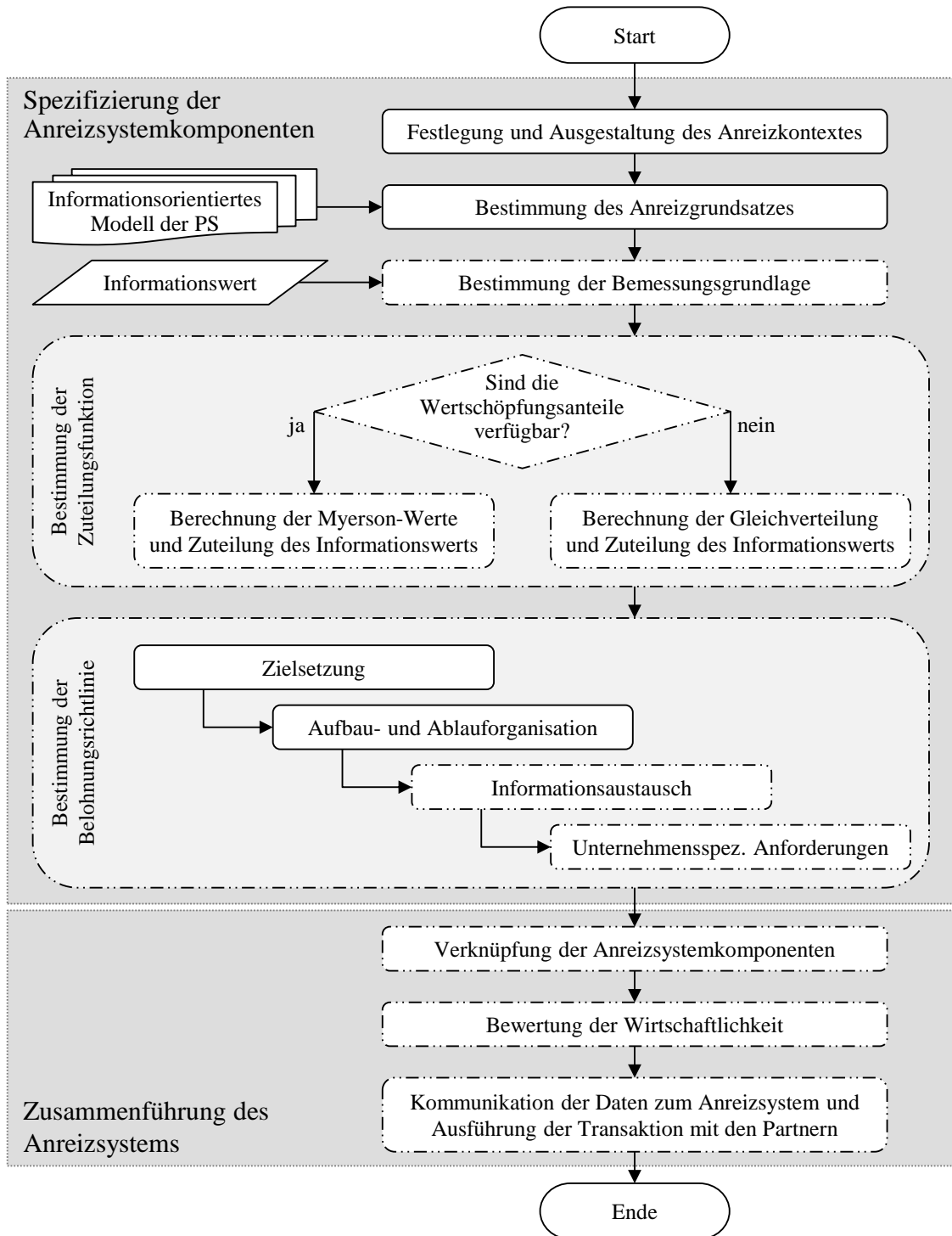
### 8.4.1 Spezifizierung der Anreizsystemkomponenten

Den Rahmen für das anwendungsorientierte Anreizsystem bildet der Anreizkontext. Dieser Anreizkontext wird in der vorliegenden Arbeit durch die IDS-Referenzarchitektur bestimmt. Gemäß den Vorgaben der IDS ist die Implementierung definierter Rollen und Regelungen erforderlich (vgl. Abschnitt 7.2). Hierdurch wird ein sicherer und vertrauensvoller Informationsaustausch gewährleistet.

Anschließend sind die Gestaltungsdimensionen des Anreizsystems i. e. S. für den Anwendungsfall zu konkretisieren. Analog der Quantifizierung des Informationswerts kann dabei zwischen einmalig und mehrfach bzw. bei jedem Informationsaustausch durchzuführenden Schritten unterschieden werden. Zunächst ist der Anreizgrundsatz festzulegen. Dieser beinhaltet mit der Art der auszutauschenden Information sowie den beteiligten Entitäten die Kerndaten der informationsbezogenen Perspektive der Transaktion. Die Daten können dem im ersten Methodenschritt entwickelten informationsorientierten Modell der Produktionssteuerung entnommen werden. Auf Basis des darin enthaltenen Informationsmodells (Ebene 0) wird eine Übersicht potenzieller unternehmensübergreifender Informationsflüsse erzeugt. Diese einmalig bzw. bei Änderungen des Betrachtungssystems oder der Partnerstruktur erneut generierte Übersicht muss anschließend um motivationsbezogene Aspekte ergänzt werden. Hierbei handelt es sich um Angaben, die die Abwicklung des Finanzflusses als Kompensation für den jeweils zugehörigen Informationsfluss regeln.

Die anschließend festzulegende Bemessungsgrundlage für den im spezifischen Anwendungsfall gewährten Anreiz bildet der quantifizierte Nutzwert der Information. Der Informationswert ist nicht nur von den allgemein im Betrachtungssystem zur Verfügung stehenden Produktionssteuerungsmaßnahmen abhängig. Von Einfluss ist im Gegenteil auch die gegebene Situation. Insofern muss der Wert eines Informationstyps bei jedem Informationsaustausch erneut ermittelt werden.

Um eine langfristige Anreizwirkung zum Informationsaustausch zu erreichen, ist im nächsten Schritt der als Bemessungsgrundlage für das Anreizsystem bestimmte Informationswert gerecht den beteiligten Entitäten zuzuteilen. In Abhängigkeit von der verfügbaren Datenbasis können die in Abschnitt 7.3.3 beschriebenen Verfahren zum Einsatz kommen. Hierzu ist zunächst die Verfügbarkeit der Wertschöpfungsanteile der beteiligten Partner zu prüfen. Sind die Wertschöpfungsanteile gegeben, kann der Informationswert gemäß den zu berechnenden Myerson-Werten den Partnern zugeteilt werden. Andernfalls ist der durch den Informationsaustausch generierte Nutzwert zu gleichen Teilen auf die Partner zu verteilen.



Legende

- Einmalig/mehrfach durchgeführter Prozessschritt
- Entscheidungsituation
- Dateninput
- Start / Ende
- Modell
- Kontrollfluss

Abbildung 8-4: Ablaufdiagramm zur Entwicklung des Anreizsystems

Die Belohnungsrichtlinie komplettiert das Anreizsystem i. e. S. Hierzu ist im Rahmen der Methode zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen eine anwendungsspezifische Auswahl der elf als grundsätzlich geeignet identifizierten und kategorisierten Geschäftsmodellmuster (vgl. Abschnitt 7.3.4 und Anhang 15.2.1) zu treffen. In dem in Anlehnung an ZIPFEL ET AL. (2020) entwickelten mehrstufigen Auswahlprozess (s. Abbildung 8-4) wird die Erfüllung verschiedener Anforderungskriterien an eine Belohnungsrichtlinie geprüft. Der Auswahlprozess ist in die Schritte *Zielsetzung*, *Aufbau- und Ablauforganisation*, *Informationsaustausch* und *unternehmensspezifische Anforderungen* unterteilt.

Im ersten Schritt ist die übergeordnete *Zielsetzung* der mit dem Anreizsystem verbundenen Leistungssteigerung zu analysieren. Im Kontext des Austauschs monetär quantifizierter, steuerungsrelevanter Informationen im Wertschöpfungsnetzwerk wird angestrebt, die operative Leistungsfähigkeit des Produktionssystems zu steigern. Hierdurch sollen Liefertermine trotz geringer Lieferzeitpuffer eingehalten und somit die Kundenzufriedenheit erhöht werden. Voraussetzung für den erforderlichen Informationsaustausch ist die Verfügbarkeit konkreter finanzieller Anreize. *Nicht-monetäre Geschäftsmodellmuster*, wie bspw. ein Open data model, erzielen keine geeignete Anreizwirkung und werden daher nicht weiter berücksichtigt. Hinsichtlich der *inhaltlichen Perspektive* wird der Fokus auf eine abgewandelte Form des Revenue sharing gelegt. Dabei wird nicht der Gesamtumsatz des Unternehmens zugrunde gelegt. Vielmehr kommt es auf den durch den Informationsaustausch erzielten Mehrwert in Bezug auf die OPP an. Infolge dieser Nutzen- anstelle einer Kostenorientierung bei der Informationswertbestimmung ist ein Cost sharing nicht anwendbar. Die den Kategorien *Turnus der Transaktion* und *Erweiterbarkeit* zuordenbaren Geschäftsmodellmuster eignen sich grundsätzlich als Anreizmechanismus für den Austausch steuerungsrelevanter Informationen. Das Potenzial dieser Anreizmechanismen für einen spezifischen Anwendungsfall ist in den Schritten zwei bis vier weiter zu untersuchen.

Der zweite Schritt bezieht sich auf die Charakteristika der *Aufbau- und Ablauforganisation* im vorliegenden Wertschöpfungsnetzwerk. Neben der Anzahl der beteiligten Partner beeinflusst bspw. die Verfügbarkeit einer für den Informationsaustausch geeigneten IT-Architektur den Aufwand zur Implementierung verschiedener Belohnungsrichtlinien. In Abhängigkeit von den im Anwendungsszenario gegebenen Eigenschaften ist daher zu entscheiden, ob die Belohnungsrichtlinien unter einem angemessenen Aufwand-Nutzen-Verhältnis umsetzbar sind.

Die Eignung eines Geschäftsmodellmusters als Belohnungsrichtlinie hängt zudem von den Spezifika und den daraus resultierenden Anforderungen des *Informationsaustauschs* ab. Im dritten Schritt erfolgt somit eine weitere Selektion der aus Schritt zwei verbliebenen Geschäftsmodellmuster. Dabei steht die Kategorie und der Inhalt der für die Produktionssteuerung erforderlichen Informationen (vgl. Abschnitt 5.3.1.3) sowie die Richtung ihres Austauschs im Wertschöpfungsnetzwerk im Fokus. Zur Orientierung ist in Anhang 15.2.2 eine Übersicht der steuerungsbezogenen Fähigkeiten der Geschäftsmodellmuster gegeben. Die Zweckmäßigkeit der Geschäftsmodellmuster ist jedoch für jeden Anwendungsfall zu prüfen.

Die drei zuvor beschriebenen Schritte stellen Anforderungskriterien an eine Belohnungsrichtlinie aus einer übergeordneten Perspektive des Wertschöpfungsnetzwerks. Darüber hinaus bestehen mehrere *unternehmensspezifische Anforderungen*. Diese lassen sich einer der vier Dimensionen *netzwerk-, informations-, betriebs- und geschäftsmodellbezogene* Anforderungen zuordnen. Anhang 15.2.3 enthält eine Übersicht der relevanten Anforderungen. Auf Basis der unternehmensspezifischen Anforderungen wird im vierten Schritt der Methode eines der elf Geschäftsmodellmuster respektive eine Kombination aus Geschäftsmodellmustern als Belohnungsrichtlinie ausgewählt.

## 8.4.2 Zusammenführung des Anreizsystems

Schließlich sind die zuvor genannten Anreizsystemkomponenten zu einem ganzheitlich integrierten Anreizsystem zusammenzuführen. Hierzu müssen die einzelnen Komponenten verknüpft und für den Anwendungsfall strukturiert beschrieben werden. Daraufhin erfolgt die wirtschaftliche Bewertung des Systems zum anreizbasierten Informationsaustausch. Mit Hilfe einer Amortisationsrechnung ist zu prüfen, ob der zugewählte nutzenorientierte Informationswert die Kosten für die Informationsverarbeitung übersteigt. Ein positives Nutzen-Aufwand-Verhältnis ist Voraussetzung für einen langfristig wirtschaftlichen Einsatz des Systems.

Im letzten Schritt sind die für die Funktion des Anreizsystems relevanten Daten entsprechend dem IDS-Referenzmodell den beteiligten Wertschöpfungspartnern zu kommunizieren und die Transaktion des Finanzflusses als Kompensation für den bereits zuvor stattgefundenen Informationsfluss abzuschließen. Dabei ist die Finanztransaktion in jedem Anwendungsfall unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen der IDS individuell auszugestalten. Bei einer Lieferterminüberschreitung kann es bspw. zielführend sein, die vertraglich festgesetzten Strafzah-

lungen um den Betrag des dem Lieferanten zugeteilten Informationswerts zu reduzieren. Hierdurch erhält jeder Partner einen Anreiz, sich am Informationsaustausch zu beteiligen und somit einen Beitrag zur optimierten Auftragsabwicklung im Wertschöpfungsnetzwerk zu leisten. Die erzielbare Steigerung der Termintreue entlang der gesamten Lieferkette führt in Folge der erhöhten Kundenzufriedenheit somit nicht nur zu einem kurzfristigen wirtschaftlichen Vorteil, sondern auch zu einer langfristigen Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen.

## 8.5 Fazit

Die entwickelte Methode bietet ein anwendungsorientiertes Vorgehen zur Implementierung eines anreizbasierten Austauschs steuerungsrelevanter Informationen in Wertschöpfungsnetzwerken. Unterteilt ist die Methode in die drei Schritte *Adaption des Referenzmodells*, *Quantifizierung des Informationswerts* und *Entwicklung des Anreizsystems*. Zunächst wird auf Basis des Referenzmodells ein informationsorientiertes Modell der unternehmensspezifischen Produktionssteuerung abgeleitet. Findet ein Informationsaustausch zu einem ungeplanten Ereignis statt, das in einer dem Betrachtungssystem vor- oder nachgelagerten Wertschöpfungsstufe eingetreten ist, wird der durch die Information für die OPP erzielte Mehrwert quantifiziert und der Information als Informationswert attribuiert. Anschließend wird der Informationswert in ein Anreizsystem integriert, sodass gezielte Finanzflüsse zwischen den beteiligten Partnern zur Forcierung von unternehmensübergreifender Informationstransparenz beitragen.



## 9 Prototypische Umsetzung und Validierung

### 9.1 Übersicht

Die Zielsetzung der im Rahmen der *Deskriptiven Studie II* erfolgten prototypischen Umsetzung ist die Validierung der Funktionalität des entwickelten Systems zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen. Zunächst werden hierzu die Charakteristika und Rahmenbedingungen des industriellen Anwendungsbeispiels beschrieben (vgl. Abschnitt 9.2). Anschließend wird das System unter Anwendung der entwickelten Methode (vgl. Kapitel 8) bedarfsorientiert umgesetzt. Die Ergebnisse aus den einzelnen Methodenschritten werden in den Abschnitten 9.3 - 9.6 diskutiert. Zuletzt erfolgt eine technisch-wirtschaftliche Bewertung des Systems (vgl. Abschnitt 9.7).

### 9.2 Beschreibung des Anwendungsbeispiels

Die prototypische Anwendung des entwickelten Systems zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen erfolgt in einem Wertschöpfungsnetzwerk der Lebensmittelindustrie. Betrachtet wird die kundenauftragsorientierte Herstellung variantenreicher Schmelzkäseprodukte. Der Käsehersteller verfolgt das Ziel, die Lieferfähigkeit gegenüber den Kunden zu gewährleisten und gleichzeitig Lebensmittelverschwendung zu reduzieren.

Die Einbindung des Betrachtungssystems in das Wertschöpfungsnetzwerk ist schematisch in Abbildung 9-1 dargestellt. Die Charakteristika des Wertschöpfungsnetzwerks und des Produktionssystems sowie der Ablauf zur PPS einschließlich der hieraus resultierenden Herausforderungen werden im Folgenden skizziert.

#### **Charakteristika des Wertschöpfungsnetzwerks**

Im Anwendungsbeispiel wird eine aus drei Unternehmen bestehende Lieferkette adressiert. Im Betrachtungsfokus liegt der Hersteller der Schmelzkäseprodukte. Ein dem Hersteller vorgelagerter Lieferant stellt die zur Produktion erforderliche Rohware nach dem JiT-Prinzip bereit. Zur Herstellung von kleinen Losenausgewählter Produkte für Kunden hoher Priorität wird ein geringer Sicherheitsbestand vorgehalten. Dies hat zur Folge, dass nur ein geringes Bestandsniveau im Wareneingangslager des Herstellers vorhanden ist. Zur Komplexitätsreduzierung wird angenommen, dass sämtliche weiteren benötigten Zuliefermaterialien ausreichend

verfügbar sind und damit keine Restriktion bilden. Auf Kundenseite wird eine Lieferfähigkeit auch bei kurzfristigen Bestellungen mit einer gewünschten Lieferzeit von unter einer Woche zugesichert. Die Belieferung der nachgelagerten Kunden aus dem Versandlager erfolgt täglich gemäß den vereinbarten Lieferterminen.

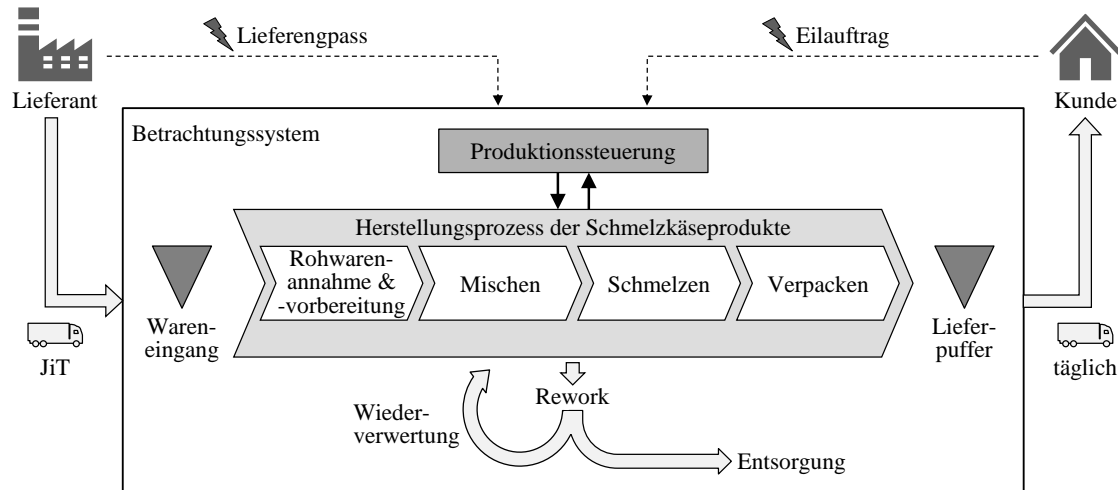


Abbildung 9-1: Übersicht des Anwendungsbeispiels

## Charakteristika des Produktionssystems

Im Produktionssystem wird eine Vielzahl kundenindividueller Produkte gefertigt. Einer bestimmten Rezeptur sind dabei mehrere Artikel zugeordnet. In Summe werden im Anwendungsbeispiel 152 verschiedene Artikel berücksichtigt, die sich auf 52 Schmelzkäserezepturen verteilen.

Das Produktionssystem umfasst elf Linien zur Herstellung von Schmelzkäse. Jede Linie beinhaltet sämtliche zur Durchführung der Teilprozesse *Rohwarennahme und -vorbereitung*, *Mischen*, *Schmelzen* und *Verpacken* erforderlichen Anlagen (s. Abbildung 9-1). Die Teilprozesse lassen sich zudem in feingranulare Prozessschritte untergliedern. Um die Flexibilität des Produktionssystems zu erhöhen und eine möglichst gleichmäßig hohe Auslastung der einzelnen Arbeitsstationen trotz der unterschiedlichen Anlagenkapazitäten in einer Linie zu erreichen, sind zum einen gezielte Puffer zwischen den Prozessschritten vorhanden. Zum anderen besteht eine Vielzahl an Schnittstellen zwischen den Linien. Hierdurch kann bei Bedarf die Weiterverarbeitung des Materials auf den Anlagen einer anderen Linie erfolgen und folglich auf den aktuellen Status in der Produktion reagiert werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der Produkthanforderungen und der Anlagenfähigkeiten nicht jeder Artikel auf jeder Produktionslinie gefertigt werden kann. Nach der Verarbeitung wird die Fertigware dem Versandlager als Lieferpuffer zugeführt. Den Engpass der Produktionslinie bildet die Verpackungsanlage.

Im Produktionsprozess entsteht zu den Schmelzkäseprodukten das unerwünschte Nebenprodukt *Rework*. *Rework* ist Material, das aus Umstellprozessen, Grund- und Zwischenreinigungen oder Störungen der Produktionslinie entstammt und schließlich die verkaufsfähige Produktmenge reduziert. Rüst- und Reinigungsprozesse der Produktionsanlagen sind bei jedem Rezepturwechsel erforderlich. Der Reinigungsaufwand und die damit anfallende *Rework*-Menge sind abhängig von der Reihenfolge der aufeinander folgenden Schmelzkäseprodukte. Die Ursache hierfür liegt in den für eine spezifische Rezeptur zu erfüllenden Qualitätsanforderungen und Hygienestandards. Bei entsprechender Zwischenlagerung kann *Rework* rezepturabhängig in geringen Mengen ( $< 10\%$ ) wieder einem späteren Produktionsauftrag der gleichen Rezeptur zugeführt werden. Ist die maximale Lagerdauer aufgrund der Verderblichkeit überschritten, muss *Rework* gemeinsam mit anderer, qualitätsbedingter K3-Ware entsorgt werden.

### **Ablauf der Produktionsplanung und -steuerung**

Ausgehend von einer vierwöchigen Vertriebsplanung erfolgt die Produktionsplanung rollierend auf Wochenbasis. Hierzu wird zunächst ein Absatzplan erzeugt. Anschließend wird aus dem Absatzplan ein Grobplan der herzustellenden Produktionsmengen abgeleitet. Dabei werden insbesondere die Bestandsreichweite und die Losgrößen einbezogen. Weitere Randbedingungen, wie bspw. Produktionszyklen, zur Verfügung stehende Kapazitäten oder vorhandene Mengen an *Rework*, werden jedoch nicht berücksichtigt.

Im Rahmen der Produktionssteuerung erfolgt die kurzfristige Feinplanung der Produktionsaufträge. Die Feinplanung wird durch den Bedarfszeitpunkt sowie die verfügbaren Anlagen- und Personalkapazitäten beeinflusst. Dabei werden einerseits die Produktionsaufträge den spezifischen Ressourcen zugeordnet und terminiert. Andererseits wird die Reihenfolge der herzustellenden Schmelzkäseprodukte festgelegt. In Abhängigkeit vom situationsbedingt vorliegenden Bestand werden schließlich die Produktionsaufträge freigegeben.

### **Herausforderungen der Produktionssteuerung**

Aus den Charakteristika des Wertschöpfungsnetzwerks und des Produktionssystems resultieren maßgeblich zwei Herausforderungen für die Produktionssteuerung: Erstens birgt die Zulieferstrategie nach dem JiT-Prinzip das Risiko von *Lieferengpässen*. Aufgrund von geringen oder fehlenden Wareneingangsbeständen wirken sich Störungen in der Zulieferung unmittelbar auf den Materialfluss im Betrachtungssystem aus. Zweitens führt die selbst bei kurzfristigen Bestellungen garantierte Lieferfähigkeit zu einer Vielzahl von *Eilaufträgen*.

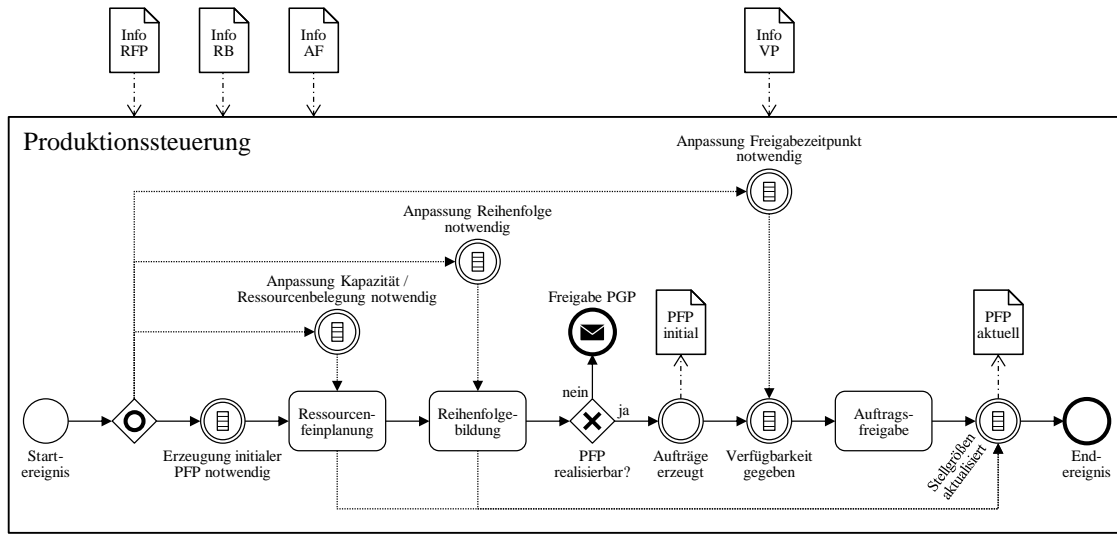
Lieferengpässe und Eilaufträge haben zur Folge, dass kurzfristige Umplanungen des Produktionsfeinplans erforderlich werden. Diese können wiederum negative Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit des Produktionssystems haben. Der Grund hierfür ist eine meist unvermeidliche Abweichung vom nahezu optimalen Feinplan. Dabei führen zusätzliche Umstellprozesse aufgrund des hohen Reinigungs- und Rüstaufwands in der Schmelzkäseherstellung zum einen zu einer Reduzierung des wertschöpfenden Zeitanteils der Anlagen. Hierdurch resultiert unweigerlich eine Verschlechterung der produktionslogistischen Zielerreichung. Zum anderen korreliert die Anzahl an Umstellprozessen positiv mit der Menge an entstandenem Rework. Die Folge ist eine erhöhte Lebensmittelverschwendung. Des Weiteren birgt jede Umstellung der Anlagen das Risiko von Anfahrverlusten und Störungen. Diese verstärken die Effekte hinsichtlich der produktionslogistischen und ressourcenorientierten Zielerreichung.

In den nachfolgenden Abschnitten wird auf die Umsetzung des Systems zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen im Kontext dieses Anwendungsbeispiels eingegangen.

