

Modellbasierte Beurteilung der Logistikleistung von Prozessketten

Von dem Fachbereich Maschinenbau
der Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur
genehmigte
Dissertation

von

Dipl.-Ing. Dipl.-Ök. Axel Kerner
geboren am 20.03.1969 in Stuttgart

2002

Referent: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. H.-P. Wiendahl

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. U. Dombrowski

Tag der mündlichen Prüfung: 04. Februar 2002

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Ausgangssituation.....	1
1.2	Problemstellung.....	2
1.3	Aufbau und Zielsetzung der Arbeit.....	2
2	Grundlagen	4
2.1	Logistik in Produktionsunternehmen – Bedeutungswandel und Entwicklungstendenzen	4
2.2	Einordnung und Aufgaben der Produktionslogistik.....	5
2.3	Logistikleistung und Logistikkosten als Zielgrößen der produktionslogistischen Prozesskette.....	7
2.3.1	Strukturierung der logistischen Leistungen.....	7
2.3.2	Logistikkosten als Komplementärgröße der Logistikleistung.....	8
2.4	Modelle zur Beschreibung und Erklärung logistischer Prozessketten.....	10
2.4.1	Beschreibungsmodelle.....	11
2.4.2	Erklärungsmodelle.....	15
2.4.2.1	Produktionskennlinien.....	17
2.4.2.2	Transportkennlinien.....	21
2.4.2.3	Lagerkennlinien.....	25
2.4.3	Entscheidungsmodelle.....	29
3	Stand der Technik	31
3.1	Verfahren zur Erfassung und Verrechnung der Logistikkosten.....	31
3.1.1	Prozesskostenrechnung im Rahmen der Logistikkostenrechnung.....	33
3.1.2	Kostenmanagement als Aufgabe des strategischen Logistik-Controlling.....	34
3.2	Methoden zur Bewertung der Logistikleistung.....	35
3.2.1	Logistische Engpassanalyse.....	35
3.2.2	Logistisches Monitoring von Produktionsabläufen.....	36
3.2.3	Methoden des logistischen Qualitätsmanagements.....	38
3.3	Ansätze zur simultanen Messung von Logistikkosten und -leistung.....	39
3.3.1	Logistik-Kennzahlen und Logistik-Benchmarking.....	39
3.3.2	Ansätze des Prozessmanagements.....	41
3.3.3	Kostensimulation.....	42
3.3.4	Ressourcenbezogene Kostenkennlinien.....	44
3.4	Zusammenfassende Beurteilung der bestehenden Ansätze.....	45

4	Konzeption einer modellbasierten Beurteilungsmethodik von Prozessketten	49
4.1	Ziel und mögliche Einsatzgebiete der Methodik	49
4.2	Ableitung von Anforderungen an das Konzept	50
4.3	Lösungskonzept	52
4.3.1	Überblick über das Lösungskonzept	52
4.3.2	Produktionslogistische Prozessmodellierung	53
4.3.3	Messung der Logistikleistung einer Prozesskette.....	55
4.3.3.1	Kenngrößen der Logistikleistung einzelner Prozesselemente	55
4.3.3.2	Kenngrößen der Logistikleistung einer Prozesskette.....	65
4.3.4	Ökonomische Parametrierung des Prozessmodells	70
4.3.4.1	Beschreibung des Kostenmodells	71
4.3.4.2	Zuordnung der Kostenarten zu den Teilprozessen	73
4.3.5	Zusammenführung der Logistik- und Kostenwirkmodelle	83
5	Prototypische Realisierung in einem Anwendungssystem.....	102
5.1	Aufbau des Anwendungssystems	102
5.1.1	Systemarchitektur	102
5.1.2	Datenstruktur	104
5.2	Oberflächengestaltung und Systemanwendung	106
6	Beispielhafter Einsatz der Methodik und Ableitung von Gestaltungshinweisen	109
6.1	Beschreibung des Praxisfalls	109
6.2	Einsatz und Vorgehensweise der Methodik	110
6.3	Ableitung von Gestaltungshinweisen zur Steigerung der Logistikleistung.....	119
7	Schlussbetrachtung.....	122
7.1	Zusammenfassung	122
7.2	Ausblick.....	123
8	Literatur	125

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen, Einheiten und Formelzeichen

Allgemeine Abkürzungen

ARIS	Architektur Integrierter Informationssysteme
bzw.	beziehungsweise
ERP	Enterprise Ressource Planung
FIFO	First in First Out
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
i.d.R.	in der Regel
KOZ	Kürzeste Operationszeit
Lmi	leistungsmengeninduziert
Lmn	Leistungsmengenneutral
LOZ	Längste Operationszeit
PPS	Produktionsplanung und –steuerung
SBC	Simulation Based Costing
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

Einheiten

BKT	Betriebskalendertag
DM	Deutsche Mark
Einheit	Erläuterung
ME	Mengeneinheit
Min	Minuten
Std	Stunden
Stk	Stückzahl

Formelzeichen

Formelzeichen der logistischen Größen

<u>Zeichen</u>	<u>Einheit</u>	<u>Erläuterung</u>
ADA	[-]	Adaptiver Materialflussfaktor
AAP	[-]	Anzahl Arbeitsplätze

Ala	[%]	Lastfahrtenanteil
A_{\max}	[%]	maximal mögliche Auslastung
α_1	[-]	Streckfaktor
$B_{m,o}(t)$	[Std]	oberer mittlerer Bestandswert
$B_{m,u}(t)$	[Std]	unterer mittlerer Bestandswert
$BA_m(t)$	[-]	mittlerer Bestand (in Anzahl Aufträge)
BL_O	[ME]	Losbestand, hervorgerufen durch die mittlere Zugangslosgröße
BL_1	[ME]	erweiterter Grenzbestand
B_m	[Std]	mittlerer Bestand
$B_{m,s}$	[Std]	Streuung des mittleren Bestandes am Arbeitssystem
$BL(t)$	[ME]	Lagerbestand in Abhängigkeit von der Laufvariable t
BR_m	[ME/BKT]	mittlere Bedarfsrate
BR_{\max}	[ME/BKT]	maximale Bedarfsrate
C	[-]	C-Norm-Parameter
KAP_s	[Std/BKT]	Streuung der Kapazität (Standardabweichung)
$KAP_{P_{\text{Lan}}}$	[Std/BKT]	Plankapazität
L_m	[Std/BKT]	mittlere Leistung
L_{\max}	[Std/BKT]	maximal mögliche Leistung
$L_{m,u}(t)$	[Std/BKT]	untere mittlere Leistung
$L_{m,o}(t)$	[Std/BKT]	obere mittlere Leistung
$L_{m,s}(t)$	[Std/BKT]	Streuung der mittleren Leistung
LG	[-]	Leistungsgrad
LV_O	[BKT]	mittlerer Grenzlieferverszug
LV_1	[ME/BKT]	erweiterter Grenzlieferverszug
$LV(t)$	[BKT]	Lieferverszug in Abhängigkeit von der Laufvariable t
MA_{\max}^-	[ME]	max. negative Mengenabweichung (Unterlieferung)]
MB_{\min}	[Std]	idealer Mindestbestand
PPL	[BKT]	Planperiodenlänge
R_m	[BKT]	mittlere Reichweite
$R_{m,u}(t)$	[BKT]	untere mittlere Reichweite

$R_{m,o}(t)$	[BKT]	obere mittlere Reichweite
t	[-]	Laufvariable ($0 < t < 1$)
T_{Plan}	[Std]	Planstundenzahl pro Jahr
TA_s^+	[BKT]	positive Terminstreuung – verspäteter Abgang
TA_s^-	[BKT]	negative Terminstreuung – verfrühter Abgang
TA_{max}^+	[BKT]	max. positive Terminabweichung (Verzögerung)
$TAA_m(t)$	[BKT]	mittlere Abgangsterminabweichung
TBI_{min}	[min]	idealer Mindesttransportbestand
TB_m	[min]	mittlerer Transportbestand
TL_m	[min/BKT]	mittlere Transportleistung
TL_{max}	[min/BKT]	maximal mögliche Transportleistung
$X_{Ab,m}$	[ME]	mittlere Lagerabgangsmenge (Losgröße) je Abgangsereignis
$X_{Zu,m}$	[ME]	mittlere Lagerzugangsmenge (Losgröße) je Zugangsereignis
ZAU_i	[Std]	Auftragszeit je Arbeitsvorgang
ZAU_m	[Std]	mittlere Auftragszeit der Arbeitsvorgänge
ZAU_s	[Std]	Standardabweichung der Auftragszeit
ZDF_m	[Std]	mittlere Durchführungszeit
ZDF_s	[Std]	Streuung der Durchführungszeit
ZDL_m	[BKT]	mittlere Durchlaufzeit
$ZDL_{m,o}(t)$	[BKT]	mittlere obere Durchlaufzeitwert
$ZDL_{m,u}(t)$	[BKT]	mittlere untere Durchlaufzeitwert
ZDL_{Plan}	[Std/BKT]	mittlere Plan-Durchlaufzeit
$ZDL_{s,u}(t)$	[BKT]	unteres Streumaß der Durchlaufzeit am Arbeitssystem
$ZDL_{s,o}(t)$	[BKT]	oberes Streumaß der Durchlaufzeit am Arbeitssystem
ZL_i	[min]	Leerfahrtzeit eines Transportauftrags i
ZL_m	[min]	mittlere Leerfahrtdauer
ZT_i	[min]	Transportzeit des Transportauftrags i
ZT_m	[min]	mittlere Transportzeit
ZT_s	[min]	Standardabweichung der Transportzeit

$ZUE_{m,o}(t)$	[BKT]	mittlerer oberer Übergangszeitwert
$ZUE_{m,u}(t)$	[BKT]	mittlerer unterer Übergangszeitwert
WBZ	[BKT]	Wiederbeschaffungszeit

Formelzeichen der logistischen Größen eines Prozesselements

$L_{max,i}$	[Std/BKT]	maximal mögliche Leistung eines Prozesselements
$L_{m,i}(t)$	[Std/BKT]	mittlere Leistung eines Prozesselements
$TA_{i,s,o/u}$	[BKT]	obere/untere Terminstreuung eines Prozesselements
$ZDL_{i,m}$	[BKT]	mittlere Durchlaufzeit eines Produktionsprozesses
$ZDL_{i,s,o}$	[BKT]	oberes Streumaß der Durchlaufzeit eines Produktionsprozess- elements
$ZDL_{i,s,u}$	[BKT]	unteres Streumaß der Durchlaufzeit eines Produktionsprozess- elements
$ZDL_{Prozess,m}$	[BKT]	mittlere Prozessdurchlaufzeit
$ZTDL_{i,m}$	[BKT]	mittlere Durchlaufzeit eines Transportprozesses
$ZTDL_{j,s,o}$	[BKT]	oberes Streumaß der Durchlaufzeit eines Transportprozesses
$ZTDL_{j,s,u}$	[BKT]	unteres Streumaß der Durchlaufzeit eines Transportprozesses

Formelzeichen der logistischen Größen einer Prozesskette

$A_{Prozess,m}(t)$	[%]	mittlere Auslastung der Prozesskette
$TA_{Prozess,s,o}$	[BKT]	oberes Streumaß für die Terminabweichung der Prozesskette
$TA_{Prozess,s,u}$	[BKT]	unteres Streumaß für die Terminabweichung der Prozesskette
$TT_{Prozess}$	[%]	Termintreue der Prozesskette
$ZDL_{Prozess,s,o}$	[BKT]	oberes Streumaß der Prozessdurchlaufzeit
$ZDL_{Prozess,s,u}$	[BKT]	unteres Streumaß der Prozessdurchlaufzeit

Formelzeichen der betriebswirtschaftlichen Größen

D_{KAP}	[BKT]	Dauer der Kapitalbindung
DB_j	[DM]	Deckungsbeitrag eines Auftrags, der nicht bearbeitet werden kann
K_{Lohn}	[DM]	Lohnkosten
K_{Sach}	[DM]	Sachmittelkosten

K_{Personal}	[DM]	Personalkosten
K_{Wagnis}	[DM]	kalkulatorische Wagniskosten
$KBEA_{\text{var, LE}}$	[DM/Std]	variable Bearbeitungskosten je Leistungseinheit
$KBEA_{\text{fix, LE}}$	[DM/Std]	variable Bearbeitungskosten je Leistungseinheit
$KBEA_{\text{LE}}(t)$	[DM/Std]	Bearbeitungskosten je Leistungseinheit
$KBES$	[DM]	Bestandskosten
$KBES_{\text{BS}}(t)$	[DM/Std]	Bestandskosten des Umlaufbestands je Bestandsstunde
$KBES_{\text{Stück}}(t)$	[DM/Stk.]	Bestandskosten eines Artikels je Stück
$KP_{\text{EL, Stückd}}$	[DM/Stk.]	Prozesskosten je Stück des Teilprozesses Einlagern
$KP_{\text{FF, Std}}$	[DM/Std]	Prozesskosten je Stunde des Teilprozesses Fertigungsfortschritt kontrollieren
$KP_{\text{K, Stück}}$	[DM/Stk.]	Prozesskosten je Stück des Teilprozesses Kommissionieren/Bereitstellen
$KP_{\text{MB, Std}}$	[DM/Std]	Prozesskosten je Stunde des Teilprozesses Maschinenbelegung planen
$KP_{\text{TP, Std}}$	[DM/Std]	Prozesskosten je Stunde des betrachteten Teilprozesses der PPS
KR_{LE}	[DM/Std]	Rüstkosten je Leistungseinheit
p	[%]	kalkulatorischer Zinssatz
$PKS_{\text{B, fix}}$	[DM/Std]	fixer Prozesskostensatz Bearbeiten
$PKS_{\text{B, var}}$	[DM/Std]	variabler Prozesskostensatz Bearbeiten
PKS_{EL}	[DM/Vorgang]	Prozesskostensatz einer Einlagerung
PKS_{FF}	[DM/Vorgang]	Prozesskostensatzes des Teilprozesses Fertigungsfortschritt kontrollieren
PKS_{K}	[DM/Vorgang]	Prozesskostensatz des Teilprozesses Kommissionieren und Bereitstellen
PKS_{L}	[DM/Std]	Prozesskostensatz Be- und Entladen
PKS_{MB}	[DM/Vorgang]	Prozesskostensatzes des Teilprozesses Maschinenbelegung planen
PKS_{R}	[DM/Std]	Prozesskostensatz Rüsten
PKS_{TP}	[DM/Auftrag]	Prozesskostensatz des betrachteten Teilprozesses
$PKS_{\text{T, fix}}$	[DM/Std]	fixer Prozesskostensatz Transportieren

$PKS_{T,var}$	[DM/Std]	variabler Prozesskostensatz Transportieren
$V_{Behälter}$	[Stk]	Behältervolumen
W	[DM]	Wert der im Bestand liegenden Bauteile

Abstract

Die Wettbewerbsbedingungen zwingen viele Unternehmen, eine Strategie der Produktdifferenzierung zur Erfüllung der individuellen Kundenwünsche und gleichzeitig eine Strategie der Kostenführerschaft zu verfolgen. Dies und die zusätzliche Anforderung, sich über eine hohe Logistikleistung vom Wettbewerber zu differenzieren, erfordert von den Unternehmen die Ausgestaltung wirtschaftlich schlanker und logistisch leistungsstarker Prozesse.

Diese strategische Notwendigkeit ist allerdings in der Umsetzung mit systemimmanenten Problemen konfrontiert. Die gleichzeitige Erfüllung sowohl logistischer als auch wirtschaftlicher Ziele ist nicht im Sinne einer Gesamtoptimierung möglich, da die Optimierung gemäß einer Zielvorgabe zwangsläufig zur Verschlechterung der Zielerreichung der anderen Größen führt. Eine Alternative zur Optimierung ist die logistische Positionierung von Prozessketten, indem abhängig vom primären, meist marktbezogenen Ziel ein angemessener Prozessbetriebspunkt gewählt wird. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, Werkzeuge einzusetzen, die eine simultane Betrachtung von erreichbarer Logistikleistung und den dabei entstehenden Kostenwirkungen ermöglichen. Erst dann können Prozessketten gemäß der individuellen Zielvorgaben effektiv gestaltet werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, eine Methodik zu erarbeiten, die bei der Gestaltung und Planung von Fertigungsprozessketten eingesetzt werden kann, indem sie die bei einer gewählten Prozessstruktur induzierten Kosten der erreichbaren Logistikleistung gegenüberstellt. Durch das Aufzeigen vorhandener Verbesserungspotenziale können Maßnahmen abgeleitet werden, die zu einer Verbesserung der Logistikleistung der Gesamtprozesskette führen. Als grundlegendes Konzept wird ein modellbasierter Ansatz gewählt, der auf einer Prozessmodellierung der elementaren Kernprozesse der Logistik, *Produzieren*, *Transportieren* und *Lagern* gründet. Diese Prozesselemente werden auf Basis der Kennlinientheorie modelliert, die eine konsistente Beschreibung der logistischen Zielgrößen Bestand, Durchlaufzeit und Auslastung ermöglichen.

Weiter werden Berechnungsvorschriften erarbeitet, um die logistische Leistung einer aus diesen Prozesselementen zusammengesetzten Prozesskette mittels Kenngrößen beschreiben zu können. Dabei werden die mit der Prozessdurchführung induzierten Prozess- und Bestandskosten bestimmt und ein geeignetes Kostenmodell erarbeitet, um diese Kosten abbilden zu können.

Die Verknüpfung der Kosten- und Logistiksicht erfolgt danach durch die Integration der Kostenkennlinien in die logistischen Kennlinien. Hierzu werden die Verläufe der betrachteten Prozess- und Bestandskosten in eine bestandsabhängige Darstellung überführt. Die Berechnung der Modellgrößen wird durch ein prototypisch entwickeltes Anwendungssystem unterstützt. Der Einsatz der Methodik wird exemplarisch an einem Praxisfall vorgeführt.

Schlagwörter: Produktionslogistik, Prozessketten, Logistik- und Kostenkennlinien

Abstract

The global competition forces companies to pursue combined strategies of product differentiation and cost leadership to satisfy individual customer demands at reasonable prices. Additionally, it is mandatory nowadays to differentiate from competitors by providing a superior logistical performance. This requires the design of cost efficient and logistical high performance process chains.

However, implementing this strategic necessity is related to some problems. Optimising simultaneously the economic and the logistic objective is not straight forward, since both objectives are opposites of each other. Alternatively, the method of logistical positioning of process chains offers the possibility to select a suitable operating point that fulfils both objectives in a suitable way. In order to apply the logistical positioning successfully methods and tools have to be developed to control the logistical performance and the resulting costs simultaneously.

Therefore, objective of this paper is to develop a suitable method that is to be used in planning and designing cost efficient and logistical high performance manufacturing process chains by displaying the achieved logistical performance and the resulting costs. The underlying concept is to a model based approach that uses the process modelling of the logistical core processes *produce*, *transport* and *store*. Those processes are modelled using the theory of logistical characteristic curves. Those curves can be used to describe throughput time, inventory, and utilisation consistently. Moreover, key figures and rules to measure the logistical performance of process chains are developed and the resulting process and inventory carrying costs are described.

The costs and the logistical view are combined by integrating the course of the relevant costs into the logistical characteristic curves. The models and the method that have been developed in this paper are integrated into a prototypical software system that is exemplarily applied in a real live case.

Keywords: Production Logistics, Process Chains, Logistical and Economical Characteristic Curve

1 Einführung

1.1 Ausgangssituation

Der Erfolg eines Unternehmens wird durch seine Fähigkeit bestimmt, wie es seine vorhandenen Ressourcen auf strategische Weise einsetzt, um dem Wettbewerber überlegene Produkte zu entwickeln und Prozesse zu gestalten. Als Faktoren einer erfolgreichen Strategie haben sich dabei die Größen Kosten, Qualität und Zeit durchgesetzt [ROMM95]. Diese führen zu der Anforderung, qualitativ hochwertige Produkte zu niedrigen Preisen bei kurzen Durchlaufzeiten anzubieten [KAPL97].

Ein Handlungsfeld, das sich hieraus für die Unternehmen ergibt, ist die effiziente und wirtschaftliche Gestaltung der unternehmensinternen Prozesse. Für ein Produktionsunternehmen lassen sich diese in die Hauptprozesse Markterschließung/Produktentwicklung, Auftragsgewinnung, Auftragserfüllung und Service/Kundenbetreuung unterteilen. Jeder einzelne dieser Prozesse ist derart zu gestalten, so dass eine hohe Kundenzufriedenheit bei gleichzeitiger Erfüllung der wirtschaftlichen Anforderungen gewährleistet werden kann.

In diesem Zusammenhang kommt der Logistik als Querschnittsfunktion in verstärktem Maße die Aufgabe der effizienten Prozessplanung und –lenkung zu [KUMM99]. Sie steht dabei vor der Aufgabe, die internen Anforderungen nach Wirtschaftlichkeit und Produktivität mit den externen Marktanforderungen nach hoher logistischer Leistung abzugleichen, um die Prozesse individuell den Marktanforderungen entsprechend gestalten zu können [PFOH00].

Für den Hauptprozess Auftragserfüllung bedeutet dies, bereits in der Planungsphase von Investitionen Entscheidungen zu treffen, die später einen optimalen Einsatz der Ressourcen ermöglichen. Daher kommen in dieser Planungsphase zumeist Investitionsrechnungen zum Einsatz, die helfen, eine geplante Investition aus wirtschaftlicher Sicht zu beurteilen [MEIE96].

Um die Planungen auch aus logistischer Sicht abzusichern, werden in der betrieblichen Praxis zumeist einfache Planungsrechnungen und qualitative Beurteilungen auf Basis von Nutzwertanalysen eingesetzt [MEIE96]. Alternativ hierzu bietet der Einsatz der Simulationstechnik die Möglichkeit, bereits in der Planungsphase verschiedene Prozessgestaltungen in einem Probebetrieb zu untersuchen, um die logistisch beste Gestaltungsvariante auszuwählen. Die Vielzahl an Einsatzmöglichkeiten der Simulationstechnik hat ihre zunehmende Verbreitung in der betrieblichen Praxis unterstützt [MILB98, REIN00].

Um die gewählten Investitionsalternativen sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus logistischer Sicht beurteilen zu können, ist jedoch der Wirkzusammenhang zwischen diesen Zielgrößen aufzuzeigen, um bei einer Veränderung der Planung die monetären Folgen direkt bewerten zu können. Dies wird von den genannten Werkzeugen noch nicht ausreichend unterstützt.

1.2 Problemstellung

Die Schwierigkeiten, die sich bei einer Umsetzung der in der Ausgangssituation aufgezeigten Forderungen ergeben, Prozesse gemäß wirtschaftlicher und logistischer Zielvorgaben aufbauen zu können, wird in der operativen Ablaufplanung der Produktion als „Dilemma der Ablaufplanung“ bezeichnet. Dieses Dilemma ergibt sich daraus, dass es nicht möglich ist, die logistischen Ziele „kurze Durchlaufzeiten“ und „hohe Auslastung“ gleichzeitig zu optimieren [GUTE83].

Als Alternative zum Versuch, dieses Dilemma mit Optimierungsansätzen zu lösen, bietet sich die Möglichkeit an, sich situativ zwischen den genannten Zielgrößen logistisch zu positionieren [WIEN97b, NYWI99]. Hierzu müssen die Auswirkungen der gewählten Position auf die logistischen und wirtschaftlichen Ziele bekannt sein, um eine Beurteilung vornehmen zu können. Zur gezielten Veränderung der Position ist darüber hinaus die Kenntnis über das Zusammenwirken dieser Zielgrößen bei der durchgeführten Veränderung wichtig. Bislang ist aber nur eine logistische Beurteilung der Positionierungen möglich. Eine monetäre Beurteilung ist noch nicht umfassend erfolgt, da noch keine durchgängige funktionale Verknüpfung der logistischen Kenngrößen mit den durch die Logistik beeinflussten Kosten existiert.

Die unzureichenden Möglichkeiten, logistische Verbesserungen monetär zu beurteilen, führen in der Praxis zumeist dazu, dass primär die wirtschaftlichen Ziele verfolgt werden, da sie aufgrund des sehr gut entwickelten betriebswirtschaftlichen Instrumentariums der Kostenrechnung besser quantifizierbar sind. Zwar bestätigen Studien die zunehmende Bedeutung der logistischen Ziele bei der Auswahl von Lieferanten [ATKE92], dennoch zeigt sich auch, dass bei Entscheidungen des Produktionsmanagements häufig Produktivitäts- und Kostenkriterien Vorrang vor logistischen Kriterien haben [MEIE93, URBA00]. Des Weiteren verhindert das Fehlen geeigneter Methoden und Werkzeuge die Möglichkeit zur Abwägung lokaler Produktivitätsverbesserungen im Vergleich zu den wirtschaftlichen Folgen einer logistischen Gesamtprozessverbesserung.

1.3 Aufbau und Zielsetzung der Arbeit

Wie im vorangegangenen Abschnitt ausgeführt, steht die Logistik in Produktionsunternehmen immer wieder der Fragestellung gegenüber, wie Produktionsprozesse und -bereiche zu gestalten und zu planen sind, um den logistischen und wirtschaftlichen Anforderungen bestmöglich gerecht zu werden. Daher ist es das Ziel dieser Arbeit, ein methodisch fundiertes Werkzeug zu erarbeiten, das eine effektive Unterstützung bei der Beurteilung verschiedener Gestaltungsvarianten von Prozessketten bieten.

Hierzu wird eine Methodik entwickelt, um die erreichbare Logistikleistung der Prozesskette mit den dabei verursachten Prozesskosten vergleichen zu können. Dies soll den Anwender unterstützen, an den richtigen Stellen der Prozesskette anzusetzen, um entweder die Logistikleistung zu steigern oder um die induzierten Prozesskosten zu senken. Grundlage der Methodik sind Logistik- und Kostenwirkmodelle der Elemente einer Prozesskette, die einen Wirkzusammenhang zwischen der logistischen Leistung und den damit verbundenen Kosten konsistent aufzeigen und

für Entscheidungen transparent machen. Diese Modelle sind auch die Grundlage für die Beurteilung einer gesamten Prozesskette.

Hierzu wurde in Kapitel 1 die Problemstellung und die Ausgangssituation in Produktionsunternehmen dargestellt. In Kapitel 2 werden nach einem Überblick über Aufgaben der Produktionslogistik und einer Definition der Begriffe Logistikleistung und Logistikkosten die notwendigen Grundlagen der Modellierung produktionslogistischer Prozesse vorgestellt. In Kapitel 3 werden bereits vorhandene Ansätze der Produktionslogistik und der Betriebswirtschaft beschrieben, die eine Messung und Beurteilung von Logistikkosten und Logistikleistung ermöglichen. Mit einer Bewertung der dargestellten Ansätze schließt Kapitel 3.

In Kapitel 4 erfolgt die Konzeption der Logistik- und Kostenwirkmodelle, die die Grundlage zur Beurteilung von Prozessketten bildet. Hierzu wird in einem ersten Schritt eine geeignete Fertigungsprozesskette festgelegt, die im weiteren Verlauf der Arbeit als Prozessmodell abgebildet wird. Im Anschluss werden die Kenngrößen erarbeitet, die zur Quantifizierung der Logistikleistung dienen sollen. Dabei werden für die einzelnen Prozesselemente sowie das Gesamtprozessmodell Berechnungsvorschriften vorgestellt, mit welchen die logistischen Kenngrößen berechnet werden können. Danach erfolgt die Auswahl und Definition der relevanten Kostenarten, die mit dem Prozessmodell zu verbinden sind. Durch die funktionale Verknüpfung dieser Kosten mit den einzelnen logistischen Prozessmodellen entstehen Logistik- und Kostenwirkmodelle, die in ihrer Gesamtheit zur logistischen und monetären Beurteilung von Fertigungsprozessketten eingesetzt werden können. Dabei wird jedes einzelne Prozesselement der Prozesskette in seinem logistischen und monetären Verhalten beschrieben, woraus Erkenntnisse über das Verhalten der gesamten Prozesskette abgeleitet werden können. In Kapitel 5 erfolgt die Beschreibung einer prototypischen Implementierung der entwickelten Modelle in einem Anwendungssystem. Dabei werden Systemaufbau und die wesentlichen Bedienungsmöglichkeiten vorgestellt. Kapitel 6 zeigt die beispielhafte Anwendung der Beurteilungsmethode bei der Optimierung einer Fertigungsprozesskette an einem Praxisbeispiel und stellt mögliche Maßnahmen zur Steigerung der Logistikleistung vor, die mit Hilfe der Methode bewertet werden können. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick ab.

2 Grundlagen

2.1 Logistik in Produktionsunternehmen – Bedeutungswandel und Entwicklungstendenzen

Der Logistikbegriff hat in seiner über 30-jährigen Geschichte einen stetigen Bedeutungswandel durchlaufen [WEBE99, PFOH00]. Von den Ursprüngen der operativ ausgerichteten Materiallogistik ausgehend, hat sich dieser Begriff als Synonym eines Management- und Führungssystems ausgebildet, das die Leistungen in und zwischen Unternehmen zu gestalten hat. Dabei werden alle Prozessleistungen, also auch die der wertschöpfenden Prozesse, durch die Logistik koordiniert und geführt, nicht nur die logistischen Leistungen, wie Transport und Lagerung.

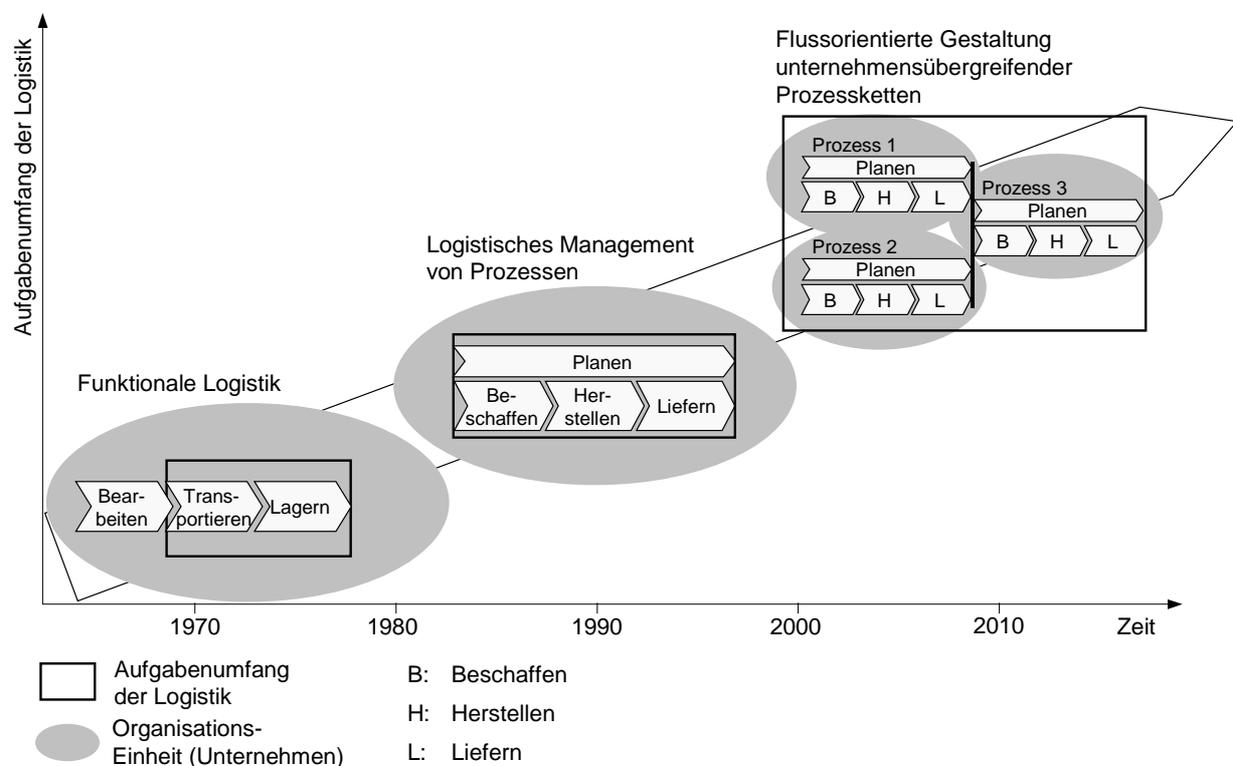


Bild 2.1: Phasen der Entwicklung des Logistikbegriffs

In **Bild 2.1** sind die wesentlichen Phasen dargestellt, die den Wandel des Begriffs Logistik zeigen. Mit fortschreitender zeitlicher Entwicklung ist ein immer größer und komplexer werdender Aufgabenumfang der Logistik festzustellen. Die erste Phase war durch die Durchführung physischer Dienstleistungen, wie Lagerungs- und Transportfunktionen gekennzeichnet. Die Zusammenfassung dieser Funktionen in einer Logistikkostenstelle erfolgte aus Gründen der Effizienz und angemessenen Auslastung der logistischen Betriebsmittel mit dem Ziel der Kostenreduzierung. Durch die notwendige Kunden- und die damit aufkommende Prozessorientierung rückte die Logistik als Koordinations- und Managementfunktion zu Beginn der 90er Jahre in den Mittelpunkt des Interesses [BAUM00]. Nicht nur die effiziente Durchführung der Teilfunktionen

sind dabei zu optimieren, sondern der gesamte Prozess der Auftragserfüllung. Die Logistik übernimmt damit auch planerische und steuernde Aufgaben, um den gesamten Waren- und Informationsfluss von den Schnittstellen zum Lieferanten bis hin zum Kunden zu koordinieren.

Die dritte, derzeit aktuelle Phase, ist durch das Auflösen der klassischen Unternehmensgrenzen und die Herausbildung durchgängiger Prozessketten und Produktions- bzw. Kompetenznetzwerke über Unternehmensgrenzen hinweg gekennzeichnet [WIEN96c]. Diese Entwicklungen werden auch durch die Nutzungsmöglichkeiten moderner Informationstechnologie stark gefördert [PFOH99]. Insbesondere durch die Einbindung der Internet-Technologie in die Prozesssteuerung wird die Logistik als Verknüpfungselement an Bedeutung gewinnen, um die Teile der Versorgungskette zu verbinden. Neben der Verknüpfung von Materialflüssen, sind auch Informationsflüsse und die Organisationsstrukturen den neu entstehenden Geschäftsmodellen anzupassen.

2.2 Einordnung und Aufgaben der Produktionslogistik

Die Produktionslogistik ist ein Teilbereich der Unternehmenslogistik, welche sich wiederum in Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik sowie Rückführlogistik unterteilen lässt. Nach *Pfohl* umfasst die Produktionslogistik „...alle Aktivitäten, die in einem Zusammenhang mit der Versorgung des Produktionsprozesses mit Einsatzgütern (Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie Halbfertigerzeugnisse und Kaufteile) und der Abgabe der Halbfertig- und Fertigerzeugnisse an das Absatzlager stehen.“ [PFOH00]. Der Gestaltungsbereich der Produktionslogistik ist daher durch das Wareneingangslager für Roh- und Fremdbezugsteile sowie dem Fertigwarenlager für fertiggestellte Produkte eingrenzbar. Sie grenzt unmittelbar an die vorgelagerte Beschaffungslogistik und die nachgelagerte Distributionslogistik an.

Die Produktionslogistik ist durch ihre enge Verzahnung mit der Produktion und damit den wertschöpfenden Aktivitäten gekennzeichnet. Daher ist oft eine klare Trennung von produktionslogistischen Aufgaben und Aufgaben der Produktion nicht ohne weiteres möglich [GUEN94]. Wird eine Trennung vorgenommen, so kann der Produktion die Aufgabe der Bereitstellung und Pflege der Kapazitäten zugeordnet werden sowie die Durchführung der eigentlichen Produktionsprozesse. Die Produktionslogistik hat die Aufgabe, die Abläufe entsprechend zu gestalten und zu steuern, so dass die bereitgestellten Kapazitäten bestmöglich genutzt werden [PFOH00]. Daher sind deren Aufgaben im wesentlichen dem planenden und steuernden Aufgabenbereich zuzuordnen. Zusätzlich übernimmt die Produktionslogistik aber auch physische Logistikaufgaben des Materialflusses, wie die Lagerung, den Transport und die geordnete Bereitstellung der Bauteile, um die Kapazitäten mit Material versorgen zu können. Der Aufgabenumfang der Produktionslogistik wird wesentlich durch die Ausprägungen der Produktionsorganisation geprägt. Die Wahl einer bestimmten Organisationsform (z.B. verrichtungsorientierte Organisation nach dem Werkstattprinzip oder ablauforientierte Organisation nach dem Flussprinzip) beeinflusst den innerbetrieblichen Materialfluss sowie die Anordnung der Puffer und Lagerorte, aber auch die notwendigen Prozesse der Produktionsplanung und -steuerung. Daher sind die Aufgaben der Produktionslogistik oft untrennbar mit den produktionsorganisatorischen Fragestellungen verknüpft.

Zur Strukturierung der Aufgaben hat sich die Einteilung nach dem Aachner PPS-Modell in vielen Arbeiten zur Produktionslogistik bewährt [LUCZ98]. Alternativ hierzu können die Aufgaben der Produktionslogistik auch aus der Prozesssicht heraus in verschiedene Teilprozesse eines Prozessmodells unterteilt werden, die bei der Auftragsabwicklung durchgeführt werden müssen. Diese Prozesssicht kann in Referenzmodellen weitestgehend standardisiert werden. In dieser Arbeit wird der Prozessdefinition gemäß der VDI-Richtlinie 4400 gefolgt, die die Aufgaben der Produktionslogistik den Hauptprozessen *Produktionsplanung und -steuerung* und *Innerbetrieblicher Transport* zuordnet [VDIP00]. Einen Überblick über die Prozesse der Produktionslogistik gemäß dieser Definition gibt **Bild 2.2**.

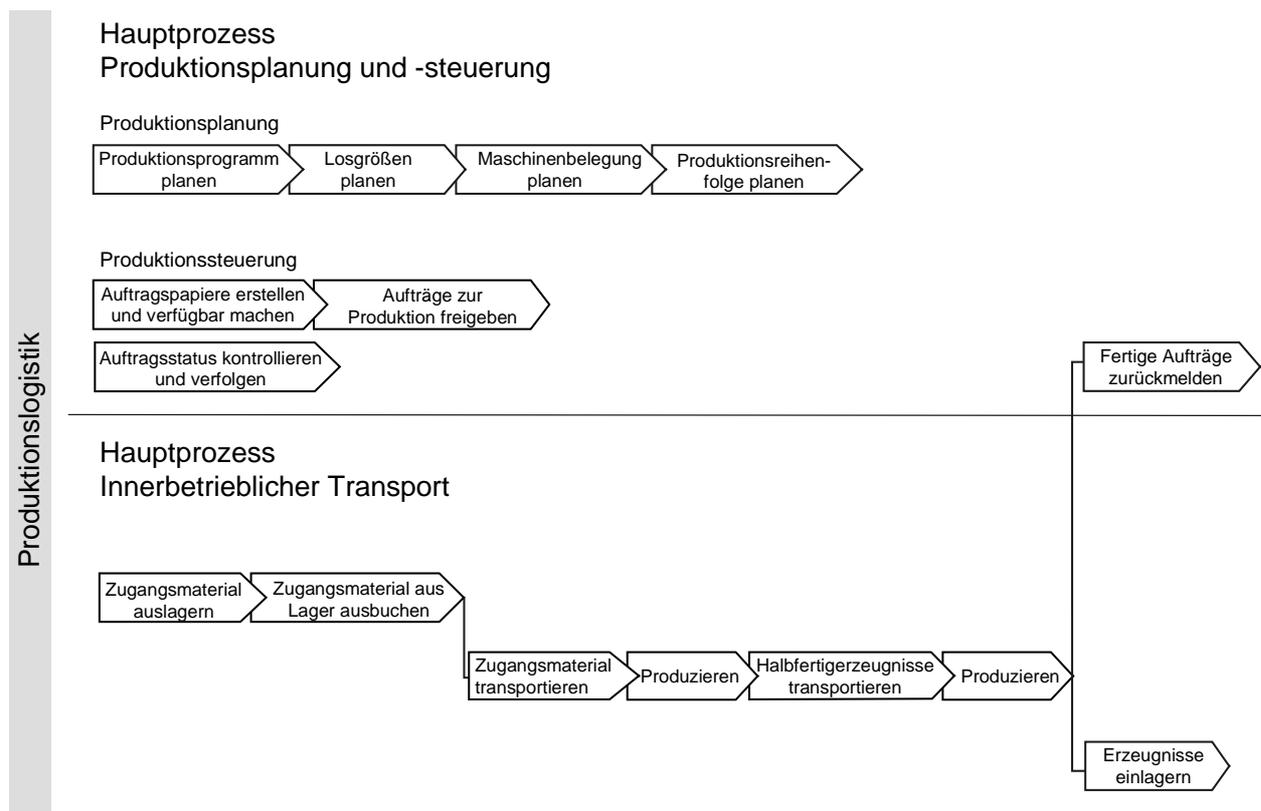


Bild 2.2: Prozessmodell der Produktionslogistik [VDIP00]

Zur zielgerichteten Gestaltung der produktionslogistischen Prozesse sind geeignete logistische Führungsgrößen zu definieren und nachfolgend soweit einer Messung zugänglich zu machen, so dass daraus Gestaltungs- und Steuerungskriterien abgeleitet werden können. Auf stark aggregierter Ebene reduzieren sich die Zielgrößen auf die zwei elementaren Größen Logistikleistung und Logistikkosten [WIEN00b, STRI00]. Diese werden in den nachfolgenden Abschnitten daher weiter vorgestellt.

2.3 Logistikleistung und Logistikkosten als Zielgrößen der produktionslogistischen Prozesskette

Der Leistungsbegriff ist in der Technik eindeutig als geleistete Arbeit pro Zeiteinheit festgelegt [DUBB97]. Als Einheit der technischen Leistung wird einheitlich die Größe *Watt* verwendet. In der Betriebswirtschaft hingegen ist im allgemeinen der Leistungsbegriff das Gegengewicht zum Begriff der Kosten [MICH89]. Die Leistung ist das Ergebnis eines Prozesses. Der dabei entstandene Güterverzehr findet Ausdruck in den Kosten. Die Einheit der Leistung im betriebswirtschaftlichen Sinne kann jedoch verschiedene Ausprägungen haben, da eine Vielzahl von Leistungen erbracht werden können, die einen Güterverzehr verursachen.

2.3.1 Strukturierung der logistischen Leistungen

Wird der Begriff Leistung auf die Logistik bezogen, so ist eine Definition der Logistikleistung ebenfalls nicht eindeutig zu beschreiben, da sie neben der physischen Leistungserbringung immer mehr eine Dienstleistungsfunktion mit unterschiedlicher Ausprägung erfüllen kann. Je nach Betrachtungsumfang der Logistik kann als logistische Leistung nur der physische Prozess im Rahmen von Transportleistungen und Lagerung von Produkten oder, darüber hinaus gehend, auch eine Koordinierung von Prozessketten zur Erfüllung der logistischen Kundenanforderungen verstanden werden [WEBE95]. Die letztere Betrachtungsweise geht von dem Verständnis des Begriffs Logistik als Managementfunktion aus, der auch dieser Arbeit zugrunde liegt (siehe Abschnitt 1.2).

Um die Logistikleistung dennoch zu bewerten, ist eine Abgrenzung und Beschreibung der einzelnen Leistungserstellungen erforderlich, die zur Durchführung des Prozesses erforderlich sind [WEBE87]. Bei der Abgrenzung von innerbetrieblichen Leistungen besteht das grundsätzliche Problem, in wie fern diese der Logistik zugerechnet werden können. Daher wurden von *Weber* verschiedene Schichten der Logistikleistung unterschieden, die für spezielle Entscheidungsprobleme relevant sind [WEBE95]. Danach kann als Logistikleistung

- die Sicherstellung der Verfügbarkeit von Ressourcen,
- die vollzogene Raum- und Zeitveränderung (Transport und Lagerung),
- der vollzogene Logistikprozess (der Transport- und der Lagerungsvorgang) oder
- die Bereitstellung der Prozesskapazität (z.B. Transport- oder Lagerkapazität)

unterschieden werden.

Die Erfassbarkeit und Messung der Logistikleistung einer Schicht muss allerdings wiederum individuell festgelegt werden. In dieser Arbeit wird unter Logistikleistung die Sicherstellung der Verfügbarkeit von Ressourcen verstanden, da diese Schicht dem Verständnis der Logistik als Managementfunktion nahe kommt [WEBE95]. Ziel ist dabei die Bereitstellung von Ressourcen, um die allgemeine Anforderung, ein Gut zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Menge am

richtigen Ort bereitzustellen, erfüllen zu können. Die Logistik übernimmt dabei die Koordination und Steuerung der Ressourcen mit dem Ziel, die vom Kunden geforderten Merkmale der kurzen und stabilen Lieferzeiten und der hohen Liefertreue sicherzustellen [PFOH00].

Zur weiteren Detaillierung der Logistikleistung wird dem Ansatz von *Wiendahl* und *Luczak* gefolgt [WIEN00b], die unter Logistikleistung die Erfüllung der folgenden Ziele verstehen:

- hohe Verfügbarkeit,
- hohe Produktivität,
- kurze Durchlaufzeit und
- hoher Lieferservice.

Unter Verfügbarkeit wird hier die Verfügbarkeit von Gütern am Beginn der Prozesskette verstanden. Ein hoher Lieferservice hingegen ist die Bereitstellung von Gütern am Markt und somit am Ende der Prozesskette. Eine hohe Verfügbarkeit und ein hoher Lieferservice sind Ziele, die sehr eng miteinander verbunden sind. Während bei der Verfügbarkeit die Eingangsgrößen des Prozesses betrachtet werden, werden beim Lieferservice die Ausgangsgrößen des liefernden Unternehmens betrachtet. Somit sind Verfügbarkeit und Lieferservice zwei Leistungsmerkmale mit gleicher Bedeutung, jedoch unterschiedlichem Bezugspunkt. Eine europaweite Studie der Unternehmensberatung A. T. Kearney hat ergeben, dass seitens der Kunden insbesondere die Merkmale Liefertermintreue und Lieferzeit als kaufentscheidende Faktoren gewertet werden [WIEN96b]. Daher muss der logistische Prozess in der Lage sein, diese Ziele gemäß den vom Markt gesetzten Anforderungen zu erfüllen.

Zur weiteren Beschreibung und Bewertung der Logistikleistung dienen die Ziele hohe Produktivität und kurze Durchlaufzeiten, wobei eine hohe Produktivität eine interne Zielgröße ist, die i.d.R. vom Kunden nicht direkt wahrgenommen wird. Die Durchlaufzeit hingegen ist eine externe Zielgröße, die durchaus als logistisches Differenzierungsmerkmal vom Markt honoriert wird. Beide Größen sind notwendig, um eine vollständige Aussage über die Logistikleistung treffen zu können.

Die genannten Zielgrößen sind noch weiter zu detaillieren, um sie einer Quantifizierung zugänglich zu machen. Die Festlegung geeigneter Kenngrößen zur Messung der Logistikleistung erfolgt in Abschnitt 4.3.3.

2.3.2 Logistikkosten als Komplementärgröße der Logistikleistung

Die Strukturierung und Erfassung der Logistikkosten unterscheidet sich nicht von den anderen Faktorkosten der Produktion, wie beispielsweise den Fertigungseinzelkosten. Auch Logistikkostenarten lassen sich in Kostenartenplänen identifizieren, wie beispielsweise die Kosten der Transportstellen in der innerbetrieblichen Leistungsverrechnung [WEBE95]. Die Erfassung dieser Logistikkostenarten erfolgt über die Bildung entsprechender Logistikkostenstellen im Kostenstellenplan.

Wenngleich es das Ziel der Arbeit ist, der erbrachten Logistikleistung die hierfür angefallenen Logistikkosten gegenüber zu stellen und damit die Wirksamkeit von logistischen Entscheidungen unter monetären Aspekten zu beurteilen, spielen die reinen Logistikkostenarten, wie sie in den Kostenstellen anfallen, nur eine untergeordnete Rolle. Eine Studie der Unternehmensberatung A. T. Kearney im Jahre 1998 ergab einen Anteil von ca. 7% des Umsatzes [MAYE99]. Doch mit zunehmender Ausweitung des Aufgabenumfanges der Logistik (siehe Abschnitt 2.1) müssen alle Kosten betrachtet werden, die im Rahmen produktionslogistischer Entscheidungen betroffen sind. *Pfohl* spricht in diesem Zusammenhang vom Gesamt- oder Totalkostendenken [PFOH00].

Welche Kostenbestandteile zusätzlich betrachtet werden müssen, zeigt **Bild 2.3**, in welchem die Zusammenhänge zwischen den Bestandteilen der Herstellkosten eines Produktes und den logistischen Zielgrößen dargestellt ist. Beispielsweise wirken logistische Veränderungen, die auf ein Erreichen niedriger Bestände und kurzer Durchlaufzeiten hinarbeiten, auch auf die Höhe der Fertigungsgemeinkosten, da ihnen die kalkulatorischen Zinsen für das im Bestand gebundene Umlaufvermögen zugerechnet werden. Einen weiteren Einfluss auf die Fertigungskosten eines Bauteils hat die Logistik im Rahmen ihrer Steuerungs- und Koordinationsfunktion, indem sie für eine angemessene Auslastung der Maschinen zu sorgen hat. Damit wirkt sie über die Dimensionierung der erforderlichen Kapazitäten auf die Höhe der Lohn- und Fertigungsgemeinkosten ein. Die Fertigungsgemeinkosten werden dabei wesentlich durch die kalkulatorischen Abschreibungen der Anlagen bestimmt. Die korrespondierende logistische Zielgröße hierzu ist eine hohe Auslastung. Eine Verbindung zwischen hoher Termintreue und den Herstellkosten besteht durch die Berücksichtigung kalkulatorischer Wagnisse. Diese Kostenart beinhaltet die Kosten, die in Form von Mehraufwendungen notwendig sind, um beispielsweise durch Eilaufträge einen vorgegebenen Termin einzuhalten.

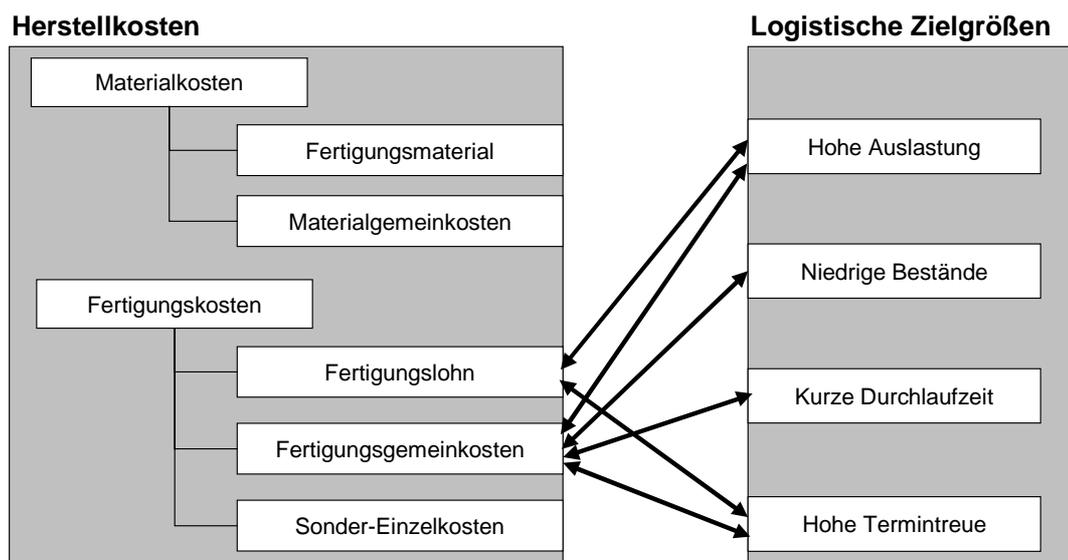


Bild 2.3: Zusammenhang zwischen den Herstellkosten und den logistischen Zielgrößen

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Kosten, die durch die Logistik induziert werden, nicht nur originäre Logistikkosten beinhalten, sondern auch weitere Kostenarten, die ebenfalls in die Herstellkosten eingehen. Die Vielfalt der logistischen Leistungen erschwert allerdings eine eindeutige und verursachungsgerechte Zuordnung der durch die Produktionslogistik entstandenen Kosten. Während die Kosten, die durch die Ausführung physischer logistischer Funktionen entstehen, einfach zu erfassen und dem Verursacher zuzuordnen sind, bestehen erhebliche Schwierigkeiten bei den durch die Koordinationsaufgaben induzierten Kostenbestandteile, also Kosten für Planungs- und Steuerungsprozesse [WEBE95]. Als Lösungsansatz wird daher von *Horváth* und anderen ein prozessorientierter Ansatz zur Erfassung der Logistikkosten vorgeschlagen [HORV99]. Dieser Ansatz wird in Abschnitt 3.1.1 erläutert.

2.4 Modelle zur Beschreibung und Erklärung logistischer Prozessketten

Im folgenden wird als Untersuchungsgegenstand eine Fertigungsprozesskette festgelegt, die es im Rahmen logistischer Gestaltungsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Erfüllung logistischer Ziele und den dabei verursachten Kosten zu beurteilen gilt. Um ein Verständnis über das prinzipielle Verhalten der Fertigungsprozesskette bei alternativen Maßnahmen zu erlangen, wird ein modellbasierter Ansatz gewählt.

Eine Fertigungsprozesskette und die von ihr erreichbare Logistikleistung wird durch die gegenseitigen Wechselwirkungen verschiedener Einflussgrößen beeinflusst. Diese Vielzahl an Abhängigkeiten und die Tatsache, dass sich ihre Ausprägungen zwischen den Bestandteilen einer Prozesskette über die Zeit hinweg verändern kann, macht die Verbesserung der Logistikleistung von Prozessketten zu einem komplexen Problem. Um die gegenseitige Wechselwirkung der Einflussgrößen und ihre Auswirkung auf die logistischen Zielgrößen beschreibbar zu machen und um weitere Erkenntnisse darüber zu erlangen, wird in der Wissenschaft der Ansatz der Abstrahierung und Vereinfachung der realen Welt durch die Modellbildung verfolgt. Die Erkenntnisse, die mit Hilfe des Modells über die Zusammenhänge erzielt werden, werden danach wieder auf die reale Welt übertragen [NYHU96a]. Nach VDI-Richtlinie 3633 ist ein Modell „...eine vereinfachte Nachbildung eines existierenden oder gedachten Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System. Es unterscheidet sich hinsichtlich der untersuchungsrelevanten Eigenschaften nur innerhalb eines vom Untersuchungsziel abhängigen Toleranzrahmens vom Vorbild.“ [VDI96].

Ein für die vorliegende Arbeit geeignetes Modell soll zum einen die Wirkbeziehungen zwischen den logistischen Zielgrößen Durchlaufzeiten, Termintreue, Bestand und Auslastung erklären können und damit die Möglichkeit zur gezielten Beeinflussung dieser Größen bieten. Zum anderen sollen die mit der Durchführung des Fertigungsprozesses und der Prozesse der Produktionslogistik verbundenen Kosten in ihrer Höhe und in ihrem Verursacher dem Modell zuordenbar sein. Daher muss das Modell geeignet sein, einen funktionalen Zusammenhang zwischen Kosten und logistischen Zielgrößen abzubilden. Darüber hinaus sollten geeignete Modelle das Aufzeigen logistischer Verbesserungspotenziale in der Prozesskette unterstützen. So wird ein zielorientier-

tes Ausschöpfen logistischer Verbesserungspotenziale und eine Bewertung der Wirkung logistischer Stellgrößen hinsichtlich der Zielerreichung möglich [MÖLL96, FAST97].

Im folgenden werden verschiedene Modelltypen, die grundsätzlich zur Abbildung produktionslogistischer Prozesse geeignet sind, vorgestellt. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit folgt die nachfolgende Beschreibung der verschiedenen Modellansätze einer Einteilung in Beschreibungs-, Erklärungs- und Entscheidungsmodelle [WÖHE93].

2.4.1 Beschreibungsmodelle

Eine einfache Form der Modellierung ist die Beschreibung empirischer Ereignisse aufgrund von Beobachtungen. Diese Art der Modelle werden daher auch als Beschreibungsmodelle bezeichnet. Charakteristisch für Beschreibungsmodelle ist, dass sie weder eine Analyse noch eine Erklärung der Ereignisse bieten. Sie können daher nicht zur Ermittlung von Ursache-Wirkungsketten herangezogen werden.

Aufgrund des in Abschnitt 1.2 beschriebenen Trends, Unternehmensabläufe und logistische Strukturen fluss- und prozessorientiert zu gestalten, wurden in der Vergangenheit eine Reihe von Modellen und darauf basierende Werkzeuge entwickelt, die beim Aufbau von Prozessorganisationen und dem Reengineering von Geschäftsprozessen unterstützen sollen. Bekannte Vertreter dieser Prozessmodelle sind die Architektur Integrierter Informationssysteme (ARIS) nach *Scheer* [SCHEE98] und das Prozesskettenmodell nach *Kuhn* [KUHN95].

Das ARIS-Prozessmodell basiert in seiner Grundform auf dem Gedanken der Petri-Netz-Modellierung. Dabei wird ein Prozess durch eine Abfolge von Tätigkeiten und deren Verknüpfung über logische Operatoren beschrieben. Durch die logischen Operatoren lassen sich UND, ODER sowie exklusive Entscheidungen XOR aufbauen. Diese grundlegenden Operatoren sind hinreichend, um Geschäftsprozesse und damit auch logistische Prozessketten zu beschreiben. Das ARIS-Prozessmodell ergänzt die Petri-Netz-Modellierung noch um weitere Sichtweisen, wie die Sicht auf die Organisations- oder die Datenstruktur. Mit Hilfe des ARIS-Prozessmodells ist eine umfangreiche und konsistente Beschreibung der Geschäftsprozesse möglich [SCHEE98].

Das Prozesskettenmodell nach *Kuhn* beschreibt einen Prozess durch die logische und chronologische Anordnung einzelner Prozesskettenelemente [KUHN95]. Eine logistische Prozesskette kann vollständig durch die Kettenelemente Produzieren / Prüfen, Transportieren und Lagern beschrieben werden. Jedes Prozesskettenelement beschreibt eine Transformation aus dem Ursprungszustand in einen Endzustand. Hierbei werden Ressourcen eingesetzt, die eine Änderung an den als Leistungsobjekte bezeichneten Attributen des Prozesskettenelements hervorrufen. Durch das Zusammenfügen der Prozesskettenelemente zu Prozessketten lassen sich auch logistische Prozesse in unterschiedlichen Detaillierungsgrade beschreiben.

Auf Basis dieser Prozessmodelle lassen sich statische Beschreibungen von Prozessen und Auftragsdurchläufen durch verschiedene Bereiche und den dabei benötigten Informationen und Res-

sources erstellen. Sie können als Standard- oder auch Referenzmodelle verwendet werden und stellen die Grundlage für Prozessoptimierungen dar, indem sie organisatorische oder informationstechnische Schnittstellen im Prozess aufzeigen. Allerdings eignen sich diese Modelle nicht, um beispielsweise die Konkurrenzsituation verschiedener Aufträge an einer Ressource und deren dynamische Wechselwirkungen abzubilden. Es lässt sich anhand dieser Modelle daher nicht das dynamische Verhalten der Prozesse bei unterschiedlichen Lastzuständen und deren Auswirkungen auf die Zielerreichung der logistischen Zielgrößen Bestand, Durchlaufzeit, Auslastung und Termintreue beschreiben. Hierzu ist eine ressourcenorientierte Betrachtungsweise notwendig.

Zur ressourcenorientierten Darstellung von Produktionsprozessen eignet sich das Trichtermodell und das daraus abgeleitete Durchlaufdiagramm [BECHT84, WIEN97c]. Das Trichtermodell geht von einer Analogiebetrachtung der Vorgänge in einem Fließprozess aus. Das Durchlaufverhalten an einer Kapazitätseinheit wird durch den Zugang, den Bestand an der Kapazitätseinheit und dem Abgang vollständig beschrieben. Eine Kapazitätseinheit kann ein Arbeitssystem, ein Arbeitsplatz oder eine Arbeitsplatzgruppe umfassen.

Die nachfolgende Beschreibung bezieht sich auf ein Arbeitssystem, kann aber auch auf andere Kapazitätseinheiten übertragen werden.

Die an einem Arbeitssystem zugehenden Fertigungslose bilden gemeinsam mit den bereits am Arbeitssystem wartenden Losen die Systemlast vor dem Trichter, wie in **Bild 2.4** auf der linken Seite dargestellt. Diese Systemlast ist der Bestand am betrachteten Arbeitssystem. Über die Trichteröffnung fließen die Lose wieder ab. Die Größe der Trichteröffnung bestimmt die Höhe des Abflusses an Losen. Die Trichteröffnung symbolisiert damit die aktuell erbrachte Leistung des Arbeitssystems. Die maximal verfügbare Kapazität wird durch die maximale Größe der Trichteröffnung begrenzt.

Werden die zu- und abgehenden Ereignisse über einen bestimmten Zeitraum hinweg verfolgt und aufgezeichnet, entsteht das Durchlaufdiagramm dieses Arbeitssystems, das sich aus einer Zugangs- und einer Abgangskurve zusammensetzt. Zu- bzw. Abgangskurven entstehen durch das kumulierte Auftragen der Arbeitsinhalte (Rüst- und Bearbeitungszeit) der zu- bzw. abgehenden Fertigungslose. Beide Kurven ermöglichen zusammen die Beschreibung des Durchlaufs von Fertigungslosen durch das Arbeitssystem. Die Zugangskurve beginnt bei einem Anfangsbestand, der zu Beginn des Betrachtungszeitraums am Arbeitssystem vorliegt. Aus der Idealisierung der Zugangskurve zu einer Geraden lässt sich die mittlere Belastung des Arbeitssystems ableiten, aus der Idealisierung der Abgangskurve die mittlere Leistung. Am Ende des Untersuchungszeitraums ergibt sich zwischen Zu- und Abgangskurve der Endbestand.

