

Logistikrelevante Lösungen auf der Basis von Lean-Management bei kleinen Losgrößen und hoher Variantenvielfalt

Von der Fakultät für Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von
Dipl.-Wi.-Ing. Christian Reuter
aus Kaiserslautern

Hauptberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. mult.
Engelbert Westkämper
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dieter Spath
Tag der mündlichen Prüfung: 19. Mai 2009

IPA-IAO Forschung und Praxis

Berichte aus dem
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und
Automatisierung (IPA), Stuttgart,
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und
Organisation (IAO), Stuttgart,
Institut für Industrielle Fertigung und
Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart
und Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper
und


Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dieter Spath

 Universität
if Stuttgart
Institut für Industrielle
Fertigung und Fabrikbetrieb

 **Fraunhofer** Institut
Produktionstechnik und
Automatisierung

Christian Reuter



Logistikrelevante Lösungen auf der Basis von Lean-Management bei kleinen Losgrößen und hoher Variantenvielfalt

Nr. 487

JUST-JETTER VERLAG
Fachverlag · 71296 Heimsheim

Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Christian Reuter

Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E.h. mult. Dr. h.c. mult. Hans-Jörg Bullinger

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, München

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dieter Spath

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

D 93

ISBN (10) 3-939890-48-0, ISBN (13) 978-3-939890-48-5

Jost Jetter Verlag, Heimsheim

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Jost-Jetter Verlag, Heimsheim 2009.

Printed in Germany.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Druck: printsystem GmbH, Heimsheim

Geleitwort der Herausgeber

Über den Erfolg und das Bestehen von Unternehmen in einer marktwirtschaftlichen Ordnung entscheidet letztendlich der Absatzmarkt. Das bedeutet, möglichst frühzeitig absatzmarktorientierte Anforderungen sowie deren Veränderungen zu erkennen und darauf zu reagieren.

Neue Technologien und Werkstoffe ermöglichen neue Produkte und eröffnen neue Märkte. Die neuen Produktions- und Informationstechnologien verwandeln signifikant und nachhaltig unsere industrielle Arbeitswelt. Politische und gesellschaftliche Veränderungen signalisieren und begleiten dabei einen Wertewandel, der auch in unseren Industriebetrieben deutlichen Niederschlag findet.

Die Aufgaben des Produktionsmanagements sind vielfältiger und anspruchsvoller geworden. Die Integration des europäischen Marktes, die Globalisierung vieler Industrien, die zunehmende Innovationsgeschwindigkeit, die Entwicklung zur Freizeitgesellschaft und die übergreifenden ökologischen und sozialen Probleme, zu deren Lösung die Wirtschaft ihren Beitrag leisten muss, erfordern von den Führungskräften erweiterte Perspektiven und Antworten, die über den Fokus traditionellen Produktionsmanagements deutlich hinausgehen.

Neue Formen der Arbeitsorganisation im indirekten und direkten Bereich sind heute schon feste Bestandteile innovativer Unternehmen. Die Entkopplung der Arbeitszeit von der Betriebszeit, integrierte Planungsansätze sowie der Aufbau dezentraler Strukturen sind nur einige der Konzepte, welche die aktuellen Entwicklungsrichtungen kennzeichnen. Erfreulich ist der Trend, immer mehr den Menschen in den Mittelpunkt der Arbeitsgestaltung zu stellen - die traditionell eher technokratisch akzentuierten Ansätze weichen einer stärkeren Human- und Organisationsorientierung. Qualifizierungsprogramme, Training und andere Formen der Mitarbeiterentwicklung gewinnen als Differenzierungsmerkmal und als Zukunftsinvestition in *Human Resources* an strategischer Bedeutung.

Von wissenschaftlicher Seite muss dieses Bemühen durch die Entwicklung von Methoden und Vorgehensweisen zur systematischen Analyse und Verbesserung des Systems Produktionsbetrieb einschließlich der erforderlichen Dienstleistungsfunktionen unterstützt werden. Die Ingenieure sind hier gefordert, in enger Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen, z. B. der Informatik, der Wirtschaftswissenschaften und der Arbeitswissenschaft, Lösungen zu erarbeiten, die den veränderten Randbedingungen Rechnung tragen.

Die von den Herausgebern langjährig geleiteten Institute, das

- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA),
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO),
- Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart,
- Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

arbeiten in grundlegender und angewandter Forschung intensiv an den oben aufgezeigten Entwicklungen mit. Die Ausstattung der Labors und die Qualifikation der Mitarbeiter haben bereits in der Vergangenheit zu Forschungsergebnissen geführt, die für die Praxis von großem Wert waren. Zur Umsetzung gewonnener Erkenntnisse wird die Schriftenreihe „IPA-IAO - Forschung und Praxis“ herausgegeben. Der vorliegende Band setzt diese Reihe fort. Eine Übersicht über bisher erschienene Titel wird am Schluss dieses Buches gegeben.

Dem Verfasser sei für die geleistete Arbeit gedankt, dem Jost Jetter Verlag für die Aufnahme dieser Schriftenreihe in seine Angebotspalette und der Druckerei für saubere und zügige Ausführung. Möge das Buch von der Fachwelt gut aufgenommen werden.

Engelbert Westkämper Hans-Jörg Bullinger Dieter Spath

Vorwort des Autors

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Berater der Porsche Consulting GmbH in Stuttgart sowie als Bereichsleiter und Geschäftsführer der fischerwerke Artur Fischer GmbH & Co. KG in Waldachtal-Tumlingen in den Jahren 2002 bis 2007.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. mult. Engelbert Westkämper, dem Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) und des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart, für die Begleitung und wohlwollende Förderung der Arbeit sowie für die Übernahme des Hauptberichts.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dieter Spath, dem Leiter des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) und des Instituts für Arbeitswissenschaften und Technologiemanagement (IAT) der Universität Stuttgart danke ich für die Übernahme des Mitberichts.

Darüber hinaus möchte ich mich ganz besonders bei Herrn Professor E. h. Senator E. h. Dipl.-Ing. (FH) Klaus Fischer für die Möglichkeit bedanken, diese Arbeit im Rahmen meiner Tätigkeit bei der fischerwerke Artur Fischer GmbH & Co. KG realisieren zu dürfen.

Des Weiteren möchte ich den Kolleginnen und Kollegen bei fischer, die über die tägliche Zusammenarbeit direkt oder indirekt zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, danken. Insbesondere danke ich Herrn Dipl.-Ing. Claus Mahler und Frau cand. math. Agnieszka Polewka für die angeregten Diskussionen, die wir gemeinsam in zahlreichen Abendstunden geführt haben.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir meine Ausbildung ermöglicht und mich zur Erstellung dieser Arbeit ermuntert haben. Meiner Frau Anja möchte ich für die Geduld danken, die sie mir an vielen Wochenenden und gemeinsamen Abenden entgegengebracht hat. Ihr sei diese Arbeit gewidmet.

Heppenheim, im Mai 2009



Christian Reuter

Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung	18
2	Festlegung des Untersuchungsbereichs	20
2.1	System- und Modellbegriff.....	20
2.2	Definition des Begriffs Logistik.....	22
2.3	Abgrenzung eines Logistiksystems unter institutionellen und funktionellen Gesichtspunkten	23
2.4	Transportsysteme.....	25
2.5	Lagerlogistik.....	31
2.6	Definition Produktionssystem.....	35
2.7	Abgrenzung Produktionstyp	36
3	Stand der Technik	39
3.1	Das JIT-Produktionssystem.....	39
3.2	Logistik im Rahmen des JIT-Produktionssystems.....	42
3.2.1	Außerbetrieblicher Routenverkehr	42
3.2.2	Innerbetrieblicher Routenverkehr und Feinlogistik.....	44
3.2.3	Direktbelieferung von Produktionslinien	46
3.2.4	Einsatz von Förderhilfsmitteln	46
3.2.5	Produktionsplanung und Steuerung	47
4	Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit	51
5	Konzept und Merkmale eines schlanken Logistiksystems	54
5.1	Einordnung der Logistik im Rahmen eines schlanken Unternehmens	54
5.2	Managementsystem und Informationsflüsse.....	55
5.3	Distributionslogistik.....	60
5.4	Produktionslogistik.....	63
5.5	Beschaffungslogistik.....	66
6	Homomorphes Modell zur Darstellung der Wirkweise der Verkleinerung von Losgrößen in einem mechanisierten Lager	72
6.1	Modellierung eines mechanisierten Lagers.....	72
6.1.1	Grundsätzliche Überlegungen	73
6.1.2	Wareneingang.....	83
6.1.3	Nachfüllprozess zwischen Reservelager und Kommissionierung.....	85
6.1.4	Kommissionierung.....	94
6.2	Wirkweise und Grenzwertbetrachtungen der Weitergabe kleinerer Losgrößen.....	96

6.2.1	Wareneingang.....	96
6.2.2	Nachfüllprozess zwischen Reservelager und Kommissionierung.....	98
6.2.3	Kommissionierung.....	103
6.2.4	Gesamtprozess eines Lagers.....	105
6.3	<i>Ausgewählte JIT-Methoden in der Lagerlogistik und Wirkweise auf die Weitergabe kleiner Losgrößen.....</i>	<i>119</i>
6.4	<i>Sonderfall: Die kleinste Verkaufseinheit ist gleich dem maximalen Anliefervolumen</i>	<i>126</i>
7	Realisierung und erzielte Ergebnisse	128
7.1	<i>Umsetzung eines schlanken Logistiksystems am Beispiel der fischer Befestigungssysteme.....</i>	<i>128</i>
7.2	<i>Berechnungsfunktion der Lagerlosgröße am Beispiel GDC Tunlingen</i>	<i>139</i>
7.3	<i>Erzielte Ergebnisse.....</i>	<i>149</i>
8	Zusammenfassung und Ausblick	152
9	Management Summary	155
10	Literatur.....	157

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Prozessdarstellung der logistischen Kette [THA-03, S. 44]	24
Abbildung 2-2: Zielgrößen eines innerbetrieblichen Transportsystems [WEB-87, S. 13]	26
Abbildung 2-3: Übersicht der Fördermittel [SCH-05, S. 154]	27
Abbildung 2-4: Kostenarten im Transportwesen [FIS-04, S. 55]	28
Abbildung 2-5: Lagerhausbereiche [PFO-04, S. 130]	32
Abbildung 2-6: Kommissionierarten [SCH-05, S. 253]	33
Abbildung 2-7: Typische Lagerhaltungskosten [THA-03, S. 215]	34
Abbildung 2-8: Elemente eines Produktionssystems [WES-06a, S. 195]	36
Abbildung 2-9: Eine Systematisierung von Fertigungstypen [WÖH-96, S. 557]	37
Abbildung 2-10: Beispielhafte Charakterisierung der variantenreichen Serienproduktion [DÜR-01, S. 20-22]	38
Abbildung 3-1: Das Toyota-Produktionssystem [SPA-03, S. 194]	40
Abbildung 3-2: Methoden zur Einführung der „Schlanken Produktion“ [SCH-05a, S. 3]	41
Abbildung 3-3: „Milk run“ ersetzt sortenreine Direktverkehre [BAU-04, S. 132] [SPA-03, S. 211] [TAK-02, S. 91] [TAK-96, S. 179]	43
Abbildung 3-4: Erweiterung des Routenverkehrs [BAU-04, S. 137ff]	44
Abbildung 3-5: Routenzug in der Produktion [BAU-04, S. 113] [TAK-96, S. 191/192]	45
Abbildung 3-6: Entwicklungsstufen des Material- und Teilemanagements [TAK-96, S. 174]	46
Abbildung 3-7: Schiebende Produktion [TAK-96, S. 125]	48
Abbildung 3-8: Nachfüllende Produktion [TAK-96, S. 125]	49
Abbildung 3-9: Lösungsansätze für die Behandlung von Schwankungen [BRU-06, S. 105]	50
Abbildung 4-1: Bisherige Verankerung der Logistik im Toyota-Produktionssystem	51
Abbildung 4-2: Schlanke Logistik als eigenständige Säule eines JIT-Produktionssystems	52
Abbildung 4-3: Fließ-Prinzip in einem mechanisierten Lager als Betrachtungsbereich	53
Abbildung 5-1: Methoden eines schlanken Logistiksystems	55
Abbildung 5-2: Direkte Verkettung reduziert Komplexität	56
Abbildung 5-3: Kombinierte Steuerung [REC-07, S. 82]	57
Abbildung 5-4: Die Informationstechnologie folgt dem Prozess	58
Abbildung 5-5: Zugangs-/Abgangs-/Bestandsdiagramm [REC-07, S. 84]	59
Abbildung 5-6: Zielpyramide und Zielgrößen	59
Abbildung 5-7: Realisierung einer schlanken Distributionsstruktur	60
Abbildung 5-8: Optimierung der Bedarfsmeldung	61
Abbildung 5-9: Erzeugung hoher Pickdichten	61
Abbildung 5-10: Kommissionierung in U-Linien	62
Abbildung 5-11: Abhängigkeit von Layout und Art der Materialbereitstellung (schematisch)	63
Abbildung 5-12: Kommissionierung mit Symbolen, Farben und Formschlüssen	64
Abbildung 5-13: Vergleich Gabelstapler und Rundverkehr	65
Abbildung 5-14: Vergleich: Mitarbeitergelenkter Rundverkehr - FTS	66
Abbildung 5-15: Entwicklungsstufen zur Direktanlieferung	66
Abbildung 5-16: Taktung des Wareneingangs	67
Abbildung 5-17: A/B-Preis-Konzept [REC-01, S. 66]	68
Abbildung 5-18: Erweitertes A/B-Preis-Konzept	68
Abbildung 5-19: Automatisierte Bestellabwicklung	69
Abbildung 5-20: Das Q-/K-/L/M-Dreieck (Auszug)	70
Abbildung 5-21: Instrumente der Lieferantenanbindung	70
Abbildung 5-22: Erfolgsfaktoren einer JIT-gerechten Lieferantenanbindung	71
Abbildung 6-1: Anzahl der Verkaufseinheiten eines Artikels i (n_i) auf einer Palette	74
Abbildung 6-2: Abbildung der Lagerlosgröße als Volumen	74

Abbildung 6-3: Verhältnis einer Verkaufseinheit zweier Artikel zur Lagerlosgröße (V^L)	75
Abbildung 6-4: Anzahl der Lagerlose auf einem Förderhilfsmittel	75
Abbildung 6-5: Grundaufbau eines Regals	76
Abbildung 6-6: Grundaufbau einer Regalf frontfläche mit Verlustfaktoren	77
Abbildung 6-7: Verhältnis der Regallänge zur Länge der Lagerlosgröße	77
Abbildung 6-8: Anzahl der Lagerlose in Abhängigkeit vom Regalfach	78
Abbildung 6-9: Grundaufbau der Regalbreite (B_R)	79
Abbildung 6-10: Grundaufbau der Regalhöhe (H_R)	80
Abbildung 6-11: Materialfluss im Wareneingang	83
Abbildung 6-12: Prozesse im Nachfüllvorgang	85
Abbildung 6-13: Nachschubfahrt im Nachfüllprozess	86
Abbildung 6-14: Befüllprozess des Kommissionierplatzes	87
Abbildung 6-15: Zwischenlagern am Reserveplatz	89
Abbildung 6-16: Darstellung einer Leerpalettenfahrt	90
Abbildung 6-17: Darstellung einer Rückfahrt	91
Abbildung 6-18: Der Kommissionierprozess	94
Abbildung 6-19: Abbildung der Bewegungszeit im Kommissionierprozess	95
Abbildung 6-20: Übersicht der zu fahrenden Strecken im Modell	122
Abbildung 6-21: Zusammenfassung der Leerfahrten durch Doppelspiele	123
Abbildung 6-22: Direktbelieferung der Kommissionierung	126
Abbildung 7-1: Distributionsstandorte in Deutschland im Jahr 2003	129
Abbildung 7-2: Steuerungssystematik in den Fischerwerken (2003)	130
Abbildung 7-3: Komplexität einer zentralen Steuerung [REC-07, S. 80]	130
Abbildung 7-4: Grundprinzip der kombinierten Steuerungssystematik	131
Abbildung 7-5: Bestandsbetrachtung bei überlagerten Bedarfsverläufen [REC-07, S. 83]	132
Abbildung 7-6: Möglichkeiten zur Abarbeitung von Projektaufträgen	132
Abbildung 7-7: Prinzip der Fertigungsauftragsabwicklung	133
Abbildung 7-8: Formel zur Errechnung des Meldebestandes	134
Abbildung 7-9: Atmen über Bestand	134
Abbildung 7-10: Arbeitsablauf bei Sonderbedarf	135
Abbildung 7-11: Planungsprozesse	135
Abbildung 7-12: Bestellverhalten vor den Glättungsmaßnahmen	136
Abbildung 7-13: Geglättetes Bestellverhalten nach Umstellung	137
Abbildung 7-14: Definition und Entwicklung der Kennzahl „Glättungsfaktor“	137
Abbildung 7-15: Ergebnisse der Einführung eines Rundverkehrs	138
Abbildung 7-16: Transportvolumen und Anlieferart in der Beschaffungslogistik	138
Abbildung 7-17: Externe Rundverkehre im Jahr 2004	139
Abbildung 7-18: Struktur der Daten-Tabelle	140
Abbildung 7-19: Tabelle der Funktions-Parameter (Teil I)	141
Abbildung 7-20: Tabelle der Funktions-Parameter (Teil II)	142
Abbildung 7-21: Berechnungs-Tabelle	144
Abbildung 7-22: EXCEL-Solver	145
Abbildung 7-23: Optionseinstellungen im Solver	146
Abbildung 7-24: Logistische A/B/C-Klassifizierung bei Fischer	146
Abbildung 7-25: Ergebnisse des Kommissionierworkshops im Lager Wuppertal	149
Abbildung 7-26: Entwicklung des Lieferservices im Jahr 2006	150
Abbildung 7-27: Bestandsentwicklung	150
Abbildung 7-28: Entwicklung der Logistikkosten in Relation zum Umsatz	151
Abbildung 8-1: Ermittelte Gesamtkostenfunktion des mechanisierten Lagers	153