### **9.3 Informationsorientiertes Modell der Produktionssteuerung**

Zur Erstellung des informationsorientierten Modells der Produktionssteuerung bedarf es der Analyse und Spezifizierung der Wirkzusammenhänge im dargelegten Anwendungsbeispiel. Ausgehend von den generisch erzeugten qualitativen Kausaldiagrammen (vgl. Abschnitt 5.3.2) wurden die Potenziale der zur Verfügung stehenden Produktionssteuerungsmaßnahmen untersucht. Basierend darauf wurde der steuerungsabhängige Informationsbedarf abgeleitet. Die aus der Untersuchung der Wirkzusammenhänge gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für die anwendungsbezogene Anpassung der Dimensionen des Referenzmodells. Aus der Zusammenführung der drei für das Unternehmen spezifizierten Ebenen resultiert das informationsorientierte Modell der Produktionssteuerung. Das informationsorientierte Modell der Produktionssteuerung wurde in der Software *ARIS Enterprise 10.0*® umgesetzt. Diese Auswahl lässt sich damit begründen, dass ARIS zum einen die Verknüpfung von BPMN-Modellen mit ERM ermöglicht und folglich die Voraussetzung für ein durchgängiges und redundanzfreies informationsorientiertes Modell der Produktionssteuerung schafft. Zum anderen ist ARIS de facto der Standard in der Geschäftsprozessmodellierung und somit verbreitet und anerkannt. In Abbildung 9-2 ist ein Ausschnitt des *funktionalen Zusammenhangs* (Ebene 1)

gezeigt. Eine vollständige Übersicht der funktionalen Zusammenhänge von Informationstransparenz und der Produktionssteuerung ist in Anhang 15.3.3 zu finden. Das *Informationsmodell* (Ebene 0) ist ausschnittshaft in Anhang 15.3.4 dargestellt.

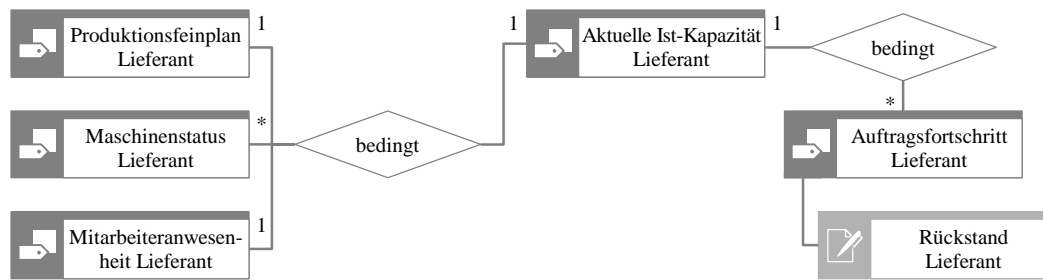


Legende

- |                            |                                |                              |
|----------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| AF: Auftragsfreigabe       | ○ Start-/Zwischen-/Endereignis | ⊖ Eingetretene Bedingung     |
| RB: Reihenfolgebildung     | ⊖ Inklusives Gateway           | ⊗ Exklusives Gateway         |
| RFP: Ressourcenfeinplanung | ▭ Aufgabe                      | ✉ Versand von Nachricht      |
| PFP: Produktionsfeinplan   | 📄 Informationsentität          | ⋯-> Informations-Assoziation |
| PGP: Produktionsgrobplan   | → Initialer Kontrollfluss      | ⇢ Reaktiver Kontrollfluss    |
| VP: Verfügbarkeitsprüfung  |                                |                              |

Abbildung 9-2: Ausschnitt des funktionalen Zusammenhangs (Ebene 1)

Aufgrund der in der Ausgangssituation dargelegten Relevanz, spielen Lieferengpässe und Eilaufträge im Anwendungsbeispiel eine gewichtige Rolle für die Produktionssteuerung. Im Fokus des informationsorientierten Produktionssteuerungsmodells liegen daher die beim Hersteller der Schmelzkäseprodukte auf diese Ereignisse initiierten Gegenmaßnahmen. Die unter Berücksichtigung der produktionslogistischen Zielerreichung als geeignet identifizierten Steuerungsmaßnahmen bestimmen den Bedarf an unternehmensübergreifend auszutauschenden Informationen. In Abbildung 9-3 ist ein Ausschnitt des für das Ereignis *Lieferengpass* relevanten ERM (Ebene 2) dargestellt. In Anhang 15.3.5 ist zudem ein Ausschnitt des ERM für einen *Eilauftrag* abgebildet.



## Legende



Abbildung 9-3: Ausschnitt des ERM für einen Lieferengpass (Ebene 2)

## 9.4 Kennzahlensystem zur operativen Produktionsperformance

Bevor das entwickelte Kennzahlensystem zur Berechnung der OPP (vgl. Abschnitt 6.3) angewandt werden kann, ist eine unternehmensspezifische Ausgestaltung der Faktoren Produktionsleistung, quantitative Logistikleistung, Herstellkosten und Kapitalbindungskosten Bestand notwendig. Die Faktoren werden im Folgenden ausgeführt. Anschließend erfolgt die Zusammenführung zur Spitzenkennzahl OPP. Bei der formelbasierten Berechnung sämtlicher Faktoren wird ausschließlich der Betrachtungszeitraum  $p$  berücksichtigt.

### Produktionsleistung

Die Produktionsleistung quantifiziert den Wert an Produktionsaufträgen, die im Betrachtungszeitraum fertiggestellt werden. Der Wert eines Produktionsauftrags lässt sich über die Faktoren Menge und Verkaufspreis ermitteln, s. Formel (25).

$$PL = \sum_{i=1}^n WA_i * y_i = \sum_{i=1}^n x_i * p_{Verkauf,i} * y_i \quad (25)$$

mit  $x_i$  Menge des Auftrags  $i$   
 $p_{Verkauf,i}$  Verkaufspreis pro Mengeneinheit

Im vorliegenden Anwendungsfall ist zu berücksichtigen, dass die Menge eines Produktionsauftrags im Rahmen der Produktionssteuerung beeinflussbar ist. Dies findet seinen Grund in der reihenfolgeabhängigen Menge des entstehenden Reworks. Folglich ist auch die zum Verkauf stehende Ausbringungsmenge reihenfolgeabhängig. Der Verkaufspreis wird als gegeben angenommen.

## Herstellkosten

Herstellkosten umfassen fixe und variable Kostenanteile. Fixkosten, wie z. B. Kapitalbindungskosten von Anlagevermögen, sind nicht durch die Produktionssteuerung beeinflussbar (vgl. Abschnitt 6.3.1). Da sie somit keine Auswirkungen auf den Informationswert haben, werden sie im Weiteren außer Acht gelassen.

Die variablen Herstellkosten setzen sich im Anwendungsfall aus den Material-, Maschinen-, Personal- und Qualitätskosten zusammen. Die zugehörigen Berechnungsvorschriften sind durch die Formeln (26) - (30) gegeben. Instandhaltungskosten werden aufgrund des geringen Einflusses nicht berücksichtigt.

$$K_{var} = K_{Mat} + K_{Masch} + K_{Pers} + K_{Qual} \quad (26)$$

$$K_{Mat} = \sum_{i=1}^n x_i * k_{Einkauf,i} \quad (27)$$

$$K_{Masch} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{Bearbeiten,i,j} * k_{Masch,j} + t_{Rüsten,i,j} * k_{Rüsten,j} \quad (28)$$

$$K_{Pers} = t_{Pers,reg} * n_{reg} * k_{Pers,reg} + t_{Pers,zus} * n_{zus} * k_{Pers,zus} \quad (29)$$

$$K_{Qual} = \sum_{i=1}^n K_{Qual,fix} + x_{Qual,i} * k_{Qual,var} \quad (30)$$

mit	$k_{Einkauf,i}$	Materialeinkaufspreis des Auftrags i
	$t_{Bearbeiten,i,j}$	Bearbeitungszeit des Auftrags i auf Maschine j
	$k_{Masch,j}$	Maschinenstundensatz der Maschine j
	$t_{Rüsten,i,j}$	Rüstzeit des Auftrags i auf Maschine j
	$k_{Rüsten,j}$	Rüststundensatz der Maschine j
	$t_{Pers,reg}$	Arbeitszeit einer regulären Schicht
	$n_{reg}$	Anzahl der Werker in regulärer Schicht
	$k_{Pers,reg}$	Personalkostensatz einer regulären Schicht
	$t_{Pers,zus}$	Arbeitszeit einer zusätzlichen Schicht
	$n_{zus}$	Anzahl der Werker in zusätzlicher Schicht
	$k_{Pers,zus}$	Personalkostensatz einer zusätzl. Schicht
	$K_{Qual,fix}$	fixe Qualitätskosten
	$x_{Qual,i}$	qualitätsrelevante Menge des Auftrags i
	$k_{Qual,var}$	variable Qualitätskosten

Die durch Rüst- und Reinigungsprozesse verursachten Kosten können auch als Opportunitätskosten angesehen werden. Während dieser Prozesse kann keine Wertschöpfung bei anderen Produktionsaufträgen erfolgen. Folglich erhöhen sich zwar die Maschinenkosten, die Produktionsleistung steigt allerdings nicht. Zudem beinhalten die Rüstkosten Aufwendungen für Betriebsstoffe und Rüstwerkzeuge. Die Personalkosten umfassen neben den Kosten für reguläre Betriebszeiten auch die Kosten für Sonderschichten. Letztere resultieren aus einer kurzfristig erforderlichen Erweiterung der Personalkapazität. Aufgrund der Kurzfristigkeit und der Wochenendzuschläge ist der Personalkostensatz einer zusätzlichen Schicht höher als der einer regulären Schicht.

Qualitätskosten sind die Folge zusätzlichen Aufwands aufgrund von Soll-Ist-Abweichungen im Produktionsablauf. Bei der Schmelzkäseherstellung bezieht sich der Aufwand auf den in Folge von Reinigungsprozessen erzeugten Rework und auf den durch eine mangelnde Erreichung von Qualitätsanforderungen erzeugten Ausschuss. Sowohl bei der Wiederaufbereitung als auch der Entsorgung von Material fallen zusätzliche Personal-, Maschinen- und ggf. Entsorgungskosten an. Aufgrund der durch die Vielzahl an z. T. marginalen Kostenfaktoren bestehenden Komplexität werden die Qualitätskosten mit Hilfe einmaliger Fixkosten sowie mengenabhängiger Kosten linear approximiert (vgl. Anhang 15.3.1).

### Kapitalbindungskosten Bestand

Die Kapitalbindungskosten des Bestands ergeben sich aus dem durchschnittlich gebundenen Kapital und dem Kapitalkostensatz (s. Formel (9)). Die durchschnittliche Kapitalbindung ist gemäß Formel (31) vom Materialwert der Rohstoffe und dem Auftragswert der verkaufsfähigen Produkte abhängig. Aufgrund der Annahme einer kontinuierlichen Wertschöpfung wird ein linearer Anstieg der Kapitalbindung approximiert. Der Kapitalkostensatz lässt sich i. A. an BICHLER ET AL. (2013) aus der Verweilzeit des Auftragsbestands und dem marktüblichen Zinssatz bestimmen. Die zugehörige Berechnungsvorschrift ist in Formel (32) gegeben. Die Kapitalbindungskosten des Bestands werden nach Formel (33) ermittelt.

$$K_{\text{Bestand,geb}} = \sum_{i=1}^n \frac{K_{\text{Mat},i} + WA_i}{2} \quad (31)$$

$$k_{K,i} = \frac{t_{\text{Bestand},i}}{365 \text{ BKT}} * Z_{p.a.} \quad (32)$$

$$K_{\text{Bestand}} = \sum_{i=1}^n \frac{K_{\text{Mat},i} + WA_i}{2} * \frac{t_{\text{Bestand},i}}{365 \text{ BKT}} * Z_{p.a.} \quad (33)$$



mit  $t_{Bestand,i}$  Verweilzeit des Auftrags  $i$   
 $z_{p.a.}$  jährlicher Zinssatz

### Quantitative Logistikleistung

Im Kontext der quantitativen Logistikleistung wird zwischen der system- und der auftragsbezogenen Logistikleistung differenziert (vgl. Abschnitt 6.3.1.4). Für die auftragsbezogene Logistikleistung ist die Höhe der Boni und Strafzahlungen bei Erreichen respektive Überschreiten der auftragspezifischen Liefertermine zu bestimmen. Die dem Anwendungsfall zugrunde liegenden Parameter sind in Anhang 15.3.1 dargelegt.

Die systembezogene Logistikleistung bewertet die durch eine Veränderung des Lieferzeitpuffers bewirkten Kosteneinsparungen bzw. -steigerungen. Hierzu werden die Kapitalbindungskosten der Betrachtungsperiode und der nachfolgenden Periode verglichen (s. Formel (12)). Der Lieferzeitpuffer der Betrachtungsperiode  $ZLP_p$  wird als gegeben angenommen. Hingegen wird der Lieferzeitpuffer der Folgeperiode  $ZLP_{p+1}$  im Sinne eines KVP unter Berücksichtigung der zu erzielenden Liefertermintreue sowie des Mittelwerts und der Streuung der Abgangsterminabweichung in Periode  $p$  ermittelt. Der Betrag der realisierbaren Reduzierung des Lieferzeitpuffers ( $ZLP_p - ZLP_{p+1}$ ) ist somit abhängig von den Simulationsergebnissen der Untersuchungsszenarien. Die Kapitalbindungskosten des Lieferzeitpuffers können – analog der Kapitalbindungskosten des Bestands – durch die Summe der im Ausgangslager wartenden Auftragswerte multipliziert mit einem für den Lieferzeitpuffer charakteristischen Kostensatz berechnet werden. Formel (34) zeigt die resultierende Berechnungsvorschrift. Um eine bestmögliche Vergleichbarkeit der mit dem Lieferzeitpuffer verbundenen Kosten zu gewährleisten, wird in den zwei aufeinander folgenden Perioden das gleiche herzustellende Schmelzkäseportfolio angenommen. Der Kostensatz kann in Abhängigkeit vom jeweiligen Anwendungsfall festgelegt werden. Aufgrund der angestrebten Reduzierung des Lieferzeitpuffers wird ein über dem marktüblichen Zinssatz liegender Kostensatz gewählt (vgl. Anhang 15.3.1).

$$L_{SL} = \sum_{i=1}^n WA_i * \frac{z_{ZLP}}{365 BKT} * (ZLP_{p,i} - ZLP_{p+1,i}) \quad (34)$$

mit  $z_{ZLP}$  Kostensatz für den Lieferzeitpuffer  
 $ZLP_{p,i}$  Lieferzeitpuffer des Auftrags  $i$  in Periode  $p$   
 $ZLP_{p+1,i}$  Lieferzeitpuffer des Auftrags  $i$  in Periode  $p+1$

## Operative Produktionsperformance

Die definierten Kennzahlen werden anschließend gemäß Formel (35) in einem Kennzahlensystem zur Spitzenkennzahl *OPP* konsolidiert. Die *OPP* ermöglicht die ganzheitliche monetäre Bewertung der Leistungsfähigkeit des Produktionssystems im Betrachtungszeitraum.

$$OPP = PL - K_{var} - K_{Bestand} + L_{AL} + L_{SL} \quad (35)$$

## 9.5 Wert der Informationen

Ausgehend von dem entwickelten Kennzahlensystem werden im Folgenden die Informationswerte für die im Anwendungsbeispiel eintretenden Ereignisse *Lieferengpass* und *Eilauftrag* simulationsbasiert bestimmt. Zunächst wird auf die Verifizierung des aufgebauten Simulationsmodells eingegangen (vgl. Abschnitt 9.5.1). Anschließend werden die Untersuchungsszenarien beschrieben (vgl. Abschnitt 9.5.2). Zuletzt werden die Simulationsergebnisse sowie die ermittelten Informationswerte diskutiert (vgl. Abschnitt 9.5.3).

### 9.5.1 Verifizierung des Simulationsmodells

Voraussetzung für die Informationswertbestimmung ist die Verfügbarkeit eines das reale Produktionssystem abbildenden Simulationsmodells. Das Simulationsmodell wurde mit Hilfe der Software *Tecnomatix Plant Simulation 15.1*® erstellt. *Plant Simulation* bietet sämtliche Funktionalitäten einer ereignisdiskreten Materialflusssimulation, die für die Berechnung der *OPP* erforderlich sind. Zudem ist die Software in der produzierenden Industrie etabliert und weit verbreitet.

Das entwickelte Materialflussmodell dient der Simulation des Zustands des Betrachtungssystems mit bzw. ohne Informationsaustausch. Zur Verifizierung des Simulationsmodells wird der Produktionsablauf ohne Eintritt eines Lieferengpasses oder Eilauftrages über mehrere Wochen simuliert. Die Ergebnisse des Simulationsexperiments werden dem tatsächlichen Produktionsablauf gegenübergestellt. Abbildung 9-4 zeigt die jeweils abgewickelte Anzahl an Aufträgen zur Herstellung von Schmelzkäse über einen Zeitraum von zehn Wochen. Lediglich in Woche 8 konnte ein Auftrag der 135 abzuwickelnden Aufträge nicht rechtzeitig zum Produktionsende am Freitagabend um 22:00 Uhr, sondern erst am Samstagmorgen um 01:14 Uhr fertig gestellt werden. Aus dieser Abweichung von maximal 0,7 % in

einer Woche wird geschlussfolgert, dass das Simulationsmodell das reale Produktionssystem mit ausreichend hoher Genauigkeit abbildet und somit zur Informationwertbestimmung verifiziert ist. Eine Übersicht der Fertigstellungstermine des jeweils letzten Auftrags der zehn Wochen ist in Anhang 15.3.2 dargestellt.

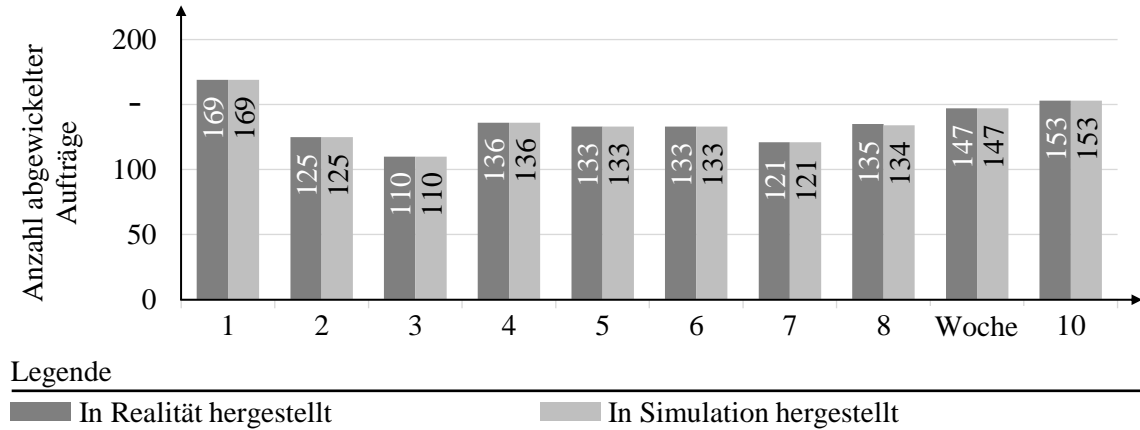


Abbildung 9-4: Verifizierung des Simulationsmodells

## 9.5.2 Definition der Untersuchungsszenarien

Ein systematischer interorganisationaler Austausch von Informationen bietet das Potenzial, den durch Lieferengpässe und Eilaufträge bedingten Herausforderungen im Rahmen der Produktionssteuerung zu begegnen. Ziel ist es, durch eine rechtzeitige Informationsverfügbarkeit eine effiziente und effektive Auftragsabwicklung trotz der ungeplant eingetretenen Ereignisse zu erreichen. Mit Hilfe der Ressourcenfeinplanung und der Reihenfolgebildung soll insbesondere die Häufigkeit und die Dauer von Umstellprozessen reduziert werden. Dabei sind verschiedene Restriktionen zu berücksichtigen, wie bspw. die Entstehung und Verwertung von Rework. Die Auftragsfreigabe folgt einer bestandsregelnden Auslösungslogik. Sie beeinflusst damit ebenfalls die Anzahl an gefertigten Produktionsaufträgen.

In der vorliegenden Arbeit wird das entwickelte System zum anreizbasierten Informationsaustausch aufgrund der aufgezeigten Relevanz prototypisch anhand der Ereignisse *Lieferengpass* und *Eilauftrag* angewandt. Hieraus resultieren die beiden übergeordneten Untersuchungsszenarien I und II (s. Tabelle 9-1). In Szenario I werden die Auswirkungen eines Lieferengpasses analysiert, welcher in einer vorgelagerten Wertschöpfungsstufe auftritt. Szenario II betrifft einen von einem Kunden ausgelösten Eilauftrag. Bei beiden Szenarien werden jeweils die Fälle a) ohne Informationsaustausch und b) mit Informationsaustausch unterschieden. Der Fall a) bildet das Referenzszenario für den Fall b). Diese Unterscheidung ermöglicht die Analyse der Auswirkungen eines rechtzeitigen Informationsaustauschs.

Tabelle 9-1: Konfiguration der Untersuchungsszenarien

Merkmal	Szenario I.a	Szenario I.b	Szenario II.a	Szenario II.b
Lieferengpass	ja	ja	nein	nein
Eilauftrag	nein	nein	ja	ja
Informationsaustausch	nein	ja	nein	ja

### Szenario I: Lieferengpass

Ein lieferantenseitiger Lieferengpass führt aufgrund des im Wertschöpfungsnetzwerk implementierten JiT-Prinzips unmittelbar zu Fehlmengen des Rohmaterials. Die betroffenen Artikel können erst hergestellt werden, sobald das Rohmaterial verfügbar ist. Dies hat zur Folge, dass die zugehörigen Produktionsaufträge neu eingeplant werden müssen. In Abbildung 9-5 ist eine Übersicht des Betrachtungszeitraums mit den in Abschnitt 5.2.2 definierten, charakteristischen Zeitpunkten  $t_0 - t_4$  dargestellt. Erfolgt kein Informationsaustausch über die ausbleibende Materiallieferung (Szenario I.a), wird zum Plan-Starttermin  $t_2$  des betroffenen Auftrags eine Umplanung der offenen, nicht vom Lieferengpass betroffenen Aufträge durchgeführt. Mit der kurzfristigen Umplanung geht ein nicht-wertschöpfender Sonderaufwand einher. In diesem Sonderaufwand sind logistische Tätigkeiten berücksichtigt, wie bspw. die Materialbereitstellung. Ebenso sind administrative Tätigkeiten einberechnet, z. B. Arbeitsplanänderungen auf dem Shopfloor. Zum Zeitpunkt der Materialverfügbarkeit  $t_3$  ist eine erneute Planänderung erforderlich. Findet hingegen ein frühzeitiger Informationsaustausch in Bezug auf den neuen Liefertermin statt (Szenario I.b), erweitert sich der Handlungsspielraum der Produktionssteuerung zur rüsto optimalen Feinplanung der Aufträge. Zudem fällt durch die frühzeitige Umplanung ein geringerer Sonderaufwand an.

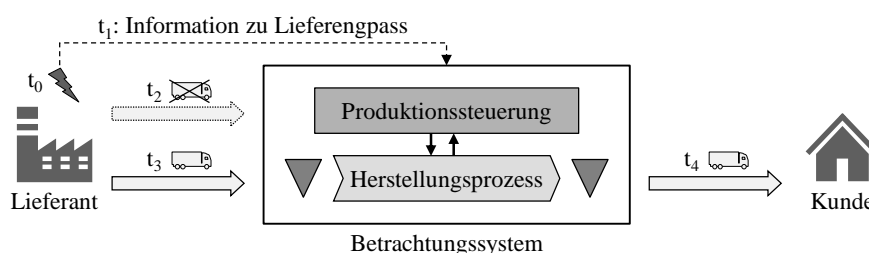


Abbildung 9-5: Betrachtungszeitraum bei Eintritt eines Lieferengpasses

Um die Produktionssteuerung des Schmelzkäseherstellers zur Reaktion auf den Lieferengpass zu befähigen, sind verschiedene Informationsentitäten und Attribute vom Lieferanten zu übermitteln. Hierzu lassen sich die folgenden Angaben aus dem informationsorientierten Modell ableiten: Kundenauftragsnummer, Plan-/Ist-

Auftragsmenge, Materialstamm, Plan-/Ist-Liefertermin und Qualitätsdaten. Falls der Ist-Liefertermin nicht zugesichert werden kann, sind zudem detaillierte Kapazitäts- und Bestandsinformationen auszutauschen.

### Szenario II: Eilauftrag

Ursache für einen Eilauftrag im Betrachtungssystem ist eine kurzfristige Nachfragesteigerung auf der Kundenseite. Der Produktionsauftrag, welcher zur Deckung des zusätzlichen Bedarfs beiträgt, ist im Rahmen der Produktionssteuerung bestmöglich in den bestehenden Feinplan zu integrieren. Analog dem Szenario I variiert der Handlungsspielraum der Ressourcenfeinplanung und Reihenfolgebildung in Abhängigkeit von der Informationstransparenz (s. Abbildung 9-6). Wird die Information über den zusätzlichen Bedarf frühzeitig zu  $t_1$  bereitgestellt (Szenario II.b), kann der Auftrag bereits bei der initialen Feinplanung berücksichtigt werden. Erfolgt kein vorzeitiger Informationsaustausch, sondern wird zu  $t_2$  ein Eilauftrag ausgelöst (Szenario II.a), besteht das Risiko, dass die benötigte Rohware aufgrund der JiT-Belieferung nicht rechtzeitig verfügbar ist und somit die rüstopoptimale Reihenfolge nicht eingehalten werden kann. In diesem Fall können zusätzliche Rüst- und Reinigungsprozesse erforderlich werden, um den Auftrag termingerecht fertigzustellen. Die kurzfristige Neuplanung erfordert zudem einen Sonderaufwand.

Für den Austausch der Ereignisinformation zum Eilauftrag lassen sich folgende Informationsentitäten und Attribute dem informationsorientierten Modell entnehmen: Kundenauftragsnummer, Plan-Auftragsmenge, Materialstamm, Plan-Liefertermin, Lagerbestand und Plan-Lagerabgänge. Bei vorhandener Flexibilität in der Transportlogistik sind auch hierzu relevante Informationen bereitzustellen.

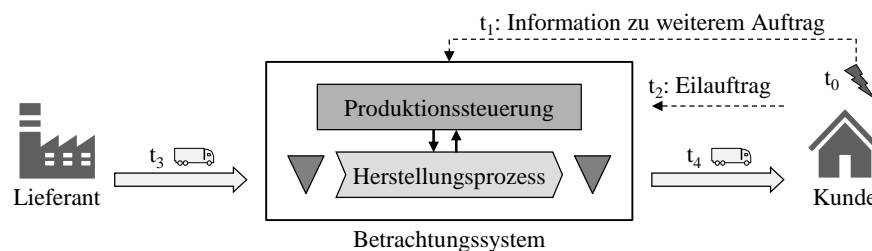


Abbildung 9-6: Betrachtungszeitraum bei Eintritt eines Eilauftrages

Hinsichtlich der Datengrundlage für die Simulation und die nachfolgende Berechnung der OPP werden die relevanten Parameter, wie der Personalkosten-, Maschinenstunden- oder Zinssatz, konstant gehalten. Zudem sind keine stochastischen Faktoren, wie z. B. zufällige Maschinenstörungen, integriert. Hierdurch wird gewährleistet, dass keine anderen als die fokussierten Parameter die Simulationsergebnisse beeinflussen. Die Parameter sind in Anhang 15.3.1 zusammengefasst.