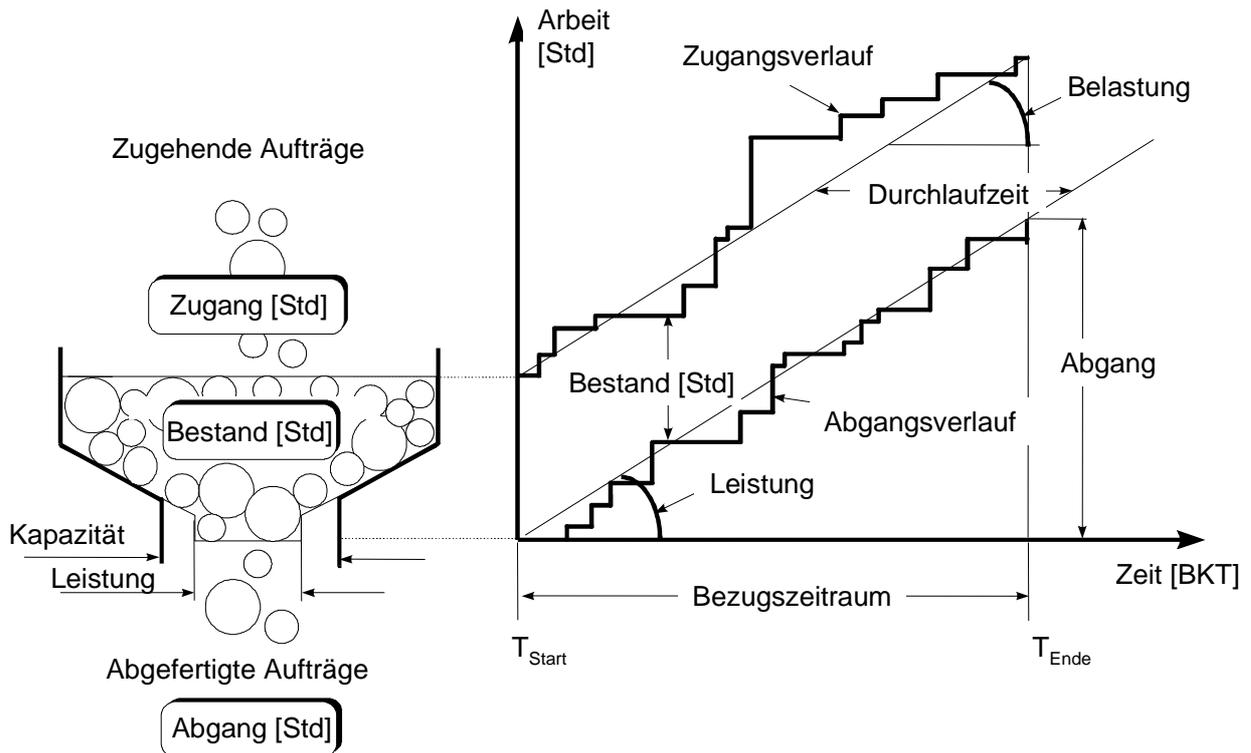


Bild 2.4: Trichtermodell und Durchlaufdiagramm [BECH84, WIEN97c]

Mit Hilfe des Durchlaufdiagramms lassen sich die logistischen Zielgrößen Bestand, Durchlaufzeit, Leistung und auch Terminabweichung visualisieren und berechnen (**Bild 2.5**).

Der vertikale Abstand zwischen Zu- und Abgangskurve ist der Bestand im System zum jeweiligen Betrachtungszeitpunkt. Der mittlere Bestand am Arbeitssystem ergibt sich, wenn die durch die beiden Kurven eingegrenzte Fläche, die Bestandsfläche, durch den Betrachtungszeitraum dividiert wird.

Die Durchlaufzeit der Arbeitsvorgänge, die am Arbeitssystem bearbeitet werden, wird durch das Einblenden von Durchlaufelementen visualisiert. Das Durchlaufelement gilt als finites Element der Logistik und wird in seiner horizontalen Dimension durch die zeitliche Differenz der Abgangs- und Zugangsmeldung eines Arbeitsvorgangs am betrachteten Arbeitssystem beschrieben. In der vertikalen Abmessung wird das Durchlaufelement durch seinen Arbeitsinhalt festgelegt.

Die Auslastung am Arbeitssystem wird durch die Überlagerung des Abgangsverlaufs mit dem Kapazitätsverlauf veranschaulicht. Das Verhältnis von Kapazität und Abgangsverlauf ergibt dann die Auslastung.

Die Darstellung der Terminabweichung erfolgt durch die Gegenüberstellung der Soll- zu den jeweiligen Ist-Terminen. Die Abweichungen zwischen den beiden Terminen können sowohl am Zugang als auch am Abgang gemessen werden und ergeben damit die Zugangsterminabweichung bzw. die Abgangsterminabweichung.

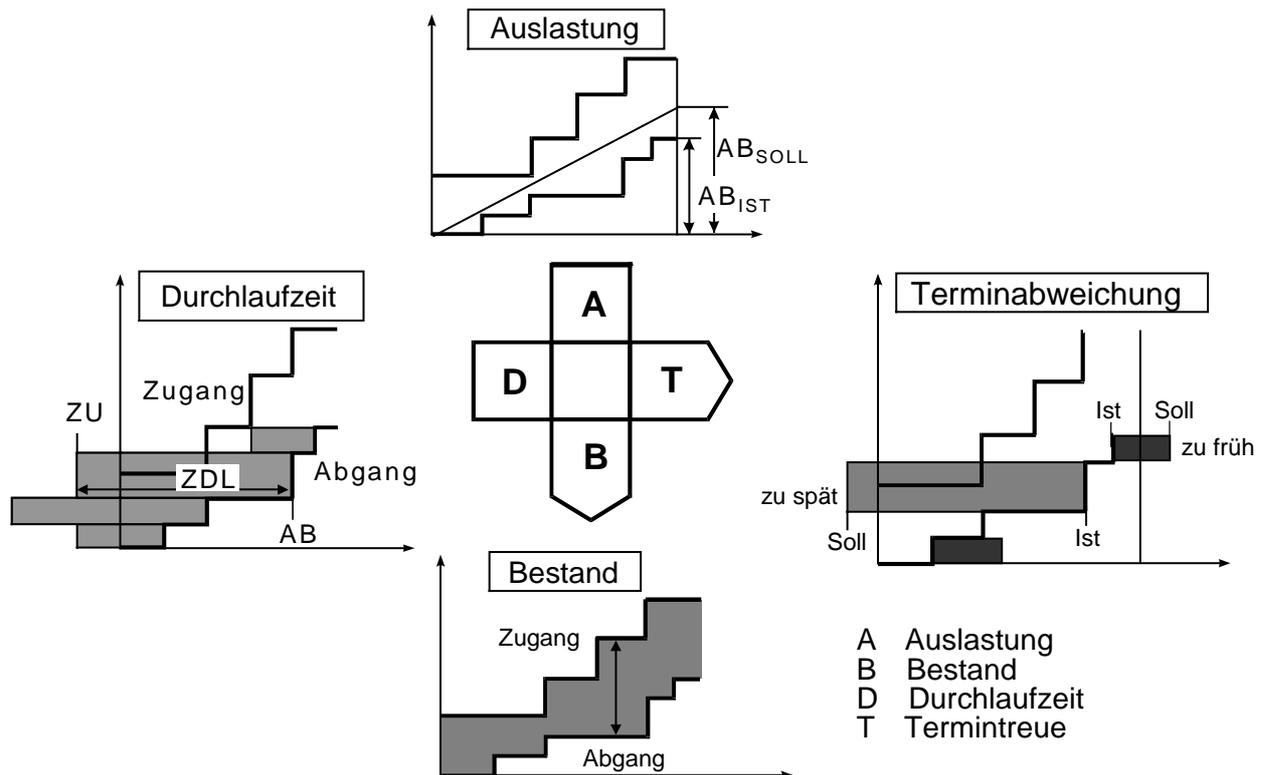


Bild 2.5: Visualisierung der logistischen Zielgrößen im Durchlaufdiagramm [WIEN97a]

Ferner kann die mittlere Leistung des Arbeitssystems eingezeichnet werden, die sich aus dem Verhältnis der abgegangenen Arbeit und dem betrachteten Untersuchungszeitraum ergibt. Die abgegangene Arbeit ist die Summe der Arbeitsinhalte der am Arbeitssystem zurückgemeldeten Arbeitsvorgänge.

Aus dem Verhältnis von mittlerem Bestand und mittlerer Leistung lässt sich die mittlere Reichweite des Arbeitssystems berechnen. Die mittlere Reichweite ist die Zeit, die ein Fertigungslos im Mittel an einem Arbeitssystem verbringt. Diese Beziehung von Bestand, Reichweite und Leistung wird auch als Trichterformel bezeichnet [NYWI99].

$$R_m = \frac{B_m}{L_m}$$

Gleichung 2.1

mit: B_m = mittlerer Bestand [Std]
 L_m = mittlere Leistung [Std/BKT]
 R_m = mittlere Reichweite [BKT]

Werden die Zu- und Abgangskurve, wie in **Bild 2.4** dargestellt, zu jeweils einer Geraden idealisiert, so entspricht die mittlere Reichweite des Bestandes am Arbeitssystem dem horizontalen Abstand zwischen den Geraden.

Durchlaufdiagramme können nicht nur zur logistischen Beschreibung von Arbeitsstationen herangezogen werden, sondern sind auch geeignet, Lagerungsvorgänge und Transportvorgänge zu beschreiben [GLÄS95, WIEN98a]. Damit wird eine durchgängige Beschreibung einer Liefer-

kette von der Bestellung beim Lieferanten bis zur Ablieferung beim Kunden möglich. Darüber hinaus können auftrags- und artikelbezogene Durchlaufdiagramme in Form von Auftragsdurchlaufdiagrammen und artikelbezogenen Durchlaufdiagrammen erstellt werden [WAHL97, FAST97]. Durchlaufdiagramme unterstützen somit verschiedene Sichtweisen und ermöglichen die Abbildung der dynamischen Vorgänge an den Ressourcen sowie die direkte Ableitung der logistischen Zielgrößen. Mit Hilfe von Durchlaufdiagrammen wird das Aufzeigen von Abweichungsursachen unterstützt. Dennoch werden die Wirkzusammenhänge zwischen den logistischen Zielgrößen nicht ausreichend beschrieben, so dass eine gezielte Beeinflussung und damit das Aufdecken von logistischen Verbesserungspotentialen nicht einfach möglich ist [NYHU96a]. Insbesondere zum Vergleich des gemessenen Zustands mit einem idealer- oder realistischerweise bestmöglichen Zustand bietet das Durchlaufdiagramm keine ausreichende Unterstützung. Es unterstützt nicht aktiv bei der Gestaltung und Bewertung von Prozessketten im Hinblick auf erschließbare logistische Verbesserungspotentiale.

Aufgrund der fehlenden Erklärung von Ursache-Wirkungszusammenhängen anhand von Beschreibungsmodellen, werden im folgenden Vertreter der Erklärungsmodelle vorgestellt.

2.4.2 Erklärungsmodelle

Die begrenzte Aussagekraft von Beschreibungsmodellen bezüglich der zugrundeliegenden Ursache-Wirkungszusammenhänge, motivierte die Entwicklung von Erklärungsmodellen. Diese zeigen die Beziehungs- und Wirkzusammenhänge zwischen den modellierten Kenngrößen auf. Sie geben damit eine Antwort auf das „Warum“ der beobachteten Zusammenhänge. Erklärungsmodelle werden auch als Prognosemodelle bezeichnet [WÖHE93].

Wiendahl und *Nyhuis* unterscheiden die Erklärungsmodelle weiter in deduktiv und experimentell erstellte Modelle und beschreiben als wichtige Vertreter der deduktiven Modellbildung das Warteschlangenmodell und als Vertreter der experimentellen Modelle die Simulation [NYWI99]. Als eine Kombination des experimentellen als auch des deduktiven Weges werden nachfolgend die logistischen Kennlinien vorgestellt.

Simulation ist die „Nachbildung eines dynamischen Prozesses in einem Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind“ [VDI96]. Die Simulationstechnik wird in verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen angewandt, um mit ihrer Hilfe die komplexen und zeitabhängigen Wirkbeziehungen realer Systeme im Rechner nachzubilden und Erkenntnisse über die Zusammenhänge zu erhalten. Für die Nachbildung von logistischen Systemen und Prozessketten wird zumeist die Ablaufsimulation eingesetzt [MILB98]. Mit ihrer Hilfe lassen sich Fabrikstrukturen, Logistik- und Materialflüsse sowie Produktionssysteme abbilden und die Auswirkungen von Veränderungen auf die logistischen Ziele bewerten. Derzeit gibt es bereits eine Vielzahl an Anwendungsbeispielen für den Einsatz der Simulationstechnik bei der Lösung logistischer Gestaltungs- und Entscheidungsprobleme [MEIE95, BIET94, SCHO95]. Aufgrund der zunehmend einfacheren Modellbildung und verbesserten Anwendungsfreundlich-

keit moderner Simulationssysteme ist auch in Zukunft mit einer steigenden Zahl des Simulationseinsatzes bei unternehmerischen und produktionslogistischen Entscheidungen, z.B. über notwendige Investitionen oder Änderungen der Ablaufstruktur, zu rechnen [MILB98]. Dennoch ist der Einsatz der Simulationstechnik weiterhin an einen hohen Aufwand zur Modellvalidierung und zum Modelltest gebunden, da die Ergebnisse nicht verallgemeinert und für jeden Anwendungsfall ein neues Simulationsmodell zu erstellen und zu überprüfen ist. Darüber hinaus bilden Simulationsmodelle nur den modellierten Zustand ab, geben aber keine Auskunft über mögliche logistische Verbesserungspotenziale oder mögliche Grenzwerte, die das untersuchte System erreichen kann. Durch die Kopplung der Simulation mit Monitoringsystemen soll dieser Nachteil vermieden werden [WIEN00e].

Simulationsmodelle, basierend auf der Warteschlangentheorie, erfüllen ebenfalls die oben angeführte VDI-Definition eines Simulationsmodells. Im Gegensatz zur Ablaufsimulation werden diese Modelle allerdings als analytische Simulationsmodelle bezeichnet, da sie nicht auf Einzelereignissen basieren, sondern auf der Bildung und Auflösung mathematischer Gleichungssysteme [REIN00]. Die Warteschlangentheorie ist ein Teilgebiet der Operation Research (OR), mit deren Hilfe das Ankunfts- und Abfertungsverhalten einer Ressource, auch Bedienstation genannt, einer mathematischen Beschreibung zugänglich gemacht wird. Hierbei werden statistische Verteilungen zur mathematischen Modellierung eingesetzt. Ein Großteil der Forschung in der Theorie der Warteschlangen erfolgte und erfolgt immer noch in den USA. Dort werden zur Lösung produktionswirtschaftlicher Fragestellungen traditionell mathematische Verfahren des OR eingesetzt [HOPP96]. In Deutschland wird Forschung zu den Warteschlangen hauptsächlich an der technischen Universität Karlsruhe unter dem Begriff der Bedientheorie geleistet [ARNO95]. Dort wurden auch Einsatzmöglichkeiten der Warteschlangentheorie in Bezug auf produktionslogistische Fragestellungen erarbeitet [GREI97, RALL98].

Es existieren eine Vielzahl möglicher Ausprägungen der Warteschlangenmodelle, die sich in ihrer mathematischen Beschreibung des Zugangs- und Abgangsverhalten sowie der Anzahl paralleler Abfertigungsplätze unterscheiden. Einer Untersuchung von *Lorenz* zufolge wird für eine Modellbildung mit Hilfe der Warteschlangentheorie von zufallsverteilten, von einander und von der Abfertigung unabhängigen Ankunftsrate ausgegangen. Diese Anwendungsvoraussetzungen sind der Untersuchung zufolge aber in Produktionsabläufen nicht gegeben und daher konnte keine Ausprägung des Warteschlangenmodells ermittelt werden, um ein realitätsnahes Modell zu bilden [LORE84].

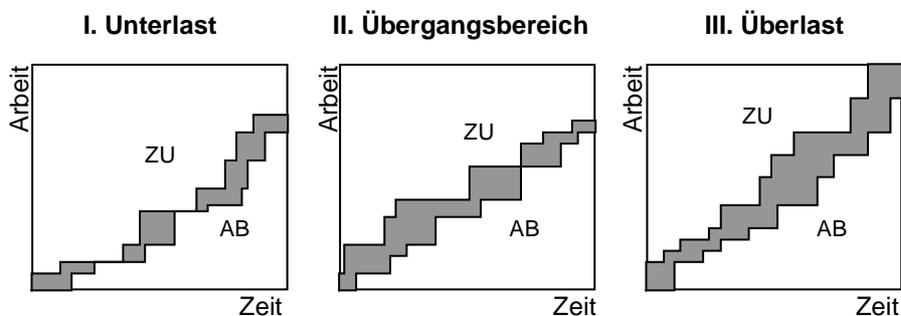
Logistische Kennlinien sind Erklärungsmodelle, die auf deduktivem und experimentellen Weg ermittelt wurden. Die ersten Ansätze zur Ableitung der Kennlinien wurden mittels Simulationsexperimenten gewonnen. Dabei wurden die Ergebnisse der Simulationsläufe bei verschiedenen Lastzuständen zu Kennlinien verdichtet. Anhand dieser Kennlinien lassen sich die logistischen Zielgrößen bei Veränderungen von Eingangsparametern aufzeigen. In darauf folgenden Forschungsarbeiten gelang der Ansatz, logistische Kennlinien unter idealisierten Bedingungen analytisch zu beschreiben. Diese Kennlinien werden daher als „ideale Kennlinien“ bezeichnet.

Durch schrittweise Auflösung der Idealisierungsannahmen wurden mathematische Näherungslösungen abgeleitet, um reale Abläufe beschreiben zu können. Diese Näherungslösungen werden durch einige wenige charakteristische Eingangsgrößen beeinflusst.

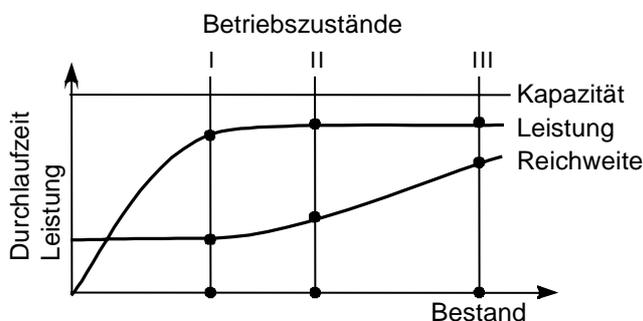
Derzeit existieren Erklärungsmodelle auf der Basis von logistischen Kennlinien für Produktions-, Lagerungs- und Transportprozesse [NYWI99, WIEN00c]. Damit lassen sich logistische Prozessketten durchgängig beschreiben. Diese Modelle werden nachfolgend mit ihren charakteristischen Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten vorgestellt.

2.4.2.1 Produktionskennlinien

Die Beschreibung des Abarbeitungsverhaltens eines Arbeitssystems erfolgt mit Hilfe der Produktionskennlinie. Die Entstehung einer Produktionskennlinie kann anhand des Durchlaufdiagramms eines Arbeitssystems erläutert werden, indem das Arbeitssystem bei verschiedenen stationären Betriebszuständen betrachtet wird (**Bild 2.6**). Jeder Betriebszustand ist durch ein bestimmtes Bestandsniveau gekennzeichnet. Zustand I entspricht einem Unterlastbereich. Die durch fehlende Fertigungsaufträge (zu geringer Bestand) zeitweise auftretenden Arbeitsunterbrechungen führen im Mittel zu einer geringeren Leistung des Systems. Im Zustand II sind Zu- und Abgang so aufeinander abgestimmt, dass bestandsbedingt kaum noch Leistungseinbußen auftreten (Übergangsbereich). Der Zustand III beschreibt den Überlastbereich. Hier wird unter Inkaufnahme eines extrem hohen Bestandsniveaus die maximal mögliche Leistung erbracht.



a) Betriebszustände an einem Arbeitssystem



b) Darstellung der Betriebszustände in Produktionskennlinien

Bild 2.6: Ableitung der Produktionskennlinie aus dem Durchlaufdiagramm [ULLM83]

Im unteren Teil von **Bild 2.6** sind für die drei Betriebszustände die resultierenden Leistungen und Reichweiten in Abhängigkeit vom Bestand aufgetragen. Werden die einzelnen Betriebszustände um weitere Messpunkte ergänzt und verbunden, entsteht die charakteristische Form einer Produktionskennlinie. Diese setzt sich aus der Leistungskennlinie und verschiedenen Durchlaufzeitkennlinien zusammen.

Anhand des Verlaufs der Leistungskennlinie wird deutlich, dass sich die abgehende Leistung des Arbeitssystems asymptotisch einem Grenzwert nähert. Dieser Grenzwert ist bestenfalls die zur Verfügung stehende maximale Kapazität des Arbeitssystems, die nur unter bestimmten Ausgangsvoraussetzungen erreicht werden kann, wie im folgenden noch gezeigt wird. Andernfalls ist der Grenzwert die maximal mögliche Leistung des Arbeitssystems, die kleiner als die maximal mögliche Kapazität ist. Weiter ist erkennbar, dass das Erreichen des Leistungsgrenzwertes bei einem bestimmten Bestandsniveau erfolgt (Zustand II). Oberhalb dieses Bestandsniveaus ändert sich die Leistung unmerklich (Zustand III), unterhalb dieses Bestandsniveaus kann es zu Arbeitsunterbrechungen und damit zu Leistungseinbußen kommen (Zustand I). Im Extremfall sinkt die Leistung auf Null, wenn keine Fertigungsaufträge im Arbeitssystem vorhanden sind.

Die Reichweitenkennlinie visualisiert den Zusammenhang zwischen Bestand und Leistung des Arbeitssystems, der mathematisch auch anhand der Trichterformel (Gleichung 2.1) ermittelt werden kann. Oberhalb des Übergangsbereichs (Zustand II) steigt die Reichweite proportional zum Bestand an (Zustand III). Unterhalb dieses Bereichs strebt die Reichweitenkennlinie mit abnehmendem Bestand gegen einen Minimalwert. (Zustand I). Dieser Minimalwert für die mittlere Reichweite stellt einen Grenzwert dar, der nicht unterschritten werden kann. Dieser Grenzwert für die Reichweite setzt sich aus der Durchführungszeit (Auftragszeit dividiert durch die Tageskapazität) und evtl. prozessbedingten Liegezeiten (z.B. Abkühlen nach einer Wärmebehandlung) sowie der Transportzeit zusammen.

Diese grundsätzliche Form der Produktionskennlinie gilt für jedes Arbeitssystem. Jedoch wird ihre spezifische Struktur durch die individuellen Parameterausprägungen eines Arbeitssystems beeinflusst. Die ursprünglichen Erkenntnisse über die Wirkzusammenhänge von Produktionskennlinien wurden auf simulativem Wege ermittelt. *Nyhuis* ist es jedoch gelungen, ausgehend von einer idealisierten Produktionskennlinie, eine mathematische Näherung zur Berechnung der Reichweiten- und Leistungskennlinie zu formulieren [NYHU91].

Ausgangspunkt des mathematischen Modells bildet eine idealisierte Betrachtung der Abläufe an einem Arbeitssystem. Dabei wurde u.a. angenommen, dass die Bearbeitung eines Fertigungsauftrags sofort nach seinem Eintreffen am Arbeitssystem beginnen kann, das Arbeitssystem kontinuierlich über einen eigenen Bestandspuffer mit Arbeit versorgt wird [NYWI99]. Somit wird im Idealzustand immer nur ein Fertigungsauftrag an das System freigegeben, sobald sein Vorgänger das System verlassen hat.

Zur Aufrechterhaltung der Vollausslastung des Arbeitssystems muss dann immer nur genau ein Fertigungsauftrag, der gerade bearbeitet werden kann, im Bestand des Systems gehalten werden.

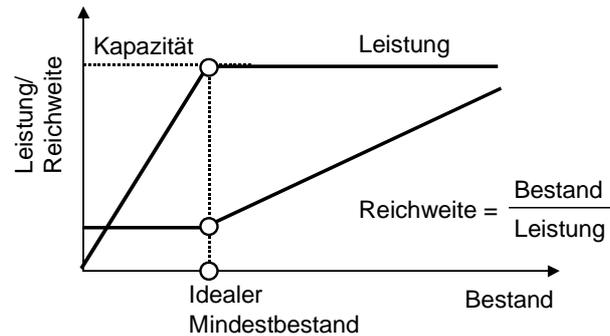
Der Bestand ergibt sich aus dem Arbeitsinhalt des in Arbeit befindlichen Auftrags. Wird das Arbeitssystem über eine bestimmte Periode in dieser Weise betrieben, so ergibt sich der ideale mittlere Bestand, auch als idealer Mindestbestand bezeichnet, aus dem Mittelwert der Arbeitsinhalte der in dieser Periode bearbeiteten Fertigungsaufträge, wie in Gleichung 2.2 dargestellt. Alternativ kann der ideale Mindestbestand auch in Abhängigkeit vom Mittelwert und der Standardabweichung der Auftragszeit beschrieben werden. Die mittlere Transportzeit muss nur berücksichtigt werden, wenn der Transportvorgang in der Produktionskennlinie abgebildet werden soll und wenn während dieser Zeit Bestand gebunden wird.

$$MB_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^n (ZAU_i \cdot ZAU_i)}{\sum_{i=1}^n ZAU_i} + ZTR_m = ZAU_m + \frac{ZAU_s^2}{ZAU_m} + ZTR_m \quad \text{Gleichung 2.2}$$

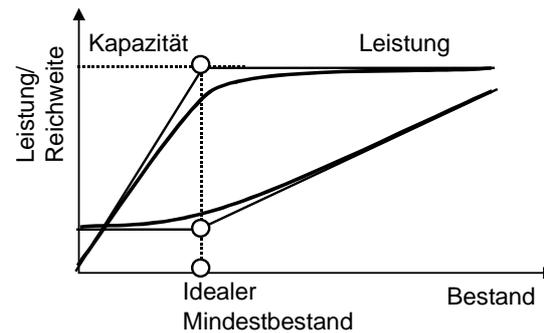
mit:	MB_{\min}	=	idealer Mindestbestand [Std]
	n	=	Anzahl Arbeitsvorgänge [-]
	ZAU_i	=	Auftragszeit je Arbeitsvorgang [Std]
	ZAU_m	=	mittlere Auftragszeit der Arbeitsvorgänge [Std]
	ZAU_s	=	Standardabweichung der Auftragszeit [Std]
	ZTR_m	=	mittlere Transportzeit zwischen zwei Arbeitsvorgängen [Std]

Da der ideale Mindestbestand im Punkt des Erreichens der Vollaustattung und damit der maximalen Leistung des Systems liegt, muss als weitere wichtige Größe die maximal mögliche Leistung des Systems bestimmt werden. Die maximal mögliche Leistung wird aus dem restriktiven Kapazitätsfaktor, Personal- oder Maschinenkapazität, abgeleitet. Zur Bestimmung der maximal möglichen Leistung sind von der elementaren Betriebsmittelverfügbarkeit die Zeiten abzuziehen, die die Verfügbarkeit reduzieren, wie Störungszeiten, Wartung, Urlaub, Krankheit, etc. [NYWI99]. Die verbleibende maximal mögliche Leistung wird nur noch durch bestandsabhängige Verluste reduziert.

Auf Basis des idealen Mindestbestands und der maximal möglichen Leistung lässt sich eine ideale Kennlinie beschreiben (**Bild 2.7, oberer Teil**). Ist der mittlere Bestand im System größer als BI_{\min} , so bleibt die Leistung konstant und entspricht der maximalen Leistung des Systems. Wird der Mindestbestand unterschritten, so kommt es zu Leistungseinbußen, die proportional zur Bestandsveränderung sind.



a) Verlauf idealer Produktionskennlinien



b) Verlauf realer Produktionskennlinien

Bild 2.7: Verlauf einer idealen und realen Leistungs- und Reichweitenkennlinie
(nach [NYWI99])

Die zuvor getroffenen Annahmen bei der Erstellung einer idealisierten Kennlinie sind in der Praxis nur selten anzutreffen. Insbesondere bei vernetzten Materialflüssen, wie bei der Werkstattfertigung kommt es zu unregelmäßigen Auftragszugängen und dynamisch entstehenden Engpässen. Diese Bedingungen bewirken ein Abweichen der in der Praxis gemessenen Betriebspunkte von der idealen Kennlinie. Insbesondere liegt kein definierter Abknickpunkt der Leistungs- und Reichweitenkennlinie bei einem idealen Mindestbestand vor, sondern ein Abknickbereich. Dies bedeutet auch, dass in der Praxis ein höherer Bestandswert am Arbeitssystem vorliegen muss, um Leistungseinbußen zu vermeiden (**Bild 2.7, unterer Teil**).

Durch die zuvor bestimmten Werte für MB_{\min} und L_{\max} wird die reale Kennlinie einfach beschrieben und ist nur noch von einem weiteren endogenen Strukturparameter, dem Streckfaktor α_1 abhängig. Dieser Streckfaktor wird im wesentlichen durch das Zugangverhalten der Fertigungsaufträge und die Kapazitätsflexibilität des Arbeitssystems zur Anpassung an die Belastung beeinflusst. Bei geringer bis hoher Belastungsstreuung und hoher Kapazitätsflexibilität wird ein Standardwert von 10 für α_1 vorgeschlagen, der auf einer Reihe von Simulationsuntersuchungen von Werkstattfertigungen basiert [NYWI99]. Für höhere Belastungsstreuungen bei geringerer Kapazitätsflexibilität wird ein Wert von 30 für den Streckfaktor vorgeschlagen.

Anhand der Erkenntnisse aus den idealen Kennlinien und Simulationsuntersuchungen zur Erstellung realer Kennlinien, gelang es, Näherungsgleichungen zur mathematischen Beschreibung realer Leistungskennlinien abzuleiten. Diese lässt sich wie folgt angeben:

$$B_m(t) = BI_{\min} \cdot \left(1 - \left(1 - \sqrt[4]{t}\right)^4\right) + MB_{\min} \cdot \alpha_1 \cdot t$$

$$L_m(t) = L_{\max} \cdot \left(1 - \left(1 - \sqrt[4]{t}\right)^4\right)$$

Gleichung 2.3

mit:	$B_m(t)$	=	mittlerer Bestand [Std]
	MB_{\min}	=	idealer Mindestbestand [Std]
	α_1	=	Streckfaktor [-]
	$L_m(t)$	=	mittlere Leistung [Std/BKT]
	L_{\max}	=	maximal mögliche Leistung [Std/BKT]
	t	=	Laufvariable ($0 \leq t \leq 1$)

Eine genaue Herleitung der Gleichung 2.3 und der relevanten Parameter ist in [NYHU91, NYWI99] zu finden.

Die Reichweitenkennlinie kann durch Anwendung der Trichterformel (Gleichung 2.1) auf einfache Weise zu jedem Leistungs- und Bestandswert ermittelt werden. Damit ist die Produktionskennlinie mit Leistungs- und Reichweitenkennlinie vollständig mathematisch beschreibbar.

Durch die Möglichkeit zur einfachen Berechnung der Produktionskennlinien kann sie in vielen Fällen zur Entscheidungsunterstützung bei produktionslogistischen Fragestellungen eingesetzt werden. Neben dem Einsatz zum Produktionscontrolling [ULLM93] sind auch Anwendungen im Rahmen der Fabrikplanung [MÖLL96], der Bewertung von Simulationsergebnissen [SCHO95, MEIE95] und zur Parametereinstellung von PPS-Systemen [JAEG00] sowie zur Steuerung der Auftragsfreigabe [WIEN97b] bekannt. Darüber hinaus ist sie Bestandteil eines methodischen Ansatzes zur Bewertung, Diagnose und Verbesserung der logistischen Leistung von Produktionsprozessen [LUDW94, WIEN98c] sowie des logistischen Qualitätsmanagements [TRAC97, WIEN96b].

2.4.2.2 Transportkennlinien

In Analogie zur Beschreibung eines Bearbeitungsvorgangs mit Hilfe der Produktionskennlinie, lässt sich das Verhalten eines Transportsystems durch eine Transportkennlinie logistisch beschreiben.

Transportprozesse sind dann von Bedeutung, wenn sie Gegenstand von Rationalisierungsmaßnahmen sein sollen oder wenn sie aufgrund ihrer langen Transportzeiten signifikant die Bestandsbildung in der Prozesskette beeinflussen. Wenn Transportprozesse und -systeme nur eine untergeordnete Bedeutung bei der Gestaltung von Lieferketten zukommen, dann können Transportzeiten in den Produktionskennlinien vereinfacht berücksichtigt werden, wie in Abschnitt

2.4.2.1 beschrieben, so dass ihre Modellierung nicht explizit erfolgen muss. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich allerdings auf den Fall, dass Transportsysteme Gegenstand des Interesses sind und daher ihr Verhalten logistisch zu beschreiben ist.

Die charakteristische Form der Transportkennlinie sowie ihre Herleitung aus dem Transportdurchlaufdiagramm und die näherungsweise mathematische Beschreibung ist im Grundverlauf ähnlich der Produktionskennlinie (Abschnitt 2.4.2.1), so dass an dieser Stelle nur auf die Besonderheiten des Transportprozesses eingegangen wird.

Das finite Element zur Beschreibung eines Transportprozesses ist das Transportdurchlaufelement, das alle Zeitanteile eines Transportauftrags umfasst (**Bild 2.8**).

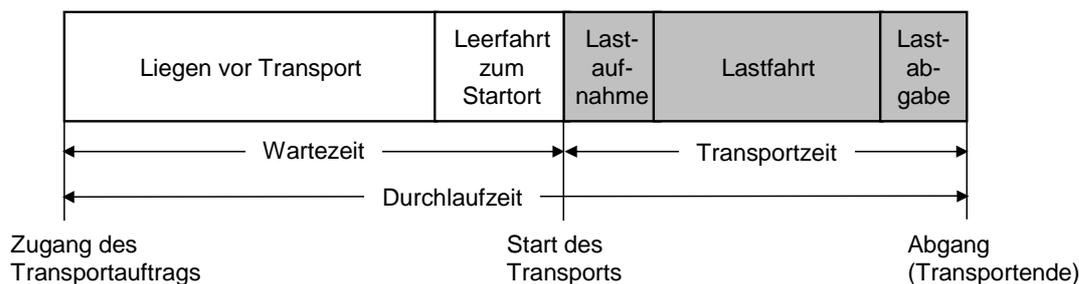


Bild 2.8: Zeitanteile eines Transportdurchlaufelements [nach WIEN00c]

Das Transportdurchlaufelement setzt sich aus der eigentlichen Transportzeit und der Wartezeit zusammen. Die Transportzeit wiederum besteht aus den Zeiten der Lastaufnahme und –abgabe sowie der Zeit für den Transport. Die Liegezeit vor dem Transport und die Leerfahrt zum Startort bilden die Wartezeit. Ist die Auslastung des Transportmittels gering und jeder anstehende Transportauftrag kann durchgeführt werden, entfällt die Liegezeit vor dem Transport, so dass die Transportdurchlaufzeit nur noch aus der Transportzeit und der Leerfahrtzeit zum Startort besteht.

Die Herleitung einer Transportkennlinie erfolgt ebenfalls anhand einer idealisierten Kennlinie, aus der nachfolgend eine Näherungslösung für die reale Kennlinie abgeleitet wird. Eine wichtige Eingangsgröße zur Bestimmung einer Transportkennlinie ist der ideale Mindesttransportbestand, der den minimalen Transportbestand, bei dem noch eine maximale Transportleistung erreicht werden kann, beschreibt. Dieser wird analog der Bestimmung des idealen Mindestbestands (Gleichung 2.2) der Produktionskennlinie folgendermaßen bestimmt:

$$TBI_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^n (ZT_i + ZL_i) \cdot ZT_i}{\sum_{i=1}^n ZT_i + ZL_i} \approx ZT_m + \frac{ZT_s^2}{ZT_m} \cdot ALa \quad \text{Gleichung 2.4}$$

mit: ALa = Lastfahrtenanteil [%]
 TBI_{\min} = idealer Mindesttransportbestand [min]
 ZL_i = Leerfahrtzeit eines Transportauftrags i [min]

ZT_i	=	Transportzeit des Transportauftrags i [min]
ZT_s	=	Standardabweichung der Transportzeit [min]
n	=	Anzahl Transportaufträge [-]

Der Lastfahrtenanteil gibt an, welche Zeit ein Transportmittel im Mittel für die Transportzeit benötigt. Er wird auf die folgende Weise bestimmt:

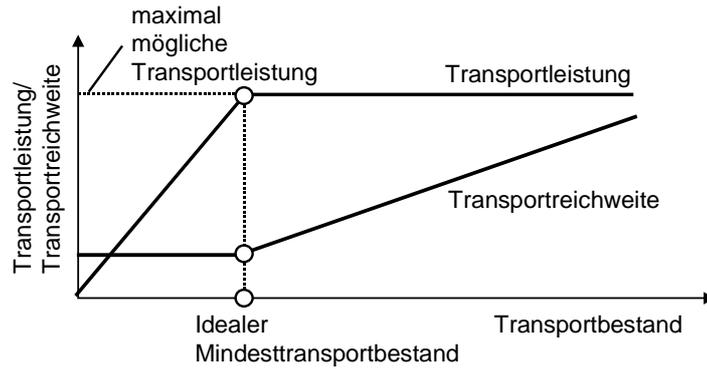
$$ALa = \frac{ZT_m}{ZT_m + ZL_m} \quad \text{Gleichung 2.5}$$

mit:	ZT_m	=	mittlere Transportzeit [min]
	ZL_m	=	mittlere Leerfahrtdauer [min]

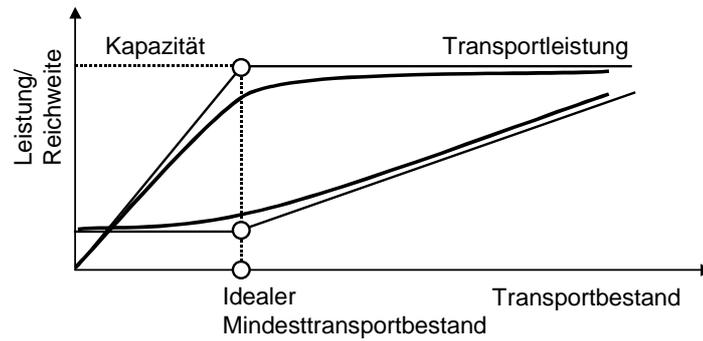
Die mittlere Transportzeit lässt sich aus einer Transportmatrix und den Transportzeiten ermitteln. Zur Bestimmung der mittleren Leerfahrtdauer ist die Wahrscheinlichkeit zu ermitteln, mit der ein Zielort eines Transportauftrags der Startort eines weiteren Auftrags ist. Die Vorgehensweise zur Ermittlung ist in [WIEN00c] angegeben.

Eine weitere wichtige Größe zur Erstellung einer Transportkennlinie ist die maximal mögliche Transportleistung. Diese wird ebenfalls analog dem Vorgehen zur Bestimmung der maximalen Leistung eines Arbeitssystems bestimmt.

Mittels des idealen Transportmindestbestands und der maximal möglichen Transportleistung lässt sich die ideale Transportkennlinie erstellen. In **Bild 2.9** ist eine ideale Kennlinie mit den charakteristischen Werten eingezeichnet. Die Kennlinie der Transportleistung verläuft analog der idealen Leistungskennlinie eines Arbeitssystems. Die Kennlinie der Transportreichweite ergibt sich ebenfalls analog der Reichweite eines Arbeitssystems durch die Anwendung der Trichterformel (Gleichung 2.1). Ebenfalls eingezeichnet in Bild 2.9 ist eine reale Transportkennlinie, die sich aus realer Transportleistungskennlinie und realer Transportreichweitenkennlinie zusammensetzt.



a) Verlauf idealer Transportkennlinien



b) Verlauf realer Transportkennlinien

Bild 2.9: Ideale und reale Transportkennlinien

Die reale Transportleistungskennlinie kann wie folgt berechnet werden:

$$TB_m(t) = TBI_{\min} \cdot \left(1 - \left(1 - \sqrt[4]{t}\right)^4\right) + TBI_{\min} \cdot \alpha_1 \cdot t$$

$$TL_m(t) = TL_{\max} \cdot \left(1 - \left(1 - \sqrt[4]{t}\right)^4\right)$$

Gleichung 2.6

mit:	TB_m	=	mittlerer Transportbestand [min]
	TBI_{\min}	=	idealer Mindesttransportbestand [min]
	α_1	=	Streckfaktor [-]
	TL_m	=	mittlere Transportleistung [min/BKT]
	TL_{\max}	=	maximal mögliche Transportleistung [min/BKT]
	t	=	Laufvariable ($0 \leq t \leq 1$)

Die Berechnung der Näherungsformel erfolgt analog der Berechnung der Näherungsformel der realen Produktionskennlinie, so dass hier nicht weiter darauf eingegangen wird. Für den Streckfaktor ist derzeit nach [WIEN00c] noch kein Standardwert bestimmbar. Allerdings wird davon ausgegangen, dass er höher liegt als der Streckfaktor bei Arbeitssystemen. Dies liegt zum einen an den hohen Belastungsschwankungen der Transportmittel, zum anderen aber auch an einer geringen Kapazitätsflexibilisierung der Transportmittel, weil die Belastungsschwankungen sehr kurzfristig und damit nur bedingt planbar sind [WIEN00c].

2.4.2.3 Lagerkennlinien

Lagerkennlinien wurden zur Beschreibung und Erklärung von Lagerungsprozessen entwickelt [GLÄS94, NYHU96b]. Im Gegensatz zu Produktionskennlinien, werden Lagerkennlinien nicht aus auftragsinhaltspezifischen Durchlaufdiagrammen, sondern aus artikelspezifischen Lager-Durchlaufdiagrammen abgeleitet. Das Lager-Durchlaufdiagramm selbst entsteht aus dem allgemeinen Lagermodell nach REFA, auch „Sägezahn-Kurve“ genannt [GLÄS94]. Im Lager-Durchlaufdiagramm werden die Lagerzugangs- und die Lagerabgangskurve durch ein kumuliertes Auftragen der Zu- und Abgangsmengen (in Stück) zum jeweiligen Zeitpunkt aufgetragen. Analog dem Durchlaufdiagramm eines Arbeitssystems ergibt sich der Bestand als vertikaler Abstand zwischen den beiden Kurven (**Bild 2.10**). Wird zusätzlich noch der Verlauf der Nachfrage in das Diagramm eingezeichnet, kann über die Berechnung der Differenzflächen zwischen Lagerabgangskurve und Nachfragekurve eine Aussage über auftretende Fehlmengen sowie die daraus resultierenden Kenngrößen Liefertreue und Lieferverzug abgeleitet und einer Quantifizierung zugänglich gemacht werden (**Bild 2.10, rechte Seite**).

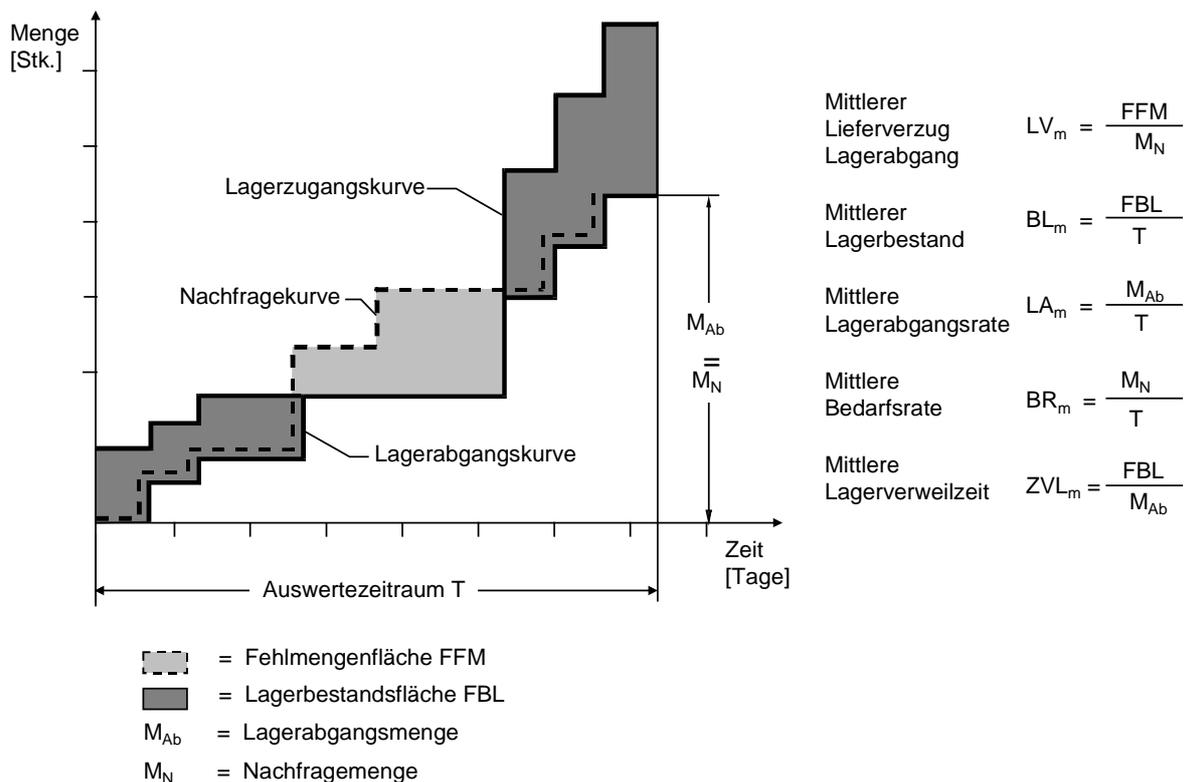


Bild 2.10: Das Lager-Durchlaufdiagramm mit Angabe der charakteristischen Flächen und den logistischen Basiskennzahlen [nach GLÄS94]

Um den Zusammenhang zwischen den logistischen Zielgrößen Lagerbestand und Lieferverzug bei verschiedenen stationären Zuständen beschreiben und erklären zu können, ist eine Überführung des Lager-Durchlaufdiagramms in eine Lagerkennlinie hilfreich. In Analogie zur Ableitung des charakteristischen Verlaufs der Produktionskennlinie aus dem Durchlaufdiagramm erfolgt

hier die Ableitung der Lagerkennlinie aus dem Lager-Durchlaufdiagramm durch das Betrachten der Zusammenhänge bei alternativen Betriebszuständen (**Bild 2.11**).

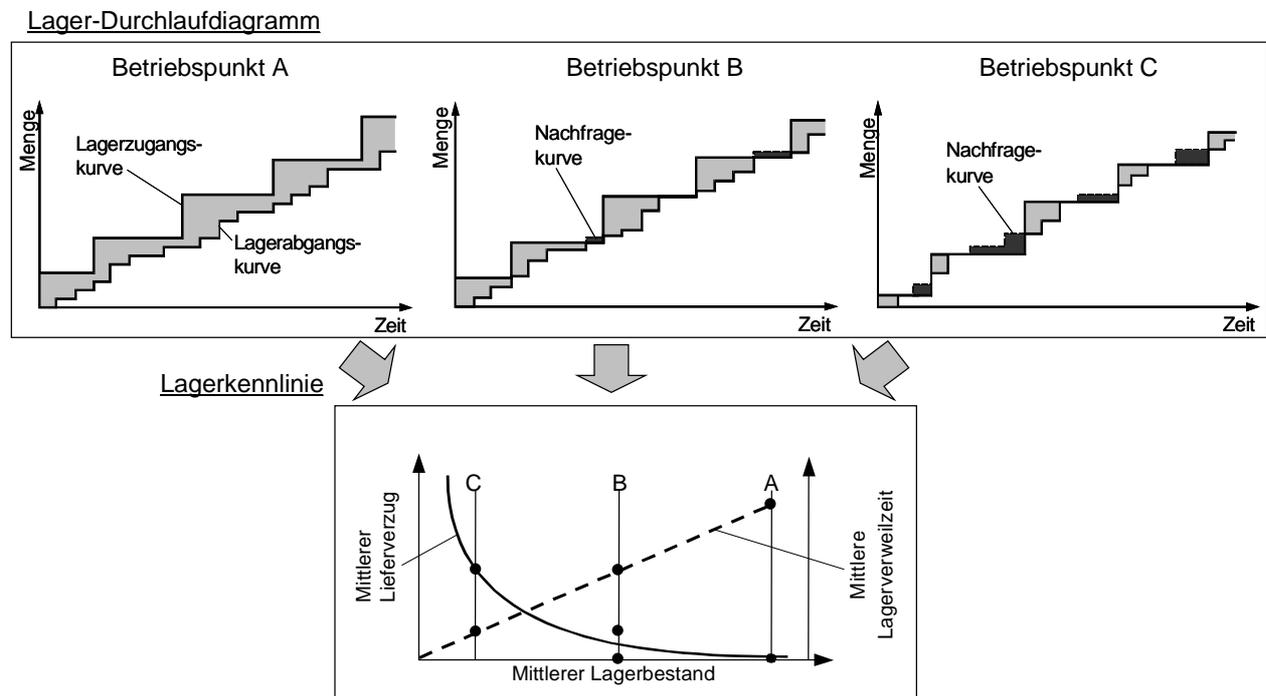


Bild 2.11: Ableitung der Lagerkennlinie aus dem Lager-Durchlaufdiagramm [GLÄS94]

Bei einem hohen Lagerbestand können sämtliche Nachfragen sofort erfüllt werden und es treten keine Lieferverzögerungen auf (Zustand A). Wird der Lagerbestand soweit abgesenkt, so dass Zugangs- und Abgangskurve fast deckungsgleich werden, können weiterhin die meisten Nachfragen erfüllt werden und es treten kaum Fehlmengen auf (Zustand B). Wird der Lagerbestand in signifikantem Maß auf fast Nullbestand abgesenkt, treten vermehrt Fehlmengen auf und Nachfragen können nicht erfüllt werden (Zustand C). Wird für diese verschiedenen Betriebszustände eines Lagers der resultierende Lieferverzug in Abhängigkeit vom Bestand aufgetragen und durch weitere Messpunkte ergänzt und verknüpft, entsteht die charakteristische Form der Lagerkennlinie (**Bild 2.11, unterer Teil**). Zusätzlich kann noch die mittlere Lagerverweilzeit eingezeichnet werden.

Die Herleitung einer mathematischen Beschreibung der Lagerkennlinie erfolgt analog zur Ableitung der Produktionskennlinie über die Annahme idealisierter Bedingungen, nachfolgender Auflösung dieser Bedingungen und Ergänzung um realistischere Annahmen.

Bei der Annahme idealisierter Randbedingungen wird von einem Lagermodell mit kontinuierlichem Lagerabgang, einem diskretem Lagerzugang mit endlichen Losgrößen ohne Prozessstörungen und fehlenden Planabweichungen ausgegangen [GLÄS94, FAST97]. Unter diesen Bedingungen können zwei Grenzwerte einer idealen Kennlinie bestimmt werden. Ein Grenzwert der Kennlinie entsteht bei dem folgenden Bestandswert:

$$BL_0 = \frac{X_{Zu,m}}{2} \quad \text{Gleichung 2.7}$$

mit: BL_0 = Losbestand, hervorgerufen durch die mittlere Zugangslosgröße [ME]
 $X_{Zu,m}$ = mittlere Lagerzugangsmenge (Losgröße) je Zugangsereignis [ME]

Eine weiterer Grenzwert entsteht bei einem Lagerbestand von Null, was zu folgendem Grenzlieferversuch führt.

$$LV_0 = \frac{X_{Zu,m}}{BR_m \cdot 2} \quad \text{Gleichung 2.8}$$

mit: LV_0 = mittlerer Grenzlieferversuch [BKT]
 $X_{Zu,m}$ = mittlere Lagerzugangsmenge (Losgröße) je Zugangsereignis [ME]
 BR_m = mittlere Bedarfsrate [ME/BKT]

In **Bild 2.12** ist der Verlauf der idealen Lagerkennlinie mit Angabe der beiden Grenzwerte für Lagerbestand und Lieferversuch grafisch dargestellt. Dabei wird erkennbar, dass der Gesamtlagerbestand aus dem Losbestand und einem eventuell notwendigen Sicherheitsbestand zusammengesetzt ist. Der Sicherheitsbestand dient zum Ausgleich auftretender Störungen im Lagerzu- und Lagerabgang [NYWI99].

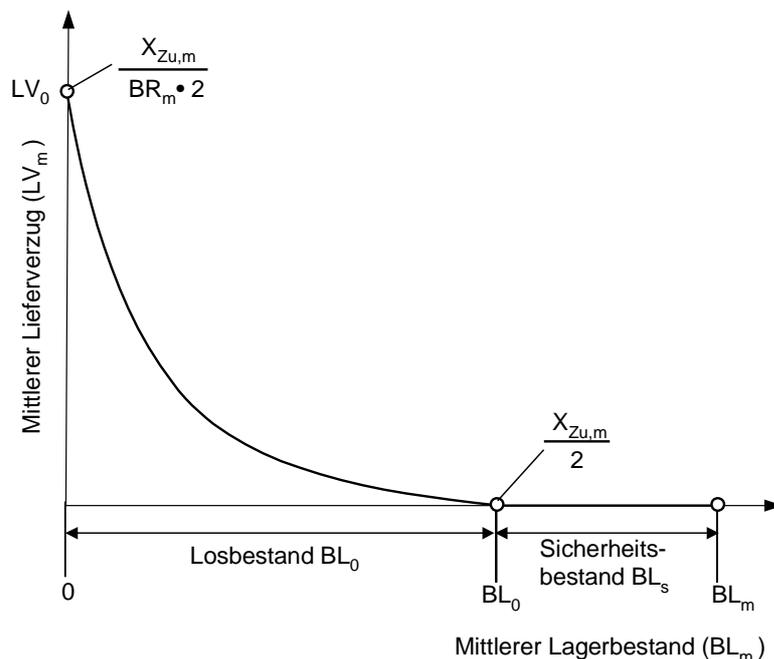


Bild 2.12: Verlauf und Nullstellen der idealen Lagerkennlinie [NYWI99]

Zur Bestimmung einer realen Lagerkennlinie werden die idealisierten Randbedingungen durch die folgenden Störgrößen aufgelöst [FAST97]:

- Diskrete Lagerabgänge,
- Mengen- und Terminabweichungen im Lagerzugang sowie
- Bedarfsabweichungen im Lagerabgang

Werden diese Störgrößen berücksichtigt, so ergibt sich eine Nullstelle bei einer realen Kennlinie bei dem folgenden Grenzwert für den Lagerbestand [NYHU96b]:

$$BL_1 = \frac{X_{Zu,m} - X_{Ab,m}}{2} + \sqrt{(TA_{max}^+ \cdot BR_m)^2 + (MA_{max}^-)^2 + ((BR_{max} - BR_m) \cdot WBZ)^2} \quad \text{Gleichung 2.9}$$

mit:	BL_1	=	erweiterter Grenzbestand [ME]
	$X_{Zu,m}$	=	mittlere Lagerzugangsmenge (Losgröße) je Zugangseignis [ME]
	$X_{Ab,m}$	=	mittlere Lagerabgangsmenge (Losgröße) je Abgangseignis [ME]
	TA_{max}^+	=	max. positive Terminabweichung (Verzögerung) [BKT]
	MA_{max}^-	=	max. negative Mengenabweichung (Unterlieferung) [ME]
	BR_m	=	mittlere Bedarfsrate [ME/BKT]
	BR_{max}	=	maximale Bedarfsrate [ME/BKT]
	WBZ	=	Wiederbeschaffungszeit

Bei einem Lagerbestand von Null ergibt sich der Grenzwert des Lieferverzugs der realen Kennlinie zu:

$$LV_1 = \frac{X_{Zu,m} - X_{Ab,m}}{2 \cdot BR_m} + (TA_{max}^-)^2 + \sqrt{\left(\frac{MA_{max}^+}{BR_m}\right)^2 + \left(\frac{(BR_m - BR_{min}) \cdot WBZ}{BR_m}\right)^2} \quad \text{Gleichung 2.10}$$

mit:	LV_1	=	erweiterter Grenzlieferverszug [ME/BKT]
	$X_{Zu,m}$	=	mittlere Lagerzugangsmenge (Losgröße) je Zugangseignis [ME]
	$X_{Ab,m}$	=	mittlere Lagerabgangsmenge (Losgröße) je Abgangseignis [ME]
	TA_{max}^+	=	max. positive Terminabweichung (Verzögerung) [BKT]
	MA_{max}^-	=	max. negative Mengenabweichung (Unterlieferung) [ME]
	BR_m	=	mittlere Bedarfsrate [ME/BKT]
	BR_{max}	=	maximale Bedarfsrate [ME/BKT]
	WBZ	=	Wiederbeschaffungszeit

Werden diese beiden Gleichungen 2.9 und 2.10 in die nachfolgenden Näherungsformeln (Gleichung 2.11) eingesetzt, kann eine reale Lagerkennlinie mathematisch beschrieben werden.

$$BL(t) = BL_1 \cdot t$$

$$LV(t) = LV_1 \cdot \sqrt[3]{1 - t^c}$$

Gleichung 2.11

mit:	BL_1	=	erweiterter Grenzbestand [ME]
	$BL(t)$	=	Lagerbestand in Abhängigkeit von der Laufvariable t [ME]
	LV_1	=	erweiterter Grenzlieferverszug [ME/BKT]
	$LV(t)$	=	Lieferverszug in Abhängigkeit von der Laufvariable t [BKT]
	C	=	C-Norm-Parameter [-]
	t	=	Laufvariable ($0 \leq t \leq 1$)

Auf eine Herleitung dieser Gleichungen 2.9 und 2.10 sowie der Ableitung der Näherungsformel zur Berechnung der realen Lagerkennlinie wird hier verzichtet und auf [GLÄS94, NYHU96b, NYWI99] verwiesen, wo eine ausführliche Erläuterung gegeben wird.

Der C-Norm-Parameter bestimmt ähnlich dem α_1 -Parameter der Produktionskennlinie die Form der Lagerkennlinie. Bei der idealen Lagerkennlinie wird er mit $C=0,5$ angegeben, bei einer realen Kennlinie muss er individuell bestimmt werden. Die genaue Erläuterung der hierzu erforderlichen Eingangsgrößen ist in [NYWI99] zu finden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Erklärungsmodelle auf Basis der Kennlinientheorie sehr gut geeignet sind, das logistische Verhalten der einzelnen Elemente Produzieren, Transportieren und Lagern einer Fertigungsprozesskette zu erklären. Aufgrund der Möglichkeit, die Wirkzusammenhänge zwischen den logistischen Kenngrößen mit den Kennlinien bei verschiedenen Betriebszuständen zu beschreiben, können sie einer gezielten Beeinflussung durch logistische Veränderungsmaßnahmen zugänglich gemacht werden. Sie bieten daher eine sehr gute Grundlage für diese Arbeit. Dabei sind die Kennlinienmodelle der einzelnen Prozesselemente miteinander zu verknüpfen, um eine durchgängige modellhafte Beschreibung einer Prozesskette zu ermöglichen. Die hierzu notwendigen Vorarbeiten wurden bereits von *Fastabend* durchgeführt [FAST97].

2.4.3 Entscheidungsmodelle

Entscheidungsmodelle bauen auf den Erkenntnissen, die mit Hilfe der Beschreibungs- und Erklärungsmodelle gewonnen werden, auf und sollen den Anwender bei Entscheidungsproblemen unterstützen. Entscheidungsmodelle benötigen hierfür ein vorgegebenes Zielsystem sowie eine Bewertungsmöglichkeit der verschiedenen Handlungsalternativen, um die bestmögliche Alternative auswählen zu können.

Im Zusammenhang mit der Modellierung von Prozessketten sind als wichtige Entscheidungsmodelle die logistische Positionierung sowie die kennliniengestützte Auslegung von Prozessketten zu nennen, die beide auf dem Modellansatz der Kennlinientheorie basieren [NYHU96a]. Diese Modelle haben nicht das Finden einer Optimallösung zum Ziel, sondern sollen den Entscheider bei der Bewertung verschiedener Handlungsalternativen unterstützen. Bei der logistischen Positionierung sollen die geplanten oder tatsächlich erreichten logistischen Positionierungen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die logistischen Zielgrößen Bestand und Durchlaufzeit bewertet werden.

Bei der kennliniengestützten Auslegung von Prozessketten werden die logistischen Kennlinien mit einer Materialflussanalyse verknüpft, um kapazitive Engpässe und durchlaufzeitbestimmende Arbeitssysteme zu identifizieren und ihre Bedeutung für den Auftragsdurchlauf zu quantifizieren. Auf Basis der Kennlinientheorie lassen sich dann alternative Maßnahmen ableiten und ihre Auswirkung auf die Zielgrößen Durchlaufzeit und Bestand bewerten [WIEN98c]. Anstelle eines ge-

samten Materialflusses lassen sich auch einzelne Produktgruppen auf Basis eines Prozesskettenmodells betrachten [WIEN96c, FAST97].

Die hier vorgestellten Entscheidungsmodelle sowie die Erklärungsmodelle der Kennlinientheorie basieren auf den gleichen Grundmodellen. Daher gilt die Kritik an den Erklärungsmodellen der Kennlinientheorie in gleicher Weise für die hier vorgestellten Entscheidungsmodelle.

3 Stand der Technik

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die in der Literatur beschriebenen Ansätze, Modelle und Methoden, die zur Bewertung der Logistikleistung von Prozessketten herangezogen werden können. In Abschnitt 3.1 werden Verfahren vorgestellt, die zur Erfassung der Logistikkosten und damit zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Prozessen und Produktionsabläufen entwickelt wurden. In Abschnitt 3.2 werden Methoden zur Bewertung der Logistikleistung zusammengefasst dargestellt. Abschnitt 3.3 beschreibt vorhandene Ansätze, die in ihrem Konzept bereits auf eine simultane Betrachtung der Logistikleistung und der Logistikkosten eingehen, bevor in Abschnitt 3.4 eine zusammenfassende Bewertung der Ansätze erfolgt.