Abkürzungen und Formelzeichen (alphabetisch sortiert)

A	Anzahl aller Aufträge
a_i	Anzahl überschüssiger Lagerlose, die nicht mehr in ein Regalfach hineinpassen
a^{Max}	Maximale Anzahl überschüssiger Lagerlose, die nicht mehr in ein Regalfach passen
BDE	Betriebsdatenerfassung
b_i^K	Anzahl der bestellten Verkaufseinheiten des Artikels i (Kundenbedarf)
b^L	Breite der Lagerlosgröße
B^{Luft}	Breite des Leerraums zwischen der Trennwand und der Lagerlosgröße
B^{Max}	Maximale Breite des Anlieferolumens V^P
B^R	Breite eines Regals
$B^{\text{Regaltrennwand}}$	Breite der Regaltrennwand
$B^{\text{Regalwand}}$	Breite der Regalwand
B_i^V	Breite der Verkaufseinheit des Artikels i
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
D	Definitionsbereich
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
Diss.	Dissertation
E	Kosten aller Fahrten je Anlieferolumen im Gesamtprozess
e. V.	eingetragener Verein
EDI	Electronic data interchange (Elektronischer Datenaustausch)
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EN	Europäische Norm
engl.:	englisch
ERP	Enterprise and Resource Planning
etc.	et cetera
evtl.	eventuell
ff	folgende
f^{Ges}	Gesamtkostenfunktion eines Lagers
fischer	fischerwerke Artur Fischer GmbH & Co. KG
f^{Kommi}	Kostenfunktion des Kommissionierprozesses
f^{Na}	Kostenfunktion für des Nachfüllprozesses
f_i^{Na}	Kostenfunktion für den Nachfüllprozess für den Artikel i
$FöK_u$	Flurförderfahrzeugkosten für das Fahrzeug u
FTS	Fahrerloses Transportsystem
f^{WE}	Kostenfunktion für alle Artikel i im Wareneingang

I_i^{WE}	Kostenfunktion für einen Artikel i im Wareneingang
GDC	Global distribution center, fischerwerke Tumlingen
h^L	Höhe der Lagerlosgröße
H^{Luft}	Höhe des Leerraums zwischen Lagerlosgröße und Regalschiene
H^{Max}	Maximale Höhe des Anliefer Volumens V^P
H^R	Höhe eines Regals
$H^{Regalschiene}$	Höhe der Regalschiene
$H^{Regalwand}$	Höhe der Regalwand
Hrsg.	Herausgeber
H_i^V	Höhe der Verkaufseinheit des Artikels i
i	Artikel aus der Menge $S^{OR} = \{1, \dots, i, \dots, S\}$
inf	Infimum
IT	Informationstechnologie
jap.:	japanisch
JIT	Just-In-Time
K	Kompaktum (eine abgeschlossene und beschränkte Menge)
$K^{BefüllungNa}$	Gesamtkosten, die anfallen, um das Regal zu befüllen.
$K^{BewKomm}$	Gesamtkosten für die Kommissionierung aller Aufträge unter Berücksichtigung der Bewegungsabläufe
$K^{FahrtenNa}$	Gesamtkosten der Summe aller Fahrten im Nachfüllprozess
$K^{FahrtNa}$	Gesamtkosten der Nachschubfahrt
K^{LeerNa}	Gesamtkosten für das Aufräumen aller anfallenden Förderhilfsmittel im Zeitraum t^K
$K^{ReserveplatzNa}$	Gesamtkosten der Zwischenlagerung
$K^{RückfahrtLeerNa}$	Gesamtkosten für die Rückfahrten im betrachteten Zeitraum t^K
K^{WE}	Gesamtkosten des Wareneingangsprozesses
KWh	Kilowattstunde
LKW	Lastkraftwagen
l^L	Länge der Lagerlosgröße
L^{Max}	Maximale Länge des Anliefer Volumens V^P
L^R	Länge eines Regals
L_i^V	Länge der Verkaufseinheit des Artikels i
M	Befüllungskosten je Lagerlosgröße
max	Größtes Element einer Menge
MDE	Maschinendatenerfassungen
m_i	Anzahl der Verkaufseinheiten eines Artikels i , die in einer Lagerlosgröße liegen
min	Kleinstes Element einer Menge
n_i	Anzahl der Verkaufseinheiten eines Artikels i , die auf einem Förderhilfsmittel liegen

n_i^{neu}	n_i nach Einsatz eines Rundverkehrs
o_i	Anzahl der Lagerlose eines Artikels i , die auf dem Förderhilfsmittel liegen
P	Handlingskosten je überzählige Lagerlosgröße
p	Anzahl der in einem Regalfach liegenden Lagerlosgrößen
PK	Personalkosten
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
s	Summe aller (Fahr-) Strecken im Gesamtprozess des Lagers
S	Gesamte Anzahl der Artikel aus dem Sortiment des Unternehmens
$s_{\text{EndeKommi}}$	Strecke vom Regalende bis zur Auftragsabgabe
S^{OR}	Sortiment (Menge aller Artikel)
s_{FahrtNa}	Strecke vom Reservelager bis zum Kommissionierregal
$s_{\text{LeerKommi}}$	Strecke vom Auftragsende bis zum Auftragsbeginn
s_{LeerNa}	Strecke vom Regalende bis zum Sammelplatz für Förderhilfsmittel
s_{LeerWE}	Strecke vom Reservelager bis zur LKW-Rampe
s^{Na}	Summe aller (Fahr-) Strecken im Nachfüllprozess
$s_{\text{RegalKommi}}$	Strecke vom Regalanfang bis zum Regalende
$s_{\text{RückLeerNa}}$	Strecke vom Sammelplatz für Förderhilfsmittel bis zum Reservelager
$s_{\text{StartKommi}}$	Strecke vom Auftragsstart bis zum Regalanfang
sup	Supremum (kleinste obere Schranke einer Menge)
s^{WE}	Strecke von der LKW-Rampe bis zum Reservelager
$t_{\text{AbFahrtNa}}$	Zeit, um das Anliefervolumen auf einem Pufferplatz am Regalanfang abzustellen
t_{AbLeerNa}	Zeit, die benötigt wird, um ein leeres Förderhilfsmittel abzustellen
T^{Auf}	Summe aller Aufladezeiten im Gesamtprozess eines Lagers
$t_{\text{AufFahrtNa}}$	Zeit für das Aufladen einer Anlieferpalette im Nachfüllprozess
$t_{\text{AufLeerNa}}$	Zeit, die benötigt wird, um ein Förderhilfsmittel aufzunehmen
T^{AufNa}	Summe aller Aufladezeiten im Nachfüllprozess
t_{AufWE}	Aufnahmezeit eines Anliefervolumens im Wareneingang
$t_{\text{AusReserveNa}}$	Zeit, um die überschüssige Lagerlosgröße vom Zwischenpuffer auszulagern und in das Regalfach zu füllen
$t_{\text{BefüllenNa}}$	Zeit, die benötigt wird, um eine Lagerlosgröße in ein Regalfach zu befüllen
$t_{\text{BefüllungNa}}$	Zeit, um ein einzelnes Regalfach vollständig zu befüllen
$T_{\text{BefüllungNa}}$	Gesamtzeit, die anfällt, um alle Regalfächer mit der benötigten Anzahl der Lagerlosgrößen während t^{K} zu befüllen
$t_{\text{BewEndeKommi}}$	Zeit vom Ende des Kommissionierregals bis zum Auftragsende
t_{BewKommi}	Zeit, um einen Auftrag unter Berücksichtigung der Bewegungsabläufe zu kommissionieren
T_{BewKommi}	Zeit, um alle Aufträge unter Berücksichtigung der Bewegungszeiten zu kommissionieren
$t_{\text{BewRegalKommi}}$	Zeit, um die Breite des Regals B_R abzulaufen

$t^{\text{BewRückKomm}}$	Zeit vom Auftragsende zurück zum Auftragsstart
$t^{\text{BewStartKomm}}$	Zeit vom Auftragsstart bis zum Beginn des Kommissionierregals
T^{Ein}	Summe aller Einlagerungszeiten im Gesamtprozess eines Lagers
T^{EinNa}	Summe aller Einlagerzeiten im Nachfüllprozess
$t^{\text{EinReserveNa}}$	Zeit, um eine überschüssige Lagerlosgröße auf einen Zwischenpuffer einzulagern
t^{EinWE}	Zeit, um eine Anlieferpalette im Reservelager einzulagern (Wareneingangsprozess)
t^{FahrtNa}	Gesamtzeit für die Nachschubfahrt eines Anliefer Volumens
T^{FahrtNa}	Gesamtzeit aller Nachschubfahrten
t^K	Zeiteinheit, in welcher der Kundenbedarf angegeben wird (betrachteter Zeitraum/Bezugszeitraum)
$t^{\text{LeerfahrtWE}}$	Zeit, um vom Reservelager wieder zur LKW-Rampe zu fahren
t^{LeerNa}	Die gesamte Zeit, um ein Förderhilfsmittel aufzuräumen
T^{LeerNa}	Die gesamte Zeit, um alle anfallenden Förderhilfsmittel während des betrachteten Zeitraums t^K aufzuräumen
t^{Pick}	Zeit, um eine Lagerlosgröße zu kommissionieren
TPS	Toyota Produktions System
$t^{\text{ReserveplatzNa}}$	Zeit, um alle überschüssigen Lagerlosgrößen eines Artikels i aus einer Anlieferlosgröße zwischenzulagern
$T^{\text{ReserveplatzNa}}$	Gesamtzeit der Zwischenlagerung während des betrachteten Zeitraums
$t^{\text{RückfahrtLeerNa}}$	Zeit, um einmal die Strecke $s^{\text{RückLeerNa}}$ zurückzulegen
$T^{\text{RückfahrtLeerNa}}$	Gesamte Zeit für alle Rückfahrten während des betrachteten Zeitraums t^K
$t^{\text{TransportFahrtNa}}$	Zeit, um die Strecke s^{FahrtNa} zu fahren
$t^{\text{TransportWE}}$	Zeit, um die Strecke s^{WE} zurückzulegen
t^{WE}	Zeit für einen gesamten Wareneingangsprozess eines Anliefer Volumens
T^{WE}	Gesamtzeit für den Wareneingangsprozess
U	Anzahl der verschiedenen flurgebundenen, gleislosen Unstetigförderer aus der Menge $UF=\{1,\dots,u,\dots U\}$
u	Index für die Art des flurgebundenen, gleislosen Unstetigförderers
u. a.	und andere
UF	Menge der flurgebundenen, gleislosen Unstetigförderer
Univ.	Universität
vgl.	vergleiche
V^K	Gesamtes Kundenbedarfsvolumen aller Artikel i
V_i^K	Kundenbedarfsvolumen des Artikel i
V^L	Volumen der Lagerlosgröße
V^P	Anliefervolumen
V_i^P	Anliefervolumen des Artikels i aus der Produktion

V^{PMax}	Gibt das Volumen wieder, welches das Anlieferolumen maximal annehmen kann
v_u	Durchschnittliche Geschwindigkeit des flurgebundenen, gleislosen Unstetigförderers u
V^V	Verkaufseinheit
V_i^V	Volumen der Verkaufseinheit eines Artikels i
W	Wertebereich
x	Anzahl der pro Fahrt des Rundverkehrs mitgenommenen Förderhilfsmittel
Z^{RFnb}	Anzahl der Regalfächer, die nebeneinander liegen
$Z^{RFüb}$	Anzahl der Regalfächer, die übereinander liegen
Z_i^V	Anzahl der Verkaufseinheiten eines Artikels i, die in ein Regalfach passen

1 Einleitung

Die unternehmerischen und wirtschaftlichen Entwicklungen der letzten Jahre sind zunehmend durch Sättigungseffekte in den Märkten und einer Individualisierung der Nachfrage gekennzeichnet. Darüber hinaus vollzieht sich seit Jahren ein kontinuierlicher Prozess der Internationalisierung und Deregulierung, der veränderte Formen des Wettbewerbs nach sich zieht. Aus technischer Sicht haben sich Innovationszyklen auf Produkt- und Prozessebene sowie bei der Informations- und Kommunikationstechnologie erheblich verkürzt (vgl. hierzu exemplarisch [WES-98, S. 22] [SPA-02, S. 28]). Diese zunehmende Dynamisierung wird in zahlreichen Fachbeiträgen mit den Begriffen „Turbulenz“ oder „Umfeldturbulenz“ beschrieben (vgl. hierzu exemplarisch [SPA-03, S. 27][WES-98, S. 22] [WES-00, S. 22]). Die dadurch erzeugte Komplexität und Dynamik stellt die Produktionsunternehmen immer wieder vor neue Herausforderungen. Nur Unternehmen, die es schaffen, ständig und präzise die Bedürfnisse der Kunden zu erfüllen, werden langfristig erfolgreich sein.

Um diesem turbulenten Umfeld gerecht zu werden, haben viele Unternehmen begonnen, so genannte „Ganzheitliche Produktionssysteme“ mit dem Ziel einzuführen, diese Herausforderungen zu bewältigen [SPA-03, S. 11]. Zu Beginn der 90er Jahre versuchten die Unternehmen durch die Einführung einer schlanken Produktion (synonym: schlankes Unternehmen, JIT-Produktionssystem, Toyota-Produktionssystem) diese Ziele zu erreichen und die erste „Lean-Welle“ schwappte nach Europa (z. B. Porsche). Nach einer Phase der Konsolidierung Ende der 90er Jahre ist das Thema des schlanken Unternehmens aktuell wieder in aller Munde (z. B. „Wertschöpfungsorientiertes Produktionssystem“ bei BMW, „Bosch Produktionssystem“, „fischer Prozesssystem“) und man redet bereits von einer zweiten „Lean-Welle“. Das Konzept eines schlanken Unternehmens wurde dabei Mitte des letzten Jahrhunderts in Japan von Taiichi Ohno bei Toyota unter den Bedingungen einer Mangelwirtschaft entwickelt. Zahlreiche Dokumentationen haben sich in den letzten zwanzig Jahren mit diesem Gedankengut auseinandergesetzt und es wurde in vielen Sprachen beschrieben. Betrachtet man die Werke näher, so stellt man fest, dass vorwiegend Beispiele und Methoden für die Anwendung in der Produktion dargestellt sind. Insbesondere die Methoden einer angepassten Logistik zur Unterstützung eines schlanken Unternehmens werden dabei nicht umfassend betrachtet. Des Weiteren führt die Verkleinerung von Losgrößen im Sinne des Ein-Stück-Flusses zu Veränderungen hinsichtlich des Aufwandes entlang der logistischen Kette, die bisher nicht ausreichend diskutiert wurden.

Vor diesem Hintergrund widmet sich die vorliegende Abhandlung der Logistik im Rahmen eines JIT-Produktionssystems. Dazu wird ein „schlankes Logistiksystem“ mit seinen Methoden und Merkmalen für die variantenreiche Serienproduktion als Konzept vorgestellt und diskutiert. Da die ganzheitliche Betrachtung der Wirkweise der Verkleinerung von Losgrößen entlang der gesamten logistischen Kette den Rahmen dieser Abhandlung sprengen würde, soll an dieser Stelle der Fokus auf die Wirkweise des Ein-Stück-Flusses hinsichtlich der Materialflüsse in einem mechanisierten Lager gelegt werden. Dazu werden die Materialflüsse eines mechanisierten Lagers in einem Modell abgebildet und auf dieser Basis Grenzwertbetrachtungen hinsichtlich der Aufwandsentwicklung bei Verkleinerung der Losgrößen angestellt, um Kosten- und Nutzeneffekte zu ermitteln. Die Umsetzung der Methoden einer „Schlanken Logistik“ wird exemplarisch am Beispiel der fischerwerke Artur fischer GmbH & Co. KG in Waldachtal-Tumlingen für eine variantenreiche Serienproduktion dargestellt. Ebenso werden die Ergebnisse der Modellbetrachtungen am Beispiel der logistischen Prozesse des mechanisierten Zentrallagers (global distribution center Tumlingen) bei fischer diskutiert und validiert. Die durch die Einführung einer „schlanken Logistik“ erzielten Verbesserungen werden abschließend an Hand der Entwicklung dreier Kennzahlen über mehrere Geschäftsjahre bei fischer abgebildet.