## 9.5.3 Ergebnisse der Informationswertbestimmung

### 9.5.3.1 Lieferengpass

Zur Berechnung des Informationswerts zum Lieferengpass ist schließlich der durch den Informationsaustausch bedingte Zustand des Produktionssystems mit dem Zustand bei ausbleibender Informationstransparenz zu vergleichen. Die in Abbildung 9-7 dargestellten Durchlaufdiagramme kennzeichnen den Auftragsablauf der vom Lieferengpass betroffenen Produktionslinie in den simulierten Szenarien I.a (ohne Informationsaustausch) und I.b (mit Informationsaustausch). Dabei wird eine Verzögerung der Abgangskurve in Szenario I.a gegenüber Szenario I.b offensichtlich. Der Fertigstellungstermin des Auftrags  $t_4$  ist im Szenario I.a später als im Szenario I.b. Dies findet seine Ursache in einer Verschlechterung des Verhältnisses von wertschöpfendem zu nicht-wertschöpfendem Zustand des Produktionssystems. Im Szenario des ausbleibenden Informationsaustauschs führt der kurzfristige Materialengpass bzw. -ausfall des Auftrags zu bestandsbedingten Leistungsverlusten. Um den Rückstand abzubauen und sämtliche Produktionsaufträge fertigzustellen, ist eine Kapazitätssteigerungsmaßnahme erforderlich. Diese wird in Form einer zusätzlichen Schicht am Wochenende umgesetzt.

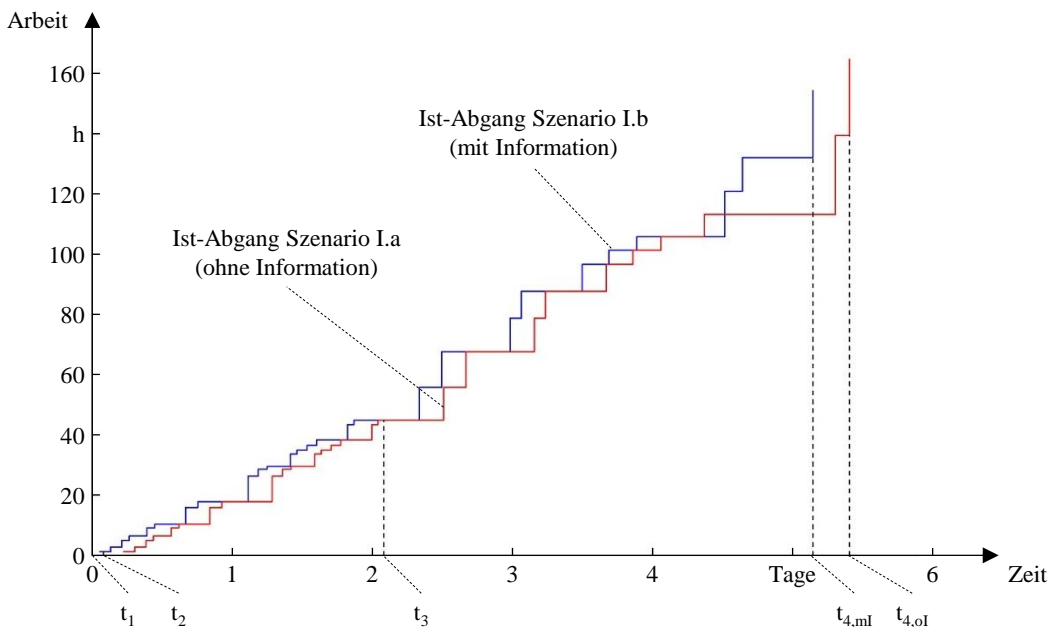


Abbildung 9-7: Durchlaufdiagramme bei Lieferengpass

Die Auswirkungen des Lieferengpasses auf den Auftragsablauf in den beiden Szenarien beeinflusst die jeweilige OPP des Betrachtungssystems. Die berechneten Kennzahlen  $OPP_{mi}$  und  $OPP_{oi}$  für die Betrachtungsperiode sind in Abbildung 9-8

ersichtlich. Der informationsbedingt realisierte Mehrwert der operativen Leistungsfähigkeit, der Informationswert, bemisst sich auf  $I_{OPP} = 11.534 \text{ €}$ .

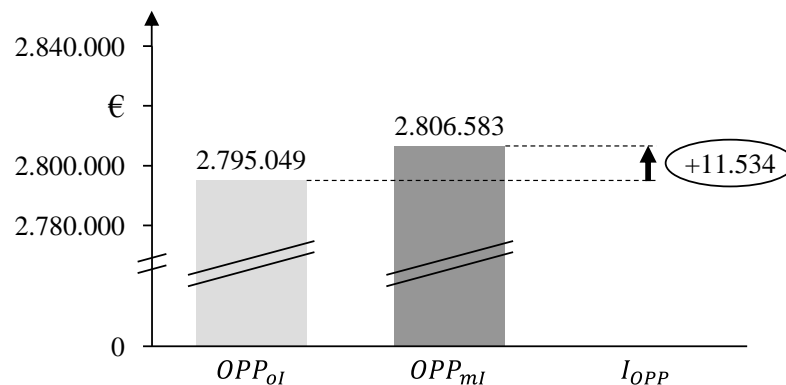


Abbildung 9-8: Auswertung der OPP und des Informationswerts beim Lieferengpass

### 9.5.3.2 Eilauftrag

Das Durchlaufdiagramm in Abbildung 9-9 visualisiert den Ist-Abgang der Produktionslinie, die von dem Eilauftrag tangiert ist, für die Szenarien II.a (ohne Informationsaustausch) und II.b (mit Informationsaustausch). Der Unterschied im Auftragsablauf der beiden Szenarien ist analog dem Lieferengpass auf die Potenziale der Rüstzeitoptimierung zurückzuführen. Durch die frühzeitige Informationstransparenz ist in Szenario II.b ein größerer Lösungsraum gegeben als in Szenario II.a, um den zusätzlichen Auftrag rüstoptimal einzuplanen. Kumuliert über den gesamten Betrachtungszeitraum sind die Rüst- und Reinigungszeiten in II.b geringer als in II.a. Hierdurch werden mehrere Faktoren der OPP beeinflusst. Erstens fallen geringere Rüstkosten an. Zweitens resultiert aus den geringeren Rüstzeiten unter der Annahme einer gleichbleibenden Kapazität der Produktionslinien ein höherer Anteil an wertschöpfender Zeit. Folglich steigt die Produktionsleistung. Drittens entsteht in Folge der reduzierten Anzahl an Rüstvorgängen eine geringere Menge an Rework. Dies führt nicht nur zu verminderten Qualitätskosten, sondern erhöht zudem die Ausbringungsmenge. Somit wird auch durch diesen Wirkzusammenhang die Produktionsleistung positiv beeinflusst.

Des Weiteren erfordert die kurzfristige Abweichung von der rüstoptimalen Auftragsreihenfolge in II.a einen Sonderaufwand für die Anpassung des Feinplans. Aufgrund des zeitlichen Mehraufwands ist in Szenario II.a eine zusätzliche Schicht erforderlich. Diese erhöht zudem die Personalkosten gegenüber Szenario II.b.

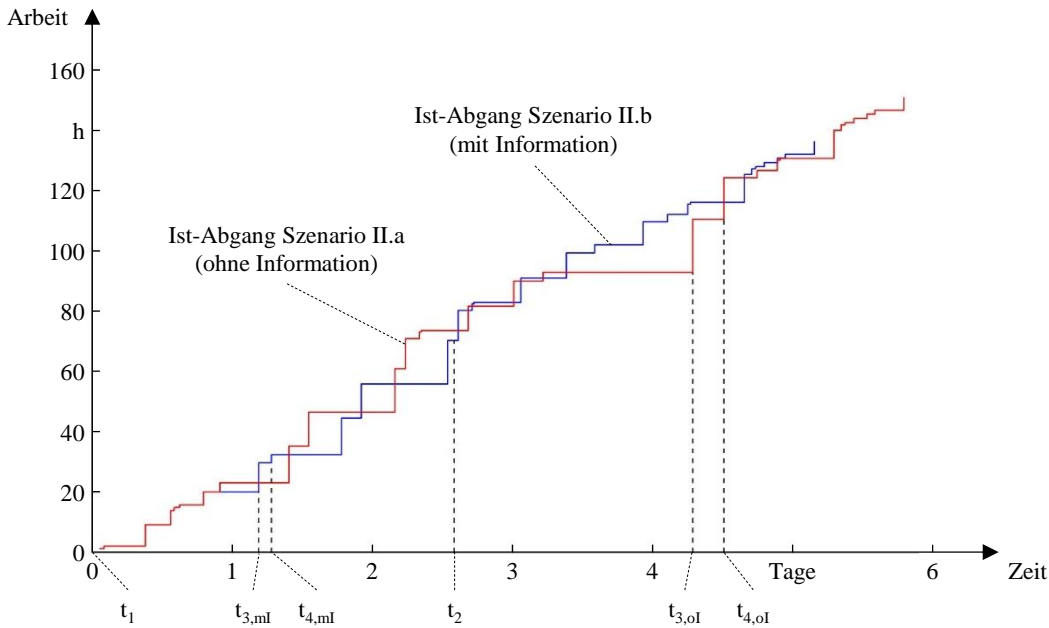


Abbildung 9-9: Durchlaufdiagramme bei Eilauftrag

Zusammenfassend führt der Informationsaustausch zu einer Verbesserung der operativen Leistungsfähigkeit des Produktionssystems. Die Simulationsergebnisse sind in Abbildung 9-10 in Form der Kennzahlen  $OPP_{mi}$  und  $OPP_{oi}$  quantifiziert. Die Verbesserung der OPP in Höhe von  $I_{OPP} = 15.655 \text{ €}$  wird der ausgetauschten Information über den Eilauftrag als Informationswert beigemessen.

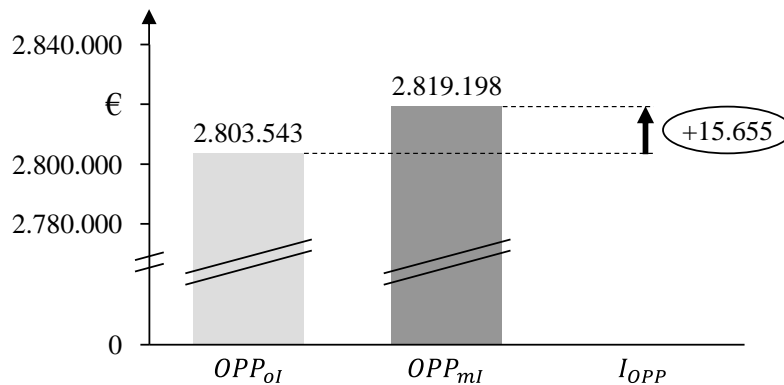


Abbildung 9-10: Auswertung der OPP und des Informationswerts beim Eilauftrag

## 9.6 Anreizsystem

Die Relevanz des unternehmensübergreifenden Austauschs der im Anwendungsfall für die Produktionssteuerung relevanten Informationen zum Lieferengpass und zum Eilauftrag wurde in den vorherigen Abschnitten aufgezeigt. Zur Forcierung des Informationsaustauschs im Kontext der IDS ist schließlich das Anreizsystem



i. e. S. festzulegen. Die Erkenntnisse aus der Durchführung der in Abschnitt 8.4 beschriebenen Methodenschritte sind in Tabelle 9-2 zusammengefasst.

Der Anreizgrundsatz und die Bemessungsgrundlage sind durch den Inhalt und den Wert der auszutauschenden Information festgelegt. Der Informationswert wird auf Basis des Ansatzes der *Gleichverteilung* den am Informationsaustausch beteiligten Unternehmen zugeteilt. Die Berechnung der Myerson-Werte ist im Anwendungsbeispiel nicht möglich. Dies findet seine Ursache darin, dass keine ausreichende Datengrundlage über die Wertschöpfungsanteile der Partner verfügbar ist.

Der Fokus der Belohnungsrichtlinie liegt auf den den Anreizsystemen inhärenten Auszahlungsmodalitäten einschließlich der zugrunde liegenden Preismodelle. Unter Durchführung eines Anforderungs-Fähigkeits-Vergleichs wird die für diesen Anwendungsfall geeignete Belohnungsrichtlinie festgelegt. Aus den ursprünglich elf Geschäftsmodellmustern wird für das Untersuchungsszenario *Lieferengpass* die Kombination aus *Revenue sharing* und *Pay-per-use* ausgewählt. Entscheidend ist hierfür die Unregelmäßigkeit der Transaktion. Die Informationsübermittlung findet unmittelbar nach Ereigniseintritt statt. In Abhängigkeit von den zu diesem Zeitpunkt bestehenden Handlungsoptionen der Produktionssteuerung erfolgt die leistungsbezogene Bezahlung. Zur Abwicklung der Finanztransaktion wird der dem Lieferanten zugeteilte Informationswert  $I_{L,GV,Lief}$  mit der Konventionalstrafe für den Lieferverzug verrechnet. Hierdurch erhalten beide Partner einen finanziellen Anreiz zum Informationsaustausch. Der Lieferant muss lediglich eine reduzierte Strafe für die Lieferterminüberschreitung entrichten. Das betrachtete Unternehmen erhält zwar eine reduzierte Ausgleichszahlung, kann allerdings gegenüber dem Szenario ohne Informationsaustausch eine höhere OPP erzielen.

Für das Untersuchungsszenario *Eilauftrag* eignet sich eine Kombination der drei Geschäftsmodellmuster *Revenue sharing*, *Trade credit* und *Freemium* als Belohnungsrichtlinie. Im Anwendungsbeispiel ist das Auslösen von Kundenaufträgen bis einen Tag vor dem gewünschten Liefertermin der Schmelzkäseprodukte kostenfrei möglich. Für jeden früheren vor dem letztmöglichen Bestellzeitpunkt (max. bis zum Zeitpunkt der initialen Feinplanung am Freitag der Vorwoche) wird dem Kunden in Abhängigkeit vom Leistungsgewinn ein Handelskredit gewährt. Analog zum Lieferengpass erwirtschaften folglich auch bei dieser Ausgestaltung des Anreizsystems beide Partnerunternehmen einen ökonomischen Nutzen aus dem Informationsaustausch.

Tabelle 9-2: Anreizsystem für den Informationsaustausch im Anwendungsbeispiel

Anreizsystemkomponente	Lieferengpass	Eilauftrag
Anreizgrundsatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Auftragsinformationen: Auftragsnummer, Material, Qualität, Plan-/Ist-Menge, Plan-/Ist-Liefertermin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Auftragsinformationen: Auftragsnummer, Material, Plan-Menge, Plan-Liefertermin</li> <li>▪ Bestandsinformationen: Lagerbestand, Plan-Lagerabgang</li> </ul>
Bemessungsgrundlage	$I_{OPP} = 11.534,00 \text{ €}$	$I_{OPP} = 15.655,00 \text{ €}$
Zuteilungsfunktion	Gleichverteilung: $I_{BS,GV,Lief} = \frac{I_{OPP}}{2} = 5.767,00 \text{ €}$ $I_{L,GV,Lief} = \frac{I_{OPP}}{2} = 5.767,00 \text{ €}$	Gleichverteilung: $I_{BS,GV,Eil} = \frac{I_{OPP}}{2} = 7.827,50 \text{ €}$ $I_{K,GV,Eil} = \frac{I_{OPP}}{2} = 7.827,50 \text{ €}$
Belohnungsrichtlinie	Kombination: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revenue sharing</li> <li>▪ Pay-per-use</li> </ul>	Kombination: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Revenue sharing</li> <li>▪ Trade credit</li> <li>▪ Freemium</li> </ul>

Legende

BS: Betrachtungssystem

L: Lieferant

K: Kunde

## 9.7 Technisch-wirtschaftliche Bewertung

Zur Validierung des entwickelten Systems zum anreizbasierten Austausch steuerrelevanter Informationen in Wertschöpfungsnetzwerken ist neben der initialen prototypischen Umsetzung eine umfassende technisch-wirtschaftliche Bewertung erforderlich. In dieser Arbeit wird i. A. an BLESSING & CHAKRABARTI (2009) ein empirisch-induktiver Ansatz verfolgt. Hierdurch lassen sich ausgehend von den im Anwendungsbeispiel untersuchten Szenarien allgemeingültige Aussagen zur Anwendbarkeit des Systems ableiten. Dazu wird zunächst die generelle Erfüllung der definierten Anforderungen (vgl. Abschnitt 4.2) durch das entwickelte System diskutiert (vgl. Abschnitt 9.7.1). Anschließend wird die Wirtschaftlichkeit des Systems bewertet (vgl. Abschnitt 9.7.2).

### 9.7.1 Anforderungsbezogene Bewertung

Im Folgenden wird die Erfüllung der Anforderungen an das Referenzmodell, die Quantifizierung des Informationswerts, das Anreizsystem sowie die Methode kritisch reflektiert. Die Erkenntnisse sind qualitativ in Tabelle 9-3 zusammengefasst.

## **Anforderungen an das Referenzmodell**

Vor dem Hintergrund der Zielsetzung dieser Arbeit ist die *Berücksichtigung unternehmensinterner und -übergreifender Dimensionen* unerlässlich. Das entwickelte Referenzmodell adressiert in allen drei Ebenen sowohl externe als auch interne Schnittstellen. Hierdurch ist sichergestellt, dass bereitgestellte Informationen zu extern eingetretenen Ereignissen bestmöglich zur internen Produktionssteuerung genutzt werden können. Im Rahmen der ERM wird die Verknüpfung externer und interner Informationsentitäten aufgezeigt.

Die Konzentration auf die *Erklärung relevanter Wirkzusammenhänge* ist eine entscheidende Voraussetzung für die Komplexitätsbeherrschung des unternehmensübergreifenden Informationsaustauschs. Die qualitativen Kausaldiagramme bilden die Basis für einen konsequenten Steuerungsbezug im Referenzmodell. Die Kausaldiagramme adressieren dabei die Auswirkungen des Informationsaustauschs auf die in der Produktionssteuerung verfolgten produktionslogistischen Ziele. Weitere Wirkzusammenhänge werden nur insoweit berücksichtigt, wie sie zum Verständnis und zur Funktionalität des Referenzmodells erforderlich sind.

Mit Hilfe der spezifischen Aufbaustruktur des Referenzmodells wird eine *durchgängige und redundanzfreie Modellierung* sichergestellt. Die datentechnische Verknüpfung der drei Ebenen im informationsorientierten Modell der Produktionssteuerung eines anwendenden Unternehmens ermöglicht neben der eindeutigen Identifizierung auch die gezielte Zuordnung der jeweiligen Informationsentitäten. Durch die einheitliche und verständliche Modellierungsweise wird die Grundlage für eine breite Anwendbarkeit des Referenzmodells geschaffen.

## **Anforderungen an den Informationswert**

Das entwickelte Kennzahlensystem mit der Spitzenkennzahl OPP erfüllt die Anforderung einer *objektiven und monetären Bewertung der operativen Leistungsfähigkeit* eines Produktionssystems. Durch die Berücksichtigung der Faktoren Produktionsleistung, quantitative Logistikleistung, Herstellkosten und Kapitalbindungskosten Bestand wird eine ganzheitliche Informationsbewertung im Kontext der Produktionssteuerung gewährleistet.

Der simulationsbasierte Ansatz ermöglicht die geforderte *szenariobasierte Quantifizierung des Informationswerts*. Hierzu wird mit Hilfe eines ereignisdiskreten Simulationsmodells des Betrachtungssystems der Ablauf der Auftragsabwicklung für die Szenarien mit und ohne Informationsverfügbarkeit simuliert. Die generierte Datenbasis dient als Input für die Quantifizierung der Informationswerte.

## Anforderungen an das Anreizsystem

Voraussetzung für die Erreichung von Anreizkompatibilität im Rahmen einer unternehmensübergreifenden Transaktion sind *Gerechtigkeit und Transparenz*. Gerechtigkeit wird im entwickelten Anreizsystem zum einen durch die Festlegung des nutzenorientierten Informationswerts als Bemessungsgrundlage sichergestellt. Zum anderen trägt die Zuteilungsfunktion über die Gleichverteilung oder – sofern die Wertschöpfungsanteile gegeben sind – die Myerson-Werte entscheidend dazu bei, den Mehrwert gerecht auf die Partner zu verteilen. Durch die Integration des Anreizsystems in das IDS-Rahmenwerk wird die geforderte Transparenz realisiert.

Die Anforderung der *Wirtschaftlichkeit durch Anreizwirkung* wird im nachfolgenden Abschnitt diskutiert. Der Fokus liegt dabei auf dem Vergleich des durch das System zum anreizbasierten Informationsaustausch erzielten Mehrwerts mit dem zur Umsetzung und Implementierung erforderlichen Aufwand.

## Anforderungen an die Methode

Um die Anwendbarkeit des Systems über das vorliegende Anwendungsbeispiel hinaus zu ermöglichen, muss die Methode *universell und adaptierbar* sein. Die Allgemeingültigkeit der Methode erlaubt die Übertragbarkeit des Systems auf ein breites Spektrum an Branchen, Unternehmen, Fertigungstypen und Produktkategorien. Der modulare Aufbau bietet zudem das Potenzial, einzelne Schritte entsprechend den Anforderungen des jeweiligen Anwendungsfalls adaptieren oder überspringen zu können.

Tabelle 9-3: Anforderungsbezogene Bewertung des Systems

Kategorie	Anforderung	Bewertung
Referenzmodell	Berücksichtigung unternehmensinterner/-übergreifender Dimensionen	●
	Erklärung relevanter Wirkzusammenhänge	●
	Durchgängige und redundanzfreie Modellierung	◐
Informationswert	Objektive und monetäre Bewertung der operativen Leistungsfähigkeit	◐
	Szenariobasierte Quantifizierung des Informationswerts	●
Anreizsystem	Gerechtigkeit und Transparenz	◐
	Wirtschaftlichkeit durch Anreizwirkung	●
Methode	Universalität und Adaptierbarkeit	●

### Legende



Erfüllt



Größtenteils erfüllt

## 9.7.2 Wirtschaftliche Bewertung

Zur wirtschaftlichen Bewertung des Systems erfolgt eine statische Amortisationsrechnung. Mit Hilfe dieses Verfahrens der Investitionsrechnungen wird die Amortisationszeit der Investition bestimmt. Dazu wird der ursprüngliche Kapitaleinsatz den durchschnittlichen jährlichen Einnahmeüberschüssen respektive Umsatzerlösen gegenübergestellt. Der Kapitaleinsatz setzt sich aus einmaligen Sach- und Personalkosten zusammen. Die jährlichen Einnahmeüberschüsse beinhalten neben dem erzielten monetären Nutzen auch die laufenden Betriebskosten. In Anlehnung an MÜLLER (2019) wird die Amortisationszeit gemäß Formel (36) berechnet.

$$t_a = \frac{K_{Invest}}{R_t} = \frac{K_{Invest}}{N_W - K_{Betrieb}} \quad (36)$$

mit	$t_a$	Amortisationszeit
	$K_{Invest}$	Investitionskosten
	$R_t$	durchschnittl. Einnahmeüberschuss
	$N_W$	monetärer Nutzwert
	$K_{Betrieb}$	laufende Betriebskosten

Im vorliegenden Anwendungsfall sind die in Tabelle 9-4 und Tabelle 9-5 zusammengefassten Beträge angefallen. Die Sachkosten umfassen die Lizenzkosten für die Modellierungs- sowie die Simulationssoftware. Zudem ist für die informationstechnologische Anbindung an die IDS ein geringer Betrag für Hardware zum sicheren Informationsaustausch erforderlich. In Summe ergeben sich Sachkosten in Höhe von 52.000,00 €. Neben den Sachkosten fallen einmalige Personalkosten zur Implementierung des Systems an. Diese beinhalten vor allem den Aufwand für die Erstellung des informationsorientierten Modells der Produktionssteuerung und des Simulationsmodells. Des Weiteren ist erforderlich, die Anreizsystemkomponenten zu spezifizieren, das System an die IDS anzubinden und die Anwender zu schulen. Mit den Personalkosten in Höhe von 106.400,00 € resultieren in Summe Investitionskosten in Höhe von 158.400,00 €.

Bei der Anwendung des Systems entstehen zudem diverse Betriebskosten. Diese werden auf Jahresbasis geschätzt. Zum einen ist eine regelmäßige Aktualisierung und Pflege der Modelle sowie der IDS-Anbindung erforderlich. Zum anderen fallen Aufwände für die ereignisbasierte Berechnung von Informationswerten und für die anreizbasierte Transaktion an. Diese umfassen mitunter die Informationsgewinnung, -verarbeitung und -bereitstellung. Auf Grundlage von Erfahrungswerten des untersuchten Lebensmittelherstellers, die im Rahmen von gemeinsamen

Workshops erhoben und diskutiert wurden, wird im Anwendungsbeispiel angenommen, dass jährlich 20 Ereignisse in Form von Lieferengpässen oder Eilaufträgen eintreten, die es zu bewerten gilt. In Summe ergeben sich daraus durchschnittliche jährliche Betriebskosten in Höhe von 39.200,00 €.

Tabelle 9-4: Investitionskosten zur Implementierung des Systems zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen (Expertenschätzung)

Position	Art	Mengen- einheit	Kosten pro Einheit	Kosten
<b>Sachkosten</b>				
S1	Lizenz Modellierungssoftware	1	12.000,00 €	12.000,00 €
S2	Lizenz Simulationssoftware	1	35.000,00 €	35.000,00 €
S3	IT-Hardware für IDS-Anbindung	1	5.000,00 €	5.000,00 €
Summe der Sachkosten				52.000,00 €
<b>Personalkosten</b>				
P1	Informationsorientiertes Modell der Produktionssteuerung	25	1.120,00 €	28.000,00 €
P2	Simulationsmodell	40	1.120,00 €	44.800,00 €
P3	Anreizsystemkomponenten	10	1.120,00 €	11.200,00 €
P4	IDS-Anbindung	15	1.120,00 €	16.800,00 €
P5	Schulung der Mitarbeitenden	5	1.120,00 €	5.600,00 €
Summe der Personalkosten				106.400,00 €
<b>Summe der Investitionskosten</b>				<b>158.400,00 €</b>

Als Eingangsgröße für die Amortisationszeit ist zuletzt der aus der Anwendung des Systems erzielbare monetäre Nutzen zu quantifizieren. Unter der Annahme, dass jährlich 20 Ereignisse (Expertenschätzung: 8 Lieferengpässe, 12 Eilaufträge) eintreten, kann der Nutzen unter Berücksichtigung der dem Betrachtungssystem zugeteilten Informationswerte (s. Tabelle 9-2) wie folgt bewertet werden:

$$N_W = 8 * I_{BS,GV,Lief} + 12 * I_{BS,GV,Eil} = 140.066,00 \text{ €} \quad (37)$$

Die Amortisationszeit ergibt sich somit gemäß Formel (38).

$$t_a = \frac{158.400,00 \text{ €}}{140.066,00 \text{ €} - 39.200,00 \text{ €}} = 1,57 \text{ Jahre} \quad (38)$$

Eine Amortisation des investierten Kapitals in nur 1,57 Jahren kennzeichnet das hohe Potenzial des Systems zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen in Wertschöpfungsnetzwerken. Hierdurch ist nicht nur aus funktionaler, sondern auch aus wirtschaftlicher Perspektive der Einsatz des Systems unter den für das Anwendungsbeispiel dargelegten Randbedingungen sinnvoll.