3.1 Verfahren zur Erfassung und Verrechnung der Logistikkosten

Die Erfassung von Kosteninformationen und ihre Aufbereitung für eine effektive Planung, Lenkung und Kontrolle des Betriebsgeschehens erfolgt durch den Einsatz von Verfahren der Kostenrechnung [MICH89]. Das grundlegende Prinzip der Kostenrechnung ist dabei die periodenmäßige Erfassung der Kosten eines Unternehmens oder eines Unternehmensbereichs, die bei der Leistungserstellung in diesen Bereichen entstehen, und deren Weiterverrechnung auf einzelne Kostenträger in der Kalkulation. Die Erfassung erfolgt i.d.R. in Kostenstellen, die bestimmte Anforderungen aufweisen müssen, wie beispielsweise eine möglichst weitgehende Homogenität der Kostenverursachung [SCHM91]. Als Kostenträger können Produkte, Aufträge oder auch Prozesse herangezogen werden.

Die Kostenrechnung ist mit vielfältigen Aufgaben konfrontiert. Neben einer reinen Dokumentationsfunktion von Unternehmensabläufen, soll sie auch zur Planung und Steuerung von Prozessen und damit zur Entscheidungsunterstützung, aber auch zur nachträglichen Wirtschaftlichkeitskontrolle mittels Plan-Ist- bzw. Soll-Ist-Vergleichen eingesetzt werden [MICH89, KILG93, MAYE98]. Aus diesem Grunde wurden die Kostenrechnungssysteme ständig weiterentwickelt, um dieser Vielzahl an Aufgaben angemessen gerecht werden zu können. Grundsätzlich können Kostenrechnungssysteme hinsichtlich ihres Zeitbezugs in Ist-, Normal- und Plan-Kostenrechnungssysteme unterschieden werden, bzw. hinsichtlich des Umfangs der betrachteten Kosten in Voll- und Teilkostensysteme (**Bild 3.1**) [EISE93]. In Vollkostensystemen werden fixe und variable Kosten nicht getrennt betrachtet, so dass bei der nachfolgenden Kostenträgerrechnung eine Proportionalisierung der Fixkosten erfolgt, was bei kurzfristigen Entscheidungen zu Fehlentscheidungen führen kann, da der Fixkostenblock mit in die Betrachtung einfließt, obwohl er kurzfristig nicht veränderbar ist. Bei Teilkostensystemen werden hingegen nur die variablen Kosten betrachtet, während die Fixkosten als Periodenkosten in die nachträgliche Erfolgsrechnung eingehen [RENN91, KILG93]. Bei der Ist-Kostenrechnung wird der Ist-Verbrauch von Gütern mit Ist-Preisen bewertet. Dies verhindert die Durchführung von Vergleichsrechnungen im Rahmen von Nachkalkulationen, da keine einheitliche Bezugsbasis besteht. Bei der Normal-Kostenrechnung werden die Kosten aufgrund gemittelter Ist-Kosten vergangener Perioden be-

rechnet, was eine zukunftsorientierte Kostenplanung verhindert. Die Plan-Kostenrechnung erfüllt als einzige das Ziel, zukünftige Kosten zu planen, indem diese analytisch für jede Kostenart ermittelt werden [RENN91].

Zeitbezug Sach- umfang	vergangenheits- orientiert	durchschnitts- orientiert	zukunfts- orientiert
Vollkosten	Ist-Vollkosten- rechnung	Normal-Vollkosten- rechnung	Plan-Vollkosten- rechnung
Teilkosten	Ist-Teilkosten- rechnung	Normal-Teilkosten- rechnung	Plan-Teilkosten- rechnung

Bild 3.1: Überblick über die traditionellen Kostenrechnungssysteme [EISE93]

Alle genannten traditionellen Kostenrechnungssysteme fokussieren jedoch auf die Erfassung der Einzelkosten in den direkten Bereichen. Die Abbildung der Leistungserstellung in den indirekten Bereichen, demzufolge auch die der Logistikleistungen, erfolgt nur unzureichend [WEBE87, WEBE95, MICH98]. Die Kosten, die mit dieser Leistungserstellung verbunden sind, werden bei traditionellen Kostenrechnungssystemen in Form eines prozentualen Gemeinkostenzuschlagssatzes den Einzelkosten zugeordnet [RENN91]. Diese undifferenzierte Kostenzuordnung ermöglicht keine Beurteilung ihrer tatsächlichen Leistungsanspruchnahme der Gemeinkostenbereiche durch die einzelnen Produkte und damit auch keine verursachungsgerechte Gemeinkostenzuordnung. Erst mit wachsender Bedeutung der Logistik wurden die Kostenrechnungssysteme derart erweitert, dass die Logistikkosten durch die Festlegung entsprechender Kostenstellen und Kostenarten zumindest erfasst werden konnten [WEBE95]. Eine wesentliche Veränderung der Kostenzuordnung zu den Einzelkosten erfolgt dabei allerdings nicht. Schwerpunkt der traditionellen Logistikkostenrechnung ist im wesentlichen die Erfassung des Faktoreinsatzes bei der Ausführung operativer Logistikfunktionen, wie Transport, Lagerung und Handhabungsprozessen [WEBE87].

Die Koordinations- und Führungsaufgaben der Logistik, wie sie in Abschnitt 2.3 beschrieben wurden, können damit allerdings nicht hinreichend erfüllt werden. Aufgrund der bloßen Betrachtung der funktionalen Logistikleistungen kann keine Aussage über den Nutzen der logistischen Gesamtkoordination erfolgen, da ihre Leistungserstellung nicht explizit betrachtet wird. Aber nur durch eine Quantifizierbarkeit der Koordinationsaufgaben im Rahmen der Logistikleistungserstellung ist auch die Zuordnung der hierbei verursachten Kosten möglich. Dieser Ausweitung der betrachteten Logistikleistung geht auch eine Ausweitung des Logistikkostenbegriffs einher. Wie in Abschnitt 2.3.2 aufgezeigt, sind in diesem Verständnis alle Kosten zu betrachten, die im Rahmen logistischer Entscheidungen beeinflusst werden.

Als geeignete Ansätze für diese erweiterte Aufgabe der Logistikkostenrechnung erweisen sich nach Ansicht verschiedener Autoren die Prozesskostenrechnung und das Kostenmanagement

[WEBE87, LORE96, HORV99, WEBE99, MÄNN9]. Diese werden daher in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

3.1.1 Prozesskostenrechnung im Rahmen der Logistikkostenrechnung

Die traditionelle Logistikkostenrechnung hat die korrekte Zurechnung der erfassten Logistikkosten auf die erstellten Produkte zum Ziel. Dem gegenüber ist es die Aufgabe der Prozesskostenrechnung, über das Schaffen einer hohen Leistungstransparenz in den indirekten Bereichen die Kostenwirksamkeit von Prozessen abzubilden [HORV99]. Von hoher Bedeutung ist hierbei die Unterstützung der fluss- und prozessorientierten Sichtweise, die den Gestaltungsaspekten einer modernen Logistik entsprechen (siehe auch Abschnitt 2.3).

Das Ziel bei der Entwicklung der Prozesskostenrechnung ist eine kostenstellenübergreifende Analyse und kostenmäßige Bewertung von Leistungsprozessen, insbesondere in den indirekten Bereichen [RENN91, MICH98]. Ihrer grundlegenden Rechenmethodik nach ist die Prozesskostenrechnung auf einen mittel- bis langfristigen Periodenzeitraum ausgerichtet. Daher bildet sie auch eine wesentliche Grundlage des strategisch orientierten Kostenmanagements, das in Abschnitt 3.1.2 weitergehend erläutert wird. Sie baut ebenfalls, wie auch die traditionellen Kostenrechnungssysteme, auf den festgelegten Kostenstellen und den darin anfallenden Kostenarten auf. Der Unterschied zu den genannten Verfahren liegt in der Strukturierung der zugrunde liegenden Kosten- und Mengengrößen. Das Grundprinzip der Prozesskostenrechnung ist die Zuordnung der in den Kostenstellen erfassten Kostenarten zu zuvor definierten Prozessen. Den Ablauf der Prozesskostenrechnung zeigt **Bild 3.2**. Hierbei werden in einem ersten Schritt die kostenmäßig zu bewertenden Prozesse definiert und aufgenommen. Für diese Prozesse sind die relevanten Tätigkeiten festzulegen und als leistungsmengeninduziert (lmi) und leistungsmengenneutral (lmn) zu kategorisieren. Bei lmi-Prozessen verhalten sich Zeitaufwand und die zugeordneten Kosten mengenproportional zum erbrachten Leistungsvolumen, bei lmn-Prozessen hingegen nicht. Hier fallen die Kosten unabhängig von der erbrachten Leistung an [HORV93]. Für jeden lmi-Prozess werden dann die Kostentreiber identifiziert und die Planprozessmengen (die Planleistungen) festgelegt. Werden die den Prozessen zugeordneten Kosten durch die Planprozessmenge dividiert, entsteht jeweils der Prozesskostensatz eines Prozesses. Dieser gibt Auskunft über die Höhe der Kosten bei einmaliger Inanspruchnahme des Prozesses. Auf Basis dieses Prozesskostensatzes können die Gesamtprozesskosten bei alternativer Prozessleistung berechnet werden.

Ziel der Prozesskostenrechnung ist die möglichst vollständige Zuordnung des Gemeinkostenblocks zu den lmi-Kosten eines Prozesses. In der Praxis ist dies auch realistisch, jedoch verbleibt erfahrungsgemäß noch ein Anteil von 5 % an lmn-Kosten [MAY98]. Lmn-Kosten werden entweder vollständig den lmi-Prozessen zugeordnet oder proportional zu ihrer Inanspruchnahme. Eine direkte Zuordnung ist dann möglich, wenn die lmn-Kosten nur für einen bestimmten Prozess anfallen. Als Beispiel für lmn-Kosten lassen sich Leitungsaufgaben in Kostenstellen anführen, die sich nicht proportional mit der Leistung verändern, dennoch einen wichtigen Kostenblock darstellen [MAYE98].

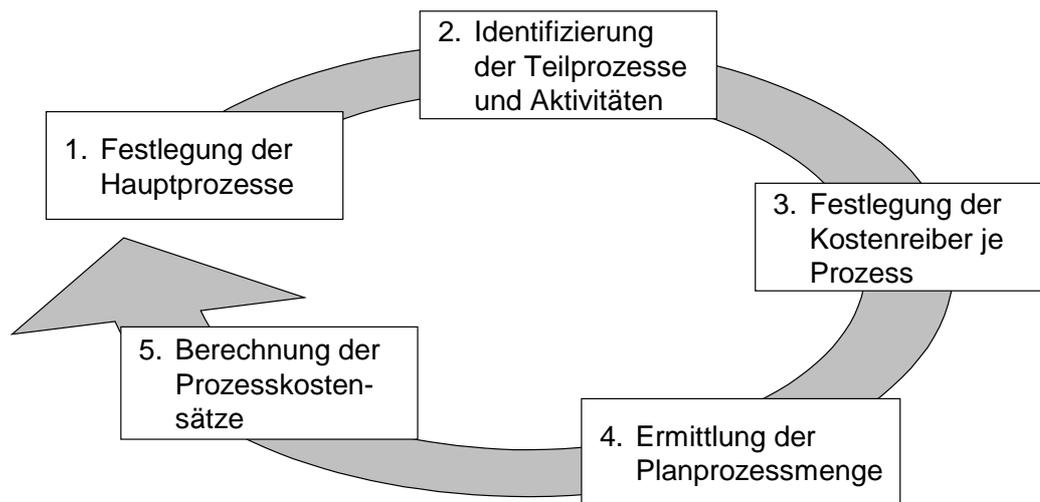


Bild 3.2: Ablauf der Prozesskostenrechnung

Mit Hilfe der Prozesskostenrechnung können die Prozesskosten, die mit der Durchführung logistischer Funktionen und Koordinationstätigkeiten verbunden sind, erfasst und im Rahmen der Prozessgrößenkalkulation verursachungsgerecht den einzelnen Prozessen und den damit verbundenen Produkten zugeordnet werden. Darüber hinaus ermöglicht sie die Identifikation der wesentlichen Kostentreiber der Prozesse, die für die Kosten des Logistikbereichs verantwortlich sind.

3.1.2 Kostenmanagement als Aufgabe des strategischen Logistik-Controlling

Aufgrund der bereits beschriebenen Veränderungen in der Aufgabenstruktur der Logistik ist eine operative Logistikkostenrechnung nicht ausreichend, um die durch die Logistik induzierten Kosten frühzeitig und aktiv in ihrer Höhe gestalten und planen zu können. Das Konzept des Logistik-Controlling geht daher über die Logistikkostenrechnung hinaus und erweitert sie um strategische Aufgabenfelder, wie die Festlegung einer unternehmensweiten Logistikstrategie und daraus abgeleitet die strategischen Ziele und der Leistungsumfang der Logistik [WEBE99]. Damit verbunden ist auch eine frühzeitige Planung des notwendigen Ressourceneinsatzes und die Ermittlung möglicher Rationalisierungspotenziale.

Die eingeschränkten Möglichkeiten zur antizipativen und aktiven Kostenbeeinflussung, die die Kosten- und Leistungsrechnung im Rahmen eines einfachen Plan-Ist- bzw. Soll-Ist-Vergleichs bietet, motivierte die betriebswirtschaftliche Forschung zur Weiterentwicklung der Kostenrechnung zum Kostenmanagement [BROK98]. Das Kostenmanagement soll nicht nur die operative Wirtschaftlichkeit der Prozessdurchführung sicherstellen, sondern alle Potenziale, Programme und Prozesse eines Unternehmens frühzeitig unter Kostenkriterien festlegen. Dabei geht es insbesondere um die frühzeitige Beeinflussung des Kostenniveaus, der Kostenstruktur und der Kostenflexibilität. Das Kostenmanagement ist somit eine Teilsystem der strategischen Unternehmensplanung [BROK98].

Mit Hilfe des Kostenmanagement wird der Wirk- und Beziehungszusammenhang zwischen den wesentlichen Kosteneinflussgrößen transparent und damit einer ganzheitlichen Optimierung von Strukturen und Abläufen zugänglich [MÄNN95]. Durch die langfristige und strategische Betrachtung wird auch eine gezielte Beeinflussung der Kosten erwartet, die dem Kostenblock der fixen Gemeinkosten zugeordnet sind. Diese Kosten können nur langfristig verändert werden, in dem die strukturellen Kosteneinflussgrößen bereits vor der Festlegung des Fixkostenblocks identifiziert und wirtschaftlich gestaltet werden. In der betriebswirtschaftlichen Literatur wird zwischen strategischem und operativem Kostenmanagement unterschieden [MÄNN95]. Während das strategische Kostenmanagement eine effektive Ausbildung der Unternehmenspotenziale zum Ziel hat, ist das operative Kostenmanagement auf eine effiziente Erfüllung der Zielvorgaben ausgerichtet. Das operative Kostenmanagement baut auf der Kostenrechnung als Informationslieferant auf und soll bei kurz- bis mittelfristigen Planungs- und Entscheidungsaufgaben unterstützen.

Wird das Konzept des Kostenmanagements auf die Logistik bezogen, so äußert sich ihre Besonderheit in der Möglichkeit, die vorhandenen Ressourcen effizient zu nutzen, Logistikprozesse bereits frühzeitig effizient zu gestalten und mögliche Ansatzpunkte für Kostensenkungen zu erkennen. Ein wirkungsvolles Instrument hierbei ist der Einsatz der Prozessanalyse, die auch Grundlage der Prozesskostenrechnung ist.

Weitere Entwicklungen der Prozesskostenrechnung und des Kostenmanagement in Richtung eines integrierten Prozesszeitmanagementansatzes erweitern den traditionellen Ansatzes der Kostenorientierung um die Aspekte Zeit und Qualität. Daher werden sie in Abschnitt 3.3 bei der Diskussion vorhandener Ansätze zur simultanen Betrachtung der wirtschaftlichen und logistischen Zielgrößen vorgestellt.

3.2 Methoden zur Bewertung der Logistikleistung

Die in den nachfolgenden Abschnitten vorgestellten Methoden und Ansätze richten sich an einer Verbesserung der logistischen Zielgrößen Durchlaufzeit, Bestand und Terminabweichung aus. Wie bereits in Abschnitt 2.3.1 dargestellt, erlauben diese Zielgrößen eine Beurteilung der Logistikleistung, so wie sie in dieser Arbeit definiert ist.

3.2.1 Logistische Engpassanalyse

Aufbauend auf den in den Abschnitten 2.4.1 und 2.4.2 vorgestellten produktionslogistischen Modellen, wurde von *Nyhuis* und *Wiendahl* eine Methode zur zielgerichteten Analyse der Durchlaufzeit- und Bestandssituation in Produktionsbereichen und zur Überprüfung der Wirksamkeit von bestandssenkenden und durchlaufzeitverkürzenden Maßnahmen entwickelt [NYHU96a, WIEN97a, WIEN98c]. Diese Methode wurde von den Autoren engpassorientierte Logistikanalyse genannt, da sie in ihrem Ansatz auf die wesentlichen Kapazitäts- und Durchlaufzeitengpässe fokussiert.

Ausgehend von einer auf Rückmeldedaten basierenden Auftragsdurchlauf- und Materialflussanalyse werden in einem nachfolgenden Schritt die auslastungskritischen und durchlaufzeitbestimmenden Arbeitssysteme ermittelt und einer weitergehenden Analyse unterzogen. Ziel der Analyse ist es, das Bestandssenkungs- und Durchlaufzeitverkürzungspotenziale für jedes einzelne Arbeitssystem und insgesamt für den betrachteten Bereich zu ermitteln. In einem nächsten Schritt werden für die ausgewählten Arbeitssysteme geeignete Ansatzpunkte abgeleitet, um das identifizierte Potenzial zu erschließen. Dabei werden auf Basis der Kennlinientheorie die Wirkung alternativer Gestaltungsmaßnahmen aufgezeigt. Diese können von Steuerungsmaßnahmen, die rein bestandssenkend wirken, bis hin zu strukturellen Eingriffen in die Auftrags- und Fertigungsstruktur reichen.

Der Vorteil der logistischen Engpassanalyse ist, dass sie in strukturierter Weise den Entscheider auf die Engpässe im Produktionsablauf aufmerksam macht und das mögliche logistische Rationalisierungspotenzial durch Vergleich mit einem bestmöglichen Betriebszustand aufzeigt. Bei der Diskussion geeigneter Verbesserungsmaßnahmen kann mit Hilfe der Kennlinientheorie die Auswirkung von alternativen Maßnahmen auf die logistischen Zielgrößen Durchlaufzeit und Bestand probegerechnet werden.

Yu erweitert die klassische Engpassanalyse, die sich im wesentlichen auf die Verbesserung der Zielgrößen Durchlaufzeit und Bestand konzentriert, um die Zielgröße Terminabweichung. Die Erweiterung besteht darin, die Auswahl der kritischen Arbeitssysteme auf Basis der relativen Terminabweichung vorzunehmen und mit Hilfe von Terminkennlinien das Potenzial zur Verbesserung der Termintreue aufzuzeigen. Durch Einsatz der Terminkennlinien kann die erreichbare praktische Termintreue für jedes Arbeitssystem quantifiziert werden [YU01].

In ihrem Charakter ist die logistische Engpassanalyse als Einmalanalyse ausgelegt, die in verschiedenen Zeitabständen durchgeführt werden sollte, um die logistische Verbesserung steuern zu können. Zur kontinuierlichen Prozesssteuerung ist sie nicht gedacht. Hierzu wurde die Konzepte des logistischen Monitoring und des logistische Produktions-Controlling entwickelt, die im nachfolgenden Abschnitt erläutert werden.

3.2.2 Logistisches Monitoring von Produktionsabläufen

Eine logistische Prozessbeherrschung setzt eine gezielte, kontinuierliche Überwachung der Produktionsabläufe voraus [WIEN96a]. Die Konzepte des Logistik-Controlling sind jedoch primär betriebswirtschaftlich ausgerichtet und zielen daher auf die Erstellung und die Einhaltung von Logistik-Budgets und den Aufbau einer unterstützenden Kosten- und Leistungsrechnung. Zur Entscheidungsunterstützung und Prozesssteuerung im Produktionsbereich sind diese Konzepte aufgrund ihrer hohen Aggregationsstufe der Mengen- und Zeitdaten und ihrer Fokussierung auf betriebswirtschaftliche Zielgrößen nicht geeignet [WIEN97b]. In Arbeiten am Institut für Fabrikanlagen wurde das Konzept des logistischen Monitoring entwickelt, das die Überwachung der logistischen Zielgrößen des Produktionsablaufs zum Ziel hat [HOLZ87].

Beim logistischen Monitoring wird auf Basis von Rückmeldedaten ein Modell des Produktionsablaufs erzeugt und hinsichtlich der logistischen Zielgrößen Durchlaufzeit, Bestand und Termin-einhaltung überwacht und ausgewertet. Als grundlegende Modelle werden die auf dem Trichtermodell basierenden Durchlaufdiagramme und logistischen Kennlinien eingesetzt. Mit Hilfe dieser Modelle ist eine logistische Beschreibung der vorgefundenen Situation und eine Bewertung des Ist-Zustands in Bezug auf einen realisierbaren Idealzustand möglich. Hierzu stehen darüber hinaus verschiedene Werkzeuge, wie Histogramme und Kennzahlen-Systeme zur Verfügung. Ziel des Monitoringensatzes ist die kontinuierliche Überwachung der logistischen Prozessfähigkeit. Durch die Berechnung wesentlicher logistischer Kennzahlen werden zusätzliche Informationen zur Erklärung der vorgefundenen Situation, aber auch zur Ableitung zukünftiger Sollwerte, bereitgestellt [BECH91, NYHF91].

In nachfolgenden Arbeiten wurde das logistische Monitoring mit Diagnosekomponenten zu einem umfangreichen Informationssystem weiterentwickelt, das im Rahmen eines umfassenden logistischen Produktions-Controlling eingesetzt werden kann [ULLM93, LUDW94]. Das logistische Produktions-Controlling soll drei primäre Aufgaben unterstützen: Bewertung von Planungsergebnissen (Evaluation), Überwachung der Zielerreichung durch Soll-/Ist-Vergleiche (Monitoring und Diagnose) sowie Unterstützung bei der Ableitung von Planungswerten und der Quantifizierung des Zielsystems (Konfiguration) durch Bereitstellung der dafür erforderlichen Basisinformationen. Im Rahmen der Evaluation sind die Planungsergebnisse auf den unterschiedlichen Planungsebenen der Fertigungsplanung hinsichtlich ihrer Zielkonformität zu bewerten. Dabei werden einerseits die Planungsergebnisse mit den Führungsgrößen der jeweiligen Planungsebene verglichen und andererseits werden sie mit dem theoretischen Idealzustand konfrontiert. Dadurch wird sichergestellt, daß das angestrebte logistische Potential bei der Planung eingehalten wird und gleichzeitig die Machbarkeit der Planungen gewährleistet ist.

Die Diagnosekomponente ist ebenfalls modellbasiert aufgebaut und dient der Interpretation der erreichten Ergebnisse und der Ableitung von Verbesserungsmaßnahmen beim Auftreten von Abweichungen [LUDW94]. Hierzu ist die Kenntnis der signifikanten Prozessparameter und ihres Wirkverhaltens auf die logistischen Zielgrößen wichtige Voraussetzung. *Ludwig* untersuchte in seiner Arbeit auf Basis von Simulationsexperimenten die Wirkeinflüsse von alternativen Bestandsniveaus, Auftragszeitstrukturen und Reihenfolgeregeln auf die Mittelwerte und Streuungswerte der logistischen Größen Durchlaufzeit und Terminabweichung. Auf Basis dieser Erkenntnisse entwickelte er ein modellbasiertes Diagnosesystem, das im Rahmen eines logistischen Produktions-Controlling eingesetzt werden kann.

Durch die Integration eines Monitoring- und Diagnosesystems in die betrieblichen Planungssysteme, wie PPS- und ERP-Systeme, kann das logistische Produktions-Controlling für den spezifischen Fall des PPS-Controlling angewandt werden. *Jäger* entwickelte in seiner Arbeit hierzu einen Ansatz, wie mittels eines auf dem Durchlaufdiagramm und den logistischen Produktionskennlinien basierendes Monitoringsystem zur modellbasierten Einstellung der PPS-Parameter eingesetzt werden kann [JAEG00].

3.2.3 Methoden des logistischen Qualitätsmanagements

Die Sicherstellung der Produktqualität hat für viele Unternehmen in den letzten Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung gewonnen. Nicht zuletzt auch aufgrund der Erkenntnisse aus Langzeitstudien, dass mit der Verbesserung der Qualität auch eine Erhöhung des Unternehmenserfolgs einhergeht [ROM95] und der Tatsache, dass durch eine Erhöhung der Produktqualität Fehlerkosten in der Produktion vermieden werden können [WIEN94]. Insbesondere die Weiterentwicklung der Qualitätssicherung zum Qualitätsmanagement als Teil der Unternehmenskultur und der Verankerung als Managementfunktion war in den letzten Jahren Gegenstand intensiver Forschungsbemühungen.

Um den Kundenanforderungen nach einer hohen Logistikqualität gerecht zu werden, müssen die Produktionsabläufe hinsichtlich ihrer prinzipiellen Prozessfähigkeit gestaltet werden. Diesem Ziel widmet sich das logistische Qualitätsmanagement, das durch eine Übertragung der Konzepte und Methoden des technischen Qualitätsmanagement auf logistische Prozesse entstanden ist.

Notwendig zur erfolgreichen Übertragung ist der Aufbau geeigneter Analogien der Qualitätsobjekte, der Qualitätsmerkmale und der Prozessmerkmale sowie die Entwicklung grundlegender Methoden, auf denen das logistische Qualitätsmanagement aufbauen kann [WIEN96a]. Als relevantes Qualitätsobjekt der Logistik wird der Fertigungsauftrag festgelegt, als Qualitätsmerkmal die Auftrags-Termineinhaltung und als Prozessmerkmal die Arbeitssystem-Termineinhaltung [PENZ96]. Eine wesentliche Methode des logistischen Qualitätsmanagements ist das im vorangegangenen Abschnitt vorgestellte logistische Monitoring. Darauf aufbauend wurden präventive Methoden des logistischen Qualitätsmanagements erarbeitet. Wichtige Methoden hierbei sind die Logistik-FMEA, die von *Ruta* entwickelt wurde, sowie die Logistik-Auditierung von *Tracht* [RUTA99, TRAC97, TRAC00].

Die Logistik-FMEA wurde in Analogie der Prozess-FMEA entwickelt. Sie ist ein Ansatz zur Strukturierung der verschiedenen Störeinflüsse auf produktionslogistische Prozesse und deren Bewertung hinsichtlich Auftretenswahrscheinlichkeit und Auswirkung auf logistische Prozessqualität und damit auch die logistische Leistung. Die Logistik-FMEA beginnt mit einer Auswahl der zu untersuchenden Prozesse auf Basis der Rückmeldedaten und der in Abschnitt 3.2.1 vorgestellten Engpassanalyse. In einem zweiten Schritt werden die auftretenden Fehler und die möglichen Ursachen gesammelt, strukturiert und hinsichtlich ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit sowie ihrer potenziellen Auswirkung auf die Logistikqualität gewichtet und bewertet. Die Bewertung erfolgt mittels einer Risikoprioritätskennzahl. In einem dritten Schritt können mögliche Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet werden, die an den priorisierten Fehlern ansetzen [WIEN96a, RUTA99]. Die Logistik-FMEA ist ein geeignetes Hilfsmittel, um alle möglichen Fehler zu identifizieren und zu bewerten, die eine grundsätzliche Prozessfähigkeit verringern und damit potenziell die logistische Leistung behindern können. Dennoch bietet sie keine Möglichkeit, die Wirkzusammenhänge zwischen den Störgrößen und den logistischen Zielgrößen zu quantifizieren und damit gezielt die logistische Leistung zu verbessern.

Das Logistikaudit dient der Überprüfung des in den Unternehmen implementierten logistischen Qualitätsmanagementsystems. Es wurde in Analogie an das Systemaudit des technischen Qualitätsmanagements entwickelt [TRAC00]. Auf Basis eines strukturierten Fragenkatalog werden die bestehenden Prozesse hinsichtlich ihrer logistischen Prozessfähigkeit und Prozesssicherheit überprüft. Wesentliches Kriterium des Logistikaudits ist die Möglichkeit der quantitativen Beurteilung des Erfüllungsgrades zuvor definierter logistischer Qualitätsanforderungen auf Basis errechneter Kennzahlen. Ein direkter Zusammenhang zwischen den Ergebnissen des Audits und der Logistikleistung ist allerdings auch hier nicht erkennbar. Dennoch ist das Logistikaudit ein Instrument, um die Ausbildung eines grundsätzlichen Rahmens für das Erreichen einer hohen Logistikleistung zu unterstützen.

Die Grundlagen für eine logistische Prozessüberwachung und der Darstellung des Einflusses von Qualitätsmängel auf die logistischen Zielgrößen Termintreue, Durchlaufzeit und Bestand wurde von *Penz* erarbeitet [PENZ96]. In Verbindung mit Terminregelkarten, die von *Dombrowski* zur logistischen Prozessbeherrschung erarbeitet wurden, lässt sich somit eine Prozessüberwachung analog der statistischen Prozessregelung des technischen Qualitätsmanagements aufbauen [DOMB88, WIEN96a]. Die logistische Prozessüberwachung kann direkt mit den Messgrößen der Logistikleistung verknüpft werden und zeigen die Verursacher geringer Logistikleistung direkt auf.

3.3 Ansätze zur simultanen Messung von Logistikkosten und -leistung

Die zuvor beschriebenen Ansätze und Methoden unterschieden sich in ihrer jeweiligen Ausrichtung auf die Kostenaspekte der Logistik oder auf die Leistungsaspekte. Wichtig für die nachfolgende Konzeption einer modellbasierten Beurteilung der Logistikleistung sind aber auch die Ansätze, die die Betrachtung sowohl wirtschaftlicher als auch logistischer Zielgrößen in ihrem Konzept vereinen. Diese werden in den nachfolgenden Abschnitten beschrieben.

3.3.1 Logistik-Kennzahlen und Logistik-Benchmarking

Das Werkzeug Kennzahl ist ein geeignetes Hilfsmittel, um aus einer umfangreichen Datengrundlage durch eine Datenverdichtung und Aggregation eine quantifizierbare Aussage über bestimmte Sachverhalte zu ermöglichen. Kennzahlen bilden daher häufig die Grundlage von Berichtssystemen, da sie alle relevanten Informationen in komprimierter Form überblicksartig wiedergeben [REIC95].

Neben den primär finanzwirtschaftlich ausgerichteten Kennzahlen, die in hierarchisch aufgebauten Kennzahlensystemen verknüpft sind, wie dem Du-Pont-Kennzahlensystem oder dem ROI-Kennzahlensystem, wurden bereits von verschiedenen Autoren Logistik-Kennzahlensysteme entwickelt, die sowohl leistungsbezogene als auch kostenbezogene Aussagen über die Logistik ermöglichen [SYSK90, PFOH91, WEBE9, REIC95, SCHU95]. Einen umfassenden Überblick über diese Kennzahlensysteme gibt die Arbeit von *Strigl* [STRI00]. Diese Logistik-

Kennzahlensysteme wurden primär für die Aufgaben eines Logistik-Controlling entwickelt, um eine Beurteilung von Logistikkosten und Logistikleistung anhand quantifizierbarer Größen vornehmen zu können. Aufgrund eines fehlenden funktionalen Zusammenhangs der einzelnen Kennzahlen sowie dem Fehlen von Zielvorgaben für die Logistikkennzahlen kann keine Bewertung der erzielten Logistikeffizienz erfolgen.

Strigl entwickelte einen kennzahlenbasierten Ansatz zum datenbankgestützten Logistik-Benchmarking. Grundlage hierfür sind logistische Leistungs- und Kostenkennzahlen, die soweit standardisiert wurden, dass sie für ein unternehmensübergreifenden Kennzahlenvergleich und damit zum Benchmarking eingesetzt werden können. Diese Kennzahlen dienen zur Operationalisierung eines übergreifenden Zielsystems, das als oberstes Ziel *hohe Logistikeffizienz* hat. Aus diesem Zielsystem werden dann die Kennzahlensysteme für die einzelnen Benchmarkingobjekte Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik abgeleitet (**Bild 3.3**).

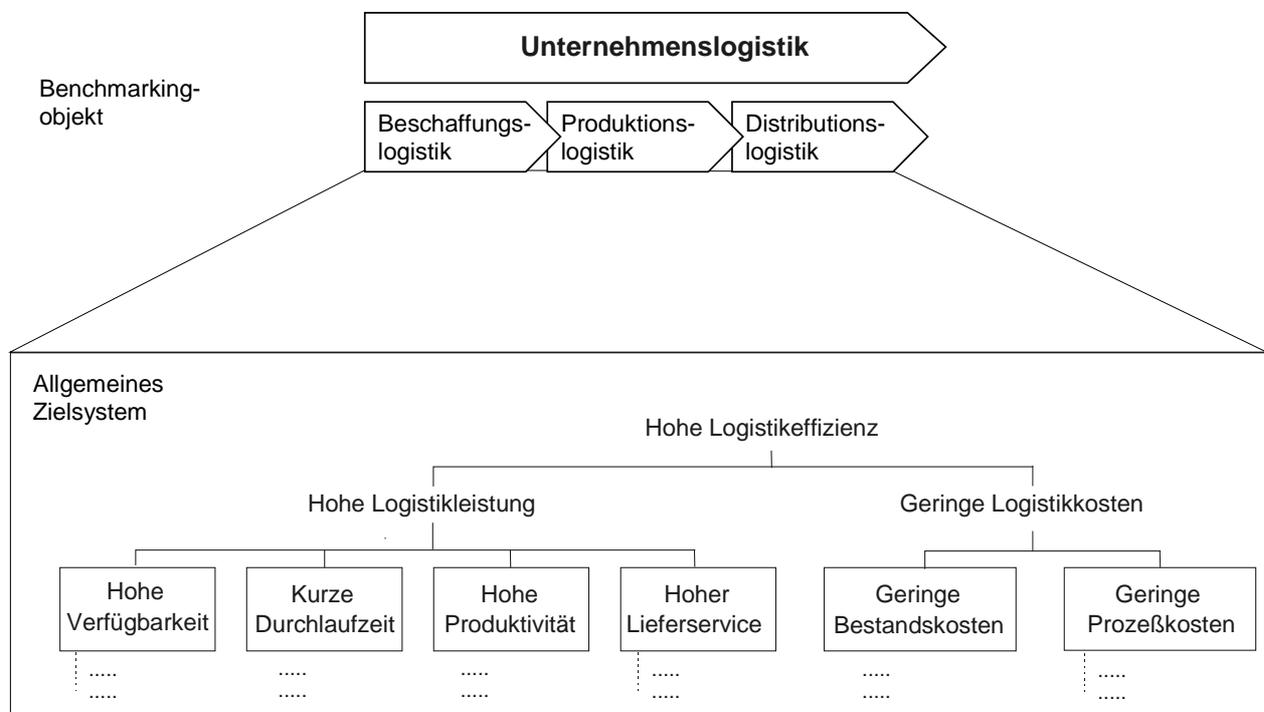


Bild 3.3: Zielsystem des Logistik-Benchmarking [STRI00]

Ein weiterer Bestandteil der Arbeit ist die Entwicklung eines Bewertungsansatzes für die Logistikeffizienz. Dieser Bewertungsansatz beruht auf Methoden der Entscheidungslogik [STRI00]. Dabei wird die mittels der Kennzahlen quantifizierbare Logistikeffizienz im Abgleich mit vorgegebenen Zielgewichtungen bewertet. Dabei muss jede einzelne Kennzahl mit einer individuellen Gewichtung versehen werden, aus der dann die Gesamtgewichtung der Logistikeffizienz berechnet werden kann. Es ist jedoch nur eine ex-post-Betrachtung der Logistikeffizienz möglich, in der mögliche Ansatzpunkte für logistische Rationalisierungen aufgezeigt werden können. Allerdings ist es nicht möglich, die Auswirkung einer Veränderung des logistischen Leistung auf die Logistikkosten ex-ante zu bewerten.

3.3.2 Ansätze des Prozessmanagements

Die Weiterentwicklung der Prozesskostenrechnung und des Kostenmanagements zu einem umfassenden Konzept des Prozessmanagements umfasst neben der reinen Kostenbetrachtung zusätzlich auch zeitbezogene und qualitätsbezogene Kenngrößen [HORV99].

Kieninger entwickelte in diesem Zusammenhang den Ansatz eines Prozesszeitmanagements, indem er ein Prozessgitter aufspannt, das sowohl die einzelnen Teilprozesse und Prozesskosten enthält, als auch die jeweiligen Durchlaufzeiten zur Durchführung der Teilprozesse. Durch Pfeile, die den Ablauf eines Prozesses visualisieren, sollen mögliche Prozessschleifen und Schnittstellenprobleme schneller identifiziert werden können. Die gleichzeitige Angabe von Durchlaufzeiten und Kosten je Prozess ermöglicht somit eine simultane Optimierung von Kosten- und Zeitaspekten [HORV99]. Allerdings ist dieser Ansatz nicht speziell auf die Verbesserung der Logistikeffizienz ausgerichtet, da außer der Durchlaufzeit keine weiteren logistischen Leistungsgrößen betrachtet werden. Darüber hinaus handelt es sich um einen statischen Ansatz, der keine Proberechnung der Auswirkungen einer Prozessveränderung auf die Kostenhöhe ermöglicht. Auch lassen sich mit diesem Ansatz nicht die wirkungsstärksten Verbesserungsmaßnahmen erkennen.

Müller entwickelte, ebenfalls basierend auf einem statischen Beschreibungsmodell des Prozesses der Auftragsabwicklung, eine Methode zur zeitlichen und wirtschaftlichen Verbesserung des Prozessablaufs [MUEL93]. Ziel dieser Arbeit ist dabei eine prozessorientierte Reorganisation der Auftragsabwicklung. Ausgehend von einem Prozessmodell werden die einzelnen Tätigkeiten in Prozesselementen beschrieben und mit kosten- als auch zeitbezogenen Kenngrößen versehen. Durch Zusammenfügen der einzelnen Prozesselemente und die Vorgabe einer Berechnungssystematik für die Kenngrößen des Gesamtprozesses können alternative Prozessgestaltungen hinsichtlich ihrer Kosten- und Zeitauswirkung verglichen werden. Damit lassen sich die Zeit- und Kostenwirkungen quantifizieren. Der Ansatz bietet jedoch keine gezielte Unterstützung bei der Verbesserung der Logistikleistung, da außer der Prozessdurchlaufzeit keine weiteren logistischen Kenngrößen betrachtet werden. Auch werden die dynamischen Zusammenhänge zwischen den logistischen Kenngrößen Durchlaufzeit, Bestand, Auslastung und Termintreue nicht betrachtet.

Der Ansatz von *Dräger* zur wirtschaftlichen Überwachung von Prozessketten basiert auf der Integration der Prozesskosten in die Durchlaufelemente des Durchlaufdiagramm anhand eines Prozesskostenelements [DRAG94]. Durch diese Integration kann der Auftragsdurchlauf durch die Produktion in Bezug auf die Kostenentwicklung und die logistischen Zielgrößen gesteuert werden. Dabei werden die wesentlichen Kostenabweichungen in Form von Abweichungselementen in die Durchlaufelemente des Diagramms eingeblenet. Dieser Ansatz hat einen deutlicheren Bezug zu den logistischen Zielgrößen als die zuvor vorgestellten statischen Ansätze des Prozessmanagements. Allerdings ist dieser Ansatz auf eine operative Ebene im Rahmen eines Produktions-Controlling ausgerichtet. Verbesserungspotenziale lassen sich nur aus einer rückschauenden Betrachtung des vergangenen Betriebsgeschehens ableiten. Es lassen sich jedoch keine

alternativen Gestaltungsmaßnahmen der Logistik bereits im Planungsstatus damit ableiten. Auch ist das Erkennen geeigneter Verbesserungsmaßnahmen der Intuition des Anwenders überlassen.

Da die statischen Ansätze des Prozessmanagements keine Erklärung der dynamischen Wirkzusammenhänge der logistischen Zielgrößen und deren Zusammenhang mit den relevanten Kostenarten erklären, werden im nächsten Abschnitt vorhandene Ansätze der Simulationstechnik vorgestellt, die ebenfalls eine simultane Betrachtung von Kosten und Logistikleistung ermöglichen.

3.3.3 Kostensimulation

Die Simulationstechnik findet als Planungsinstrument und Entscheidungshilfe zunehmend Verbreitung in der Praxis [MILB98, BIET94]. Mittels Simulation können Produktions- und Logistikabläufe modelliert werden, um deren dynamisches Verhalten bei Variation verschiedener Eingangsgrößen zu untersuchen. Durch die Integration von Kostenrechnungsverfahren in die Ablaufsimulation wurden Werkzeuge geschaffen, die eine Möglichkeit zur Wirkungsanalyse logistischer Entscheidungen auf die Kostenhöhe und –struktur bieten. Die daraus entstehenden Modelle werden als kostenintegrierte Simulationsmodelle oder „Simulation-Based-Costing (SBC)“ bezeichnet [SCHÄ97]. In der Vergangenheit wurden hierzu von verschiedenen Autoren solche Modelle entwickelt, die als Kostenrechnungsverfahren die Vollkostenrechnung oder den Prozesskostenansatz einsetzen.

Strugalla stellt ein Modell vor, das eine Prozesskostenrechnung mit der Ablaufsimulation kombiniert. Mittels dieses Systems KOSIMO können die Ressourcenverbräuche ermittelt und bewertet werden. Dabei werden die Kostenarten Kapital-, Personal-, Bestands-, Transport, Flächen- und Energiekosten berücksichtigt. Aufgrund des Prozesskostenansatzes ist es möglich, Gemeinkosten verursachungsgerecht zu erfassen. *Strugalla* stellt beispielhaft ein Simulationsexperiment vor, indem verschiedene logistische Maßnahmen (Drosselung des Auftragszugangs, Lossplitting und Kapazitätserhöhung) im Hinblick auf die Kostenwirkung und auf die logistische Zielgröße „mittlere Durchlaufzeit“ untersucht wurden [STRU94, STRU96]. Weitere Kenngrößen der logistischen Leistung werden nicht untersucht. Auch werden keine Kosten der dispositiven Tätigkeiten der Produktionsplanung und –steuerung im Modell explizit betrachtet. Aus der gewählten Modellbildung ist das Zusammenwirken von logistischen und wirtschaftlichen Größen, und damit das aktive Aufzeigen möglicher Verbesserungspotenziale nicht möglich.

Lorenzen untersucht in seiner Arbeit die Wirtschaftlichkeit von produktorientierten Fertigungsstrukturen mit Hilfe einer Kostensimulation. Dabei verwendet er zur Kostenabbildung ebenfalls ein prozessorientiertes Kostenmodell. [LORE96]. Er betrachtet neben den direkten wertschöpfenden Fertigungsbereichen auch die indirekten Bereiche der Arbeitsplanung und –steuerung. Die Simulationsergebnisse wertet er auftrags- und prozessbezogen sowie ressourcenorientiert aus. Hierfür wird von *Lorenzen* eine eigene Bewertungssystematik entwickelt. In seiner Beispieluntersuchung werden verschiedene Szenarien zur Auftrageinlastung im Hinblick auf ihre Auswirkung auf die mittlere Durchlaufzeit und die Herstellkosten ausgewertet. Eine Erklärung der

Wirkzusammenhänge zwischen Kostenverlauf und erreichten Durchlaufzeiten erfolgt auch in dieser Arbeit nicht, so dass kein allgemeingültiges Wirkmodell daraus abgeleitet werden kann.

Meier beschreibt einen Ansatz, bei dem sowohl die Ablaufsimulation mit der Produktionskennlinie verknüpft wird, als auch eine Überlagerung mit einer Kostenkennlinie erfolgt [MEIE95]. Er unterscheidet dabei drei verschiedene Kostengruppen, eine Gruppe bestandsunabhängiger Kosten, eine Gruppe bestandsabhängiger Kosten sowie eine Kostengruppe, die von der erbrachten Leistung eines Arbeitssystems abhängig sind. In diesem Ansatz wird aber nicht beschrieben, wie die einzelnen Kostenbestandteile ermittelt, noch wie sie in variable oder fixe Bestandteile unterschieden werden. Auch werden nur die direkten Kosten an einem Arbeitssystem betrachtet, da Prozesse der Produktionslogistik nicht im Modell berücksichtigt werden. Als Kostenmodell setzt er eine Prozesskostenrechnung für die direkten Bereiche ein. Als Gegenstand der Betrachtung wird ein Arbeitssystem ausgewählt, es erfolgt keine durchgängige Betrachtung einer gesamten Fertigungsprozesskette. Des Weiteren leitet er keinen funktionalen Zusammenhang zwischen den logistischen Zielgrößen und den durch die logistischen Prozesse induzierten Kosten ab, so dass seine Modellbildung und die Aussagen auf das erstellte Simulationsmodell beschränkt bleiben müssen. Auch wenn eine fundierte Erläuterung der verwendeten Kostenarten nicht erfolgt und die Betrachtung sich auf die direkten Kosten im Fertigungsbereich beschränkt, ist diese Arbeit dennoch ein interessanter Ansatz, der die Erklärungsmöglichkeiten der Kennlinientheorie mit den experimentellen Möglichkeiten der Simulation verbindet.

Aus den beschriebenen Ansätzen der Kostensimulation wird deutlich, dass die wesentlichen Vorteile der kostenintegrierten Simulationsmodelle gegenüber den statischen Ansätzen in der Abbildung des dynamischen Verhaltens eines Systems oder Prozesses beruhen und damit das Zusammenwirken der verschiedenen Einflussgrößen möglich wird. Damit können vom Anwender Rückschlüsse auf die entstehenden Kosten gezogen werden, da sie dem Kostenträger (Bauteil) beim Simulationslauf direkt zugeordnet werden können. Darüber hinaus bieten die Simulationsmodelle an, das System bei verschiedenen Last- und Betriebszuständen zu betreiben, um damit die möglichen Kostenauswirkungen zu untersuchen und zu vergleichen. Nachteilig am Einsatz der kostenintegrierten Simulation, wie auch allgemein bei der Durchführung von Simulationsuntersuchungen, ist der hohe Änderungsaufwand bei Variation des Modells und der Zeitaufwand zur Durchführung der Simulationsstudien. Ein weiterer Nachteil ist, dass mittels der Simulation zwar unterschiedliche Betriebszustände abgebildet werden können, jedoch keine zielgerichtete Verbesserung oder gar Optimierung aktiv vom Modell unterstützt wird. Die Simulation ist nur ein Hilfsmittel, um Erkenntnisse über das Zusammenwirken der Eingangs- und Stellgrößen des modellierten Systems zu erlangen, es unterstützt jedoch nicht bei der Parametrisierung des Modells [NYWI99, WIEN00e].

Im nächsten Abschnitt werden daher Erklärungsmodelle auf Basis der Kennlinientheorie vorgestellt, mit denen das dynamische Zusammenwirken der logistischen Zielgrößen untereinander und der Zusammenhang mit den dabei betrachteten Kostenarten erklärt werden kann.

3.3.4 Ressourcenbezogene Kostenkennlinien

In der Vergangenheit wurden von verschiedenen Autoren bereits Verknüpfungen zwischen der Produktionskennlinie und den dabei betroffenen Kostenarten entwickelt. Im folgenden werden diese Arbeiten vorgestellt und diskutiert.

Jainzyck stellt ein auf der Produktionskennlinie basierendes Bewertungsmodell vor, das variable und fixe Fertigungskosten, Rüstkosten, Fertigungskapitalbindungskosten am Arbeitssystem sowie Lagerkosten berücksichtigt [JAIN93]. Durch Einblendung der Summenkostenkurve der einzelnen Kostenarten sowie des Kostenverlaufs der Gesamtkosten je Leistungseinheit wird eine logistische und wirtschaftliche Positionierung an einem Arbeitssystem unterstützt. In einem Beispiel wird der Einsatz dieses Bewertungsmodells bei Investitionsvorhaben vorgestellt. Dabei werden alternative Maßnahmen, wie Losgrößenveränderungen und Fertigungszeitreduzierungen in ihren Auswirkungen auf die logistischen Zielgrößen Durchlaufzeit und Bestand sowie die betrachteten Kostenarten untersucht. Es wird allerdings keine genaue Definition der betrachteten Kosten sowie ihrer Berechnungsweise und ihre Abhängigkeit von den einzelnen logistischen Zielgrößen deutlich. Auch ist dieser Ansatz nur auf die Betrachtung eines Arbeitssystems begrenzt, eine durchgängige prozessorientierte Betrachtung erfolgt nicht. Jedoch zeigt diese Arbeit, dass die Kennlinientheorie bestens geeignet ist, um einen Bewertungsansatz der logistischen Leistung zu entwickeln. *Wiendahl et al* zeigen daher an einem Beispiel auf, wie die Kostenkennlinie zur logistischen Positionierung eines Arbeitssystems eingesetzt werden kann. Dabei untersucht er den Einfluss der Kostenstruktur auf die Wahl eines geeigneten logistischen Betriebspunktes (**Bild 3.4**).

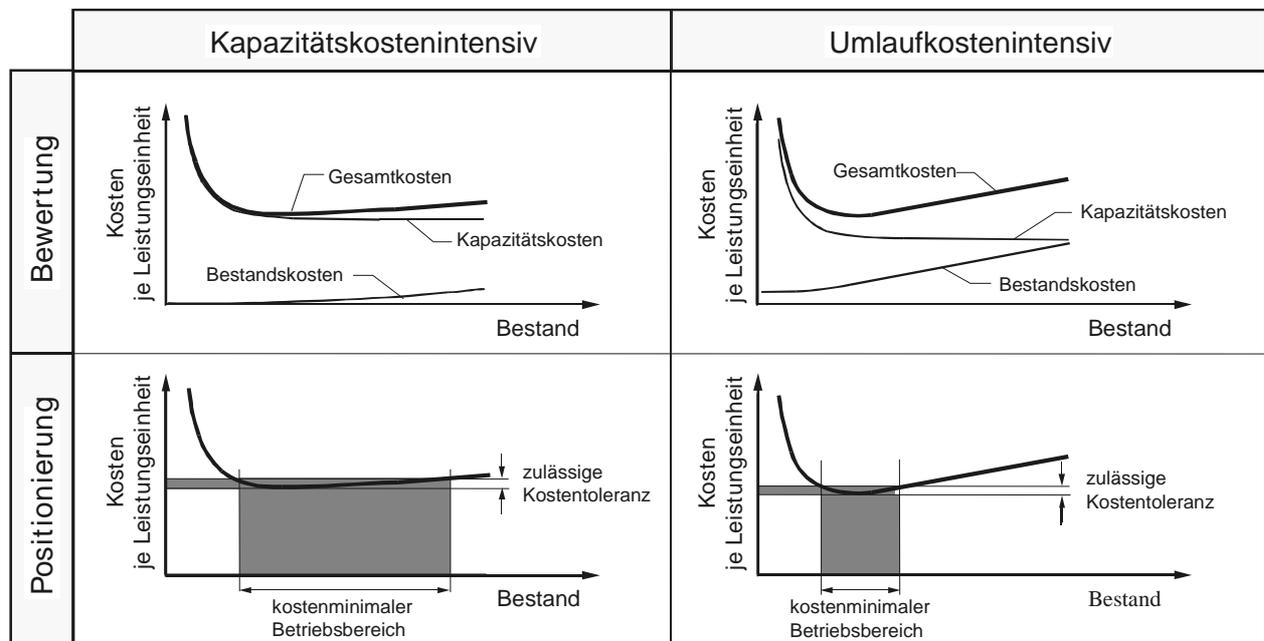


Bild 3.4: Einfluss der Kostenstruktur auf die ressourcenbezogene Kostenkennlinie [WIEN96a]

Grundsätzlich werden dabei zwischen einer kapazitätsintensiven Kostenstruktur, gekennzeichnet durch hohe Abschreibungs- und Lohnkosten, und einer umlaufkostenintensiven Kostenstruktur,

gekennzeichnet durch hohe kalkulatorische Zinsen und Wert des Umlaufbestands, unterschieden. Erkennbar ist an dieser Darstellung, dass beide Fälle eine bestimmte zulässige Kostentoleranz ermöglichen, in der sich die Kosten je Leistungseinheit nur unwesentlich verändern und die damit einen Spielraum für logistische Rationalisierungen bietet. Kosten der dispositiven Bereiche der Produktionslogistik werden hier nicht im Modell betrachtet.

Großklaus erarbeitet einen theoretischen Ansatz zur ökonomischen Beurteilung der logistischen Position eines Arbeitssystems bei kundenspezifischer und –anonymer Fertigung [GROS96]. Er konzentriert sich auf die Ermittlung eines Einlastungsprozentsatzes für die Auftragsfreigabe, die einen optimalen Betriebspunkt des Arbeitssystems unter wirtschaftlichen und logistischen Kriterien ermöglicht. Dabei berücksichtigt er betriebspunktabhängige Erlöse, die er den Bestandskosten gegenüberstellt. Er geht davon aus, dass sich die Durchlaufzeiten eines Arbeitssystems direkt auf die Lieferzeiten auswirken. Über einen empirisch ermittelten, funktionalen Zusammenhang, der die Kundenreaktion abhängig von den erzielten Lieferzeiten abbildet, werden die erreichbaren Grenzerlöse den damit verbundenen Grenzkosten gegenübergestellt. Die Betrachtung des kostenoptimalen Einlastungsprozentsatzes gibt keine Hinweise auf mögliche Verbesserungspotenziale durch strukturelle Eingriffe die Auftragsstruktur. Darüber hinaus betrachtet *Großklaus* in seiner Arbeit nur ein Arbeitssystem und die direkt von diesem Arbeitssystem verursachten Kostenarten. Gemeinkosten, die im Rahmen der koordinierenden Produktionslogistik anfallen, werden nicht betrachtet. Lager- und Transportprozesse werden ebenfalls nicht in die Berechnung einbezogen. Daher schließt sich die Kritik an seiner Arbeit weitestgehend an die kritische Betrachtung der Arbeit von *Jainczyk* an.

3.4 Zusammenfassende Beurteilung der bestehenden Ansätze

Die Diskussion der einzelnen Ansätze zur Bewertung der Logistikleistung und der logistikinduzierten Kosten, die in den Abschnitten 3.1 bis 3.3 vorgestellt wurden, zeigte bereits, dass noch kein Ansatz vorhanden ist, der eine durchgängige und prozessbezogene wirtschaftliche Bewertung der Logistikleistung einer Lieferkette ermöglicht. Eine zusammenfassende qualitative Beurteilung, die diese Erkenntnis unterstreicht, wird in **Bild 3.5** gegeben.

		Beurteilungskriterien						
		Betrachtung der Logistikleistung	Betrachtung logistik-induzierter Kosten	Funktionale Verknüpfung von Logistikleistung und -kosten	Aufzeigen logistischer und wirtschaftlicher Potenziale	Aufzeigen des Wirkzusammenhangs zwischen Logistikkosten und -leistung	Unterstützung einer durchgängigen Prozesssichtweise	
Ansatz	Prozesskostenrechnung	○	●	○	◐	○	●	
	Kostenmanagement	○	●	○	◐	○	●	
	Logistische Engpassanalyse	●	○	○	◐	○	◐	
	Logistisches Monitoring	●	○	○	◐	○	◐	
	Logistisches Qualitätsmanagement	◐	○	○	◐	◐	◐	
	Logistik-Kennzahlen und Logistik-Benchmarking	●	●	○	◐	○	◐	
	Prozessmanagement	◐	◐	○	◐	○	●	
	Kostensimulation	◐	◐	●	◐	○	◐	
	Ressourcenbezogene Kostenkennlinien	●	◐	◐	●	●	○	

● Erfüllt
 ◐ Teilweise erfüllt
 ○ Nicht erfüllt

Bild 3.5: Eignung bestehender Ansätze zur monetären Beurteilung der Logistikleistung

Die Verfahren der Prozesskostenrechnung und des Kostenmanagements eignen sich nur für eine kostenorientierte Sichtweise auf die Logistik. Ein funktionaler Zusammenhang zwischen der Logistikleistung und den dabei anfallenden Kosten wird mit diesen Instrumenten nicht erkennbar. Daher eignet sich ihr Ansatz nur, um die Kostenseite eines Bewertungsmodells der Logistikleistung abzubilden.

Die Methoden zur Bewertung der Logistikleistung (Logistische Engpassanalyse, Logistisches Monitoring, Logistisches Qualitätsmanagement) fokussieren hingegen nur auf die logistischen Zielgrößen. Kosten werden hier nicht betrachtet. Es wird implizit vorausgesetzt, dass eine Verbesserung der logistischen Zielgrößen mit einer wirtschaftlichen Verbesserung korreliert, ohne dass der explizite Nachweis hierfür geliefert wird. Untersuchungen einzelner Autoren sowie die vorliegenden Erkenntnisse bei der Entwicklung von Kostenkennlinien zeigen allerdings, dass dies nicht zwangsweise der Fall sein muss. Es kann auch unter bestimmten Umständen eine schlechtere Logistikleistung zu einer verbesserten Kostenstruktur führen [JAIN93, BACK96].

Dennoch sind insbesondere die modellbasierten Ansätze der logistischen Engpassanalyse und des logistischen Monitoring sehr gut geeignet, um als Grundlage für die Entwicklung eines kostenorientierten Bewertungsmodells zu dienen, da sie eine Beurteilung der logistischen Position unterstützen, indem sie mit einem praktisch möglichen Idealzustand verglichen wird.

Die Methoden des Logistik-Benchmarking und der Logistik-Kennzahlen bieten eine Möglichkeit, die Logistikleistung und die damit verbundenen Kosten zu betrachten und gleichzeitig zu messen. Damit können Erkenntnisse über die erzielte Logistikleistung und den hierzu notwendigen Aufwand abgeleitet werden. Dieser Erkenntnisgewinn ermöglicht die detailliertere Analyse potenzieller Schwachstellen. Allerdings ermöglichen sie keine ex-ante Betrachtung durch eine Proberechnung alternativer Verbesserungsmaßnahmen und damit verbunden auch keine Möglichkeit zur Bilanzierung der Kostenveränderung und der erreichbaren Verbesserung der Logistikleistung. Der Hauptgrund ist in der fehlenden Darstellung der Wirkzusammenhänge von Logistikleistung und den Kostengrößen zu sehen. Es ist nicht möglich, eine Kennzahl zu verändern und die Auswirkung auf die anderen Kennzahlen zu verfolgen. Daher sind diese Methoden zum Aufbau eines Bewertungsmodells nicht geeignet.

Die Ansätze des Prozessmanagements basieren alle auf der Grundlage eines statischen Prozessmodells. Anhand dieses Prozessmodells können Zeit- und Kostengrößen eingetragen und überwacht werden. Vorteil des Prozessmanagements ist der durchgängige und prozessbezogene Ansatz, der eine Bewertung von Prozessleistungen unterstützt. Die Wirkzusammenhänge zwischen den logistischen Zielgrößen werden damit aber nicht erklärbar. Auch ist es schwierig, anhand dieser Modelle die Auswirkung von Veränderungen auf der Kosten- und der Leistungsseite abzuschätzen. Aufgrund der eingeschränkten Aussagemöglichkeiten eignen sich diese Prozessmodelle nur für einfache Prozesse, die keine ausführliche Erklärung der dynamischen Wirkzusammenhänge zwischen den logistischen Größen und den von ihnen beeinflussbaren Kosten erfordern.

Kostensimulation als auch die bestehenden Ansätze der Kostenkennlinien sind grundsätzlich geeignet, als Basis für den Aufbau eines Bewertungsmodells der Logistikleistung zu dienen. Beide Ansätze ermöglichen prinzipiell eine durchgängige Bewertung der Logistikleistung sowie eine Erklärung der Wirkzusammenhänge zwischen den logistischen Zielgrößen und deren Auswirkung auf die damit verbundenen Kostenarten. Jedoch weisen die Ansätze der Kostensimulation den Nachteil des hohen Aufwands zur Experimentdurchführung und zur Anpassung der Simulationsmodelle an die spezifische Problemstellung auf. Zudem unterstützt die Simulationstechnik im Gegensatz zur Kennlinientheorie nicht aktiv das Aufzeigen logistischer Rationalisierungspotenziale, bei dem der jeweilige Zustand im Vergleich zu einem idealen sowie einem realistisch erreichbaren Betriebszustand verglichen wird.

Die Defizite der vorliegenden Ansätze der Kostenkennlinien sind darin zu sehen, dass nur einige Kostenarten berücksichtigt werden, und zwar die direkten Einzel- und Gemeinkosten an einem Arbeitssystem. Gemeinkosten, die durch die Prozesse der Produktionslogistik verursacht werden, werden nicht berücksichtigt. Auch werden nur isolierte Produktionsbereiche betrachtet, welches

zur Bildung von Suboptima führt, die im Gegensatz zum wirtschaftlichen Erfolg bei Betrachtung der gesamten Fertigungsprozesskette stehen können. Die entwickelten ressourcenbezogenen Kostenkennlinien unterstützen damit zwar bei der Ermittlung eines ökonomisch optimalen Betriebspunktes eines Arbeitssystems, aber nicht eines durchgängigen Prozesses.

Fazit

Ein praxistaugliches Modell einer Prozesskette und ein methodischer Ansatz, die eine verursachungsgerechte Zurechnung der mit der logistischen Leistungserstellung verbundenen Kosten unterstützen und transparent offen legen, auf reduzierbare Kosten hinweist und Verbesserungspotentiale zur Steigerung der Logistikleistung aufzeigen, sind bis heute nicht verfügbar [FRAN95, NYWI99]. Dieses Defizit soll durch die Entwicklung eines prozessorientierten Logistik- und Kostenwirkmodells sowie einen methodischen Ansatz zur Beurteilung von logistischen Gestaltungsmaßnahmen in dieser Arbeit beseitigt werden.

4 Konzeption einer modellbasierten Beurteilungsmethodik von Prozessketten

In diesem Kapitel werden die einzelnen Komponenten der Methodik erarbeitet und vorgestellt, die für eine Beurteilung der Kostenwirkungen bei Veränderungen einer Prozesskette auftreten. Als Methodik wird in dieser Arbeit die Gesamtheit aller Modelle, Hilfsmittel und Rechenvorschriften verstanden, die zur Bewältigung einer komplexen Aufgabe herangezogen werden [LAUF95].