2 Festlegung des Untersuchungsbereichs

In dieser Abhandlung werden logistische Methoden zur Unterstützung eines JIT-Produktionssystems für eine variantenreiche Serienproduktion vorgestellt und diskutiert. Des Weiteren wird auf Basis dieser Grundlagen die Wirkweise der Verkleinerung von Losgrößen innerhalb eines mechanisierten Lagers modelliert und am Beispiel des Zentrallagers von Fischer verifiziert. Dazu ist es notwendig, grundlegende Begriffe zu erklären und die Arbeit dementsprechend abzugrenzen, um dem Leser die nötigen Grundlagen bereitzustellen. Abschnitt 2.1 klärt den System- und Modellbegriff als Basis für die in Kapitel 6 dargestellten Vereinfachungen des strukturähnlichen Modells. Danach wird die klassische Definition und Abgrenzung des Begriffs „Logistik“ vorgenommen, um darauf aufbauend die Methoden einer schlanken Logistik des Kapitels 5 darzustellen. Grundlagen der Transportsysteme (Abschnitt 2.4) und der Lagerlogistik (Abschnitt 2.5) werden benötigt, um das homomorphe Modell eines mechanisierten Lagers leichter nachvollziehen zu können. Da die logistischen Methoden im Zusammenhang eines Produktionssystems und innerhalb des Produktionstyps der variantenreichen Serienproduktion diskutiert werden, geben die Abschnitte 2.6 (Produktionssystem) und 2.7 (Produktionstyp) abschließend einen kurzen Einblick in die Begriffe mit ihren Ausprägungen.

2.1 System- und Modellbegriff

Ein System stellt eine „Anordnung von gegebenenfalls weiter zerlegbaren Komponenten oder auch Elementen dar, die miteinander über Relationen in Beziehung stehen“ [ARN-04, S. A2-44]. Die Europäische Norm definiert den Begriff „System“ als „Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Elementen“ [EN 9000, S. 20]. „Anders formuliert bezeichnet ein System demnach eine Menge von Elementen, die durch eine Menge von Relationen miteinander verbunden ist. Die einzelnen Elemente sind die atomaren Bestandteile des Systems, die nicht weiter zerlegt werden können. Jedes Element hat nach der Systemdefinition mindestens eine Beziehung zu einem anderen Element, d. h. isolierte Elemente werden aus der Menge der Elemente eines Systems ausgeschlossen. Stellt der Output eines Elementes den Input für mindestens ein anderes Element dar, wird von einer Kopplung gesprochen. Dabei besteht der Input eines Elementes aus der Summe der Einwirkungen aus seiner Umwelt, die sich aus allen anderen Elementen des Systems zusammensetzt. Die Summe der Auswirkungen eines Elementes auf seine Umwelt wird analog dazu als Output bezeichnet. Ein System wird charakterisiert durch seine Systemgrenzen, Systemelemente, Systembeziehungen, seinen Input und Output sowie seinen Systemzweck. Über die Bildung von Subsystemen kann die Komplexität von Systemen reduziert werden [ARN-04, S. A2-44ff] [KRA-96, S. 6ff]. Technische Systeme werden in der Realität immer komplexer und entziehen sich aufgrund der vielen, teilweise voneinander abhängigen Systemgrößen den mathematisch-analytischen Methoden, mit denen in der Regel nur einfachere funktionale Zusammenhänge erfasst werden können [SCH-00, S. 5]. Daher ist es erforderlich, das reale System zu Untersuchungszwecken in einem Modell abzubilden, das die Eigenschaften des zu analysierenden Systems möglichst genau nachbildet. Ein Modell ist demnach ein (vereinfachtes) Abbild eines realen Systems oder Problems (Urbild). Erfolgt die Abbildung derart, dass jedem Element bzw. jeder Beziehung zwischen Elementen des Urbilds ein Element bzw. eine Beziehung im Modell

gegenübersteht und umgekehrt, so spricht man von einem isomorphen oder strukturgleichen Modell. Homomorphe (strukturähnliche) Modelle sind dagegen Modelle, die Vereinfachungen gegenüber dem realen System beinhalten, die sich durch Zusammenfassen oder Vernachlässigen von Elementen ergeben [ARN-04, S. A2-2]. Neben den Objekten beinhaltet die Abbildung des realen Systems in einem Modell auch die Prozesse des Systems, die in ein anderes begriffliches oder gegenständliches System zu überführen sind. Die Nachbildung unterscheidet sich hinsichtlich der untersuchungsrelevanten Eigenschaften nur innerhalb eines vom Untersuchungsziel abhängigen Toleranzrahmens vom Vorbild [VDI-3633]. Modelle lassen sich in Abhängigkeit der zugrunde liegenden Entscheidungssituation, vom Einsatzzweck eines Modells sowie von den verfügbaren Informationen einteilen. Bei der Unterscheidung nach dem Einsatzzweck ergeben sich Beschreibungsmodelle (sie dienen lediglich zur Darstellung der Elemente und deren Beziehungen in realen Systemen), Erklärungs- oder Kausalmodelle (diese untersuchen Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen unabhängigen exogenen Parametern und davon abhängigen Variablen, um das Systemverhalten zu erklären bzw. Hypothesen über dieses Verhalten zu formulieren), Prognosemodelle (diese dienen der Vorhersage zukünftiger Daten und zur Abschätzung der Konsequenzen von Handlungsalternativen), Simulationsmodelle (dies sind spezielle Prognosemodelle für komplexe Systeme, deren Ursache-Wirkungs-Beziehungen nicht ohne weiteres analytisch handhabbar sind und die häufig zufälligen Einflüssen unterliegen) sowie Entscheidungs- bzw. Optimierungsmodelle (sie enthalten zusätzlich zu den erklärenden Ursache-Wirkungs-Beziehungen Zielfunktionen zur Bewertung und Auswahl von Handlungsmöglichkeiten). Differenziert man den Modellbegriff nach der Art der Information, so lassen sich quantitative (mathematische) Modelle und qualitative Modelle unterscheiden. Bei quantitativen Modellen werden sämtliche im Modell abgebildeten Aspekte eines realen Entscheidungsproblems durch kardinal messbare (metrische) Informationen beschrieben. Elemente des realen Systems werden durch Daten und Variablen dargestellt und in Form von Gleichungen oder Ungleichungen auf strukturhaltende Weise miteinander verknüpft. Qualitative Modelle beinhalten – neben quantitativen Zusammenhängen – verbale Problembeschreibungen anhand qualitativer (d. h. ordinal oder nominal messbarer) Informationen. Diese basieren häufig auf subjektiven Einschätzungen und beschränken sich meist auf die Darstellung grundlegender Zusammenhänge und Tendenzen. Eine weitere Möglichkeit bietet die Unterscheidung der Modelle nach der Art der Abstraktion. Beim deterministischen Modell geht man davon aus, dass alle dem Modell zugrunde liegenden Informationen mit Sicherheit bekannt (deterministisch) sind. Wenn die Ausprägungen relevanter Daten unsicher sind und sich lediglich durch zufallsvariablen abbilden lassen, spricht man vom stochastischen Modell. Bei einem statischen Modell ist die Veränderung der Daten nicht dynamisch und unterliegt keinem Zeitablauf. Unterliegt das reale System und somit das Modell entsprechenden dynamischen Veränderungen seiner Daten, so wird es als dynamisches Modell bezeichnet. Wird ein reales System in seiner Gesamtheit vollständig modelliert, so spricht man von einem Totalmodell. Partialmodelle hingegen beschränken sich jeweils auf einen bestimmten Ausschnitt des realen Systems und/oder auf eine gewisse zeitliche Reichweite der Planung [ARN-04, S. A2-2ff].

Bei der Modellierung kann neben dem Modellzweck weiterhin zwischen drei verschiedenen Modellkonzepten unterschieden werden, die es ermöglichen, die Realität in einem Modell abzubilden.

Deskriptive Modelle bilden in erster Linie Daten und Fakten aus der Realität ab. Dabei wird versucht, durch Reproduktion des Verhaltens des Originalsystems, die Realität zu imitieren und als „Black Box“ darzustellen. Explikative Modelle versuchen, die wesentlichen Systemstrukturen abzubilden und dadurch das Verhalten des Originalsystems zu erklären. Das System wird in diesem Fall als „Glass Box“ dargestellt. Normative Modelle dienen dazu, die wesentlichen Systemzwecke abzubilden. Analog zum explikativen Modell muss das Systemverhalten bekannt sein. Darüber hinaus existieren noch gemischte Modelle, bei denen Teile der Systemstruktur bekannt sind und weitere relevante Komponenten, deren Struktur nicht bekannt ist, über eine Reproduktion abgebildet werden. Über dem oben beschriebenen Modellbegriff steht der Begriff des Meta-Modells. Dieser definiert die Modellierungssprache, in der die Modellierungskonzepte und die Modellierungsbegriffe festgelegt werden und beinhaltet die Spezifikation der zur Verfügung stehenden Modellbausteine sowie deren Beziehungen untereinander [BEH-99, S. 35] [JAB-99, S. 44].

2.2 Definition des Begriffs Logistik

Betrachtet man die Herkunft des Begriffes „Logistik“ aus dem Griechischen, so lassen sich die Wortstämme „logos“ (Vernunft), „logo“ (denken) und „logismos“ (Rechnung, Überlegung, Plan) erkennen [BRO-90, S. 489] [JÜN-89, S. 7]. Das heutige Verständnis dieses Begriffes stammt ursprünglich aus dem militärischen Bereich im Zusammenhang mit Nachschubgestaltung und Truppenbewegungen [ARN-04, S. A 1-3] [BRO-90, S. 489] und wurde aus diesem Umfeld heraus in zivile Bereiche übertragen [SCH-05, S. 1]. Das Wort „Logistik“ leitet sich daher in seiner heutigen Bedeutung wahrscheinlich aus dem französischen „loger“ ab, worunter die Einquartierung und Versorgung der Truppen verstanden wird [WIE-02, S. 9]. Bis heute hat sich das logistische Verständnis ständig gewandelt und erweitert. Seit Mitte der achtziger Jahre lässt sich kein einheitliches Bild des Begriffes Logistik mehr feststellen, sondern es existieren eine Vielzahl von unterschiedlichen Definitionen nebeneinander, deren Schwerpunkte stark vom Verfasser abhängen [KRÄ-92, S. 4] [SCH-05, S. 1]. Nach JÜNEMANN umfasst Logistik „alle Tätigkeiten, durch die eine Gütertransformation geplant, gesteuert, realisiert oder kontrolliert wird“ [JÜN-00, S. 2]. Die Gütertransformation ist hierbei als Änderung sowohl in raum-zeitlicher Hinsicht als auch damit zusammenhängend in Bezug auf die Gütermengen und -sorten zu verstehen. PFOHL definiert den Begriff Logistik mit Schwerpunkt auf der Bewegung von Gütern: „Zur Logistik gehören alle Tätigkeiten, durch die raum-zeitliche Gütertransformation und die damit zusammenhängende Transformation hinsichtlich der Gütermengen und Gütersorten, der Güterhandhabungseigenschaften sowie der logistischen Determiniertheit der Güter geplant, gesteuert, realisiert oder kontrolliert werden. Durch diese Tätigkeiten soll ein Güterfluss in Gang gesetzt werden, der einen Lieferpunkt mit einem Empfangspunkt möglichst effizient verbindet“ [PFO-04, S. 12]. Unter dem Begriff „effizient“ wird die Aufgabe der Logistik verstanden, einen Empfangspunkt gemäß seines Bedarfs von einem Lieferpunkt aus mit dem richtigen Produkt in Menge und Sorte, im richtigen Zustand, zur richtigen Zeit, in der richtigen Qualität, am richtigen Ort und zu den dafür minimalen Kosten zu versorgen. TEN HOMPEL spricht in diesem Zusammenhang von den „sechs „R“ der Logistik“, die zu realisieren sind [TEN-03, S. 16]. Die Europäische Norm definiert Logistik als die „Planung, Durchführung und Steuerung der Bewegung und Platzierung von Menschen und/oder Gütern und der

unterstützenden Tätigkeiten, die sich auf diese Bewegung beziehen, innerhalb eines Systems, welches zur Erreichung bestimmter Ziele eingerichtet ist“ [EN 12777]. SCHULTE liefert eine noch weiter gefasste Definition. Demnach ist Logistik die „marktorientierte, integrierte Planung, Gestaltung, Abwicklung und Kontrolle des gesamten Material- und dazugehörigen Informationsflusses zwischen einem Unternehmen und seinen Lieferanten, innerhalb eines Unternehmens sowie zwischen einem Unternehmen und seinen Kunden“ [SCH-05, S. 1].

2.3 Abgrenzung eines Logistiksystems unter institutionellen und funktionellen Gesichtspunkten

Ein logistisches System dient der Durchführung meist mehrerer logistischer Prozesse und hat die Struktur eines Netzwerks [ARN-04, S. A 1-3]. Dabei sei ein „Prozess“ definiert als „Satz von in Wechselbeziehung oder Wechselwirkung stehenden Tätigkeiten, der Eingaben in Ergebnisse umwandelt“ [EN 9000, S. 18]. PFOHL unterscheidet unter institutionellen Gesichtspunkten auf höchster Eben zwischen Makro-, Mikro- und Meta-Logistik. Die Makro-Logistik ist hierbei der umfassendste Ansatz, da sie gesamtwirtschaftlicher Art ist und sich auf der Ebene einer Volkswirtschaft abspielt (z. B. das Gütersystem in einer Volkswirtschaft). Im Gegensatz dazu ist die Mikro-Logistik grundsätzlich durch die rechtlichen Grenzen einer Organisation in ihrem maximalen Umfang limitiert, d. h. intraorganisatorisch. Auf einer Ebene zwischen Makro- und Mikro-Logistik befindet sich die Meta-Logistik, die ein Logistiksystem zwischen verschiedenen Unternehmen, die in einer Geschäftsbeziehung zueinander stehen, beschreibt [PFO-04, S. 14-17].

Neben der Unterscheidung auf Basis der beteiligten Institutionen gibt es auch die Möglichkeit, Logistiksysteme auf der Ebene der Funktionen voneinander abzugrenzen. Eine typische Vorgehensweise ist hierzu die Verfolgung des Materialflusses entlang der Lieferkette. Unter dem Begriff Materialfluss wird hierbei die „Summe aller Transformationsprozesse, die – angewandt auf physische Objekte – zu einer Änderung hinsichtlich Ort, Zeit, Zusammensetzung, Menge und Qualität führen“ verstanden [JÜN-00, S. 4]. Beschränkt man sich bei der Verfolgung des Materialflusses auf die verschiedenen Bereiche eines produzierenden Unternehmens, so erhält man die Beschaffungs-, Produktions-, Distributions- und die Entsorgungslogistik als die vier zentralen Subsysteme der so genannten Unternehmenslogistik [PFO-04, S. 17-19]. TEMPELMEIER fasst die physische Materialbeschaffung und die Produktionslogistik zum so genannten „Material-Logistiksystem“ zusammen. Ergänzt man dieses um die physische Distribution, so erhält man das Logistiksystem des Unternehmens [TEM-99, S. 2]. Die logistische Kette verläuft im Unternehmen beschaffungsseitig über die Produktionsstufen bis zu den Lieferanten, distributionsseitig bis hin zum Kunden und ist das logistische System eines Industrienunternehmens [ARN-04, S. A1-4] [THA-03, S. 44] (vgl. Abbildung 2-1).