Tabelle 9-5: Durchschnittliche jährliche Betriebskosten (Expertenschätzung)

Position	Art	Mengen- einheit	Kosten pro Einheit	Kosten
<b>Betriebskosten</b>				
B1	Aktualisierung Informations- und Simulationsmodell	10	1.120,00 €	11.200,00 €
B2	Pflege der IDS-Anbindung	5	1.120,00 €	5.600,00 €
B3	Berechnung der Informationswerte und anreizbasierte Transaktion	20	1.120,00 €	22.400,00 €
<b>Summe der Betriebskosten</b>				<b>39.200,00 €</b>

Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass die Wirtschaftlichkeit von einer Vielzahl an Einflussfaktoren abhängig ist. Treten bspw. mehr, weniger oder andere Ereignisse ein, deren Informationswert zu quantifizieren ist, hat dies direkte Auswirkungen auf die Amortisationszeit. Auch der Aufwand zur Anpassung und Implementierung des Systems bei einem konkreten Unternehmen wird durch die vorliegenden Gegebenheiten, wie z. B. die vorhandene IT-Infrastruktur, beeinflusst. Des Weiteren kann die möglichst leistungsgerechte Zuteilung des Informationswerts unter den Partnerunternehmen eine entscheidende Rolle für die Wirtschaftlichkeit spielen. Basiert die Zuteilungsfunktion auf den Myerson-Werten und liegt der Wertschöpfungsanteil überwiegend beim Informationslieferanten, wird dem Informationsempfänger ein verhältnismäßig geringerer Anteil am Informationswert zugesprochen. Demgegenüber besteht jedoch prinzipiell das Risiko, dass der durch die Transaktion beim Informationslieferanten erzielte Nutzwert nicht dessen zusätzliche Kosten zur Informationserzeugung, -verarbeitung und -bereitstellung übersteigt. In diesem Fall wäre keine langfristige Anreizkompatibilität erreichbar. Da im Rahmen von Industrie 4.0 jedoch von einer zunehmenden Informationsverfügbarkeit ausgegangen wird und somit die Kosten, die für den Austausch steuerungsrelevanter Informationen zusätzlich anfallen, mittel-/langfristig als marginal oder für die Wettbewerbsfähigkeit unumgänglich angesehen werden können, ist dieser Fall sehr unwahrscheinlich.

Es kann somit festgehalten werden, dass die Wirtschaftlichkeit des entwickelten Systems aufgrund des aufgezeigten hohen Potenzials grundsätzlich gegeben ist. Die jeweilige Amortisationsdauer ist aufgrund des spezifischen Aufwand-Nutzen-Verhältnisses für jeden Anwendungsfall erneut zu bewerten.

## 9.8 Fazit

Das entwickelte System zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen wurde im beschriebenen Anwendungsbeispiel prototypisch umgesetzt und validiert. Hierzu wurden die Schritte der Methode (vgl. Kapitel 8) durchlaufen. Im Anschluss an die Ausgestaltung des informationsorientierten Modells der Produktionssteuerung sowie des Kennzahlensystems erfolgte die Ermittlung der Informationswerte für die Untersuchungsszenarien *Lieferengpass* und *Eilauftrag*. Die Informationswerte wurden dann in anwendungsspezifische Anreizsysteme überführt. Zuletzt wurde eine technisch-wirtschaftliche Bewertung des Systems vorgenommen. Die diskutierten Ergebnisse zeigen nicht nur den Nutzen des unternehmensübergreifenden Informationsaustauschs, sondern auch das ökonomische Potenzial des Systems in der Anwendung.



## 10 Schlussbetrachtung

### 10.1 Zusammenfassung

Unternehmen des produzierenden Gewerbes sind mit einer Vielzahl von externen Herausforderungen konfrontiert. Zu nennen sind insbesondere die Verschärfung des globalen Wettbewerbs sowie die steigenden Kundenforderungen nach individuellen Produkten und kurzen Lieferzeiten. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, fokussieren sich Unternehmen zunehmend auf ihre Kernkompetenzen und kooperieren in Wertschöpfungsnetzwerken. Dabei wird ein Spannungsfeld zwischen der Logistikleistung und den Logistikkosten offensichtlich: Auf der einen Seite besitzt die Effektivität der Auftragserfüllung oberste Priorität. In Bezug auf die Logistikleistung gilt es, eine Lieferfähigkeit trotz des volatilen Marktumfelds zu gewährleisten. Auf der anderen Seite streben Unternehmen eine Effizienzsteigerung der Auftragsabwicklung an. Das Ziel ist es, durch reduzierte Bestands- und Zeitreserven die Logistikkosten zu senken. Das Ergebnis dieses Spannungsfelds ist eine zunehmende Anfälligkeit für ungeplante Ereignisse, die in vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsstufen eintreten. Durch einen zielführenden unternehmensübergreifenden Informationsaustausch kann das Potenzial der Produktionssteuerung zur kurzfristigen Reaktion auf solche Ereignisse ausgeschöpft und die Erreichung der produktionslogistischen Ziele sichergestellt werden.

Vor diesem Hintergrund ist das Ziel der Arbeit die Entwicklung eines *Systems zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen in Wertschöpfungsnetzwerken*. Basierend auf einer Analyse des Stands der Forschung und Technik lassen sich dabei vier Handlungsfelder identifizieren:

1. Referenzmodell zur Erklärung der Wirkzusammenhänge
2. Quantifizierung des ökonomischen Informationswerts
3. Anreizsystem zum Austausch steuerungsrelevanter Informationen
4. Methode zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen

Das *Referenzmodell* adressiert die Wirkzusammenhänge von unternehmensübergreifendem Informationsaustausch und -interner Produktionssteuerung. Mit Hilfe der diskutierten qualitativen Kausaldiagramme wird ein Verständnis über den Einfluss von Informationstransparenz auf die Erreichung der produktionslogistischen Ziele erzeugt. Das auf diesen Kausaldiagrammen basierende Referenzmodell dient der anwendungsspezifischen Ableitung ganzheitlicher informationsorientierter

Modelle der Produktionssteuerung. Hierzu umfasst das Referenzmodell die drei Ebenen Informationsmodell, funktionaler Zusammenhang und Entity-Relationship-Modelle. Durch Integration der drei Ebenen wird die Voraussetzung geschaffen, den steuerungsabhängigen Informationsbedarf mit dem im Wertschöpfungsnetzwerk verfügbaren Informationsangebot in Einklang zu bringen.

Eine systematische Quantifizierung des ökonomischen *Informationswerts* ist Voraussetzung für die Wahrnehmung der Informationen als eigenständige Wirtschaftsgüter. Um eine objektive, monetäre Bewertung des Nutzwerts von Informationen für die Produktionssteuerung zu ermöglichen, wurde ein hierarchisches Kennzahlensystem mit der Spitzenkennzahl operative Produktionsperformance (OPP) entwickelt. Kernbestandteile der OPP sind die Produktionsleistung, die quantitative Logistikleistung, die Herstellkosten sowie die Kapitalbindungskosten des Bestands. Das Kennzahlensystem erlaubt die Analyse der Auswirkungen von Informationsaustausch auf die Leistungsfähigkeit des Produktionssystems bei Eintritt eines ungeplanten Ereignisses. Der aufgrund der Informationsverfügbarkeit erzielte Nutzen hinsichtlich der OPP wird der Information als Wert beigemessen. Die Datenbasis des Kennzahlensystems wird mit Hilfe eines ereignisdiskreten Simulationsmodells generiert.

Zur Forcierung eines intensivierten Austauschs der als relevant identifizierten und monetär bewerteten Informationen ist schließlich ein *Anreizsystem* zu gestalten. Das in dieser Arbeit generisch konzipierte Anreizsystem umfasst die Dimensionen Anreizgrundsatz, Bemessungsgrundlage, Zuteilungsfunktion und Belohnungsrichtlinie. Durch Spezifizierung der Dimensionen kann ein anwendungsorientiertes Anreizsystem abgeleitet werden, das sämtliche Partner durch gezielte finanzielle Vorteile zum Informationsaustausch motiviert. Hinsichtlich der Zuteilungsfunktion ist in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von partnerbezogenen Wertschöpfungsanteilen zwischen der Verwendung von Myerson-Werten oder einer Gleichverteilung zu entscheiden. Als Belohnungsrichtlinie für die Transaktion stehen verschiedene Geschäftsmodellmuster zur Auswahl. Der Anreizkontext wird durch das Referenzarchitekturmodell der International Data Spaces gebildet.

Die konzipierte *Methode* bietet eine strukturierte Vorgehensweise zur Anwendung der Systemelemente Referenzmodell, Informationswert und Anreizsystem in einem realen Produktionssystem. Dazu werden im Rahmen der Methode sämtliche Schritte beschrieben, die zur Implementierung des Systems zum anreizbasierten Informationsaustausch durchzuführen sind. Die Schritte können in Abhängigkeit von ihrem Turnus in einmalig oder mehrfach durchzuführend differenziert werden.

Die prototypische Umsetzung und Validierung des entwickelten Systems erfolgte in einem Anwendungsbeispiel der Lebensmittelindustrie. Im Fokus standen dabei die beiden Untersuchungsszenarien Lieferengpass und Eilauftrag. Die Analyseergebnisse zeigen das Potenzial von unternehmensübergreifendem Informationsaustausch für die Produktionssteuerung. In beiden Szenarien konnte der Handlungsspielraum der Produktionssteuerung zur Initiierung geeigneter Gegenmaßnahmen durch eine frühzeitige Informationsverfügbarkeit über die eingetretenen Ereignisse vergrößert werden. Hierdurch wurde jeweils eine höhere OPP als bei ausbleibendem Informationsaustausch erzielt. Durch die Integration der resultierenden Informationswerte in ein anwendungsspezifisches Anreizsystem konnte bei allen am Informationsaustausch beteiligten Unternehmen ein finanzieller Nutzen aufgezeigt werden. Die abschließende Wirtschaftlichkeitsbewertung belegt darüber hinaus auch die ökonomische Sinnhaftigkeit des Systems zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen in Wertschöpfungsnetzwerken.

Durch die Anwendung des Systems wird die Grundlage für einen intensivierten unternehmensübergreifenden Austausch steuerungsrelevanter Informationen gelegt. Die Arbeit leistet damit einen wertvollen Beitrag zu einer effizienten und effektiven Wertschöpfung. Hierdurch kann die Wirtschaftsleistung des produzierenden Gewerbes gesteigert und eine Zunahme des Wohlstands erreicht werden.

## **10.2 Ausblick**

Ausgehend von dem entwickelten System besteht weiterer Forschungsbedarf in mehreren Punkten. Erstens könnte das auf die kurzfristige Produktionssteuerung fokussierte System um den Betrachtungsbereich der mittel-/langfristigen Produktionsplanung erweitert werden. Durch die informationslogistische Berücksichtigung der taktischen und strategischen Planungsaufgaben kann ein weiterer Beitrag zur Steigerung der Resilienz in Wertschöpfungsnetzwerken geleistet werden. Dabei bietet es sich an, auch die Vernetzung mit einem Risikomanagement zu untersuchen. Dies würde insbesondere eine Quantifizierung des Informationswerts von makroökonomischen oder politisch-rechtlichen Umwelteinflüssen ermöglichen.

Zweitens wurde für diese Arbeit die Randbedingung festgelegt, dass eine ausreichende Informationsqualität zur Verfügung steht. Da die Qualität der zur Verfügung stehenden Informationen eine entscheidende Rolle für deren Wert spielt, könnte in einer weiterführenden Forschungsarbeit der Einfluss der Informationsqualität auf den Wert steuerungsrelevanter Informationen untersucht werden.

Drittens bedarf es der Analyse weiterer produktionslogistischer Faktoren, die den Informationswert beeinflussen können. Für eine Sensitivitätsanalyse könnte bspw. der Zusammenhang des Informationswerts mit der Lage des Kundenentkopplungspunkts, der durchschnittlichen Durchlaufzeit oder der Flexibilität der verfügbaren Ressourcenkapazitäten von Interesse sein. Auch die Art des Teileflusses (One-Piece-Flow, Los, Charge etc.), der Fertigungstyp oder die Produktkomplexität könnten eine Korrelation mit dem Informationswert besitzen. Zudem sind die Interdependenzen von extern und intern verursachten Störungsereignissen zu analysieren. Des Weiteren könnte auf einer unternehmensübergreifenden Ebene die Wirkbeziehung mit unterschiedlichen Ereignisursachen, wie bspw. Maschinen- oder Transportstörungen, sowie der Einfluss von komplexen Wechselwirkungen zwischen parallelen Lieferketten untersucht werden.

Viertens beinhaltet das entwickelte System vertraglich festgesetzte Verzugskosten bei Überschreitung des Liefertermins. Perspektivisch wäre es erstrebenswert, keine fixen, sondern situationsabhängige Strafzahlungen zu integrieren. Hierzu müssten die realen Auswirkungen einer Lieferterminabweichung auf die nachfolgenden Wertschöpfungsstufen monetär quantifiziert werden.

Fünftens besteht weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Anwendbarkeit der Myerson-Werte als leistungsgerechte Zuteilungsfunktion. Zur Berechnung der marginalen Wertbeiträge ist die Entwicklung einer ganzheitlichen Methodik erforderlich. Diese soll die Bestimmung von produktionssystembezogenen Wertschöpfungsanteilen einzelner Unternehmen in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken anhand objektiver Kriterien ermöglichen.

Sechstens wurden subjektiv-menschliche Aspekte in Bezug auf die Motive der Unternehmen sowie der Mitarbeitenden für oder gegen den anreizbasierten Informationsaustausch aus dem Betrachtungsbereich dieser Arbeit ausgeschlossen. In realen unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerken können die psychologischen Effekte auf den Informationsaustausch allerdings nicht vernachlässigt werden. Diese Effekte sollten daher in einer weiterführenden wissenschaftlichen Arbeit aus der Perspektive der Organisationspsychologie untersucht werden.

Die skizzierten Forschungsbedarfe tragen zu einer weiteren Stärkung der Wahrnehmung von Informationen als eigenständige Wirtschaftsgüter bei. Hierdurch soll der zunehmenden Relevanz von unternehmensübergreifendem Informationsaustausch für die Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen in Wertschöpfungsnetzwerken Rechnung getragen werden.

## 11 Literaturverzeichnis

ALBACH ET AL. 2015

Albach, H.; Meffert, H.; Pinkwart, A.; Reichwald, R. (Hrsg.): Management of Permanent Change. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden 2015. ISBN: 978-3-65805-013-9.

ALGABA ET AL. 2001

Algaba, E.; Bilbao, J.; Borm, P.; López, J.: The Myerson value for union stable structures. *Mathematical Methods of Operations Research* 54 (2001) 3, S. 359-371.

ALICKE 2005

Alicke, K.: Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken. Unternehmensübergreifendes Supply Chain Management. 2. Aufl. Berlin: Springer 2005. ISBN: 978-3-54022-998-8. (VDI-Buch).

ALISCH ET AL. 2004

Alisch, K.; Arentzen, U.; Winter, E. (Hrsg.): Gabler Wirtschaftslexikon. 16. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2004. ISBN: 978-3-66301-440-9.

ALLWEYER 2015

Allweyer, T.: BPMN 2.0 Business Process Model and Notation. Einführung in den Standard für die Geschäftsprozessmodellierung. Norderstedt: BOD-Books on Demand 2015. ISBN: 978-3-73862-671-1.

ANSORGE 2008

Ansorge, D.: Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen. Diss. Techn. Univ. München (2007). München: Utz 2008. ISBN: 978-3-83160-785-3. (Forschungsberichte iw 214).

APICS 2017

APICS (Hrsg.): Supply Chain Operations Reference Model. SCOR. 12. Aufl. Chicago 2017.

ARNDT ET AL. 2017

Arndt, T.; Lemmerer, C.; Biegler, C.; Sihm, W.; Lanza, G.: Steuerung globaler Produktionsnetzwerke. Entwicklung eines Standortrollenmodells zur dynamischen Bewertung von Gestaltungsmaßnahmen. *wt Werkstattstechnik online* 107 (2017) 4, S. 241-246.

ARNDT 2018

Arndt, T.: Bewertung und Steigerung der Prozessqualität in globalen Produktionsnetzwerken. Diss. Karlsruher Institut für Technologie (2018). Karlsruhe: Shaker 2018. ISBN: 978-3-84405-851-2. (Forschungsberichte aus dem wbk 212).

ARNOLD ET AL. 2008

Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K. (Hrsg.): Handbuch Logistik. 3. Aufl. Berlin: Springer 2008. ISBN: 978-3-54072-928-0. (VDI-Buch).

ATKINSON 1975

Atkinson, J.: Einführung in die Motivationsforschung. 1. Aufl. Stuttgart: Klett 1975.

BABAI ET AL. 2016

Babai, M.; Boylan, J.; Syntetos, A.; Ali, M.: Reduction of the value of information sharing as demand becomes strongly auto-correlated. *International Journal of Production Economics* 181 (2016) 3, S. 130-135.

BACH ET AL. 2003

Bach, N.; Buchholz, W.; Eichler, B. (Hrsg.): Geschäftsmodelle für Wertschöpfungsnetzwerke. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2003. ISBN: 3-40912-315-6.

BACH ET AL. 2003

Bach, N.; Buchholz, W.; Eichler, B.: Geschäftsmodelle für Wertschöpfungsnetzwerke - Begriffliche und konzeptionelle Grundlagen. In: Bach, N. et al. (Hrsg.): Geschäftsmodelle für Wertschöpfungsnetzwerke. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2003, S. 1-20. ISBN: 3-40912-315-6.

BADER ET AL. 2020

Bader, S.; Pullmann, J.; Mader, C.; Tramp, S.; Quix, C.; Müller, A.; Akyürek, H.; Böckmann, M.; Imbusch, B.; Lipp, J.; Geisler, S.; Lange, C.: The International Data Spaces Information Model – An Ontology for Sovereign Exchange of Digital Content. In: Pan, J. et al. (Hrsg.): *The Semantic Web – ISWC 2020*. Cham: Springer International 2020, S. 176-192. ISBN: 978-3-03062-465-1.

BAKIR & KLUTKE 2014

Bakır, N.; Klutke, G.-A.: Buying price of event information in two-action decision problems. *Environment Systems and Decisions* 34 (2014) 1, S. 38-48.

## BANK ET AL. 2021

Bank, L.; Luber, M.; Theumer, P.; Zipfel, A.; Kämpfer, T.; Hiller, T.; Heuer, T.; Demke, T.; Mundt, C.; Köster, N.; Janke, T.; Maibaum, J.; Schmidhuber, M.: PPS-Report 2021 - Studienergebnisse 2021.

## BARLAS &amp; GUNDUZ 2011

Barlas, Y.; Gunduz, B.: Demand forecasting and sharing strategies to reduce fluctuations and the bullwhip effect in supply chains. *The Journal of the Operational Research Society* 62 (2011) 3, S. 458-473.

## BAUER ET AL. 2021

Bauer, D.; Böhm, M.; Bauernhansl, T.; Sauer, A.: Increased resilience for manufacturing systems in supply networks through data-based turbulence mitigation. *Production Engineering* 15 (2021) 3-4, S. 385-395.

## BAUSCH &amp; GLAUM 2003

Bausch, A.; Glaum, M.: Unternehmenskooperationen und Unternehmensakquisitionen als alternative Wachstumsformen: Theoretische Erklärungsansätze und empirische Befunde. In: Bach, N. et al. (Hrsg.): *Geschäftsmodelle für Wertschöpfungsnetzwerke*. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2003, S. 41-77. ISBN: 3-40912-315-6.

## BDI 2016

BDI: *Deutschland 2030 - Zukunftsperspektiven der Wertschöpfung*. Bundesverband der Deutschen Industrie. Berlin: BDI - Bundesverband der Deutschen Industrie e.V 2016. ISBN: 978-3-00036-796-0. (BDI-Drucksache 458).

## BECHTE 1984

Bechte, W.: *Steuerung der Durchlaufzeit durch belastungsorientierte Auftragsfreigabe bei Werkstattfertigung*. Diss. Univ. Hannover (1984). Düsseldorf: VDI-Verlag 1984. (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften 70).

## BECKER 1990

Becker, F.: *Anreizsysteme für Führungskräfte. Möglichkeiten zur strategisch-orientierten Steuerung des Managements*. Stuttgart: Poeschel 1990. ISBN: 3-79100-506-5.

## BECKER 1995

Becker, F.: *Anreizsysteme als Führungsinstrument*. In: Kieser, A. et al. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Führung*. 2. Aufl. Stuttgart: Poeschel 1995, S. 34-46. ISBN: 978-3-79108-043-7.

BECKER 2018

Becker, T.: Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren. Berlin: Springer 2018. ISBN: 978-3-66249-074-7.

BECKER ET AL. 2019

Becker, W.; Eierle, B.; Fliaster, A.; Ivens, B.; Leischnig, A.; Pflaum, A.; Sucky, E. (Hrsg.): Geschäftsmodelle in der digitalen Welt. Strategien, Prozesse und Praxiserfahrungen. Wiesbaden: Springer Gabler 2019. ISBN: 978-3-65822-129-4.

BECKER & GIESELMANN 2018

Becker, F.; Gieselmann, J.: Anreizsysteme. In: Corsten, H. et al. (Hrsg.): Handbuch Produktions- und Logistikmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken. Berlin: De Gruyter Oldenbourg 2018, S. 387-412. ISBN: 978-3-11047-130-4.

BEHRENS & KIRSPERL 2010

Behrens, C.-U.; Kirspel, M.: Grundlagen der Volkswirtschaftslehre. Einführung. 4. Aufl. München: Oldenbourg 2010. ISBN: 978-3-48659-736-3.

BENSEL ET AL. 2008

Bensel, P.; Fürstenberg, F.; Vogeler, S.: Supply Chain Event Management. In: Straube, F. (Hrsg.): Digitale Schriftenreihe Logistik der Technischen Universität Berlin. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin 2008.

BERGER 2009

Berger, S.: Kooperative Tourenplanung - Eine quantitative Analyse. Diss. Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg (2009). Halle a. d. Saale 2009.

BERGER ET AL. 2019

Berger, C.; Zipfel, A.; Braunreuther, S.; Reinhart, G.: Approach for an event-driven production control for cyber-physical production systems. *Procedia CIRP* 79 (2019) 10, S. 349-354.

BESENFELDER ET AL. 2017

Besenfelder, C.; Brüggelolte, M.; Austerjost, M.; Kämmerling, N.; Pötting, M.; Schwede, C.; Schellert, M.: Paradigmenwechsel der Planung und Steuerung von Wertschöpfungsnetzen. Dortmund 2017.

BIAN ET AL. 2016

Bian, W.; Shang, J.; Zhang, J.: Two-way information sharing under supply chain competition. *International Journal of Production Economics* 178 (2016) 1, S. 82-94.



BICHLER ET AL. 2013

Bichler, K.; Riedel, G.; Schöppach, F.: Kompakt Edition: Lagerwirtschaft. Grundlagen, Technologien und Verfahren. 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2013. ISBN: 978-3-65801-612-8.

BITKOM 2013

BITKOM: Management von Big-Data-Projekten. Berlin 2013.

BLESSING & CHAKRABARTI 2009

Blessing, L.; Chakrabarti, A.: DRM, a Design Research Methodology. London: Springer 2009. ISBN: 978-1-84882-586-4.

BODENDORF 2006

Bodendorf, F.: Daten- und Wissensmanagement. 2. Aufl. Berlin: Springer 2006. ISBN: 978-3-54028-682-0.

BONABEAU 2002

Bonabeau, E.: Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 99 (2002) 3, S. 7280-7287.

BOSSEL 2004

Bossel, H.: Systeme, Dynamik, Simulation. Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme. Norderstedt: Books on Demand 2004. ISBN: 978-3-83340-984-4.

BREITHAUPT 2001

Breithaupt, J.-W.: Rückstandsorientierte Produktionsregelung von Fertigungsbereichen. Grundlagen und Anwendung. Diss. Univ. Hannover (2001). Düsseldorf: VDI-Verlag 2001. ISBN: 3-18357-102-1. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 2, Fertigungstechnik 571).

BRETZKE 2002

Bretzke, W.-R.: SCEM - Entwicklungsperspektive für Logistikdienstleister. Supply Chain Management 2 (2002) 3, S. 27-31.

BRETZKE 2020

Bretzke, W.-R.: Logistische Netzwerke. 4. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2020. ISBN: 978-3-66259-756-9.

BRUN ET AL. 2006

Brun, A.; Caridi, M.; Fahmy Salama, K.; Ravelli, I.: Value and risk assessment of supply chain management improvement projects. International Journal of Production Economics 99 (2006) 1-2, S. 186-201.

BUNGARTZ ET AL. 2013

Bungartz, H.-J.; Zimmer, S.; Buchholz, M.; Pflüger, D.: Modellbildung und Simulation. Eine anwendungsorientierte Einführung. Berlin: Springer 2013.  
ISBN: 978-3-64237-655-9.

BUSCHER 2018

Buscher, U.: Aufgaben und Ziele des Produktions- und Logistikmanagements. In: Corsten, H. et al. (Hrsg.): Handbuch Produktions- und Logistikmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken. Berlin: De Gruyter Oldenbourg 2018, S. 13-30.  
ISBN: 978-3-11047-130-4.

CACHON & FISHER 2000

Cachon, G.; Fisher, M.: Supply Chain Inventory Management and the Value of Shared Information. *Management Science* 46 (2000) 8, S. 1032-1048.

CACHON & NETESSINE 2006

Cachon, G.; Netessine, S.: Game Theory in Supply Chain Analysis. In: Johnson, M. P. (Hrsg.): Models, methods, and applications for innovative decision making. Presented at the INFORMS annual meeting. Hanover: INFORMS 2006, S. 200-233. ISBN: 978-1-87764-020-9.

CARIDI ET AL. 2010

Caridi, M.; Crippa, L.; Perego, A.; Sianesi, A.; Tumino, A.: Measuring visibility to improve supply chain performance: a quantitative approach. *Benchmarking: An International Journal* 17 (2010) 4, S. 593-615.

CARIDI ET AL. 2014

Caridi, M.; Moretto, A.; Perego, A.; Tumino, A.: The benefits of supply chain visibility: A value assessment model. *International Journal of Production Economics* 151 (2014) 8, S. 1-19.

CAVUSOGLU ET AL. 2012

Cavusoglu, H.; Cavusoglu, H.; Raghunathan, S.: Value of and Interaction between Production Postponement and Information Sharing Strategies for Supply Chain Firms. *Production and Operations Management* 21 (2012) 3, S. 470-488.