Hierzu werden zuerst die Ziele, die mit der Methodik verfolgt werden und ihr geeignetes Einsatzgebiet eingegrenzt. Danach erfolgt die Definition der Anforderungen, die im Rahmen der Konzeption beachtet werden müssen und ein Überblick über die einzelnen Bestandteile des verfolgten Lösungskonzepts. Danach erfolgt die Beschreibung der einzelnen Bestandteile.

4.1 Ziel und mögliche Einsatzgebiete der Methodik

Ziel der in dieser Arbeit zu entwickelnden Methodik ist eine effektive Unterstützung zur Beurteilung von Prozessketten, indem die erreichbare Logistikleistung mit den dabei verursachten Prozesskosten verglichen wird. Die Logistikleistung wird mittels Kenngrößen gemessen, die aus den logistischen Modellen abgeleitet werden. Die Beurteilung der Kostenwirkung wird durch eine verursachungsgerechte Zuordnung von Kostenarten aus den betrieblichen Kostenstellenplänen zu den einzelnen Prozesselementen ermöglicht. Dabei werden nicht nur die direkten Einzelkosten der Wertschöpfung betrachtet, sondern auch die Kosten der Produktionslogistik, die traditionell den Gemeinkosten zugerechnet werden. Diese umfassen Kosten für Transport, Lagerung, Planung und Auftragsüberwachung. Letztere bilden die in Abschnitt 2.2 genannten Aufgaben der PPS ab.

Aus der Gegenüberstellung von Kosten und Leistung sollen Gestaltungshinweise für den Entscheider abgeleitet werden, wie und an welchen Stellen der Prozesskette anzusetzen ist, um entweder die Logistikleistung zu steigern oder um die induzierten Prozesskosten zu senken. Implementiert wird diese Methode in einem softwaregestützten Anwendungssystem, das eine monetäre und logistische Positionierung der Prozesselemente einer Prozesskette durch die Berechnung der Modellgrößen und Visualisierung der Ergebnisse unterstützt. Grundlage der Methodik sind Logistik- und Kostenwirkmodelle der einzelnen Prozesselemente einer betrachteten Prozesskette, die einen Wirkzusammenhang zwischen der logistischen Leistung und den damit verbundenen Kosten konsistent aufzeigen und für Entscheidungen transparent machen.

Das Haupteinsatzgebiet der in dieser Arbeit entwickelten Methodik ist die Gestaltungs- und Dimensionierungsphase von Fertigungsprozessketten (**Bild 4.1**). Diese Phasen können entweder im Rahmen der Auslegung von Fabrikstrukturen oder beim Aufbau neuer Fertigungsprozessketten auftreten. Daher ist der Einsatzschwerpunkt der Methodik in der Unterstützung bei diesen Aufgaben zu sehen. Eine Ausweitung und Anwendung im Rahmen von operativen Prozessoptimie-

rungen ist ebenfalls prinzipiell möglich, allerdings nicht Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit. Um einen Einsatz der Methodik zur Prozessoptimierung zu ermöglichen, sind Rückmeldedaten als Datengrundlage anstelle der Planungsdaten zu verwenden.

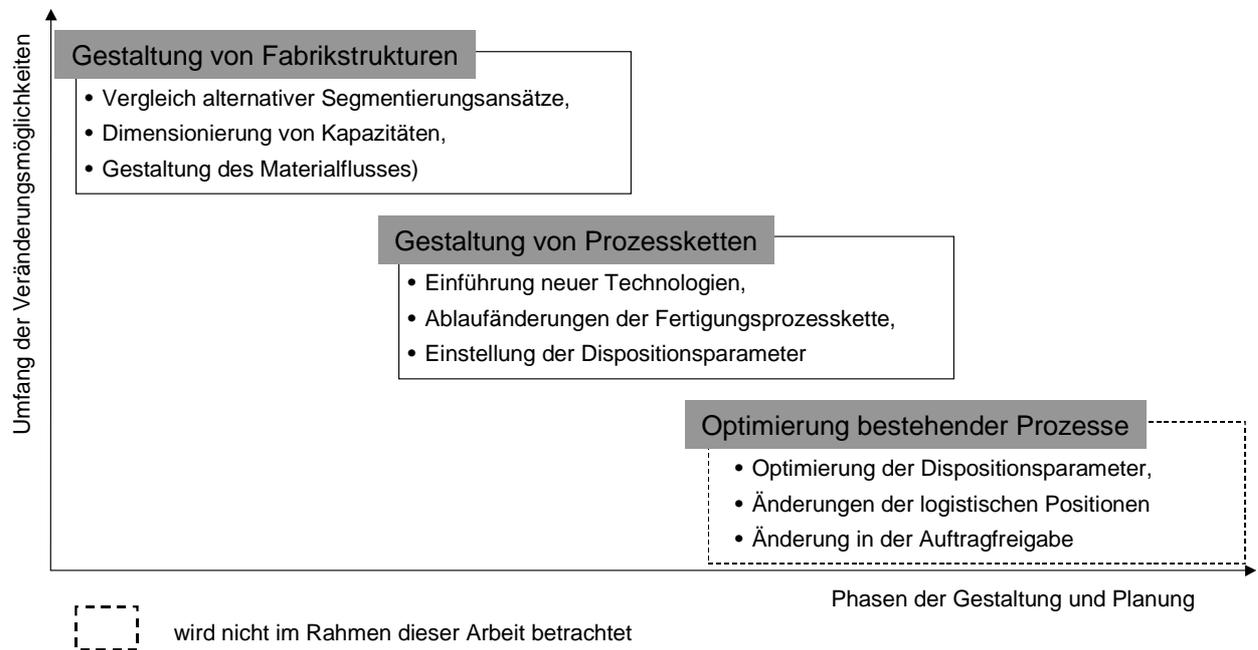


Bild 4.1: Einsatzgebiete der Methodik

Während der Fabrikplanung werden die Potentiale der Logistik insbesondere in den Phasen der Strukturplanung, der Dimensionierung und der Gestaltung festgelegt [MÖLL96]. Hier kann die Methodik zur Bewertung alternativer Segmentierungsansätze von Fertigungsstrukturen, der Dimensionierung von notwendigen Kapazitäten oder der Gestaltung des Materialflusses eingesetzt werden. Im Rahmen des Gestaltung und der Auslegung von Prozessketten dient die Methodik zur Beurteilung der logistischen und wirtschaftlichen Konsequenzen bei Einführung neuer Prozesstechnologien und Veränderungen des geplanten Ablaufs durch Vertauschen oder Eliminieren logistischer und technischer Prozessschritte. In dieser Phase können durch den Einsatz der Methodik auch gezielt die logistischen Dispositionsparameter (z.B. Losgrößen, Plan-Durchlaufzeiten, Kapazitäten) eingestellt werden, um damit die erreichbare Logistikleistung und die Kostenauswirkungen zu beurteilen.

4.2 Ableitung von Anforderungen an das Konzept

Aus den Zielen, den erwarteten Einsatzgebieten der Methode und einem Abgleich mit den Defiziten der vorhandenen Ansätze lassen sich die Anforderungen an ein geeignetes Lösungskonzept ableiten. Diese werden nachfolgend vorgestellt (**Bild 4.2**).

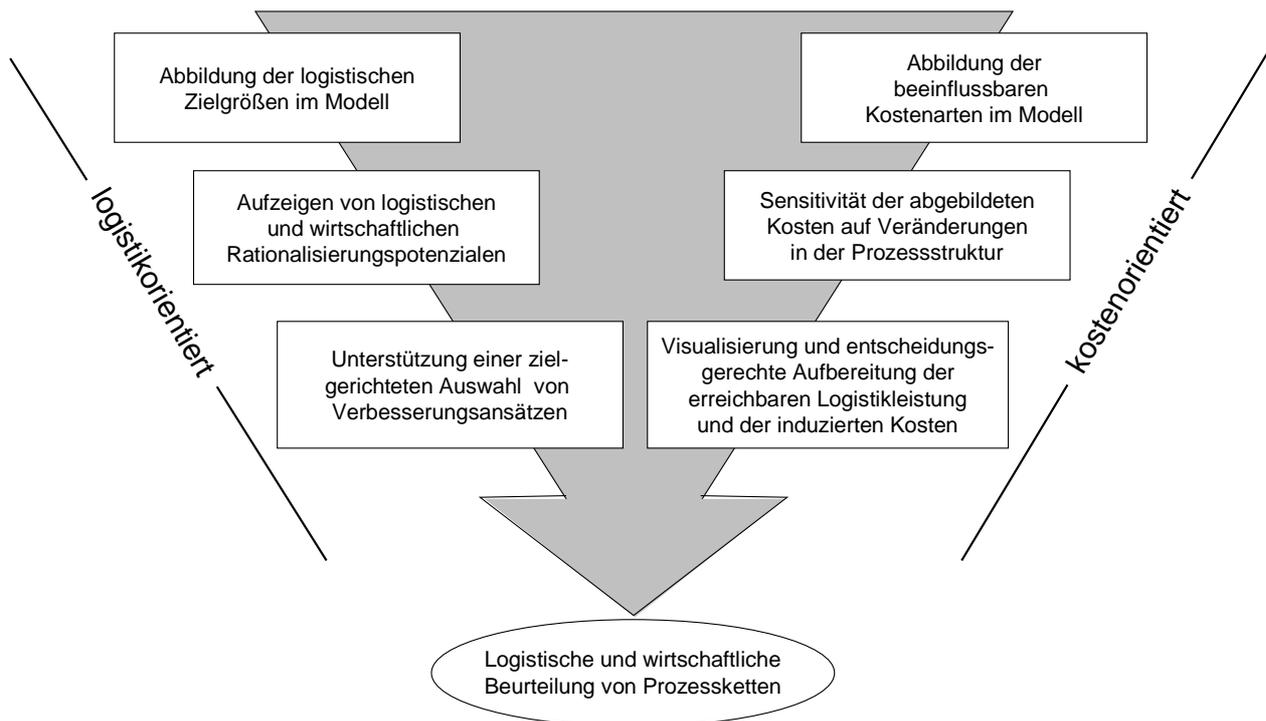


Bild 4.2: Anforderungen an das Konzept

Da für die vorliegende Arbeit ein modellbasierter Ansatz gewählt wird (siehe auch Abschnitt 2.4), müssen die zu erarbeitenden Modelle geeignet sein, die logistischen Zielgrößen und die relevanten Kostenarten entscheidungsgerecht aufzubereiten und bereitzustellen. Dabei erfolgt die Quantifizierung der logistischen Zielgrößen in Form von Kenngrößen, die eine Beurteilung der Logistikleistung des Prozesses ermöglichen. Die Aufbereitung der relevanten Kostenarten erfolgt durch die Bildung von Prozesskostensätzen und Stundensätzen auf Basis eines Kostenmodells.

Die Methodik hat das Ziel, den Anwender bei der Identifizierung und Ausschöpfung vorhandener logistischer und wirtschaftlicher Rationalisierungspotenziale der gewählten Prozessstruktur und –konfiguration zu unterstützen. Daraus leitet sich die Anforderung ab, diese vorhandenen Potenziale durch die Modelle aufzuzeigen, um sie gezielt ausschöpfen zu können. Um das vorhandene logistische Potenzial aus monetärer Sicht beurteilen zu können, müssen die Kosten und die logistische Prozessleistung mit den Veränderungen in der Prozessstruktur variieren können. Durch eine geeignete Visualisierung der jeweils mit der gewählten Prozessstruktur erreichbaren Logistikleistung und den dabei induzierten Kosten, soll die Auswahl von Verbesserungen unterstützt werden.

4.3 Lösungskonzept

4.3.1 Überblick über das Lösungskonzept

Der erste Schritt bei der Erstellung des gewählten Lösungskonzeptes ist der Aufbau eines logistischen Prozessmodells einer Fertigungsprozesskette. Dieses Modell wird aus den produktionslogistischen Modellen einzelner Prozesselemente zusammengefügt (Abschnitt 4.3.2). Aus diesen produktionslogistischen Modellen werden für die einzelnen Prozesselemente die logistischen Kenngrößen der Logistikleistung (Durchlaufzeit, Auslastung, Terminabweichung) abgeleitet. Hierzu werden in Abschnitt 4.3.3.1 für jedes Prozesselement die Berechnungsvorschriften erarbeitet, wie die mittelwert- und streuungsbezogenen Kenngrößen aus den jeweiligen Modellen zu berechnen sind.

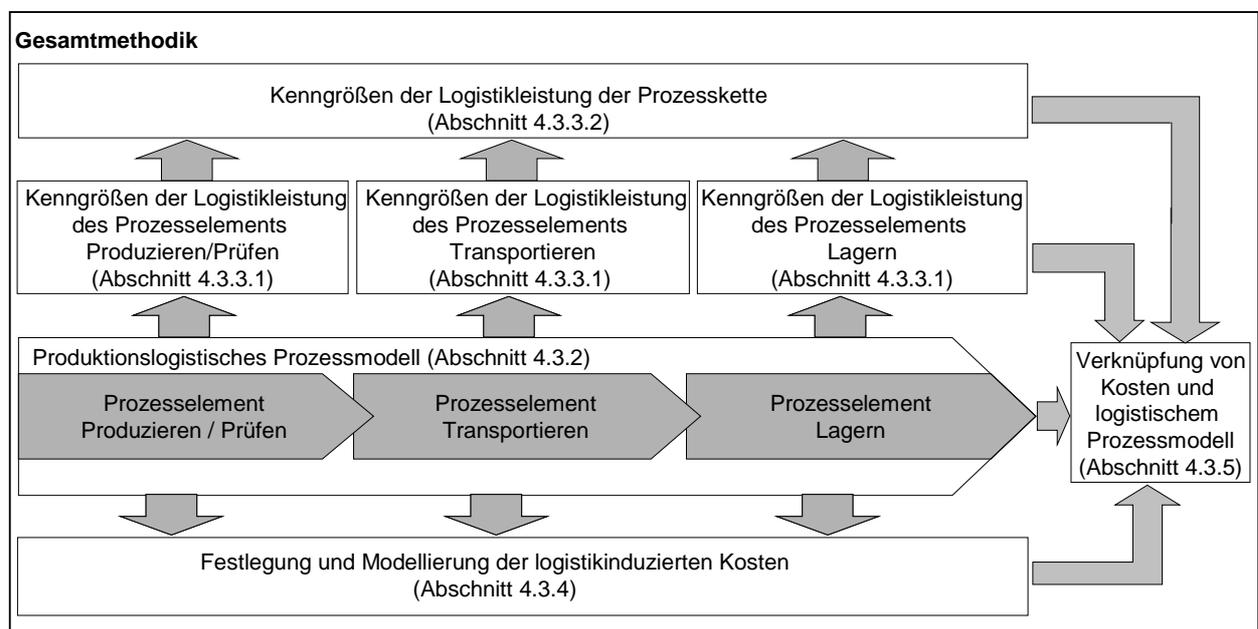


Bild 4.3: Bestandteile des Lösungskonzepts

In Abschnitt 4.3.3.2 werden die Berechnungsvorschriften zur Ermittlung der Kenngrößen der Logistikleistung einer gesamten Prozesskette vorgestellt. Diese Kenngrößen entstehen aus einer Verknüpfung der Kenngrößen der einzelnen Prozesselemente. Damit wird es möglich, die Logistikleistung einer gesamten Prozesskette zu bestimmen.

Die im Rahmen von logistischen Maßnahmen beeinflussbaren Kostenarten werden in Abschnitt 4.3.4 festgelegt und es wird ein geeignetes Kostenmodell erarbeitet, das die Kosten den einzelnen Prozesselementen zuordnet. Durch die funktionale Verknüpfung der modellierten Kosten mit den produktionslogistischen Modellen der einzelnen Prozesselemente entstehen erweiterte Wirkmodelle, die eine quantitative Aussage bezüglich der Kostenreaktion der Prozesselemente bei unterschiedlichem Erfüllungsgrad der Logistikleistung ermöglichen. Eine monetäre Beurteilung der gesamten Prozesskette ist durch eine Summation der Prozesskosten aller Elemente möglich.

Im folgenden Abschnitt 4.3.2 wird das produktionslogistische Modell einer Prozesskette erarbeitet. Dieses dient als Referenzmodell für individuell aufzubauende Prozessketten, indem es die notwendigen logistischen Referenzprozesse enthält.

4.3.2 Produktionslogistische Prozessmodellierung

Die in dieser Arbeit betrachtete Prozesskette ist eine Fertigungsprozesskette, wie sie im Fertigungsbereich von produzierenden Unternehmen vorzufinden ist. Diese Prozesskette beginnt mit der Bereitstellung der Rohware aus dem Rohwarenlager und endet mit der Einlagerung der gefertigten Bauteile in das Zwischen- oder Fertigwarenlager. Danach können sich entweder weitere Verarbeitungsschritte in Form von Montagen oder die Distribution der Bauteile an die Kunden anschließen. Grundsätzlich ist die zu entwickelnde Methodik auch für diese weiterfolgenden Prozessschritte anwendbar, jedoch bleibt die vorliegende Arbeit auf die Betrachtung einer Fertigungskette beschränkt, da hier die prinzipielle Anwendbarkeit der Methodik gezeigt werden soll. Des Weiteren wird durch das Rohwarenlager eine Entkopplung der Fertigungsprozesskette von den Prozessen der Beschaffung vorausgesetzt, so dass von einer vollständigen Verfügbarkeit der Rohware ausgegangen wird.

Die elementaren Prozesse, aus denen jede logistische Produktionskette, und somit auch eine Fertigungsprozesskette aufgebaut ist, sind die Referenzprozesse *Produzieren und Prüfen*, *Lagern und Bereitstellen* sowie *Transportieren* [KUHN95, FAST97]. Diese Elemente bilden daher auch die Grundlage für das in dieser Arbeit betrachtete produktionslogistische Prozessmodell, aus dem verschiedene Ausprägungen von komplexeren Ketten aufgebaut werden können (**Bild 4.4**). Das Prozesselement *Produzieren / Prüfen* bezieht sich dabei in dieser Arbeit auf einen Fertigungsprozess und wird nachfolgend verkürzt als Prozesselement *Produzieren* bezeichnet.

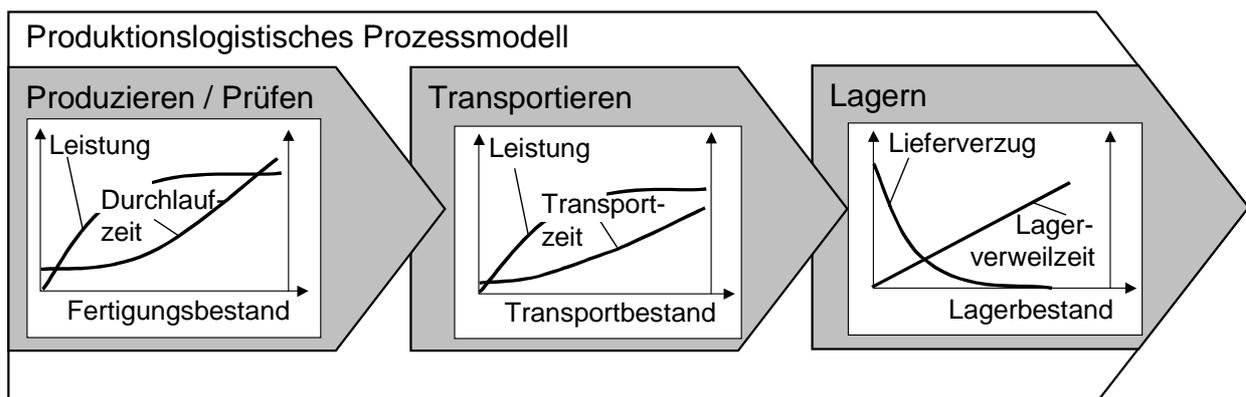


Bild 4.4: Teilprozesse des produktionslogistischen Prozessmodells

Zur Modellierung des logistischen Verhaltens und der logistischen Zielgrößen der einzelnen Prozesselemente werden die in Abschnitt 2.4.2 vorgestellten logistischen Kennlinien des Produktions-, Transport- und Lagerungsprozesses eingesetzt. Diese Modelle eignen sich sehr gut, um die Wirkzusammenhänge der logistischen Kenngrößen Durchlaufzeit, Bestand, Auslastung und Terminabweichung bei verschiedenen logistischen Betriebspunkten und bei einer Variation

der Struktur der Prozesskette zu erklären. Somit können sie zur Auslegung und Proberechnung bei der Prozessgestaltung eingesetzt werden. Darüber hinaus unterstützen sie den Anwender bei der Entscheidungsfindung, indem sie bei einer gegebenen Struktur die vorhandenen logistischen Rationalisierungspotenziale aufzeigen.

Aufgrund des Einsatzgebietes der Modelle im Rahmen der Fabrikplanung und des Aufbaus neuer Prozessketten (siehe auch Abschnitt 4.1), werden die folgenden Randbedingungen der Modellierung festgelegt. Bei einer Auslegung und Planung von Prozessketten wird in einem ersten Schritt von einem bestmöglichen Prozesszustand ausgegangen, indem Störungen und Abweichungen, die bei einer späteren Prozessdurchführung auftreten können, vorerst nicht betrachtet werden. Störungen, die den geplanten Beginn des Prozesses beeinträchtigen, wie die Nichtverfügbarkeit von Material oder Betriebsmitteln, werden daher nicht in die Betrachtung einbezogen. Störungen aufgrund der Nichtverfügbarkeit von Ressourcen (Personal oder Maschinen) werden nur im Rahmen der Festlegung der notwendigen Kapazität berücksichtigt. Des Weiteren werden Abweichungen aufgrund von Nacharbeit und Ausschuss nicht im Modell dargestellt. Diese in der betrieblichen Praxis häufig auftretenden Störgrößen können in nachfolgenden Modellverfeinerungen berücksichtigt werden. Zur Modellierung von Nacharbeit und Ausschuss in den produktionslogistischen Modellen können die Ergebnisse der Arbeiten von *Penz* herangezogen werden, der den Einfluss der technischen Qualität auf die logistische Leistung auf Basis der Kennlinientheorie untersucht hat [PENZ96].

Die planenden und steuernden Prozesse der Produktionslogistik, die im Prozessmodell in Abschnitt 2.2 beschrieben wurden, sind nicht explizit in **Bild 4.4** abgebildet. Diese Prozesse sind aber zur Planung und Steuerung der abgebildeten Prozesskette notwendig und verursachen dabei Kosten, die der Prozesskette verursachungsgerecht zuzuordnen sind. Daher werden sie in Abschnitt 4.3.4.2 bei der Abbildung der Kostenarten berücksichtigt. Dies ist erforderlich, wenn alle durch Gestaltungsmaßnahmen der Produktionslogistik beeinflussbaren Kosten in dieser Arbeit Berücksichtigung finden sollen. Beispielsweise ist der Prozess der Erstellung von Fertigungspapieren von der Anzahl an Fertigungsaufträgen abhängig. Wird durch entsprechende Gestaltungsmaßnahmen der Produktionslogistik die Anzahl der Fertigungsaufträge variiert (z.B. durch Losgrößenveränderungen), dann hat dies auch Auswirkungen auf die Höhe der durch diesen Prozess verursachten Kosten. Je größer die Losgröße gewählt wird, desto geringer ist die Zahl der Fertigungsaufträge und desto geringer die Häufigkeit der Prozessdurchführung und die damit verursachten Prozesskosten. Daher sind diese Kosten in die Entscheidung mit einzubeziehen. Dieser Zusammenhang setzt voraus, dass über die Losgröße die Bestimmung der Anzahl an Aufträgen erfolgt (siehe auch Abschnitt 4.3.4.2).

Nach der Festlegung des Prozessmodells werden im nächsten Abschnitt die Berechnungsvorschriften zu Ermittlung der Kenngrößen der Logistikleistung der einzelnen Prozesselemente vorgestellt.

4.3.3 Messung der Logistikleistung einer Prozesskette

Die Möglichkeit zur Bewertung der Logistikleistung einer Prozesskette setzt voraus, dass die Zielgröße hohe Logistikleistung einer quantifizierbaren Messung zugänglich gemacht werden kann. Wie in Abschnitt 2.3 ausgeführt, kann die logistische Leistung einer Prozesskette anhand der Zielgrößen *hohe Verfügbarkeit*, *hohe Produktivität*, *kurze Durchlaufzeit* und *hoher Lieferservice* genauer beschrieben werden. Für diese Zielgrößen werden Kenngrößen festgelegt, die geeignet sind, eine Aussage über die Zielerreichung zu ermöglichen.

Eine hohe logistische Leistung kann nur durch eine durchgängige Beherrschung der Prozesse erfolgen [WIEN96b]. Eine logistische Beherrschung der Prozesse ist aber nur dann gegeben, wenn Mittelwerte und Streuung der Prozessmerkmale, hier der Ausprägung der Kenngrößen, gemessen werden und wenn jedes beteiligte Prozesselement die geforderte Logistikleistung erbringt. Daher werden nachfolgend die mittelwertsbezogenen und streuungsbehafteten Kenngrößen der Logistikleistung für jedes Prozesselement ermittelt.

4.3.3.1 Kenngrößen der Logistikleistung einzelner Prozesselemente

Zuerst werden die Berechnungsvorschriften zur Ermittlung der Kenngrößen aus dem Prozessmodell des Elements *Produzieren* vorgestellt. Insbesondere die streuungsbezogenen Kenngrößen sind nicht direkt aus der Produktionskennlinie ablesbar und erfordern daher eine umfangreiche Herleitung. Jedoch können die für dieses Element vorgestellten Herleitungen in analoger Form auch für das Element *Transportieren* angewandt werden. Für den Lagerungsprozess sind die Kenngrößen auf einfache Weise direkt aus der Lagerkennlinie abzuleiten.

- **Prozesselement Produzieren**

Das Prozesselement *Produzieren* wird nachfolgend synonym mit der Bezeichnung Arbeitssystem verwendet, da der Produktionsprozess (ein oder mehrere Arbeitsvorgänge) an einem Arbeitssystem durchgeführt werden kann.

Die Zielgröße *hohe Verfügbarkeit* an diesem Prozesselement wird durch die mittlere Terminabweichung im Zugang und ihrer Streuung bestimmt. Wie in Abschnitt 4.3.2 ausgeführt, wird in dieser Arbeit die Verfügbarkeit zu Beginn einer Prozesskette als gegeben vorausgesetzt, so dass die Bestimmung der Zugangsterminabweichung in einem ersten Schritt nicht erforderlich ist. Daher ist die Zielgröße *hohe Verfügbarkeit* in **Bild 4.5** punktiert umrandet. Die Zielgröße *hoher Lieferservice* wird durch die Abgangsterminabweichung in Mittelwert und Streuung bestimmt. Die Abgangsterminabweichung wird durch eine Überlagerung von Zugangs- und Durchlaufzeitabweichung an einem Arbeitssystem bestimmt. Da in dem hier vorliegenden Fall die Zugangsterminabweichung nicht berücksichtigt wird, ergibt sich die Abgangsterminabweichung allein aus der Durchlaufzeitabweichung. Die Bestimmung der Durchlaufzeitabweichung wird nachfolgend noch erläutert. Die Zielgröße *hohe Produktivität* wird anhand der mittleren Auslastung der

Kapazitäten quantifiziert. Die mittlere Durchlaufzeit und ihre Streuung ist ein Maß für die Zielgröße *kurze Durchlaufzeit* (**Bild 4.5**).

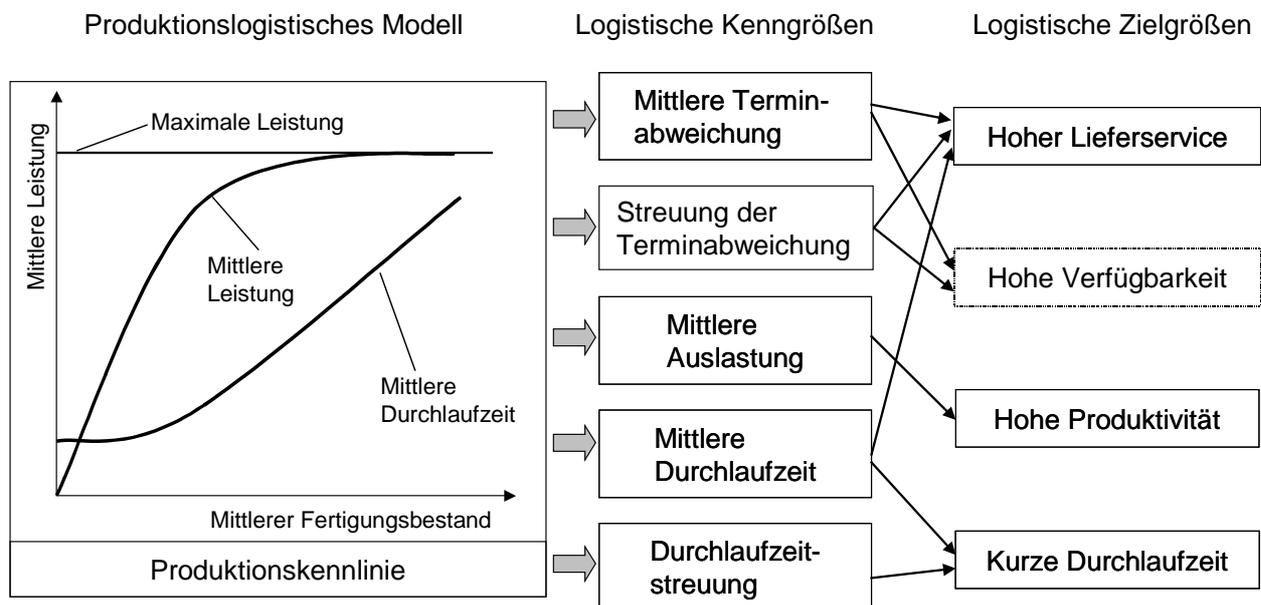


Bild 4.5: Ermittlung der logistischen Zielgrößen für das Prozesselement *Produzieren*

Die logistischen Kennzahlen *mittlere Auslastung* und *mittlere Durchlaufzeit* lassen sich direkt aus der Produktionskennlinie zu verschiedenen Betriebspunkten ableiten, wobei sich die mittlere Auslastung aus der mittleren Leistung zu einem festgelegten Betriebspunkt und der maximal möglichen Leistung wie folgt errechnet [NYWI99]:

$$A_m(t) = \frac{L_m(t)}{L_{\max}} \cdot 100 \quad \text{Gleichung 4.1}$$

mit:

- $A_m(t)$ = mittlere Auslastung [%]
- $L_m(t)$ = mittlere Leistung [Std/BKT]
- L_{\max} = maximal mögliche Leistung [Std/BKT]
- t = Laufvariable ($0 < t < 1$) [-]

Die mittlere Durchlaufzeit dieses Prozesselements ergibt sich unter der Voraussetzung des Einhaltens der FIFO-Regel (First-In First-Out) aus der Produktionskennlinie wie folgt [NYWI99]:

$$ZDL_m(t) = R_m(t) - ZDF_m \cdot ZDF_v^2 \quad \text{Gleichung 4.2}$$

mit:

- $ZDL_m(t)$ = mittlere Durchlaufzeit [BKT]
- $R_m(t)$ = mittlere Reichweite [Std/BKT]
- ZDF_m = mittlere Durchführungszeit [BKT]
- ZDF_v = Variationskoeffizient der Durchführungszeit [-]
- t = Laufvariable ($0 \leq t \leq 1$)

Wird die FIFO-Regel nicht eingehalten, so kann die mittlere Durchlaufzeit durch das Einsetzen von Korrekturfaktoren in die Gleichung 4.2 bestimmt werden. Diese Korrekturfaktoren berücksichtigen die veränderten Liegezeiten bei Anwendung von Reihfolgeregeln, wie LOZ (Längste Operationszeit) oder KOZ (kürzeste Operationszeit). Die Näherungen, die diese Korrekturfaktoren enthalten, wurden aus den Erkenntnissen mehrerer Simulationsuntersuchungen abgeleitet [NYWI99]. Grundsätzlich kann dabei festgehalten werden, dass der Einfluss der Reihenfolgeregeln auf die Durchlaufzeit mit steigendem Bestand zunimmt.

Zur Berechnung der Kenngrößen mittlere Terminabweichung und Streuung der Terminabweichung sind die nachfolgend beschriebenen Berechnungsvorschriften zu verwenden. Dabei ist anzumerken, dass im Rahmen der Auslegung und Planung von Prozessketten keine mittlere Abgangsterminabweichung auftreten kann, da nur Planwerte vorliegen und daher keine Abweichungen eines Ist- von einem Soll-Wert möglich sind. An dieser Stelle wird daher der Schwerpunkt auf der Berechnung der Streuung der Terminabweichung liegen. Zur Berechnung der mittleren Terminabweichung wird nur die grundsätzliche Vorgehensweise vorgestellt. Sie kann bei Einsatz der in dieser Arbeit entwickelten Methodik zum Abgleich eines gemessenen Ist-Wertes mit dem Plan-Wert verwandt werden (z. B. im Rahmen einer Prozessoptimierung).

Wird eine Zugangsterminabweichung ausgeschlossen, so ergibt sich die mittlere Terminabweichung nur aus der Abweichung der Ist-Durchlaufzeit des betrachteten Prozesses von der geplanten Durchlaufzeit [YU01].

$$TAA_m(t) = ZDL_m(t) - ZDL_{Plan} \quad \text{Gleichung 4.3}$$

mit: $TAA_m(t)$ = mittlere Abgangsterminabweichung [BKT]
 $ZDL_m(t)$ = mittlere Ist-Durchlaufzeit [BKT]
 ZDL_{Plan} = mittlere Plan-Durchlaufzeit [Std/BKT]

Da aufgrund der Trichterformel Durchlaufzeit und Bestand proportional sind, kann die mittlere Abgangsterminabweichung aus der Produktionskennlinie direkt abgeleitet werden, wie in Bild 4.6 dargestellt. Dabei wird die Terminabweichungskennlinie vertikal parallel zur Durchlaufzeitkennlinie verschoben, bis eine mittlere Terminabweichung Null bei geplantem Betriebspunkt, charakterisiert durch den Planbestand und die Plandurchlaufzeit, erreicht ist. Jede Abweichung von diesem Betriebspunkt führt zu einer mittleren Abgangsterminabweichung.

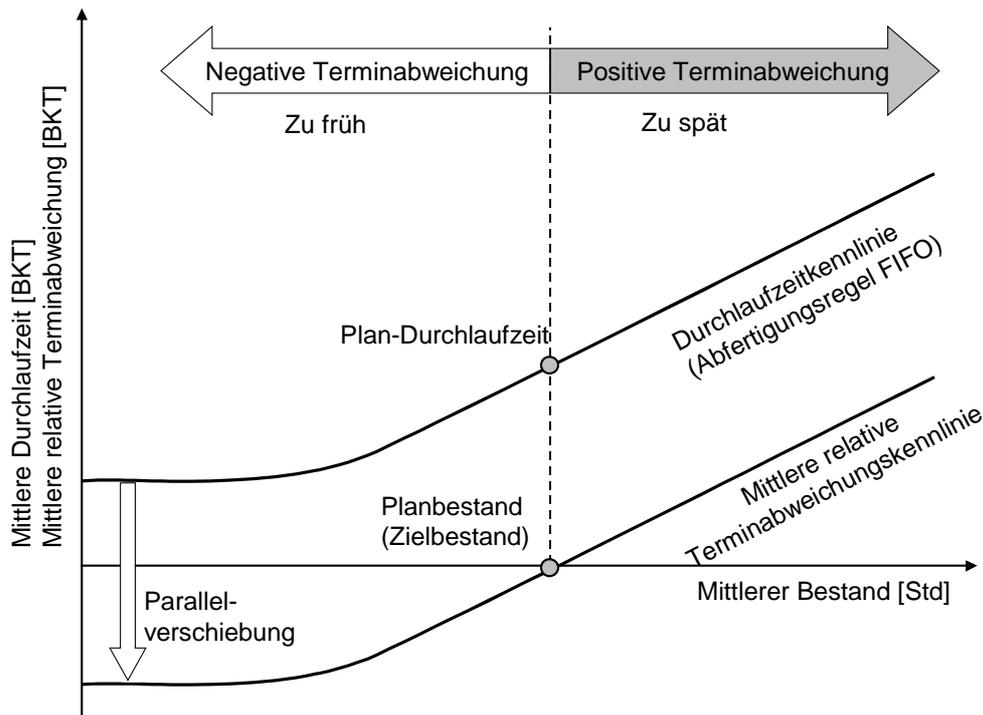


Bild 4.6: Ableitung der relativen Terminabweichung aus der Durchlaufzeitkennlinie [YU01]

Die Berechnung der Streuung der Terminabweichung soll nachfolgend vorgestellt werden.

Die Streuung der Abgangsterminabweichung wird nur durch die Streuung der Durchlaufzeit bestimmt, wenn, wie bereits oben ausgeführt, eine Streuung der Zugangsterminabweichung nicht betrachtet wird. Die Streuungswerte für die Kennzahlen Durchlaufzeit und Terminabweichung geben eine Auskunft über die Qualität der Planungswerte. Je größer die Streuung der Ergebnisse, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die geplanten Werte auch erreicht werden können. Daher muss es das Ziel sein, die Prozesse über die Reduzierung der Streuungswerte logistisch beherrschbar zu machen. Die Streuungswerte können nicht direkt aus der Produktionskennlinie abgelesen werden und müssen daher aus den Ursprungsdaten berechnet werden. Soll eine Aussage über die bei bestimmten strukturellen Randbedingungen oder bei einer Variation des Betriebspunktes auftretenden Streuungen bereits in der Planungsphase getroffen werden, ist ein methodischer Ansatz notwendig, um aus den vorliegenden Planwerten zu Aussagen bzgl. der zu erwartenden Streuungen zu kommen. Dieser baut auf Erkenntnissen über die Wirkzusammenhänge der Streuungsgrößen am Prozesselement *Produzieren* auf, die im wesentlichen von *Ludwig, Penz, Fastabend* und *Yu* erforscht wurden [LUDW94, PENZ96, FAST97, YU01].

Nachfolgend wird die Ermittlung der streuungsbehafteten Größen bei gegebenem Betriebspunkt vorgestellt. Um den Überblick über das Zusammenwirken der Streuwerte zu geben und um die Übersichtlichkeit der Beschreibung zu erhöhen, sind in **Bild 4.7** die einzelnen Streuungsgrößen und ihre Beziehung zueinander dargestellt.

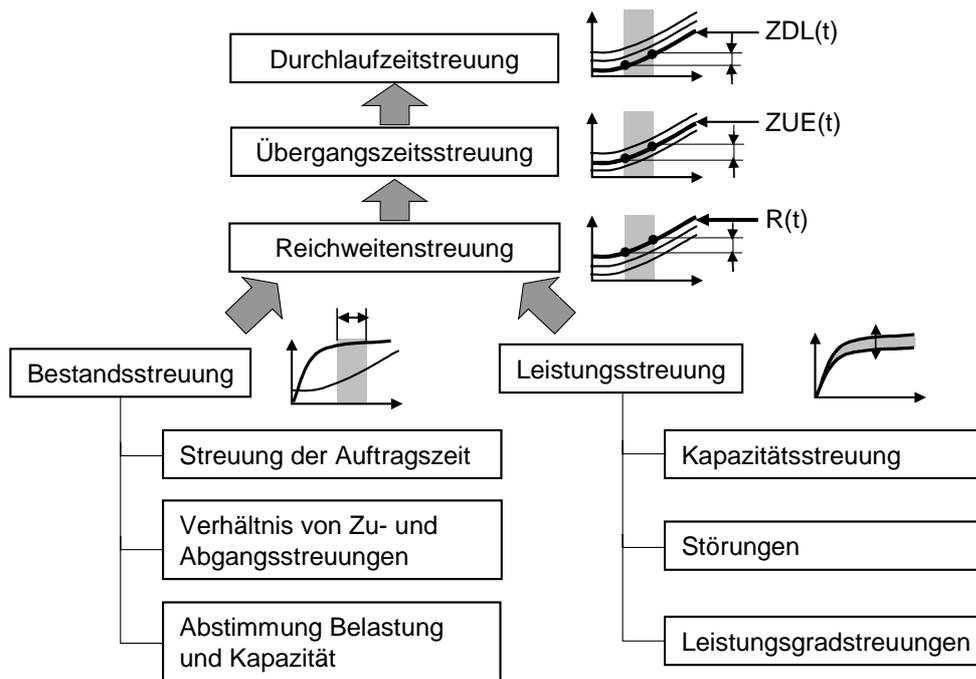


Bild 4.7: Zusammenwirken der steuerungsbehafteten, logistischen Kenngrößen

Die Streuungen am Prozesselement *Produzieren* entstehen durch eine Überlagerung von Bestands- und Leistungssteuerung. Diese wirken direkt auf die Steuerung der Reichweite. Über die mathematischen Verknüpfungen zwischen Reichweite, Übergangszeit und Durchlaufzeit an einem Arbeitssystem können damit auch die Durchlaufzeitstreuungen berechnet werden [FAST97, NYWI99]. Nachfolgend werden das Entstehen der Bestandsstreuungen und der Leistungsstreuungen beschrieben, um daraus die weiteren Steuerungsgrößen ableiten zu können.

Die Streuung des Bestands an einem Arbeitssystem wird signifikant durch die Streuung der Auftragszeit der zu bearbeiteten Aufträge, aber auch durch die Einbindung des Arbeitssystems in den Materialfluss und damit die Streuung der Zu- und Abgänge beschrieben. Darüber hinaus hat die Anpassung der Kapazität des Systems an die Belastungen durch Kapazitätsflexibilisierung, bzw. durch die Harmonisierung der Belastung einen zusätzlichen Einfluss auf die Streuung des Bestandes [LUDW94, YU01].

Die Bestandsstreuung an einem Arbeitssystem können näherungsweise über die nachfolgende Gleichung beschrieben werden [PENZ96, FAST97].

$$B_{m,s} = \sqrt{1 + ADA^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{PPL}} \cdot \sqrt{AAP} \cdot ZAU_s \tag{Gleichung 4.4}$$

- mit:
- $B_{m,s}$ = Streuung des mittleren Bestandes am Arbeitssystem [Std]
 - AAP = Anzahl Arbeitsplätze [-]
 - ZAU_s = Streuung der Auftragszeit [Std]
 - PPL = Planperiodenlänge [BKT]
 - ADA = Adaptiver Materialflussfaktor

Aus dieser Gleichung ist erkennbar, dass die Auftragszeitstreuung die natürliche Bestandsstreuung am Arbeitssystem verursacht, die nur durch strukturelle Maßnahmen der Auftragszeitharmonisierung verringert werden kann. Verstärkt wird diese Streuung noch durch das Verhältnis von Zu- und Abgangsstreuung, das seinen Ausdruck im adaptiven Materialflussfaktor ADA findet. Dieser Faktor wird zum einen durch die Streuung des Zugangs am Arbeitssystem beeinflusst, zum anderen aber auch durch Abstimmungsmaßnahmen zur Anpassung der Kapazität an diese Belastung. Je größer die Zugangsstreuung und je geringer die Abstimmung, desto höher wird der Faktor ADA sein [PENZ96, YU01]. Empirische Untersuchungen von Penz ergaben, dass der Faktor ADA Werte zwischen 1 und 2 annehmen kann. Aufgrund der durchgeführten Analysen wurde ein ADA-Faktor von 1,5 für Neuanläufe von Fertigungsstrukturen empfohlen.

Die Leistungsstreuung eines Arbeitssystems ist auf die Kapazitätsstreuung aufgrund eventuell auftretender Maschinenstörungen oder Streuungen des Leistungsgrads am Arbeitssystem zurückzuführen und wird wie folgt berechnet.

$$L_{m,s}(t) = KAP_s \cdot A_{max} \cdot LG \cdot \left(1 - \left(1 - \sqrt[4]{t} \right)^4 \right) \quad \text{Gleichung 4.5}$$

mit:	$L_{m,s}(t)$	=	Streuung der mittleren Leistung [Std/BKT]
	A_{max}	=	maximal mögliche Auslastung [%]
	KAP_s	=	Streuung der Kapazität (Standardabweichung) [Std/BKT]
	LG	=	Leistungsgrad [-]
	t	=	Laufvariable ($0 \leq t \leq 1$)

Aufgrund der Trichterformel haben die Bestands- als auch die Leistungsstreuung Einfluss auf die Streuung der Reichweite. Die Berechnung der Reichweitenstreuung aus dem Quotienten der Streuungswerte für Bestand und Leistung ist sehr aufwendig, da nicht von einer statistischen Unabhängigkeit von Kapazität und Bestand ausgegangen werden kann. In der betrieblichen Praxis wird i.d.R. die Kapazität der Belastung angepasst, was auch zu einer Abhängigkeit zwischen Leistung und Bestand führt. Die Existenz dieser Abhängigkeit erfordert einen komplexen mathematischen Ansatz zur Division der streuungsbehafteten, abhängigen Größen [FAST97], der eine hohe Zahl an Ereignissen voraussetzt, die aber im Rahmen der Eingangsdaten in die Modellbildung nicht vorliegen. Ersatzweise kann zur näherungsweise Bestimmung der Reichweitenstreuung, ein unterer und oberer Extremwert für Bestand, Leistung und damit resultierend auch für die Reichweite bestimmt werden [FAST97]. Diese näherungsweise bestimmten Extremwerte werden als Schwankungswerte bezeichnet, im Gegensatz zu den zuvor statistisch ermittelten Streuungswerten. Die Bestandsschwankung ergibt sich aus der Subtraktion bzw. Addition der mittleren Bestandsstreuung vom bzw. zum mittleren Bestand. Für die Bestimmung der Extremwerte der Leistung gilt das Gleiche. Die Extremwerte der Reichweite berechnen sich dann daraus wie folgt:

$$R_{m,o}(t) = \frac{B_{m,o}(t)}{L_{m,u}(t)}; R_{m,u}(t) = \frac{B_{m,u}(t)}{L_{m,o}(t)} \quad \text{Gleichung 4.6}$$

mit:

- $B_{m,o}(t)$ = oberer mittlerer Bestandwert [Std]
- $B_{m,u}(t)$ = unterer mittlerer Bestandwert [Std]
- $L_{m,u}(t)$ = untere mittlere Leistung [Std/BKT]
- $L_{m,o}(t)$ = obere mittlere Leistung [Std/BKT]
- $R_{m,u}(t)$ = untere mittlere Reichweite [BKT]
- $R_{m,o}(t)$ = obere mittlere Reichweite [BKT]

Über die mathematischen Beziehungen zwischen Reichweite, Übergangszeit und Durchlaufzeit bei Abarbeitung nach FIFO [NYWI99] ergeben sich der mittlere obere und untere Übergangswert wie folgt [FAST97]:

$$ZUE_{m,o}(t) = R_{m,o}(t) - \frac{ZAU_m \cdot AAP}{L_{max,u}} \cdot \left(1 + \frac{ZAU_s^2}{ZAU_m^2} \right) \quad \text{Gleichung 4.7}$$

$$ZUE_{m,u}(t) = R_{m,u}(t) - \frac{ZAU_m \cdot AAP}{L_{max,o}} \cdot \left(1 + \frac{ZAU_s^2}{ZAU_m^2} \right) \quad \text{Gleichung 4.8}$$

mit:

- $ZUE_{m,o}(t)$ = mittlerer oberer Übergangswert [BKT]
- $ZUE_{m,u}(t)$ = mittlerer unterer Übergangswert [BKT]
- AAP = Anzahl Arbeitsplätze am Arbeitssystem [-]
- ZAU_m = mittlere Auftragszeit [Std]
- ZAU_s = Streuung der Auftragszeit [Std]

Da der obere und untere Wert der Übergangszeit nicht den gleichen Abstand von der mittleren Übergangszeit haben, muss nun auch ein oberes und unteres Schwankungsmaß für die Übergangszeit bestimmt werden. Dies erfolgt gemäß der nachfolgenden Gleichungen:

$$ZUE_{s,u}(t) = ZUE_m(t) - ZUE_{m,u}(t) \quad \text{Gleichung 4.9}$$

$$ZUE_{s,o}(t) = ZUE_m(t) - ZUE_{m,o}(t) \quad \text{Gleichung 4.10}$$

mit:

- $ZUE_{s,u}(t)$ = unteres Streumaß der Übergangszeit am Arbeitssystem [BKT]
- $ZUE_{s,o}(t)$ = oberes Streumaß der Übergangszeit am Arbeitssystem [BKT]

Das Schwankungsmaß der Übergangszeit ist gleichzeitig ein Maß für die Terminabweichung aufgrund der Übergangswertschwankung am Arbeitssystem. Daher können für die positive Terminabweichung das obere Schwankungsmaß und für die negative Terminabweichung das untere Schwankungsmaß der Übergangszeit eingesetzt werden [FAST97, YU01].

$$TA_s^+ = ZUE_{s,o} \quad \text{Gleichung 4.11}$$

$$TA_s^- = ZUE_{s,u} \quad \text{Gleichung 4.12}$$

mit: TA_s^+ = positive Terminstreuung – verspäteter Abgang [BKT]
 TA_s^- = negative Terminstreuung – verfrühter Abgang [BKT]

Die oberen und unteren Durchlaufzeitwerte lassen sich wie die zuvor berechneten Übergangszeitwerte aus der Reichweite ableiten. Sie ergeben sich wie folgt:

$$ZDL_{m,o}(t) = R_{m,o}(t) - \frac{AAP}{L_{max,u}} \cdot \frac{ZAU_s^2}{ZAU_m^2} \quad \text{Gleichung 4.13}$$

$$ZDL_{m,u}(t) = R_{m,u}(t) - \frac{AAP}{L_{max,o}} \cdot \frac{ZAU_s^2}{ZAU_m^2} \quad \text{Gleichung 4.14}$$

mit: $ZDL_{m,o}(t)$ = mittlere obere Durchlaufzeitwert [BKT]
 $ZDL_{m,u}(t)$ = mittlere untere Durchlaufzeitwert [BKT]

Die Schwankungsmaße der Durchlaufzeit werden auf analoge Weise wie bei der Übergangszeit berechnet, wenn die Streuung der Durchführungszeiten als vernachlässigbar klein angenommen werden. Dies ist bei Terminierungsverfahren möglich, die die reale Durchführungszeit bei der Terminierung einsetzen, wie z.B. bei der Flussgradorientierten Terminierung oder der klassischen Terminierung von PPS-Systemen, die nach dem MRP-Prinzip arbeiten [LUDW94, JAEG00]. Die Durchlaufzeitschwankungen ergeben sich daher wie folgt.

$$ZDL_{s,u}(t) = ZDL_m(t) - ZDL_{m,u}(t) \quad \text{Gleichung 4.15}$$

$$ZDL_{s,o}(t) = ZDL_{m,o}(t) - ZDL_m(t) \quad \text{Gleichung 4.16}$$

mit: $ZDL_{s,u}(t)$ = unteres Streumaß der Durchlaufzeit am Arbeitssystem [BKT]
 $ZDL_{s,o}(t)$ = oberes Streumaß der Durchlaufzeit am Arbeitssystem [BKT]

Mit den vorgestellten Berechnungsgleichungen können somit alle streuungsbehafteten Kenngrößen für das Prozesselement *Produzieren* auf analytischem Wege aus der Kennlinientheorie abgeleitet werden. Somit können auch alle bereits genannten Zielgrößen der Logistikleistung dieses Prozesselements zu jedem Betriebspunkt aus der Produktionskennlinie berechnet werden, mit Ausnahme der Zielgröße *hohe Verfügbarkeit*, welche im Rahmen dieser Arbeit zu 100 Prozent angenommen wird.

• Prozesselement Transportieren

Aufgrund der prinzipiellen Ähnlichkeit von Produktions- und Transportprozessen, sind die für das Prozesselement *Produzieren* angestellten Überlegungen direkt auf das Prozesselement *Transportieren* übertragbar (**Bild 4.8**). Somit gelten die vorgestellten Berechnungsformeln auch für diesen Prozess. Mit Ausnahme der Berücksichtigung von Leerfahrten erfolgt die Bestimmung der logistischen Kenngrößen analog zur bereits vorgestellten Vorgehensweise bei Produktionsprozessen. Daher wird an dieser Stelle auf eine detaillierte Erläuterung verzichtet.

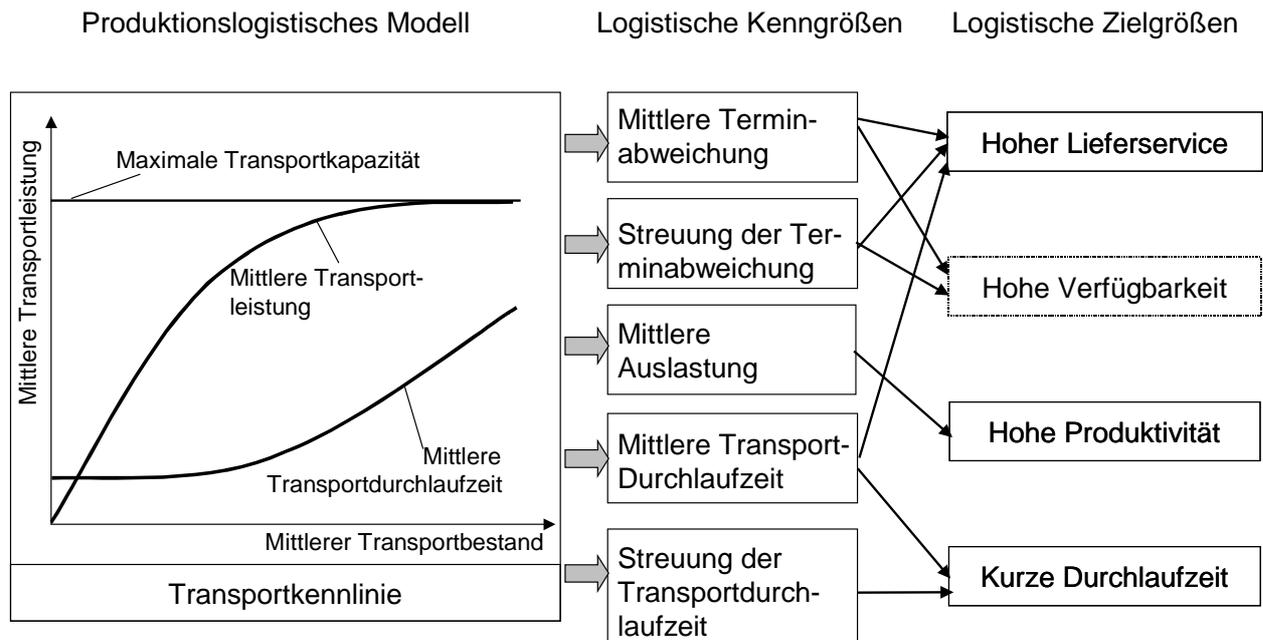
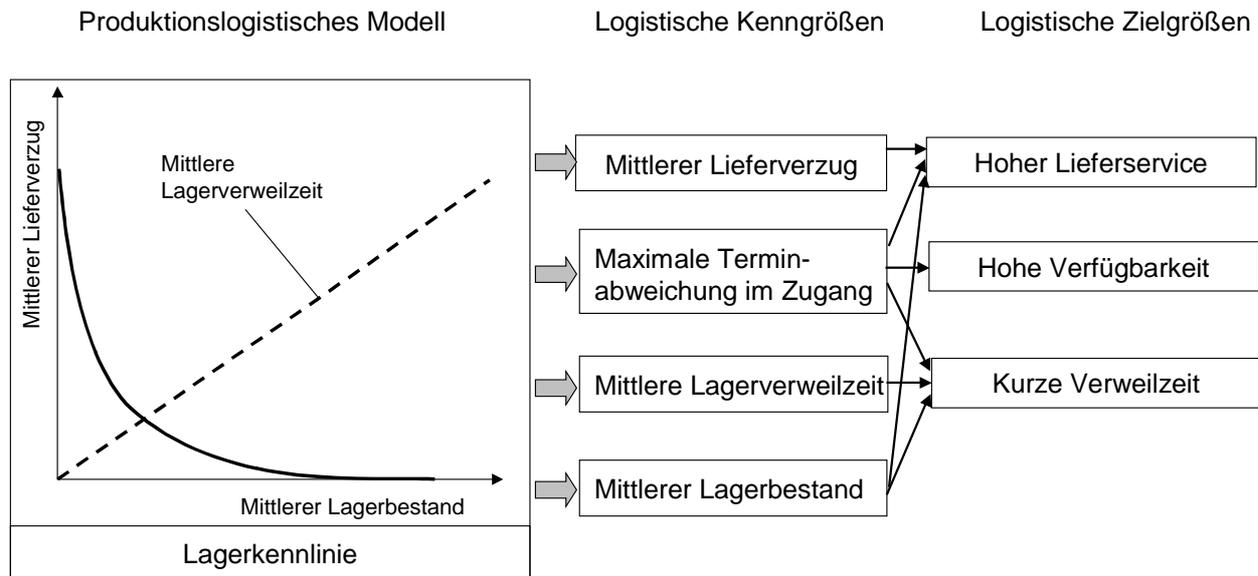


Bild 4.8: Ermittlung der logistischen Zielgrößen für das Prozesselement *Transportieren*

Bei der Berechnung der mittleren Auslastung des Transportsystems, aber auch bei der Bestimmung des Mindestbestands ist die Ermittlung des Lastfahrtanteils, bzw. der Leerfahrten des Transportsystems von hoher Bedeutung [WIEN00c]. Über ihn wird festgelegt, welcher Anteil der Transportkapazität für Leerfahrten aufgewendet werden muss. Leerfahrten sind die Fahrten des Transportsystems vom Zielort des Vorgängerauftrags zum Startort des nachfolgenden Auftrags. Durch optimierende Transportsteuerungen lässt sich eine leerfahrtminimierende Transportfolge ermitteln, wenn das Transportsystem verschiedene Touren fahren kann. Diese Thematik wird häufig durch Einsatz von Optimierungsverfahren des Operations Research unterstützt [GUEN94]. Die Auswirkungen der leerfahrtminimierenden Reihenfolgebildung der Transportaufträge auf die Bestandsstreuung und damit auf die Streuung der Terminabweichung ist dabei noch nicht wissenschaftlich untersucht worden. In dieser Arbeit wird jedoch für das Einsatzgebiet der Gestaltung und Planung von einer Abarbeitung gemäß der FIFO-Regel ausgegangen, so dass leerfahrtminimierende Reihenfolgeeregeln nicht betrachtet werden. Bestandsstreuungen werden somit nur durch den Abgleich zwischen Zu- und Abgang sowie der Struktur der Transportaufträge hervorgerufen.

- **Prozesselement Lagern**

Der Lagerungsprozess kann auf Basis der Lagerkennlinie logistisch modelliert werden (**Bild 4.9**). Anhand der Lagerkennlinie werden die beiden Kenngrößen mittlerer Lieferverzug bzw. mittlerer Lagerbestand als Wertepaar einer Funktion mathematisch beschreibbar. Zur mathematischen Beschreibung dieser beiden Größen sei an dieser Stelle auf die Gleichungen 2.8 bis 2.10 verwie-



sen.

Bild 4.9: Ermittlung der logistischen Zielgrößen für das Prozesselement „Lagern“

Für den Lagerungsprozess ist im wesentlichen die logistische Zielgröße *hoher Lieferservice* von Bedeutung. Das Lager übernimmt zumeist eine Ausgleichsfunktion zwischen zwei Prozessen, indem ein unterschiedliches Liefer- bzw. Verbrauchsverhalten sowie Störungen auf der Lagerzu- und abgangsseite durch die Wahl eines angemessenen Lagerbestands ausgeglichen werden sollen. Daher wirken neben dem mittleren Lieferverzug auch die logistischen Kenngrößen des mittleren Lagerbestands und Störungen durch Lagerzugangsterminabweichungen auf die Zielgröße *hoher Lieferservice*. Die maximale Terminabweichung im Zugang wirkt aber auch auf die Zielgröße *hohe Verfügbarkeit*. Sie wird im Rahmen dieser Arbeit nur gemessen, wenn das Lager am Ende der betrachteten Prozesskette liegt und damit die Zugangsterminabweichungen durch die betrachtete Prozesskette erzeugt werden. Die Zielgröße *kurze Verweilzeit* kann durch die Kenngröße mittlere Lagerverweilzeit oder durch den mittleren Lagerbestand gemessen werden, da diese beiden Kenngrößen aufgrund der Trichterformel in einer zueinander festgelegten Beziehung stehen.

Mit den vorgestellten mathematischen Berechnungsvorschriften der logistischen Kenngrößen eines jeden Prozesselements lässt sich deren logistische Leistung messen. Die voneinander unabhängige logistische Beschreibung der einzelnen Prozesselemente ist jedoch nicht ausreichend, um die logistische Leistung der gesamten Prozesskette messen zu können. Daher sind Berech-

nungsvorschriften notwendig, um diese Gesamtleistung hinreichend genau auf Basis der einzelnen Prozesselemente beschreiben zu können. Dieser Aufgabe widmet sich der nächste Abschnitt.

4.3.3.2 Kenngrößen der Logistikleistung einer Prozesskette

In diesem Abschnitt werden anhand einer exemplarischen Prozesskette, die aus Produktions-, Transport- und Lagerprozessen besteht, die prozessbezogenen Kenngrößen der Logistikleistung entwickelt. Diese Kenngrößen sind in **Bild 4.10** dargestellt. Neben den mittelwertsbezogenen Kenngrößen werden auch Streuungsgrößen gemessen, um den Grad der Prozessbeherrschung und damit die Qualität der erbrachten Logistikleistung bewerten zu können. Ebenfalls eingezeichnet in **Bild 4.10** sind die verwendeten Messpunkte der Logistikleistung. Es wird nicht nur die Logistikleistung der gesamten Prozesskette gemessen, sondern auch die der einzelnen Prozesselemente.