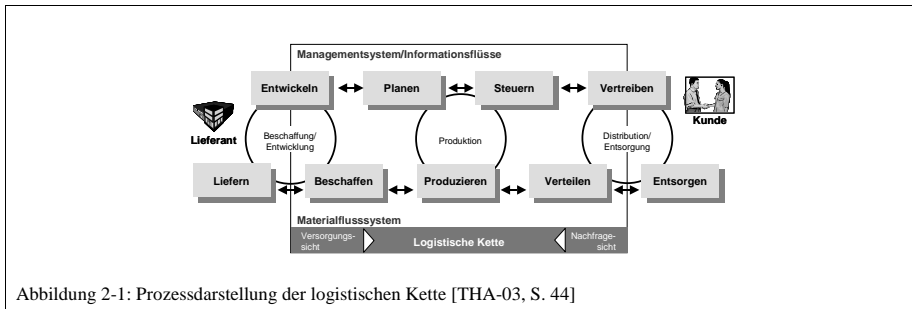


Abbildung 2-1: Prozessdarstellung der logistischen Kette [THA-03, S. 44]

Die Beschaffungslogistik beschäftigt sich mit der Warenannahme und Warenprüfung, der Lagerhaltung und Lagerdisposition (bezogen auf das Eingangslager), dem innerbetrieblichen Transport (Oberbegriff für jede bewusste Ortsveränderung eines Gutes, synonym: Fördern) bis zur Materialbereitstellung und der Planung, Steuerung und Kontrolle des Material- und Informationsflusses mit dem Ziel, die Versorgung der Produktionsprozesse sicherzustellen. Die Gesamtaufgabe der Beschaffung (Materialwirtschaft) wird dabei meist in marktorientierte und vertragsabschließende Aufgaben („Einkauf“) sowie administrative und physische Aufgaben des Material- und Warenflusses geteilt. In Abgrenzung zur Beschaffungslogistik beschäftigt sich der Einkauf nach einer Marktanalyse mit der Verhandlung mit potenziellen Lieferanten, der Vertragsgestaltung und dem endgültigen Vertragsabschluss mit dem ausgewählten Zulieferer [PFO-04, S. 182] [SCH-05, S.263]. EHRMANN fasst den Begriff der Beschaffungslogistik etwas weiter, indem er die Gestaltung der Beschaffungsstruktur sowie die Mitarbeit bei der Lieferantenauswahl als zusätzliche Aufgaben definiert [EHR-03, S. 260].

Die Produktionslogistik beinhaltet nach SCHÖNSLEBEN den „Fluss von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen sowie von gelieferten Ersatz- und Kaufteilen vom Beschaffungslager in den Produktionsprozess“ [SCH-02, S. 17]. PFOHL und SCHULTE detaillieren dieses Verständnis. Demnach beschäftigt sich die Produktionslogistik mit der Schaffung einer materialflussgerechten Fabrikstruktur (der so genannten Fabrikplanung), der Planung und Steuerung der Produktion, der Versorgung der Produktionsprozesse mit Einsatzgütern (Roh-, Hilfs-, und Betriebsstoffe, Halbfertigerzeugnisse und Kaufteile) sowie der Abgabe der Halbfertig- und Fertigerzeugnisse an das Absatzlager (Schnittstelle zur Distributionslogistik). Die Fabrikplanung eines Unternehmens hat die Kernaufgabe, technisch einwandfreie und wirtschaftliche Abläufe der Produktionsprozesse bei gleichzeitiger Berücksichtigung humaner Arbeitsbedingungen für eine strategische Unternehmensplanung zu generieren. Erschwert wird eine solche Optimierung durch das Zusammenspiel von quantifizierbaren Zielen, wie z. B. die Minimierung der Transportkosten, und nicht oder nur schwer quantifizierbaren Zielen wie möglichst gute Übersichtlichkeit oder geringe Störanfälligkeit [PFO-04, S. 193ff] [SCH-05, S.343]. Die Planung und Steuerung der Produktion erfolgt heute in den meisten Unternehmen im Rahmen umfangreicher Produktionsplanungs- und Produktionssteuerungssysteme, den so genannten PPS-Systemen. Aufgabe ist die termin-, kapazitäts- und mengenbezogene Planung und Steuerung der Fertigungs- und Montageprozesse. Mit dem Einsatz einer solchen Rechnerunterstützung sind Ziele wie

hohe Termintreue, kurze Durchlaufzeiten, hohe Flexibilität, geringe Lager- und Werkstattbestände sowie maximale, gleichmäßige Kapazitätsauslastung verbunden [SCH-06, S. 28].

Die Distributionslogistik (Absatzlogistik) vervollständigt die dargestellte logistische Kette als Bindeglied zwischen der Produktion des Unternehmens und den Absatzmärkten. Besteht eine Nachfrage nach einem Produkt, so soll es dem Abnehmer zur richtigen Zeit, in der richtigen Menge, am richtigen Ort, zu den richtigen Kosten und in der nachgefragten Qualität bereitgestellt werden. Die Optimierungsaufgabe stellt dabei die Kombination aus gewünschtem bzw. vom Markt gefordertem Lieferservice und Kostengesichtspunkten dar. Die wichtigsten Problemstellungen sind hierbei die Standortwahl der Distributionslager, die Bestimmung der Lager- und Umschlagstruktur, der Verpackung und Kommissionierung sowie der Bereitstellung von Transportmitteln und deren Steuerung [PFO-04, S. 211ff] [SCH-02, S. 41] [SCH-05, S. 455].

Die Entsorgung als Oberbegriff für alle Tätigkeiten der Verwendung, Verwertung und geordneten Beseitigung von Reststoffen ist Ursache für die Entstehung logistischer Prozesse. Die Aufgabenbereiche der Entsorgungslogistik umfassen als Kernleistung Transport-, Umschlags- und Lagerungsprozesse, die sich durch die Art der zu transportierenden Objekte (Reststoffe), deren Flussrichtung (innerbetrieblich meist dem Rohstofffluss entgegengerichtet) und der Zielorientierung (ökologische und ökonomische Ziele) von den anderen logistischen Teilsystemen unterscheiden [KR-92, S. 79] [PFO-04, S. 234ff] [SCH-95, S. 308]. Die Möglichkeiten der Entsorgungslogistik sind in engem Zusammenhang mit den Möglichkeiten der Recyclingtechnik zu sehen [SCH-02, S. 42] [SCH-05, S. 505].

Da der Schwerpunkt dieser Ausarbeitung auf die Wirkweise der Verkleinerung von Losgrößen im Materialfluss gelegt wird, werden an dieser Stelle die logistischen Teilaufgaben „Transportsysteme“ (Kapitel 2.4) und „Lagerlogistik“ (Kapitel 2.5) als Grundlagen weiter vertieft.

2.4 Transportsysteme

Der Transport von Material und Waren dient der Überwindung räumlicher Distanzen und führt damit zu einer Ortsveränderung des Transportguts. Unterschieden wird in innerbetriebliche Transportsysteme, die der Beförderung von Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, unfertigen Erzeugnissen, Fertigerzeugnissen und Waren innerhalb des Betriebes dienen, sowie in außerbetriebliche Transportsysteme, welche die Beförderung von einem Lieferanten in den Betrieb und aus dem Unternehmen zu den Kunden beinhaltet [EHR-03, S. 204] [SCH-05, S. 147]. Da in der folgenden Ausarbeitung nicht weiter auf die außerbetrieblichen Transportsysteme eingegangen wird, sei an dieser Stelle für weitere Grundlagen auf die Literaturangaben verwiesen.

Bei der Planung von innerbetrieblichen Transportsystemen müssen die Markterfordernisse berücksichtigt werden, aus denen sich die Fördergüter, die Förderintensität und die Förderstrecke unter Berücksichtigung gesetzlicher Bestimmungen (z. B. Gefahrgüter) ergeben. Bei der Konzeption sind eine optimale Nutzung, ein hoher Servicegrad, hohe Flexibilität und Transparenz als Ziele zu berücksichtigen (vgl. Abbildung 2-2).

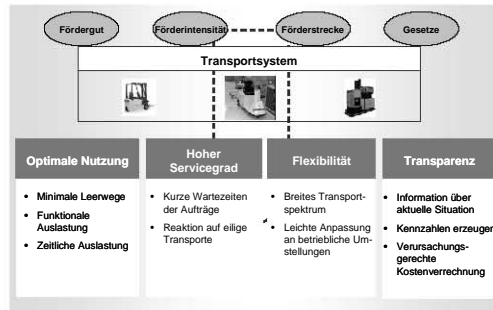


Abbildung 2-2: Zielgrößen eines innerbetrieblichen Transportsystems [WEB-87, S. 13]

Auf Grundlage der Fördergüter werden Förderhilfsmittel (synonyme Begriffe: Transport-, Lade- oder Lagerhilfsmittel, Packmittel) festgelegt. Hierunter werden Hilfsmittel verstanden, die „mehrere Artikel zu Gebinden bzw. Ladeeinheiten zusammenfassen“ [SCH-05, S. 148]. Unterschieden wird in Paletten, formstabile Behälter (z. B. Kästen, Kartons, Fässer), forminstabile Behälter (z. B. Säcke, Beutel) und sonstige Ladehilfsmittel (z. B. Rollen, Drahtgebände). Eine andere Möglichkeit der Einteilung ist die Unterscheidung in tragende (z. B. Flachpalette, Werkstückträger), umschließende (z. B. Gitterboxpalette, Kästen) sowie abschließende (z. B. Kisten, Fässer, Container) Förderhilfsmittel [ARN-04, S. C2-1] [EHR-03, S. 227ff] [SCH-05, S. 147ff]. Die Instrumente, die zum Transport eingesetzt werden, bezeichnet man im Gegensatz zu den außerbetrieblich eingesetzten Verkehrsmitteln als Fördermittel. Der Begriff „Fördermittel“ umfasst demnach „alle technischen Einrichtungen, mit denen Güter unmittelbar oder mittelbar (unter Zuhilfenahme eines Förderhilfsmittels) fortbewegt werden können“ [SCH-05, S.148]. Zur Einteilung der Fördermittel ist die Stetigkeit des Fördervorgangs ein wesentliches Kriterium. Man unterscheidet dementsprechend in Stetigförderer, die über einen festgelegten, gleich bleibenden Förderweg einen kontinuierlichen Materialfluss gewährleisten (z. B. Rollenbahnen mit Antrieb, Gurtförderer, Kettenförderer, etc.) und durch die permanente Transportbereitschaft, einen niedrigen Personalbedarf und dadurch niedrige Betriebskosten für einen hohen Durchsatz in der Massenfertigung eingesetzt werden. Dem entgegen stehen die im Vergleich hohen Investitionskosten sowie die eingeschränkte Flexibilität hinsichtlich eines anderweitigen Einsatzes. Unstetige Fördermittel arbeiten intermittierend bei in der Regel frei wählbarer Bewegungsrichtung, d. h. es handelt sich mit Ausnahme von Aufzügen und einigen speziellen Hebezeugen nicht um ortsfeste Fördermittel mit hoher Flexibilität hinsichtlich Fördergut, Förderintensität und Förderstrecke. [ARN-04, S. C2-1ff] [EHR-03, S. 227ff] [SCH-05, S. 153ff]. Eine Gesamtübersicht ist in der folgenden Abbildung zu finden. Für weitere Detailbeschreibungen sei auf die Quellenangaben verwiesen.

Art des Fördergutstroms	Förderebene	Beweglichkeit	Antriebsart	Fördermittel (Auswahl)
Unstetigförderer	flurgebundene Förderer	gleislos	manuell	Handkarren Hand-Gabelhubwagen
			mechanisiert	Elektrokarren Schlepper mit Wagen Stapler
			automatisiert	FTS Fahrenlose Stapler
		gleisgebunden	mechanisiert	Regalbediengeräte Betriebsbahn
			automatisiert	Regalbediengeräte Elektro-Flurförderbahn
			flurfreie Förderer	gleisgebunden
	stationäre Förderer	gleisgebunden	mechanisiert	Elektrohängebahn
			mechanisiert	Hebebühnen Aufzüge
Stetigförderer	mechanische Förderer	flurgebunden	ohne Zugorgan	Rollförderer mit Antrieb Schneckenförderer
			mit Zugorgan	Tragkettenförderer Bandförderer
		flurfrei	mit Zugorgan	Kreisförderer Power-sand-Free
		stationär	mit Zugorgan	Paternoster
	Schwerkraftförderer			Rollförderer mit Antrieb Rutscheln
	Strömungsförderer			Rohrpost Pipeline

Abbildung 2-3: Übersicht der Fördermittel [SCH-05, S. 154]

Im Bereich des inner- und zwischenbetrieblichen Transports entstehen keine unmittelbaren Einnahmen oder eine Produktverbesserung durch den Transport. Auch bei den Kosten treten hier prinzipiell die gleichen Arten wie in anderen Unternehmensbereichen auf. In Abbildung 2-4 sind die wichtigsten Kostenarten charakterisiert. Variable Kosten treten nur beim Betrieb eines Fördermittels auf. Die Arbeitskosten beinhalten alle durch das Personal entstehende Kostenarten (Bruttolöhne und Bruttogehälter, gesetzliche und tarifliche soziale Aufwendungen, etc.). Die Kapitalkosten (vorwiegend fixe Kosten) enthalten kalkulatorische Abschreibungen und Zinsen, Steuern sowie Fremdleistungskosten (z. B. Versicherungsbeiträge, Fremdrepaturen, etc.). Die Betriebskosten fallen nur bei Beschäftigung an und sind daher variable Kosten. Sie enthalten Energiekosten, Wartungskosten, Reparaturkosten sowie eventuell benutzungsabhängige Steuern [FIS-04, S. 56].

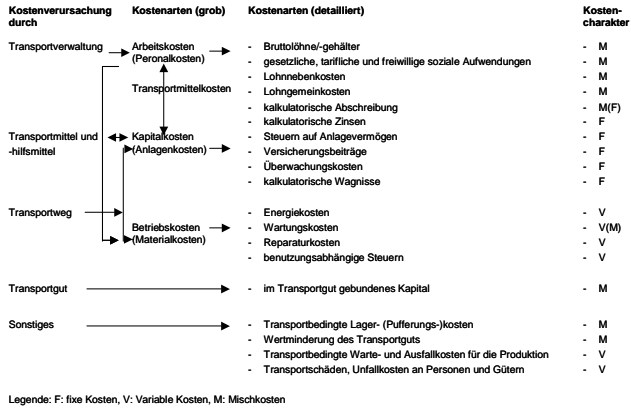


Abbildung 2-4: Kostenarten im Transportwesen [FIS-04, S. 55]

Aus den obigen Überlegungen lassen sich Transportkostenfunktionen ableiten. Die Arbeitskosten k_P (Personalkosten) je Zeiteinheit (z. B. Stunde) lassen sich mit folgender Gleichung ermitteln [FIS-04, S. 58]:

$$k_P = \sum_{i=1}^n (n_{Ti} * \sum_{j=1}^m n_{Pi,j} * k_{Pi,j})$$

Dabei sei n die Anzahl der Transportmittel-Gruppen, n_{Ti} die Anzahl der Transportmittel der Gruppe i , m die Anzahl der kostenmäßig unterschiedlich eingestuft Personen, $k_{Pi,j}$ die Kosten je Arbeitsstunde für Personen der Kostengruppe i [€/Stunde] sowie $n_{Pi,j}$ die Anzahl der mit dem Transport direkt oder indirekt befassten Personen der (Lohn-/Gehalts-)Kostengruppe i . Die Kapitalkosten k_K je Stunde werden unter der Annahme einer linearen Abschreibung wie folgt ermittelt [FIS-04, S. 58]:

$$k_K = \sum_{i=1}^n \left[\frac{n_{Ti}}{T_{BT}} * \left(\frac{K_{TPM}}{T_{NT}} + \frac{K_{TPM}}{2} * Z_T \right) + \frac{n_{THi}}{T_{BH}} * \left(\frac{K_{TPHM}}{T_{NH}} + \frac{K_{TPHM}}{2} * Z_H \right) \right] + \frac{1}{T_{BW}} * \left(\frac{K_{TPW}}{T_{NW}} + \frac{K_{TPW}}{2} * Z_W \right)$$

Hier werden folgende zusätzliche Formelzeichen benötigt:

n_{THi} :	Anzahl der Transporthilfsmittel (TPHM) für die Transportmittel (TPM) der Gruppe i
$T_{BT}/T_{BH}/T_{BW}$:	Anzahl der Betriebs- bzw. Benutzungsstunden je Jahr für TPM, TPHM und Transportweg (TPW)

$K_{TPM}/K_{TPHM}/K_{TPW}$:	Summe aus allen bis zum Beginn der Nutzung entstehenden Kosten (insbesondere Anschaffungs-, Installations-, Montagekosten, Kosten für Tests und Inbetriebnahme) je TPM/TPHM/TPW
$T_{NT}/T_{NH}/T_{NW}$:	Anzahl der Nutzungsjahre je TPM/TPHM/TPW
$Z_T/Z_H/Z_W$:	kalkulatorischer Zinssatz bezogen auf ein Jahr für TPM/TPHM/TPW

Die Betriebskosten enthalten im Wesentlichen Energie-, Reparatur- und Wartungskosten. Die Energiekosten, die vom Beschäftigungsgrad des Fördermittels abhängen, lassen sich auf Basis der Nennleistung von Antrieben oder durch experimentelle Messung bestimmen. Für den zweiten Fall lassen sich die Energiekosten (k_E) bestimmen zu [FIS-04, S. 59]:

$$k_E = \sum_{i=1}^n (n_{Ti} * Z_{Si} * n_{Bi} * P_{Ei} * k_{SE})$$

Folgende Formelzeichen kommen zusätzlich zur Anwendung:

Z_{Si} :	Spielzahl der Transportmittel (TPM) aus Gruppe i
k_{SE} :	Energiekosten je KWh
P_{Ei} :	Energieaufnahme (-verbrauch) je mittleres Spiel in KWh für TPM aus Gruppe i
n_{Ti} :	Anzahl TPM aus Gruppe i
η_{Bi} :	Beschäftigungsgrad der TPM aus Gruppe i

Bei den Reparatur- und Wartungskosten sind Transportmittel, Transporthilfsmittel und Transportweg zu unterscheiden. Die Wartungskosten (k_W) ergeben sich zu [FIS-04-, S. 60]:

$$k_W = \sum_{i=1}^n \left[\frac{n_{Ti}}{T_{WT}} * (T_{WDT} * k_{WT} + K_{WT}) + \frac{n_{THi}}{T_{WH}} * (T_{WDH} * k_{WH} + K_{WH}) \right] + \frac{1}{T_{WW}} * (T_{WDW} * k_{WW} + K_{WW})$$

Folgende zusätzliche Formelzeichen kommen zur Anwendung:

$T_{WT}/T_{WH}/T_{WW}$:	Wartungsintervall in Anzahl Betriebsstunden für TPM/TPHM/TPW
$T_{WDT}/T_{WDH}/T_{WDW}$:	durchschnittliche Wartungsdauer in Stunden für TPM/TPHM/TPW je Wartung,
$k_{WT}/k_{WH}/k_{WW}$:	durchschnittliche Kosten je Wartungsstunde für TPM/TPHM/TPW in €/h
$K_{WT}/K_{WH}/K_{WW}$:	durchschnittliche Materialkosten je Wartung für TPM/TPHM/TPW in €

Die Kostenfunktion für die Reparatur lautet [FIS-04-, S. 60]:

$$k_R = \sum_{i=1}^n \left[\frac{n_{Ti}}{T_{RT}} * (T_{RDT} * k_{RT} + K_{RT}) + \frac{n_{THi}}{T_{RH}} * (T_{RDH} * k_{RH} + K_{RH}) \right] + \frac{1}{T_{RW}} * (T_{RDW} * k_{RW} + K_{RW})$$

Folgende zusätzliche Formelzeichen kommen für Reparaturen analog zur Anwendung:

$T_{RT}/T_{RH}/T_{RW}$:	Wartungsintervall in Anzahl Betriebsstunden für TPM/TPHM/TPW
$T_{RDT}/T_{RDH}/T_{RDW}$:	durchschnittliche Wartungsdauer in Stunden für TPM/TPHM/TPW je Wartung,
$k_{RT}/k_{RH}/k_{RW}$:	durchschnittliche Kosten je Wartungsstunde für TPM/TPHM/TPW in €/h
$K_{RT}/K_{RH}/K_{RW}$:	durchschnittliche Materialkosten je Wartung für TPM/TPHM/TPW in €

Da in dieser Ausarbeitung ein mechanisiertes Lager mit un stetigen Fördermitteln modelliert werden soll, wird an dieser Stelle lediglich auf die Spielzeit-Berechnungsfunktionen für Unstetigförderer eingegangen. Stapler und Schlepper sollen an dieser Stelle gemeinsam betrachtet werden, da sich die aufeinander folgenden Tätigkeiten (Vorgänge) kaum unterscheiden. Die Hauptunterschiede liegen also rein in der technischen Auslegung mit den dazugehörigen Daten. Es ergibt sich für die Lastfahrt folgende Formel [FIS-04, S. 83]:

$$T_b = t_A + \frac{s_{Fb}}{v_{Fb}} + n_{Kb} * \left[v_{Fb} (1 - n_v)^2 * \left(\frac{1}{2a_{vb}} + \frac{1}{2a_{ab}} \right) + \frac{s_B}{v_{Fb}} * \left(\frac{1}{n_v} - 1 \right) \right] + t_E$$

Folgende Formelzeichen kommen zur Anwendung:

Zeichen	Einheit	Bedeutung
T_b	s	Lastspieldauer
t_A	s	Lastaufnahmezeit
s_{Fb}	m	gesamter Fahrweg beladen
v_{Fb}	m/s	Fahrgeschwindigkeit beladen
n_{Kb}	Anzahl	Anzahl der Kurven bei Lastfahrt
n_v		Geschwindigkeitsverringerrungsfaktor für Kurvenfahrt
a_{vb}	m/s ²	Verzögerung beladen
a_{ab}	m/s ²	Beschleunigung beladen
s_B	m	mittlere Bogenlänge einer Kurve
t_E	s	Zeit für Lastabgabe

Für die Leerfahrt kann ein ähnlicher Ansatz gewählt werden [FIS-04, S. 83]:

$$T_1 = \frac{s_{Fl}}{v_{Fl}} + n_{Kl} * \left[v_{Fl} (1 - n_v)^2 * \left(\frac{1}{2a_{vl}} + \frac{1}{2a_{al}} \right) + \frac{s_B}{v_{Fl}} * \left(\frac{1}{n_v} - 1 \right) \right]$$

Folgende Formelzeichen kommen zur Anwendung:

Zeichen	Einheit	Bedeutung
T_1	s	Leerspieldauer
s_{Fl}	m	gesamter Fahrweg leer
v_{Fl}	m/s	Fahrgeschwindigkeit leer
n_{Kl}	Anzahl	Anzahl der Kurven bei Leerfahrt
n_v		Geschwindigkeitsverringerrungsfaktor für Kurvenfahrt
a_{vl}	m/s ²	Verzögerung leer
a_{al}	m/s ²	Beschleunigung leer
s_B	m	mittlere Bogenlänge einer Kurve

2.5 Lagerlogistik

Die Lagerlogistik wurde in der Vergangenheit vielfach nicht als eigenständiger Bereich angesehen, sondern der Beschaffungs- bzw. Distributionslogistik zugeordnet. Wegen der zunehmenden und immer bedeutender werdenden Rolle hinsichtlich der Ver- und Entsorgung von Kunden mit Waren wird diese heute jedoch als selbstständiger Teilbereich (z. B. im Rahmen der Abgrenzung hinsichtlich der Verrichtung) des Logistikkomplexes betrachtet [EHR-03, S. 353] [PFO-04, S. 77]. Die Lagerlogistik hat die Aufgabe, „Systeme für alle Arten der Lagerung, Kommissionierung sowie Förderung der Güter vom Wareneingang über alle Stufen der Produktion bzw. Lagerung bis zum Warenausgang zu gestalten“ [EHR-03, S. 353]. Ein Lager stellt in diesem Zusammenhang „den Bestand an Gütern dar, der nicht direkt am Leistungserstellungsprozess beteiligt ist. Der Lagerung im engeren Sinne fällt die Aufgabe der Zeitüberbrückung zwischen der Warenverfügbarkeit und dem Bedarf zu“ [EHR-03, S. 353]. Die produktionsnahe Materialversorgung in Verbindung mit kurzen Liegezeiten wird hingegen als „Puffer“ bzw. „Pufferlager“ bezeichnet [THA-03, S. 216]. Ein Lagerhaus ist dementsprechend „ein Knoten in einem logistischen Netzwerk, in dem Güter vorübergehend festgehalten oder auf einen anderen durch das Netzwerk führenden Weg übergeleitet werden“ [PFO-04, S. 124]. Dabei laufen in einem Lagerhaus Bewegungs- und Lagerprozesse ab, welche die Wahrnehmung einer Anzahl von Lagerhausaufgaben bedingen (vgl. Abbildung 2-5).

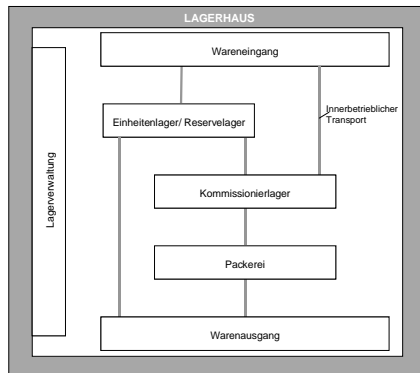


Abbildung 2-5: Lagerhausbereiche [PFO-04, S. 130]

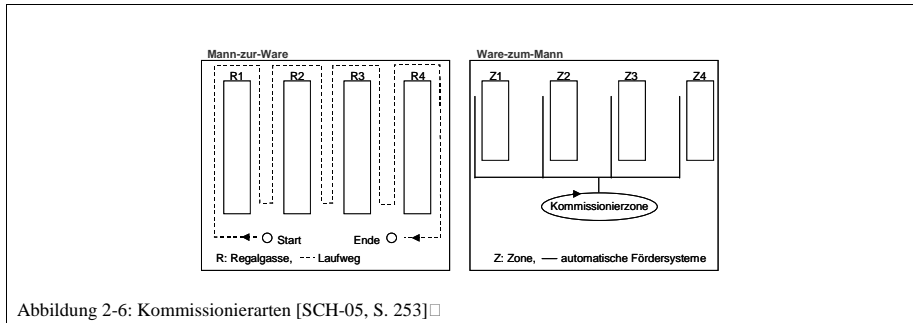
Im Wareneingang werden im Allgemeinen folgende Teilaktivitäten durchgeführt [EHR-03, S. 365] [PFO-04, S. 130] [SCH-05, S. 333ff]:

- Annahme der Material- und Warenlieferungen
- Überprüfung der Übereinstimmung von Bestellung und Lieferung hinsichtlich Richtigkeit der Ware, Menge und des vereinbarten Liefertermins (Vergleich Bestell- und Lieferscheindaten)
- Freigabe zur Entladung der Sendung und Feststellung von evtl. Beschädigungen sowie Abklärung von Zollformalitäten
- Exaktes Zählen der Ware bzw. Stichprobenkontrolle und Zubuchung in ein EDV-System
- Qualitätskontrolle, falls erforderlich

Im Lagerhausbereich „Einheiten- bzw. Reservelager“ stehen die Lagerprozesse im Vordergrund (Zeitüberbrückung, Ausgleichs- und Sicherungsfunktion). Werden die Güter nicht direkt zum Warenausgang, sondern in ein Kommissionierlager transportiert, so spricht man von „Reservelager“. Im Kommissionierlager werden die Güter im Allgemeinen nur kurze Zeit in kleinen Mengen gelagert [PFO-04, S. 131]. Dabei wird unter „Kommissionieren“ das „Zusammenstellen bestimmter Teilmengen (Artikel) aus einer bereitgestellten Gesamtmenge (Sortiment) auf Grund von Bedarfsinformationen verstanden. Hierbei erfolgt eine Umwandlung von einem lagerspezifischen in einen verbrauchsspezifischen Zustand“ [EHR-03, S.369] [SCH-05, S. 246]. Im Allgemeinen sind folgende Grundtätigkeiten während der Auslagerung eines Materials durchzuführen [ARN-04, S. C2-62] [EHR-03, S. 368ff] [SCH-86, S. 9] [THA-03, S. 214]:

- Bereitstellung von Bedarfsinformationen (Auftragsvorbereitung)
- Bereitstellung von Artikeln oder Artikelgruppen
- Kontrollierte Entnahme von Teilmengen aus der bereitgestellten Gesamtmenge
- Planmäßige Fortbewegung zur Entnahme und Abgabe
- Abgabe der Teilmengen an nachgelagerte Instanzen und Quittieren des Vollzugs, meist in ein EDV-System

Innerhalb der Bereitstellung von Artikeln oder Artikelgruppen wird zwischen statischer (auch als „Mann zur Ware“ bezeichnet) und dynamischer (auch als „Ware zum Mann“ bezeichnet) Bereitstellung unterschieden. Im ersten Fall bewegt sich die Person (evtl. unter zu Hilfenahme eines Transportmittels) zur Ware bzw. zum Material hin, im zweiten Fall wird dem Kommissionierer die Ware aus einem in der Regel automatisierten Lager meist mit automatischen Geräten an einem festen Platz zur Verfügung gestellt und nach Entnahme wieder eingelagert (z. B. automatisches Hochregallager) [ARN-04, S. C2-65ff] [EHR-03, S. 369] [FIS-04, S. 141ff].



Eine weitere Unterscheidung lässt sich hinsichtlich der Fortbewegung treffen. Es wird in eindimensionale (Bewegung in der Fläche) und zweidimensionale (Bewegung mit Hilfe von Kommissioniergeräten horizontal und vertikal) Kommissionierung unterschieden. Eine einstufige Kommissionierung liegt vor, wenn die Artikel eines jeden Auftrages einzeln am Grundlagerplatz entnommen und bereitgestellt werden. Werden an einem Identifikationspunkt die Artikel für mehrere Aufträge zusammengefasst (d. h. die bestellten Artikel gemeinsam entnommen) und danach in einer zweiten Stufe nach einzelnen Aufträgen getrennt, so liegt eine zweistufige Kommissionierung vor. Bei der seriellen Kommissionierung werden die Aufträge nach der Reihe der Kommissionierpositionen abgearbeitet. Wird ein Kommissionierauftrag in mehrere Kommissionierbereiche unterteilt und nach den Greifprozessen wieder zu einem Auftrag zusammengeführt, so liegt eine parallele Kommissionierung vor. Pick- und Pack-Kommissionierung liegt vor, wenn das Kommissioniervolumen eines Auftrags und die dazu benötigten Verpackungsmittel automatisch errechnet werden. Die zu entnehmenden Artikel können dann direkt in das Versandpackungsmittel eingelegt werden [EHR-03, S. 372ff] [SCH-05, S. 255/256].

Im Lagerhausbereich „Packerei“ wird der kommissionierte Auftrag zu einer versandfähigen Einheit zusammengestellt. Unter „Verpackung“ soll dabei die „lösbare, vollständige oder teilweise Umhüllung eines Gutes“ verstanden werden [PFO-04, S. 146]. Es folgt der Warenausgang mit der Warenabgabe an den Empfänger (Abholer, Spediteur) und Disposition der benötigten Transportmittel.

Die Lagerverwaltung umfasst alle Aufgaben der Steuerung und Koordination der Lager- und Bewegungsprozesse und bildet die Schnittstelle zur Auftragsabwicklung [PFO-04, S.131]. Als Aufgaben seien exemplarisch das Anlegen und Verwalten von Lagerplätzen, die Verfolgung von Lagerbewegungen

sowie die Bestandsführung genannt, die mit Hilfe von Lagerverwaltungssystemen rechnergestützt durchgeführt werden [THA-03, S. 215].

Hinsichtlich des Automatisierungsgrades eines Lagers kann in manuelle, mechanisierte und automatisierte Lager unterschieden werden. Im klassischen manuellen Lager geschieht die Ein- und Auslagerung durch Krafteinsatz der Mitarbeiter mit handgetriebenen Geräten als Hilfsmittel. Ein manuelles Lager darf dabei nicht mit Lagern verwechselt werden, die hoch technisiert sind, jedoch manuell bedient werden. Werden in Abgrenzung dazu die im Lager eingesetzten Einrichtungen (vor allem die Transportmittel) durch Energie betrieben, so spricht man von einem mechanisierten Lager. Erfolgt die Lagerbedienug nicht mehr durch den Menschen, sondern durch ferngesteuerte Anlagen, liegt ein automatisiertes Lager vor [EHR-03, S. 249]. Hinsichtlich der Technik im Lagerhaus kann eine weitere Unterscheidung in statisches und dynamisches System vorgenommen werden. Verbleiben die Lagereinheiten zwischen Ein- und Auslagerung an ihrem Platz, so spricht man von statischer Lagerung (z. B. Blocklager, statische Regallager, Fachbodenregallager). Im dynamischen Lagersystem dagegen werden die Lagergüter bewegt. Dies kann entweder durch Eigenbewegung der Ladeeinheiten oder durch Verschiebung der gesamten Regalanlage erfolgen (z. B. Durchlaufregallager, Verschieberegallager, Umlaufregallager) [ARN-04, S. C2-37ff] [PFO-04, S.137ff].