CHEN 1976

Chen, P.: The entity-relationship model - toward a unified view of data. *ACM Transactions on Database Systems* 1 (1976) 1, S. 9-36.

CHENG ET AL. 2019

Cheng, Y.; Farooq, S.; Johansen, J.; O'Brien, C.: The management of international manufacturing networks: a missing link towards total management of global networks. *Production Planning & Control* 30 (2019) 2-3, S. 91-95.

CHRISTOPHER 2016

Christopher, M.: *Logistics and Supply Chain Management*. 5. Aufl. Harlow: Pearson Education 2016. ISBN: 978-1-29208-379-7.

CORSTEN 2001

Corsten, H. (Hrsg.): *Unternehmensnetzwerke. Formen unternehmungsübergreifender Zusammenarbeit*. 1. Aufl. München: De Gruyter Oldenbourg 2001. ISBN: 3-48625-733-1. (Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre).

CORSTEN ET AL. 2018

Corsten, H.; Gössinger, R.; Spengler, T. (Hrsg.): *Handbuch Produktions- und Logistikmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken*. Berlin: De Gruyter Oldenbourg 2018. ISBN: 978-3-11047-130-4.

CORSTEN & GÖSSINGER 2016

Corsten, H.; Gössinger, R.: *Produktionswirtschaft. Einführung in das industrielle Produktionsmanagement*. 14. Aufl. Berlin: De Gruyter Oldenbourg 2016. ISBN: 978-3-11045-277-8. (Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre).

CUI ET AL. 2015

Cui, R.; Allon, G.; Bassamboo, A.; van Mieghem, J.: Information Sharing in Supply Chains: An Empirical and Theoretical Valuation. *Management Science* 61 (2015) 11, S. 2803-2824.

CZUCHRA 2010

Czuchra, W.: *UML in logistischen Prozessen. Graphische Sprache zur Modellierung der Systeme*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner 2010. ISBN: 978-3-83480-796-0.

DANGELMAIER 2003

Dangelmaier, W.: *Produktion und Information. System und Modell*. Berlin: Springer 2003. ISBN: 978-3-64262-448-3. (VDI-Buch).

DANGELMAIER 2009

Dangelmaier, W.: *Theorie der Produktionsplanung und -steuerung. Im Sommer keine Kirschpralinen?* Berlin: Springer 2009. ISBN: 978-3-64200-632-6. (VDI-Buch).

DECKERT & KLEIN 2010

Deckert, A.; Klein, R.: Agentenbasierte Simulation zur Analyse und Lösung betriebswirtschaftlicher Entscheidungsprobleme. *Journal für Betriebswirtschaft* 60 (2010) 2, S. 89-125.

DEEPU & RAVI 2021

Deepu, T.; Ravi, V.: Supply chain digitalization: An integrated MCDM approach for inter-organizational information systems selection in an electronic supply chain. *International Journal of Information Management Data Insights* 1 (2021) 2, S. 100038.

DELBUFALO 2018

Delbufalo, E.: *Agency Theory and Sustainability in the Global Supply Chain*. Cham: Springer International Publishing 2018. ISBN: 978-3-31972-792-9.

DICHTL & ISSING 1987

Dichtl, E.; Issing, O. (Hrsg.): *Vahlens großes Wirtschaftslexikon*. München: Beck 1987. ISBN: 978-3-80061-142-3.

DIN 66001

DIN 66001, 1983-12: *Informationsverarbeitung. Sinnbilder und ihre Anwendung*. Berlin: Beuth 1983.

DOBLER ET AL. 2020

Dobler, R.; Schopf, S.; Reinhart, G.: Identifikation Produktionstechnischer Defizite. *ZWF (Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb)* 115 (2020) 7-8, S. 480-483.

DOBLER ET AL. 2023

Dobler, R.; Frech, N.; Reinhart, G.: Frühaufklärung produktionskritischer Diskontinuitäten. *ZWF (Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb)* 118 (2023) 1-2, S. 49-54.

EBERT 2019

Ebert, C.: *Systematisches Requirements Engineering. Anforderungen ermitteln, dokumentieren, analysieren und verwalten*. 6. Aufl. Heidelberg: dpunkt 2019. ISBN: 978-3-86490-562-9.

EICKELPASCH 2015

Eickelpasch, A.: Outsourcing und Offshoring in der deutschen Industrie. *Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung* 84 (2015) 1, S. 55-77.

ELLRAM & COOPER 1990

Ellram, L.; Cooper, M.: Supply Chain Management, Partnerships, and the Shipper - Third Party Relationship. *The International Journal of Logistics Management* 1 (1990) 2, S. 1-10.

ENGELHARDT-NOWITZKI ET AL. 2010

Engelhardt-Nowitzki, C.; Nowitzki, O.; Zsifkovits, H. (Hrsg.): *Supply Chain Network Management. Gestaltungskonzepte und Stand der praktischen Anwendung*. Wiesbaden: Gabler 2010. ISBN: 978-3-83492-434-6.

ERLEI ET AL. 2016

Erlei, M.; Leschke, M.; Sauerland, D.: *Institutionenökonomik*. 1. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2016. ISBN: 978-3-79103-526-0.

EU 2022

Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union: *Europäische Daten-Governance. Verordnung (EU) 2022/868*. 2022.

FANDEL ET AL. 2011

Fandel, G.; Fistek, A.; Stütz, S.: *Produktionsmanagement*. 2. Aufl. Berlin: Springer 2011. ISBN: 978-3-64214-591-9. (Springer-Lehrbuch).

FELDMANN & REINHART 2000

Feldmann, K.; Reinhart, G. (Hrsg.): *Simulationsbasierte Planungssysteme für Organisation und Produktion. Modellaufbau, Simulationsexperimente, Einsatzbeispiele*. Berlin: Springer 2000. ISBN: 978-3-66242-588-6.

FISCHÄDER 2007

Fischäder, H.: *Störungsmanagement in netzwerkförmigen Produktionssystemen*. 1. Aufl. Wiesbaden: DUV 2007. ISBN: 978-3-83500-539-6.

FLEISCHMANN ET AL. 2018

Fleischmann, A.; Oppl, S.; Schmidt, W.; Stary, C. (Hrsg.): *Ganzheitliche Digitalisierung von Prozessen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2018. ISBN: 978-3-65822-647-3.

FLEISCHMANN ET AL. 2018

Fleischmann, A.; Oppl, S.; Schmidt, W.; Stary, C.: *Modellierungssprachen*. In: Fleischmann, A. et al. (Hrsg.): *Ganzheitliche Digitalisierung von Prozessen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2018, S. 71-128. ISBN: 978-3-65822-647-3.

FRANK & VAN LAAK 2003

Frank, U.; van Laak, B.: Anforderungen an Sprachen zur Modellierung von Geschäftsprozessen. Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik (2003) 34.

FRIEDLI ET AL. 2019

Friedli, T.; Schuh, G.; Lanza, G.; Remling, D.; Gützlaff, A.; Stamer, F.: Next Level Production Networks. ZWF (Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb) 114 (2019) 3, S. 101-104.

GASSMANN ET AL. 2013

Gassmann, O.; Frankenberger, K.; Csik, M.: Geschäftsmodelle entwickeln. 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator. München: Hanser 2013. ISBN: 978-3-44643-567-4.

GAVIRNENI ET AL. 1999

Gavirneni, S.; Kapuscinski, R.; Tayur, S.: Value of Information in Capacitated Supply Chains. Management Science 45 (1999) 1, S. 16-24.

GENC ET AL. 2014

Genc, E.; Duffie, N.; Reinhart, G.: Event-based Supply Chain Early Warning System for an Adaptive Production Control. Procedia CIRP 19 (2014), S. 39-44.

GENC 2015

Genc, E.: Frühwarnsystem für ein adaptives Störungsmanagement. Diss. Techn. Univ. München (2015). München: Utz 2015. ISBN: 978-3-83164-525-1. (Forschungsberichte iw 308).

GENSCHMER & KREY 2010

Genschmer, U.; Krey, A.: Performance Measurement und Anreizsysteme als Elemente des strategischen Supply Chain Managements. In: Engelhardt-Nowitzki, C. et al. (Hrsg.): Supply Chain Network Management. Gestaltungskonzepte und Stand der praktischen Anwendung. Wiesbaden: Gabler 2010, S. 33-48. ISBN: 978-3-83492-434-6.

GHESQUIERES ET AL. 2017

Ghesquieres, J.; Kotzen, J.; Nolan, T.; Rodt, M.; Roos, A.; Tucker, J.: The Art of Performance Management. New York 2017.

GLADEN 2014

Gladen, W.: Performance Measurement. Controlling mit Kennzahlen. 6. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler 2014. ISBN: 978-3-65805-137-2.

GMA 2016

VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA): Digitale Chancen und Bedrohungen – Geschäftsmodelle für Industrie 4.0. Statusreport. Düsseldorf 2016.

GÖBEL 2002

Göbel, E.: Neue Institutionenökonomik. Konzeption und betriebswirtschaftliche Anwendungen. Stuttgart: Lucius & Lucius 2002. ISBN: 978-3-82820-174-3.

GÖPFERT 2013

Göpfert, I.: Logistik. Führungskonzeption und Management von Supply Chains. 3. Aufl. München: Vahlen 2013. ISBN: 978-3-80063-874-1.

GOTTMANN 2019

Gottmann, J.: Produktionscontrolling. Wertströme und Kosten optimieren. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2019. ISBN: 978-3-65822-538-4.

GRABOT ET AL. 2014

Grabot, B.; Vallespir, B.; Gomes, S.; Bouras, A.; Kiritsis, D.; Schenk, M.; Stich, V. (Hrsg.): Advances in Production Management Systems. Innovative and Knowledge-Based Production Management in a Global-Local World. Berlin: Springer 2014. ISBN: 978-3-66244-736-9.

GREINACHER 2017

Greinacher, S.: Simulationsgestützte Mehrzieloptimierung schlanker und ressourceneffizienter Produktionssysteme. Diss. Karlsruher Institut für Technologie (2017). Karlsruhe: Shaker 2017. ISBN: 978-3-84405-316-6. (Forschungsberichte aus dem wbk 199).

GREWE 2012

Grewe, A.: Implementierung neuer Anreizsysteme. Grundlagen, Konzept und Gestaltungsempfehlungen. 1. Aufl. Augsburg: Hampp 2012. ISBN: 978-3-86618-690-3.

GÜNTHER & TEMPELMEIER 2016

Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.: Produktion und Logistik. Supply Chain und Operations Management. 12. Aufl. Norderstedt: BOD-Books on Demand 2016. ISBN: 978-3-74120-962-8.

GUTENBERG 1951

Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Erster Band: Die Produktion. Berlin: Springer 1951. ISBN: 978-3-66221-966-9.

GUTENBERG 1971

Gutenberg, E.: Die Produktion. 24. Aufl. Berlin: Springer 1971. ISBN: 3-54005-694-7. (Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre 1).

HACKSTEIN 1989

Hackstein, R.: Produktionsplanung und -steuerung (PPS). Ein Handbuch für die Betriebspraxis. 2. Aufl. Düsseldorf: VDI 1989. ISBN: 3-18400-924-6.

HE ET AL. 2002

He, Q.-M.; Jewkes, E.; Buzacott, J.: The value of information used in inventory control of a make-to-order inventory-production system. IIE Transactions 34 (2002) 11, S. 999-1013.

HECKMAN ET AL. 2015

Heckman, J.; Peters, E.; Kurup, N.; Boehmer, E.; Davaloo, M.: A Pricing Model for Data Markets. iConference 2015 Proceedings (2015).

HEIL 1995

Heil, M.: Entstörung betrieblicher Abläufe. Wiesbaden: DUV 1995. ISBN: 978-3-82446-100-4.

HEINICKE 2014

Heinicke, M.: Implementation of Resilient Production Systems by Production Control. Procedia CIRP 19 (2014) 18, S. 105-110.

HELLINGRATH ET AL. 2008

Hellingrath, B.; Hegmanns, T.; Maaß, J.-C.; Toth, M.: Prozesse in Logistiknetzwerken - Supply Chain Management. In: Arnold, D. et al. (Hrsg.): Handbuch Logistik. 3. Aufl. Berlin: Springer 2008, S. 459-486. ISBN: 978-3-54072-928-0. (VDI-Buch).

HELLMICH 2003

Hellmich, K.: Kundenorientierte Auftragsabwicklung. Engpassorientierte Planung und Steuerung des Ressourceneinsatzes. Wiesbaden: DUV 2003. ISBN: 978-3-82447-815-6. (Beiträge zur Produktionswirtschaft).

HEUSLER ET AL. 2006

Heusler, K.; Stölzle, W.; Bachmann, H.: Supply Chain Event Management. Grundlagen, Funktionen und potenzielle Akteure. WiSt - Wirtschaftswissenschaftliches Studium 35 (2006) 1, S. 19-24.



HILL ET AL. 2018

Hill, C.; Zhang, G.; Miller, K.: Collaborative planning, forecasting, and replenishment & firm performance: An empirical evaluation. *International Journal of Production Economics* 196 (2018), S. 12-23.

HUANG ET AL. 2003

Huang, G.; Lau, J.; Mak, K.: The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: A review of the literature. *International Journal of Production Research* 41 (2003) 7, S. 1483-1517.

HUANG & IRAVANI 2005

Huang, B.; Iravani, S.: Production Control Policies in Supply Chains with Selective-Information Sharing. *Operations Research* 53 (2005) 4, S. 662-674.

HWARNG ET AL. 2005

Hwarng, H.; Chong, C.; Xie, N.; Burgess, T.: Modelling a complex supply chain: understanding the effect of simplified assumptions. *International Journal of Production Research* 43 (2005) 13, S. 2829-2872.

IJIOUI ET AL. 2007

Ijioui, R.; Emmerich, H.; Ceyp, M. (Hrsg.): *Supply Chain Event Management. Konzepte, Prozesse, Erfolgsfaktoren und Praxisbeispiele*. 1. Aufl. Heidelberg: Physica 2007. ISBN: 978-3-79081-739-3.

IJIOUI ET AL. 2007

Ijioui, R.; Emmerich, H.; Ceyp, M.; Diercks, W.: Supply Chain Event Management als strategisches Unternehmensführungskonzept. In: Ijioui, R. et al. (Hrsg.): *Supply Chain Event Management. Konzepte, Prozesse, Erfolgsfaktoren und Praxisbeispiele*. 1. Aufl. Heidelberg: Physica 2007, S. 3-13. ISBN: 978-3-79081-739-3.

ISO 15531-1

ISO 15531, Teil 1: Industrial automation systems and integration – Industrial manufacturing management data. General overview 2004.

IVANOV 2020

Ivanov, D.: Predicting the impacts of epidemic outbreaks on global supply chains: A simulation-based analysis on the coronavirus outbreak (COVID-19/SARS-CoV-2) case. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 136 (2020), S. 1-14.

JENSEN & MECKLING 1976

Jensen, M.; Meckling, W.: Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics* 3 (1976) 4, S. 305-360.

JOHNSON 2006

Johnson, M. (Hrsg.): Models, methods, and applications for innovative decision making. Presented at the INFORMS annual meeting. Hanover: INFORMS 2006. ISBN: 978-1-87764-020-9.

JOHNSTON & LAWRENCE 1988

Johnston, R.; Lawrence, P.: Beyond Vertical Integration - the Rise of the Value-Adding Partnership. *Harvard Business Review* 66 (1988) 4, S. 93-103.

JOST 2000

Jost, P.-J.: Organisation und Motivation. Wiesbaden: Gabler 2000. ISBN: 978-3-40912-203-0.

KAGERMANN ET AL. 2013

Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbi, J.: Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Frankfurt am Main 2013.

KAGERMANN 2015

Kagermann, H.: Change Through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0. In: Albach, H. et al. (Hrsg.): Management of Permanent Change. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden 2015, S. 23-45. ISBN: 978-3-65805-013-9.

KAPLAN & NORTON 1992

Kaplan, S.; Norton, D.: The Balanced Scorecard - Measures that Drive Performance. *Harvard Business Review* 70 (1992) Jan-Feb, S. 71-79.

KEISLER 2014

Keisler, J.: Value of information: facilitating targeted information acquisition in decision processes. *Environment Systems and Decisions* 34 (2014) 1, S. 1-2.

KEMBRO & NÄSLUND 2014

Kembro, J.; Näslund, D.: Information sharing in supply chains, myth or reality? A critical analysis of empirical literature. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 44 (2014) 3, S. 179-200.

## KERN 1996

Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1996. ISBN: 978-3-79108-044-4. (Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre 7).

## KEUPER &amp; NEUMANN 2009

Keuper, F.; Neumann, F. (Hrsg.): Wissens- und Informationsmanagement. Wiesbaden: Gabler 2009. ISBN: 978-3-83490-937-4.

## KIESER ET AL. 1995

Kieser, A.; Reber, G.; Wunderer, R. (Hrsg.): Handwörterbuch der Führung. 2. Aufl. Stuttgart: Poeschel 1995. ISBN: 978-3-79108-043-7.

## KLETTI 2015

Kletti, J. (Hrsg.): MES - Manufacturing Execution System. Moderne Informationstechnologie unterstützt die Wertschöpfung. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2015. ISBN: 978-3-66246-901-9.

## KLINGER &amp; WENZEL 2000

Klinger, A.; Wenzel, S.: Referenzmodelle - Begriffsbestimmung und Klassifikation. In: Wenzel, S. (Hrsg.): Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik. Ghent: Society for Computer Simulation International 2000, S. 13-29. ISBN: 1-56555-182-6. (Frontiers in simulation 5).

## KLÖTZER &amp; PFLAUM 2019

Klötzer, C.; Pflaum, A.: Cyber-Physical Systems (CPS) als technologische Basis einer digitalen Supply Chain der Zukunft. In: Becker, W. et al. (Hrsg.): Geschäftsmodelle in der digitalen Welt. Strategien, Prozesse und Praxiserfahrungen. Wiesbaden: Springer Gabler 2019, S. 381-396. ISBN: 978-3-65822-129-4.

## KNICKLE 2001

Knickle, K.: Supply Chain Event Management - The Next Best Thing to Supply Chain Perfection. AMR Research Paper (2001).

## KOMPA ET AL. 2012

Kompa, S.; Hering, N.; Meier, C.: Unternehmensübergreifende Materialkreislauflführung in Produktionskooperationen. In: Schuh, G. et al. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung 2. Evolution der PPS. 4. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2012, S. 151-194. ISBN: 978-3-64225-426-0. (VDI-Buch).

KOPPE 2012

Koppe, R.: Eine Methodik zur strategischen Einflussbewertung von Methodenänderungen in Entwicklungsprozessen. Diss. Carl von Ossietzky Univ. Oldenburg (2012). Oldenburg 2012.

KOVTUN ET AL. 2019

Kovtun, V.; Giloni, A.; Hurvich, C.: The value of sharing disaggregated information in supply chains. *European Journal of Operational Research* 277 (2019) 2, S. 469-478.

KRCMAR 2015

Krcmar, H.: Informationsmanagement. 6. Aufl. Berlin: Springer 2015. ISBN: 978-3-66245-862-4.

KROTOVA ET AL. 2019

Krotova, A.; Rusche, C.; Spiekermann, M.: Die ökonomische Bewertung von Daten. Verfahren, Beispiele und Anwendungen. Köln: iW Medien 2019. ISBN: 978-3-60215-007-6. (IW-Analysen 129).

KUHN & HELLINGRATH 2002

Kuhn, A.; Hellingrath, B.: Supply-Chain-Management. Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette. Berlin: Springer 2002. ISBN: 3-54065-423-2.

KUHN & TUCKER 1953

Kuhn, H.; Tucker, A. (Hrsg.): Contributions to the Theory of Games. Boston: Princeton University Press 1953. ISBN: 978-0-69107-935-6. (Annals of Mathematics Studies 28).

KUHN & WIENDAHL 2008

Kuhn, A.; Wiendahl, H.-P.: Prozessorientierte Sichtweise in Produktion und Logistik. In: Arnold, D. et al. (Hrsg.): Handbuch Logistik. 3. Aufl. Berlin: Springer 2008, S. 215-254. ISBN: 978-3-54072-928-0. (VDI-Buch).

KULP 2002

Kulp, S.: The Effect of Information Precision and Information Reliability on Manufacturer-Retailer Relationships. *The Accounting Review* 77 (2002) 3, S. 653-677.

KÜPPER 1987

Küpper, H.-U.: Produktion. In: Dichtl, E. et al. (Hrsg.): Vahlens großes Wirtschaftslexikon. München: Beck 1987. ISBN: 978-3-80061-142-3.

## KURBEL 2016

Kurbel, K.: Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management in der Industrie. Von MRP bis Industrie 4.0. 8. Aufl. Berlin: de Gruyter 2016. ISBN: 978-3-11044-168-0. (De Gruyter Studium).

## LANEY 2018

Laney, D.: Infonomics. How to monetize, manage, and measure information as an asset for competitive advantage. 1. Aufl. New York: Bibliomotion 2018. ISBN: 978-1-13809-038-5.

## LANGE ET AL. 2018

Lange, J.; Stahl, F.; Vossen, G.: Datenmarktplätze in verschiedenen Forschungsdisziplinen. Eine Übersicht. Westfälische Wilhelms-Univ. Münster. Münster 2018. (Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik 138).

## LANZA ET AL. 2019

Lanza, G.; Ferdows, K.; Kara, S.; Mourtzis, D.; Schuh, G.; Váncza, J.; Wang, L.; Wiendahl, H.-P.: Global production networks: Design and operation. CIRP Annals 68 (2019) 2, S. 823-841.

## LAU ET AL. 2004

Lau, J.; Huang, G.; Mak, K.: Impact of information sharing on inventory replenishment in divergent supply chains. International Journal of Production Research 42 (2004) 5, S. 919-941.

## LAUX 2006

Laux, H.: Wertorientierte Unternehmenssteuerung und Kapitalmarkt. Fundierung finanzwirtschaftlicher Entscheidungskriterien und (Anreize für) deren Umsetzung. 2. Aufl. Dordrecht: Springer 2006. ISBN: 978-3-54026-126-1. (Heidelberger Lehrtexte Wirtschaftswissenschaften).

## LAW 2015

Law, A.: Simulation modeling and analysis. 5. Aufl. New York: McGraw-Hill Education 2015. ISBN: 978-0-07340-132-4. (McGraw-Hill series in industrial engineering and management science).

## LEE ET AL. 2000

Lee, H.; So, K.; Tang, C.: The Value of Information Sharing in a Two-Level Supply Chain. Management Science 46 (2000) 5, S. 626-643.

## LEE &amp; RIM 2016

Lee, Y.; Rim, S.-C.: Quantitative Model for Supply Chain Visibility: Process Capability Perspective. Mathematical Problems in Engineering (2016) 2, S. 1-11.

LEE & WHANG 1999

Lee, H.; Whang, S.: Decentralized Multi-Echelon Supply Chains: Incentives and Information. *Management Science* 45 (1999) 5, S. 633-640.

LEE & WHANG 2000

Lee, H.; Whang, S.: Information sharing in a supply chain. *International Journal of Manufacturing Technology and Management* 1 (2000) 1, S. 79-93.

LENG & PARLAR 2009

Leng, M.; Parlar, M.: Allocation of cost savings in a three-level supply chain with demand information sharing: A cooperative-game approach. *Operations Research* 57 (2009) 1, S. 200-213.

LI ET AL. 2005

Li, G.; Yan, H.; Wang, S.; Xia, Y.: Comparative analysis on value of information sharing in supply chains. *Supply Chain Management: An International Journal* 10 (2005) 1, S. 34-46.

LI ET AL. 2017

Li, H.; Pedrielli, G.; Lee, L.; Chew, E.: Enhancement of supply chain resilience through inter-echelon information sharing. *Flexible Services and Manufacturing Journal* 29 (2017) 2, S. 260-285.

LINDE 2009

Linde, F.: Ökonomische Besonderheiten von Informationsgütern. In: Keuper, F. et al. (Hrsg.): *Wissens- und Informationsmanagement*. Wiesbaden: Gabler 2009, S. 291-320. ISBN: 978-3-83490-937-4.

LITTLE 1961

Little, J.: A Proof for the Queuing Formula:  $L = \lambda W$ . *Operations Research* 9 (1961) 3, S. 383-387.

LIU ET AL. 2020

Liu, C.; Xiang, X.; Zheng, L.: Value of information sharing in a multiple producers-distributor supply chain. *Annals of Operations Research* 285 (2020) 1, S. 121-148.

LÖDDING 2008

Lödding, H.: Ein Modell der Fertigungssteuerung – Logistische Ziele systematisch erreichen. In: Nyhuis, P. (Hrsg.): *Beiträge zu einer Theorie der Logistik*. Berlin: Springer 2008, S. 219-234. ISBN: 978-3-54075-641-5.

LÖDDING 2016

Lödning, H.: Verfahren der Fertigungssteuerung. Berlin: Springer 2016.  
ISBN: 978-3-66248-458-6.

LÖDDING 2020

Lödning, H. (Hrsg.): PPS-Report 2019. Studienergebnisse. 1. Aufl. Garbsen:  
TEWISS 2020. ISBN: 978-3-95900-402-2.

LONG 2014

Long, Q.: An agent-based distributed computational experiment framework for  
virtual supply chain network development. *Expert Systems with Applications* 41  
(2014) 9, S. 4094-4112.

LOTFI ET AL. 2013

Lotfi, Z.; Mukhtar, M.; Sahran, S.; Zadeh, A.: Information Sharing in Supply  
Chain Management. *Procedia Technology* 11 (2013), S. 298-304.

LUMMUS ET AL. 2001

Lummus, R.; Krumwiede, D.; Vokurka, R.: The relationship of logistics to sup-  
ply chain management: developing a common industry definition. *Industrial  
Management & Data Systems* 101 (2001) 8, S. 426-432.

MACDONALD & CORSI 2013

Macdonald, J.; Corsi, T.: Supply Chain Disruption Management: Severe Events,  
Recovery, and Performance. *Journal of Business Logistics* 34 (2013) 4, S.  
270-288.

MANATSA & MCLAREN 2008

Manatsa, P.; McLaren, T.: Information Sharing in a Supply Chain: Using Agency  
Theory to Guide the Design of Incentives. *Supply Chain Forum: An International  
Journal* 9 (2008) 1, S. 18-26.

MAURER 2015

Maurer, S.: Frühaufklärung kritischer Situationen in Versorgungsprozessen.  
Diss. Techn. Univ. München (2015). München: Utz 2015. ISBN: 978-3-83164-  
554-1. (Forschungsberichte iwv 316).

MERTENS ET AL. 2012

Mertens, P.; Bodendorf, F.; König, W.; Picot, A.; Schumann, M.; Hess, T.:  
Grundzüge der Wirtschaftsinformatik. 11. Aufl. Berlin: Springer 2012.  
ISBN: 978-3-64230-515-3. (Springer-Lehrbuch).

MESSINA ET AL. 2020

Messina, D.; Barros, A.; Soares, A.; Matopoulos, A.: An information management approach for supply chain disruption recovery. *The International Journal of Logistics Management* 31 (2020) 3, S. 489-519.