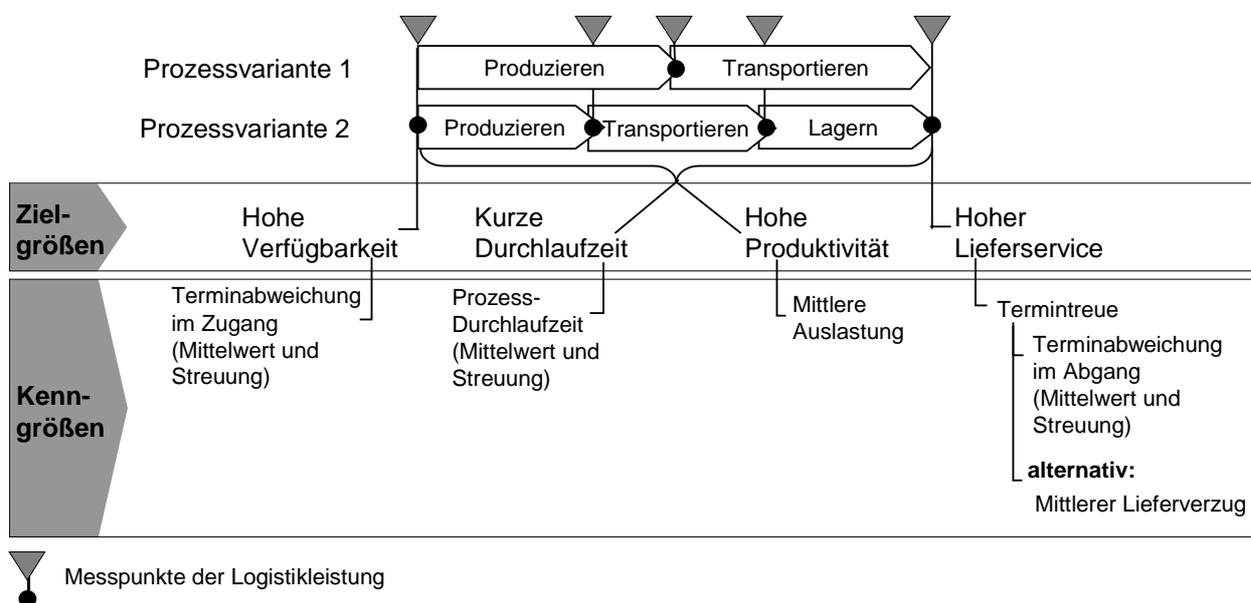


Bild 4.10: Ziel- und Kenngrößen der logistischen Prozesskette

Als Prozesskette wird eine Fertigungsprozesskette betrachtet. Dabei werden zwei verschiedene Ausprägungen der Kette unterschieden. Variante 1 besteht nur aus jeweils einem Produktions- und einem Transportprozess. Diese Kettenausprägung soll als Beispiel einer auftragsbezogenen Fertigung dienen. In der betrieblichen Praxis besteht eine solche Kette aus einer Vielzahl von Produktions- und Transportelementen. Zur Festlegung der Kenngrößen und ihrer prinzipiellen Berechnung ist aber die hier dargestellte Vereinfachung ausreichend. Die abgeleiteten Berechnungsvorschriften gelten auch zur Verknüpfung mehrerer Prozessschritte. Bei einer kundenspezifischen Fertigung ohne Lager wird die Termintreue durch die Terminabweichungen im Prozess bestimmt.

Die zweite Variante ist gegenüber der ersten Variante um ein Lager am Ende des Prozesses erweitert, das zum Ausgleich von Prozessabweichungen dienen soll. Diese Variante wird häufig

bei auftragsanonymer Fertigung eingesetzt. Auch diese Prozesskette wird im Rahmen der Konzeption mit jeweils nur einem Prozesselement für *Produzieren*, *Transportieren* und *Lagern* modelliert.

Die Kenngröße *mittlere Zugangsterminabweichung* bezieht sich auf die Verfügbarkeit von Materialien zu Beginn der Prozesskette, die zum Start des Prozesses notwendig sind. Treten Fehlmen gen auf, so ist der Beginn zu verschieben. Im Rahmen der Gestaltung und Planung von Prozessketten wird auf eine Modellierung dieser Größe verzichtet. Sie kann aus den Abgangsterminabweichungen der vorgelagerten Prozesse oder aus dem mittleren Terminverzug eines vorgeschalteten Lagers (z.B. Rohwarenlager) bei weiteren Detaillierungen der Planung abgeleitet werden.

Die Durchlaufzeit eines Prozesses wird ausreichend genau durch die *mittlere Durchlaufzeit* und die *Streuung der Durchlaufzeit* angegeben. Die Angabe eines Maßes für die Streuung der Durchlaufzeit ermöglicht eine Aussage über die Qualität der Planung der mittleren Durchlaufzeit.

Die Produktivität des Prozesses wird über die *mittlere Auslastung* der Ressourcen gemessen. Die *Termintreue* ist ein Maß für die Einhaltung der Liefertermine. Operationalisiert wird diese Zielgröße durch den Mittelwert und die Streuung der Terminabweichung im Abgang für Prozessvariante 1. Für die Prozessvariante 2, die zusätzlich noch eine Lagerung zum Ausgleich des vorgelagerten Prozesses aufweist, wird die Termintreue anhand des mittleren Lieferverzugs gemessen.

Soll die logistische Leistung einer Prozesskette, bestehend aus verschiedenen Prozesselementen, gemessen werden können, sind mathematische Verknüpfungen der relevanten logistischen Kenngrößen herzustellen. Die Verknüpfungen sind sowohl für die mittelwertsbezogenen als auch die streuungsbehafteten Werte der Kenngrößen Durchlaufzeit und Terminabweichung zu erstellen. Detaillierte Untersuchungen zur mathematischen Verknüpfung von streuungsbehafteten Größen in einer Prozesskette erfolgten bereits in den Arbeiten von *Fastabend*, *Penz* und *Ludwig* sowie *Wahlers* [LUDW94, PENZ96, FAST97]. Diese Arbeiten werden daher als Grundlage herangezogen.

Mittlere Prozessdurchlaufzeit:

Die mittlere Prozessdurchlaufzeit bei Prozessausprägung 1 ergibt sich aus der Summation der mittleren Durchlaufzeiten der betrachteten Prozesselemente (Produktions- und Transportprozesse) gemäß der nachfolgenden Gleichung:

$$ZDL_{\text{Prozess, } m} = \sum_{i=1}^n ZDL_{i, m} + \sum_{j=1}^n ZTDL_{j, m} \quad \text{Gleichung 4.17}$$

mit:	$ZDL_{\text{Prozess, } m}$	=	mittlere Prozessdurchlaufzeit [BKT]
	$ZDL_{i, m}$	=	mittlere Durchlaufzeit eines Produktionsprozesses [BKT]
	$ZTDL_{i, m}$	=	mittlere Durchlaufzeit eines Transportprozesses [BKT]
	n	=	Anzahl der Prozesselemente einer Prozesskette (ohne Lagern) [-]

Dabei können auch mehrere Prozesselemente einer Prozesskette verknüpft werden. Diese Berechnungsvorschrift ist daher nicht auf die in **Bild 4.10** vereinfacht dargestellten Prozessketten begrenzt.

Streuung der mittleren Prozessdurchlaufzeit

Diese Größe wird aufgrund des gewählten Näherungsansatzes getrennt als ein oberes und ein unteres Streumaß angegeben (siehe auch Abschnitt 4.3.3.1).

$$ZDL_{\text{Prozess, s,o}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n ZDL_{i,s,o}^2 + \sum_{j=1}^n ZTDL_{j,s,o}^2} \quad \text{Gleichung 4.18}$$

$$ZDL_{\text{Prozess, s,u}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n ZDL_{i,s,u}^2 + \sum_{j=1}^n ZTDL_{j,s,u}^2} \quad \text{Gleichung 4.19}$$

mit:	$ZDL_{\text{Prozess,s,o}}$	= oberes Streumaß der Prozessdurchlaufzeit [BKT]
	$ZDL_{\text{Prozess,s,u}}$	= unteres Streumaß der Prozessdurchlaufzeit [BKT]
	$ZDL_{i,s,o}$	= oberes Streumaß der Durchlaufzeit eines Produktionsprozesselements [BKT]
	$ZDL_{i,s,u}$	= unteres Streumaß der Durchlaufzeit eines Produktionsprozesselements [BKT]
	$ZTDL_{j,s,o}$	= oberes Streumaß der Durchlaufzeit eines Transportprozesses [BKT]
	$ZTDL_{j,s,u}$	= unteres Streumaß der Durchlaufzeit eines Transportprozesses [BKT]
	n	= Anzahl der Prozesselemente einer Prozesskette (ohne Lager) [-]

Die einfache geometrische Verknüpfung der Einzelstreuungen zu einer Gesamtstreuung ist hier als Näherungslösung möglich, da die resultierende Verteilung einer Normalverteilung entspricht [FAST97]. Wenn eine andere Verteilungsform vorliegen würde, wäre eine aufwendige statistische Verknüpfung über Einzelwahrscheinlichkeiten notwendig [WAHL97]. Dies ist der Fall, wenn sich die Streuung durch eine Überlagerung paralleler Prozesse ergibt, wie beispielsweise der Terminabweichungsverteilung von Fertigungsprozessen, die zum gleichen Zeitpunkt zur Montage fertiggestellt werden müssen. Eine Montage wird in der vorliegenden Prozesskette nicht betrachtet.

Termintreue einer Prozesskette

Die Bestimmung der Termintreue ist abhängig von der gewählten Prozesskette. Liefert die Prozesskette direkt an den Kunden nur mit einer Zwischenpufferung (kein Lager), so ist die Termintreue von der Streuung der prozessbedingten Terminabweichungen abhängig. Dies entspricht der Prozessvariante 1. Alternativ kann die Prozesskette aber auch als ein dem Lager vorgelagerter Prozess gesehen werden. Die Termintreue wird dann durch die Fähigkeit des Lagers bestimmt, die Prozessabweichungen durch einen entsprechend gewählten Lagerbestand auszugleichen, so dass der mittlere Lieferverzögerung minimiert wird. Dies entspricht der Prozessvariante 2.

Nachfolgend wird zuerst Prozessvariante 1 vorgestellt. Hierbei wird die Streuung der Gesamtterminabweichung durch eine geometrische Addition der oberen und unteren Streumaße der Terminabweichungen der einzelnen Prozesselemente berechnet.

$$TA_{\text{Prozess,s,o}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (TA_{i,s,o})^2} \quad \text{Gleichung 4.20}$$

$$TA_{\text{Prozess,s,u}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (TA_{i,s,u})^2} \quad \text{Gleichung 4.21}$$

- mit:
- $TA_{\text{Prozess,s,o}}$ = oberes Streumaß für die Terminabweichung der Prozesskette [BKT]
 - $TA_{\text{Prozess,s,u}}$ = unteres Streumaß für die Terminabweichung der Prozesskette [BKT]
 - $TA_{i,s,o/u}$ = obere/untere Terminstreuung eines Prozesselements [BKT]
 - n = Anzahl der Prozesselemente einer Prozesskette (ohne Lagern)

Eine Aussage über die Termintreue kann nun dadurch getroffen werden, indem die prozessbedingte Terminabweichungsverteilung über das vorgegebene Toleranzfeld der Soll-Terminabweichungen gelegt wird und der Anteil der aus dem Prozess resultierenden Terminabweichungsverteilung ermittelt wird, die innerhalb der Toleranzgrenzen liegen, wie in **Bild 4.11** dargestellt.

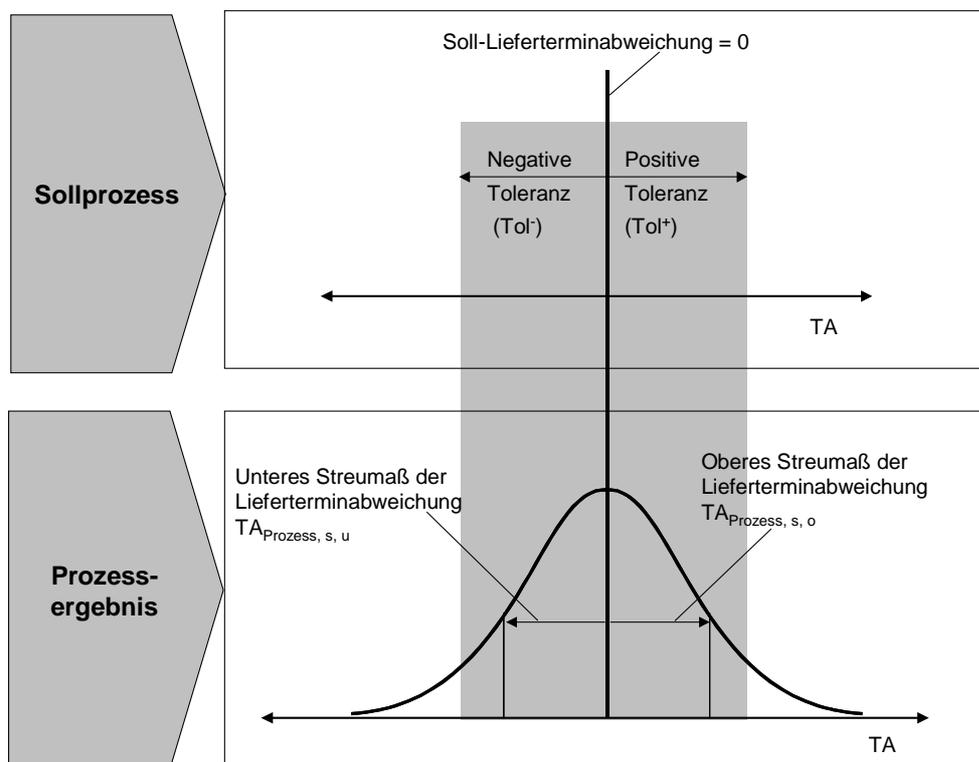


Bild 4.11: Überlagerung von Terminabweichungstoleranz und erreichter Terminabweichungsverteilung

Um die Termintreue des Prozesses zu bestimmen, sind die vorgegebenen Toleranzwerte als Grenzen in die Dichtefunktion der Lieferterminabweichung einzutragen. Daraus lässt sich über die Bestimmung der Prozentpunkte der zugehörigen Zufallsvariablen die Wahrscheinlichkeit berechnen, mit der der geplante Prozess innerhalb der Toleranzgrenzen liegt. Dies ist gleichbedeutend mit der erreichten Termintreue [YU01]. Die Berechnung der Termintreue erfolgt nach der nachstehenden Gleichung, wobei die mittlere Terminabweichung in der Planung zu Null gesetzt wird.

$$TT_{\text{Prozess}} = P(X) = \Phi\left(\frac{\text{Tol}^+ - TA_{\text{Prozess,m}}}{TA_{\text{Prozess,s,o}}}\right) - \Phi\left(\frac{(\text{Tol}^- + TA_{\text{Prozess,m}})}{TA_{\text{Prozess,s,u}}}\right) \quad \text{Gleichung 4.22}$$

- mit:
- TT_{Prozess} = Termintreue der Prozesskette [%]
 - $P(X)$ = Gesamtwahrscheinlichkeit des Auftretens eines Ereignisses [%]
 - $\Phi(u)$ = Wahrscheinlichkeitsfunktion
 - $TA_{\text{Prozess,s,o}}$ = oberes Streumaß für die Terminabweichung der Prozesskette [BKT]
 - $TA_{\text{Prozess,s,u}}$ = unteres Streumaß für die Terminabweichung der Prozesskette [BKT]
 - $TA_{\text{Prozess,m}}$ = mittlere Terminabweichung der Prozesskette [BKT]

Bei der Betrachtung der Prozessvariante 2, die ein Lager am Ende der Prozesskette enthält, wird die Termintreue anhand der Kenngröße mittlerer Lieferverzug des Lagers ermittelt, da das Lager die Aufgabe hat, die dem Lager vorgelagerten Terminstreuungen über den Lagerbestand auszugleichen. Grundsätzlich ist daher in diesem Fall die Auswirkung der vor- und nachgelagerten Prozesse auf die notwendige Höhe des Lagerbestands und den dabei zu erwartenden Lieferverzug zu bewerten. Der Einfluss der Prozesse lässt sich anhand der mathematischen Beschreibungen des Grenzbestands und des Grenzlieferverszugs quantifizieren. Die Berechnungsvorschriften zur Bestimmung dieser Größen sind in den Gleichungen 2.9 und 2.10 angegeben (siehe Abschnitt 2.4.2.3).

Die wesentlichen Bestandteile dieser Gleichungen sind die Größen Terminabweichung, Mengenabweichung und die Wiederbeschaffungszeit der dem Lager vorgelagerten Prozesse. Eine weitere Größe, die noch auf die Höhe des Grenzbestandes bzw. des Grenzlieferverszugs wirkt, ist die Abstimmung der Losgröße der vorgelagerten Prozesse und der Losgröße der nachgeschalteten Prozesse. Aus der Praxis ist bekannt, dass insbesondere die Terminabweichung und die Wiederbeschaffungszeiten einen signifikanten Einfluss auf die Höhe des Grenzbestands haben, während die Mengenabweichung einen eher untergeordneten Einfluss hat [FAST97]. Daher muss bei der logistischen Gestaltung und Verbesserung von Prozessen insbesondere der Fokus auf eine hohe Termintreue und kurze und stabile Wiederbeschaffungszeiten, sei es intern oder extern, gelegt werden.

Wie bereits angesprochen, wird der Grenzbestand und der Grenzlieferversuch des Lagers signifikant durch die maximale positive und negative Terminabweichung eines Artikels beeinflusst. Diese Größen werden gemäß den Gleichungen 4.2 und 4.3 bestimmt. Die Termintreue des Prozesses wird dann aus dem Lieferverzögerung $LV_1(t)$ im Lager am Ende des Prozesses gemäß Gleichung 2.10 (siehe Abschnitt 2.4.2.3) berechnet.

Produktivität einer Prozesskette

Die Quantifizierung der Zielgröße *hohe Produktivität* einer Prozesskette erfolgt durch die Berechnung der mittleren Auslastung der gesamten Prozesskette. Dies erfolgt gemäß nachfolgender Gleichung:

$$A_{\text{Prozess},m}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n L_{m,i}(t)}{\sum_{i=1}^n L_{\text{max},i}} \quad \text{Gleichung 4.23}$$

mit:

$A_{\text{Prozess},m}(t)$	=	mittlere Auslastung der Prozesskette [%]
$L_{\text{max},i}$	=	maximal mögliche Leistung eines Prozesselements [Std/BKT]
$L_{m,i}(t)$	=	mittlere Leistung eines Prozesselements [Std/BKT]
n	=	Anzahl Prozesselemente [-]

Die Kenngröße mittlere Auslastung ist für die Prozesselemente *Produzieren* und *Transportieren* anwendbar. Um jedoch eine Auswertung der Auslastung von Produktionsprozessen nicht durch Auslastungswerte der Transportprozesse zu verfälschen, ist bei einer Anwendung der Gleichung 4.23 zwischen Transport- und Produktionsprozessen zu unterscheiden, was die Berechnung zweier Auslastungswerte zur Folge hat.

Durch die vorgestellten Berechnungsansätze lässt sich die logistische Leistung einer aus einzelnen Prozesselementen zusammengesetzten Prozesskette messen und quantitativ beschreiben. Damit sind die logistischen Grundbausteine bekannt, um eine Prozesskette aufzubauen und ihre logistische Leistung zu messen. Um die erreichbare Leistung beurteilen zu können, bedarf es einer Berücksichtigung der resultierenden Kosten im Prozessmodell. Hierzu sind die relevanten Kosten festzulegen, zu beschreiben und mit den logistischen Modellen zu verknüpfen. Dies erfolgt in den Abschnitten 4.3.4 und 4.3.5.

4.3.4 Ökonomische Parametrierung des Prozessmodells

Das bereits erarbeitete Prozessmodell besteht aus den logistischen Modellen der einzelnen Prozesselemente *Produzieren*, *Transportieren* und *Lagern*. Diese Modelle sollen zur Beurteilung von verschiedenen Strukturen und gewählten logistische Positionen der Prozesskette eingesetzt werden. Als Beurteilungsgröße dienen die Kosten, die durch die gewählte Prozesskette verursacht werden.

Hierzu müssen die mit der Durchführung der Teilprozesse entstehenden Kostenarten bekannt sein und in einem funktionalen Zusammenhang mit dem logistischen Modellen stehen, so dass bei Maßnahmen zur Veränderung der Logistikleistung die korrespondierenden Kostenveränderungen transparent werden.

Im nachfolgenden Abschnitt wird ein Kostenmodell aufgebaut, das eine entscheidungsgerechte Aufbereitung der Kostenarten aus den betrieblichen Kostenstellenplänen zu den Prozesselementen *Produzieren*, *Transportieren* und *Lagern* des Prozessmodells ermöglicht. In Abschnitt 4.3.4.2 werden dann die einzelnen Kostenarten den Teilprozessen und den logistischen Modellen der Prozesskette zugeordnet und erläutert.

4.3.4.1 Beschreibung des Kostenmodells

Die Gesamtheit der Kosten, die im Rahmen der Herstellung von Produkten anfallen, werden in den einzelnen Kostenstellen des Unternehmens erfasst, wobei die Kosten weiter in verschiedene Kostenarten unterteilt werden [SCHM91]. Für jede Kostenstelle ist damit die Höhe der einzelnen Kostenarten bekannt. Eine direkte Zuordnung dieser Kostenarten zu den Prozesselementen ist aber aufgrund des fehlenden Bezugs zwischen den Prozesselementen des Prozessmodells und den Kostenstellen nicht möglich. Somit kann keine Aussage abgeleitet werden, wie sich die Höhe der Kosten in den Kostenstellen bei einer Veränderung der Prozesskette verhält und welche Kosten durch die einzelnen Prozesselemente verursacht werden.

Aufgabe des Kostenmodells ist es daher, diese Zuordnung zu ermöglichen. Zum Aufbau des Kostenmodells bietet sich der Ansatz der Prozesskostenrechnung an, da diese eine Zuordnung der Kostenarten der Kostenstellen zu einem Prozess entsprechend seiner Inanspruchnahme der Leistungen der Kostenstellen ermöglicht (siehe auch Abschnitt 3.1.1). In ihrer Konzeption ist die Prozesskostenrechnung auf die Erfassung und verursachungsgerechte Zuordnung der Gemeinkosten der indirekten Bereiche ausgerichtet. In diesen Bereichen liegen zumeist keine detaillierten Informationen über Mengen- und Zeitverbrauch der einzelnen Tätigkeiten vor, so dass die Prozesskostenrechnung nur bedingt für detaillierte Kostenrechnungszwecke eingesetzt werden kann [RENN91]. Für die direkten Bereiche liegen aufgrund von Zeitmessungen und Arbeitsplänen weitaus genauere Informationen über Rüst- und Bearbeitungsprozesse vor. Diese sind in den Arbeitsplänen der einzelnen Produkte für jeden einzelnen Arbeitsvorgang angegeben. Diese Zeiten werden für die Bildung der Prozesskostensätze der Produktionsprozesselemente verwendet. Diese Wahl der Kostentreiber entspricht dem Vorgehen bei einer Maschinenstundensatzrechnung, bei der für eine Maschine oder einen Arbeitsplatz die Kosten je Stunde angegeben werden [REIC87]. Die Maschinenstundensatzrechnung kann damit auch als eine spezifische Ausprägung der Prozesskostenrechnung angesehen werden, bei der als Kostentreiber eine Zeiteinheit gewählt wird [LORE96].

Der erste Schritt zur Erstellung des Kostenmodells ist die Festlegung der zu betrachtenden Prozesse. Betrachtungsumfang ist das bereits erstellte Prozessmodell einer Prozesskette mit seinen

einzelnen Prozesselementen sowie die planenden und steuernden Prozesse der Produktionslogistik. Alle diese Prozesse sind im zweiten Schritt weiter in Teilprozesse zu detaillieren, denen im dritten Schritt die einzelnen Kostentreiber zuzuordnen sind. Über die Festlegung der Kostentreiber können die Prozesskosten den einzelnen Prozesselementen gemäß ihrer Inanspruchnahme des jeweiligen Teilprozesses zugeordnet werden. In **Bild 4.12** ist beispielhaft die Detaillierung des Prozesselements *Transportieren* in die einzelnen Teilprozesse dargestellt. Dabei ist auch der Teilprozess Transportbereich leiten aufgeführt, der nicht leistungsmengeninduziert ist, und daher keinen Kostentreiber aufweist. Die Kosten eines solchen Prozesses werden daher als Gemeinkosten den anderen Teilprozessen zugeordnet. Die Teilprozesse der weiteren Prozesselemente werden im nachfolgenden Abschnitt 4.3.4.2 vorgestellt.

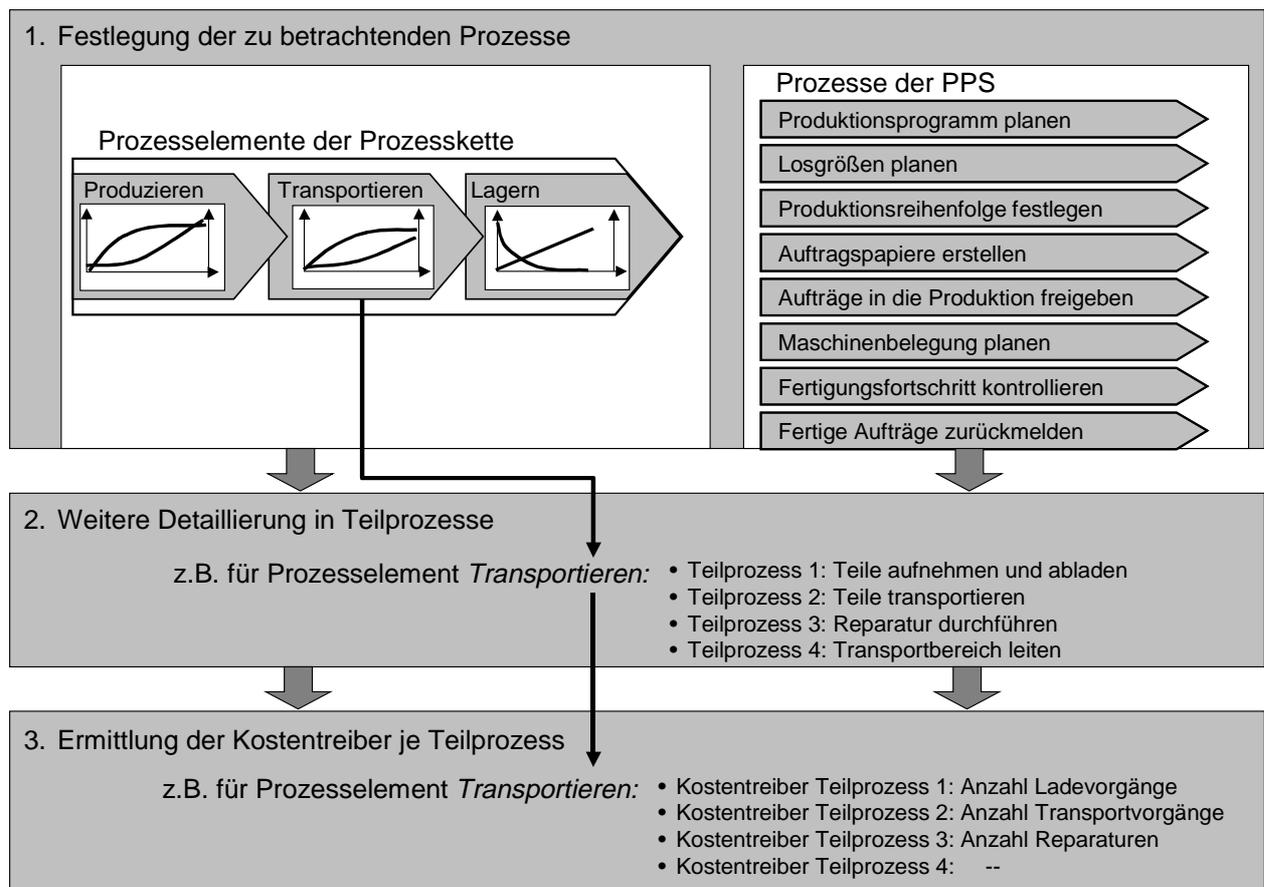


Bild 4.12: Prinzipieller Ablauf zur Ermittlung der Teilprozesse und Kostentreiber des Kostenmodells

Teilprozesse, die in keinem direkten Zusammenhang zu produktionslogistischen Entscheidungen stehen, wie beispielsweise Reparatur-, Instandhaltungs- oder Qualitätssicherungsprozesse, werden nicht weiter detailliert, sondern als unveränderlicher Gemeinkostenblock den anderen Teilprozessen zugeordnet. Der Grund hierfür ist, dass in dieser Arbeit nur die Kosten betrachtet werden, die durch logistische Gestaltungsmaßnahmen verändert werden.

Das Kostenmodell besteht in seiner Gesamtheit aus den Prozesselementen der Prozesskette, deren Teilprozessen sowie den Teilprozessen der PPS. Zusätzlich sind jedem dieser Teilprozesse die Kostentreiber und die ermittelten Prozesskostensätze zugeordnet. Die Ermittlung der Prozesskostensätze erfolgt durch die Division der Gesamtkosten eines Teilprozesses durch die Planprozessmenge des Kostentreibers (siehe auch Abschnitt 3.1.1). Die Kostenarten, die bei der Bestimmung der Gesamtkosten eines Teilprozesses berücksichtigt werden müssen, werden in Abschnitt 4.3.4.2 vorgestellt.

Die Prozesskostensätze werden für die Teilprozesse der Prozesselemente *Produzieren* und *Transportieren* weiter in variable und fixe Kostensätze differenziert. Dies ist dann notwendig, wenn produktionslogistische Entscheidungen im Hinblick auf die resultierende Nutzung der vorhandenen Ressourcen beurteilt werden sollen. Insbesondere im Prozesselement *Produzieren* ist dies von Bedeutung, da hier i.d.R. eine angemessene Auslastung der Maschinen zur Fixkostendegression angestrebt wird und entsprechende logistische Gestaltungsmaßnahmen dahingehend beurteilt werden, in wie weit sie eine solche Auslastung ermöglichen. Wenn dies auch explizites Ziel für die Beurteilung der Transportressourcen ist, dann sind auch die Prozesskostensätze des Prozesselements weiter in fixe und variable Kostensätze zu unterscheiden.

4.3.4.2 Zuordnung der Kostenarten zu den Teilprozessen

Nachfolgend werden für die Teilprozesse jedes Prozesselements und der Prozesse der PPS die Kostenarten ermittelt, die in die Berechnung der Prozesskostensätze eingehen. Zusätzlich werden die Ansätze zur Bestimmung der Prozesskostensätze vorgestellt.

- **Prozesselement *Produzieren***

Die wesentlichen Teilprozesse dieses Prozesselements sind das Rüsten der Maschine sowie die Durchführung der eigentlichen Bearbeitung. Zusätzlich sind noch Prozesse aufgrund von Reparatur und Wartungstätigkeiten sowie Leitungsaufgaben zu berücksichtigen. Wie in Abschnitt 4.3.4.1 ausgeführt, werden in dieser Arbeit die Kosten der zuletzt genannten Teilprozesse als Gemeinkosten den anderen Teilprozessen zugeordnet, da sie als unveränderbar durch logistische Maßnahmen betrachtet werden.

Für Rüst- und Bearbeitungsprozesse liegen i.d.R. detaillierte Zeitangaben als Rüst- und Einzelzeiten der Arbeitsvorgänge in den Arbeitsplänen vor. Daher werden diese Zeitgrößen als Kostentreiber des Prozesselements *Produzieren* gewählt.

Die mit dem Rüstvorgang verbundenen Kostenarten entstehen aufgrund des Faktorverzehr (Energie, Hilfsstoffe, etc.) während des Umrüstens [HOLL81]. Die wesentlichen Kostenarten hierbei sind Fertigungslöhne zur Durchführung des Rüstvorgangs sowie Werkzeugkosten oder Hilfslohne für spezielle Maschineneinrichter. Zusätzlich ist neben der Dauer des Rüstvorgangs und den dabei entstehenden Personal- und Sachmittelkosten auch die eventuell resultierende Verminderung der verfügbaren Kapazität einer Maschine, bzw. eines Arbeitsplatzes zu berücksichtigen.

sichtigen [BACK96]. Diese zusätzliche Berücksichtigung der Kapazitätsverminderung ist aber nur bei Rüstvorgängen von Bedeutung, die

1. nicht hauptzeitparallel, d.h. während des Bearbeitungsprozesses, durchgeführt werden, und
2. die zur Auftragsbearbeitung benötigte Kapazität soweit reduzieren, dass anstehende Aufträge aufgrund begrenzter Kapazität nicht mehr bearbeitet werden können.

In der Folge ist mit Opportunitätskosten aufgrund entgangener Deckungsbeiträge der nicht bearbeiteten Aufträge zu rechnen. Ist die vorhandene Kapazität jedoch ausreichend, oder können Kapazitätserweiterungen durchgeführt werden (z.B. durch Mehrarbeit), sind keine entgangenen Deckungsbeiträge anzusetzen, da auch keine weiteren Aufträge zur Bearbeitung anstehen [TEMP92, WASS96, BACK96].

Die Prozesskostensätze eines Rüstvorgangs werden daher in zwei Fälle unterschieden. Fall a) berücksichtigt nur die notwendigen Personal- und Materialkosten eines Rüstvorgangs, Fall b) zusätzlich noch die entgangenen Deckungsbeiträge.

$$PKS_R = \left\{ \begin{array}{l} \frac{(K_{Lohn} + K_{Sach})}{T_{Plan}} \quad , \text{Fall a)} \\ \frac{(K_{Lohn} + K_{Sach} + \sum_{j=1}^m DB_j)}{T_{Plan}} \quad , \text{Fall b)} \end{array} \right\} \quad \text{Gleichung 4.24}$$

mit	PKS_R	=	Prozesskostensatz Rüsten [DM/Std]
	K_{Lohn}	=	Lohnkosten [DM]
	K_{Sach}	=	Sachmittelkosten [DM]
	DB_j	=	Deckungsbeitrag eines Auftrags, der nicht bearbeitet werden kann [DM]
	T_{Plan}	=	Planstundenzahl pro Jahr [Std]
	m	=	Anzahl Aufträge, die nicht bearbeitet werden können [-]

Für den Teilprozess Bearbeiten wird als Kostentreiber die Bearbeitungszeit festgelegt. Dabei ist die für jeden Bearbeitungsvorgang notwendige Zeit sowie die Gesamtzahl der Bearbeitungsvorgänge zu berücksichtigen. Energie-, Werkzeug- sowie Hilfs- und Betriebsstoffkosten werden als variable Kosten angesetzt. Die Kosten für kalkulatorische Abschreibungen und Zinsen auf das Anlagevermögen sowie Raumkosten werden als fixe Kosten betrachtet. Bei den Lohnkosten werden die direkten Fertigungslöhne ebenfalls als variable Kosten betrachtet, die Personalnebenkosten und Gehälter als Fixkosten [KILG93]. Zusätzlich sind Mehrarbeitszuschläge aufgrund zeitlicher Anpassungsmaßnahmen durch Überstunden oder Schichterweiterungen in den variablen Bearbeitungskosten zu berücksichtigen. Quantitative Anpassungen durch Einstellung von Leiharbeitern bzw. durch die Bereitstellung zusätzlicher Maschinen führen zusätzlich zu einer Erhöhung der Fixkosten aufgrund zusätzlicher Personalnebenkosten bzw. zusätzlichen kalkulatorischer

rischen Abschreibungen und Zinsen auf das erweiterte Anlagevermögen. Zusätzlich sind die Kosten für Reparaturen und Instandhaltung in den Personal- und Sachmittelkosten zu berücksichtigen.

Aufgrund der Trennung in variable und fixe Bearbeitungskosten ergeben sich die folgenden Prozesskostensätze des Bearbeitungsvorgangs:

$$PKS_{B, \text{fix}} = \frac{K_{\text{Personal, fix}} + K_{\text{Sach, fix}}}{T_{\text{Plan}}} \quad \text{Gleichung 4.25}$$

$$PKS_{B, \text{var}} = \frac{K_{\text{Lohn}} + K_{\text{Sach, var}}}{T_{\text{Plan}}} \quad \text{Gleichung 4.26}$$

mit	K_{Lohn}	=	Lohnkosten [DM]
	K_{Personal}	=	Personalkosten [DM]
	K_{Sach}	=	Sachmittelkosten [DM]
	$PKS_{B, \text{fix}}$	=	fixer Prozesskostensatz Bearbeiten [DM/Std]
	$PKS_{B, \text{var}}$	=	variabler Prozesskostensatz Bearbeiten [DM/Std]
	T_{Plan}	=	Planstundenzahl pro Jahr [Std]

Neben den Kosten, die aufgrund der Prozessdurchführung entstehen, sind noch die Bestandskosten beim Prozesselement *Produzieren* zu betrachten. Diese werden durch die Kapitalbindung der im Umlaufbestand des Prozesselements gebundenen Bauteile verursacht. Sie variieren mit der Höhe des Umlaufbestands und damit mit der Anzahl der Bauteile, die vor und während der Bearbeitung zwischengepuffert werden. Die Kapitalbindung der gepufferten Teile hängt vom Wert des Teiles, der Lagerdauer und des Kapitalbindungssatzes ab. Von diesen Größen sind insbesondere die erste und die dritte in der Literatur nicht eindeutig festgelegt [BRIN90]. Daher werden die alternativen Ermittlungsansätze kurz vorgestellt.

Bei der Wahl des Kapitalbindungssatzes werden in der Literatur zwei Ansichten vertreten. Die Kosten der Kapitalbindung werden zum einen als Kosten der Nutzung fremden Kapitals gesehen, wenn zur Finanzierung der gelagerten Teile Fremdkapital anzusetzen ist [HOLL81, PERR93]. Zum anderen können sie aber auch als Opportunitätskosten angesetzt werden, wenn das gebundene Kapital nicht anderweitig am Kapitalmarkt angelegt werden kann [BACK96]. *Weber* zieht aufgrund der Vielzahl an Bewertungsansätzen den Schluss, dass durch die häufig vorzufindende Willkürlichkeit bei der Wahl des Kalkulationszinsfußes es den Unternehmen ermöglicht wird, durch die Höhe des Zinssatzes eine Steuerungsfunktion bei Investitionsentscheidungen zur Ablaufverbesserung auszuüben [WEBE95]. Höhere Kapitalbindungssätze unterstützen Maßnahmen zur Bestandsreduzierung, während geringere Kapitalbindungssätze höhere Maschinenauslastungen unterstützen. Aufgrund der hohen Verbreitung des Ansatzes von Fremdkapitalkosten in der Praxis, wird hier diesem Ansatz gefolgt. Dazu ist im Anwendungsfall ein entsprechender Kalkulationszinssatz zu wählen, der marktüblichen Zinsen entspricht.

Bei der Ermittlung des Werts eines Bauteils, das zwischengelagert werden muss, ist der hierfür relevante monetär bewertete Güterverzehr zu ermitteln. Dabei besteht die Schwierigkeit, die Relevanz möglicher anzusetzender Kostenarten eindeutig festzulegen. Unstrittig ist, dass die variablen Einzelkosten des Bauteils anzusetzen sind. Dies sind in der Regel die Materialkosten und Werkzeugkosten. Nicht eindeutig ist der Ansatz von kalkulatorischen Abschreibungen und der erforderliche Personaleinsatz. *Grossklaus* [GROS96] berücksichtigt zur Wertermittlung die folgenden Kostenarten:

- Überstunden, Sonderschicht und Leiharbeiterlöhne,
- Löhne des mittelfristig abbaubaren und kapazitätsabhängigen Potenzials an Fertigungspersonal,
- Kosten der eingesetzten Energie für Bearbeitung und Rüsten sowie Transport und Handling.

Sein Betrachtungshorizont ist die taktische Produktionslogistik, da er über die Festlegung der einzulastenden Fertigungsaufträge in der Auftragsfreigabe ein Optimum aus Grenzerlösen und Grenzkosten erzielen will. Aufgrund der Ähnlichkeit des Einsatzgebietes zwischen dem Ansatz von *Grossklaus* und der in dieser Arbeit entwickelten Methodik werden ebenfalls die genannten Kostenarten zur Ermittlung der Wertschöpfung angesetzt. Alternativ zur genauen Berechnung der Wertschöpfung, wird sowohl in [WARN80] als auch in [VDIP00] eine vereinfachte Berechnung des Werts eines angearbeiteten Bauteils vorgestellt. Danach werden Materialkosten und Fertigungskosten addiert und ein Mittelwert gebildet, da eine lineare Wertzunahme über den Wertschöpfungsprozess hinweg angenommen wird.

Die Berechnung der Bestandskosten ergibt sich somit nach folgender Gleichung:

$$\text{KBES} = \frac{W \cdot p \cdot D_{\text{Kap}}}{100 \cdot P} \quad \text{Gleichung 4.27}$$

mit:	KBES	= Bestandskosten [DM]
	W	= Wert der im Bestand liegenden Bauteile [DM]
	D_{KAP}	= Dauer der Kapitalbindung [BKT]
	p	= kalkulatorischer Zinssatz [%]
	P	= Jahresbetriebszeit [BKT]

In **Bild 4.13** sind die Teilprozesse, Kostentreiber und Kostenarten des Prozesselements *Produzieren* zusammenfassend im Überblick dargestellt. Die Kostenarten lehnen sich an die Kostenartengruppen aus den betrieblichen Kostenartenplänen an [KILG93].

Prozess *Produzieren*

Teilprozess	Kostentreiber	Kostenart
Maschine rüsten	Rüstzeit	Lohnkosten
Teil bearbeiten und prüfen	Bearbeitungszeit	Mehrarbeitszuschläge
Reparatur und Wartung durchführen	--	Hilfslöhne
Bereich leiten	--	Personalnebenkosten
		Werkzeugkosten
		Hilfs- und Betriebsstoffkosten
		Kalkulatorische Abschreibungen
		Kalk. Zinsen auf das Anlagevermögen
		Kalk. Raumkosten
		Kalk. Energiekosten
		Reparatur und Instandhaltungskosten
		Kalk. Zinsen auf das Umlaufvermögen
		Gehälter

Bild 4.13: Teilprozesse, Kostentreiber und Kostenarten des Prozesselements *Produzieren*

- **Prozesselement *Transportieren***

Die aus logistischer Sicht wesentlichen Teilprozesse des Prozesselements *Transportieren* sind die Be- und Entladung der Transportsysteme und der eigentliche Transportvorgang (**Bild 4.14**) [WEBE95]. Die Kosten der weiteren Teilprozesse, wie Reparatur und Wartung oder Leitungsaufgaben, werden als Gemeinkosten den anderen Prozessen zugeordnet, da sie als unveränderlicher Kostenblock betrachtet werden.

Die Kostentreiber für den Teilprozess Be- und Entladen sind die Anzahl der Ladevorgänge bzw. die Zeit, die hierzu in Anspruch genommen wird. Analog hierzu sind für den Teilprozess Transportieren die Anzahl der Transportvorgänge bzw. die Transportzeit wesentliche Ursachen für die Inanspruchnahme der Transportressourcen [WEBE95].

Im folgenden wird die Detaillierung in die beiden genannten Teilprozesse beibehalten. In vielen Anwendungsfällen der industriellen Praxis ist diese Detaillierung jedoch nicht notwendig, da zum einen die Zeitanteile für Be- und Entladeprozesse deutlich geringer sind als der eigentliche Transportvorgang. Zum anderen bieten die betrieblichen Planungssysteme oft nicht die erforderliche Genauigkeit, um diese Unterscheidung vorzunehmen [WEBE87]. Daher können vereinfachend die Ladevorgänge und Transportvorgänge zu einem Teilprozess zusammengefasst werden.

Prozess *Transportieren*

Teilprozess	Kostentreiber	Kostenart
Teile aufnehmen und abladen	Handhabungszeit bzw. Anzahl Ladevorgänge	Lohnkosten
Teile transportieren	Transportzeit bzw. Anzahl Transportvorgänge	Mehrarbeitszuschläge
Reparatur und Wartung durchführen	--	Personalnebenkosten
Transportbereich leiten	--	Werkzeugkosten
		Hilfs- und Betriebsstoffkosten
		Kalkulatorische Abschreibungen
		Kalk. Zinsen auf das Anlagevermögen
		Kalk. Raumkosten
		Kalk. Energiekosten
		Reparatur und Instandhaltungskosten
		Kalk. Zinsen auf das Umlaufvermögen
		Gehälter

Bild 4.14: Teilprozesse, Kostentreiber und Kostenarten des Prozesselements *Transportieren*

Aufgrund der Ähnlichkeit in der Modellierung von Produktions- und Transportprozessen (siehe auch Abschnitte 2.4.2.2 und 4.3.3.1), sind auch die relevanten Kostenarten ähnlich (**Bild 4.15**). Somit werden beim Be- und Entladen im wesentlichen die Transportlöhne als Lohnkosten sowie Energie- und Werkzeugkosten als Sachmittelkosten für notwendige Hilfsmittel angesetzt. Fixkosten sind nur zu berücksichtigen, wenn gesondert Hilfslohne für den Ladevorgang anfallen. Der Prozesskostensatz für den Ladevorgang wird damit wie folgt bestimmt:

$$PKS_L = \frac{K_{Lohn} + K_{Sach}}{T_{Plan}} \quad \text{Gleichung 4.28}$$

mit

- K_{Lohn} = Lohnkosten [DM]
- K_{Sach} = Sachmittelkosten [DM]
- PKS_L = Prozesskostensatz Be- und Entladen [DM/Std]
- T_{Plan} = Planstundenzahl pro Jahr [Std]

Bei der Berechnung der Handhabungskosten zur Be- und Entladung der Transportmittel werden an dieser Stelle vereinfachend konstante Handhabungszeiten je Transportauftrag angenommen. Diese Annahme ist aufgrund der Grenzen, die der Erfassungsaufwand an eine detailliertere Kostenermittlung stellt, in der Praxis gängig und daher zulässig [WEBE87].

Bei den Kostenarten, die für den Transportprozess zu berücksichtigen sind, kann weiter in variable und fixe Kostenarten unterschieden werden. Diese Unterscheidung ist allerdings nur not-

wendig, wenn der Transportprozess Schwerpunkt der Betrachtung ist und hinsichtlich der effizienten Nutzung der Transportressourcen beurteilt werden soll. Andernfalls ist es ausreichend, einen Prozesskostensatz zu erstellen. Variable Kosten des Transportprozesses sind im wesentlichen Energiekosten und Transportlöhne. Als fixe Kosten werden im wesentlichen kalkulatorischen Abschreibungen und Zinsen auf die eingesetzten Transporthilfsmittel sowie Personalnebenkosten und Gehälter berücksichtigt. Zusätzlich sind die Kosten für Reparaturen und Instandhaltungsmaßnahmen den Personal- und Sachmittelkosten zuzuordnen. Damit werden die Prozesskostensätze des Transportvorgangs wie folgt bestimmt:

$$\text{PKS}_{T,\text{fix}} = \frac{K_{\text{Personal, fix}} + K_{\text{Sach, fix}}}{T_{\text{Plan}}} \quad \text{Gleichung 4.29}$$

$$\text{PKS}_{T,\text{var}} = \frac{K_{\text{Lohn}} + K_{\text{Sach, var}}}{T_{\text{Plan}}} \quad \text{Gleichung 4.30}$$

mit	K_{Lohn}	=	Lohnkosten [DM]
	K_{Personal}	=	Personalkosten [DM]
	K_{Sach}	=	Sachmittelkosten [DM]
	$\text{PKS}_{T,\text{fix}}$	=	fixer Prozesskostensatz Transportieren [DM/Std]
	$\text{PKS}_{T,\text{var}}$	=	variabler Prozesskostensatz Transportieren [DM/Std]
	T_{Plan}	=	Planstundenzahl pro Jahr [Std]

Die Berechnung der Transportbestandskosten erfolgt analog zum Prozesselement *Produzieren*. Daher wird an dieser Stelle auf Gleichung 4.27 verwiesen.

- **Prozesselement *Lagern***

Das Prozesselement Lagern wird durch die Teilprozesse zur Einlagerung der Bauteile, zur Kommissionierung bzw. Bereitstellung derselben und die Prozesse der Leitung und Verwaltung des Lagers detailliert.

Aufgrund der zumeist ungenauen zeitlichen Erfassung von Ladevorgängen und Kommissionierungsvorgängen in der industriellen Praxis werden als Kostentreiber die Anzahl an Lagerungsvorgängen bzw. Kommissionier- und Bereitstellungsvorgängen gewählt, da sie eine hinreichend genaue Aussage über die Belastung der vorhandenen Lagerressourcen durch diesen Prozess ermöglichen [WEBE87, MICH98]. Der Teilprozess Lager verwalten und leiten wird, analog dem Vorgehen bei den zuvor beschriebenen Prozesselementen, als Gemeinkosten den anderen Teilprozessen zugeordnet.

Einen Überblick über die Teilprozesse, Kostentreiber und Kostenarten des Prozesselements *Lagern* gibt **Bild 4.15**.

Prozess *Lagern*

Teilprozess	Kostentreiber	Kostenart
Teile einlagern	Anzahl Einlagerungen	Lohnkosten
Teile kommissionieren und bereitstellen	Anzahl Kommissioniervorgänge	Personalnebenkosten
Lager verwalten und leiten	--	Werkzeugkosten
		Hilfs- und Betriebsstoffkosten
		Kalkulatorische Abschreibungen
		Kalk. Zinsen auf das Anlagevermögen
		Kalk. Raumkosten
		Kalk. Energiekosten
		Kalk. Zinsen auf das Umlaufvermögen
		Gehälter
		Steuern
		Versicherungsgebühren
		Kalkulatorische Wagnisse

Bild 4.15: Teilprozesse, Kostentreiber und Kostenarten des Prozesselements *Lagern*

Die wesentlichen Kostenarten dieser Prozesse sind, wie auch bei den zuvor beschriebenen Prozesselementen, die anfallenden Lohnkosten und Personalnebenkosten sowie die kalkulatorischen Abschreibungen und Zinsen für die Lagertransportmittel. Zusätzlich werden als unveränderbarer Gemeinkostenblock die kalkulatorischen Raumkosten sowie Kosten für anfallende Steuern und Versicherungsgebühren der gelagerten Bauteile berücksichtigt. Auch die kalkulatorischen Wagnisse als Kosten für Schwund und Verderb der gelagerten Bauteile werden diesen Prozessen zugeordnet.

Daher werden die Prozesskostensätze für Einlagerungs- sowie Kommissionier- und Bereitstellungsprozesse wie folgt bestimmt:

$$PKS_{EL} = \frac{K_{Lohn} + K_{Personal} + K_{Sach} + K_{Wagnis}}{A_{Lagerung}} \quad \text{Gleichung 4.31}$$

$$PKS_K = \frac{K_{Lohn} + K_{Personal} + K_{Sach} + K_{Wagnis}}{A_{Kommissionierung}} \quad \text{Gleichung 4.32}$$

mit $A_{Lagerung}$ = Anzahl Lagerungen pro Jahr [-]
 $A_{Kommissionierung}$ = Anzahl Kommissionierungen pro Jahr [-]
 K_{Lohn} = Lohnkosten [DM]

K_{Personal}	=	Personalkosten [DM]
K_{Sach}	=	Sachmittelkosten [DM]
K_{Wagnis}	=	kalkulatorische Wagniskosten [DM]
PKS_{EL}	=	Prozesskostensatz einer Einlagerung [DM/Vorgang]
PKS_{K}	=	Prozesskostensatz Kommissionieren und Bereitstellen [DM/Vorgang]

Eine Unterteilung in fixe und variable Kostensätze ist bei der Betrachtung von Lagerungsvorgängen zwar prinzipiell möglich, wird aber zumeist nicht erforderlich, um Aussagen über die durch sie entstehende Kostenverursachung treffen zu können [MAYE98, WEBE95].

- **Prozess Produktionsplanung und -steuerung**

Die bisherige Betrachtung bezog sich nur auf die Kostenarten, die durch die Prozesselemente der physischen Prozesskette, also *Produzieren*, *Transportieren* und *Lagern* verursacht werden. Zusätzlich sind für eine Beurteilung produktionslogistischer Maßnahmen auch die Kosten mit einzubeziehen, die durch die Tätigkeiten der Produktionsplanung- und Steuerung (PPS) verursacht werden. Ihre Kostenentstehung wird ebenfalls von der gewählten Struktur und Auslegung der Prozesskette beeinflusst, daher sind sie mit in die Betrachtung aufzunehmen.

Hierzu werden für die Teilprozesse der PPS, wie sie im Rahmen der VDI-Richtlinie Produktion definiert wurden (siehe auch Abschnitt 2.2), die relevanten Kostentreiber und Prozesskostensätze sowie die wesentlichen Kostenarten identifiziert. Die Kosten der Teilprozesse Produktionsprogramm planen und Losgrößen planen werden als Gemeinkosten den anderen Prozessen der PPS zugeordnet, da ihre Durchführung nicht durch logistische Gestaltungsmaßnahmen der Prozesskette beeinflusst wird. Sie werden daher als konstanter Kostenblock betrachtet. In Abschnitt 4.3.4.1 wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Kostenabbildung der indirekten Bereiche aufgrund ungenauer Daten nicht detailliert erfolgen kann. Dies ist auch bei der Abbildung der Prozesse der PPS zutreffend. Es sind daher nur Aussagen über die grundsätzliche Beeinflussbarkeit des Kostenblocks der PPS bei einer Veränderung der Prozesskette und damit der Inanspruchnahme ihrer Leistungen möglich. Für detailliertere Kostenrechnungen sind genauere Untersuchungen der Wirkzusammenhänge zwischen Kostentreiber und der Gestaltung einer Prozesskette nötig.

Die Wahl der Kostentreiber für die restlichen Teilprozesse erfolgt auf Basis eines Abgleichs mit bereits vorliegenden Arbeiten zum Einsatz der Prozesskostenrechnung in Produktionsunternehmen [MICH98, MAYE98, BROK98]. Aus dieser Betrachtung ergeben sich als wesentliche Kostentreiber dieser Teilprozesse die Anzahl an Fertigungsaufträgen und Arbeitsvorgängen, die durch den PPS-Bereich zu koordinieren sind.

Relevante Kostenarten sind im wesentlichen Gehälter und Personalnebenkosten [RENN91]. Sollten auch investitionsintensive EDV-Systeme, wie beispielsweise PPS-Systeme oder elektro-

nische Leitststände, eingesetzt werden, stellen diese einen weiteren wichtigen Kostenblock dar. Diese Kosten werden in den kalkulatorischen Abschreibungen und kalkulatorischen Zinsen des Anlagevermögens berücksichtigt.

Die Bestimmung der Prozesskostensätze erfolgt analog zu den zuvor genannten Teilprozessen, so dass auf eine explizite Darstellung verzichtet wird. Dabei sind die Gesamtkosten des jeweiligen Teilprozesses durch die Planprozessmenge des gewählten Kostentreibers zu dividieren.

Zusammenfassen sind die Teilprozesse der PPS in **Bild 4.16** dargestellt.

Prozess Produktionsplanung und -steuerung

Teilprozess	Kostentreiber	Kostenart
Produktionsprogramm planen	-	Gehälter
Losgrößen planen	-	Personalnebenkosten
Produktionsreihenfolge planen	Anzahl Fertigungsaufträge	Kalkulatorische Abschreibungen
Auftragspapiere erstellen	Anzahl Fertigungsaufträge	Kalk. Zinsen auf das Anlagevermögen
Aufträge in die Produktion freigeben	Anzahl Fertigungsaufträge	Kalk. Raumkosten
Maschinenbelegung planen	Anzahl Arbeitsvorgänge	Kalk. Energiekosten
Fertigungsfortschritt kontrollieren und verfolgen	Anzahl Fertigungsaufträge	Kosten für Büromaterial
Fertige Aufträge zurückmelden	Anzahl Fertigungsaufträge ¹	

Bild 4.16: Teilprozesse, Kostentreiber und Kostenarten der PPS

Neben den genannten Prozessen und den damit verbundenen Kostenarten fallen auch Kosten für Beschaffung und Einkauf, Qualitätssicherung und Arbeitsvorbereitung in den Kostenstellen eines Unternehmens an. Auch diese Kosten gehen in die Herstellkosten eines Produktes ein. Sie werden aber in dieser Arbeit nicht weiter aufgeschlüsselt, da sie nicht durch die Produktionslogistik beeinflusst werden. Im Rahmen dieser Arbeit sind nur die Prozesse zu berücksichtigen, die direkt durch logistische Gestaltungs- und Optimierungsmaßnahmen der Produktion verändert werden und deren Kostenentstehung in einem direkten Wirkzusammenhang mit der Gestaltung der Prozesskette stehen. Derzeit ist es noch nicht möglich, die Kostenentstehung im Bereich der Qualitätssicherung und der Arbeitsvorbereitung mit logistischen Maßnahmen in einen Wirkzusammenhang zu bringen. Daher werden diese Kosten weiterhin als Gemeinkosten in dieser Arbeit betrachtet. In einigen Fällen können aber die Kosten der Beschaffungsprozesse durch produktionslogistische Maßnahmen verändert werden. Dies ist dann der Fall, wenn auftragsbezogen beschafft und disponiert wird, so dass sich die Wahl der Dispositionsparameter direkt auf Häufigkeit der Prozessdurchführung der Beschaffung auswirkt. In einem solchen Fall sind die Kosten des Beschaffungsprozesses zu berücksichtigen. Für die vorliegende Arbeit wird jedoch eine Ent-

kopplung von Beschaffung und Fertigungsprozesskette vorausgesetzt (siehe auch Abschnitte 4.3.2 und 4.3.3.1).

4.3.5 Zusammenführung der Logistik- und Kostenwirkmodelle

Das in Abschnitt 4.3.4.1 erarbeitete Kostenmodell und die in Abschnitt 4.3.4.2 ermittelten relevanten Prozess- und Bestandskosten werden nun mit den logistischen Modellen der Prozesselemente *Produzieren*, *Transportieren* und *Lagern* verknüpft. Dieser Zusammenführung der Logistik- und der Kostensicht liegt der Kerngedanke zu Grunde, in einem Diagramm sowohl die logistische Leistung als auch die Kosten in Abhängigkeit des Bestands darzustellen. Damit wird es erstmalig möglich, eine individuelle logistische Positionierung von Prozessen nach den logistischen Zielgrößen Durchlaufzeit, Bestand und Auslastung oder nach den damit induzierten Kosten vornehmen zu können. Die somit entstehenden logistischen Modelle der Kennlinien werden nachfolgend als Logistik- und Kostenwirkmodelle bezeichnet, da sie um die Kostensicht erweitert werden.

Diese Modelle bilden die Grundlage, um eine Beurteilung der Logistikleistung einer aus den genannten Prozesselementen aufgebauten Prozesskette durchführen zu können. Dabei werden die Kenngrößen der Logistikleistung für jedes Prozesselement gemäß der in Abschnitt 4.3.3.1 vorgestellten Berechnungsvorschriften berechnet. Zur Messung der Logistikleistung der gesamten Prozesskette werden die Berechnungsvorschriften aus Abschnitt 4.3.3.2 verwendet. Die Bestimmung der induzierten Kosten erfolgt ebenfalls für jedes einzelne Prozesselement auf Basis der in diesem Abschnitt erstellten Logistik- und Kostenwirkmodelle. Zur Beurteilung der Kostenwirkung einer gesamten Prozesskette sind die Prozesskosten aller Prozesselemente zu summieren. Zur besseren Vergleichbarkeit alternativer logistischer Positionierungen der Prozesskette und der einzelnen Prozesselemente, werden die Prozesskosten für die Prozesselemente *Produzieren* und *Transportieren* jeweils bezogen auf eine Leistungsstunde angegeben. Damit lässt sich der Degressionseffekt der Fixkosten bei ansteigender Leistung verdeutlichen. Für das Prozesselement *Lagern* werden die Kosten auf ein Stück bezogen, da der Lagerbestand ebenfalls in Stück angegeben wird.

Zur logistischen Beschreibung der Wirkzusammenhänge des Prozesses *Produzieren* finden die Produktionskennlinien Anwendung. Die relevanten Kostenarten sind, wie in Abschnitt 4.3.4.2 ausgeführt, die Prozesskostensätze für Rüsten und Bearbeiten sowie die Bestandskosten der zwischengepufferten Werkstücke im Umlaufbestand. Zusätzlich werden in diesem Prozesselement die Prozesskosten der PPS dargestellt, da auch sie als entstehende Kosten der erbrachten logistischen Leistung gegenübergestellt werden müssen.

In **Bild 4.17** ist der prinzipielle Verlauf der genannten Prozess- und Bestandskosten je Leistungseinheit in Ergänzung zur logistischen Leistungskennlinie dargestellt.