Lagerkosten können in fixe und variable Bestandteile unterteilt werden. Die Fixkosten entstehen aus der Bereitstellung der Lagerkapazitäten, variable Kostenbestandteile aus der Durchführung von Lagertätigkeiten [EHR-03, S. 389]. Typische Lagerhaltungskosten zeigt die folgende Übersicht:

Kosten	Beispiele
Lagerkosten	Kosten für Lagergebäude (Miete, Abschreibungen), Anlagen, Einrichtungen
Transportkosten	Kosten für Transportfahrzeuge, Lagerhilfsmittel
Personalkosten	Lagerpersonal, Verwaltung
IT-Kosten	Kosten für Datenverarbeitung und Informationstechnologie (im Lager)
Sonstige Kosten	Energiekosten, Beleuchtung, Instandhaltung, Versicherung

Abbildung 2-7: Typische Lagerhaltungskosten [THA-03, S. 215]

Betrachtet man die entstehenden Kosten gemäß den im Lager ablaufenden Prozessen, so kann in Kosten des Lagerraums, Bestandskosten (verursacht durch das Halten und Finanzieren von Beständen), Transportkosten als Kosten des innerbetrieblichen Transports, Kosten der Gestaltung, Planung und Kontrolle des Materialflusses (Verwaltungskosten) sowie Handlingkosten als Kosten des Verpackens, Bearbeitens und Kommissionierens unterteilt werden. Für die Kosten des Lagerraums werden die Abschreibungen für Gebäude-, Regal-, Heizungs-, Lüftungs-, Beleuchtungs- und Brandschutzeinrichtungen sowie die Verzinsung des eingesetzten Kapitals, die Instandhaltungskosten, Steuern und Versicherungskosten angesetzt. Bei den Bestandskosten wird die Verzinsung des gebunden Kapitals sowie Versicherung, Steuern und Kosten für Schwund berücksichtigt. Für die detaillierte Bewertung der Transport- und Handlingskosten sei auf die im

vorherigen Kapitel dargestellten Transportkostenfunktionen verwiesen. Die Verwaltungskosten werden aus der Summe der Kosten für Lagerverwaltung und Lagerdisposition sowie den anteiligen IT-Systemkosten errechnet [EHR-03, S. 65 und S. 390] [ROE-85, S. 33ff] [SCH-05, S. 651] [THA-03, S. 87].

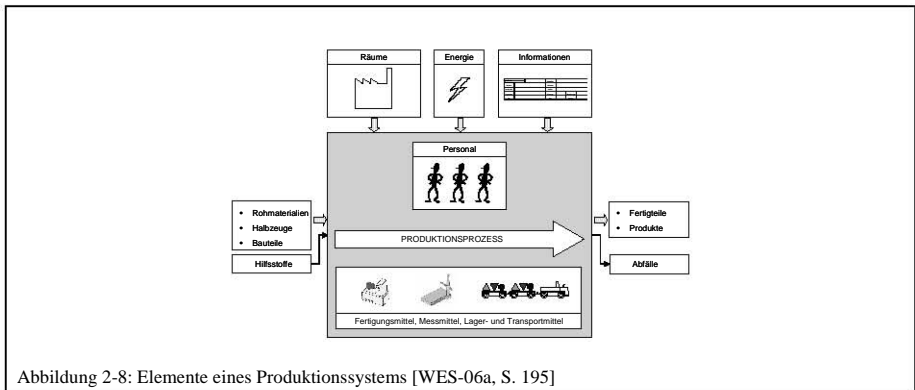
2.6 Definition Produktionssystem

In der Literatur wird der Begriff „Produkt“ nicht mehr einheitlich gefasst. Mit der wachsenden Bedeutung des Dienstleistungssektors hat eine Ausweitung des Begriffes stattgefunden, der sowohl materielle als auch immaterielle Leistungen als „Produkte“ ansieht [WAL-96, S. 11]. Im Rahmen dieser Arbeit wird das Produkt in seiner materiellen Form verstanden, das als Ergebnis eines Produktionsprozesses entsteht. Diese Begriffsbestimmung stützt sich auf die DIN 199-1, wonach ein „Erzeugnis (synonym: Produkt) ein durch Produktion entstandener gebrauchsfähiger Gegenstand ist“ [DIN199-1]. Ein Produkt ist somit das Ergebnis eines Prozesses [EN 9000, S.23]. Nach WESTKÄMPER werden heute unter dem Begriff „Produktion“ alle „technischen und organisatorischen Prozesse zur Herstellung, zum Erhalt und zum Recycling von materiellen und immateriellen Produkten und deren Betreuung im gesamten Produktlebenslauf“ verstanden. Der Produktlebenslauf beginnt dabei mit der Forschung und Entwicklung und endet mit dem Recycling des Produktes [WES-06a, S. 24]. Es ist somit ein komplexes und sich zeitlich veränderndes System [WES06a, S. 51 und S. 198]. An dieser Stelle sei angemerkt, dass in dieser Ausarbeitung kein begrifflicher Unterschied zwischen „Produktion“ und „Fertigung“ gemacht werden soll, d. h. beide Begriffe werden synonym verwendet. ERLACH definiert ein Produktionssystem als „Systematik, die die in einer Produktion zulässigen methodischen Standards sachlogisch aufeinander aufbaut“. Es legt somit fest, wie zu produzieren ist und muss für den Fabrikbetrieb handlungsleitend sein. Ein Produktionssystem zeichnet sich durch folgende Merkmale aus [ERL-07, S. 246]:

- Es lässt es sich in Handlungsfelder gliedern.
- Es enthält die Beschreibung der Gestaltungsrichtlinien sowie der untergeordneten Gestaltungsregeln und Methoden und legt diese als Standard fest.
- Es dient der Verwirklichung einer schlanken Fabrik, ausgerichtet an den Zieldimensionen Variabilität, Qualität, Geschwindigkeit und Wirtschaftlichkeit.
- Die mit den definierten Standards angestrebte kontinuierliche Verbesserung von Produktionsabläufen ist mit geeigneten Kennzahlen zu messen.
- Als Handlungssystem wird es von den Mitarbeitern unter hoher Mitverantwortung getragen und kann auch nur dann erfolgreich sein, wenn sich alle den Zielen und Methoden verpflichtet fühlen.

SPATH erweitert dieses Verständnis, in dem er in den Begriff des „Produktionssystems“ die Aufgaben und Inhalte der fertigungs- und montagegerechten Produktentwicklung integriert. Damit sind ganzheitliche (d. h. umfassende, durchgängige, bruchlose und alle Aspekte berücksichtigende) Produktionssysteme also nicht ausschließlich auf die Produktionsbereiche beschränkt, sondern bilden den gesamten Produktlebenslauf ab [SPA-03, S. 13].

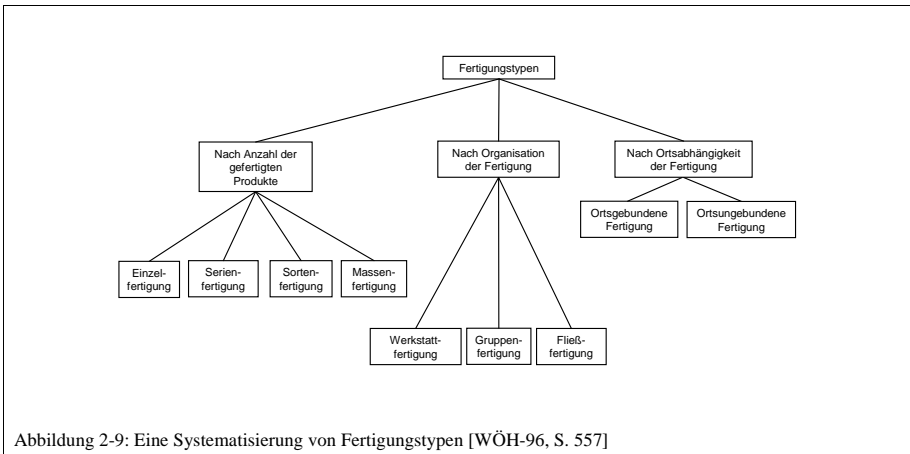
WESTKÄMPER stellt die Elemente eines Produktionssystems und deren Verknüpfung untereinander grafisch dar (vgl. Abbildung 2-8):



Aufgabe des Produktionsprozesses ist die Umwandlung von Rohmaterial, Hilfsstoffen, Betriebsstoffen und Halbteilen in Fertigteile oder Produkte unter Einsatz vorhandener oder zu beschaffender Ressourcen wie Werkstätten, Energie, Information, Mess- und Betriebsmittel, Lager, sowie Transporteinrichtungen. Zu deren Nutzung wird das entsprechende Personal eingesetzt. Genereller Zweck des Produktionssystems ist „die Herstellung der richtigen Produkte nach Art und Menge, zum richtigen Zeitpunkt, in einer spezifizierten Qualität und zu akzeptablen Kosten“ [WES-06a, S.195]. Heutige Produktionssysteme umfassen neben den originären Produktionstechniken auch den gesamten Produktlebenslauf einschließlich der logistischen Kette [WES-06, S. 16].

2.7 Abgrenzung Produktionstyp

Die betriebswirtschaftlich orientierte Produktionstypologisierung ist eine wissenschaftliche Methode, um eine zweckorientierte Ordnung unterschiedlicher Erscheinungsformen der industriellen Produktion abzuleiten. Hierzu werden verschiedene Merkmale mit dem Ziel der Charakterisierung realer industrieller Produktionsprozesse herangezogen [GAB-88, S. 1023]. Die folgende Abbildung zeigt eine Systematisierung von Fertigungstypen:



Unterschieden wird dabei in drei Kriterien [WÖH-96, S. 556-557]:

- Die Anzahl der nacheinander gefertigten artgleichen Produkte mit den Ausprägungen Einzelfertigung (Fertigung einzelner Stücke oder Aufträge), Serienfertigung (Fertigung mehrerer Einheiten unterschiedlicher Produkte auf verschiedenen Anlagen), Sortenfertigung (Varianten einer Produktart in begrenzter Auflage) und Massenfertigung (Herstellung unbegrenzt vieler Einheiten eines oder mehrerer Produkte auf gleichen Anlagen).
- Die organisatorische Gestaltung des Produktionsablaufs mit den Ausprägungen Werkstattfertigung (Anordnung der Betriebsmittel und Arbeitsplätze nach dem Verrichtungsprinzip mit Orientierung an den einzelnen Arbeitsgängen), Fließfertigung (Orientierung am Fertigungsablauf der einzelnen Produkte mit dem Ziel minimaler Warte- und Zwischentransportzeiten) und die Gruppenfertigung (Mischform).
- Die Ortsabhängigkeit der Fertigung mit den Ausprägungen ortsgebundene Fertigung (Betriebsmittel werden zum Produkt transportiert) und ortsungebundene Fertigung (Produkt wird zu den ortsfesten Betriebsmitteln transportiert).

Auf Grund der Eingrenzung der vorliegenden Arbeit ist die Serienfertigung mit ihren Unterarten im Weiteren von besonderem Interesse, also die Fertigung mehrerer Einheiten unterschiedlicher Produkte auf verschiedenen Anlagen mit dem Merkmal der Prozesswiederholung in einem festgelegten Zeitraum [GAB-88, S. 1467]. Für die weitere Arbeit soll die Unterscheidung in Kleinserienproduktion und Serienproduktion nach der Anzahl der hergestellten Einheiten definiert sein. Eine solche Einteilung ist beispielsweise bei SCHÖNSLEBEN zu finden [SCH-02, S. 149]. Liegt eine große Anzahl möglicher Varianten vor, so wird von variantenreicher Serienproduktion gesprochen [SCH-02, S. 323]. Dabei sollen unter Varianten „Gegenstände ähnlicher Form und / oder Funktion mit einem in der Regel hohen Anteil identischer Gruppen oder Teile“ verstanden werden [DIN 2003]. Beispielhafte Unterscheidungskriterien von Varianten sind das

Design, die Form, das Gewicht, die Größe, bestimmte Abmessungen, gewisse Leistungsmerkmale, etc. [ZIM-88, S. 1].

Die variantenreiche Serienproduktion kann unterschiedliche Ausprägungsformen annehmen. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft eine Charakterisierung anhand von neun typologischen Merkmalen. Die dunkelgrau hervorgehobenen Felder kennzeichnen Ausprägungen, die ausschließlich oder überwiegend die variantenreiche Serienproduktion charakterisieren. Die hellgrauen Varianten sind Alternativen, die ebenfalls auftreten können.

Typologisches Merkmal	Ausprägung 1	Ausprägung 2	Ausprägung 3	Ausprägung 4
Erzeugnis-spektrum	Erzeugnisse nach Kundenspezifikation	Typisierte Erzeugnisse mit kundenspezifischen Varianten	Standarderzeugnisse mit Varianten	Standarderzeugnisse ohne Varianten
Ergebnisstruktur	Einteilige Erzeugnisse	Mehrtellige Erzeugnisse mit einfacher Struktur	Mehrtellige Erzeugnisse mit komplexer Struktur	
Auftragsaus-lösungsart	Produktion auf Bestellung mit Einzelaufträgen	Produktion auf Bestellung mit Rahmenaufträgen	Produktion auf Lager	
Nachfrageverlauf	Sporadisch	Schwankend/saisonal	Progressiv	Linear
Produktionstiefe	Produktion mit geringer Tiefe	Produktion mit mittlerer Tiefe	Produktion mit großer Tiefe	
Beschaffungsart	Fremdbezug unbedeutend	Fremdbezug in größerem Umfang	Weitestgehender Fremdbezug	
Dispositionart	Kundenauftragsorientiert	Überwiegend kundenauftragsorientiert	Überwiegend programmorientiert	Programmorientiert
Ablauf in der Fertigung	Baustellenfertigung	Werkstattfertigung	Gruppen-/Linienfertigung	Fließfertigung
Ablaufart in der Montage	Baustellenmontage	Gruppenmontage	Reihen-/Linienmontage	Fließmontage

Abbildung 2-10: Beispielhafte Charakterisierung der variantenreichen Serienproduktion [DÜR-01, S. 20-22]

Zu weiteren Ausführungen und detaillierten Erläuterung der einzelnen Merkmale und der verschiedenen Ausprägungen sei auf den Autor und die dort zu findende weiterführende Literatur verwiesen.

3 Stand der Technik

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird ein Modell zur Ermittlung des Einflusses der Verkleinerung von Losgrößen auf ein mechanisiertes Lager auf Basis von Methoden zur Erweiterung der Ansätze des „Lean manufacturing“ um logistikrelevante Aspekte für die variantenreiche Serienproduktion dargestellt. Im zweiten Kapitel wurden die wichtigsten Grundlagen und Begriffe erklärt. Auf Basis dieser Ausführungen beinhaltet das vorliegende Kapitel den aktuellen „Stand der Technik“ im Themengebiet sowie im Zusammenhang mit den bisher dargestellten Ausführungen. Kapitel 3.1 stellt das Konzept und die Methoden des „Lean manufacturing“ vor. Darauf aufbauend werden in Kapitel 3.2 die bisher bekannten logistischen Methoden im Rahmen eines wertschöpfungsorientierten Produktionssystems vorgestellt, die als Basis für die Erweiterung der Ansätze des „Lean manufacturing“ um logistikrelevante Aspekte für die variantenreiche Serienproduktion dienen (Kapitel 3.2).

3.1 Das JIT-Produktionssystem

Das Konzept des „Lean management/Lean manufacturing“ wurde Mitte des letzten Jahrhunderts in Japan von Taiichi Ohno bei Toyota unter den Bedingungen einer Mangelwirtschaft entwickelt [DRE-05, S. 22][SPA-03, S. 41] [WES-06a, S. 221] und Anfang der 1990er Jahre durch eine wissenschaftliche Vergleichsstudie „The machine that changes the world“ (Womack, Jones, Roos 1990) in die USA und nach Europa übertragen [SPA-03, S. 192]. Zur Vereinfachung sollen die Begriffe „JIT-Produktionssystem“, „Toyota-Produktionssystem“ (TPS), „Lean production“, „Lean manufacturing“, „Schlanke Produktion“ und „Schlankes Unternehmen“ in dieser Abhandlung synonym verwendet werden. Kern des Systemmodells ist die Aufteilung von Produktions- bzw. Unternehmensprozessen in wertschöpfende und nicht-wertschöpfende Tätigkeiten (Verschwendung, jap.: „muda“). Unterschieden werden 7 Arten der Verschwendung: Überschussproduktion (Quelle aller Verschwendung, da sie alle anderen Verschwendungsarten nach sich zieht), Flächen, Transport, Stillstands- und Wartezeit, Reparatur/Fehler/Nacharbeit, unnötige Bestände und Wegezeiten [CON-01, S. 42] [DRE-05, S. 268ff] [OEL-00, S: 34] [OHN - 93, S. 46] [SPA-03, S. 192] [SUZ-94, S. 133] [TAK-02, S. 154ff] [TAK-96, S. 96]. In einigen Quellen wird auf eine achte Verschwendungsart, die Nichtnutzung des Talents bzw. Wissens der Mitarbeiter, hingewiesen [DRE-05, S. 36] [LIK-06, S. 59/60] [SUZ-94, S. 133]. TAKEDA unterteilt weiter in offensichtliche Verschwendung, die sofort eliminiert werden kann (z. B. Warten, Suchen, Doppelarbeit) und Tätigkeiten, die an sich Verschwendung darstellen, aber unter den gegebenen Umständen getan werden müssen (z. B. Reinigen, Transportieren) [TAK-96, S. 96]. Zielsetzung des TPS ist die Verbesserung von Qualität, Kosten und Lieferservice durch die Vermeidung eben dieser Verschwendung und die damit verbundene Steigerung der Prozesseffizienz bzw. Senkung des Zeit- und Kostenaufwandes [DRE-05, S. 19] [WES-06a, S. 222]. SUZAKI definiert in diesem Zusammenhang „Produktivität“ als Output geteilt durch den dazu nötigen minimalen Input und addiert die Verschwendung als Verlustfaktor [SUZ-94, S. 21]. Die anzustrebende Durchlaufzeitverkürzung und die Erhöhung der Produktionsflexibilität werden durch die Einführung verschiedener Grundbausteine (Säulen) erreicht (vgl. Abbildung 3-1).