MEYER 2007

Meyer, M.: *Logistisches Störungsmanagement in kundenverbrauchsorientierten Wertschöpfungsketten*. Diss. RWTH Aachen (2006). Aachen: Shaker 2007. ISBN: 978-3-83226-129-0. (Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung 84).

MEYR ET AL. 2015

Meyr, H.; Wagner, M.; Rohde, J.: Structure of Advanced Planning Systems. In: Stadler, H. et al. (Hrsg.): *Supply chain management and advanced planning. Concepts, models, software, and case studies*. 5. Aufl. Berlin: Springer 2015, S. 99-106. ISBN: 978-3-64255-308-0. (Springer Texts in Business and Economics).

MÖLLER ET AL. 2017

Möller, K.; Otto, B.; Zechmann, A.: Nutzungsbasierte Datenbewertung. *Controlling* 29 (2017) 5, S. 57-66.

MOODY & WALSH 1999

Moody, D.; Walsh, P.: Measuring the Value Of Information. *An Asset Valuation Approach*. Seventh European Conference on Information Systems (1999), S. 1-17.

MÜLLER 2019

Müller, D.: *Investitionsrechnung und Investitionscontrolling*. 2. Aufl. Berlin: Springer Gabler 2019. ISBN: 978-3-66257-608-3. (Springer-Lehrbuch).

MÜLLER 2020

Müller, D.: *Betriebswirtschaftslehre für Ingenieure*. 3. Aufl. Berlin: Springer 2020. ISBN: 978-3-66262-262-9.

MYERSON 1977

Myerson, R.: Graphs and Cooperation in Games. *Mathematics of Operations Research* 2 (1977) 3, S. 225-229.

MYERSON 1980

Myerson, R.: Conference structures and fair allocation rules. *International Journal of Game Theory* 9 (1980) 3, S. 169-182.



NARAYANAN & RAMAN 2004

Narayanan, V.; Raman, A.: Aligning incentives in supply chains. *Harvard Business Review* 82 (2004) 11, S. 94-102.

NIEHUES 2016

Niehues, M.: Adaptive Produktionssteuerung für Werkstattfertigungssysteme durch fertigungsbegleitende Reihenfolgebildung. Diss. Techn. Univ. München (2016). München: Utz 2016. ISBN: 978-3-83164-650-0. (Forschungsberichte iw 329).

NISSEN 2002

Nissen, V.: Supply Chain Event Management. *Wirtschaftsinformatik* 44 (2002) 5, S. 477-480.

NORTH 2011

North, K.: Wissensorientierte Unternehmensführung. Wertschöpfung durch Wissen. 5. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2011. ISBN: 978-3-83492-538-1.

NYHUIS 2008

Nyhuis, P. (Hrsg.): Beiträge zu einer Theorie der Logistik. Berlin: Springer 2008. ISBN: 978-3-54075-641-5.

NYHUIS 2008

Nyhuis, P.: Produktionskennlinien – Grundlagen und Anwendungsmöglichkeiten. In: Nyhuis, P. (Hrsg.): Beiträge zu einer Theorie der Logistik. Berlin: Springer 2008, S. 185-218. ISBN: 978-3-54075-641-5.

NYHUIS ET AL. 2016

Nyhuis, P.; Mayer, J.; Pielmeier, J.; Berger, C.; Engehausen, F.; Hempel, T.; Hünnekes, P. (Hrsg.): Aktuellen Herausforderungen der Produktionsplanung und -steuerung mittels Industrie 4.0 begegnen. Studienergebnisse. Garbsen: TEWISS 2016. ISBN: 978-3-95900-104-5.

NYHUIS ET AL. 2020

Nyhuis, P.; Herberger, D.; Hübner, M. (Hrsg.): Proceedings of the 1st Conference on Production Systems and Logistics (CPSL 2020): publish-Ing. 2020.

NYHUIS & WIENDAHL 2012

Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.: Logistische Kennlinien. Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen. 3. Aufl. Berlin: Springer 2012. ISBN: 978-3-54092-838-6. (VDI-Buch).

OJHA ET AL. 2019

Ojha, D.; Sahin, F.; Shockley, J.; Sridharan, S.: Is there a performance tradeoff in managing order fulfillment and the bullwhip effect in supply chains? The role of information sharing and information type. *International Journal of Production Economics* 208 (2019) 1, S. 529-543.

OSBORNE & RUBINSTEIN 1994

Osborne, M.; Rubinstein, A.: *A Course in Game Theory*. Cambridge: MIT Press 1994. ISBN: 978-0-26228-107-2.

OTTO 2003

Otto, A.: Supply Chain Event Management: Three Perspectives. *The International Journal of Logistics Management* 14 (2003) 2, S. 1-13.

OTTO ET AL. 2016

Otto, B.; Auer, S.; Cirullies, J.; Jürjens, J.; Menz, N.; Schon, J.; Wenzel, S.: *Industrial Data Space. Digitale Souveränität über Daten*. München 2016.

OTTO ET AL. 2019a

Otto, B.; Korte, T.; Azkan, C.; Spiekermann, M.; Lis, D.; Gelhaar, J.; Iggena, L.; Meisel, L.; Goecke, H.; Demary, V.; Engels, B.; Fritsch, M.; Krotova, A.; Rusche, C.; Scheufen, M.; Thiele, C.; Trautmann, B.; Fiedler, J.; Bresser, P.; Müller, N.; Lichtblau, K.; Schmitz, E.; Aliu, O.; Brefeld, J.: *Data Economy. Status Quo der deutschen Wirtschaft & Handlungsfelder in der Data Economy*. Dortmund 2019.

OTTO ET AL. 2019b

Otto, B.; Steinbuß, S.; Teuscher, A.; Lohmann, S.: *IDS Reference Architecture Model*. 3. Aufl. Berlin 2019.

OTTO & ÖSTERLE 2016

Otto, B.; Österle, H.: *Corporate Data Quality*. Berlin: Springer 2016. ISBN: 978-3-66246-805-0.

PAN ET AL. 2020

Pan, J.; Tamma, V.; d'Amato, C.; Janowicz, K.; Fu, B.; Polleres, A.; Seneviratne, O.; Kagal, L. (Hrsg.): *The Semantic Web – ISWC 2020*. Cham: Springer International 2020. ISBN: 978-3-03062-465-1.

PANAHIFAR ET AL. 2018

Panahifar, F.; Byrne, P.; Salam, M.; Heavey, C.: Supply chain collaboration and firm's performance. The critical role of information sharing and trust. *Journal of Enterprise Information Management* 31 (2018) 3, S. 358-379.

## PARSA ET AL. 2017

Parsa, P.; Rossetti, M.; Zhang, S.; Pohl, E.: Quantifying the benefits of continuous replenishment program for partner evaluation. *International Journal of Production Economics* 187 (2017) 8, S. 229-245.

## PAUSE 2017

Pause, J.: Bewertung der Wissensqualität von Kostenelementen für Kalkulationen am Beispiel der Automobilproduktion. Diss. Techn. Univ. München (2016). München 2017.

## PÉREZ-LÓPEZ ET AL. 2019

Pérez-López, R.; Olguín Tiznado, J.; Mojarro Magaña, M.; Camargo Wilson, C.; López Barreras, J.; García-Alcaraz, J.: Information Sharing with ICT in Production Systems and Operational Performance. *Sustainability* 11 (2019) 13, S. 3640.

## PETERS 2008

Peters, H.: *Game theory. A multi-leveled approach*. Berlin: Springer 2008. ISBN: 978-3-54069-290-4.

## PETERSEN 1989

Petersen, T.: *Optimale Anreizsysteme. Betriebswirtschaftliche Implikationen der Prinzipal-Agenten-Theorie*. Wiesbaden: Gabler 1989. ISBN: 978-3-40913-406-4. (Beiträge zur betriebswirtschaftlichen Forschung 63).

## PEUKERT 2021

Peukert, S.: *Robustheitssteigerung in Produktionsnetzwerken mithilfe eines integrierten Störungsmanagements*. Diss. Karlsruher Institut für Technologie (2021). Karlsruhe: Shaker 2021. ISBN: 978-3-84408-162-6. (Forschungsberichte aus dem wbk 245).

## PIDUN &amp; FELDEN 2012

Pidun, T.; Felden, C.: Two cases on how to improve the visibility of business process performance. *Proceedings of the 45th Hawaii International Conference on System Sciences* (2012), S. 4396-4405.

## PIELMEIER ET AL. 2019

Pielmeier, J.; Theumer, P.; Schutte, C.; Snyman, S.; Bessdo, O.; Braunreuther, S.; Reinhart, G.: Method for event-based production control. *Procedia CIRP* 79 (2019), S. 373-378.

PIELMEIER 2020

Pielmeier, J.: System zur ereignisorientierten Produktionssteuerung. Diss. Techn. Univ. München (2019). München: Utz 2020. ISBN: 978-3-83164-856-6. (Forschungsberichte iw 356).

PITTMAN & ATWATER 2020

Pittman, P.; Atwater, J. (Hrsg.): APICS Dictionary. The essential supply chain reference. 16. Aufl. Chicago: APICS 2020. ISBN: 978-0-56490-6.

PONTE ET AL. 2016

Ponte, B.; Fernández, I.; Rosillo, R.; Parreño, J.; García, N.: Supply chain collaboration: A game-theoretic approach to profit allocation. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)* 9 (2016) 5, S. 1020-1034.

POPPE 2017

Poppe, R.: Kooperationsplattformen für das Supply Chain Management. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2017. ISBN: 978-3-65816-368-6.

REICHMANN & LACHNIT 1976

Reichmann, T.; Lachnit, L.: Planung, Steuerung und Kontrolle mit Hilfe von Kennzahlen. *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung ZfbF* 28 (1976) 10/11, S. 705-723.

REINHART 2000

Reinhart, G.: Simulation – ein Experiment am digitalen Modell. In: Feldmann, K. et al. (Hrsg.): *Simulationsbasierte Planungssysteme für Organisation und Produktion. Modellaufbau, Simulationsexperimente, Einsatzbeispiele*. Berlin: Springer 2000, S. 13-30. ISBN: 978-3-66242-588-6.

REINHART 2017

Reinhart, G. (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik*. München: Hanser 2017. ISBN: 978-3-44644-642-7.

REINHART & GYGER 2008

Reinhart, G.; Gyger, T.: Identification of implicit strategies in production control. *2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (2008), S. 302-306.

REINHART & ZÜHLKE 2017

Reinhart, G.; Zühlke, D.: Von CIM zu Industrie 4.0. In: Reinhart, G. (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik*. München: Hanser 2017, S. XXXI-XL. ISBN: 978-3-44644-642-7.

RHEINBERG 1995

Rheinberg, F.: Motivation. Stuttgart: Kohlhammer 1995. ISBN: 978-3-17010-683-3. (Grundriß der Psychologie 6).

RÖSCH 2021

Rösch, M.: System zur energieorientierten und kostenbasierten Produktionssteuerung mittels Reinforcement Learning. Diss. Techn. Univ. München (2021). München 2021.

ROTH 1988

Roth, A. (Hrsg.): The Shapley value. Essays in honor of Lloyd S. Shapley. Cambridge: University Press 1988. ISBN: 978-0-52136-177-4.

ROTHHAAR 2001

Rothhaar, C.: Führung und Motivation im Kundenbeziehungsmanagement. Wiesbaden: DUV 2001. ISBN: 978-3-82447-435-6.

ROTHKRANTZ ET AL. 2012

Rothkrantz, L.; Ristvej, J.; Franco, Z. (Hrsg.): Proceedings of the 9th International ISCRAM Conference. Vancouver 2012.

RUGGLES & RUGGLES 1965

Ruggles, R.; Ruggles, N.: National Income Accounts and Income Analysis. 2. Aufl. New York: McGraw-Hill 1965.

RUTHERFORD 1977

Rutherford, B.: Value Added as a Focus of Attention for Financial Reporting: Some Conceptual Problems. Accounting and Business Research 7 (1977) 27, S. 215-220.

SANDT 2004

Sandt, J.: Management mit Kennzahlen und Kennzahlensystemen. Bestandsaufnahme, Determinanten und Erfolgsauswirkungen. Diss. Wiss. Hochschule für Unternehmensführung Vallendar (2003). Wiesbaden: DUV 2004. ISBN: 978-3-82448-155-2. (Schriften des Center for Controlling & Management (CCM) 14).

SCHÄFERS & SCHMIDT 2015

Schäfers, P.; Schmidt, M.: Entwicklung eines integrativen Logistikmodells für die unternehmensinterne Lieferkette. Verknüpfung der Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung mit logistischen Stell-, Regel- und Zielgrößen. ZWF (Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb) 110 (2015) 12, S. 775-778.

SCHENK & STICH 2014

Schenk, M.; Stich, V.: Managing Supply Chain Disturbances - Review and Synthesis of Existing Contributions. In: Grabot, B. et al. (Hrsg.): Advances in Production Management Systems. Innovative and Knowledge-Based Production Management in a Global-Local World. Berlin: Springer 2014. ISBN: 978-3-66244-736-9.

SCHMIDT ET AL. 2014

Schmidt, C.; Meier, C.; Kompa, S.: Informationssysteme für das Produktionsmanagement. In: Schuh, G. et al. (Hrsg.): Produktionsmanagement. Handbuch Produktion und Management 5. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2014, S. 281-378. ISBN: 978-3-64254-287-9. (VDI-Buch).

SCHMIDT ET AL. 2019

Schmidt, M.; Maier, J.; Härtel, L.: Data based root cause analysis for improving logistic key performance indicators of a company's internal supply chain. *Procedia CIRP* 86 (2019) 2, S. 276-281.

SCHOLTEN & SCHILDER 2015

Scholten, K.; Schilder, S.: The role of collaboration in supply chain resilience. *Supply Chain Management: An International Journal* 20 (2015) 4, S. 471-484.

SCHONERT 2008

Schonert, T.: Interorganisationale Wertschöpfungsnetzwerke in der deutschen Automobilindustrie. Die Ausgestaltung von Geschäftsbeziehungen am Beispiel internationaler Standortentscheidungen. Diss. Leuphana Univ. Lüneburg (2007). Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler 2008. ISBN: 978-3-83490-960-2. (Entscheidungs- und Organisationstheorie).

SCHUH ET AL. 2012a

Schuh, G.; Brosze, T.; Brandenburg, U.: Aachener PPS-Modell. In: Schuh, G. et al. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung 1. Grundlagen der PPS. 4. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2012, S. 11-28. ISBN: 978-3-64225-422-2.

SCHUH ET AL. 2012b

Schuh, G.; Brandenburg, U.; Cuber, S.: Aufgaben. In: Schuh, G. et al. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung 1. Grundlagen der PPS. 4. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2012, S. 29-81. ISBN: 978-3-64225-422-2.

SCHUH ET AL. 2012c

Schuh, G.; Stich, V.; Runge, S.: Einführung. In: Schuh, G. et al. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung 1. Grundlagen der PPS. 4. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2012, S. 1-7. ISBN: 978-3-64225-422-2.

SCHUH ET AL. 2014a

Schuh, G.; Schmidt, C.; Schürmeyer, M.: Eigenfertigungsplanung und -steuerung. In: Schuh, G. et al. (Hrsg.): Produktionsmanagement. Handbuch Produktion und Management 5. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2014, S. 197-234. ISBN: 978-3-64254-287-9. (VDI-Buch).

SCHUH ET AL. 2014b

Schuh, G.; Schmidt, C.; Hering, N.: Fremdbezugsplanung und -steuerung. In: Schuh, G. et al. (Hrsg.): Produktionsmanagement. Handbuch Produktion und Management 5. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2014, S. 235-280. ISBN: 978-3-64254-287-9. (VDI-Buch).

SCHUH ET AL. 2014c

Schuh, G.; Schmidt, C.; Hering, N.: Produktionsbedarfsplanung. In: Schuh, G. et al. (Hrsg.): Produktionsmanagement. Handbuch Produktion und Management 5. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2014, S. 151-196. ISBN: 978-3-64254-287-9. (VDI-Buch).

SCHUH ET AL. 2014d

Schuh, G.; Schmidt, C.; Bauhoff, F.: Produktionsprogrammplanung. In: Schuh, G. et al. (Hrsg.): Produktionsmanagement. Handbuch Produktion und Management 5. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2014, S. 63-108. ISBN: 978-3-64254-287-9. (VDI-Buch).

SCHUH ET AL. 2014e

Schuh, G.; Potente, T.; Thomas, C.; Hempel, T.: Short-term Cyber-physical Production Management. Procedia CIRP 25 (2014), S. 154-160.

SCHUH ET AL. 2015

Schuh, G.; Schenk, M.; Servos, N.: Design of a Simulation Model for the Assessment of a Real-time Capable Disturbance Management in Manufacturing Supply Chains. Procedia Manufacturing 3 (2015) 5, S. 425-432.

SCHUH 2015

Schuh, G. (Hrsg.): Ergebnisbericht des BMBF-Verbundprojektes ProSense. Hochauflösende Produktionssteuerung auf Basis kybernetischer Unterstützungssysteme und intelligenter Sensorik. 1. Aufl. Aachen: Apprimus 2015. ISBN: 978-3-86359-346-9.

SCHUH ET AL. 2021

Schuh, G.; Kelzenberg, C.; Boshof, J.; Graberg, T.; Ochel, T.: Strategien der Datenmonetarisierung in produzierenden Unternehmen. In: Trauth, D. et al. (Hrsg.): Monetarisierung von technischen Daten. Innovationen aus Industrie und Forschung. 1. Aufl. Berlin: Springer 2021, S. 143-165. ISBN: 978-3-66262-914-7.

SCHUH & RIESENER 2018

Schuh, G.; Riesener, M.: Produktkomplexität managen. Strategien - Methoden - Tools. 3. Aufl. München: Hanser 2018. ISBN: 978-3-44645-225-1.

SCHUH & SCHMIDT 2014

Schuh, G.; Schmidt, C.: Grundlagen des Produktionsmanagements. In: Schuh, G. et al. (Hrsg.): Produktionsmanagement. Handbuch Produktion und Management 5. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2014, S. 1-62. ISBN: 978-3-64254-287-9. (VDI-Buch).

SCHUH & SCHMIDT 2014

Schuh, G.; Schmidt, C. (Hrsg.): Produktionsmanagement. Handbuch Produktion und Management 5. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2014. ISBN: 978-3-64254-287-9. (VDI-Buch).

SCHUH & STICH 2012

Schuh, G.; Stich, V. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung 1. Grundlagen der PPS. 4. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2012. ISBN: 978-3-64225-422-2.

SCHUH & STICH 2012

Schuh, G.; Stich, V. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung 2. Evolution der PPS. 4. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2012. ISBN: 978-3-64225-426-0. (VDI-Buch).

SCHUH & STICH 2013

Schuh, G.; Stich, V. (Hrsg.): Produktion am Standort Deutschland. Ergebnisse der Untersuchung 2013. Forschungsinstitut für Rationalisierung e.V. an der RWTH Aachen. Aachen 2013. ISBN: 978-3-94302-415-9.

SCHULZE 2009

Schulze, U.: Informationstechnologeeinsatz im Supply Chain Management. Eine konzeptionelle und empirische Untersuchung zu Nutzenwirkungen und Nutzenmessung. Diss. WHU - Otto Beisheim School of Management (2009). Wiesbaden: Gabler / GWV Fachverlage 2009. ISBN: 978-3-83491-529-0. (Schriften des Kühne-Zentrums für Logistikmanagement Band 10).



SCHWARTZ & VOß 2004

Schwartz, F.; Voß, S.: Störungsmanagement in der Produktion – Simulationsstudien für ein hybrides Fließfertigungssystem. *Zeitschrift für Planung & Unternehmenssteuerung* (2004) 15, S. 427-447.

SHAPIRO & VARIAN 1999

Shapiro, C.; Varian, H.: *Information rules. A strategic guide to the network economy*. Boston: Harvard Business School Press 1999. ISBN: 978-0-87584-863-1.

SHAPLEY 1953

Shapley, L.: A Value for n-Person Games. In: Kuhn, H. W. et al. (Hrsg.): *Contributions to the Theory of Games*. Boston: Princeton University Press 1953, S. 307-318. ISBN: 978-0-69107-935-6. (Annals of Mathematics Studies 28).

SHEFFI 2005

Sheffi, Y.: *The resilient enterprise. Overcoming vulnerability for competitive advantage*. Cambridge: MIT Press 2005. ISBN: 978-0-26219-537-9.

SIEBERT 1991

Siebert, H.: *Ökonomische Analyse von Unternehmensnetzwerken*. In: Staehle, W. H. et al. (Hrsg.): *Managementforschung 1*. Berlin: de Gruyter 1991, S. 291-312. ISBN: 978-3-11241-954-0.

SIMATUPANG & SRIDHARAN 2002

Simatupang, T.; Sridharan, R.: *The Collaborative Supply Chain*. *The International Journal of Logistics Management* 13 (2002) 1, S. 15-30.

SIMCHI-LEVI ET AL. 2008

Simchi-Levi, D.; Kaminsky, P.; Simchi-Levi, E.: *Designing and managing the supply chain. Concepts, strategies, and case studies*. 3. Aufl. Boston: McGraw-Hill 2008. ISBN: 978-0-07128-714-2.

SKIBSKI ET AL. 2014

Skibski, O.; Michalak, T.; Rahwan, T.; Wooldridge, M.: Algorithms for the shapley and myerson values in graph-restricted games. *Proceedings of the 13th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2014)* 1 (2014), S. 197-204.

SKIBSKI ET AL. 2019

Skibski, O.; Rahwan, T.; Michalak, T.; Wooldridge, M.: Enumerating Connected Subgraphs and Computing the Myerson and Shapley Values in Graph-Restricted Games. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology* 10 (2019) 2, S. 1-25.

SOŠIĆ 2010

Sošić, G.: Stability of information-sharing alliances in a three-level supply chain. *Naval Research Logistics (NRL)* 57 (2010) 3, S. 279-295.

SPATH ET AL. 2013

Spath, D.; Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, M.; Krause, T.; Schlund, S.: *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Studie 2013*. ISBN: 978-3-83960-570-7.

SPENGLER ET AL. 2004

Spengler, T.; Voß, S.; Kopfer, H. (Hrsg.): *Logistik Management. Prozesse, Systeme, Ausbildung*. Heidelberg: Physica 2004. ISBN: 978-3-79080-121-7.

SRIVATHSAN & KAMATH 2018

Srivathsan, S.; Kamath, M.: Understanding the value of upstream inventory information sharing in supply chain networks. *Applied Mathematical Modelling* 54 (2018) 12, S. 393-412.

STACHOWIAK 1973

Stachowiak, H.: *Allgemeine Modelltheorie*. Wien: Springer 1973. ISBN: 0-38781-106-0.

STADTLER ET AL. 2015

Stadtler, H.; Kilger, C.; Meyr, H. (Hrsg.): *Supply chain management and advanced planning. Concepts, models, software, and case studies*. 5. Aufl. Berlin: Springer 2015. ISBN: 978-3-64255-308-0. (Springer Texts in Business and Economics).

STAEHLE & SYDOW 1991

Staehele, W.; Sydow, J. (Hrsg.): *Managementforschung 1*. Berlin: de Gruyter 1991. ISBN: 978-3-11241-954-0.

STAHLKNECHT & HASENKAMP 2003

Stahlknecht, P.; Hasenkamp, U.: *Einführung in die Wirtschaftsinformatik*. 10. Aufl. Berlin: Springer 2003. ISBN: 978-3-54041-986-0. (Springer-Lehrbuch).

STAUDT ET AL. 1996

Staudt, E.; Kriegesmann, E.; Behrendt, S.: *Zwischenbetriebliche Kooperationen*. In: Kern, W. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*. 2. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 1996, S. 922-935. ISBN: 978-3-79108-044-4. (Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre 7).

**STEINLE 1978**

Steinle, C.: Führung. Grundlagen, Prozesse und Modelle der Führung in der Unternehmung. Stuttgart: Poeschel 1978. ISBN: 3-79109-101-8. (Sammlung Poeschel 88).

**STERMAN 2000**

Sterman, J.: Business dynamics. Systems thinking and modeling for a complex world. Boston: McGraw-Hill 2000. ISBN: 978-0-07238-915-9.

**STEVEN & KRÜGER 2004**

Steven, M.; Krüger, R.: Supply Chain Event Management für globale Logistikprozesse: Charakteristika, konzeptionelle Bestandteile und deren Umsetzung in Informationssysteme. In: Spengler, T. S. et al. (Hrsg.): Logistik Management. Prozesse, Systeme, Ausbildung. Heidelberg: Physica 2004, S. 179-195. ISBN: 978-3-79080-121-7.

**STEVENS 1989**

Stevens, G.: Integrating the Supply Chain. International Journal of Physical Distribution & Materials Management 19 (1989) 8, S. 3-8.

**STRANGMEIER & FIEDLER 2011**

Strangmeier, R.; Fiedler, M.: Lösungskonzepte zur Allokation von Kooperationsvorteilen in der kooperativen Transportdisposition. Diskussionsbeitrag Nr. 464. Hagen: Fernuniversität 2011.

**STRAUBE 2008**

Straube, F. (Hrsg.): Digitale Schriftenreihe Logistik der Technischen Universität Berlin. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin 2008.

**STRICKER 2016**

Stricker, N.: Robustheit verketteter Produktionssysteme. Robustheitsevaluation und Selektion des Kennzahlensystems der Robustheit. Diss. Karlsruher Institut für Technologie (2016). Karlsruhe: Shaker 2016. ISBN: 978-3-84404-801-8. (Forschungsberichte aus dem wbk 194).

**SUPPLY CHAIN COUNCIL 2012**

Supply Chain Council (Hrsg.): SCOR. Supply Chain Operations Reference Model. Revision 11.0. United States of America: The Supply Chain Council 2012. ISBN: 0-61520-259-4.

SYDOW 1992

Sydow, J.: Strategische Netzwerke. Evolution und Organisation. Habil. Freie Univ. Berlin (1992). Wiesbaden: Gabler 1992. ISBN: 3-40913-947-8. (Neue betriebswirtschaftliche Forschung 100).

SYDOW 2010

Sydow, J. (Hrsg.): Management von Netzwerkorganisationen. Beiträge aus der "Managementforschung". 5. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2010. ISBN: 978-3-83491-878-9.

SYDOW 2010

Sydow, J.: Management von Netzwerkorganisationen – Zum Stand der Forschung. In: Sydow, J. (Hrsg.): Management von Netzwerkorganisationen. Beiträge aus der "Managementforschung". 5. Aufl. Wiesbaden: Gabler 2010, S. 373-470. ISBN: 978-3-83491-878-9.

TAKO & ROBINSON 2012

Tako, A.; Robinson, S.: The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context. Decision Support Systems 52 (2012) 4, S. 802-815.

TAO ET AL. 2020

Tao, Y.; Lai, X.; Zhou, S.: Information sharing in a transparent supply chain with transportation disruptions and supplier competition. Annals of Operations Research 88 (2020) 2, S. 150.

TEMPELMEIER 2018

Tempelmeier, H.: Modellierung logistischer Systeme. Berlin: Springer 2018. ISBN: 978-3-66257-770-7.