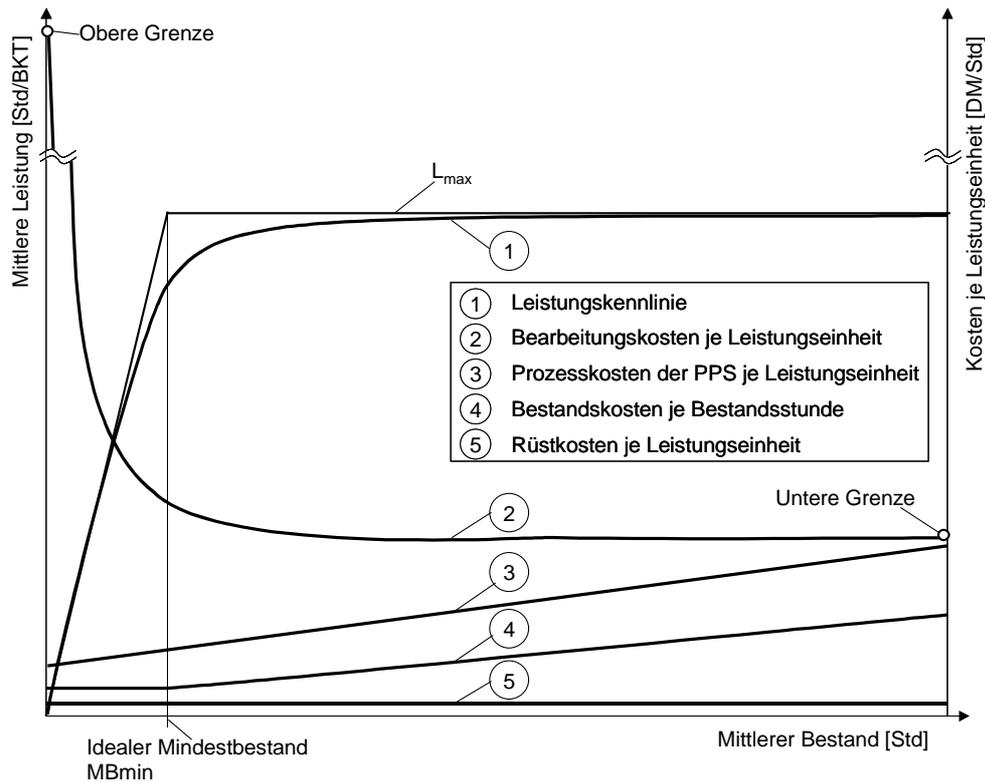


Bild 4.17: Prinzipieller Verlauf der Prozess- und Bestandskosten je Leistungseinheit in Abhängigkeit des Bestands

Der Verlauf der Bearbeitungskosten je Leistungseinheit wird durch zwei Punkte begrenzt. Die obere Grenze besteht bei einer Annäherung an einen Bestandswert von Null und damit auch einer Leistung $L_m(t)$, die gegen Null geht. Hier erreichen die Bearbeitungskosten je Leistungseinheit ihren höchsten Wert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Fixkosten durch eine infinitesimal kleine Leistungsausbringung dividiert werden. Dabei wird die Y-Achse nur angenähert, aber nicht erreicht. Die untere Grenze entsteht bei Erreichen der maximalen Leistung L_{max} . Hier entsteht ein Minimum der Bearbeitungskosten je Leistungseinheit, das in seiner Höhe den Plankosten je Leistungseinheit entspricht. Zwischen diesen Grenzen ist der fallende Verlauf der Bearbeitungskosten durch den Degressionseffekt des Fixkostenanteils bestimmt.

Der Verlauf der Rüstkosten je Leistungseinheit ist hingegen prinzipiell bestandsunabhängig und damit konstant. Die Höhe dieser Kosten wird durch die Häufigkeit und Dauer der Rüstvorgänge bestimmt. Einen gesonderten Fall des Rüstkostenverlaufs nimmt die zusätzliche Betrachtung von Opportunitätskosten ein, die zu einem Sprung im Rüstkostenverlauf führen. Dieser Fall wird in **Bild 4.17** zwar nicht dargestellt, muss aber als theoretisch möglicher Fall berücksichtigt werden. Dieser Fall wird daher nachfolgend bei der Diskussion der Rüstkosten nochmals aufgegriffen.

Die Bestandskosten je Bestandsstunde verlaufen zunächst konstant bis zum Erreichen des idealen Mindestbestands MB_{min} . Sie werden dabei durch die Höhe des notwendigen idealen Mindestbestands bestimmt. Danach steigen diese Kosten mit steigendem Bestand linear an.

Die Prozesskosten der PPS je Leistungseinheit verlaufen von einem Ausgangsniveau aus linear mit steigendem Bestand an. Die Kostenhöhe des Ausgangsniveaus ist von der Höhe der Prozesskosten der einzelnen Teilprozesse abhängig, wie nachfolgend bei der Diskussion der Prozesskosten der PPS noch zu zeigen ist.

Werden die genannten Prozess- und Bestandskosten in einer Summenkurve in Abhängigkeit des Bestands dargestellt und in die logistische Produktionskennlinie integriert, entsteht das zuvor genannte Logistik- und Kostenwirkmodell. Somit lassen sich die Zielgrößen Durchlaufzeit, Bestand, Auslastung und Kosten in einem Diagramm darstellen, um die Entscheidungsfindung bei der logistischen Positionierung zu unterstützen. **Bild 4.18** zeigt ein solches Logistik- und Kostenwirkmodell, in dem die Gesamtkostenkennlinie der zuvor genannten Kosten, die logistische Leistungskennlinie und die Durchlaufzeitkennlinie dargestellt sind.

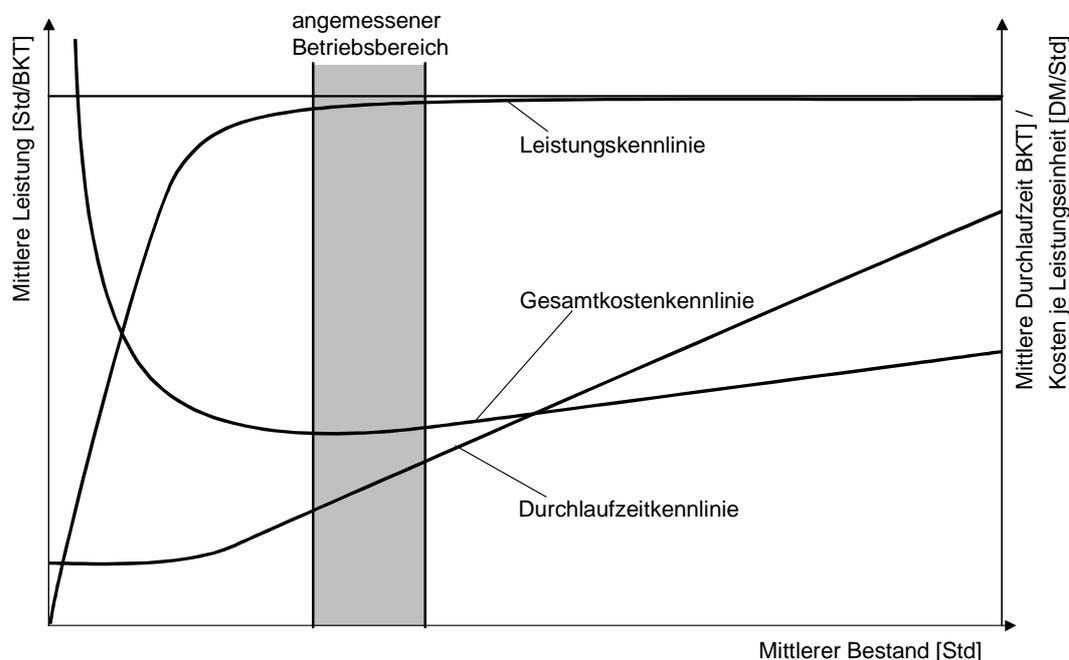


Bild 4.18: Prinzipdarstellung eines Logistik- und Kostenwirkmodells

Ebenfalls eingezeichnet in **Bild 4.18** ist ein aus logistischer und wirtschaftlicher Sicht angemessener Betriebsbereich des Prozesselements *Produzieren*. Dieser ist durch geringe Abweichungen von einem Minimum der Gesamtkostenkurve sowie hoher Leistung und kurzen Durchlaufzeiten gekennzeichnet. Durch die Wahl eines individuellen Betriebspunktes wird es möglich, den betrachteten Prozess gemäß den Zielvorgaben zu positionieren.

Im folgenden werden die einzelnen Berechnungsvorschriften zur Bestimmung der genannten Kostenverläufe in Abhängigkeit des Bestands beschrieben und grafisch dargestellt.

Bei der Darstellung der Rüstkosten je Leistungseinheit wird von folgendem sachlogischen Zusammenhang ausgegangen. Die Gesamtrüstkosten eines Prozesselements werden durch eine Multiplikation des in Abschnitt 4.3.4.2 festgelegten Rüst-Prozesskostensatzes PKS_R mit der An-

zahl der Prozessdurchführungen bestimmt. Die Anzahl der Prozessdurchführung hängt von der Anzahl an Fertigungsaufträgen in der Planungsperiode ab, für die gerüstet werden muss. Die Anzahl an Fertigungsaufträgen wird wiederum durch die Festlegung des Produktionsprogramms und dessen Umsetzung in Fertigungsaufträge beeinflusst. Dabei spielt die Wahl der Losgröße eine entscheidende Rolle. Je größer die Losgröße gewählt wird, desto weniger Aufträge sind zu rüsten. Einschränkend ist hierzu anzumerken, dass dieser Zusammenhang zwischen Wahl der Losgröße und Anzahl Fertigungsaufträge nur gilt, wenn die Fertigungsauftragsbildung nicht durch manuelle Eingriffe und individuelle Festlegungen der Auftragsgröße verändert wird. Im Rahmen der Gestaltung und Planung von Prozessketten können diese Effekte jedoch ausgeschlossen werden, da in diesen Planungsphasen noch keine konkreten Fertigungsaufträge vorliegen. Hier ist der zuvor vorgestellte Zusammenhang zwischen Wahl der Losgröße und Anzahl Fertigungsaufträge gültig.

Grundsätzlich werden die Gesamtrüstkosten auch durch die Wahl eines logistischen Betriebspunktes und damit durch die mittlere Leistung $L_m(t)$ beeinflusst. Grund hierfür ist die steigende Zahl an Aufträgen, die mit steigender Leistung abgearbeitet werden können. Da aber die Rüstkosten auf eine Leistungseinheit bezogen werden sollen, entfällt der leistungsbezogene Einfluss wieder, da nur die Rüstkosten für eine Leistungseinheit betrachtet werden. Folglich sind die Rüstkosten je Leistungseinheit nur von der Höhe des Rüst-Prozesskostensatzes und der Festlegung der Losgrößen abhängig.

Aufgrund dieser dargestellten Zusammenhänge können die Rüstkosten je Leistungseinheit KR_{LE} als konstanter Verlauf, unabhängig vom Bestand dargestellt werden (**Bild 4.19, Fall a**).

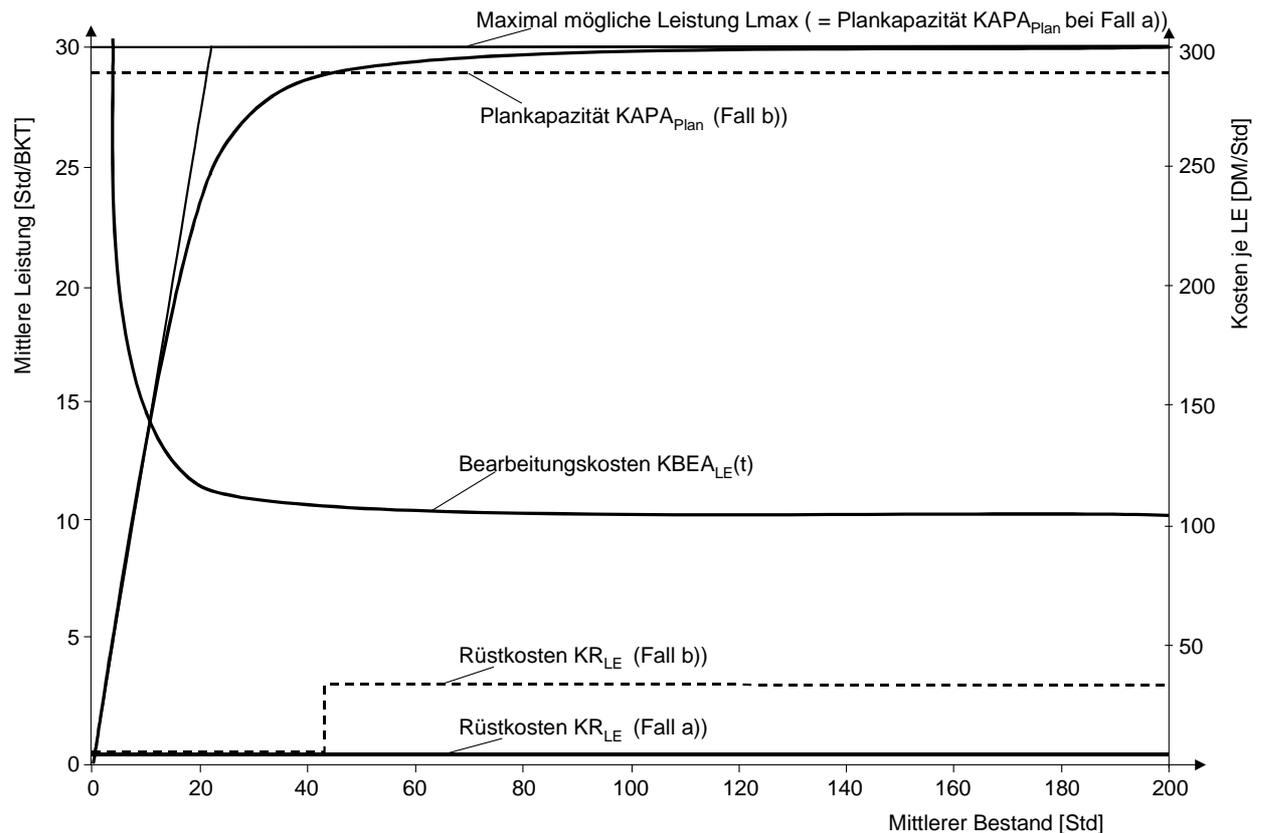


Bild 4.19: Verlauf der Bearbeitungs- und Rüstkosten je Leistungseinheit in Abhängigkeit der Leistungskennlinie (Beispiel)

Ein Sonderfall bei der Bestimmung des Rüstkostenverlaufs ergibt sich, wenn aufgrund erhöhter Rüstzeiten das geplante Produktionsprogramm nicht abgearbeitet werden kann. In diesem Fall sind als Opportunitätskosten die entgangenen Deckungsbeiträge der nicht produzierten Aufträge zu berücksichtigen (siehe auch Gleichung 4.24, Fall b in Abschnitt 4.3.4.2). Der Verlauf der Rüstkosten je Leistungseinheit weist dann einen Sprung auf (**Bild 4.19, Fall b**). Dieser Sprung in Höhe der Opportunitätskosten tritt an der Stelle auf, an der die Leistungskurve $L_m(t)$ die Plankapazität überschreitet, wie auch in **Bild 4.19** dargestellt. Diese Situation kann beispielsweise auftreten, wenn durch die zuvor beschriebenen strukturellen Veränderungen der Losgröße ein häufigeres Rüsten als geplant notwendig wird, was zu einem veränderten Verlauf der Leistungskurve $L_m(t)$ führt. Es wird mehr Kapazität benötigt, als ursprünglich geplant war. Wird die Kapazität nicht angepasst, um die neue Leistung erreichen zu können, entstehen Opportunitätskosten aufgrund der Aufträge, die nicht mehr produziert werden können. Dieser Fall wird allerdings in der Praxis selten auftreten, da die Kapazitäten i.d.R. ausreichend dimensioniert werden, um das geplante Produktionsprogramm abarbeiten zu können.

Zusammenfassend lassen sich die Rüstkosten je Leistungseinheit am Prozesselement *Produzieren* wie folgt darstellen:

$$KR_{LE} = PKS_R \cdot \frac{\sum_{i=1}^n t_{r, Ist}}{\sum_{i=1}^n t_{r, Plan}} \quad \text{Gleichung 4.33}$$

mit:	KR_{LE}	=	Rüstkosten je Leistungseinheit [DM/Std]
	PKS_R	=	Prozesskostensatz Rüsten [DM/Std]
	$t_{r, Ist}$	=	tatsächlich notwendige Rüstzeit [min]
	$t_{r, Plan}$	=	geplante Rüstzeit [min]
	n	=	Anzahl Aufträge im Betrachtungszeitraum

Die Höhe der Rüstkosten je Leistungseinheit wird durch die Höhe des Prozesskostensatzes für den Rüstvorgang sowie den Quotienten aus aktuell verwendeten Rüstzeiten und ursprünglich geplanten Rüstzeiten bestimmt. Die aktuellen Rüstzeiten werden entweder durch Veränderungen der Einzelrüstzeiten oder durch die Häufigkeit der Rüstvorgänge beeinflusst.

In **Bild 4.19** ist ebenfalls der Verlauf der Bearbeitungskosten eingezeichnet. Deren Verlauf ist durch die starke Fixkostendegression im Bereich der Unterlast gekennzeichnet. Erst ab Erreichen der Vollauslastung verlaufen die Bearbeitungskosten fast konstant bei zunehmendem Bestand.

Bei der Bestimmung der Bearbeitungskosten je Leistungseinheit ist zwischen den variablen und den fixen Kostenarten zu unterscheiden. Die variablen Bearbeitungskosten je Leistungseinheit verlaufen, ähnlich den Rüstkosten je Leistungseinheit, unabhängig von der erbrachten Gesamtleistung des Prozesselements. Sie können in ihrer Höhe nur verändert werden, wenn die Bearbeitungszeiten in den Arbeitsplänen angepasst werden, was ebenfalls eine strukturelle Veränderung darstellt. Die variablen Bearbeitungskosten je Leistungseinheit können somit wie folgt angegeben werden:

$$KBEA_{var,LE} = PKS_{B,var} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n t_{B, Ist}}{\sum_{i=1}^n t_{B, Plan}} \quad \text{Gleichung 4.34}$$

mit:	$KBEA_{var, LE}$	=	variable Bearbeitungskosten je Leistungseinheit [DM/Std]
	$PKS_{B,var}$	=	variabler Prozesskostensatz Bearbeiten [DM/Std]
	$t_{B, Ist}$	=	tatsächlich notwendige Bearbeitungszeit [min]
	$t_{B, Plan}$	=	geplante Bearbeitungszeit [min]
	n	=	Anzahl Aufträge im Betrachtungszeitraum

Der Einfluss der veränderten Bearbeitungszeiten im aktuellen Zustand im Vergleich zu einer ursprünglichen Planung wird durch den Quotienten aus aktuellen und geplanten Bearbeitungszeiten berücksichtigt.

Die Höhe der fixen Bearbeitungskosten je Leistungseinheit ist, im Gegensatz zu den variablen Bearbeitungskosten je Leistungseinheit, von der Leistung des Prozesselements und damit vom gewählten logistischen Betriebspunkt abhängig. Der Grund hierfür ist die auftretende Fixkostendegression, die mit steigender Leistung die Fixkosten auf eine höhere Ausbringungsmenge, in Stück oder in Stunden Leistung, verteilen. Dies führt zu dem in **Bild 4.19** dargestellten Kurvenverlauf der Gesamtbearbeitungskosten je Leistungseinheit $KBEA_{LE}(t)$.

Die fixen Bearbeitungskosten $KBEA_{fix,LE}(t)$ sind damit vom Verlauf der Leistungskurve $L_m(t)$ der Produktionskennlinie abhängig und werden wie folgt bestimmt:

$$KBEA_{fix,LE}(t) = PKS_{B,fix} \cdot \frac{L_{max}}{L_m(t)} \cdot \frac{KAPA_{Ist}}{KAPA_{Plan}} \quad \text{Gleichung 4.35}$$

mit:

$KBEA_{fix,LE}$	= variable Bearbeitungskosten je Leistungseinheit [DM/Std]
$PKS_{B,fix}$	= fixer Prozesskostensatz Bearbeiten [DM/Std]
$KAPA_{Ist}$	= aktuell eingesetzte Kapazität [Std/BKT]
$KAPA_{Plan}$	= ursprünglich geplante Kapazität [Std BKT]

Erreicht $L_m(t)$ die maximal mögliche Leistung L_{max} , so ist bei gegebener Kapazität die größtmögliche Fixkostendegression erreicht. Jede Abweichung eines gewählten logistischen Betriebspunkt von der maximalen Leistung L_{max} führt zu erhöhten Bearbeitungskosten je Leistungseinheit.

Zusätzlich ist der Einfluss einer Abweichung der aktuell gewählten Kapazität von der ursprünglich geplanten Kapazität zu berücksichtigen. Dies erfolgt durch den Quotienten aus aktueller und ursprünglich geplanter Kapazität in Gleichung 4.35. Sind aus Gründen der Leistungsanpassung Kapazitätsveränderungen notwendig, verändert dies auch den Verlauf der Fixkostendegression. Wird eine höhere aktuelle Kapazität notwendig, als ursprünglich geplant, führt dies auch zu einer stärkeren Fixkostendegression. Ist die aktuelle Kapazität kleiner als die ursprünglich geplante Kapazität, so ist die Fixkostendegression geringer und verharrt auf einem höheren Niveau für $KBEA_{LE}(t)$, da somit auch die maximal mögliche Ausbringungsmenge sinkt.

Kapazitätserweiterungen führen durch die Bereitstellung weiterer Bearbeitungsmaschinen zu erhöhten Fixkosten, was auch eine Erhöhung des fixen Prozesskostensatzes $PKS_{B,fix}$ des Bearbeitungsprozesses zur Folge hat. Dies kann sich trotz höherer Fixkostendegression in höheren Bearbeitungskosten je Leistungseinheit auswirken.

Die gesamten Bearbeitungskosten $KBEA_{LE}(t)$ setzen sich aus den variablen und den fixen Bearbeitungskosten wie folgt zusammen:

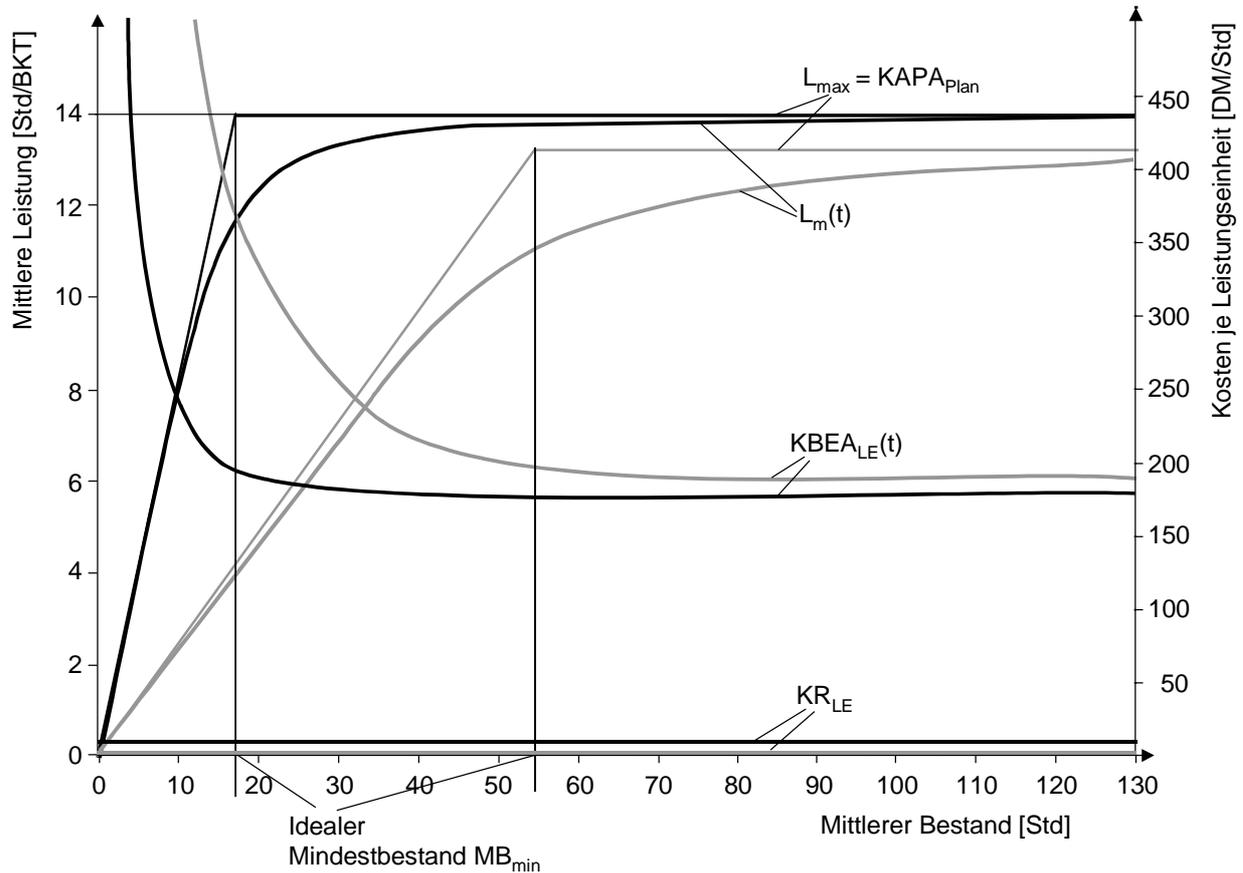
$$KBEA_{LE}(t) = KBEA_{var,LE} + KBEA_{fix,LE}(t) \quad \text{Gleichung 4.36}$$

mit:

$KBEA_{fix,LE}(t)$	= fixe Bearbeitungskosten je Leistungseinheit [DM/Std]
$KBEA_{var,LE}$	= variable Bearbeitungskosten je Leistungseinheit [DM/Std]

$$KBEA_{LE}(t) = \text{Bearbeitungskosten je Leistungseinheit [DM/Std]}$$

In **Bild 4.20** sind die Verläufe der Bearbeitungs- und Rüstkosten für zwei verschiedene Produktionskennlinien dargestellt. Dabei wurde vorausgesetzt, dass die Plankapazität ausreichend dimensioniert ist, dass keine Opportunitätskosten bei den Rüstkosten berücksichtigt werden müssen.



		Fall 1	Fall 2
MB_{min}	[Std]	17,0	54,9
L_{max}	[Std/BKT]	13,9	13,2
$KAPA_{Plan}$	[Std/BKT]	14,0	14,0
$KBEA_{LE}(t)$ bei L_{max}	[Std/BKT]	178,8	183,1
KR_{LE} bei L_{max}	[DM/Std]	9,2	1,8
LG_m	[Stk.]	25	153

MB_{min} : Mindestbestand
 L_{max} : maximal mögliche Leistung
 $L_m(t)$: mittlere Leistung
 $KAPA_{Plan}$: Plankapazität
 $KBEA_{LE}(t)$: Bearbeitungskosten je Leistungseinheit
 KR_{LE} : Rüstkosten je Leistungseinheit
 LG_m : mittlere Losgröße

Bild 4.20: Darstellung der Auswirkung von Losgrößenveränderungen auf die logistische Leistungskennlinie sowie Rüst- und Bearbeitungskosten (Beispiel)

Die Produktionskennlinien 1 und 2 unterscheiden sich durch die jeweils gewählten Losgrößen. Der Erstellung von Leistungskennlinie 2 liegen signifikant erhöhte Losgrößen zu Grunde. Aus logistischer Sicht resultiert daraus ein deutlich erhöhter idealer Mindestbestand MB_{min} und damit ein Abknickbereich der Leistungskennlinie bei höheren Beständen. Um Auslastungsverluste zu vermeiden, ist der logistische Betriebspunkt bei Kennlinie 2 bei entsprechend höheren Beständen zu wählen als bei Fall 1. Aus Kostensicht führt die Losgrößenerhöhung zwar zu verringerten

Rüstkosten je Leistungseinheit, aber gleichzeitig auch zu einer geringeren Fixkostendegression bei den Bearbeitungskosten. Ziel von produktionslogistischen Entscheidungen ist es in diesem Fall, durch die geeignete Festlegung des Dispositionsparameters Losgröße und einer entsprechenden logistischen Positionierung auf der entstehenden Leistungs- und Kostenkennlinie die für die gegebene Situation bestmögliche Entscheidung zu treffen. Die grundsätzlichen Gestaltungshinweise für die Produktionslogistik, die sich aus der Kenntnis des Kosten- und Leistungskennlinie ergeben, werden weiterführend in Kapitel 6 diskutiert.

Nachfolgend sind die Bestandskosten des Prozesselements *Produzieren* in eine kennlinienkonforme Darstellung zu überführen. Wie in Abschnitt 4.3.4.2 bereits vorgestellt, setzen sich die Bestandskosten aus dem Wert der im Umlaufbestand gebundenen Aufträge und der Dauer der Kapitalbindung zusammen. Der Bestandwert wird aus den Materialkosten der Aufträge sowie ihrer Wertschöpfung bis und in dem betrachteten Arbeitssystem berechnet. Die Berechnung der Wertschöpfung und der relevanten Kostenarten wurden in Abschnitt 4.3.4.2 bereits diskutiert. Die Kapitalbindungsdauer ist hingegen von der mittleren Durchlaufzeit des Prozesselements abhängig. Diese kann mit Hilfe der Trichterformel aus den Verläufen von Leistung und Bestand für jeden Betriebspunkt der Produktionskennlinie abgeleitet werden. Die Bestandskosten je Bestandsstunde ergeben sich nach folgender Gleichung:

$$KBES_{BS}(t) = \frac{p \cdot W_m \cdot ZDL_m(t)}{100 \cdot P} \quad \text{Gleichung 4.37}$$

mit:	p	=	kalkulatorischer Zinssatz [%]
	W_m	=	mittlerer Wert der Bauteile je Bestandsstunde [DM/Std]
	$KBES_{BS}(t)$	=	Bestandskosten des Umlaufbestands je Bestandsstunde [DM/Std]
	$ZDL_m(t)$	=	mittlere Durchlaufzeit [BKT]
	P	=	Jahresbetriebszeit [BKT]

Der mittlere Wert der Aufträge je Bestandsstunde W_m bleibt, im Gegensatz zum Gesamtwert der Bauteile, vom gewählten logistischen Betriebspunkt unabhängig. Er ist vom gegebenen Auftragspektrum abhängig und wird wie folgt berechnet.

$$W_m = \frac{\sum_{i=1}^n K_{\text{Material}} + \sum_{i=1}^n WS_{\text{kum}}}{\sum_{i=1}^n ZAU_i} \quad \text{Gleichung 4.38}$$

mit:	K_{Material}	=	Materialkosten [DM]
	W_m	=	mittlerer Wert der Bauteile je Bestandsstunde [DM/Std]
	WS_{kum}	=	kumulierte Wertschöpfung der Bauteile im Bestand [DM]
	ZAU_i	=	Auftragszeit je Auftrag [Std]
	n	=	Anzahl Aufträge im Betrachtungszeitraum

Der Gesamtwert aller Aufträge im Untersuchungszeitraum, bezogen auf die Summe ihrer Auftragszeiten, ergibt den mittleren Wert je Bestandsstunde dieser Aufträge. Wird dieser mittlere Wert je Bestandsstunde mit dem mittleren Bestand bei einem gewählten Betriebspunkt multipliziert, ergibt dies den Gesamtwert der Aufträge beim gewählten Betriebspunkt.

Voraussetzung für die Gültigkeit der Mittelwertbildung ist allerdings, dass sich die Auftragsstruktur während des Betrachtungszeitraums nicht wesentlich verändert, da die Höhe des mittleren Werts wesentlich durch die vorgegeben Auftragsstruktur bestimmt wird. Die Kennlinientheorie geht von einer Konstanz des Auftragspektrums und damit auch der Wertanteile der Aufträge während des Betrachtungszeitraums aus. Daher ist diese Randbedingung erfüllt. Die Bestimmung der mittleren Auftragsgröße kann bei der Erstellung der Kennlinie und der Bestimmung des idealen Mindestbestandes aus den Ursprungsdaten, die auch Eingangsdaten zur Berechnung der Produktionskennlinie sind, abgeleitet werden und ist bei einer Veränderung dieser Eingangsdaten neu durchzuführen.

In **Bild 4.21** ist der Verlauf der Bestandskosten je Bestandsstunde exemplarisch für ein Prozesselement dargestellt. Ab dem Mindestbestand MB_{\min} steigen sie proportional mit der Bestandshöhe an. Das Minimum der Bestandskosten ist durch den Mindestbestand bzw. die Minstdurchlaufzeit festgelegt.

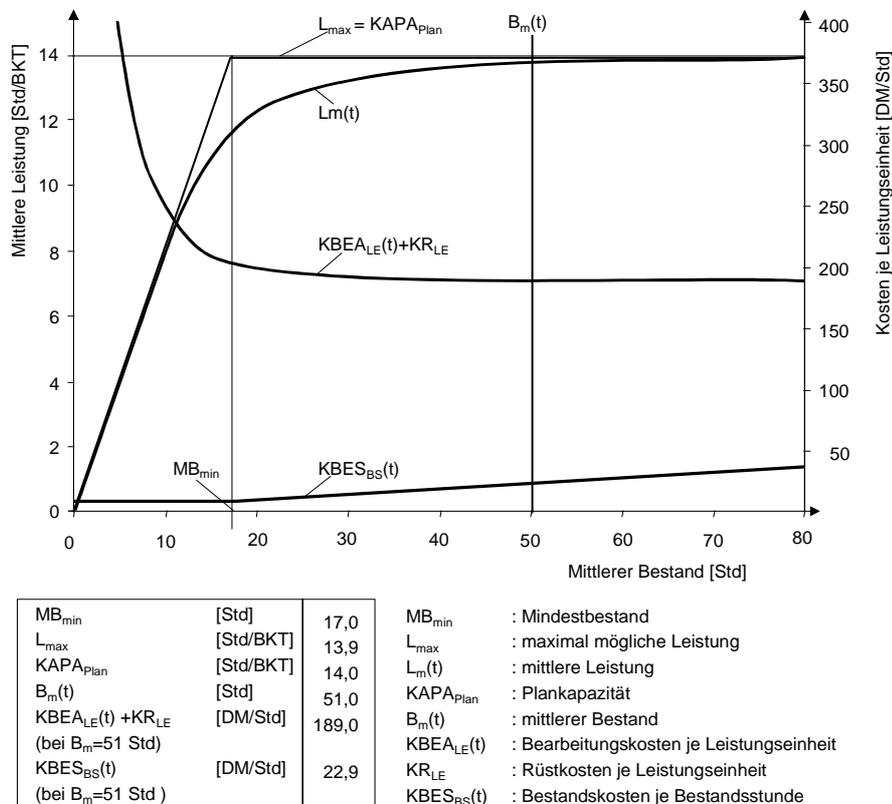


Bild 4.21: Verlauf der Bestandskosten je Bestandsstunde des Prozesselements *Produzieren* (Beispiel)

Zusätzlich zu den mit den wertschöpfenden Tätigkeiten verbundenen Kosten sind auch die Teilprozesse der PPS, die in Abschnitt 4.3.4.2 beschrieben wurden, in die Produktionskennlinie zu integrieren. Zur besseren Vergleichbarkeit der Prozesskosten der PPS mit den zuvor vorgestellten Prozesskosten, werden sie ebenfalls auf eine Stunde als Bezugsseinheit bezogen.

Für jeden Teilprozess der PPS ist dabei festzulegen, ob und in welcher Weise eine Abhängigkeit zwischen der Anzahl an Prozessdurchführungen und den logistischen Produktionskennlinien besteht. Grundsätzlich können die folgenden drei Fälle auftreten:

1. Es besteht keinerlei Abhängigkeit zwischen der Anzahl an Prozessdurchführungen und den logistischen Produktionskennlinien,
2. es besteht eine Abhängigkeit der Anzahl an Prozessdurchführungen von den Parametern, die auch die Struktur der Produktionskennlinien bestimmen, oder
3. es besteht darüber hinaus eine direkte Abhängigkeit der Anzahl an Prozessdurchführungen vom gewählten logistischen Betriebspunkt.

Werden nachfolgend die Teilprozesse der PPS diesen drei Kategorien zugeordnet, so ergibt sich folgende Feststellung. Die Anzahl der Prozessdurchführungen der Teilprozesse Produktionsprogramm planen und Losgrößen planen ist nicht von der Wahl logistischer Parameter oder des logistischen Betriebspunktes abhängig. Daher werden sie der ersten Kategorie zugeordnet und die durch sie verursachten Kosten als Gemeinkosten den anderen Teilprozessen zugeordnet (siehe auch Abschnitt 4.3.4.2).

Die Teilprozesse Produktionsreihenfolge planen, Auftragspapiere erstellen, Aufträge in die Produktion freigeben und Fertige Aufträge zurückmelden sind hingegen von der Anzahl Fertigungsaufträge, mit denen die Prozesskette beaufschlagt wird, abhängig. Da, wie bereits bei der Diskussion der Rüstkosten ausgeführt, die Anzahl an Fertigungsaufträgen, die abgearbeitet werden müssen, vom vorliegenden Produktionsprogramm und dessen Umsetzung in Fertigungsaufträge abhängt, werden diese Teilprozesse in die zweite Kategorie eingeordnet. Die Höhe der Prozesskosten dieser Teilprozesse ist, zumindest als realistische Näherung im Rahmen der Gestaltung und Planung von Prozessketten, von der gewählten Losgröße abhängig. Die gewählte Losgröße ist wiederum ein Parameter, der Einfluss auf die Struktur der Produktionskennlinien hat.

Aufgrund der vorgestellten Zusammenhänge sind die Verläufe der Prozesskosten dieser Teilprozesse unabhängig vom Bestand oder vom Leistungsverlauf der Produktionskennlinien, so dass sie als konstante Kostengröße eingetragen werden. Ihre Höhe variiert nur bei einer Veränderung der Losgröße und damit der Anzahl an Aufträgen. Die Prozesskosten je Stunde lassen sich für die genannten Teilprozesse gemäß nachfolgender Gleichung bestimmen. Dabei sind die jeweiligen Prozesskostensätze des betrachteten Teilprozesses in die Gleichung einzusetzen. Zur Berechnung der Prozesskosten je Stunde müssen zusätzlich die Planbetriebsstunden in der Planungsperiode bekannt sein, so dass die Kosten je Stunde berechnet werden können.

$$KP_{TP,Std} = \frac{PKS_{TP} \cdot AA_{Planperiode}}{T_{Planperiode}} \quad \text{Gleichung 4.39}$$

mit:	$AA_{Planperiode}$	=	Anzahl Aufträge in der Planperiode [-]
	$KP_{TP,Std}$	=	Prozesskosten je Stunde des betrachteten Teilprozesses der PPS [DM/Std]
	PKS_{TP}	=	Prozesskostensatz des betrachteten Teilprozesses [DM/Auftrag]
	$T_{Planperiode}$	=	geplante Betriebsstunden in der Planperiode [Std]

Entstehen diese Kosten der Teilprozesse nicht in den direkten Bereichen, sondern in einer zentralen Logistik-Kostenstelle, so sind die hier ermittelten Prozesskosten auf die einzelnen Produktionsprozesselemente zu verteilen. Da keine Abhängigkeit der Prozesskosten vom Leistungsverlauf der einzelnen Prozesselemente festgestellt wurde, können sie gleichmäßig auf die einzelnen Produktionsprozesselemente verteilt werden. Dieses Vorgehen entspricht zwar im Grunde der zuvor kritisierten Verteilung von Gemeinkosten. Da aber keine unterschiedliche Inanspruchnahme der Leistung dieser Teilprozesse durch die Produktionsprozesse vorliegt, ist diese gleichmäßige Kostenverteilung zulässig.

Die Kosten der Teilprozesse Maschinenbelegung planen und Fertigungsfortschritt kontrollieren und verfolgen sind darüber hinaus auch von der Wahl des logistischen Betriebspunktes abhängig. Neben der Anzahl an Aufträgen, die aufgrund des Produktionsprogramms und der Losgröße abzuarbeiten sind, wird der Aufwand zur Durchführung dieser Prozesse durch die Anzahl an Arbeitsvorgängen bzw. Fertigungsaufträgen bestimmt, die im Umlaufbestand eines einzelnen Produktionsprozesselements (i.d.R. eines Arbeitsplatzes) vorliegen. Je mehr Arbeitsvorgänge im Umlaufbestand an einem Prozesselement vorliegen, desto größer ist der Aufwand zur Erstellung eines geeigneten Maschinenbelegungsplans, da eine größere Menge alternativer Belegungen geplant werden müssen [FREY97, FISC99]. Auch der Aufwand zur Auftragsverfolgung und Überwachung des Fertigungsfortschritts steigt mit der Zahl der Aufträge, die in der Fertigung vorliegen. Diese Annahme ist zur Beurteilung der prinzipiellen Kostenwirkung bei einer Variation der logistischen Positionierung oder strukturellen Veränderung einer Prozesskette hinreichend genau. Sind für spezifische Anwendungsfälle der Gesamtmethodik detailliertere Kostenwirkungen der PPS darzustellen, ist die Einführung weiterer Teilprozesse (z. B. Umplanung durchführen, Eilauftrag verfolgen, etc.) und die Bestimmung der relevanten Kostentreiber notwendig.

Die Kosten dieser Teilprozesse variieren mit der Anzahl an Fertigungsaufträgen, die im Umlaufbestand des einzelnen Prozesselements vorliegen, wie bereits in Abschnitt 4.3.4.2 dargestellt. Die Höhe des Umlaufbestands ist wiederum gleichbedeutend mit der Wahl des logistischen Betriebspunktes. Daher werden diese der dritten Kategorie zugeordnet.

Zur Bestimmung der Prozesskosten dieser Teilprozesse ist ein Zusammenhang zwischen der Anzahl Aufträge im Umlaufbestand und dem Verlauf der Produktionskennlinien herzustellen. Die Anzahl der Aufträge im Umlaufbestand eines Prozesselements können auf Basis der nachfolgenden Gleichung durch die Umrechnung des mittleren Bestands $B_m(t)$ in einen mittleren Bestand, gemessen in Anzahl Aufträge, bestimmt werden [NYWI99].

$$BA_m(t) = \left(\frac{B_m(t)}{ZAU_m} - \frac{A_m(t) \cdot ZAU_v^2}{100} \right) \quad \text{Gleichung 4.40}$$

mit:

- $BA_m(t)$ = mittlerer Bestand (in Anzahl Aufträge) [-]
- $B_m(t)$ = mittlerer Bestand (in Vorgabestunden) [Std]
- $A_m(t)$ = mittlere bestandsabhängige Auslastung [%]
- ZAU_m = mittlere Auftragszeit [Std]
- ZAU_v = Variationskoeffizient der Auftragszeit [-]

Dies gilt allerdings nur unter der Voraussetzung, dass die Auftragsstruktur im Betrachtungszeitraum konstant bleibt, da andernfalls der Zusammenhang zwischen Anzahl Aufträge und der Höhe des mittleren Bestands verändert wird. Wird die Auftragsstruktur verändert, so ist die Anzahl der Aufträge ebenfalls erneut zu bestimmen.

Zur Bestimmung des Einflusses des gewählten Betriebspunktes auf die Prozesskosten je Stunde wird von den folgenden Zusammenhängen ausgegangen. Bei einer Wahl des logistischen Betriebspunktes, der dem idealen Mindestbestand entspricht, ist kein Mehraufwand zur Belegungsplanung zu erwarten, da genau die Zahl an Arbeitsvorgängen im Bestand vorliegt, die einer mittleren Auftragsgröße entsprechen. Wird der Betriebspunkt zu höheren Beständen verschoben, erhöht sich auch der Aufwand zur Maschinenbelegung, da die Anzahl an Arbeitsvorgängen aufgrund der erhöhten Zahl an Aufträgen im Umlaufbestand ansteigt. Aus diesem Grund ist zur Bestimmung der Prozesskosten je Stunde ein Korrekturfaktor anzugeben, der den Mehraufwand bei einer Abweichung vom idealen Mindestbestand berücksichtigt. Dies erfolgt durch den Quotienten aus $BA_m(t)$ und $BA_m(MB_{\min})$.

Die Prozesskosten je Stunde entstehen durch Multiplikation des Prozesskostensatzes mit dem Korrekturfaktor und der Anzahl an Arbeitsvorgängen in der Planungsperiode und der Division durch die Gesamtstundenzahl in der Planungsperiode. Die Anzahl an Arbeitsvorgängen kann direkt aus den Planungsdaten des geplanten Produktionsprogramms und den Arbeitsplänen ermittelt werden.

$$KP_{MB,Std} = PKS_{MB} \cdot \frac{BA_m(t)}{BA_m(MB_{\min})} \cdot \frac{AAVG_{Planperiode}}{T_{Planperiode}} \quad \text{Gleichung 4.41}$$

mit:

- $AAVG_{Planperiode}$ = Anzahl Arbeitsvorgänge in der Planperiode [-]
- $BA_m(t)$ = mittlerer Bestand (in Anzahl Aufträge) [-]
- $BA_m(MB_{\min})$ = mittlerer Bestand (in Anzahl Aufträge) beim Mindestbestand [Std]
- $KP_{MB,Std}$ = Prozesskosten je Stunde des Teilprozesses Maschinenbelegung planen [DM/Std]
- PKS_{MB} = Prozesskostensatzes des Teilprozesses Maschinenbelegung planen [DM/Vorgang]
- $T_{Planperiode}$ = geplante Betriebsstunden in der Planperiode [Std]

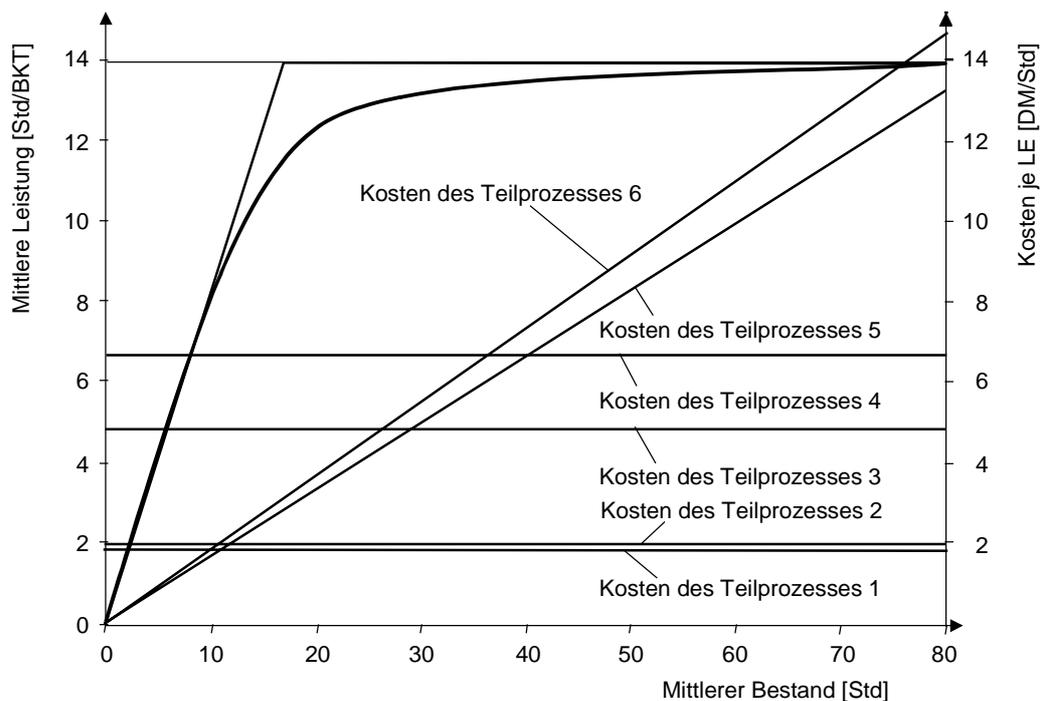
In analoger Weise sind die Prozesskosten je Leistungseinheit des Teilprozesses Fertigungsfortschritt kontrollieren und verfolgen zu bestimmen. Da als Kostentreiber die Anzahl an Aufträgen

festgelegt wurden, ist der Prozesskostensatz mit der Anzahl an Aufträgen in der Planungsperiode zu multiplizieren.

$$KP_{FF,Std} = PKS_{FF} \cdot \frac{BA_m(t)}{BA_m(MB_{min})} \cdot \frac{AA_{Planperiode}}{T_{Planperiode}} \quad \text{Gleichung 4.42}$$

- mit:
- $AA_{Planperiode}$ = Anzahl Aufträge in der Planperiode [-]
 - $BA_m(t)$ = mittlerer Bestand (in Anzahl Aufträge) [-]
 - $BA_m(MB_{min})$ = mittlerer Bestand (in Anzahl Aufträge) beim Mindestbestand [Std]
 - $KP_{FF,Std}$ = Prozesskosten je Stunde des Teilprozesses Fertigungsfortschritt kontrollieren [DM/Std]
 - PKS_{FF} = Prozesskostensatzes des Teilprozesses Fertigungsfortschritt kontrollieren [DM/Vorgang]
 - $T_{Planperiode}$ = geplante Betriebsstunden in der Planperiode [Std]

Auf Basis der aufgezeigten funktionalen Beziehungen der Prozesskosten der PPS und der logistischen Produktionskennlinien des Prozesselements *Produzieren* können die Prozesskosten dieser Teilprozesse in Abhängigkeit der logistischen Kenngrößen dargestellt werden (**Bild 4.22**).



Abkürzung	Teilprozessbezeichnung
Teilprozess 1:	Aufträge in die Produktion freigeben
Teilprozess 2:	Fertige Aufträge zurückmelden
Teilprozess 3:	Auftragspapiere erstellen
Teilprozess 4:	Produktionsreihenfolge planen
Teilprozess 5:	Maschinenbelegung planen
Teilprozess 6:	Fertigungsfortschritt kontrollieren und verfolgen

Bild 4.22: Verläufe der Prozesskosten der PPS in Abhängigkeit der Produktionskennlinien (Beispiel)

Aus der Darstellung ist erkennbar, dass nur die Kosten der Teilprozesse 5 und 6 vom Umlaufbestand im Prozesselement Bearbeiten abhängig sind. Sie steigen mit zunehmendem Bestand an, da der Aufwand zur Belegungsplanung und Überwachung des Fertigungsfortschritts mit der Anzahl Arbeitsvorgänge und Fertigungsaufträge im Umlaufbestand zunimmt. Die anderen Prozesskosten variieren nur bei einer Veränderung der Kennlinienstruktur. Daher verlaufen diese Kosten unabhängig vom Bestand.

Bei der Übertragung der Kosten des Transportprozesses in eine kennlinienkonforme Darstellung sind zwei verschiedene Ansätze möglich, die vom Auswertungsziel und der Bedeutung der Transportkosten abhängen. Ist der Transportprozess nicht explizit Gegenstand einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung, reicht die Bildung von Prozesskostensätzen und ihre Integration als weiterer Kostenblock in die Produktionskennlinien des Prozesselements *Produzieren* aus. Sollen aber die jeweiligen Transportprozesse im Hinblick auf Produktivität und Effizienz weiter untersucht werden, ist eine Detaillierung der Transportkostenarten in fixe und variable Anteile nötig, wie in Abschnitt 4.3.4.2 ausgeführt. Sie werden dann in die Transportkennlinien des Prozesselements *Transportieren* dargestellt. Die Berechnung der Prozesskosten und der Bestandskosten in Abhängigkeit der Transportkennlinien erfolgt analog der Berechnungsansätze für Bearbeitungs-, Rüst- und Bestandskosten des Prozesselements *Produzieren*. Die Handhabungsvorgänge entsprechen dabei den Rüstvorgängen, die Transportvorgänge den Bearbeitungsprozessen. Aufgrund dieser starken Ähnlichkeit der Berechnung wird auf eine gesonderte Darstellung verzichtet. In **Bild 4.23** sind daher zusammenfassend die Kostenverläufe der Prozesskosten und der Bestandskosten in Abhängigkeit der Transportkennlinie dargestellt.

Dabei ist zu erkennen, dass die Kosten für Handhabung (Be- und Entladen) sowie die Bestandskosten des Transportbestands signifikant geringer als die Kosten des Transports sind. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass die Be- und Entladevorgänge i.d.R. nur einen geringen Anteil der Transportkapazität bestimmen. Zum anderen wirkt hier, dass die Kapitalbindung durch Transportbestände aufgrund der geringen Bestandshöhe nur marginal zu den Gesamtkosten beiträgt.

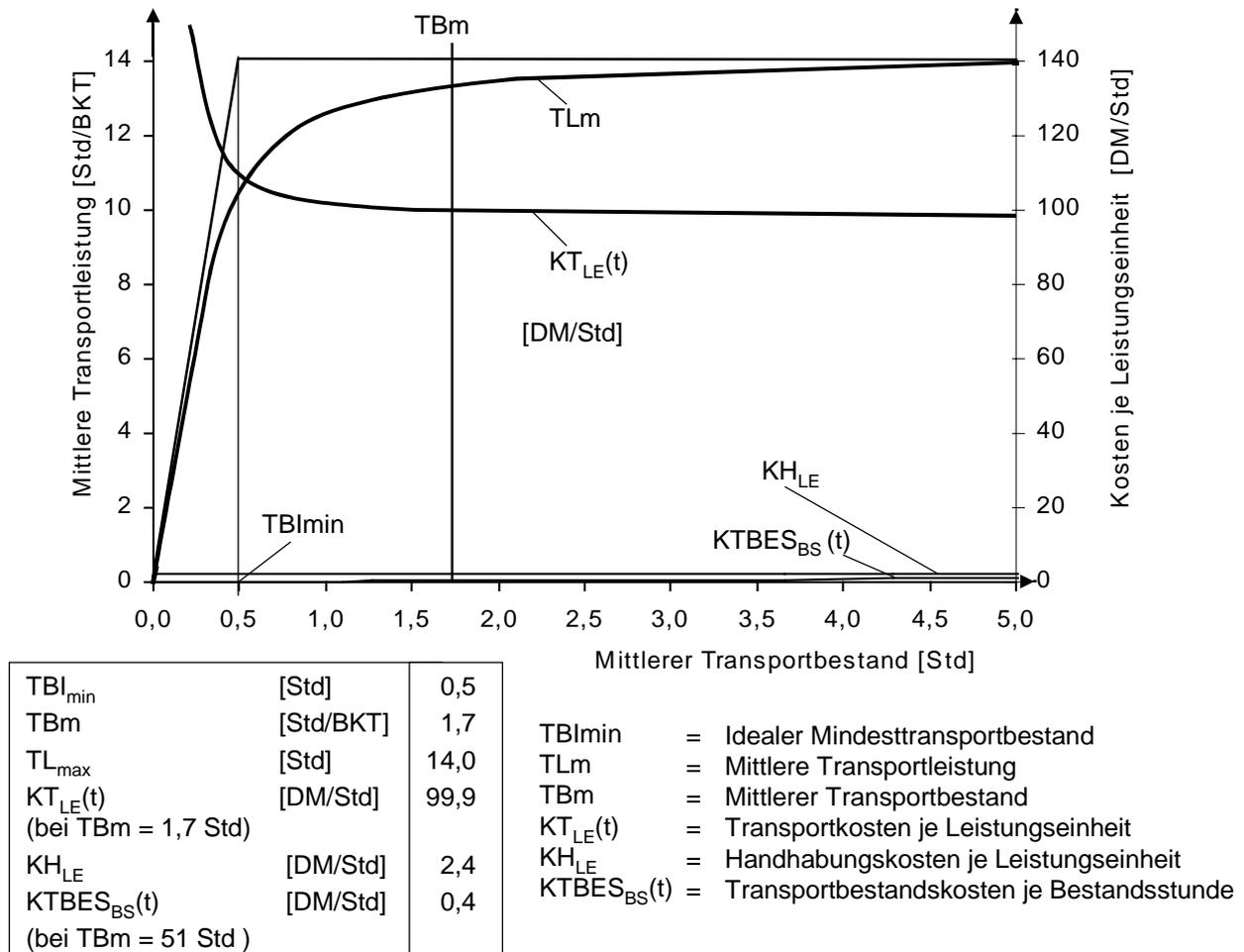


Bild 4.23: Darstellung der Kostenverläufe am Prozesselement *Transportieren* (Beispiel)

Als weiteres Prozesselement ist die Lagerung mit Kosten zu bewerten. Hierzu findet die in Abschnitt 2.4.2.3 beschriebene Lagerkennlinie Anwendung, die die Kenngrößen Lagerbestand, Lagerverweilzeit und Lieferverzug und deren Zusammenwirken beschreibt. Diese Zusammenhänge beziehen sich jeweils auf ein gelagertes Bauteil oder eine Bauteilgruppe. Sollen mehrere Bauteile betrachtet werden, so sind für alle diese Bauteile jeweils individuelle Lagerkennlinien zu erstellen.

Die Prozesskosten für Einlagerungs- und Kommissionier- bzw. Bereitstellungsvorgänge sind nicht vom gewählten Lagerbestand des Bauteils abhängig, sondern von der Anzahl an notwendigen Lagerungsvorgängen in der betrachteten Planungsperiode. Diese Größe wird wiederum, ähnlich den Rüstvorgängen des Prozesselements *Produzieren*, durch die Anzahl an Aufträgen dieses Bauteils, das eingelagert werden muss, und somit auch durch die gewählten Losgrößen bestimmt.

Entspricht darüber hinaus die Menge einer Einlagerungseinheit nicht der Menge eines Fertigungsauftrags, ist der Mehraufwand aufgrund häufiger durchgeführter Einlagerungsvorgänge durch einen Quotienten aus Menge des Fertigungsauftrags (in Stück) und der Einlagerungseinheit

(ebenfalls in Stück) zu berücksichtigen. Werden die Prozesskosten des Einlagerungsprozesses auf ein Stück bezogen, so ergibt sich der folgende Zusammenhang:

$$KP_{EL,Stück} = PKS_{EL} \cdot \frac{FLG_m}{V_{Behälter}} \cdot \frac{AEL_{Planperiode}}{B_{Planperiode}} \quad \text{Gleichung 4.43}$$

mit:

$AEL_{Planperiode}$	=	Anzahl Einlagerungen in der Planperiode [-]
FLG_m	=	mittlere Losgröße eines Fertigungsauftrags [Stk.]
$KP_{EL, Stück}$	=	Prozesskosten je Stück des Teilprozesses Einlagern [DM/Stk.]
PKS_E	=	Prozesskostensatz einer Einlagerung [DM/Vorgang]
$V_{Behälter}$	=	Behältervolumen [Stk.]
$B_{Planperiode}$	=	Bedarf des betrachteten Lagerartikel in der Planperiode [Stk.]

Die Angabe der Prozesskosten für den Einlagerungsprozess erfolgt je Stück, um damit eine Vergleichbarkeit mit dem Lagerbestand und den damit verbundenen Bestandskosten zu ermöglichen, die ebenfalls in Stück angegeben werden.

Die Kosten des Teilprozesses Kommissionieren und Bereitstellen werden auf analoge Weise zu Gleichung 4.43 berechnet. Die Kosten dieses Prozesses wird durch die Anzahl an Kommissionier- und Bereitstellungsvorgängen bestimmt, die nicht von der Fertigungslosgröße, sondern von der Bedarfslosgröße abhängig sind. Entsprechend ist auch der Quotient zur Berücksichtigung des Mehraufwands zu verändern.

$$KP_{K,Stück} = PKS_K \cdot \frac{BLG_m}{V_{Behälter}} \cdot \frac{AK_{Planperiode}}{Q_{Planperiode}} \quad \text{Gleichung 4.44}$$

mit:

$AK_{Planperiode}$	=	Anzahl Kommissionier-/Bereitstellungsvorgänge in der Planperiode [-]
$KP_{K, Stück}$	=	Prozesskosten je Stück des Teilprozesses Kommissionieren/Bereitstellen [DM/Stk.]
$BL_m(t)$	=	mittlerer Lagerbestand [ME]
PKS_K	=	Prozesskostensatz des Teilprozesses Kommissionieren/Bereitstellen [DM/Vorgang]
BLG_m	=	mittlere Bedarfslosgröße [Stk.]
$V_{Behälter}$	=	Behältervolumen [Stk.]
$Q_{Planperiode}$	=	Bedarf des betrachteten Lagerartikel in der Planperiode [Stk.]

Die Bestandskosten je Stück sind vom mittleren Lagerbestand $BL_m(t)$ und damit auch aufgrund der Trichterformel von der mittleren Lagerverweilzeit ZL_m abhängig. Sie sind auf einfache Weise aus dem Wert des Bauteils zum Zeitpunkt der Lagerung sowie der Lagerdauer wie folgt zu berechnen:

$$KBES_{Stück}(t) = \frac{p \cdot W \cdot ZL_m(t)}{100 \cdot P} \quad \text{Gleichung 4.45}$$

mit:

$KBES_{Stück}(t)$	=	Bestandskosten eines Artikels je Stück [DM/Stk.]
-------------------	---	--

p	=	kalkulatorischer Zinssatz [%]
P	=	Jahresbetriebszeit [BKT]
W	=	Wert des Bauteils [DM]
$ZL_m(t)$	=	mittlere Lagerverweilzeit [BKT]

Die mittlere Lagerverweilzeit kann aus der mittleren Lagerabgangsrate (Bedarfsrate) und dem mittleren Lagerbestand ermittelt werden [GLÄS94].

$$ZL_m(t) = \frac{BL_m(t)}{BR_m} \quad \text{Gleichung 4.46}$$

mit:	$BL_m(t)$	=	mittlerer Lagerbestand [ME]
	BR_m	=	mittlere Bedarfsrate [ME/BKT]
	$ZL_m(t)$	=	mittlere Lagerverweilzeit [BKT]

Der Verlauf der Lagerkosten, bestehend aus Prozess- und Lagerbestandskosten, ist exemplarisch in **Bild 4.24** dargestellt. Es ist erkennbar, dass die Kosten je Stück mit ansteigendem Lagerbestand (und damit Lagerverweilzeit) aufgrund der längeren Kapitalbindungsdauer ansteigen. Die Prozesskosten verlaufen hingegen unabhängig vom Lagerbestand.