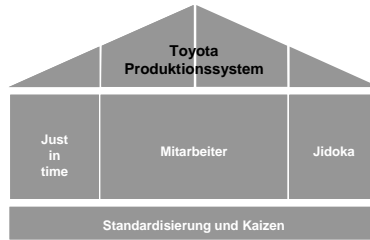
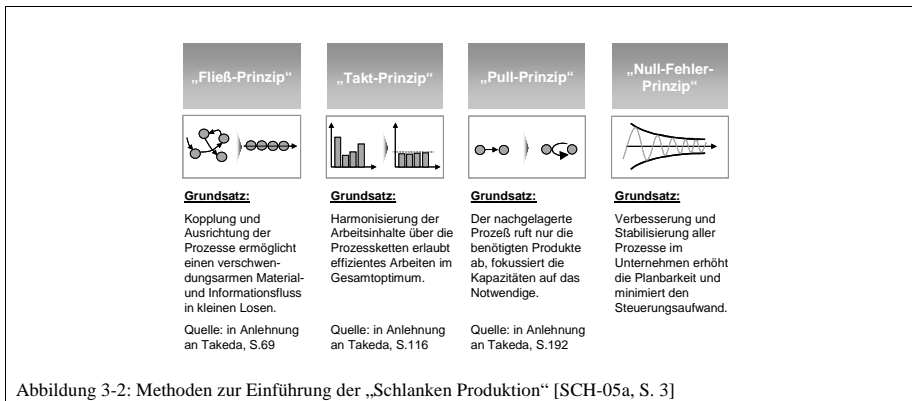


Abbildung 3-1: Das Toyota-Produktionssystem [SPA-03, S. 194]

Die erste Säule des Toyota Produktionssystems, Just in time (JIT), verfolgt das Ziel, nur das herzustellen, was gebraucht wird. Dies wird durch die Einführung von drei Methoden (im Folgenden auch als JIT-Methoden bezeichnet) erreicht: Ein-Stück-Fluss, Kundentakt und Zieh-Prinzip (vgl. Abbildung 3-2). Zielsetzung des Ein-Stück-Flusses ist die Reduzierung der Durchlaufzeiten durch die Vermeidung von Beständen zwischen den Prozessstufen. Die Fließfertigung wird durch Kopplung und Ausrichtung der Prozesse realisiert, die eine kontinuierliche bzw. getaktete Bewegung der Produkte in der Fertigung und Montage bewirken [LIK-06, S. 63] [WES-06a, S. 10]. Des Weiteren wird die Vision der Herstellung kleiner Lose, im Idealfall ein Stück, verfolgt. Dies bedingt die Reduktion der Rüstzeiten und die damit einhergehende Erhöhung der Rüstfrequenz [LIK-06, S. 146]. Der Kundentakt beschreibt das Erreichen eines Rhythmus durch Harmonisierung der Arbeitsinhalte. Er wird durch die durchschnittliche Nachfrage des Kunden je Zeiteinheit beschrieben [LIK-06, S. 144ff]. Gleichzeitig wird durch die Eliminierung von Schwankungen in Bezug auf Artikelart und –menge eine hohe Effizienz erzielt. Hierbei werden Gesamtstückzahlen für ein bestimmtes Produkt zuerst in Tagesmengen („Nivellieren“) und dann in Stundenmengen („Glätten“) produziert, was mit einer Erhöhung der Produktionsfrequenz einhergeht (jap.: Heijunka) [TAK-02, S. 41ff]. Die Grundsystematik der Produktionsplanung und -steuerung wird im Zieh-Prinzip (synonym: Pull-Prinzip, nachfüllende Produktion, ziehende Produktion) dargestellt. Nur die letzte Stufe der Fertigung wird direkt angesteuert. Die vorgelagerten, nicht direkt verkettbaren Prozessstufen werden durch selbststeuernde Regelkreise mit dem nachfolgenden Prozess verknüpft und somit „gezogen“ (Prinzip der Wiederauffüllung). Dies reduziert im Vergleich zur Ansteuerung jeder einzelnen Maschine die Komplexität [SPA-03, S. 41]. Die Steuerung erfolgt mittels Signalen, die in der Praxis beispielsweise mit Karten (jap. Kanban) realisiert werden. Der nachgelagerte Prozess fordert nur die Teile, die er benötigt, und vermeidet somit Überproduktion [DRE-05, S. 58] [OHN-93, S. 55] [LIK-06, S. 160ff] [SPA-03, S. 41/42 und S. 192] [WES-06a, S. 222]. In Analogie zu den 7 Arten der Verschwendung in der operativen Produktion kann Verschwendung in der Planung und Steuerung identifiziert werden. Diese entsteht durch unklare Zielsetzungen, unpassende Funktionslogik, schlechte Datenqualität, unklare Zuständigkeiten und Schnittstellen sowie unzureichende Werkzeuge und mangelhaftes Mitarbeiterwissen [WIE-06, S. 14]. Reduziert man Bestände zwischen den Prozessstufen und folgt dem Prinzip der direkten Verkettung, so bewirkt ein Anlagenausfall den Stillstand der gesamten Produktionslinie. Autonome Automation (kurz:

„Autonomation“, jap.: Jidoka) wirkt diesem durch die Verbesserung und Stabilisierung aller Prozesse im Unternehmen entgegen. Dabei wird unter „Autonomation“ verstanden, die „Betriebsmittel mit Mechanismen auszurüsten, die fehlerhafte Teile sofort erkennen und bei deren Auftreten für ein sofortiges Anhalten der Betriebsmittel sorgen“ [TAK-96a, S. 14]. OHNO bezeichnet dies auch als „Automation mit menschlichen Zügen“, da der Maschine sozusagen Intelligenz verliehen wird [OHN-93, S. 30]. Visuelles Management versetzt die Werker in die Lage, Fehler oder Abweichungen zum SOLL-Zustand selbstständig und ohne Hilfe des Managements zu erkennen. Tritt dieser Zustand ein, muss die Produktionslinie angehalten und die Ursache des Problems gesucht werden. Ist die Wurzel des Problems erkannt, wird versucht, den Fehler nicht mehr entstehen zu lassen (jap.: Poka-Yoke, wörtlich: unbeabsichtigte Fehler vermeiden bzw. Baka-Yoke, wörtlich: Narrensicherheit) [DRE-05, S. 59ff] [OHN-93, S. 151]. „Autonomation“ bedeutet dann, dass die Anlage nur „Gut-Teile“ produzieren kann. [CON-01, S. 114] [SPA-03, S. 41/42 und S. 192] [WES-06a, S. 222]. Bei lückenloser Einführung aller Methoden entsteht eine direkt verkettete Produktion bzw. ein Prozessfluss voller Wertschöpfung, die Verschwendung ist in die unterstützenden Prozesse konzentriert (z. B. Logistik) [SPA-03, S. 192]. Mit der Anwendung einzelner Elemente alleine, z. B. Pull-Prinzip oder JIT-Anlieferung von Lieferanten, wird eine Effizienzsteigerung nur teilweise erreicht bzw. ist instabil. Der Erfolg des TPS liegt im Zusammenspiel aller beschriebenen Elemente [LIK-06, S. 65] [WOM-98].



Die Philosophie bzw. Lebenseinstellung [CON-01, S. 27] [WES-06a, S. 223] der kontinuierlichen Verbesserung (KVP, jap.: KAIZEN, Kai = Veränderung/Wandel, Zen = zum Besseren) dient als Grundlage für das Toyota-Produktionssystem. Sie beschreibt den Weg zu einem schlanken Unternehmen durch die tägliche Verbesserung in kleinen Schritten und unterscheidet sich damit zur Innovation (großer Schritt) [WES-06a, S. 222]. Durch Standardisierung werden die Verbesserungen abgesichert. Die Gruppenarbeit wird dabei durch die klare und eindeutige Visualisierung unterstützt (Abweichungsmanagement), die den Mitarbeitern erlaubt, selbstständig bei Abweichungen die richtigen (verbessernden) Maßnahmen zu ergreifen [SPA03-S. 41] [WES-06a, S. 222]. Die Mitarbeiter werden durch Teilnahme an Workshops und regelmäßige

Information in den Verbesserungsprozess eingebunden. Sie sind Treiber und Rückgrat des Toyota-Produktionssystems und stehen somit im Mittelpunkt aller Maßnahmen [SPA-03, S. 96] [WES-06a, S. 224]. Zahlreiche Dokumentationen haben das Toyota-Produktionssystem in den vergangenen Jahren beschrieben, so dass die bis hierher beschriebenen Elemente nur einen kleinen Teilausschnitt mit Fokus auf die für den Materialfluss relevanten Elemente darstellen. Für ein tieferes Studium des TPS sei an dieser Stelle auf die benannte Literatur verwiesen.

3.2 Logistik im Rahmen des JIT-Produktionssystems

Betrachtet man die oben beschriebenen Verschwendungsarten wie beispielsweise Flächen, Transport, Wegezeiten und Bestände, so ist Logistik per Definition der Verschwendung zuzuordnen. TAKEDA bezeichnet die „Wege für das Heranschaffen von Teilen“ sogar als offensichtliche Verschwendung, die sofort eliminiert werden muss [TAK-96, S. 96]. Da selbst bei direkter Verkettung von Maschinen und Anlagen im Sinne des Ein-Stück-Flusses Rohmaterialien zugeführt und Fertigerzeugnisse abtransportiert werden müssen, kann die Verschwendung durch Logistik nach Meinung des Autors niemals auf Null reduziert werden. Andererseits bezeichnet TAKEDA die Logistik sogar als „die Triebfeder zur Verbesserung des Produktionssystems“ [TAK-96, S. 63]. Eine eindeutige Einordnung der Logistik wird in diesen Quellen somit nicht vorgenommen. Im Rahmen des TPS sind weiterhin einige Methoden zur Umsetzung einer „Schlanken Logistik“ beschrieben, die im Folgenden näher erläutert werden sollen.

3.2.1 Außerbetrieblicher Routenverkehr

Im Vergleich zum klassischen Pendelverkehr (siehe Abbildung 3-3), der das Produktionsunternehmen mit einem Zulieferer unter Ausnutzung des vollen Ladevolumens meist sortenrein in einer Einzelfahrt beliefert, soll ein außerbetrieblicher Routenverkehr (Synonym: Rundverkehr, engl.: „milk run“) eingesetzt werden. Dieser Rundverkehr ist durch gemischte Beladung, getaktete An- und Abfahrtszeiten sowie fest definierte Fahrstrecken gekennzeichnet und verbindet mehrere Lieferanten mit ein oder mehreren Senken [SPA-03, S. 211] [TAK-02, S. 89], [TAK-96, S. 34/64]. Dabei ist die Zeitgenauigkeit des An- und Abtransportes (Zeitfenster) wichtiger als die volle Ausnutzung der Ladekapazität [TAK-96, S. 63]. Hierbei findet eine Trennung der Be- und Entladevorgänge vom Transport statt, d. h. der Spediteur ist lediglich für die Anlieferung der Ladung an einer Abladestelle innerhalb eines definierten Zeitfensters verantwortlich. Nach dem Abkoppeln des vollen Trailers übernimmt er einen leeren Trailer und verlässt das Werk, ohne für die Entladung des Trailers verantwortlich zu sein [OEL-00, S. 43]. Bestände in Waren- und Teilelager werden durch enge Zusammenarbeit mit Handel/Kunden und Lieferanten mit dem Ziel vorhersagbarer und stabiler Wiederbeschaffungszeiten sowie durch die Erhöhung der Transportfrequenz eliminiert [BAU-04, S.134] [TAK-96, S. 63 und S. 179].

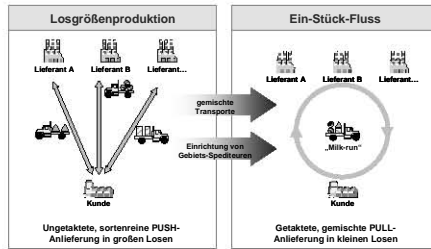


Abbildung 3-3: „Milk run“ ersetzt sortenreine Direktverkehre [BAU-04, S. 132] [SPA-03, S. 211] [TAK-02, S. 91] [TAK-96, S. 179]

Die Einführung eines außerbetrieblichen Routenverkehrs ist nicht für alle Arten von (Bau-) Teilen und für jeden Lieferanten geeignet, sondern funktioniert am Besten bzw. am Effizientesten, wenn Lieferanten nahe beieinander, in unmittelbarer Nähe des verbrauchenden Werkes angesiedelt und die Teile durch regelmäßigen Verbrauch in kleinem bis mittlerem Volumen gekennzeichnet sind. BAUDIN nennt Rahmenbedingungen, die den Einsatz eines externen „milk run“ erschweren [BAU-04, S. 136]:

- Ein Teil wird täglich in großen Volumen verbraucht. Hier kann ein klassischer Pendelverkehr eingesetzt werden.
- Ein Bauteil hat sporadischen Verbrauch in kleinen Mengen.
- Die Zulieferer sitzen in weiter Entfernung zum Produktionswerk bzw. haben zwischen sich weite Distanzen.

Um das Konzept des außerbetrieblichen Routenverkehrs entgegen den genannten erschwerenden Rahmenbedingungen auszuweiten, sieht BAUDIN die folgenden Möglichkeiten (vgl. Abbildung 3-4) [BAU-04, S. 137ff]:

- Integration einer lokalen Lagerstufe für einen weiter entfernten Lieferanten in den Rundverkehr, Anbindung über Linienverkehr (Variante 1)
- Erweiterung eines „milk-run“ auf lokal angesiedelte Lieferanten in Tagesentfernung, Kombination von Linienverkehr und Rundverkehr (Variante 2).
- Routenverkehr für lokal angesiedelte Lieferanten in Tagesentfernung mit zwischengeschaltetem Umschlagspunkt („Cross docking“) in der Nähe der Lieferanten, Anbindung zum Kunden mit Linienverkehr (Variante 3).

Unter „Cross docking“ versteht man dabei „alle Aktivitäten in einem Auflösungspunkt eines mehrstufigen Logistiksystems, die erforderlich sind, um eingehende Ware für den sofortigen Versand bedarfsgerecht aufzulösen und bereitzustellen“ [KOT-97, S. 161]. Der aus der US-amerikanischen Logistikpraxis stammende Begriff bezeichnet den Vorgang, dass Lastkraftwagen auf der einen Seite eines Lagerhauses andocken und dort der Wareneingang erfolgt, während an der gegenüberliegenden Seite Lastkraftwagen mit den Lieferungen für die einzelnen Senken beladen werden [SCH-05, S. 495].

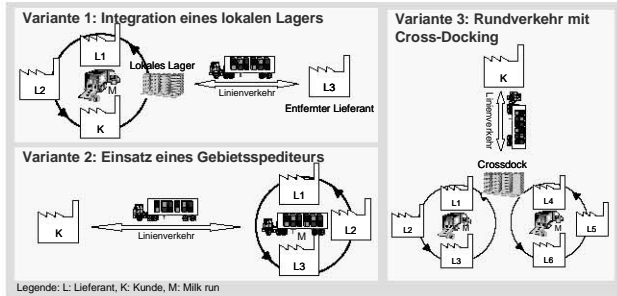


Abbildung 3-4: Erweiterung des Routenverkehrs [BAU-04, S. 137ff]

In einem außerbetrieblichen Rundverkehr hat die Auswahl des eingesetzten Verkehrsmittels (in diesem Fall meist ein LKW) Einfluss auf die Funktionsfähigkeit und Effizienz. In vielen Fällen ist die Be- und Entladung eines LKW nur von Hinten möglich, d. h. die Entladung kann nur in einer festgelegten Reihenfolge nach „Last-In-First-Out“-Strategie erfolgen. Dies beschränkt die Flexibilität und schafft zusätzliche Restriktionen. Idealerweise sollten Verkehrsmittel zum Einsatz kommen, die seitlich zu Be- und Entladen sind, wahlfreien Zugriff auf die Ware zulassen und durch den gleichzeitigen Zugriff mehrerer Fördergeräte schneller entladen werden können [BAU-04, S. 143].