TEUNTER ET AL. 2018

Teunter, R.; Babai, M.; Bokhorst, J.; Syntetos, A.: Revisiting the value of information sharing in two-stage supply chains. European Journal of Operational Research 270 (2018) 3, S. 1044-1052.

THIEL 2002

Thiel, M.: Wissenstransfer in komplexen Organisationen. Diss. Ludwig-Maximilians-Univ. München (2001). Wiesbaden: DUV 2002. ISBN: 978-3-82447-626-8. (Markt- und Unternehmensentwicklung).

THOMAS ET AL. 2015

Thomas, A.; Krishnamoorthy, M.; Singh, G.; Venkateswaran, J.: Coordination in a multiple producers-distributor supply chain and the value of information. *International Journal of Production Economics* 167 (2015), S. 63-73.

TÖPFER 2007

Töpfer, A.: Betriebswirtschaftslehre. Anwendungs- und prozessorientierte Grundlagen. 2. Aufl. Berlin: Springer 2007. ISBN: 978-3-54049-395-2.

TRAUTH ET AL. 2021

Trauth, D.; Bergs, T.; Prinz, W. (Hrsg.): Monetarisierung von technischen Daten. Innovationen aus Industrie und Forschung. 1. Aufl. Berlin: Springer 2021. ISBN: 978-3-66262-914-7.

TREBER ET AL. 2019

Treber, S.; Breig, R.; Kentner, M.; Häfner, B.; Lanza, G.: Information Exchange in Global Production Networks: Increasing Transparency by Simulation, Statistical Experiments and Selection of Digitalization Activities. *Procedia CIRP* 84 (2019), S. 225-230.

TREBER 2020

Treber, S.: Transparenzsteigerung in Produktionsnetzwerken. Verbesserung des Störungsmanagements durch verstärkten Informationsaustausch. Diss. Karlsruher Institut für Technologie (2020). Karlsruhe: Shaker 2020. ISBN: 978-3-84407-478-9. (Forschungsberichte aus dem wbk 234).

TREBER & LANZA 2018

Treber, S.; Lanza, G.: Transparency in Global Production Networks: Improving Disruption Management by Increased Information Exchange. *Procedia CIRP* 72 (2018), S. 898-903.

ULRICH & HILL 1976

Ulrich, P.; Hill, W.: Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. *Wirtschaftswissenschaftliches Studium: Zeitschrift für Ausbildung und Hochschulkontakt* 5 (1976) 7+8, S. 304-309.

VAHRENKAMP & SIEPERMANN 2008

Vahrenkamp, R.; Siepermann, C.: Produktionsmanagement. 6. Aufl. München: De Gruyter Oldenbourg 2008. ISBN: 3-48658-784-6.

VDI 3633-1

VDI 3633, Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Grundlagen. Düsseldorf: VDI-Richtlinien 2014.

VDI 3633-2

VDI 3633, Blatt 2: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Lastenheft/Pflichtenheft und Leistungsbeschreibung für die Simulationsstudie. Düsseldorf: VDI-Richtlinien 1997.

VDI 5600-1

VDI 5600, Blatt 1: Fertigungsmanagementsysteme. Düsseldorf: VDI-Richtlinien 2016.

VDI/VDE 2019

VDI/VDE: Industrie 4.0 Begriffe/Terms. VDI-Statusreport. Düsseldorf 2019.

VOIGT 2009

Voigt, S.: Institutionenökonomik. Neue Ökonomische Bibliothek. 1. Aufl. Stuttgart: Fink 2009. ISBN: 978-3-82522-339-7. (UTB M).

VOIGT ET AL. 2018

Voigt, K.-I.; Müller, J.; Veile, J.; Maier, L.: Logistik 4.0. In: Corsten, H. et al. (Hrsg.): Handbuch Produktions- und Logistikmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken. Berlin: De Gruyter Oldenbourg 2018, S. 1304-1322. ISBN: 978-3-11047-130-4.

VOB 1995

Voß, S.: Skriptum zum Informationsmanagement Wintersemester 1994/95. Braunschweig 1995.

VOB & GUTENSCHWAGER 2001

Voß, S.; Gutenschwager, K.: Informationsmanagement. Berlin: Springer 2001. ISBN: 978-3-54067-807-6.

WADHWA ET AL. 2010

Wadhwa, S.; Mishra, M.; Chan, F.; Ducq, Y.: Effects of information transparency and cooperation on supply chain performance: a simulation study. International Journal of Production Research 48 (2010) 1, S. 145-166.

WANG ET AL. 2014

Wang, H.; Yan, Y.; Wei, L.: A Holistic Incentive Model of Information Sharing in Supply Chain. Applied Mechanics and Materials 457-458 (2014), S. 1403-1406.

WANG & WEI 2007

Wang, E.; Wei, H.-L.: Interorganizational Governance Value Creation: Coordinating for Information Visibility and Flexibility in Supply Chains. Decision Sciences 38 (2007) 4, S. 647-674.

## WANG-MLYNEK &amp; FOERSTL 2020

Wang-Mlynek, L.; Foerstl, K.: Barriers to multi-tier supply chain risk management. *The International Journal of Logistics Management* 31 (2020) 3, S. 465-487.

## WEBER 2006

Weber, T.: Anreizsysteme für die betriebliche Forschung und Entwicklung. 1. Aufl. Wiesbaden: DUV 2006. ISBN: 978-3-83509-121-4. (Beiträge zur betriebswirtschaftlichen Forschung 113).

## WEBER ET AL. 2017

Weber, J.; Bramseman, U.; Heineke, C.; Hirsch, B.: Wertorientierte Unternehmenssteuerung. Konzepte - Implementierung - Praxis-Statement. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler 2017. ISBN: 978-3-65815-216-1.

## WEBER ET AL. 2018

Weber, W.; Kabst, R.; Baum, M.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. 10. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler 2018. ISBN: 978-3-65818-251-9.

## WEBER &amp; SCHÄFFER 2016

Weber, J.; Schäffer, U.: Einführung in das Controlling. 15. Aufl. Stuttgart: Schäffer-Poeschel 2016. ISBN: 978-3-79103-574-1.

## WELLBROCK 2015

Wellbrock, W.: Innovative Supply-Chain-Management-Konzepte. Branchenübergreifende Bedarfsanalyse sowie Konzipierung eines Entwicklungsprozessmodells. Diss. Philipps Univ. Marburg (2014). Wiesbaden: Springer Fachmedien 2015. ISBN: 978-3-65809-180-4.

## WENZEL 2000

Wenzel, S. (Hrsg.): Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik. Ghent: Society for Computer Simulation International 2000. ISBN: 1-56555-182-6. (Frontiers in simulation 5).

## WERNER 2017

Werner, H.: Supply Chain Management. Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling. 6. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler 2017. ISBN: 978-3-65818-383-7.

## WIENDAHL 1997

Wiendahl, H.-P.: Fertigungsregelung. Logistische Beherrschung von Fertigungsabläufen auf Basis des Trichtermodells. München: Hanser 1997. ISBN: 978-3-44619-084-9.

WIENDAHL ET AL. 2012

Wiendahl, H.-P.; Nyhuis, P.; Bertsch, S.; Grigutsch, M.: Controlling in Lieferketten. In: Schuh, G. et al. (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung 2. Evolution der PPS. 4. Aufl. Berlin: Springer Vieweg 2012, S. 11-59. ISBN: 978-3-64225-426-0. (VDI-Buch).

WIENDAHL 2014

Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure. 8. Aufl. München: Hanser 2014. ISBN: 978-3-44644-053-1.

WIENDAHL & LUTZ 2002

Wiendahl, H.-P.; Lutz, S.: Production in Networks. CIRP Annals 51 (2002) 2, S. 573-586.

WIENGARTEN ET AL. 2010

Wiengarten, F.; Humphreys, P.; Cao, G.; Fynes, B.; McKittrick, A.: Collaborative supply chain practices and performance: exploring the key role of information quality. Supply Chain Management: An International Journal 15 (2010) 6, S. 463-473.

WIESE 2021

Wiese, H.: Advanced Microeconomics. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2021. ISBN: 978-3-65834-958-5.

WIESER & LAUTERBACH 2001

Wieser, O.; Lauterbach, B.: Supply Chain Event Management mit mySAP SCM (Supply Chain Management). HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 38 (2001) 219, S. 65-71.

WILD 1973

Wild, J.: Organisation und Hierarchie. Zeitschrift für Organisation 42 (1973) 1, S. 45-54.

WILKINSON & BLACK 2015

Wilkinson, R.; Black, J.: Rethinking the Value Chain. New Realities in Collaborative Business. Capgemini and The Consumer Goods Forum (2015).

WINTER 1996

Winter, S.: Prinzipien der Gestaltung von Managementanreizsystemen. Diss. Humboldt-Univ. Berlin (1996). Wiesbaden: Gabler 1996. ISBN: 978-3-40913-277-0. (Neue betriebswirtschaftliche Forschung 178).



WIRTH & BAUMANN 1996

Wirth, S.; Baumann, A.: Innovative Unternehmens- und Produktionsnetze. Strategien, Methoden und Instrumentarien zur Netzgestaltung. Chemnitz: IBF 1996. (Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme 8).

WU & EDWIN CHENG 2008

Wu, Y.; Edwin Cheng, T.: The impact of information sharing in a multiple-echelon supply chain. *International Journal of Production Economics* 115 (2008) 1, S. 1-11.

YANG & ZHANG 2019

Yang, D.; Zhang, A.: Impact of Information Sharing and Forecast Combination on Fast-Moving-Consumer-Goods Demand Forecast Accuracy. *Information* 10 (2019) 8, S. 260.

YOON ET AL. 2020

Yoon, J.; Talluri, S.; Rosales, C.: Procurement decisions and information sharing under multi-tier disruption risk in a supply chain. *International Journal of Production Research* 58 (2020) 5, S. 1362-1383.

YU ET AL. 2001

Yu, Z.; Yan, H.; Edwin Cheng, T.: Benefits of information sharing with supply chain partnerships. *Industrial Management & Data Systems* 101 (2001) 3, S. 114-121.

YU 2001

Yu, K.-W.: Terminkennlinie. Eine Beschreibungsmethodik für die Terminabweichung im Produktionsbereich. Diss. Univ. Hannover (2001). 2. Aufl. Düsseldorf: VDI 2001. (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften 576).

YUAN ET AL. 2019

Yuan, Y.; Viet, N.; Behdani, B.: The impact of information sharing on the performance of horizontal logistics collaboration: A simulation study in an agri-food supply chain. *IFAC-PapersOnLine* 52 (2019) 13, S. 2722-2727.

ZAUNMÜLLER 2005

Zaunmüller, H.: Anreizsysteme für das Wissensmanagement in KMU. Gestaltung von Anreizsystemen für die Wissensbereitstellung der Mitarbeiter. Diss. RWTH Aachen (2005). Wiesbaden: DUV 2005. ISBN: 978-3-82440-836-8.

ZECHMANN 2018

Zechmann, A.: Nutzungsbasierte Datenbewertung. Entwicklung und Anwendung eines Konzepts zur finanziellen Bewertung von Datenvermögenswerten auf Basis des AHP. Diss. Univ. St. Gallen (2017). Berlin: epubli 2018.

ZECHMANN & MÖLLER 2016

Zechmann, A.; Möller, K.: Finanzielle Bewertung von Daten als Vermögenswerte. Controlling 28 (2016) 10, S. 558-566.

ZHAO ET AL. 2002

Zhao, X.; Xie, J.; Zhang, W.: The impact of information sharing and ordering coordination on supply chain performance. Supply Chain Management: An International Journal 7 (2002) 1, S. 24-40.

ZHAO & LI 2018

Zhao, D.; Li, Z.: The impact of manufacturer's encroachment and nonlinear production cost on retailer's information sharing decisions. Annals of Operations Research 264 (2018) 1-2, S. 499-539.

ZHENG ET AL. 2018

Zheng, M.; Yi, Y.; Wang, X.; Wang, J.; Mao, S.: The information value and the uncertainties in two-stage uncertain programming with recourse. Soft Computing 22 (2018) 17, S. 5791-5801.

ZIEGENBEIN 2007

Ziegenbein, A.: Supply Chain Risiken. Identifikation, Bewertung und Steuerung. Diss. ETH Zürich (2007). Zürich: Vdf Hochschulverlag 2007. ISBN: 978-3-72813-166-9.

ZIPFEL ET AL. 2019

Zipfel, A.; Braunreuther, S.; Reinhart, G.: Approach for a Production Planning and Control System in Value-Adding Networks. Procedia CIRP 81 (2019), S. 1195-1200.

ZIPFEL ET AL. 2020

Zipfel, A.; Wink, K.; Reinhart, G.: Incentive System Framework for Information Sharing in Value-Adding Networks. In: Nyhuis, P. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 1st Conference on Production Systems and Logistics (CPSL 2020): publishing. 2020, S. 287-296.

ZIPFEL ET AL. 2021

Zipfel, A.; Herdeg, D.; Theumer, P.: Method for quantifying the value of information for production control in cross-company value-adding networks. *Procedia Manufacturing* 54 (2021), S. 1-6.

ZOBEL ET AL. 2012

Zobel, C.; Melnyk, S.; Griffis, S.; Macdonald, J.: Characterizing Disaster Resistance and Recovery using Outlier Detection. In: Rothkrantz, L. et al. (Hrsg.): *Proceedings of the 9th International ISCRAM Conference. Vancouver 2012*, S. 1-5.

## 12 Verzeichnis betreuter Studienarbeiten

Im Rahmen der dieser Dissertation zugrunde liegenden Forschungstätigkeit sind in den Jahren von 2018 bis 2021 unter wesentlicher wissenschaftlicher, fachlicher und inhaltlicher Anleitung des Autors die folgenden studentischen Arbeiten entstanden. Die Ergebnisse dieser Arbeiten zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen in Wertschöpfungsnetzwerken sind in Teilen in die vorliegende Dissertation eingeflossen. Der Autor dankt allen Studierenden für ihre Unterstützung bei dieser wissenschaftlichen Arbeit.

- Aucher, Lukas: Verknüpfung von Informations- und Materialflüssen in unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerken – Entwicklung einer simulationsbasierten Referenzarchitektur (Masterarbeit, Technische Universität München, Kapitel 5)
- Bartol, Franjo: Simulationstechnische Quantifizierung des Werts von steuerungsrelevanten Informationen für den unternehmensübergreifenden Austausch in Wertschöpfungsnetzwerken (Semesterarbeit, Technische Universität München, Kapitel 9)
- Blaimer, Franziska: Cross-company Information Exchange relevant for Production Planning and Control in Value-adding Networks (Masterarbeit, Technische Universität München, Kapitel 5)
- Herdeg, Daniel: Quantifizierung des Wertes von Informationen für die Produktionssteuerung in Wertschöpfungsnetzwerken (Masterarbeit, Technische Universität München, Kapitel 6)
- Hiermaier, Sophia: Entwicklung eines finanziellen Anreizsystems in einem Wertschöpfungsnetzwerk für den Austausch von für die Produktionsplanung und -steuerung relevanten Informationen (Masterarbeit, Technische Hochschule Ulm, Kapitel 7)
- Huber, Alexander: Management unvorhergesehener Ereignisse in unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerken (Masterarbeit, Technische Universität München, Kapitel 5)
- Jeschke, Lucas: Value of Information for Optimized Production Planning and Control in Value-Adding Networks (Masterarbeit, Technische Universität München, Kapitel 7)

- Leitner, Maria Christina: System zur Modellierung von Informationsflüssen in unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsnetzwerken (Masterarbeit, Technische Universität München, Kapitel 5)
- Wink, Konstantin: Boosting information sharing in value-creating networks: Introduction of an incentive system framework (Masterarbeit, Technische Universität München, Kapitel 7-8)

## 13 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Rolle von Daten in der betrieblichen Leistungserstellung (i. A. an OTTO ET AL. 2016) .....	3
Abbildung 1-2:	Austausch von PPS-relevanten Daten mit Partnern (i. A. an BANK ET AL. 2021) .....	4
Abbildung 1-3:	Forschungsmethodisches Vorgehen dieser Arbeit (i. A. an ULRICH & HILL 1976, BLESSING & CHAKRABARTI 2009).....	7
Abbildung 1-4:	Aufbau der vorliegenden Arbeit und Einordnung in die Stufen der DRM .....	9
Abbildung 2-1:	Regelkreis der PPS (i. A. an WIENDAHL 1997) .....	17
Abbildung 2-2:	Aufgabensicht des Aachener PPS-Modells (i. A. an SCHUH ET AL. 2012b) .....	20
Abbildung 2-3:	Modell der Fertigungssteuerung (i. A. an LÖDDING 2016) .....	22
Abbildung 2-4:	Abgrenzung von PPS und SCM .....	23
Abbildung 2-5:	Informationssysteme zur Planung und Steuerung (i. A. an MEYER 2007, VDI 5600-1) .....	27
Abbildung 2-6:	Kennzahlensystem <i>Economic Value Added</i> (i. A. an WEBER ET AL. 2017).....	28
Abbildung 2-7:	Klassifizierung von Anreizen (i. A. an JOST 2000, WEBER 2006).....	30
Abbildung 3-1:	Zeitlicher Verlauf von Störungen (i. A. an HEIL 1995, GENC ET AL. 2014) .....	34
Abbildung 3-2:	Schematische Darstellung der Produktionskennlinien (i. A. an NYHUIS 2008).....	40
Abbildung 3-3:	Referenzarchitekturmodell und Rollenmodell der IDS (i. A. an OTTO ET AL. 2019b) .....	53
Abbildung 4-1:	Aufbau des Systems zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen .....	65
Abbildung 5-1:	Übersicht des Referenzmodells .....	67
Abbildung 5-2:	Übersicht des Betrachtungssystems (i. A. an ZIPFEL ET AL. 2021) .....	69

Abbildung 5-3:	(A) Übersicht des Betrachtungszeitraums mit (B) beispielhafter Erklärung des Mehrwerts durch Informationsaustausch (i. A. an ZIPFEL ET AL. 2021) .....	70
Abbildung 5-4:	Übersicht der Aufgaben, Stell- und Regelgrößen der Produktionssteuerung .....	74
Abbildung 5-5:	Kategorisierung steuerungsrelevanter Informationen mit Beispielen .....	77
Abbildung 5-6:	Qualitatives Kausaldiagramm der Produktionssteuerung (auf Basis von HELLMICH 2003) .....	78
Abbildung 5-7:	Ausschnitt des qualitativen Kausaldiagramms der Ressourcenfeinplanung.....	82
Abbildung 5-8:	Ausschnitt des qualitativen Kausaldiagramms der Reihenfolgebildung .....	84
Abbildung 5-9:	Ausschnitt des qualitativen Kausaldiagramms der Auftragsfreigabe .....	85
Abbildung 5-10:	Aufbau des Referenzmodells für den steuerungsrelevanten Informationsaustausch .....	88
Abbildung 5-11:	Schematische Darstellung des Informationsmodells.....	89
Abbildung 5-12:	Schematische Darstellung des funktionalen Zusammenhangs von Produktionssteuerung und Informationsaustausch .....	90
Abbildung 5-13:	Entity-Relationship-Modelle des steuerungsrelevanten Informationsaustauschs .....	91
Abbildung 6-1:	Quantifizierung der Abgangsterminabweichung über Anpassung der Lieferzeitpuffer (i. A. an ZIPFEL ET AL. 2021).....	106
Abbildung 6-2:	Kennzahlensystem der operativen Produktionsperformance (i. A. an ZIPFEL ET AL. 2021) .....	110
Abbildung 7-1:	Übersicht des Anreizkontexts (auf Basis von OTTO ET AL. 2019b).....	114
Abbildung 7-2:	Vergleich von Myerson-Wert und Shapley-Wert .....	121
Abbildung 7-3:	Übersicht von Geschäftsmodellmustern als Belohnungsrichtlinie (i. A. an ZIPFEL ET AL. 2020) .....	127
Abbildung 8-1:	Übersicht der Methode zum anreizbasierten Informationsaustausch .....	129
Abbildung 8-2:	Ablaufdiagramm zur Adaption des Referenzmodells .....	132

Abbildung 8-3:	Ablaufdiagramm zur Quantifizierung des Informationswerts.....	135
Abbildung 8-4:	Ablaufdiagramm zur Entwicklung des Anreizsystems .....	139
Abbildung 9-1:	Übersicht des Anwendungsbeispiels.....	144
Abbildung 9-2:	Ausschnitt des funktionalen Zusammenhangs (Ebene 1) ...	147
Abbildung 9-3:	Ausschnitt des ERM für einen Lieferengpass (Ebene 2) ....	148
Abbildung 9-4:	Verifizierung des Simulationsmodells .....	153
Abbildung 9-5:	Betrachtungszeitraum bei Eintritt eines Lieferengpasses ...	154
Abbildung 9-6:	Betrachtungszeitraum bei Eintritt eines Eilauftrages.....	155
Abbildung 9-7:	Durchlaufdiagramme bei Lieferengpass .....	156
Abbildung 9-8:	Auswertung der OPP und des Informationswerts beim Lieferengpass .....	157
Abbildung 9-9:	Durchlaufdiagramme bei Eilauftrag.....	158
Abbildung 9-10:	Auswertung der OPP und des Informationswerts beim Eilauftrag .....	158



## 14 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Typologie von Wertschöpfungsnetzwerken (i. A. an STAUDT ET AL. 1996, WIRTH & BAUMANN 1996, HELLMICH 2003, SCHONERT 2008, SYDOW 2010, KOMPA ET AL. 2012) .....	13
Tabelle 2-2:	Charakterisierung von Ereignistypen (i. A. an NISSEN 2002, STEVEN & KRÜGER 2004, HELLINGRATH ET AL. 2008).....	15
Tabelle 2-3:	Aufgabenorientierte Differenzierung von Produktionsplanung und Produktionssteuerung .....	22
Tabelle 3-1:	Verfahren zur Informationsbewertung (i. A. an KROTOVA ET AL. 2019, OTTO ET AL. 2019a).....	43
Tabelle 4-1:	Übersicht der formulierten Anforderungen .....	59
Tabelle 4-2:	Festlegung des Betrachtungsrahmens hinsichtlich Wertschöpfungsnetzwerken .....	63
Tabelle 5-1:	Übersicht der Ereignisklassifizierung in dieser Arbeit.....	73
Tabelle 6-1:	Evaluation finanzieller Bewertungsgrößen für Informationswerte.....	97
Tabelle 6-2:	Übersicht der analysierten Simulationsansätze .....	100
Tabelle 7-1:	Bewertungsergebnis der Eignung der Zuteilungsfunktionen.....	126
Tabelle 9-1:	Konfiguration der Untersuchungsszenarien .....	154
Tabelle 9-2:	Anreizsystem für den Informationsaustausch im Anwendungsbeispiel.....	160
Tabelle 9-3:	Anforderungsbezogene Bewertung des Systems .....	162
Tabelle 9-4:	Investitionskosten zur Implementierung des Systems zum anreizbasierten Austausch steuerungsrelevanter Informationen (Expertenschätzung) .....	164
Tabelle 9-5:	Durchschnittliche jährliche Betriebskosten (Expertenschätzung) .....	165

# 15 Anhang

## 15.1 Referenzmodell

### 15.1.1 Wirkzusammenhänge

Die Abhängigkeiten der drei Größen WIP, Leistung und Durchlaufzeit haben maßgeblichen Einfluss auf die logistische Positionierung des Produktionssystems im Zielkonflikt von einer hohen Termintreue, kurzen Durchlaufzeiten, geringen Beständen sowie einer hohen Auslastung. Die Produktionssteuerungsmaßnahmen sind folglich in Abhängigkeit von der unternehmensspezifischen Zielsetzung und der vorliegenden Randbedingungen festzulegen. Im Folgenden werden i. A. an LITTLE (1961), WIENDAHL (1997), LÖDDING (2008), NYHUIS (2008), NYHUIS & WIENDAHL (2012) und LÖDDING (2016) die grundlegenden Wirkzusammenhänge von WIP, Leistung und Durchlaufzeit dargelegt.

Entsprechend den in Abschnitt 3.2.3.2 aufgezeigten Produktionskennlinien, variieren die funktionalen Zusammenhänge zwischen Bestand und Leistung respektive Durchlaufzeit in Abhängigkeit vom jeweiligen Bestandsbereich. Im Unterlastbereich führt eine Erhöhung des WIP-Levels zu keiner Zunahme der Durchlaufzeit. Ursache ist hierfür, dass die Auslastung der Arbeitssysteme derart gering ist, dass sich keine Warteschlangen bilden, die die Durchlaufzeit über die prozesstechnisch minimal mögliche Summe aus Durchführungs- und Transportzeiten hinaus verlängert. Bei weiterem Bestandsaufbau in den Übergangs-/Überlastbereich steigt die Durchlaufzeit allerdings aufgrund von Warte-/Liegezeiten linear mit dem WIP an.

Die Leistung eines Arbeitssystems ist ebenfalls abhängig des jeweiligen WIP. Im Unterlastbereich verursacht das geringe WIP-Level zeitweilige Materialflussabbrisse, was zu Auslastungsverlusten der Ressourcenkapazitäten führt. Ist der ideale Mindestbestand hingegen erreicht, liegen fortwährend ausreichend Produktionsaufträge zur Bearbeitung vor. Da die Leistung bereits nahe der maximal möglichen Leistungsgrenze liegt, kann ein zusätzlicher Bestandsaufbau zu keiner weiteren, wesentlichen Leistungssteigerung führen.

Der Zusammenhang von Bestand und Leistung kann jedoch auch aus dem Blickwinkel betrachtet werden, dass die Leistung eines Arbeitssystems die beeinflussbare und der WIP die abhängige respektive resultierende Größe ist. In diesem Fall führt eine gesteigerte Leistung zu einer Reduzierung des WIP. Dieser Einfluss lässt

sich gemäß der Definition des Bestands als Differenz zwischen kumuliertem Zu- und Abgang der Aufträge an einem Arbeitssystem ableiten. Die mittlere logistische Leistung eines Arbeitssystems ergibt sich dabei analog zur physikalischen Leistung aus der Relation des Ist-Abgangs zum jeweiligen Betrachtungszeitraum:

$$L_m = \frac{AB}{P} \quad (39)$$

mit  $L_m$  mittlere Leistung  
 $AB$  Abgang im Bezugszeitraum  
 $P$  Länge des Bezugszeitraums

Der kausale Zusammenhang zwischen der Leistung und der Durchlaufzeit kann mit Hilfe des Little's Law beschrieben werden:

$$ZDL_m = \frac{B_m}{L_m} \quad (40)$$

mit  $ZDL_m$  mittlere Durchlaufzeit  
 $B_m$  mittlerer Bestand  
 $L_m$  mittlere Leistung

Demnach wirkt sich eine Leistungssteigerung bei gegebenem Bestand umgekehrt proportional auf die mittlere Durchlaufzeit aus. Zu berücksichtigen ist, dass diese funktionale Beziehung ausschließlich für den Übergangs-/Überlastbereich Gültigkeit besitzt. Die im Unterlastbereich dominierende minimal erzielbare Durchlaufzeit kann trotz einer zunehmenden Leistungsfähigkeit nicht unterschritten werden.