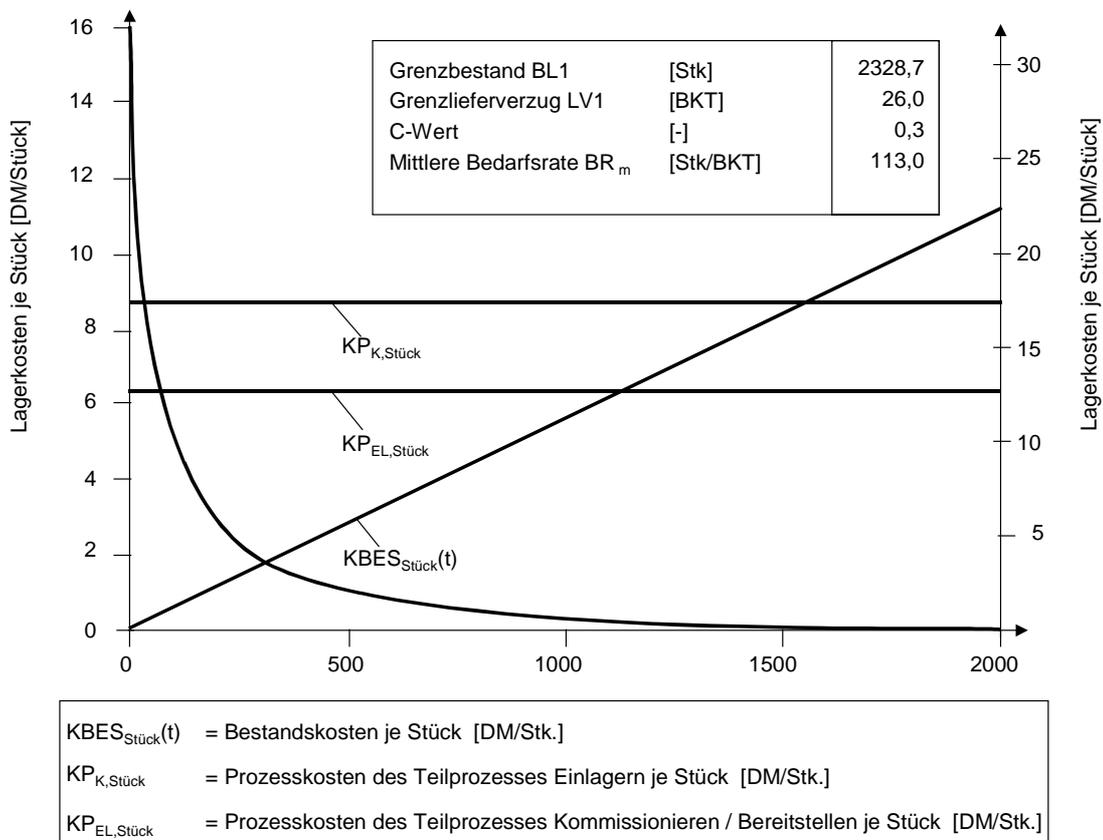


Bild 4.24: Verlauf der Lagerkosten am Prozesselement *Lagern* (Beispiel)

Die Integration der einzelnen Kostenarten in die produktionslogistischen Modelle der Prozesselemente *Produzieren*, *Transportieren* und *Lagern* ermöglicht die Berechnung der Prozesskosten dieser Elemente, die bei einer logistischen Veränderungsmaßnahme induziert werden. Gleichzeitig können die in Abschnitt 4.3.3.1 beschriebenen Kenngrößen der Logistikleistung für diese Prozesselemente herangezogen werden, um die jeweils erreichbare Leistung zu quantifizieren. Durch den Vergleich der induzierten Kosten mit den erreichbaren Logistikwerten wird eine Wirtschaftlichkeitsbewertung alternativer Gestaltungsmaßnahmen möglich.

Zur Beurteilung einer gesamten, aus diesen Prozesselementen aufgebauten Prozesskette, sind die Prozesskosten den Leistungskennwerten der gesamten Prozesskette gegenüberzustellen (**Bild 4.25**).

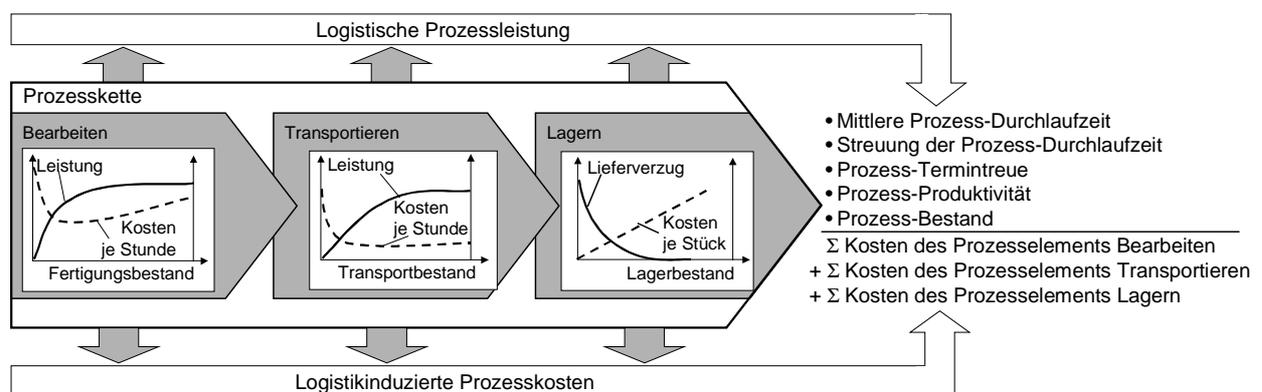


Bild 4.25: Aufbau des Logistik- und Kostenwirkmodells zur Bewertung von Prozessketten

Die gesamten Prozesskosten entstehen dabei durch eine Summation der Prozesskosten der einzelnen Elemente. Zur Berechnung der Logistikleistung der gesamten Prozesskette wurden die notwendigen Berechnungsvorschriften in Abschnitt 4.3.3.2 bereits erarbeitet. Damit lassen sich die wichtigsten Kenngrößen der Logistikleistung bestimmen. Dies sind die mittlere Prozess-Durchlaufzeit sowie die Streuung der Prozess-Durchlaufzeit, die Prozess-Termintreue und die Prozessproduktivität. Der Prozess-Bestand lässt sich durch eine Summation der mittleren Bestände bei den gewählten Betriebspunkten der einzelnen Prozesselemente berechnen.

Nachfolgend wird in Kapitel 5 die prototypische Realisierung der vorgestellten Methode in einem Anwendungssystem vorgestellt, bevor in Kapitel 6 eine Beispielanwendung der Methode an einem Praxisfall beschrieben wird.

5 Prototypische Realisierung in einem Anwendungssystem

5.1 Aufbau des Anwendungssystems

Das Konzept zur modellbasierten Beurteilung von Prozessketten wurde in einem Anwendungssystem prototypisch realisiert, um im Praxiseinsatz den Anwender bei der logistischen Gestaltung von Prozessketten effektiv unterstützen zu können. Dieses realisierte System *ProLog* – modellbasierte Beurteilung der Logistikleistung von Prozessketten – ermöglicht die Proberechnung verschiedener logistischer Planungsszenarien und einen Vergleich der dabei erzielten logistischen Prozessleistungen sowie eine Darstellung der Auswirkung auf die dabei beeinflussten Kostenkategorien und schafft somit die Vergleichs- und Bewertungsgrundlage bei der Ableitung von Entscheidungen. Im folgenden werden die Anforderungen an das Informationssystem spezifiziert sowie die darauf aufbauende Systemarchitektur und Datenstrukturen dargestellt.

Die Anforderungen an ein unterstützendes Informationssystem bei der Gestaltung und Planung von Prozessen lassen sich in funktionale und ergonomische Anforderungen unterteilen [SCHW95]. Als funktionale Anforderungen stehen die Möglichkeit zur Manipulation der Prozess- und Parameterkonfigurationen, eine schnelle und hinreichend genaue Berechnung der verschiedenen Planungsszenarien sowie die Möglichkeit zur Abspeicherung der verschiedenen Planungsszenarien im Vordergrund. Weitere funktionale Anforderungen sind bereits im Rahmen der Konzeption vorgestellt worden (siehe Abschnitt 4.2). Ergonomische Anforderungen seitens der Anwender sind zumeist leichte und komfortable Bedienbarkeit des Systems sowie Übersichtlichkeit der Ergebnisdarstellungen. Zusätzlich sind hier Kriterien wie leichte Wartbarkeit, Erweiterbarkeit und Lauffähigkeit in Standardsoftwareumgebungen sowie Aufbau auf zukunftsfähigen Hardwareplattformen zu nennen [RAA91]. Die letztgenannten Anforderungen sind dabei mehr aus Entwicklersicht interessant.

5.1.1 Systemarchitektur

Um eine leichte Wartbarkeit und Erweiterbarkeit zu gewährleisten, basiert das System *ProLog* auf marktgängigen Softwarekomponenten. Es wird das Betriebssystem MS-Windows inklusive aller Derivate wie Windows 95, 98, NT und 2000 unterstützt. Dieses ist weit verbreitet und wird und kann auf kostengünstigen und zukunftsfähigen Hardwarekomponenten betrieben werden. Die Bedienung des Systems orientiert sich an den in MS-Windows etablierten Standards, so dass diese einem erfahrenen Windows-Anwender leicht fallen dürfte. Eine langfristige Anwendbarkeit der Software ist gewährleistet, da die im wesentlichen auf der Tabellenkalkulation Excel 2000 basierende Entwicklung auch unter zukünftigen Microsoft-Betriebssystemen genutzt werden kann. Die für das Programm erforderlichen Makros und Routinen wurden mit der Programmiersprache Visual Basic für Applications 6.0 (VBA) erstellt. Die Systemoberfläche wurde aus ergonomischen Gesichtspunkten in Visual Basic 6.0 erstellt.

Die Architektur des Bewertungssystems *ProLog* ist in die drei Blöcke Informationsverwaltung, Informationsaufbereitung und Informationsdarstellung unterteilt (**Bild 5.1**). Diese Unterteilung ermöglicht es beispielsweise, dass Veränderungen in der Datenverwaltungsschicht keine notwendigen Veränderungen der Algorithmen zur Datenaufbereitung und Ergebnisdarstellung zur Folge haben müssen. Dies vereinfacht die spätere Wartungen und Erweiterungen des Systems. Die Anwenderinteraktion erfolgt über die Bedienoberfläche, über die auf die Anwendungen in MS Excel zugegriffen werden kann.

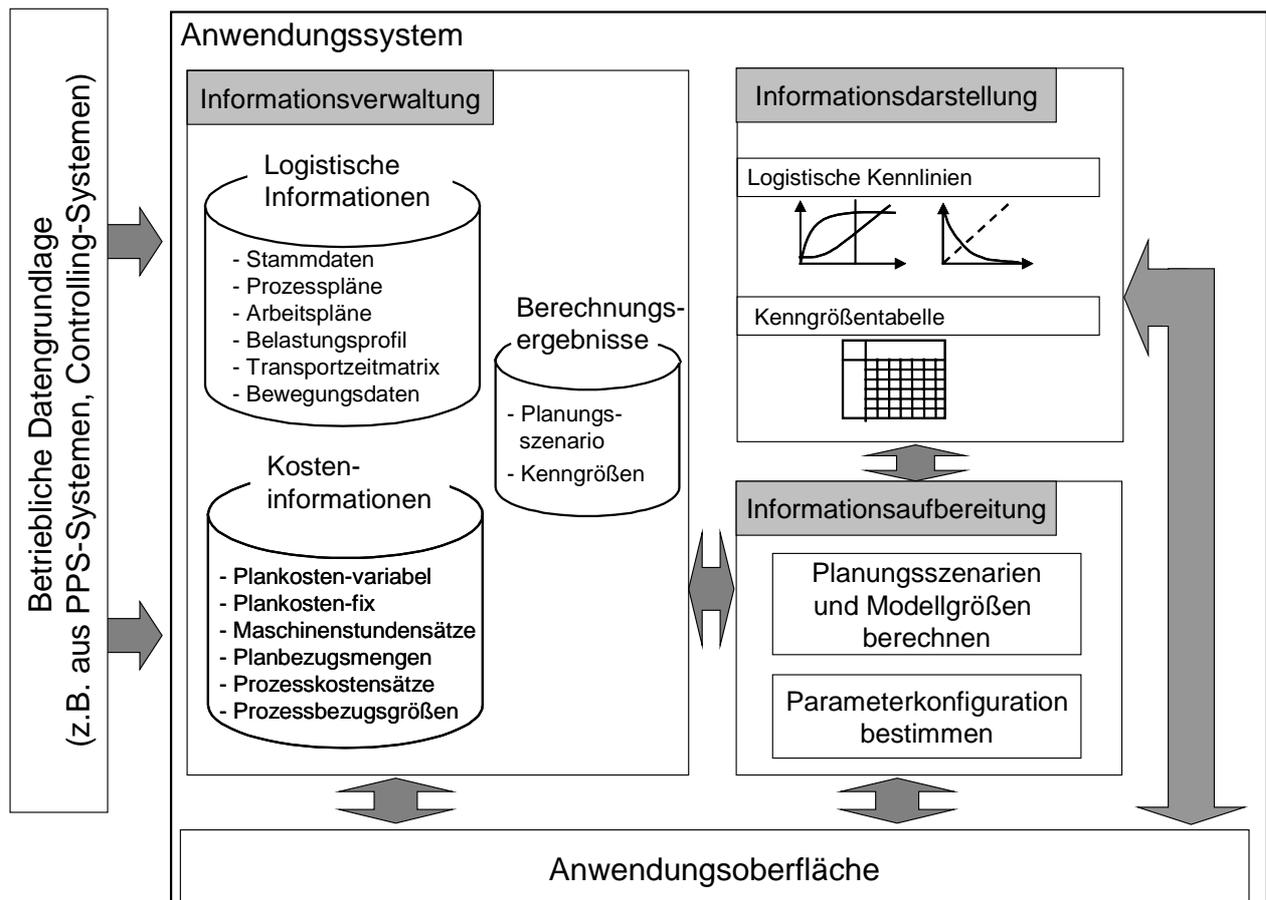


Bild 5.1: Architektur des Systems *ProLog*

Der erste Block beschreibt die Informationsverwaltung, in der die Datengrundlage, bestehend aus Logistikinformationen und Kosteninformationen, enthalten ist. Logistikinformationen sind alle Daten, die zur logistischen Beschreibung der Prozesse des Prozessmodells benötigt werden (siehe Abschnitt 4.3.2). Dies sind hauptsächlich Zeit-, Mengen und Kapazitätsgrößen. Die Kosteninformationen umfassen alle Daten, die zur monetären Beschreibung der Prozesse notwendig sind. Eine weitergehende Beschreibung der abgespeicherten Daten wird in Abschnitt 5.1.2 gegeben. Zusätzlich werden in dieser Schicht die Ergebnisse der erstellten Planungsszenarien abgespeichert, um auf diese Daten in späteren Vergleichen schnell zurückgreifen zu können, ohne dass neue Berechnungen durchgeführt werden müssen. Als Datenquelle der Eingangsdaten dienen die betrieblichen Informationssysteme, wie Systeme der Produktionsplanung- und Steuerung (PPS) oder Systeme der Kostenrechnung oder des Controlling. Zumeist sind die Daten dieser betriebli-

chen Systeme in einer gemeinsamen Unternehmensdatenbank abgelegt, da die genannten Teilsysteme als Module von umfangreichen Planungs- und Steuerungssystemen implementiert sind. Der Zugriff auf diese Daten ist aufgrund der offenen Architektur der verwendeten Office-Komponenten leicht über einen manuellen Datentransfer mit ASCII-Dateien oder über eine Automatisierung mittels einer ODBC-Schnittstelle (Object Database Connectivity) durchzuführen.

Der zweite Block beinhaltet die Funktionen zur Informationsaufbereitung. Dies umfasst die Module zur Auswahl der Parameterkonfigurationen der Planungsszenarien und zur Berechnung der einzelnen Szenarien. Zur Parameterveränderung können Stammdaten der Artikel (Losgrößen, Sicherheitsbestände, etc.) oder der Ressourcen (Kapazitäten), des Schichtmodells (Personalkapazität) sowie Planungsparameter (Produktionsprogramm, Plan-Bestände, Strukturparameter der Kennlinien, etc.) verändert werden. Die gewählte Parameterkonfiguration ist die Grundlage der nachfolgenden Durchführung von Planungsszenarien. Hierbei werden auf Basis der gewählten Parameter die Logistik- und Kostenwirkmodelle der einzelnen Prozesselemente berechnet.

Der dritte Block umfasst die Informationsdarstellung. Hier erfolgt die grafische Darstellung der Prozesselemente mit Hilfe der kennlinienbasierten Logistik- und Kostenwirkmodelle. Zur übersichtlichen Ergebnisdarstellung werden die wesentlichen Kenngrößen der Logistikleistung (Liefertreue, Durchlaufzeit, etc.) der Prozesskette sowie die durch die gewählte Prozessgestaltung induzierten Kosten je Einheit in Tabellen zusammengefasst.

5.1.2 Datenstruktur

Wesentlicher Bestandteil des Blocks Informationsverwaltung des Systems *ProLog* (**Bild 5.1**) sind die Informationen über die logistischen Abläufe einer betrachteten Prozesskette sowie die zugehörigen Kosteninformationen. Auf ihrer Basis soll der Anwender Planungsszenarien aufbauen und im Hinblick auf ihre Eignung, die gesetzten Leistungs- und Kostenziele erfüllen zu können, beurteilen. Die notwendigen Daten werden hierzu in Tabellen hinterlegt. Diese werden nachfolgend in ihrem Zusammenwirken beschrieben (**Bild 5.2**). Die einzelnen Tabellen sind hierbei zu logischen Datengruppen zusammengestellt, um die Übersichtlichkeit der Darstellung zu erhöhen. Jede Tabelle ist durch ihren Namen und die enthaltenen Datenfelder beschrieben. Die logischen Verknüpfungen zwischen den Tabellen wurden nicht grafisch visualisiert, da sie aufgrund der Vielfalt der Beziehungen die Übersichtlichkeit stark verringern würden. Die Datengruppen Artikeldaten, Ablaufdaten und Kapazitätsdaten beinhalten die logistischen Informationen. Die Datengruppe Kostendaten enthält die Kosteninformationen. In der Datengruppe Berechnungsergebnisse werden die Ergebnisse der einzelnen Planungsszenarien abgespeichert.

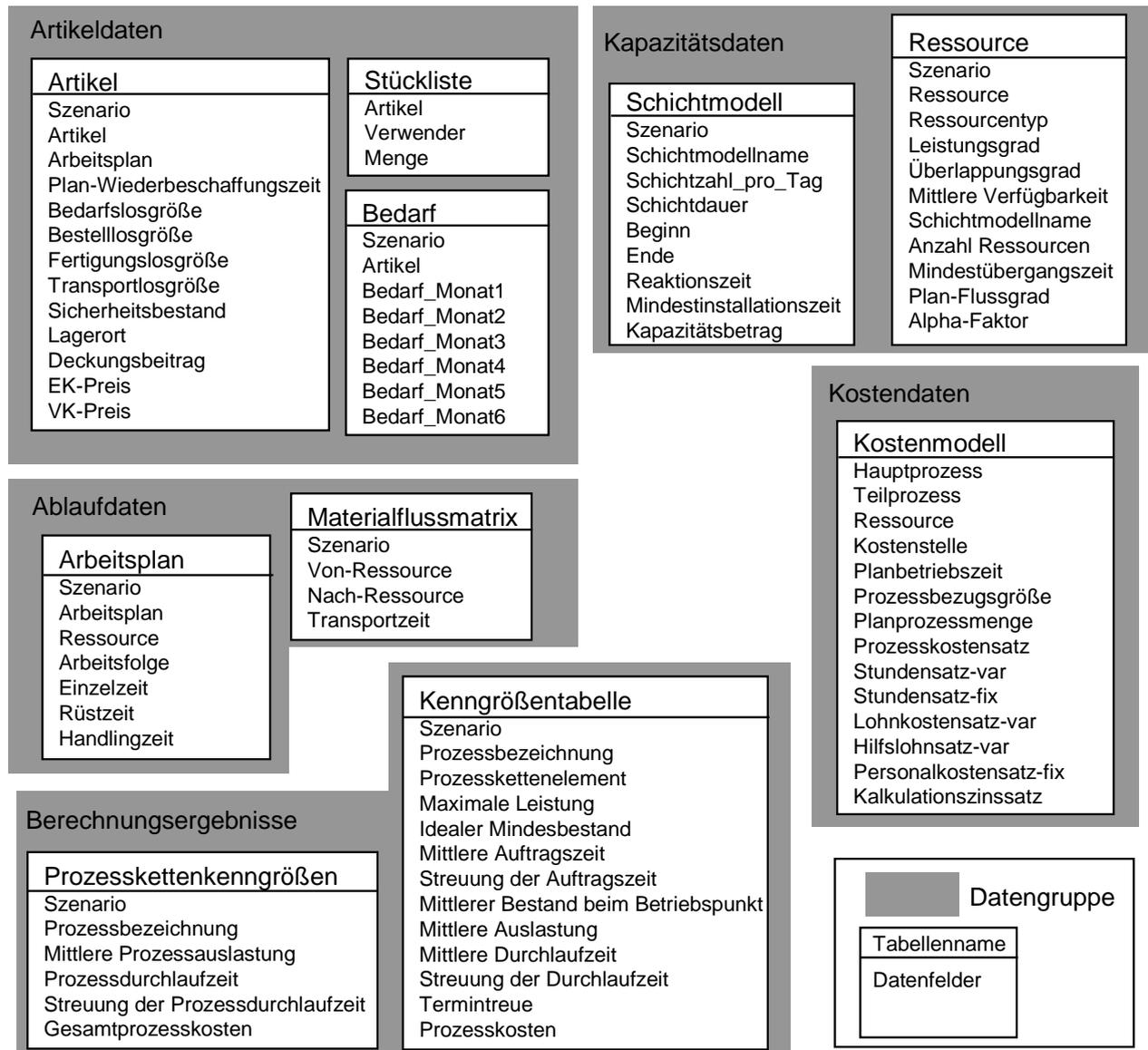


Bild 5.2: Übersicht über die Datenstruktur des Anwendungssystems

Die Artikeldaten umfassen nicht nur die Parameter eines jeden Artikels, sondern auch das Bedarfsprofil jedes Artikels und eine Stückliste. Die Stückliste dient der Verknüpfung der einzelnen Artikel mit ihren verbauenden Artikeln. So kann ein Artikel, der ein Rohteil darstellt, in einen Artikel eingehen, der nachfolgend eine unternehmensinterne Prozesskette durchläuft. Damit lassen sich die Grenzen einer Prozesskette genau definieren (z.B. eine Prozesskette mit Rohwarenlager und Fertigteillager oder nur mit Produktion und Transport). In der Datengruppe Ablaufdaten sind die Arbeitspläne und die Materialflussbeziehungen enthalten. Zusätzlich zu den Rüst- und Bearbeitungszeiten eines konventionellen Arbeitsplans sind hier zusätzlich Handhabungszeiten angegeben, um Be- und Entladevorgänge von Transportprozessen darstellen zu können. Die Kapazitätsdaten setzen sich aus den verwendeten Schichtmodellen und der Beschreibung der Ressourcen zusammen. Als Ressourcen kommen sowohl Bearbeitungs- als auch Transportressourcen in Betracht.

In der Gruppe Kostendaten ist das Kostenmodell abgelegt. Das Kostenmodell beinhaltet die Zuordnung von Teilprozessen zu Kostenstellen sowie die relevanten Kostensätze, die sich aus den Kostenarten der Kostenpläne erstellen lassen (siehe auch Abschnitt 4.3.4.1). Die Stundensätze, unterteilt in variable und fixe Stundensätze, beinhalten alle Kostenarten außer den Personalkosten, die gesondert geführt werden. Die Kostensätze werden aus den Plan-Kosten der Kostenstellen und den Planbetriebszeiten berechnet, die Prozesskostensätze aus den Plan-Kosten und den Planprozessmengen. Die Zwischen- und Endergebnisse der Planungsszenarien werden in der Datengruppe Berechnungsergebnisse abgespeichert. Hier werden die Kenngrößen der Logistikleistung sowie die dadurch induzierten Kosten abgelegt.

5.2 Oberflächengestaltung und Systemanwendung

Das Anwendungssystem *ProLog* wird durchgehend über eine MS Windows konforme Benutzeroberfläche bedient. Das Hauptmenü (**Bild 5.3**) stellt dem Anwender die notwendigen Funktionalitäten zur Verfügung, die er zur Durchführung verschiedener Prozesskettenszenarien benötigt.

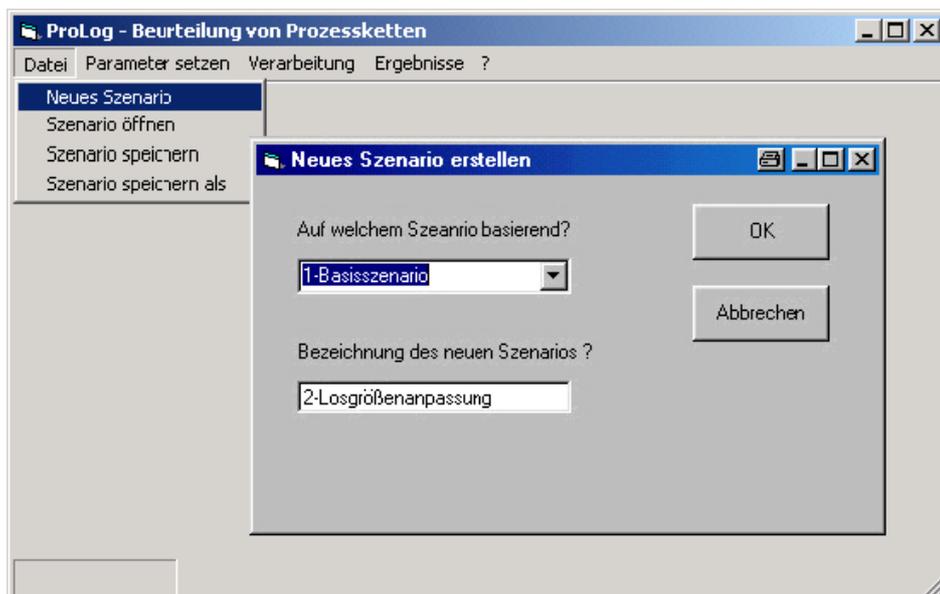


Bild 5.3: Hauptmenü des Anwendungssystems *ProLog*

Die Beurteilung einer Prozesskette erfolgt auf Basis der erstellten Planungs- und Gestaltungsszenarien, die der Anwender durch die Festlegung einzelner Parameter beeinflussen kann. Das System führt die Berechnung der konfigurierten Szenarien durch und bietet dem Anwender verschiedene Möglichkeiten zur Ergebnisdarstellung an, die eine Bewertung der erreichten Logistikleistung der Prozesskette und der Kostenauswirkungen unterstützen.

Der Anwender kann im Menüpunkt *Datei* entweder die Daten eines bereits durchgeführten und gespeicherten Szenarios wählen oder ein neues Szenario aufbauen. Wird ein neues Szenario aufgebaut, so kann als Grundlage eines der bereits abgespeicherten Szenarien herangezogen werden

(Bild 5.3). Damit kann der Änderungsaufwand bei der Konfiguration der Parameter deutlich reduziert werden, da nur noch die aktuellsten Veränderungen einzugeben sind.

Die Parameter, die das Planungsszenario konfigurieren, sind nach den verschiedenen Objekten Artikel, Ressource, Schichtmodell, usw. des Anwendungssystems aufgegliedert (**Bild 5.4**). Der Anwender kann von den Stammdaten eines Artikels über die zugrundeliegenden Arbeitspläne bis hin zu den monatlichen Bedarfszahlen eine Vielzahl an Parametern verändern und festlegen. Zusätzlich ist dem Anwender möglich, bestimmte Teilprozesse aus der Betrachtung auszuschließen, so dass ihre Kostenauswirkung nicht betrachtet wird. Beispielsweise kann durch den Anwender definiert werden, dass bei einer bestimmten Auswahl des Bedarfsprofils und Zuordnung von Artikeln zu Ressourcen (über den Arbeitsplan) die Durchführung von Steuerungsprozessen nicht mehr erforderlich ist. Damit können die durch diese Prozesse verursachten Kosten entfallen. Allerdings können die Kostenarten nicht in den Szenarios verändert werden, da Kosten als resultierende Auswirkung einer Parameterveränderung immer eine einheitliche Bewertungsbasis darstellen müssen. Diese Daten sind nur in den entsprechenden Tabellen des Kostenmodells zu ändern.

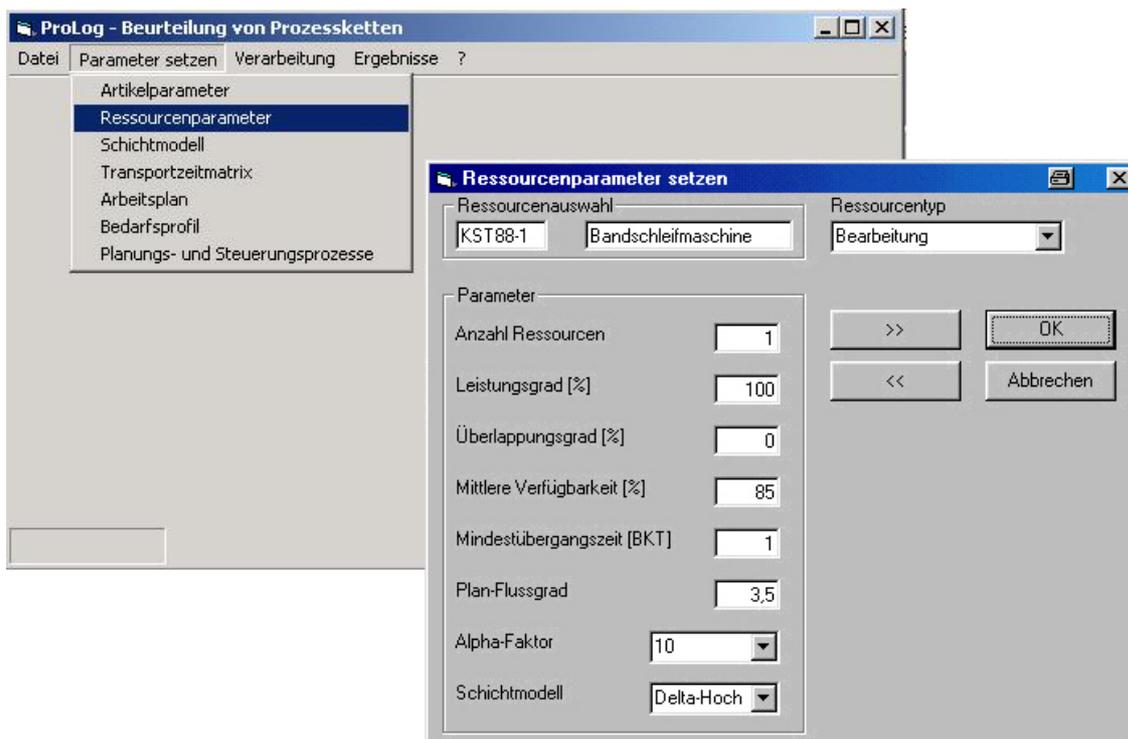


Bild 5.4: Möglichkeiten zur Parameterkonfiguration am Beispiel der Ressourcen

Als Beispiel ist die Auswahlmaske zur Festlegung der Ressourcenparameter in **Bild 5.4** dargestellt. Der Anwender kann die Anzahl der zu konfigurierenden Ressourcen über die Einengung des Ressourcentyps verringern. Es werden dabei Transport- und Bearbeitungsressourcen unterschieden. Die Kapazität der Ressource wird durch die Anzahl gleicher Ressourcen (z.B. Arbeitsplätze), das verwendete Schichtmodell und die mittlere Verfügbarkeit der Ressource beschrieben. Über den gewählten Alpha-Faktor und die technisch bedingte Mindestübergangszeit wird das

logistische Verhalten der Ressource beschrieben. Der gewählte Plan-Flussgrad wirkt sich ebenfalls auf das logistische Verhalten der Ressource aus, da er den gewünschten logistischen Betriebspunkt und damit den geplanten Bestand an der Ressource definiert.

Die gewählten Parameter sind die Einstellungen, mit denen unter dem Menüpunkt *Verarbeiten* die Berechnung des Planungsszenarios erfolgt. Dabei werden alle Eingangsdaten berechnet, die zur Erstellung der Logistik- und Kostenwirkmodelle der einzelnen Prozesskettenelemente notwendig sind. Dies sind neben den logistischen Größen, wie beispielsweise mittlere Leistung, mittlere Auslastung, mittlerer Bestand und mittlere Durchlaufzeit, auch die entsprechenden Kostengrößen, wie Bestandskosten je Stunde oder Prozesskosten je Stunde der Produktionsplanungs- und Steuerungsprozesse.

Die Ergebnisse des berechneten Szenario können im Menüpunkt *Ergebnisse* grafisch und als Kenngrößentabellen dargestellt werden. Die grafische Darstellung basiert auf den im Konzeptteil entwickelten Logistik- und Kostenwirkmodellen für die Prozesselemente *Produzieren*, *Transportieren* und *Lagern*. Diese werden in MS Excel grafisch dargestellt und können über eine OLE-Verknüpfung (Object Linking and Embedding) in der Bedienoberfläche geöffnet und betrachtet werden (**Bild 5.5**) Dabei werden die standardmäßig in MS Excel verwendeten Grafikfunktionen verwendet.

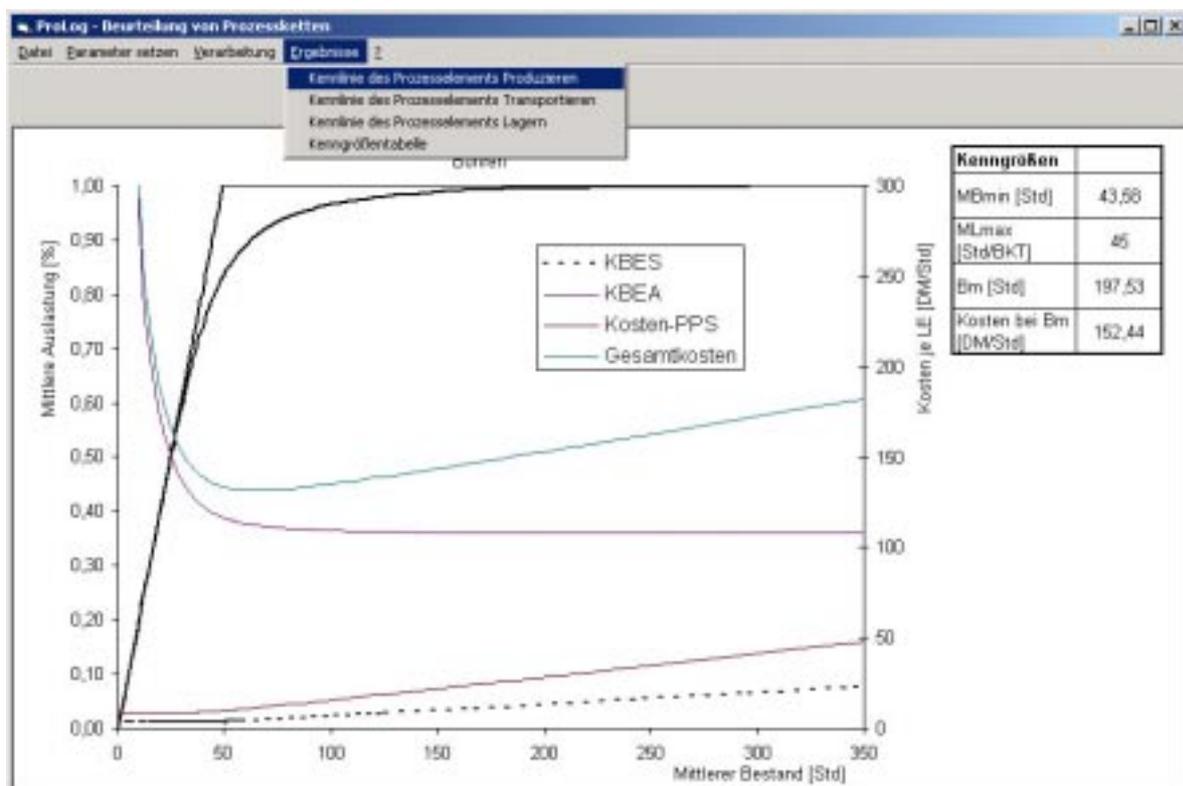


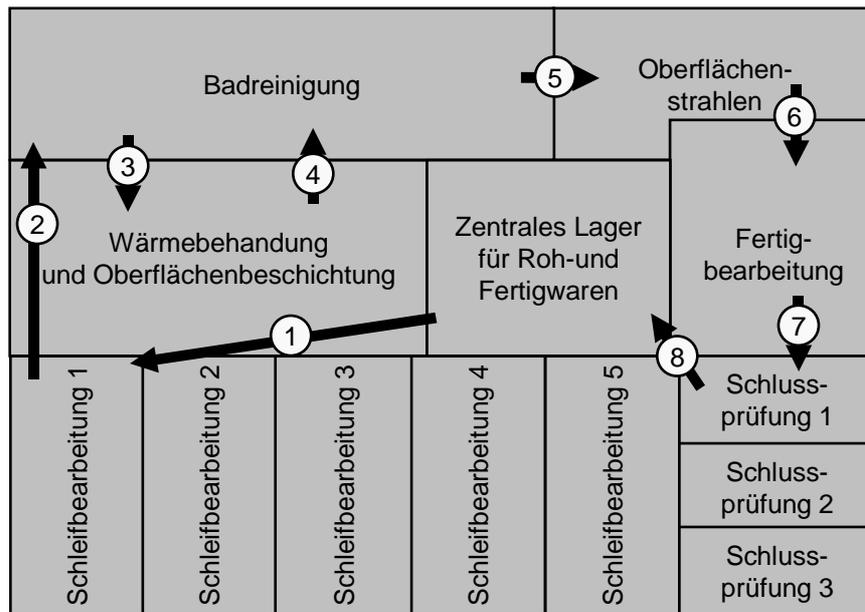
Bild 5.5: Ergebnisdarstellung in ProLog (Beispiel)

6 Beispielhafter Einsatz der Methodik und Ableitung von Gestaltungshinweisen

Der Einsatz des konzipierten Logistik- und Kostenwirkmodells wird nachfolgend an einem konkreten Praxisfall vorgestellt. Der untersuchte Produktionsbereich sowie die näher analysierte Prozesskette werden kurz beschrieben und hinsichtlich betriebstypologischer Eigenschaften charakterisiert. Danach wird das Ausgangsszenario der logistischen Prozessgestaltung vorgestellt. Im Anschluss wird die Vorgehensweise zur Identifizierung geeigneter Veränderungsansätze vorgestellt und die Ergebnisse einer durchgeführten Veränderung diskutiert. Aus dem prinzipiellen Verlauf der Logistik- und Kostenkennlinien der Prozesselemente werden Gestaltungshinweise für die Auslegung und Planung logistisch leistungstarker Prozessketten abgeleitet.

6.1 Beschreibung des Praxisfalls

Der untersuchte Produktionsbereich ist ein in sich abgeschlossener Fertigungsbereich eines Maschinenbauunternehmens, der als Produkt eine Zulieferkomponente für externe Kunden und interne Kunden herstellt. Die betrachtete Fertigung wird durch die Bereitstellung der Rohware aus dem Rohwarenlager zu Beginn und das Einlagern in das Fertigwarenlager am Ende begrenzt. Dazwischen finden verschiedene Bearbeitungsvorgänge statt, die im wesentlichen Schleifbearbeitungen, Wärmebehandlungen sowie Reinigungs- und Beschichtungsvorgänge umfassen. Das Produktspektrum besteht aus 5 Standardbauteilgruppen, die sich jeweils aus 20 Varianten zusammensetzen, so dass im Produktionsprogramm eines Jahres ca. 100 verschiedene Artikel enthalten sind. Die Fertigungsart kann als Serienfertiger charakterisiert werden, da eine Gesamtzahl von ca. 900.000 Einheiten im Jahr gefertigt wird. Dabei werden bestimmte Produkte einmalig aufgelegt, während andere regelmäßig produziert werden müssen. Die Fertigungslosgrößen variieren zwischen 16 und 800 Stück. Die Fertigung beginnt i.d.R. nach Eingang eines Kundenauftrags. Da aber keine kundenspezifischen Anpassungen der Bauteile notwendig sind, können Kunden auch aus dem Fertigwarenlager beliefert werden. Das Fertigwarenlager wird teilweise zur Entkopplung der Fertigung vom stark schwankenden Nachfrageverlauf eingesetzt, so dass zum Erreichen einer hohen Kapazitätsauslastung Aufträge auch vorgezogen bearbeitet und eingelagert werden. Die Fertigung ist nach dem Werkstattprinzip organisiert, wobei die verschiedenen Produktgruppen einzelnen Schleifmaschinen zugeordnet sind, so dass für die Schleifbearbeitung eine produktspezifische Segmentierung vorliegt. Alle weiteren Arbeitsplätze sind aufgrund technischer Restriktionen verrichtungsorientiert zusammengefasst. In **Bild 6.1** ist das Blocklayout der Fertigung dargestellt. Zusätzlich ist exemplarisch der Bearbeitungsablauf einer Produktgruppe eingezeichnet.

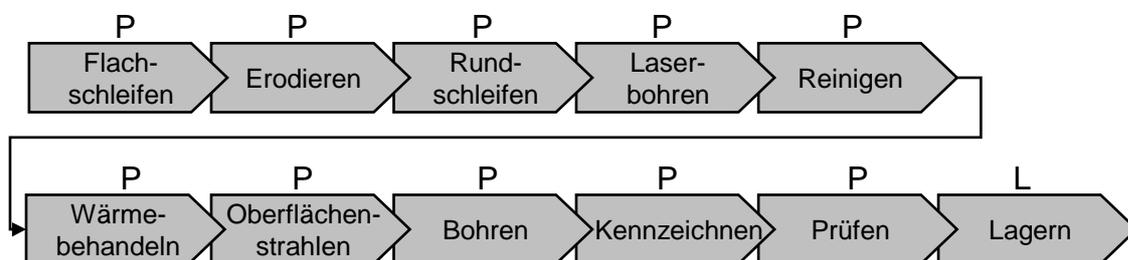


Reihenfolge der Ablaufschritte zur Fertigung der Bauteilgruppe 1

Bild 6.1: Darstellung einer Fertigungsprozesskette im Layout des Untersuchungsbereichs

6.2 Einsatz und Vorgehensweise der Methodik

Die näher betrachtete Fertigungsprozesskette ist der Fertigungsablauf für alle Artikel der Bauteilgruppe 1, die den größten Mengen- und Umsatzanteil des Produktionsprogramms darstellen. In **Bild 6.2** ist diese Prozesskette mit den einzelnen Prozesselementen dargestellt. Die Kette beginnt mit der Bearbeitung der aus dem Rohwarenlager bereitgestellten Rohwaren an der Flachschleifmaschine. Danach folgen verschiedene Bearbeitungsschritte, die sowohl mechanische Bearbeitung als auch Reinigungs- und Wärmebehandlungsvorgänge beinhalten, bevor die gefertigten Bauteile in das Fertigwarenlager eingelagert werden. Transportprozesse werden in diesem Praxisfall nicht explizit betrachtet, da ihre Bedeutung aus logistischer und wirtschaftlicher Sicht nur gering ist.



P : Prozesselement Produzieren

L : Prozesselement Lagern

Bild 6.2: Elemente der Fertigungsprozesskette der Bauteilgruppe 1

Für diese Fertigungsprozesskette wird ein erstes Planungsszenario erstellt. Das Produktionsprogramm wird aus dem Bedarf der nächsten 6 Monate abgeleitet, was einen ausreichend großen Betrachtungszeitraum darstellt, um alle Artikel der Bauteilgruppe berücksichtigen zu können. Mit den gewählten Starteinstellungen der Parameter (z.B. Losgrößen, logistische Plan-Betriebspunkte, etc.) werden die Eingangsgrößen der Logistik- und Kostenwirkmodelle für jedes Prozesselement und die Kenngrößen der Logistikleistung der gesamten Prozesskette berechnet. Im Kostenmodell werden dabei die Plankosten, die auch die Planungsbasis des Controlling für das laufende Jahr sind, eingesetzt. Als Planbezugsbasis dienen die abgemeldeten Stunden bei einem Zweischichtbetrieb. Die Kosten der Transportprozesse werden als Prozesskosten bei der Modellierung der Produktionsprozesse berücksichtigt.

Ziel der Planung ist es, eine Gestaltungsvariante für die Prozesskette aufzubauen, die sowohl aus logistischer, als auch aus Kostensicht ein späteres Betreiben der Kette in einem bestmöglichen Bereich erlaubt. Als bestmöglicher Bereich wird aus logistischer Sicht ein Betriebspunkt bei kürzest möglichen Durchlaufzeiten und einer mittleren Mindestauslastung von 98% der gesamten Prozesskette angesehen. Dabei wird zur Berechnung der Auslastung die Berechnungsvorschrift in Gleichung 4.23 zugrunde gelegt. Die mittlere Auslastung wird somit aus dem Quotienten der mittleren Leistung und der maximal möglichen Leistung berechnet. Bei der Bestimmung der maximal möglichen Leistung wurden bereits Störungen und sonstige kapazitätsvermindernde Zeiten berücksichtigt. Wird die mittlere Leistung auf die theoretisch maximale Kapazität bezogen, wird der Auslastungswert geringer sein. Das Toleranzfeld für die Termintreue der Prozesselemente und der gesamten Prozesskette wurde mit +/- 1 Tag vorgegeben. Diese Vorgabe resultiert aus dem Wunsch, die theoretischen und praktischen Grenzen der Termintreue als Referenzgröße für den späteren Betrieb der Prozesskette zu haben. Aus Kostensicht werden keine expliziten Vorgaben gegeben. Sie sollen bei der gewählten Struktur einen möglichst niedrigen Wert aufweisen.

Bild 6.3 zeigt für alle Prozesselemente der Prozesskette das logistische Verhalten und die korrespondierenden Kostenverläufe der Prozesskosten je Leistungseinheit beim gewählten Ausgangsszenario. Die Darstellung erfolgt mit Hilfe der erstellten Logistik- und Kostenwirkmodelle für alle Ressourcen der Prozesskette. Die Betriebspunkte der einzelnen Prozesselemente wurden individuell für jedes Prozesselement in Form des relativen Bestandes gewählt. Der relative Bestand gibt das Verhältnis des mittleren Bestands an einem Prozesselement zu seinem idealen Mindestbestand an [NYWI99]. Ressourcen mit angestrebter hoher Auslastung, die aufgrund Erfahrungswerten als Engpässe zu betrachten sind, wurden bei einem relativen Bestand von 3 bis 4 positioniert, um eine hohe Auslastung sicherzustellen. Eine Ausnahme hiervon bildet das Prozesselement *Wärmebehandeln*. Hier wurde aufgrund prozessspezifischer Übergangszeiten (Abkühlen nach Glühen) ein relativer Bestand von 6 gewählt. Ressourcen, die zwar möglichst hoch ausgelastet werden sollen, aber keinen Engpass darstellen, wurden bei einem relativen Bestand von 1,8 bis 2 positioniert. Der Betriebspunkt des Prozesselements *Reinigen* wurde hingegen bei einem relativen Bestand von 1 gewählt. Dieser Betriebspunkt, der zu einem Unterlastzustand

führt, wurde bewusst gewählt, da im Betriebsablauf immer wieder mit Sonderreinigungen zu rechnen ist, die in der Kapazitätsdimensionierung berücksichtigt werden müssen.

Ein erster Überblick über die qualitative Darstellung der Kostenverläufe zeigt, dass an allen Produktionsprozesselementen ein prinzipiell gleicher Verlauf der Prozesskosten auftritt. Im Unterlastbereich dominieren die Fixkosten des Prozesselements (im wesentlichen aufgrund der kalkulatorischen Abschreibungen und Personalfixkosten) die Prozesskosten je Leistungseinheit, so dass mit steigender Leistung die Kosten je Leistungseinheit stark fallen. Ab dem Übergangsbereich zur Vollaustlastung ist dieser Degressionseffekt geringer ausgeprägt. Zusätzlich bewirken die ansteigenden Bestandskosten und Kosten der Produktionsplanung und -steuerung wieder einen Anstieg der Prozesskosten je Leistungseinheit.

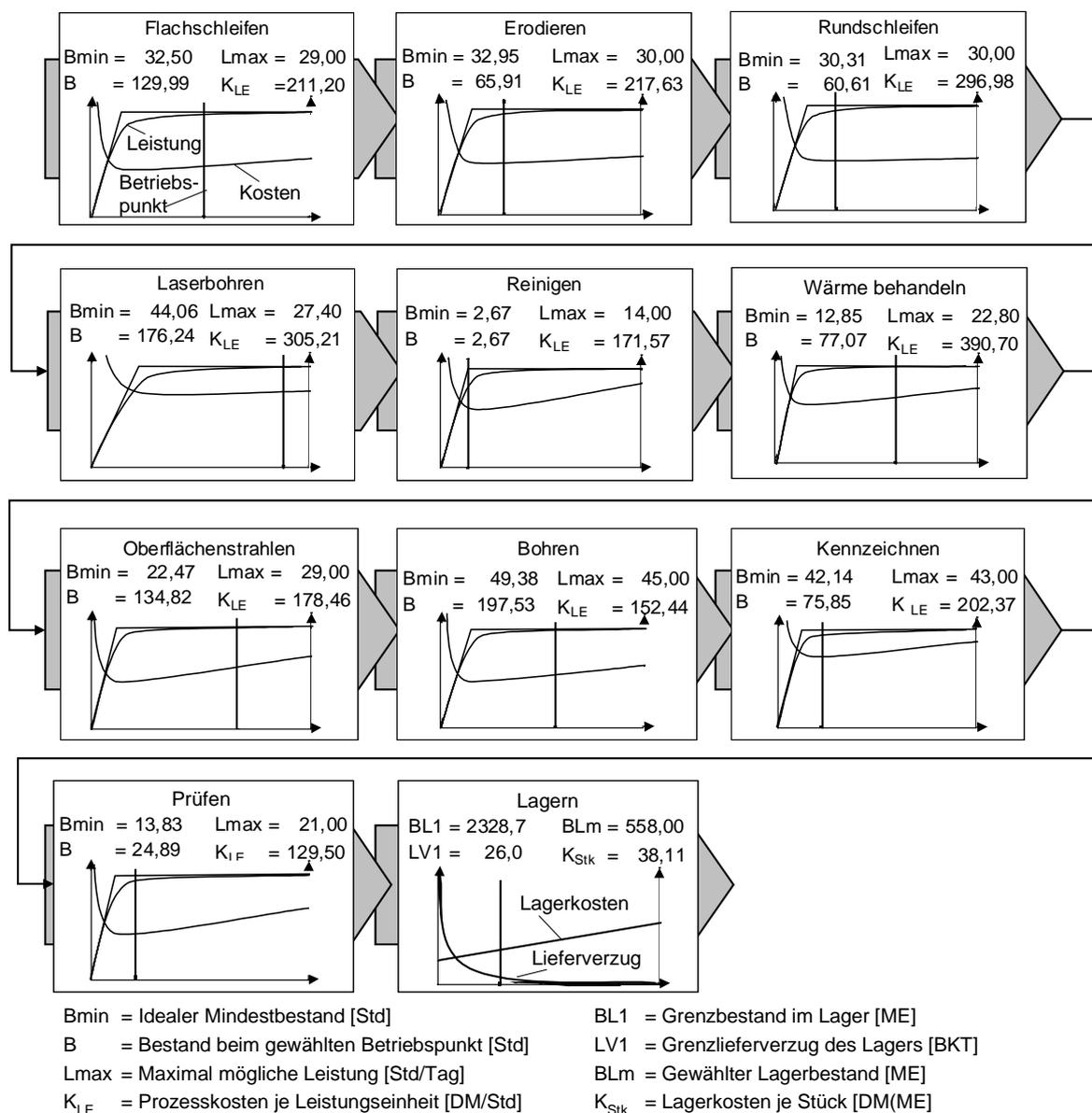


Bild 6.3: Visualisierung des logistischen und wirtschaftlichen Verhaltens der Prozesselemente der Prozesskette

Aus einer Betrachtung der anfangs gewählten logistischen Betriebspunkte ist abzuleiten, dass die Prozesse *Erodieren*, *Rundschleifen*, *Reinigen*, *Kennzeichnen* und *Prüfen* sowohl im logistisch als auch im wirtschaftlich günstigen Bereich geplant sind. Der logistisch angemessene Bereich ist durch eine hohe Leistung bei geringem Bestand (und damit aufgrund der Trichterformel auch geringen Prozessdurchlaufzeiten) gekennzeichnet. Ein wirtschaftlich angemessener Betriebspunkt ist an der relativen Lage zum Kostenminimum bei der gewählten Struktur zu erkennen. Die Prozesse *Flachsleifen*, *Laserbohren*, *Wärmebehandeln*, *Oberflächenstrahlen* und *Bohren* sind hingegen weder im logistischen noch im wirtschaftlich angemessenen Bereich geplant und bilden daher die Ansatzpunkte für eine verbesserte Gestaltung der Prozesskette.

Das Prozesskettenelement *Lagern* am Ende der Prozesskette wurde für alle Bauteile der Bauteilgruppe 1 erstellt, da die Struktur der Eingangsdaten zur Modellierung anhand einer Lagerkennlinie ähnlich ist. Der Lagerbestand dieses Prozesselements wurde so gewählt, dass die Streuungen der vorgelagerten Bearbeitungsprozesse durch den Lagerbestand ausgeglichen werden können. Dabei wurde ein mittlerer Lieferverzug der Bauteilgruppe kleiner einem Tag angestrebt. Die damit verbundenen Lagerkosten sind ebenfalls in **Bild 6.3** eingezeichnet.

Die Ergebnisse des erstellten Planungsszenarios sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst. In **Tabelle 6.1** sind die Kenngrößen der Logistikleistung und dabei induzierten Prozesskosten der Prozesskette dargestellt.

Gesamtprozesskosten je LE [DM/Std]	2256
Mittlere Auslastung [%]	97
Mittlere Prozessdurchlaufzeit [BKT]	29,2
Untere Prozessdurchlaufzeitstreuung [BKT]	1,2
Obere Prozessdurchlaufzeitstreuung [BKT]	1,4
Lagerbestand [Stk.]	558

Tabelle 6.1: Übersicht über die Logistik- und Kostenkenngrößen der Prozesskette für Bauteilgruppe 1 (Szenario 1)

Die Gesamtprozesskosten wurden durch eine Addition der Prozess- und Bestandskosten der einzelnen Prozesselemente bei den gewählten Betriebspunkten berechnet. Sie betragen 2256 DM je Stunde. Die Berechnungsvorschriften zur Ermittlung der weiteren Prozesskettenkennwerte wurden in Abschnitt 4.3.3.2 beschrieben. Die mittlere Auslastung der Prozesskette beträgt 97 Prozent. Dieser Wert liegt unter dem angestrebten Wert von 98% Auslastung. Die mittlere Durchlaufzeit der gesamten Prozesskette bis zum Lager beträgt bei den gewählten logistischen Betriebspunkten 29,2 Betriebskalendertage. Die Streuungswerte sind mit 1,2 und 1,4 Betriebskalendertagen zwar gering, erfordern aber einen Lagerbestand von 558 Bauteilen im Lager am Ende der Prozesskette. Erst damit lässt sich ein Lieferverzug von kleiner einem Tag erreichen. Diese führt bei der gegebenen Prozessstruktur zu einem Lagerbestand von 558 Bauteilen. In diesem Ausgangsszenario betragen die Lagerkosten, bestehend aus Bestands- und Prozesskosten 38 DM

je Stück. Aus **Bild 6.3** ist erkennbar, dass aus wirtschaftlicher Sicht noch Potenzial für eine Kostensenkung besteht, da die Betriebspunkte nicht bei allen Prozesselementen bei den geringsten Prozesskosten gewählt wurden.

In **Tabelle 6.2** enthält die wichtigsten Logistik- und Kostenkenngrößen bei den gewählten Betriebspunkten der einzelnen Prozesselemente. Bei der Berechnung der Termintreue wurde eine Termintoleranz von +/- 1 Tag je Prozesselement vorausgesetzt.

Prozesselement	Strukturkenngrößen					Betriebspunktabhängige Kenngrößen						
	Anzahl Arbeitsplätze	Lmax [Std/BKT]	Bmin [Std]	ZAUm [Std]	ZAUs [Std]	Betriebspunkt (Bm) [Std]	Am [%]	ZDLm [BKT]	ZDLs,u [BKT]	ZDLs,o [BKT]	Termintreue [%]	Prozesskosten bei Bm [DM/Std]
Flachschleifen	2	29,0	32,5	26,9	32,5	97,5	100	4,3	0,4	0,4	98,4	211
Erodieren	2	30,0	33,0	26,7	13,0	98,9	96	2,1	0,2	0,5	98,5	218
Rundschleifen	2	30,0	30,3	26,8	9,7	60,6	96	2,0	0,3	0,3	100,0	297
Laserbohren	2	27,4	44,1	25,6	21,7	132,2	100	5,8	0,8	0,8	78,8	305
Reinigen	1	14,0	2,7	2,6	0,5	2,7	83	0,2	0,1	0,1	100,0	172
Wärme behandeln	2	23,0	12,8	10,0	4,3	77,1	100	3,3	0,3	0,3	95,9	391
Oberflächen strahlen	2	30,0	22,5	12,7	11,1	67,4	100	4,2	0,4	0,4	98,8	178
Bohren	1	45,0	49,4	24,6	24,7	197,5	100	3,9	0,4	0,6	95,9	152
Kennzeichnen	1	43,0	42,1	23,5	20,9	75,8	95	2,3	0,3	0,5	97,7	202
Prüfen	1	21,0	13,8	11,8	4,9	24,9	95	1,1	0,2	0,2	100,0	130
Summe			283,2			834,6		29,2				2256
		LV1 [BKT]	B1 [Stk.]			BLm [Stk.]						Lagerkosten bei BLm [DM/ME]
Lagern		26,0	2329			558						38

Tabelle 6.2: Übersicht über die wichtigsten Logistik- und Kostenkenngrößen der Prozessketten-elemente in Szenario 1

Zur Steigerung der Logistikleistung der gesamten Prozesskette sind Maßnahmen auszuwählen, die sowohl eine Reduzierung des Durchlaufzeitniveaus im Mittelwert als auch eine Verringerung der Streuung der Durchlaufzeiten unterstützen. Zusätzlich ist zu überprüfen, welche potenzielle Auswirkung die Maßnahmen auf die Kostenstruktur haben.

Werden die Prozesselemente nach ihrem relativen Anteil an der Gesamtdurchlaufzeit untersucht, ist aus **Tabelle 6.2** zu erkennen, dass die Prozesse *Flachschleifen*, *Laserbohren* und *Oberflächen strahlen* zusammen einen Anteil von 49 Prozent der Gesamtprozessdurchlaufzeit aufweisen. Zusätzlich ist zu erkennen, dass von diesen Prozessen der Prozess *Laserbohren* eine weit höhere Durchlaufzeitreue und damit geringere Termintreue als die anderen Prozesse aufweist. Somit konzentrieren sich Maßnahmen zur Steigerung der Logistikleistung im nächsten Szenario auf diesen Prozess.

Bei der Auswahl von Maßnahmen sind daher sowohl die logistischen als auch die monetären Konsequenzen, die mit ihrer Durchführung verbunden sind, zu berücksichtigen. Die mit der Durchführung der Maßnahmen verbundenen Aufwände lassen sich i.d.R. recht gut aus dem Personal und Investitionsbedarf abschätzen. Eine qualitative Einteilung möglicher Maßnahmen hinsichtlich ihrer Investitionsintensität ist in **Bild 6.4** gegeben. Danach sind in einem ersten Schritt dispositive Maßnahmen und Veränderungen der Dispositionsparameter zu überprüfen, bevor tiefere Eingriffe in die Struktur der Prozesskette und damit verbundene Investitionen durchgeführt werden. Veränderungen in den Verfahren der Produktionssteuerung sind mit einigem An-

passungsaufwand der eingesetzten Systeme sowie intensiven Schulungen der Mitarbeiter in der veränderten Steuerungsphilosophie verbunden.

Ein hoher finanzieller Aufwand ist bei strukturellen Eingriffen in die Prozesskette durch Einführen neuer Technologien oder konstruktive Veränderungen am Produkt zu erwarten. Auch neue Maschinenanordnungen und Layoutveränderungen sind mit Investitionen für Veränderungen am Gebäude verbunden. Dies sind i.d.R. Gestaltungsfelder der Fertigungstechnologie, der Konstruktion und der Fabrikplanung und liegen außerhalb des logistischen Betrachtungsgebiets. Daher werden sie im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter verfolgt. Zu diesen Themen sei auf die nachfolgend aufgeführte Literatur verwiesen [EVER99a, EHRL95, GAUS00, SCHU97]. In **Bild 6.4** sind diese Gestaltungsfelder zusammengefasst in einem dritten Block dargestellt.

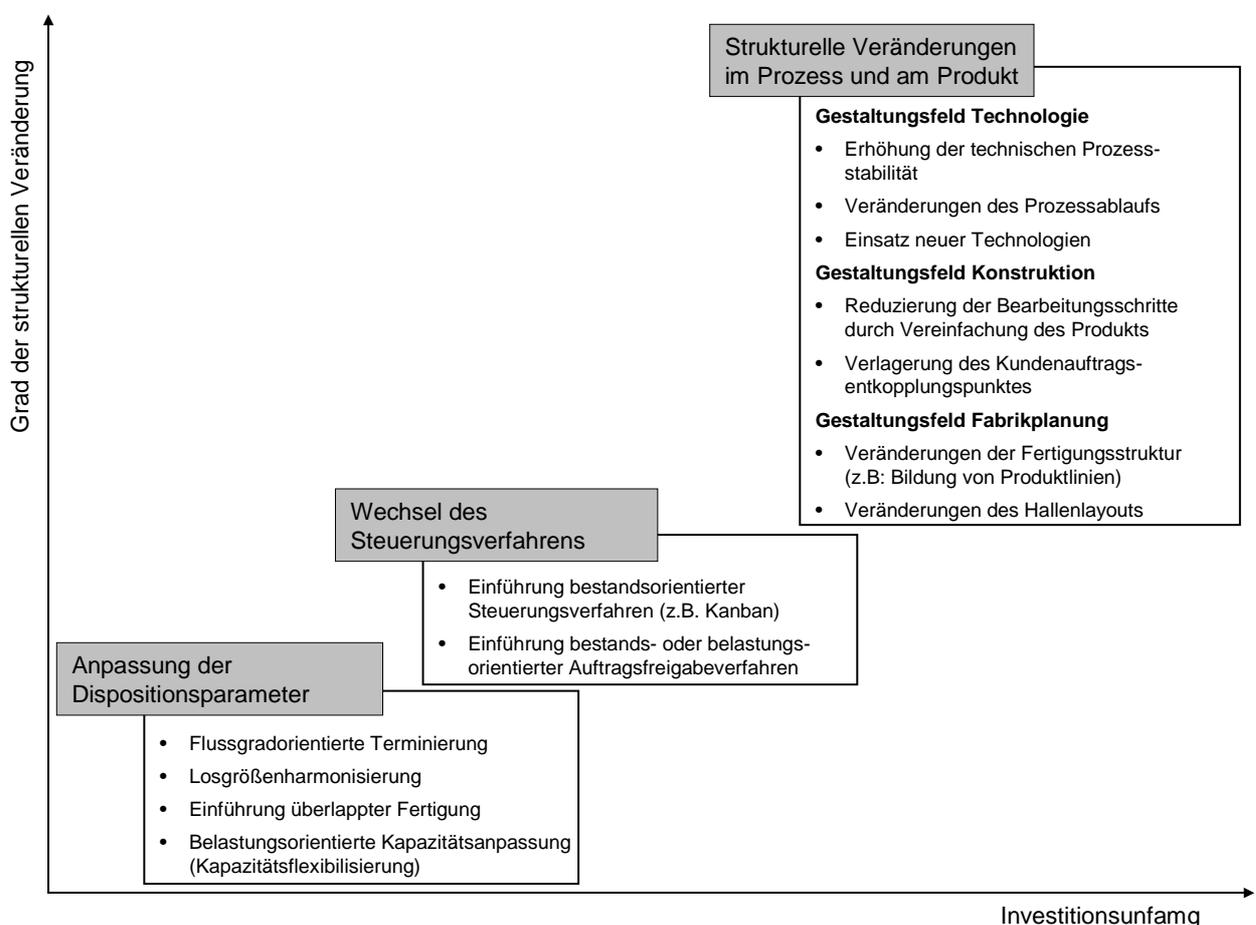


Bild 6.4: Ansatzpunkte für logistische Verbesserungen nach dem erforderlichen Investitionsumfang

Exemplarisch wird für das zweite Szenario als Maßnahme zur Reduzierung der Durchlaufzeitstreuung eine Losgrößenanpassung gewählt. Untersuchungen von Nyhuis haben ergeben, dass durch eine Anpassung der Losgrößen und eine damit verbundene Harmonisierung eine Verringerung der Auftragszeitstreuung erreicht werden kann [NYHU91]. Gemäß der in Abschnitt 4.3.3.1 vorgestellten Berechnungsvorschriften kann damit auch eine Reduzierung der Durchlaufzeit-

streuung erzielt werden. Die Losgrößenharmonisierung bietet sich als erste Maßnahme an, da sie einfach zu implementieren ist und i.d.R. mit keinen Investitionen verbunden ist. Als Regel wird eine Loseilung angewandt, bei der alle Lose, die mehr als 150 Stück umfassen, halbiert werden. Somit reduziert sich die mittlere Losgröße von ca. 288 Stück auf 128 Stück. Zusätzlich wird an diesem Prozess eine Einführung einer dritten Schicht vorgenommen, um zum einen die zusätzlichen Rüstzeiten zu kompensieren und um zum anderen den logistischen Betriebspunkt in den Abknickbereich der Leistungskennlinie zu legen und damit weiteres Reduzierungspotenzial zur Durchlaufzeitverkürzung auszuschöpfen. **Bild 6.5** zeigt die Auswirkung dieser Maßnahmen auf den Verlauf der Prozesskosten und Leistungskennlinie des Prozesselements *Laserbohren*.

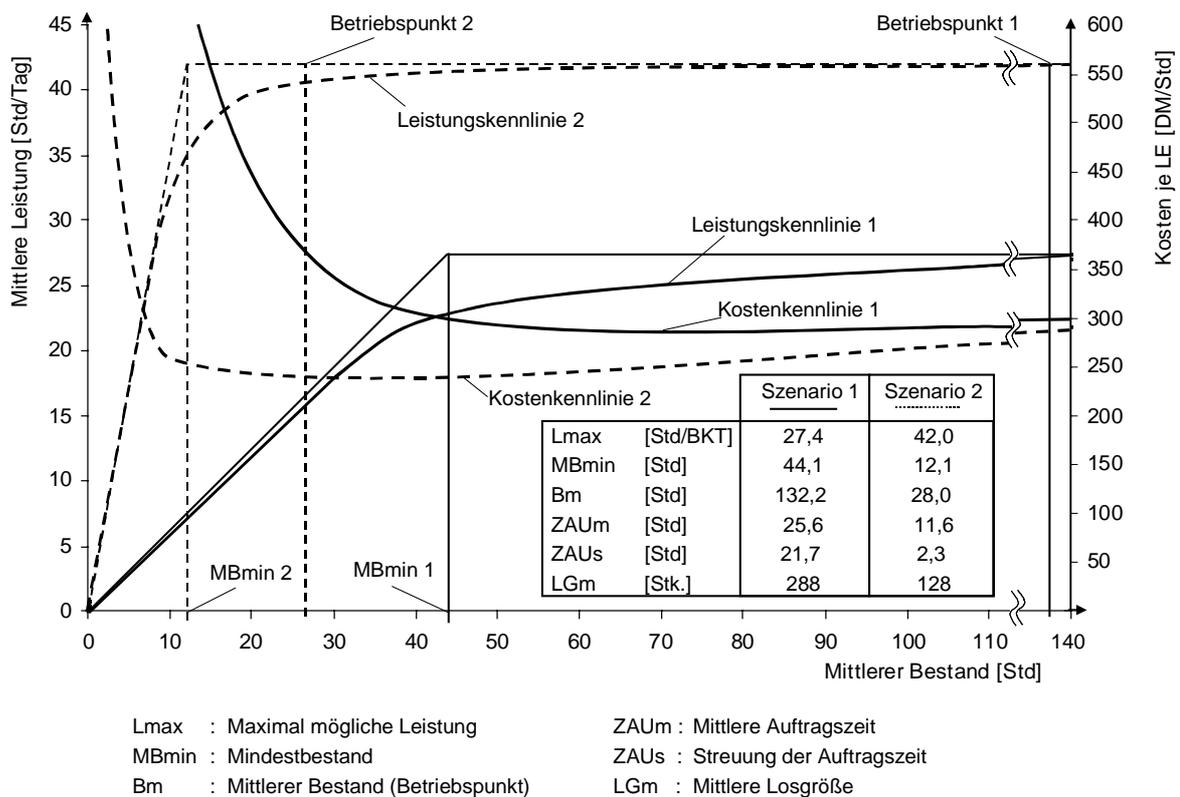


Bild 6.5: Auswirkung einer Losgrößenharmonisierung und Erhöhung der Kapazität am Prozesselement Laserbohren.

Es ist erkennbar, dass die Leistungskennlinie des zweiten Szenarios steiler als in Szenario 1 verläuft und bei einem geringeren Bestandwert ihren Maximalwert erreicht. Dieser Verlauf war aufgrund der reduzierten Losgrößen und der erzielten Harmonisierung der Auftragszeiten zu erwarten. Zusätzlich wurde der erhöhte Rüstzeitanteil von 7% auf 15% der Auftragszeiten aufgrund kleinerer Lose durch die Kapazitätserhöhung aufgefangen, so dass keine Leistungseinbußen auftreten. Es ist somit aus logistischer Sicht möglich, den Betriebspunkt in den Unterlastbereich nach links zu verschieben, um genau die geforderte Leistung abgeben zu können. Mit dieser Maßnahme resultieren auch verkürzte Durchlaufzeiten. Auch aus wirtschaftlicher Sicht ist die Maßnahme der Kapazitätserweiterung sinnvoll, da aufgrund der längeren Betriebszeit die Fixkosten pro Leistungseinheit schneller absinken und die Kosten der Produktionsplanung und -

steuerung verringert werden können. Dies ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die Anzahl Fertigungsaufträge und Arbeitsvorgänge im Umlaufbestand mit geringerem Bestand sinken und daher die Prozesskosten der Maschinenbelegung und Fortschrittsüberwachung geringer sind. Aufgrund des insgesamt niedrigeren Kostenverlaufs bei Szenario 2 ist auch zu folgern, dass die Erhöhung der Rüstkosten die Gesamtkosten nur gering beeinflusst und in diesem Fall nicht bedeutend sind.

Die Veränderung der Losgrößen wirkt aber auch auf das logistische und wirtschaftliche Verhalten der anderen Prozesselemente. Teilweise müssen ebenfalls Mehrarbeitszeiten oder Schichterweiterungen durchgeführt werden, um die geforderte Leistung erbringen zu können, da die geforderte Durchsatzmenge des gegebenen Produktionsprogramms nicht verändert werden darf. Die Kenngrößen der Prozesselemente sind in **Tabelle 6.3** zusammengestellt. Für das zweite Szenario wurden die Betriebspunkte der Prozesselemente bei gleichem Bestandsgrad gewählt. Aufgrund der geringeren Losgrößen und des höheren Rüstanteils sind höhere Leistungswerte erforderlich, so dass fast alle Prozesselemente bei Volllast betrieben werden. Um dies sicherzustellen, wurde ein relativer Bestand von 4 gewählt. Ausnahmen hiervon bilden das Prozesselement *Laserbohren*, das bewusst im Unterlastbereich betrieben wird und das Prozesselement *Reinigen*, das weiterhin für ungeplante Reinigungstätigkeiten Zusatzkapazität bereithalten soll.

Prozesselement	Strukturkenngrößen					Betriebspunktabhängige Kenngrößen						
	Anzahl Arbeitsplätze	Lmax [Std/BKT]	Bmin [Std]	ZAUm [Std]	ZAU [Std]	Betriebspunkt (Bm) [Std]	Am [%]	ZDLm [BKT]	ZDLs,u [BKT]	ZDLs,o [BKT]	Termintreue [%]	Prozesskosten bei Bm [DM/Std]
Flachsleifen	2	32,0	13,7	13,4	2,1	54,7	100	1,7	0,1	0,1	100,0	199
Erodieren	2	20,0	13,2	12,3	3,3	52,6	100	1,8	0,1	0,1	100,0	225
Rundsleifen	2	30,0	13,7	12,3	4,2	54,7	100	1,8	0,2	0,1	100,0	305
Laserbohren	2	42,0	12,1	11,6	2,3	28,0	98	0,7	0,2	0,1	100,0	246
Reinigen	1	22,0	2,5	2,5	0,1	3,0	88	0,2	0,0	0,0	100,0	144
Wärme behandeln	2	33,0	6,8	9,1	3,1	27,3	100	0,8	0,1	0,0	100,0	206
Oberflächen strahlen	2	30,0	19,8	8,3	9,8	79,0	100	2,3	0,3	0,3	99,5	168
Bohren	1	45,0	12,2	9,3	5,2	48,7	100	1,0	0,1	0,0	100,0	137
Kennzeichnen	1	43,0	11,6	8,9	4,9	46,4	100	1,0	0,1	0,0	100,0	228
Prüfen	1	21,0	9,0	6,8	3,8	35,9	96	1,6	0,2	0,1	100,0	151
Summe			114,6			430,3		12,9				2009

	LV1 [BKT]	B1 [Stk.]		BLm [Stk.]		Lagerkosten bei BLm [DM/ME]
Lagern	10,5	938		103		32

Tabelle 6.3: Übersicht über die wichtigsten Logistik- und Kostenkenngrößen der Prozesskettenelemente (Szenario 2)

Die Ergebnisse der resultierenden Veränderung auf die gesamte Prozesskette sind in der **Kenngrößentabelle 6.4** zusammengefasst.

	Szenario 2	Szenario 1
Gesamtprozesskosten je LE [DM/Std]	2009	2256
Mittlere Auslastung [%]	99	97
Mittlere Prozessdurchlaufzeit [BKT]	12,8	29,2
Untere Prozessdurchlaufzeitstreuung [BKT]	0,5	1,2
Obere Prozessdurchlaufzeitstreuung [BKT]	0,4	1,4
Lagerbestand [Stk.]	103	558

Tabelle 6.4: Übersicht über die Logistik- und Kostenkenngrößen der Prozesskette für Bauteilgruppe 1 (Szenario 2: Losgrößenharmonisierung und Kapazitätserweiterung)

Die Gesamtprozesskosten je Leistungseinheit können durch die Maßnahmen um ca. 247 DM, entsprechend 11 % je Leistungseinheit verringert werden. Gleichzeitig ist aber auch eine Reduzierung der mittleren Gesamtprozessdurchlaufzeit von ursprünglich 29 Tagen auf 13 Tage und eine Verringerung der Durchlaufzeitstreuung erkennbar. Dies ermöglicht auch eine Reduzierung des mittleren Lagerbestands wie in Tabelle 6.4 dargestellt. Es sind nur noch 103 Bauteile im Lagerbestand notwendig, um einen mittleren Lieferverzug von weniger als einem Tag zu erreichen. Die mittlere Auslastung der Ressourcen im Prozess kann erhöht werden und erfüllt die Zielvorgabe von 98%.

Aus der Betrachtung der Tabellen 6.3 und 6.4 sowie einem Vergleich mit den Kenngrößen des Ausgangsszenarios lassen sich die Veränderungen im logistischen Verhalten der einzelnen Prozesselemente und der Kostenauswirkungen erkennen. Insgesamt führt die Losgrößenveränderung zu einer geringeren Streuung der Auftragszeiten und der Durchlaufzeitwerte. Dies ermöglicht eine hohe Termintreue der einzelnen Prozesselemente. Bei fast allen Prozesselementen können daher die Betriebspunkte zu geringeren Bestandswerten hin abgesenkt werden, da die Mindestbestände verringert wurden. Am Prozesselement *Rundschleifen* ist jedoch eine Erhöhung des Betriebspunktes in Richtung höherer Bestände erforderlich, da aufgrund des erhöhten Rüstaufwands eine höhere Leistung zu erbringen ist, was zu einer Auslastung von 100% führt. Dies ist erst bei einem höheren Bestandswert möglich. Der notwendige Lagerbestand, um einen Lieferverzug kleiner als einem Tag zu erreichen, beträgt nun aufgrund der Prozessveränderungen (Losgrößenreduzierung und Durchlaufzeitverkürzung bzw. Streuungsreduzierung) nur noch 103 Bauteile im Vergleich zum Ausgangsszenario mit 558 Bauteilen. Gleichzeitig sinken damit natürlich auch die Bestandskosten je Stück. Die Prozesskosten des Elements *Lagern* können dabei um ca. 15% reduziert werden.

Weitere Maßnahmen können nun am strukturellen Aufbau der Prozesskette ansetzen, indem die einzelnen Prozessschritte hinsichtlich technischer Verbesserungen und damit bearbeitungs- und rüstzeitverkürzender Maßnahmen überprüft werden. Auch die generelle Notwendigkeit einzelner Prozessschritte bei Einführung neuer Prozesstechnologien können in ihrer Logistik- und Kostenwirksamkeit überprüft werden. Aus logistischer Sicht können neue Steuerungsverfahren überprüft werden, wie beispielsweise bestandsorientierte Verfahren nach dem Kanban-Prinzip. Der

Einsatz dieser Verfahren wirkt nicht nur auf die Bestandshöhe an den Arbeitssystemen, sondern auch auf die Prozesse der Produktionsplanung und –steuerung aus. Aufgrund des einfachen Aufbaus der Kanban-Steuerung sind die Prozesse der Erstellung von Auftragspapieren oder der Maschinenbelegungsplanung evtl. nicht mehr oder nur in geringerem Maße notwendig, was ein weiteres Potenzial für Kostensenkungen bieten kann. Die damit verbundenen, neuen Kostenverläufe lassen sich ebenfalls auf Basis der erstellten Logistik- und Kostenwirkmodelle visualisieren. Eine erste grobe Abschätzung des möglichen Kostensenkungspotenzials ist aus der Betrachtung der Kosten der Beispiele im **Bild 4.21** und im **Bild 4.22** möglich (siehe Abschnitt 4.3.5). Bei dem gewählten Betriebspunkt $B_m(t)$ von 50 Stunden entstehen Gesamtkosten je Leistungseinheit von ca. 236 DM. Durch das Eliminieren der Teilprozesse der Erstellung von Auftragspapieren und Maschinenbelegungsplanung würden sich die Kosten um ca. 16 DM, entsprechend 7% reduzieren lassen. Für detaillierte Aussagen sind allerdings weiterführende Untersuchungen erforderlich.

Darüber hinaus kann mit Hilfe der Methodik und der eingesetzten Modelle eine Abschätzung getroffen werden, ob es wirtschaftlich sinnvoll ist, den Belastungsverlauf der Prozesskette zu harmonisieren, indem zur gleichmäßigen Belastung einige Lose vorzeitig gefertigt werden, und dabei einen Lagerbestand im Fertigwarenlager als Gegengewicht zu akzeptieren. Diese Maßnahme ist aber an den Grenzen des Auftragsabwicklungstyps auszurichten. Bei einer kundenauftragsspezifischen Fertigung wird diese Maßnahme aufgrund der hohen Spezifität der Bauteile und der individuellen Terminvereinbarung mit dem Kunden nur begrenzt möglich sein.

6.3 Ableitung von Gestaltungshinweisen zur Steigerung der Logistikleistung

Aus der im Praxisfall durchgeführten Beurteilung einer Prozesskette können generelle Gestaltungshinweise, die beim Aufbau logistisch leistungsstarker Prozessketten berücksichtigt werden sollten, abgeleitet werden.

Werden mögliche Gestaltungsmaßnahmen aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten beurteilt, so sind zuerst die potenziellen Auswirkungen auf die Prozesskosten, die den höchsten Anteil an den Gesamtkosten haben, zu betrachten. Bei allen erstellten Logistik- und Kostenwirkmodellen stellen die Bearbeitungskosten den mit Abstand höchsten Kostenblock dar. Je nach individueller Ausprägung der Bearbeitungskosten sind hierbei Lohnkosten oder die kalkulatorischen Abschreibungen der Anlagen kostenbestimmend. Wird die Betrachtung auf ein einzelnes Prozesselement bezogen, dann ist es aufgrund der Fixkostendegression, die mit steigender Auslastung der Ressourcen auftritt, aus wirtschaftlicher Sicht notwendig, die Ressourcen im angemessenen Auslastungsbereich zu betreiben. Die Produktionslogistik hat damit für eine angemessene Auslastung der Ressourcen mit den höchsten Fixkosten zu sorgen.

Eine angemessene Auslastung besteht allerdings nicht notwendigerweise erst bei Erreichen der Vollauslastung. Die Ergebnisse der Praxisanwendung zeigen, dass bei geringen Abweichungen von der Vollauslastung in Richtung geringerer Auslastungswerte an einzelnen Prozesselementen

nur geringe Kostenveränderungen resultieren, jedoch signifikante logistische Rationalisierungspotenziale erschlossen werden können. Wird diese Beobachtung auf eine Prozesskette ausgeweitet, so kann dies aufgrund der durchgeführten Untersuchungen in Abschnitt 6.2 bestätigt werden. Hierbei ermöglicht das Betreiben eines Prozesselements im Unterlastbereich eine Steigerung der logistischen Leistungsfähigkeit der gesamten Prozesskette. Dabei können der Mittelwert und die Streuung der Durchlaufzeit reduziert werden.

Setzen Gestaltungsmaßnahmen an einer Reduzierung der Losgröße und damit einer Verringerung des notwendigen Mindestbestands an, so ist i.d.R. mit erhöhten Rüstkosten zu rechnen. Eine weitere Analyse des Rüstkostenanteils an einem Prozesselement in Abschnitt 6.2 zeigt allerdings, dass eine Erhöhung des Rüstanteils an der Auftragszeit von 7 Prozent auf einen Wert von 15 Prozent zu einem Anstieg des Rüstkostenteils an den Bearbeitungskosten des gewählten Betriebspunktes von 2 Prozent auf 5,5 Prozent führen. Diese Kostenerhöhung und ihre absolute Höhe kann durch entsprechende Einsparungen aufgrund verringerter Kapitalbindung und geringerer Prozesskosten der PPS ausgeglichen werden. Diese Schlussfolgerung setzt allerdings voraus, dass keine teuren Werkzeuge zum Rüsten eingesetzt werden müssen, die die Rüstkosten signifikant erhöhen würden.

Wird durch ein häufigeres Rüsten die Kapazitätsgrenze erreicht, so sind in diesem Falle die Kosten einer Kapazitätsausweitung oder die entgangenen Deckungsbeiträge bei Verzicht auf eine Kapazitätsausweitung zu betrachten. Aus den durchgeführten Szenarien ist dabei die Erkenntnis abzuleiten, dass eine Kapazitätsausweitung durch Mehrarbeitszeiten bei gleichzeitiger Reduzierung der Losgröße auch wirtschaftlich zu rechtfertigen ist. Dabei wurden erhöhte Lohnkosten aufgrund von Überstundenzuschläge in der Rechnung berücksichtigt.

Eine Analyse des Bestandskostenanteils an den Gesamtkosten lässt weitere Erkenntnisse bezüglich der Grenzen bei der logistischen Gestaltung von Prozessketten zu. Aufgrund des geringen Bestandskostenanteils lassen sich hohe Auslastungsverluste an kostenintensiven Ressourcen, welches zumeist auch die Engpassressourcen sind, bei Bestandsreduzierungen wirtschaftlich nicht rechtfertigen. Die Kostensenkung, die mit einer Bestandsreduzierung einhergeht, ist aufgrund des geringen Bestandskostenanteils häufig nicht ausreichend, um ein Gegengewicht zu Auslastungsverlusten und damit höheren Bearbeitungskosten je Leistungseinheit zu bieten. Bestandssenkende Maßnahmen an Engpassressourcen lassen sich daher zumeist nur wirtschaftlich rechtfertigen, wenn bei einer Reduzierung des Umlaufbestands ein Wert angestrebt wird, der oberhalb oder im Bereich des Mindestbestands liegt.

Werden logistische Verbesserungen in Bezug auf mögliche Auswirkungen hinsichtlich der Prozesskosten der Produktionsplanung- und Steuerung betrachtet, so ergeben sich weitere Erkenntnisse. Diese Kosten entstehen insbesondere bei hohen Umlaufbeständen, da als Kostentreiber die Anzahl der Aufträge und Arbeitsvorgänge identifiziert wurden. Diese Festlegung ist für die Gestaltung und Planung von Prozessketten hinreichend. Im Betriebsablauf wird hingegen keine proportionale Beziehung, sondern eine überproportionale Steigung der Prozesskosten der PPS bei

steigenden Beständen vorliegen. Dies ist damit zu begründen, dass mit steigendem Bestandsniveau ein zunehmendes Abweichen von der FIFO-Regel auftreten kann, was zu einer wachsenden Streuung der Durchlaufzeiten führt. Diese hat wiederum Auswirkungen auf die Termintreue der Aufträge, wie in den vorangegangenen Abschnitten gezeigt werden konnte. Drohende Terminverzögerungen erfordern zusätzlichen Umplanungsaufwand und die Durchführung von Sondermaßnahmen, wie die Bearbeitung von Eilaufträgen, was die Prozesskosten der PPS weiter ansteigen lässt. Diese sachlogischen Zusammenhänge lassen höhere Kosten der PPS erwarten, als im Rahmen der Modellbildung angenommen wurden.

Aus der Erkenntnis, dass die Kosten der PPS und der Kapitalbindung mit steigendem Bestand ansteigen, leiten sich auch die wirtschaftlichen Begründungen für die Einführung bestandsenkender, dezentraler Fertigungssteuerungskonzepte - z.B. Kanban-Steuerung - ab. Diese Verfahren zielen auf die Einhaltung eines festgelegten Bestandsniveaus in der Fertigung. Bei entsprechend geringem Bestandsniveau fallen auch nur geringe Kosten für PPS und Kapitalbindung an, da die Anzahl der Aufträge im Umlaufbestand begrenzt bleibt. Ergänzend wirken die selbststeuernden Konzepte auf die Prozesskosten der Teilprozesse der PPS, die nicht bestandsabhängig sind. Beispiele hierfür sind die Teilprozesse Reihenfolgeplanung, Auftragspapiere erstellen oder die Fertigmeldung von Aufträgen. Diese Prozesse können bei einfachen Steuerungsverfahren oftmals aufgrund der einfachen Abarbeitung nach der FIFO-Regel und einer auftragslosen Fertigung entfallen, was zu einer Reduzierung der absoluten Höhe der PPS-Kosten führt. Allerdings setzen bestandsorientierte Steuerungsverfahren eine entsprechende Kapazitätsflexibilität voraus, was zu einer Erhöhung der Lohnkosten aufgrund von Mehrarbeitszuschlägen führen kann. Die Ergebnisse der Beispielanwendung zeigen jedoch, dass Mehrkosten durch erhöhte Lohnkosten dann wirtschaftlich und logistisch sinnvoll sind, wenn dadurch eine angemessene Kapazitätsanpassung an die Belastung und damit geringere Bestands- und Durchlaufzeitstreuungen erreicht werden können.

Es ist als Fazit festzuhalten, dass sich logistische Veränderungen wirtschaftlich nur begründen lassen, wenn die veränderte Logistikleistung den damit verbundenen Kostenwirkungen gegenübergestellt werden können. Dies ist durch den Einsatz von traditionellen Kostenrechnungssystemen, die auf einer Zuschlagskalkulation der Gemeinkosten basieren, nicht möglich, da sie die Kostenwirkung der Gemeinkostenvorgänge nicht aufschlüsseln. Daher ist der Einsatz eines Modells notwendig, das die betroffenen Kosten verursachungsgerecht den Prozessen zuordnet. Die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Logistik- und Kostenwirkmodelle eignen sich sehr gut, logistische Veränderungsmaßnahmen in ihrer Auswirkung auf die Erfüllung der logistischen Zielvorgaben und die damit verbundene Kostenverursachung zu beurteilen. Dabei können die einzelnen Kostenkategorien (Bestandskosten, Bearbeitungskosten, Kosten der Planung und Steuerung) verursachungsgerecht den einzelnen Prozesselementen der Prozesskette zugeordnet werden. Dies unterstützt das Ableiten geeigneter Verbesserungsmaßnahmen, indem aus dem Verlauf der Kosten- und Leistungskennlinie die erwarteten Wirkungen bereits im Vorfeld abgeschätzt werden können.

7 Schlussbetrachtung

7.1 Zusammenfassung

Die Wettbewerbsbedingungen zwingen viele Unternehmen eine Strategie der Produktdifferenzierung zur Erfüllung der individuellen Kundenwünsche und gleichzeitig eine Strategie der Kostenführerschaft zu verfolgen. Dies und die zusätzliche Anforderung, sich über eine hohe Logistikleistung vom Wettbewerber zu differenzieren, erfordert von den Unternehmen die Ausgestaltung wirtschaftlich schlanker und logistisch leistungsstarker Prozesse.

Diese strategische Notwendigkeit ist allerdings in der Umsetzung mit systemimmanenten Problemen konfrontiert. Die gleichzeitige Erfüllung sowohl logistischer als auch wirtschaftlicher Ziele ist nicht im Sinne einer Gesamtoptimierung möglich, da die Optimierung gemäß einer Zielvorgabe zwangsläufig zur Verschlechterung der Zielerreichung der anderen Größen führt. Eine Alternative zur Optimierung ist die logistische Positionierung von Prozessketten, indem abhängig vom jeweils primären, meist marktbezogenen Ziel ein angemessener Prozessbetriebspunkt gewählt wird. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, Werkzeuge einzusetzen, die eine simultane Betrachtung von erreichbarer Logistikleistung und den dabei entstehenden Kostenwirkungen ermöglichen. Erst dann können Prozessketten gemäß der individuellen Zielvorgaben effektiv gestaltet werden.

Ziel der Arbeit war es daher, eine Methodik zu erarbeiten, die bei der Gestaltung und Planung von Fertigungsprozessketten eingesetzt werden kann, indem die bei einer gewählten Prozessstruktur induzierten Kosten der erreichbaren Logistikleistung gegenübergestellt werden. Durch das Aufzeigen vorhandener Verbesserungspotenziale können Maßnahmen abgeleitet werden, die zu einer Verbesserung der Logistikleistung der Gesamtprozesskette führen. Als grundlegendes Konzept wurde ein modellbasierter Ansatz gewählt, mit dem verschiedene Planungsszenarien probegerechnet werden können. Die Ergebnisse werden in Form von Logistik- und Kostenkennlinien dargestellt.

Hierzu wurde in einem ersten Schritt ein Prozessmodell aufgebaut, das die elementaren Kernprozesse der Logistik, *Produzieren*, *Transportieren* und *Lagern* umfasst. Für diese Prozesselemente wurden geeignete logistische Modelle auf Basis der Kennlinientheorie gewählt, die eine konsistente Beschreibung der logistischen Zielgrößen Bestand, Durchlaufzeit und Auslastung ermöglichen.

In einem zweiten Schritt wurden die Berechnungsvorschriften erarbeitet, um die logistische Leistung einer aus diesen Prozesselementen zusammengesetzten Prozesskette mittels Kenngrößen beschreiben zu können. Es wurden die mit der Prozessdurchführung induzierten Prozess- und Bestandskosten bestimmt und ein geeignetes Kostenmodell erarbeitet, um diese Kosten abbilden zu können.

Die Verknüpfung der Kosten- und Logistiksicht erfolgte danach durch die Integration der Kostenkennlinien in die logistischen Kennlinien. Hierzu wurden die Verläufe der betrachteten Prozess- und Bestandskosten in eine bestandsabhängige Darstellung überführt. Somit lassen sich die logistischen Zielgrößen und Kosten gleichzeitig in einem Diagramm darstellen. Die somit entstandenen Logistik- und Kostenwirkmodelle können zur individuellen Positionierung von Prozessketten und zur Beurteilung der Logistikleistung eingesetzt werden.

Die Berechnung der Modellgrößen wird durch ein prototypisch entwickeltes Anwendungssystem unterstützt. Der Einsatz der Methodik wurde exemplarisch an einem Praxisfall vorgeführt, der auch als Grundlage zur Ableitung von generellen Gestaltungshinweisen dient.

7.2 Ausblick

Schwerpunkt der entwickelten Methodik sind die erarbeiteten Logistik- und Kostenwirkmodelle der einzelnen Prozesskettenelemente. Die Weiterentwicklung dieser Modelle kann in mehrere Richtungen erfolgen. Weitere Verfeinerungen können vorgenommen werden, indem auch Kosten und Zusatzaufwände, die durch Qualitätsmängel des Prozesses (Nacharbeit, Ausschuss) entstehen, in die Modellierung einbezogen werden. Auch die Modellierung von weiteren Störungen, wie Eilaufträge und Nachfrageverschiebungen, kann das Modell zur Erhöhung der Aussagekraft berücksichtigen. Hierzu sind weitere Untersuchungen notwendig, um einen quantifizierbaren Zusammenhang zwischen Bestandshöhe und Kosten der PPS abzuleiten.

Einen weiteren Ansatzpunkt zur Weiterentwicklung bieten Kapazitätshüllkurven [WIEN00a], auf deren Grundlage die notwendige Kapazitätsflexibilität in Bezug zur Belastung der Prozesselemente modelliert werden kann. Wenn es gelingt, die Kapazitätsflexibilität in einen quantifizierbaren Zusammenhang mit der Streuung des Bestands bei einem Produktionsprozess zu bringen und die Folgen mit Kosten zu bewerten, können detaillierte Aussagen über die Vorteilhaftigkeit von kurzzeitigen Anpassungsmaßnahmen an die Belastung getroffen werden. Dies wird im Rahmen einer effizienten Disposition der Ressource Personal zunehmend wichtiger, da diese aufgrund hoher Lohnkosten einen signifikanten Anteil an den Herstellkosten einnimmt.

Diese Arbeit beschränkte sich auf die Betrachtung interner Fertigungsprozessketten. Durch die fortschreitende Auflösung von Unternehmensgrenzen entstehen Produktionsnetzwerke und unternehmensübergreifende Lieferketten. Wird der bestehende Modellierungsansatz zur Beurteilung solcher Lieferketten eingesetzt, können signifikante Rationalisierungspotenziale in diesen Ketten erschlossen werden. In diesem Zusammenhang wird eine Ausweitung der Betrachtung auf die Beschaffung und Fremdbezugsprozesse notwendig. Durch den Aufbau eines entsprechend umfassenden Modells können Lieferketten gezielt nach wirtschaftlichen und logistischen Kriterien gestaltet werden. Ein weiteres Anwendungsfeld ist die Ableitung von Parametern zum effizienten Betrieb einer Lieferkette. Derzeit wird dies noch durch das Fehlen einfacher Werkzeuge verhindert. Durch die Entwicklung eines entsprechenden Werkzeuges sind die Auswirkungen

von Parameterveränderungen an einer Stelle der Lieferkette auf alle anderen Kettenelemente zu übertragen, um eine Gesamtwirkung beurteilen zu können.

Die Auslegung technischer Prozessketten ist ein weiteres Anwendungsfeld einer möglichen Weiterentwicklung der vorgestellten Methodik. Hierbei sind Verfahrensänderungen im Rahmen einer technischen Auslegung in ihrer Wirkung auf die logistische Kenngrößen und die Wirtschaftlichkeit zu beurteilen. Durch diese Beurteilung lassen sich bereits im Entwicklungsstadium die wirtschaftlichen Potenziale abschätzen und geplante Investitionen absichern.

8 Literatur

- ARNO95 Arnold, D.: Materialflusslehre. Vieweg Verlag, Braunschweig, Wiesbaden, 1995.
- ATKE92 A. T. Kearney: Produktivität und Qualität in der Logistik – Schlüsselfaktoren im europäischen Wettbewerb. A. T. Kearney Inc., Düsseldorf, 1992.
- BACK96 Backes, M.: Simulationsunterstützung zur zielorientierten Produktionsprozessplanung und –regelung. Dissertation Universität Mannheim. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 20, Nr. 237, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996.
- BALL85 Ballou, R.: Business Logistics Management – Planning and Control. 2. Auflage. Prentice-Hall Verlag, New Jersey, 1985.
- BAUM99 Baumgarten, H.; Darkow, I.-L.: Kundenorientierung durch Built-to-order- und Late-fit-Strategien in vernetzten Fertigungs- und Logistiksystemen. Industrie Management, Band 15 (1999), Nr. 5, 1999.
- BAUM00 Baumgarten, H.; Darkow, I.-L.: Logistikprozesse – Management von Logistikprozessen. In: Baumgarten, H.; Wiendahl, H.-P.; Zentes, J. (Hrsg.): Logistik-Management – Strategien – Konzepte – Praxisbeispiele. Springer Verlag, Berlin, 2000.
- BECH84 Bechte, W.: Steuerung der Durchlaufzeit durch belastungsorientierte Auftragsfreigabe bei Werkstattfertigung. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 70, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1984.
- BECH91 Bechte, W.: Aufbau und Realisierung des Kontroll- und Planungssystems zur Fertigungssteuerung. In: Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Anwendung der Belastungsorientierten Fertigungssteuerung. Carl Hanser Verlag, München, 1991.
- BERK96 Berkau, C.; Hirschmann, P. (Hrsg.): Kostenorientiertes Geschäftsprozessmanagement. Verlag Franz Vahlen, München, 1996.
- BIET94 Biethahn, J.; Hummeltenberg, W.; Schmidt, B.; Witte, T. (Hrsg.): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe. Vieweg Verlag, 1994.
- BOUT97 Boutellier, R.; Schuh, G.; Seghezzi H. D.: Industrielle Produktion und Kundennähe – Ein Widerspruch?. In: Schuh, G.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Komplexität und Agilität –Steckt die Produktion in der Sackgasse?. Springer Verlag, Berlin, 1997.
- BRAT99 Brath, J.: Unterstützung der Produktionsplanung in der Halbleiterfertigung durch risikoberücksichtigende Betriebskennlinien. Dissertation Universität Karlsruhe. Forschungsberichte aus den Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe, Band 93. 1999.
- BREI01 Breithaupt, J.-W.: Rückstandsorientierte Produktionsregelung von Fertigungsbereichen – Grundlagen und Anwendung. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 571, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2001.

- BRIN90 Brink, A.; Büchter, D.: Zur Berücksichtigung von Kapitalbindungskosten in ausgewählten Entscheidungsmodellen. ZfbF Band 42 (1990), Nr. 3, 1990.
- BROK98 Brokemper, A.: Strategieorientiertes Kostenmanagement. Verlag Franz Vahlen, München, 1998.
- BULL92 Bullinger, H.-J.: Innovative Produktionsstrukturen – Voraussetzungen für ein kundenorientiertes Management. In: IAO-Forum Kundenorientierte Produktion, Band T 30, 1992.
- BURM97 Burmeister, M.: Auslegung der Verbrauchssteuerung bei vernetzter Produktion. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 8, Nr. 658, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997.
- CORS94 Corsten, H. (Hrsg.): Handbuch Produktionsmanagement: Strategie – Führung – Technologie – Schnittstellen. Gabler. Wiesbaden 1994.
- CORS98 Corsten, H.; Gössinger, R. (Hrsg.): Dezentrale Produktionsplanungs- und -steuerungs-Systeme. Kohlhammer Verlag, Stuttgart, 1998.
- DUBB97 Beitz, W.; Grote, K.-H.: Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau. 19. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1997.
- EISE93 Eisele, W.: Technik des betrieblichen Rechnungswesens. 5. Auflage, Verlag Franz Vahlen, München, 1993.
- DANG92 Dangelmaier, W.: Strategien der Fertigungssteuerung im Leistungsvergleich. ZWF. Band 87, Heft 2, 1992.
- DEUT97 Deutsch, K.; Diedrichs, E.; Raster, M.; Westphal, J.: Gewinnen mit Kernkompetenzen – Die Spielregeln des Marktes neu definieren. Carl Hanser Verlag, München, 1997.
- DILL91 Dilling, U.: Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch Wirtschaftlichkeits-simulation. Dissertation Technische Universität München. IWB Forschungsberichte Band 59. Springer-Verlag, Berlin, 1991.
- DÖRB96 Dörbrandt, M.; Graf Matuschka, M.; Möllhoff, O.: Planungsunterstützung für die Beschaffungslogistik. Industrie Management, Band 12 (1996), Nr. 1, 1996.
- DOMB88 Dombrowski, U.: Qualitätssicherung im Terminwesen der Werkstattfertigung. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 159, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1988.
- DRAG94 Dräger, H.: Gesamtauftragsüberwachung in der Kleinserien- und Einzelfertigung am Beispiel des Betriebsmittelbaus. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 330, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1994.
- EHRL95 Ehrelenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung – Methoden für Prozessorganisation, Proukterstellung und Konstruktion. Carl Hanser Verlag, München, 1995.

- EVER99 Eversheim, W.; Dohms, R.; Korreck, A: Zielorientierte Erschließung von Kostenreduzierungspotentialen in der Beschaffung. Krp-Kostenrechnungspraxis. Band 43, Heft 2, 1999.
- EVER99a Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Produktion und Management Band 3, Gestaltung von Produktionssystemen. Springer-Verlag, Berlin, 1999.
- FAGR94 Fastabend, H. und Großklaus, A.: Betriebskennlinien als Controllinginstrument der Produktionslogistik. ZWF-CIM, Nr. 7/8, 1994.
- FAST94 Fastabend, H.: Controlling mehrstufiger Produktionsprozesse – Integration logistischer und betriebswirtschaftlicher Controllingansätze zur Marktorientierung der Produktionslogistik. Beitrag zum IFA-AWF-Erfahrungsforum „Innovation in der Produktionslogistik“, 12. Und 13. Sept. 1994, Queens-Hotel, Hannover, 1994.
- FAST97 Fastabend, H.: Kennliniengestützte Synchronisation von Fertigungs- und Montageprozessen. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 452, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997.
- FERK83 Ferk, H.-S.: Gemeinkosten abbauen durch Wertanalyse – Was tun? Verlag Moderne Industrie, 1983.
- FISC99 Fischer, K.: Fuzzybasierte Auftragsauswahl an Schmiedeaggregaten. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 504, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999.
- FRAN95 Franken, T.; Fastabend, H. und Nyhuis, P.: Logistische Positionierung des Betriebsmittelbaus – Logistische Beurteilung und Methodik zur betriebswirtschaftlichen Positionierung des Betriebsmittelbaus mit Hilfe von Betriebskennlinien. Beitrag zum SFB 300-Seminar, Werkzeug und Formenbau, 12.9.1995 in Hannover.
- FREY97 Freye, D.: Reihenfolgeplanung in einem variantenreichen Fließfertigungssystem: Ein qualitativer Ansatz aus der Automobilindustrie. Dissertation Universität Göttingen. Cuvillier Verlag, Göttingen, 1997.
- FRIE94 Friedl, B: Kostenorientierte Einflussnahme auf die Produktionsplanung und –steuerung als Aufgabe des Kostenmanagement. In: Corsten, H. (Hrsg.): Handbuch Produktionsmanagement: Strategie – Führung – Technologie – Schnittstellen. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1994.
- FROM92 Fromm, H.: Das Management von Zeit und Variabilität in Geschäftsprozessen. CIM-Management, Heft 5, 1992.
- GAUS00 Gausemeier, J; Lindemann, U.; Reinhart, G.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Kooperatives Produktengineering. Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens. HNI-Verlagschriftenreihe, Bd. 79, Paderborn, 2000.

- GLÄS94 Gläßner, J.: Modellgestütztes Controlling der beschaffungslogistischen Prozesskette. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 337, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1994.
- GREI97 Greiling, M.: Verbesserung der Produktionslogistik durch Losgrößenharmonisierung – Ein bedientheoretisch basierter Ansatz. Wissenschaftliche Berichte des Institutes für Fördertechnik und Logistiksysteme der Universität Karlsruhe. Karlsruhe. 1997.
- GROS96 Großklaus, A.: Ablauforientierte Produktionslogistik. Dissertation Wissenschaftliche Hochschule für Unternehmensführung – Otto-Beisheim Hochschule. Gabler Verlag, Deutscher Universitätsverlag Wiesbaden 1996.
- GUEN94 Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.: Produktion und Logistik. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1994.
- GUTE83 Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre – Erster Band: Die Produktion, 24. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1983.
- HAAR94 Haarmann, C.: Kosteninformation durch Simulation. Peter Lang Verlag, Frankfurt a. M., 1994.
- HEIS78 Heiserich, O.-E.: Arbeitswissenschaftliche Methoden in Kostenrechnung und Kostenplanung. Erich Schmidt Verlag, 1978.
- HERT72 Herterich, K., W.: Kosten-Management – Ein Handbuch für die Praxis. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1972.
- HOLL81 Hollander, R.: Zur Losgrößenplanung bei mehrstufigen Produktionsprozessen. Vandenhoeck & Ruprecht Verlag, Göttingen, 1981.
- HOLZ87 Holzkämper, R.: Kontrolle und Diagnose des Fertigungsablaufs. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 131, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1987.
- HOPP96 Hopp, W. J.; Spearman, M. L.: Factory Physics – Foundations of Manufacturing Management. Irwin Verlag, Chicago, 1996.
- HORV93 Horváth, P. ; Mayer, R.: Prozesskostenrechnung – Konzeption und Entwicklungen. Krp-Kostenrechnungspraxis, Sonderheft Nr. 2, 1993.
- HORV99 Horváth, P.; Brokemper, A.: Prozesskostenrechnung als Logistikkostenrechnung. In: Weber, J.; Baumgarten, H. (Hrsg.): Handbuch Logistik – Management von Material- und Warenflussprozessen, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1999.
- JAEG00 Jäger, M.: Kennliniengestützte Parametereinstellung von PPS-Systemen. Dissertation Universität Hannover. Elektronische Veröffentlichung. Universitätsbibliothek u. Technische Informationsbibliothek, Hannover, 2000.

- JAIN93 Jainczyk, M.: Logistikorientierte Bewertung von Investitionsvorhaben im Produktionsbereich. In Wiendahl, H.-P.: Neue Wege der PPS, Tagungsbericht IFA-Kolloquium. Gesellschaft für Management und Technologie 1993.
- KAMI99 Kaminsky, A.: Marktorientierte Logistikplanung – Planungsprozess und analytisches Instrumentarium. In: Weber, J.; Baumgarten, H. (Hrsg.): Handbuch Logistik – Management von Material- und Warenflussprozessen, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1999.
- KANI99 Kanitz, F; Kerner, A.: Beherrschen der Komplexität ermöglicht Durchlaufzeitverkürzung. Maschinenmarkt, Band 105 (1999), Nr. 38, 1999.
- KAPL97 Kaplan, R.; Norton, P.: Balanced Scorecard – Strategien erfolgreich umsetzen. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1997.
- KILG93 Kilger, W.: Flexible Plankostenrechnung und Deckungsbeitragsrechnung. 10. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden 1993.
- KLUG94 Klug, F.: Kostenintegrierte Simulation als betriebswirtschaftliches Bewertungsverfahren fertigungswirtschaftlicher Systeme. In: Kampe, G.; Zeitz, M. (Hrsg.): Simulationstechnik, Tagungsband zum 9. Symposium, Stuttgart, Vieweg Verlag, Wiesbaden, 1994.
- KRIP75 Krippendorf, H.: Die Materialflusskosten: Die Erfassung der betrieblichen Transport- und Lagerungskosten. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1975.
- KUHN95 Kuhn, A.: Prozessketten in der Logistik: Entwicklungstrends und Umsetzungsstrategien. Praxiswissen Verlag, Dortmund, 1995.
- KUHN98 Kuhn, A.; Rabe M.: PPS-Systeme. Simulation in Produktion und Logistik – Fallbeispielsammlung. Springer Verlag, Berlin, 1994.
- KUMM99 Kummer, S.: Berücksichtigung der Logistik in der Unternehmensführung. In: Weber, J.; Baumgarten, H.: Handbuch Logistik – Management von Material- und Warenflussprozessen. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1999.
- KURB95 Kurbel, K.: Produktionsplanung- und steuerung: methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen. 2. Auflage, Oldenbourg Verlag, München, 1995.
- LOED00 Lödding, H.; Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.: Durchlaufzeitcontrolling mit dem logistischen Ressourcenportfolio. ZWF, Band 95 (2000), Nr. 1-2, 2000.
- LORE96 Lorenzen, J.: Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen. Dissertation Technische Universität München, München, 1996.
- LUCZ97 Luczak, H.; Fricker, A.: Komplexitätsmanagement – ein Mittel der strategischen Unternehmensgestaltung. In: Schuh, G.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Komplexität und Agilität –Steckt die Produktion in der Sackgasse?. Springer Verlag, Berlin, 1997.

- LUCZ98 Luczak, H; Eversheim, W (Hrsg.): Produktionsplanung und steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. Springer Verlag, Berlin, 1998.
- LUDW94 Ludwig, E.: Modellgestützte Diagnose logistischer Produktionsabläufe. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 362, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1994.
- MÄNN95 Männel, W.: Ziele und Aufgabenfelder des Kostenmanagements. In: Reichmann, T. (Hrsg.): Handbuch Kosten- und Erfolgs-Controlling, Verlag Vahlen, München, 1995.
- MAYE98 Mayer, R.: Kapazitätskostenrechnung. Verlag Franz Vahlen, München, 1998.
- MAYE99 Mayer, S.: Erfolgsfaktoren für Supply Chain Management nach der Jahrtausendwende. In: Pfohl, C. (Hrsg.): Logistik 2000 plus – Visionen – Märkte, Ressourcen. 14. Fachtagung der Deutschen Gesellschaft für Logistik e.V., Darmstadt, 1. Juni 1999.
- MEIE93 Meier, K.-J.: Aualstung contra Durchlaufzeit. ZWF, Band 88, Nr. 2, 1993.
- MEIE95 Meier, K.-J.: Bestandsoptimierung durch Fertigungsablaufsimulation. ZWF. Band 90, Nr. 4, 1995.
- MEIE96 Meier, K.-J.: Gesamtheitliche Erfolgsbeurteilung von Produktionsstrukturplanungen. Dissertation Hochschule der Bundeswehr, München . Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 16 Nr. 87, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996.
- MEIE99 Meier, K.-J.: Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit durch eine marktgerechte Produktionsplanung. ZWF. Band 94, Nr. 1-2, 1999.
- MICH89 Michel, R.; Torspecken, H.-D.: Grundlagen der Kostenrechnung – Kostenrechnung I, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 1989.
- MICH98 Michel, R.; Torspecken, H.-D.: Neuere Formen der Kostenrechnung mit Prozesskostenrechnung – Kostenrechnung 2. 4. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 1998.
- MILB98 Milberg, J.; Reinhart, G.: Ablaufsimulation: Anlagen effizient und sicher planen und betreiben. Seminarberichte / Iwb, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, Nr. 35, 1998.
- MÖLL96 Möller, J.: Kennliniengestützte Auslegung von Fabrikstrukturen. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 389, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996.
- MUEL93 Müller, S.: Entwicklung einer Methode zur prozessorientierten Reorganisation der technischen Auftragsabwicklung komplexer Produkte. Dissertation RWTH Aachen. Berichte aus der Produktionstechnik Band 1/93. Shaker Verlag, Aachen, 1993.

- MUTZ96 Mutzke, H.; Strugalla, R.: Simulationsgestützte Planung einer Elektronikfertigung. ZWF Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung. Band 91, Nr. 1-2, 1996.
- NYHF91 Nyhuis, F.: Ein Kontroll- und Analysesystem für die Auftragsabwicklung in der Produktion. In: Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Anwendung der Belastungsorientierten Fertigungssteuerung. Carl Hanser Verlag, München, 1991.
- NYHU91 Nyhuis, P.: Durchlauforientierte Losgrößenbestimmung. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 225, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1991.
- NYHU96a Nyhuis, P.: Modelle zum Reengineering von Prozessketten. In: Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Dezentrale Produktionsstrukturen. Techno-Transfer, 1996.
- NYHU96b Nyhuis, P.: Lagerkennlinien – ein Modellansatz zur Unterstützung des Beschaffungs- und Bestandscontrollings. RKW-Handbuch. HLO, 22 Lfg. VI/96, Erich-Schmidt Verlag GmbH, Berlin, 1996.
- NYWI99 Nyhuis, P.; Wiendahl, H.-P.: Logistische Kennlinien – Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen. Springer Verlag, Berlin, 1999.
- PENZ96 Penz, T.: Wechselwirkungen technischer und logistischer Produktionsprozesse und ihre Auswirkungen auf das Qualitätsmanagement. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 20 Nr. 232, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996.
- PERR93 Perridon, L.; Steiner, M.: Finanzwirtschaft der Unternehmung. 7. Auflage, Verlag Vahlen, München, 1993.
- PFOH91 Pfohl, H.-C.; Zöllner, W.: Effizienzmessung der Logistik. DBW 51 (1991) Nr. 3, 1991.
- PFOH99 Pfohl ; H.-C.; Koldau, A.: Auswirkungen des Electronic Commerce auf die Logistik. Industrie Management, Band 15 (1999), Nr. 5, 1999.
- PFOH00 Pfohl, H.-C.; Jünemann, R.: Logistiksysteme: betriebswirtschaftliche Grundlagen. 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2000.
- PORT99 Porter, M. E.: Wettbewerbsvorteile: Spitzenleistungen erreichen und behaupten. 5. Auflage, Campus Verlag, Frankfurt a. M., 1999.
- RAA91 Raasch, J.: Systementwicklung mit strukturierten Methoden. Carl Hanser Verlag, München, 1991.
- RALL98 Rall, B.: Analyse und Dimensionierung von Materialflußsystemen mittels geschlossener Warteschlangennetze. Wissenschaftliche Berichte des Institutes für Förder-technik und Logistiksysteme der Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 1998.
- RICK90 Rickert, M.: Marktgerechte Gestaltung der Produktionsorganisation. Dissertation Universität Dortmund. Verlag TÜV Rheinland, 1990.

- REIC87 Reichle, A.: Das Rechnen mit Maschinenstundensätzen. 6.Auflage, Maschinenbau-Verlag, Frankfurt, 1987.
- REIC95 Reichmann, T.: Controlling mit Kennzahlen und Managementberichten. 4. Auflage, Verlag Franz Vahlen, München, 1995.
- REIN99 Reiners, F.; Sasse A.: Komplexitätskostenmanagement. Krp-Kostenrechnungspraxis. Band 43, Heft 4, 1999.
- REIN00 Reinsch, S.; Kerner, A.: Simulation steigert die Leistung der Logistik in der Produktion. Maschinenmarkt, Nr. 25, 2000.
- REIH99 Reinhard, W.: Wirtschaftliche Rechtfertigung von Rationalisierungsentscheidungen. In: Dokumentation des Öffentlichen Diskurses „Beschäftigungsförderliche Rationalisierung“ am 1. Juli `99 in Hannover. Hannover, 1999
- RENN91 Renner, A.: Kostenorientierte Produktionssteuerung. Verlag Vahlen, München, 1991.
- RINN00 Rinn, A.: Koordinierung von Produktionsengpässen auf Basis der Leistungsratenvereinbarung. Dissertation Universität Karlsruhe. Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe. Band 24-2000. Shaker Verlag, Aachen, 2000.
- ROMM95 Rommel, G.: Qualität gewinnt – Mit Hochleistungskultur und Kundennutzen an die Weltspitze. McKinsey & Company Inc. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1995.
- ROTH76 Roth, E.: Wirtschaftliche Losgröße in der Praxis – Anleitung zur Ermittlung der Basisdaten. Girardet Verlag, Essen, 1976.
- RUTA99 Ruta, A.: Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse FMEA für die Produktionslogistik. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2 Nr. 518, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999.
- SCHÄ97 Schäfer-Kunz, J.: Perspektiven der simulationsgestützten Kostenrechnung. Krp-Kostenrechnungspraxis. Band 41, Heft 5, 1997.
- SCHEE98 Scheer, A.-W.: ARIS – Vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1998.
- SCHM91 Schmolke, S.; Deitermann, M.: Industrielles Rechnungswesen IKR – Einführung und Praxis. 16. Auflage, Winklers Verlag, Darmstadt, 1991.
- SCHM96 Schmidt, B.: Integration von Arbeitsplanung und Fertigungssteuerung mit Netzarbeitsplänen. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 20, Nr. 226, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996.
- SCHM00 Schmidt, B.; Kerner, A.: Vom Zeitwettbewerb zum Quick Response Manufacturing. ZWF, Band 95 (2000), Nr. 1-2, 2000.

- SCHO95 Scholtissek, P.: Simulationsprüfstand für Logistikkonzepte der Produktion. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 377, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1995.
- SCHU95 Schulte, C.: Logistik – Wege zur Optimierung des Material- und Informationsflusses. 2. Auflage. Verlag Franz Vahlen, München, 1995.
- SCHU97 Schuh, G.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Komplexität und Agilität: Steckt die Produktion in der Sackgasse?. Springer Verlag, Berlin, 1997.
- SCHW95 Schwarze, J.: Systementwicklung: Grundzüge der wirtschaftlichen Planung, Entwicklung und Einführung von Informationssystemen. Verlag Neue Wirtschafts Briefe, Herne, 1995.
- STOR81 Storp, H.: Ablaufplanung und Kostenvergleichsrechnungen für veränderte Arbeitsstrukturen der Massenproduktion. Dissertation Universität Hannover. Hannemann Verlag, Husum, 1981.
- STRI00 Strigl, T.: Bewertung der Logistikeffizienz von Produktionsunternehmen durch datenbankgestütztes Benchmarking. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 567, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2000.
- STRU94 Strugalla, R.: Prozesskostensimulation – Ein wichtiger Schritt zur besseren Entscheidungsfindung. ZWF, Band 89 (1994), Nr. 12, 1994.
- STRU96 Strugalla, R.; Mutzke, H.: Simulationsgestützte Planung einer Elektronikfertigung. ZWF, Band 89 (1996), Nr. 12, 1996.
- SURI98 Suri, R.: Quick Response Manufacturing – A Companywide Approach to Reducing Lead Times. Productivity Press, Portland, 1998.
- SYSK90 Syska, A.: Kennzahlen für die Logistik – Entwicklung einer Vorgehensweise zur Bildung von betriebsspezifischen Logistik-Kennzahlensystemen. Springer Verlag, Heidelberg, 1990.
- TRAC97 Tracht, T.: Auditierung der Produktionsplanung und –steuerung. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 430, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997.
- TRAC00 Tracht, T.: Logistikaudit – Bewertung eines Logistiksystems. In: Baumgarten, H.; Wiendahl, H.-P.; Zentes, J. (Hrsg.): Logistik-Management – Strategien – Konzepte – Praxisbeispiele. Springer Verlag, Berlin, 2000.
- TEMP92 Tempelmeier, H.: Material-Logistik: Grundlagen der Bedarfs- und Losgrößenplanung in PPS-Systemen. 2. Auflage. Springer Verlag, Berlin, 1992.
- ULLM93 Ullmann, W.: Controlling logistischer Produktionsabläufe am Beispiel des Fertigungsbereichs. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 311, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1993.

- URBA00 Urban, G.: Logistikfunktionen – Kernaufgaben der Logistik. In: Baumgarten, H.; Wiendahl, H.-P.; Zentes, J. (Hrsg.): Logistik-Management – Strategien – Konzepte – Praxisbeispiele. Springer Verlag, Berlin, 2000.
- VDI96 VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik (Hrsg.): Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. VDI-Richtlinie 3633, Blatt 1, 1996.
- VDI98 VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik (Hrsg.): Die Kosten des Materialflusses. VDI-Richtlinie 3330 – Entwurf. Beuth Verlag, Berlin, 1998.
- VDIB00 VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik (Hrsg.): Logistikkennzahlen für die Beschaffung – Entwurf. Beuth Verlag, Berlin, 2000.
- VDIP00 VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik (Hrsg.): Logistikkennzahlen für die Produktion – Entwurf. Beuth Verlag, Berlin, 2000.
- VOLL00 Vollmer, L.: Agentenbasiertes Auftragsmanagement mit Hilfe von Preis-Liefertermin-Relationen. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 16, Nr. 119, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2000.
- WAHL97 Wahlers, T.: Modellgestützte Analyse und Verbesserung der logistischen Merkmale komplexer Serienprodukte. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 475, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997.
- WARN80 Warnecke, H.-J.: Untersuchungen des Kostenverhaltens von Materialfußsystemen der 2. und 3. Ordnung mit Simulation und Planung und Analyse diskontinuierlicher, innerbetrieblicher Materialflussprozesse mit Simulation. DFG-Abschlußbericht, IPA Stuttgart, Stuttgart, 1980.
- WASS96 Wassermann, O.: Das intelligente Unternehmen – Mit dem Y-Management gewinnen. VDI-Verlag, 2. Auflage, 1996.
- WEBE87 Weber, J.: Logistikkostenrechnung. Springer Verlag, Berlin, 1987.
- WEBE95 Weber, J.: Logistik-Controlling. Schäffer-Poeschel Verlag, 4. Auflage, Stuttgart, 1995.
- WEBE99 Weber, J.: Stand, Aufgaben und Gestaltung der Kostenrechnung für die Logistik. In: Weber, J.; Baumgarten, H. (Hrsg.): Handbuch Logistik – Management von Material- und Warenflussprozessen, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1999.
- WEDV89 Von Wedemeyer, H.-G.: Entscheidungsunterstützung in der Fertigungssteuerung mit Hilfe der Simulation. Dissertation Universität Hannover. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 176, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1989.
- WIEN94 Wiendahl, H.-P.; Penz, T.: Technisches und logistisches Qualitätsmanagement – Eine Bestandaufnahme in deutschen Unternehmen. Fortschrittliche Betriebsführung und Industrial Engineering (FBIE), Band 43, Nr. 1, 1994.

- WIEN96a Wiendahl, H.-P.; Dräger, H.; Franken, T.; Fastabend, H.: Überwachung und logistische Positionierung von Prozessketten auf der Basis von Kosten-Durchlaufdiagrammen und Kennlinientechniken. In: Berkau, C. u.a. (Hrsg.): Kostenorientiertes Geschäftsprozessmanagement. Verlag Vahlen, München, 1996.
- WIEN96b Wiendahl, H.-P.: Erfolgsfaktor Logistikqualität. Springer-Verlag, Berlin, 1996.
- WIEN96c Wiendahl, H.-P.; Kuhn, A.; u.a.: Kooperatives Management in wandelbaren Produktionsnetzen, Industrie Management, Band 12, Heft 6, 1996.
- WIEN97a Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure. 4. Auflage, Hanser-Verlag, München, 1997
- WIEN97b Wiendahl, H.-P.: Fertigungsregelung: Logistische Beherrschung von Fertigungsabläufen auf Basis des Trichtermodells. Hanser-Verlag, München/Wien, 1997.
- WIEN98a Wiendahl, H.-P.; Lödding, H.: Vorbild Trichtermodell, Logistik Heute, Heft 11, 1998.
- WIEN98b Wiendahl, H.-P.; Breithaupt, J.-W.: Kapazitätshüllkurven – Darstellung flexibler Kapazitäten mit einem einfachen Beschreibungsmodell. Industrie Management, Band 14, Nr. 4, 1998.
- WIEN98c Wiendahl, H.-P.; Nyhuis, P.: Engpassorientierte Logistikanalyse – Methoden zur kurzfristigen Leistungssteigerung in Produktionsprozessen. Transfer-Centrum GmbH, München, 1998.
- WIEN98d Wiendahl, H.-P., Tracht, T.; Kerner, A.: Logistikorientierte Planung und Steuerung der Stahlverarbeitung. Logistik im Unternehmen, Band 8 (1998), Nr. 9., 1998.
- WIEN00a Wiendahl H.-P.; Breithaupt, J.-W.; Hernández, R.: Logistische Rationalisierungspotentiale mittels flexibler Kapazitäten erschließen. Wt Werkstattstechnik, Band 90, Nr. 4, 2000.
- WIEN00b Wiendahl, H.-P.; Luczak, H.: Logistik-Benchmarking, Springer Verlag, Berlin, 2000.
- WIEN00c Wiendahl, H.-P.; Lödding H.; Egli, J.: Transportprozesse mit logistischen Kennlinien gestalten und bewerten. PPS Management, Band 5, Nr. 4, 2000.
- WIEN00d Wiendahl, H.-P.; Harms, T.; Vollmer, L.: Preis-Liefertermin-Relation – Ein Verhandlungswerkzeug für das dezentrale Auftragsmanagement. ZWF, Band 95 (2000), Nr. 3, 2000.
- WIEN00e Wiendahl, H.-P.: Simulation und Monitoring – Monitoringsysteme zur Interpretation von Simulationsergebnissen. ZWF, Band 95 (2000), Nr. 10, 2000.
- WILD97 Wildemann, H.: Fertigungsstrategien: Reorganisationskonzepte für eine schlanke Produktion und Zulieferung. 3. Auflage, TCW Verlag, München, 1997.

- WÖHE93 Wöhe, G.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. 18. Auflage. Verlag Vahlen, München, 1993.
- YU01 Yu, K.-W.: Terminkennlinie – Eine Beschreibungsmethodik für die Terminabweichung im Produktionsbereich. Noch nicht veröffentlichte Dissertation der Universität Hannover. 2001.