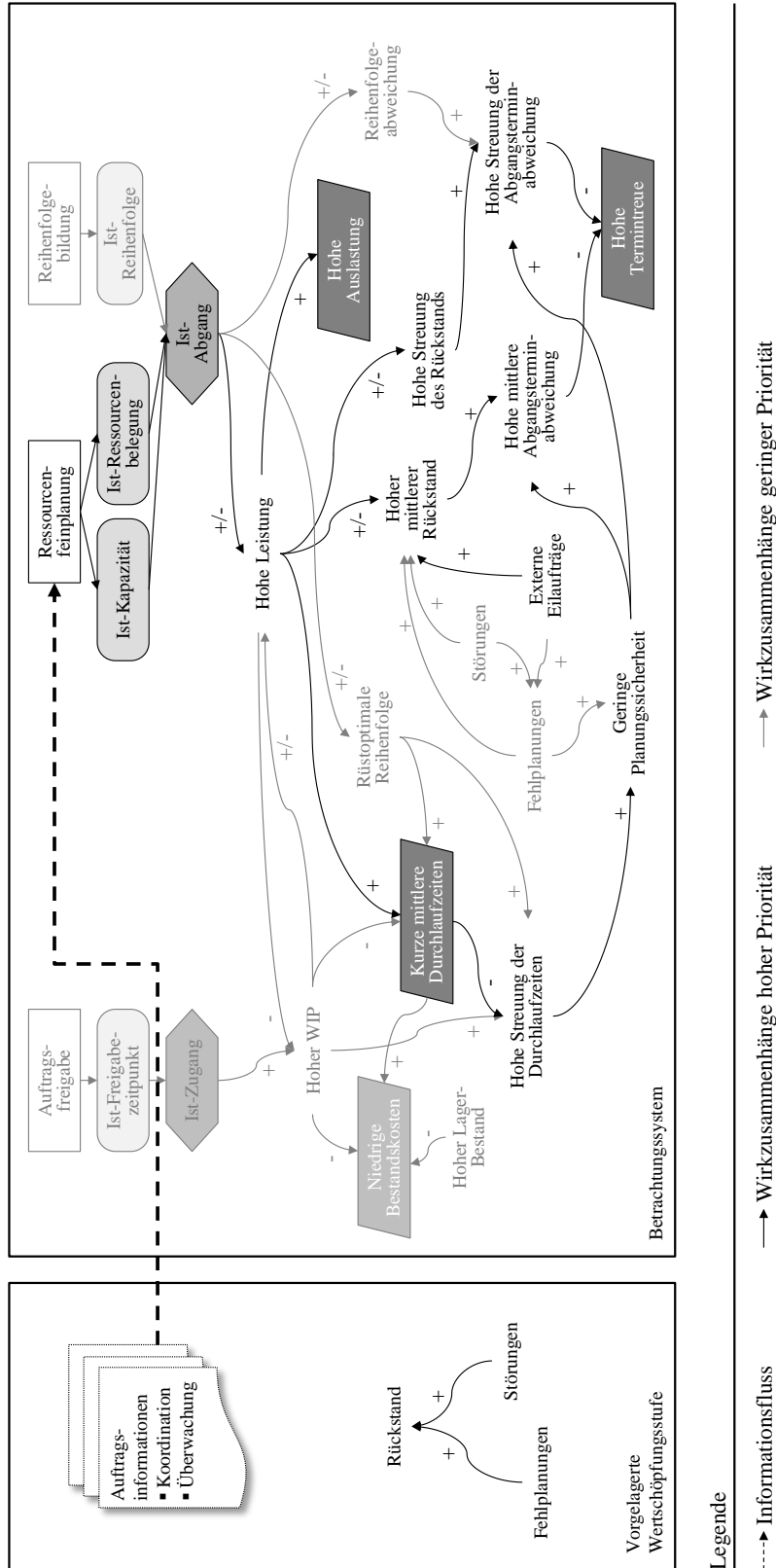
Der mittlere Rückstand eines Arbeitssystems lässt sich durch Vergleich des kumulierten Ist-Abgangs mit dem kumulierten Plan-Abgang ermitteln. Ein Rückstand kann durch Störungen, Fehlplanungen oder eine kurzfristig erhöhte Nachfrage in Form von Eilaufträgen auftreten. Der Quotient aus mittlerem Rückstand und mittlerer Leistung entspricht der mittleren Abgangsterminabweichung:

$$TAA_m = \frac{RS_m}{L_m} \quad (41)$$

mit  $TAA_m$  mittlere Abgangsterminabweichung  
 $RS_m$  mittlerer Rückstand  
 $L_m$  mittlere Leistung

## 15.1.2 Qualitative Kausaldiagramme

### 15.1.2.1 Ausschnitt des Kausaldiagramms der Ressourcenfeinplanung







### **15.1.3 Modellierungsansatz**

#### **15.1.3.1 Beschreibung der Modellierungssprachen**

Im Folgenden werden die Charakteristika der Modellierungssprachen UML, EPK, BPMN, FD und PN dargelegt. Für weiterführende Informationen zu den Modellierungssprachen wird auf die einschlägige Literatur verwiesen (s. CZUCHRA 2010, ALLWEYER 2015, BECKER 2018 oder FLEISCHMANN ET AL. 2018).

##### **Unified Modeling Language**

Unter UML wird eine Vielzahl verschiedener Struktur- und Verhaltensdiagrammtypen zur Modellierung von bspw. Objekthierarchien, Zuständen oder Aktionen subsumiert. Das Aktivitätsdiagramm bietet aufgrund seiner Charakteristika das Potenzial zur Abbildung eines dynamischen Systemverhaltens. Im Fokus steht dabei die Vernetzung elementarer Aktionen mit Hilfe von Steuerungs- und Datenflüssen.

##### **Ereignisgesteuerte Prozesskette**

Die Modellierungssprache EPK bildet die Prozess-/Steuerungssicht der Architektur integrierter Informationssysteme. Mit Hilfe von gerichteten Graphen werden die aus Ereignissen (Objektzustände), Funktionen (Zustandsänderungen) und Verknüpfungsoperatoren bestehenden Abläufe modelliert. Die erweiterte EPK beinhaltet zudem weitere Symbole, wie bspw. Informationsobjekte und Organisationseinheiten, um die Funktionalität der Modellierungssprache zu ergänzen.

##### **Business Process Model and Notation**

BPMN besitzt aufgrund seiner Vielfalt an Symbolen und Elementen einen breiten Anwendungsbereich zur übersichtlichen Modellierung komplexer Geschäftsprozesse. In der aktuellen Version BPMN 2.0 besteht neben den Notationselementen Flow Objects (dt. Flussobjekte), Connecting Objects (dt. Verbindungselemente), Artefacts (dt. Artefakte) und Swimlanes bzw. Pools (i. S. Prozessbeteiligte) auch die Möglichkeit, weitere Elemente selbst zu definieren. Aufgrund der den Notationselementen zugrunde gelegten Semantik lässt sich das grafische Prozessmodell in ein ausführbares Simulationsmodell überführen.

##### **Flussdiagramme**

FD basieren auf den Symbolen der Programmablaufpläne nach DIN 66001. Im Gegensatz zu den anderen zuvor vorgestellten Modellierungssprachen stehen bei

Flussdiagrammen weniger Symbole zur Prozessmodellierung zur Verfügung. Die Aktivitäten und Entscheidungssituationen werden mit Hilfe von Informationsflüssen in Form von gerichteten Kanten verknüpft. Zudem besteht die Möglichkeit zur Verwendung von Verweisen auf andere Flussdiagramme.

## Petri-Netze

PN dienen der Modellierung diskreter Systeme durch Knoten und gerichtete Kanten. Die Knoten werden in Stellen und Transitionen unterschieden. Der Systemzustand wird auf Basis der Stellen beschrieben. Die Dynamik des Netzes resultiert aus der Schaltung von Transitionen, bei welchen Marken zwischen den Stellen übertragen werden.

### 15.1.3.2 Beschreibung der Anforderungskriterien

Kriterium	Beschreibung
<b>Grundlegende Anforderungen</b>	
Abbildung von Informations- & Materialflüssen	Eine vom Materialfluss unabhängige und grafisch unterscheidbare Darstellung des Informationsflusses
Netzwerkbezug	Eindeutige Differenzierung der unternehmensinternen und -übergreifenden Beziehungen und Prozesse
Abstraktionsebenen	Variierbarer Detailgrad der Darstellung in Abhängigkeit vom Modellierungszweck
Flexibilität	Anpassbarkeit hinsichtlich nachträglicher Änderungen und Erweiterungsfähigkeit der Sprache
<b>Formale Anforderungen</b>	
Einheitlichkeit	Eindeutige und klare Spezifikation und Darstellung der Modellierungssprache, um ähnliche Entitäten ähnlich zu modellieren
Wiederverwendbarkeit	Die Abstraktion von Modellelementen und eine leichte Anpassbarkeit reduzieren die Komplexität und erleichtern die Wiederverwendbarkeit
<b>Anwendungsbezogene Anforderungen</b>	
Einfachheit & Verständlichkeit	Eine geringe Anzahl an zu berücksichtigenden intuitiv verständlichen Regeln und Symbolen zur Festlegung der Syntax und Semantik reduzieren die Komplexität der Sprache
Operationalisierbarkeit	Fähigkeit eines Modells neben der rein visuellen Abbildung in Analysen und Simulationen verwendet werden zu können



### 15.1.3.3 Auswahl einer geeigneten Modellierungssprache

In der dargestellten Übersicht ist das Analyseergebnis der Modellierungssprachen für das Referenzmodell zusammengefasst. Die Begründung für die Bewertung und Auswahl von BPMN für die Erstellung des Referenzmodells wird im Folgenden ausführlich erläutert.

Kriterium	UML	EPK	BPMN	FD	PN
Grundlegende Anforderungen					
Abbildung von IMF	◐	◑	◑	◐	◐
Netzwerkbezug	◑	◑	●	○	○
Abstraktionsebenen	◐	◑	◑	◐	◐
Flexibilität	◐	◑	◑	◐	◑
Formale Anforderungen					
Einheitlichkeit	◐	◑	◑	◑	◑
Wiederverwendbarkeit	◐	◑	◑	◑	◑
Anwendungsbezogene Anforderungen					
Einfachheit & Verständlichkeit	◐	◑	◑	●	◐
Operationalisierbarkeit	◑	○	◑	○	◑
Eignung	◐	◑	◑	○	◐

#### Legende

○ Sehr gering    ◐ Gering    ◑ Neutral    ◑ Ausgeprägt    ● Sehr ausgeprägt

BPMN stellt in Abhängigkeit vom Modellierungszweck verschiedene Diagrammtypen zur Verfügung. Das Kollaborationsdiagramm bietet die Möglichkeit, materialflussbezogene Ablaufprozesse und synchrone oder gegenläufige Informationsflüsse unabhängig voneinander abzubilden. Für die Modellierung von Informationsflüssen verfügt BPMN neben dem Artefakt *Datenobjekt* über das Verbindungsobjekt *Nachrichtenfluss*. Die grafischen Elemente der Swimlanes und Pools ermöglichen die organisatorische Zuordnung der Geschäftsprozesse zu Prozessbeteiligten. Vor dem Hintergrund der Kooperation in Wertschöpfungsnetzwerken lassen sich die Wertschöpfungspartner als eigene Pools darstellen und klar voneinander abgrenzen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Nachrichtenflüsse definitivonsgemäß lediglich zwischen, nicht aber innerhalb eines Pools erfolgen können. Durch die Verwendung sog. Subprozesse kann das Gesamtmodell mit Hilfe mehrerer Abstraktionsebenen unterschiedlichen Detaillierungsgrads dargestellt werden. Das Resultat ist ein übersichtliches Modell, das bei Bedarf spezifiziert werden

kann. Die verschiedenen Abstraktionsebenen erleichtern des Weiteren die Wiederverwendbarkeit einzelner Subelemente. Zudem weist BPMN in zweifacher Hinsicht eine ausgeprägte Flexibilität auf. Einerseits lassen sich erstellte Modelle aufwandsarm aktualisieren oder um weitere Pools und Swimlanes erweitern. Andererseits bietet BPMN 2.0 die Möglichkeit, zusätzliche eigene Symbole zu definieren. Diese Fähigkeit ist bei den anderen Modellierungssprachen nicht gegeben.

Die Vielzahl an zur Verfügung stehenden Symbolen gewährleistet die Erreichung eines hohen Detailgrads des Modells. In der Anwendung erfordert dies ein hohes Verständnis über die Modellierungsnotation und reduziert die Einfachheit gegenüber anderen Sprachen, wie bspw. FD. Zudem resultiert aus der Symbolvielfalt die Herausforderung, spezifische Prozesse auf verschiedene Weise zu modellieren. Die Einheitlichkeit ist im Vergleich zu den anderen Sprachen als neutral zu bewerten. BPMN bietet zwar die Fähigkeit der simulationstechnischen Ausführbarkeit des Modells. Die Funktionalität der Operationalisierbarkeit ist gegenüber anderen Modellierungssprachen, wie UML oder PN, allerdings wenig ausgereift.

## 15.2 Anreizsystem

### 15.2.1 Beschreibung der Geschäftsmodellmuster

Geschäftsmodellmuster	Beschreibung
Inhaltliche Perspektive	
Cost sharing	Aufteilung der für ein Produkt bzw. eine Dienstleistung entstandenen Kosten unter den beteiligten Partnern
Revenue sharing	Aufteilung des für ein Produkt bzw. eine Dienstleistung erzielten Umsatzes unter den beteiligten Partnern
Turnus der Transaktion	
Flatrate	Regelmäßige, feste Gebühr für eine unbegrenzte Verwendung eines Produkts bzw. einer Dienstleistung
Pay-per-use	Leistungsbezogene Bezahlung in Abhängigkeit von der Nutzung des Produkts bzw. der Dienstleistung
Subscription	Regelmäßige, feste Abonnementgebühr für ein dauerhaft genutztes Produkt bzw. eine Dienstleistung
Trade credit	Gewährter Handelskredit in Form einer späteren Fälligkeit von Verbindlichkeiten
Erweiterbarkeit	
Add-on	Erweiterung eines kostenpflichtigen Basisangebots um eine kostenpflichtige Zusatzleistung
Freemium	Kostenfreie Basisversion, die zu einer kostenpflichtigen Premiumversion mit zusätzlichem Leistungsangebot aufgestockt werden kann
Nicht-monetäre Geschäftsmodellmuster	
Barter	Tauschgeschäft von Produkten bzw. Dienstleistungen zwischen zwei Partnern ohne Geldfluss
Open data model	Im Wertschöpfungsnetzwerk öffentliche und kostenfreie Bereitstellung relevanter Informationen durch und für alle Partner
Pay-with-data	Bezahlung eines Produkts bzw. einer Dienstleistung mit spezifischen Informationen anstelle von Geldmitteln

## 15.2.2 Fähigkeiten der Geschäftsmodellmuster

Geschäftsmodell- muster	Informationskategorie			Richtung des Austauschs	
	Auftrag	Bestand	Kapazität	L → K	L ← K
Cost sharing	-	-	-	-	-
Revenue sharing	X	X	X	X	X
Flatrate	X	-	-	-	X
Pay-per-use	X	X	X	X	X
Subscription	X	X	X	X	X
Trade credit	X	X	X	-	X
Add-on	X	X	X	X	X
Freemium	X	X	X	X	X
Barter	-	-	-	-	-
Open data model	-	-	-	-	-
Pay-with-data	-	-	-	-	-

### Legende

L: Lieferant

K: Kunde

X: möglich

- : nicht möglich

### 15.2.3 Unternehmensspezifische Anforderungen

Anforderungen	Beschreibung
Netzwerkbezogene Anforderungen	
Flexibilitätsgrad	Erforderliche Flexibilität des Anreizsystems, um auf zukünftige Herausforderungen anpassbar zu sein
Vertrauenswürdigkeit der Partner	Eine hohe Abhängigkeit von der Vertrauenswürdigkeit der Partner steigert das Risiko, dass manipulierte oder fehlende Informationen die Wirksamkeit des Anreizsystems beeinträchtigen
Bindungsstärke	Die Intensität der Kooperation beeinflusst die Eignung der Geschäftsmodellmuster als Belohnungsrichtlinie
Informationsbezogene Anforderungen	
Unsicherheit über den erzielbaren Mehrwert	Bei hoher Unsicherheit über den potenziellen Mehrwert des Informationsaustauschs besteht das Risiko eines negativen Aufwand-Nutzen-Verhältnisses
Bedeutung des Informationswerts	In Abhängigkeit von der Höhe des Informationswerts sind manche Geschäftsmodellmuster nicht zweckmäßig
Betriebsbezogene Anforderungen	
Umsetzungsaufwand	Der Umsetzungsaufwand in einem spezifischen Anwendungsfall beeinflusst maßgeblich das Aufwand-Nutzen-Verhältnis und damit das ökonomische Potenzial des Anreizsystems
Leistungsbewertung	Die bewertete Leistung kann direkt nutzungsabhängig oder über einen nivellierten fixen Betrag abgerechnet werden
Geschäftsmodellbezogene Anforderung	
Integration in das Geschäftsmodell	Die Integrierbarkeit und Kompatibilität mit dem bestehenden Geschäftsmodell ist zwingende Voraussetzung für die Funktionalität des Anreizsystems

## 15.3 Anwendungsbeispiel

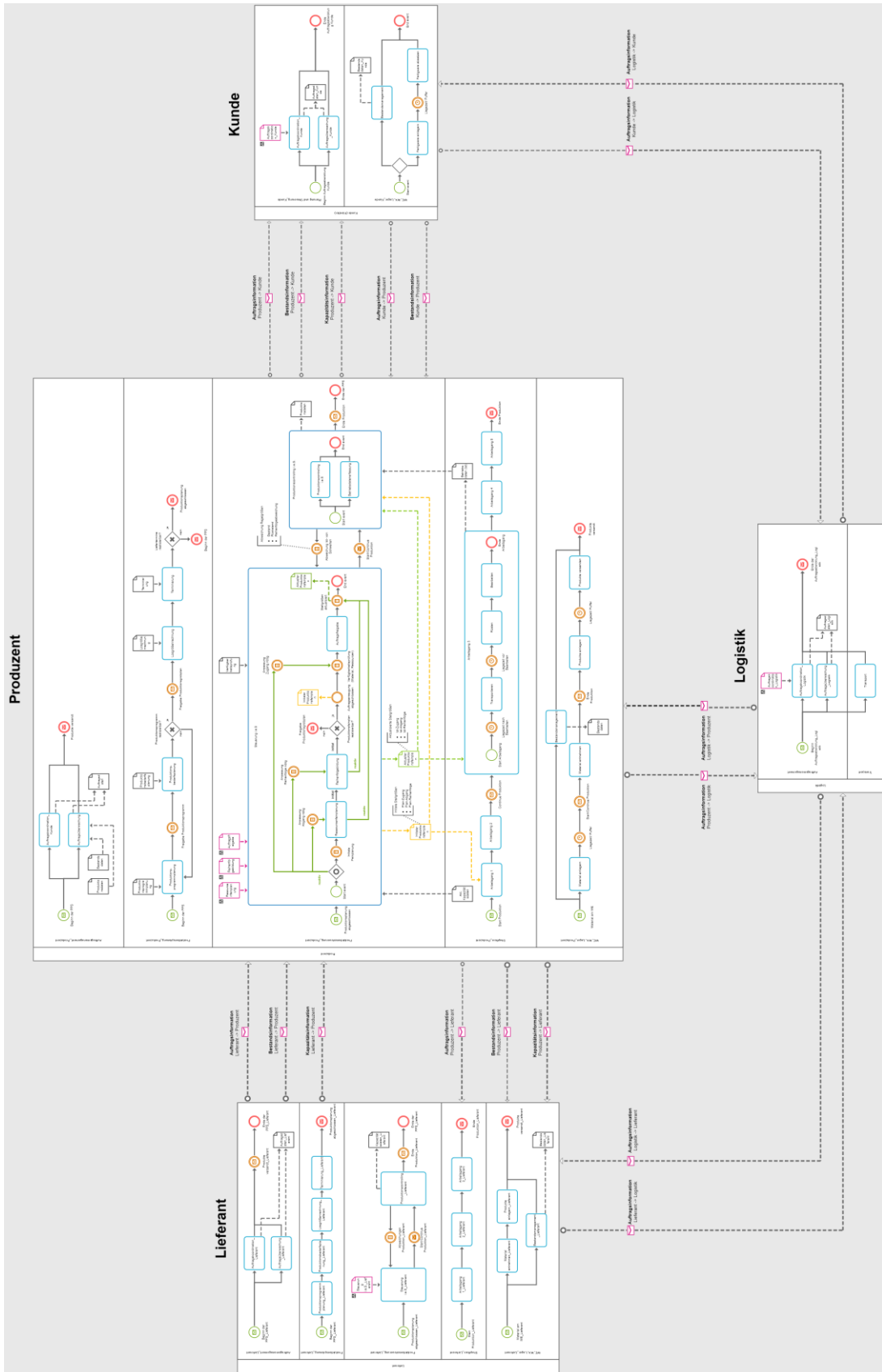
### 15.3.1 Übersicht der Parameter

Parameter	Wert	Einheit
Maschinenstundensatz $k_{\text{Masch}}$	450	€/ Std.
Personalkostensatz einer regulären Schicht $k_{\text{Pers,reg}}$	50	€/ Std.
Personalkostensatz einer zusätzlichen Schicht $k_{\text{Pers,zus}}$	150	€/ Std.
Fixe Qualitätskosten $K_{\text{Qual,fix}}$	100	€
Variable Qualitätskosten $k_{\text{Qual,var}}$	3	€/ ME
Rüststundensatz $k_{\text{Rüsten}}$	50	€/ Std.
Auftragsbonus bei Liefertermineinhaltung	500	€
Verzugskosten bei Lieferterminüberschreitung	5000	€
Anzahl der Werker in regulärer Schicht $n_{\text{reg}}$	56	-
Anzahl der Werker in zusätzlicher Schicht $n_{\text{zus}}$	5	-
Jährlicher Zinssatz $z_{\text{p.a.}}$	10	%
Kostensatz für den Lieferzeitpuffer $z_{\text{ZLP}}$	20	%

### 15.3.2 Übersicht der Fertigstellungstermine

Woche	In Realität hergestellt			In Simulation hergestellt		
	Anzahl abgewickelter Aufträge	Datum der Fertigstellung	Uhrzeit der Fertigstellung	Anzahl abgewickelter Aufträge	Datum der Fertigstellung	Uhrzeit der Fertigstellung
1	169	11.01.2019	20:59	169	11.01.2019	21:09
2	125	18.01.2019	20:41	125	18.01.2019	10:49
3	110	25.01.2019	20:23	110	25.01.2019	19:27
4	136	01.02.2019	20:46	136	01.02.2019	18:44
5	133	08.02.2019	20:24	133	08.02.2019	18:04
6	133	15.02.2019	21:46	133	15.02.2019	17:29
7	121	22.02.2019	20:41	121	22.02.2019	14:35
8	135	01.03.2019	20:38	134	02.03.2019	1:14
9	147	08.03.2019	21:02	147	08.03.2019	21:36
10	153	15.03.2019	21:10	153	15.03.2019	17:09

### 15.3.3 Übersicht des informationsorientierten Modells der Produktionssteuerung

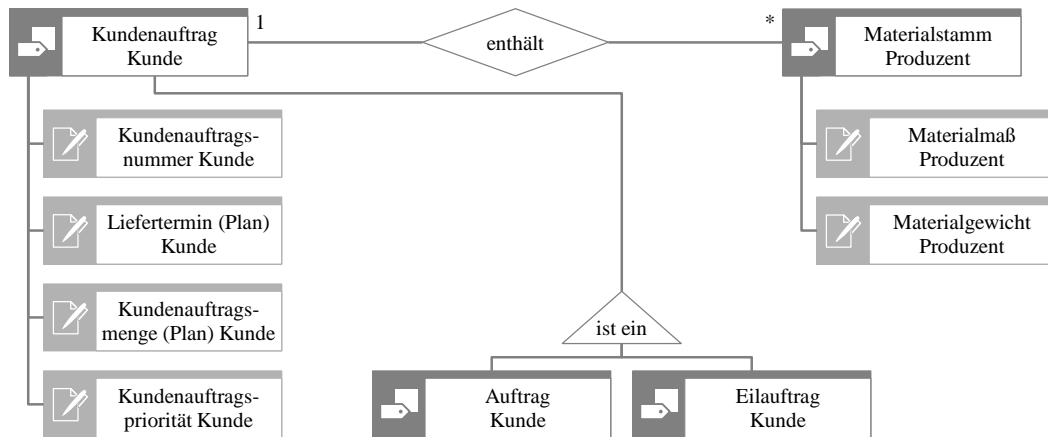


### 15.3.4 Ausschnitt des Informationsmodells


Entity	Attribut	Kategorie	Gruppe	Aufgaben der Steuerung, die Information benötigen	Netzwerkrelevanz	Netzwerkrelevanz bzgl. Steuerung	Entstehung bei Partner	Kategorie der Information (Message)	Empfänger und Aufgabe, die Information benötigen
Kundenauftrag		Bewegungsdaten	Kundenauftragsdaten	Auftragsfreigabe Ressourceneinplanung Reihenfolgebildung	Ja	Ja	Lieferant Produzent Kunde	Auftragskoordination, Auftragsüberwachung, Bestandsinformationen	Produzent (Auftragsfreigabe, Ressourceneinplanung, Reihenfolgebildung) Kunde Logistik (Auftragskoordination)
	Liefertermin (PLAN)	Bewegungsdaten	Kundenauftragsdaten	Auftragsfreigabe Ressourceneinplanung Reihenfolgebildung	Ja	Ja	Lieferant Produzent	Auftragskoordination, Auftragsüberwachung	Produzent (Auftragsfreigabe, Ressourceneinplanung, Reihenfolgebildung) Kunde Logistik (Auftragskoordination) Lieferant (Steuerung)
	Liefertermin (ST)	Bewegungsdaten	Kundenauftragsdaten	Ressourceneinplanung Reihenfolgebildung	Ja	Ja	Lieferant Produzent Logistik	Auftragsüberwachung	Produzent (Auftragsfreigabe, Ressourceneinplanung, Reihenfolgebildung) Kunde (Auftragskoordination) Logistik (Auftragskoordination)
Kundenauftragsmenge	(PLAN)	Bewegungsdaten	Kundenauftragsdaten	Auftragsfreigabe Ressourceneinplanung Reihenfolgebildung	Ja	Ja	Lieferant Produzent	Auftragskoordination, Auftragsüberwachung	Produzent (Auftragsfreigabe, Ressourceneinplanung, Reihenfolgebildung) Kunde Logistik (Auftragskoordination) Lieferant (Steuerung)
	(ST)	Bewegungsdaten	Kundenauftragsdaten	Ressourceneinplanung Reihenfolgebildung	Ja	Ja	Lieferant Produzent	Auftragsüberwachung	Produzent (Auftragsfreigabe, Ressourceneinplanung, Reihenfolgebildung) Kunde Logistik (Auftragskoordination)



### 15.3.5 Ausschnitt des ERM für einen Eilauftrag



#### Legende

 Informationsentität

 Attribut

 Beziehungen