3.2.2 Innerbetrieblicher Routenverkehr und Feinlogistik

Als Verbindung zwischen Wareneingang, Lager und Produktionslinie bzw. innerhalb der Produktion wird ein zirkulierendes Transportsystem mit gemischter Beladung (die Begriffe „innerbetrieblicher Routenzug“, „Rundverkehr“ und „innerbetrieblicher Routenverkehr“ sollen in diesem Kapitel synonym verwendet werden) eingesetzt (siehe Abbildung 3-5) [TAK-96, S. 191/192]. Dabei wird die Logistik nicht nur zur physischen Weitergabe von Teilen, sondern auch als Informationstransporteur (z. B. von KANBAN, Störungen, etc.) mit Hilfe der Transportwagen genutzt. Über die fest definierten und regelmäßigen Zeiten nach Fahrplan sowie die wiederkehrende Route erzeugt der Rundverkehr einen gleichmäßigen Strom im Sinne des Ein-Stück-Flusses und dient als Taktgeber der Produktion. Die Anlieferung an die Produktionslinien erfolgt rein auf Anforderung (Zieh-Prinzip) [BAU-04, S. 113] [OHN-93, S. 70ff] [TAK-02, S. 80ff] [TAK-96, S. 63/64 und S. 191/192].

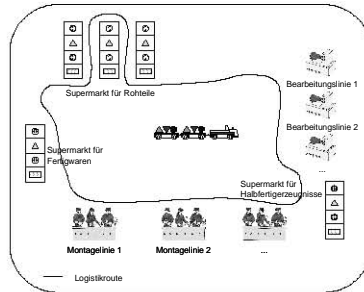
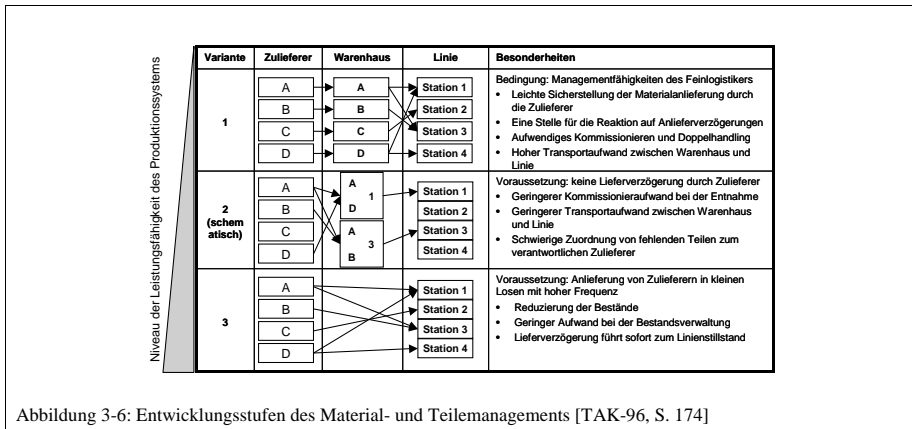


Abbildung 3-5: Routenzug in der Produktion [BAU-04, S. 113] [TAK-96, S. 191/192]

Zusätzlich zum Rundverkehr kommt ein weiterer Mitarbeiter zum Einsatz, der die Feinversorgung einer oder mehrerer Produktionslinien (je nach Arbeitsinhalt und Taktung) übernimmt. Dieser „Feinlogistiker“ wird im Japanischen „Mizusumashi“ genannt, ins Deutsche übersetzt bedeutet dies „Taumelkäfer“ [TAK-96, S. 177]. Der Begriff ist somit an die Art und Weise der Bewegungen dieses Mitarbeiters angelehnt: Wie ein Insekt verbindet er den direkten Supermarkt an den Fertigungs- bzw. Montagelinien, die Produktionslinien und den Rundverkehr. Der „Feinlogistiker“ übernimmt alle nicht-wertschöpfenden Tätigkeiten im Arbeitsplatzzumfeld und unterstützt somit das standardisierte Arbeiten in der Produktion, in dem er für eine konsequente Trennung von Wertschöpfung und Verschwendung in den Produktionslinien sorgt. Durch den Effekt, dass der Produktionsmitarbeiter nicht mehr für logistische Tätigkeiten seinen Arbeitsplatz verlassen muss, sinken die nicht-wertschöpfenden Tätigkeitsanteile und die Produktivität steigt [BAU-04, S. 113] [TAK-96, S. 34 und S. 64] [TAK-02, S. 88].

3.2.3 Direktbelieferung von Produktionslinien

Innerhalb der Beschaffungslogistik werden drei Entwicklungsstufen des Material- und Teilemanagements beschrieben (vgl. Abbildung 3-6).



Bei nicht gewährleiteter Liefertreue der Zulieferer soll auf die erste Variante, die Anlieferung in zuliefererbezogene Eingangswarenhäuser, zurückgegriffen werden. Über Bestände, erhöhten internen Transport- und Handlingsaufwand können die Schwächen des Lieferanten reduziert bzw. ausgeglichen werden. Die Entwicklung zu einer Belieferung in linienbezogene Eingangswarenhäuser (Variante 2) setzt voraus, dass die Lieferverzögerungen der Lieferanten auf ein Minimum reduziert bzw. gänzlich eliminiert werden konnten. Bestände und interner Aufwand können reduziert werden. Das höchste Niveau der Beschaffungslogistik sieht TAKEDA in der Direktanlieferung der Materialsensken ohne Warenhäuser. Grundvoraussetzung ist eine Anlieferung durch die Zulieferer in kleinen Losen mit hoher Frequenz und gemischten Transporten mit dem Ergebnis einer weiteren Bestandsreduzierung und der Verringerung des internen Handlings- und Transportaufwandes. Eine Lieferverzögerung führt hierbei jedoch unmittelbar zum Stillstand des Systems [TAK-96, S. 173ff].

3.2.4 Einsatz von Förderhilfsmitteln

Für das Bereitstellen und Transportieren von Gegenständen innerhalb, außerhalb und zwischen den Werken benötigt man geeignete Förderhilfsmittel (es soll hier synonym der Begriff „Behälter“ verwendet werden). Im Rahmen des JIT-Produktionssystems ist es von großer Bedeutung, das Material in einen Fluss (Verkleinerung der Losgrößen, Verkürzung der Anlieferungsintervalle, Reduzierung der Durchlaufzeiten) zu bringen. Es gilt grundsätzlich die Regel, dass der nachgelagerte Prozess die Art des geeigneten Behälters bestimmt [TAK-96, S. 113]. Sollte dies nicht der Fall sein, so muss die geeignete Behälter-Produkt-Kombination durch Umpacken in der vorgelagerten Prozessstufe erreicht werden [TAK-02, S. 91/103]. Bei der Auswahl des geeigneten Förderhilfsmittels sind nach BAUDIN und TAKEDA folgende Kriterien zu berücksichtigen [BAU-04, S. 172ff] [TAK-96, S.114] [TAK-02, S. 104]:

- Keine Beeinträchtigung der Teilequalität (Stoßschäden, Elektrostatische Aufladung, Verstauben, Verformung, etc.)
- Sortenreinheit pro Behälter
- Möglichst kleine, nicht ganz volle Behälter
- Visuelles Stückzahlmanagement (Enthaltende Stückzahl muss auf einen Blick erkennbar sein)
- Maximales Gewicht 12kg (leichte Handhabbarkeit)
- Einsatz von Mehrwegbehälter

TAKEDA fordert den vollständigen Ersatz jedes Einwegbehälters (z. B. Wellpappe, Papiertüten, etc.) durch Mehrwegbehälter innerhalb der Beschaffungs- und Produktionslogistik. Die Rentabilität von Mehrwegbehältern wird nur absolut beschrieben (ab der zehnten Verwendung seien diese rentabel), es erfolgt keine Beweisführung durch Kalkulation [TAK-02, S. 103ff]. BAUDIN diskutiert den Einsatz von Einweg- und Mehrwegbehältern differenzierter. Für ihn ergibt sich das einzusetzende Förderhilfsmittel aus dem Zusammenspiel zwischen Verpackungsqualität, Kosten (Anschaffung, Handling, etc.) und Umweltverträglichkeit (BAU-04, S. 178).

3.2.5 Produktionsplanung und Steuerung

In der Literatur werden zwei grundsätzliche Steuerungskonzeptionen unterschieden. Zum einen gibt es die schiebenden Verfahren (synonym: Push-Produktion, geplante Produktion), die jedes Glied der Materialflussskette durch ein zentrales PPS-System direkt ansteuern und die Fertigung für eine erwartete Nachfrage bzw. Planungen anstoßen. Die benötigten Stückzahlen werden häufig in einem Schub (z. B. am Monatsende) in maximalen bzw. rechnerisch optimalen Losgrößen hergestellt [TAK-02, S. 25 und S. 193][TAK-96, S. 124]. Den bedeutendsten Vertreter der Push-Verfahren stellt das Konzept des Manufacturing Resource Planning (MRP II) dar, welches eine Weiterentwicklung des Material Requirements Planning (MRP) ist [EHR-03, S. 443] [SCH-05, S. 416]. Für eine detaillierte Beschreibung des MRP bzw. MRPII-Konzeptes sei auf SCHUH verwiesen [SCH-06]. Diese Form der Steuerung erfordert einen erheblichen Planungs- und Koordinationsaufwand, da jede Produktionslinie direkt angesprochen wird und die dort gesammelten Daten direkt zur Fertigungssteuerung zurückgemeldet werden (möglichst in Echtzeit) [SCH-05, S. 416]. Da jedoch reale Produktions- und Nachfrageprozesse nicht exakt determinierbar sind, ergeben sich vielseitige Probleme bei der Durchführung (z. B. ungenaue Rückmeldedaten), denen dann mit Sicherheitszeiten und –beständen begegnet wird [MOR-99, S. 7].

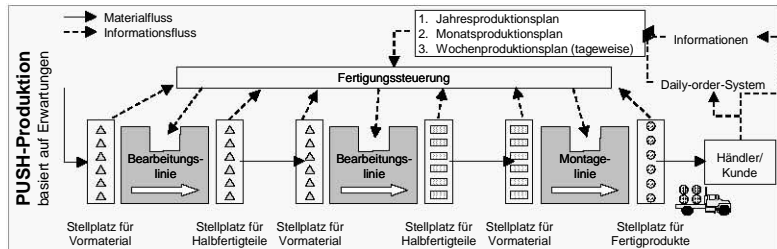


Abbildung 3-7: Schiebende Produktion [TAK-96, S. 125]

Die zweite Art, die Produktion zu steuern, bilden die ziehenden Verfahren, bei denen der letzte Prozessschritt der Fertigungskette direkt angesprochen wird. Die davor liegenden Fertigungsstufen werden dezentral von der jeweils danach liegenden Fertigungsstufe angesteuert (vgl. Abbildung 3-8). Durch die direkte Ansteuerung zwischen den Prozessstufen entsteht ein sich selbst steuernder Regelkreis, der Überproduktion vermeidet [SCH-05, S. 416][TAK-96, S. 126]. Bei Pull-Systemen weisen, im Gegensatz zu den Push-Verfahren, Informations- und Materialfluss eine entgegengesetzte Richtung auf. Eine der wichtigsten Umsetzungsformen stellt das Kanban-Prinzip als Steuerungsmethodik innerhalb des JIT-Produktionssystems dar. Ein nachfolgender Prozess (Kunde) greift dabei auf den vorgeschalteten Prozess zurück, um sich die benötigten Produkte in gewünschter Menge und Zeit zu beschaffen. Der vorgelagerte Prozess füllt auf Grund der Kundenentnahme die entnommene Warenmenge in einen Supermarkt wieder auf (vgl. Abbildung 3-9). „Ziehend“ bedeutet dann, dass ein vorgeschalteter Prozess keine Teile produziert, ohne dass der nachgelagerte Prozess (Kunde) diese angefordert hat [TAK-02, S. 191][WOM-96, S. 67]. Unter einem Supermarkt wird dabei ein Lager verstanden, das folgenden Anforderungen genügt [MOR-99, S. 8ff][TAK-02, S. 106]:

- Die Befüllung erfolgt nach dem Prinzip „First In – First Out“
- Der Supermarkt steuert den vorgelagerten Prozess nach dem Prinzip „Ist was weg, muss was hin“.
- Jede Artikelvariante hat einen fest vorgegebenen Platz
- Die Definition eines Stellplatzes erfolgt eindeutig über Artikelnummer, Adresse, Bezeichnung
- Die Festlegung der Minimum-Maximum-Angabe je Artikel erfolgt am Platz
- Es herrscht visuelle Bestandstransparenz an jedem Platz

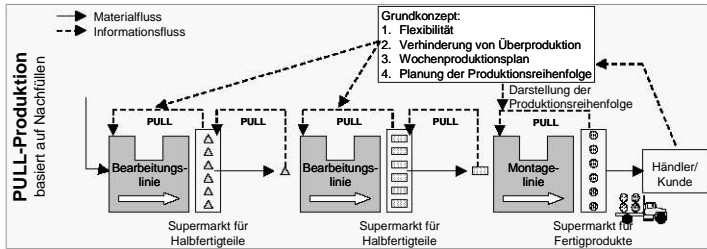


Abbildung 3-8: Nachfüllende Produktion [TAK-96, S. 125]

Der Einsatz des Kanban-Prinzips erfordert Rahmenbedingungen, um einen sinnvollen und reibungslosen Betrieb zu gewährleisten [RHO-91, S. 138][SCH-05, S. 425][TAK-96, S. 135ff][TAK-02, S. 195]:

- Hinsichtlich schwankender Bedarfe erweist es sich als wenig robust, weshalb der Verstetigung des Teileverbrauchs eine zentrale Bedeutung zukommt (geringe Bedarfsschwankungen)
- Reduzierung der Rüstzeiten mit dem Ziel einer nivellierten bzw. geglätteten Produktion
- Materialflussorientierte Anordnung der Betriebsmittel (Fließprinzip) zur Reduktion von Transporttätigkeiten, Anhäufung von Umlaufbeständen, etc.
- Mitarbeiterqualifikation an verschiedenen Maschinen mit dem Ziel der Flexibilitätserhöhung.
- Stabile Produktionsprozesse mit dem Ziel, einen gleichmäßigen Output je Zeitscheibe zu gewährleisten.

Hinsichtlich der grundsätzlichen Funktionsweise der Kartenweitergabe, Regeln der Kartensteuerung sowie der verschiedenen Arten von Kanban (z. B. Produktionskanban, Transportkanban) sei auf die Quellen MORITZ bzw. TAKEDA verwiesen.

Die Dimensionierung der Kanban-Regelkreise benötigt ein Mindestmaß an vorausschauender Planung. Ausgehend von einem langfristigen Absatz- und Kapazitätsplan wird ein langfristiger Produktionsplan ermittelt. Daraus werden rollierende Monatspläne erstellt, welche die mittelfristigen Produktionsmengen beinhalten. Auf einer feineren Planungsstufe werden für den nächsten Monat die Produktionsprogramme generiert. Daraus werden durch Mittelwertbildung die Tagesproduktionsmengen generiert und die Dimensionierung der Bestandshöhen bzw. der Kanban-Regelkreise festgelegt [BAU-04, S. 311ff][MOR-99, .27], S. 47][RHO-91, S. 152/157].

Eine zentrale Forderung für den Einsatz einer Produktionssteuerung auf Basis des Kanban-Prinzips ist ein gleichmäßiger Bedarf. Übertragen auf ein Kanban-System bedeuten Bedarfsschwankungen Störungen (z. B. Fehlmengen), die auf das gesamte System einwirken. Dies führt in der Folge zum Aufbau von Sicherheitspuffern, die im Sinne des TPS grundsätzlich unerwünscht sind. Für eine mehrstufige Produktion mit dazugehöriger dezentraler Steuerungssystematik bedeuten Bedarfsschwankungen, dass sich die Störungen entlang des Materialflusses überproportional fortsetzen [SUZ-89, S. 146]. Das in der Praxis vorkommende Ergebnis des Aufschaukelns in der Lieferkette wird als „Peitscheneffekt“ (engl. „Bullwhip-

Effekt“) bezeichnet und wurde erstmals von FORRESTER erwähnt [ALI-05, S.100][FOR-61][KUH-02, S. 17]. Es führt zu Überbeständen, langen Lieferzeiten, schlechtem Servicegrad, schwankendem Bedarf sowie Über- bzw. Unterauslastung von Ressourcen und damit zu hohen Kosten. Die Gründe hierzu liegen in einer verzögerten Informationsweitergabe in der Lieferkette (eigen- und fremdinduziert), einer lokalen Informationsverarbeitung und Prognose (eigen- und fremdinduziert), der Auftragsbündelung (z. B. Bestellung in vollen Losgrößen), nicht synchronisierten, periodischen Bestellungen und unabgestimmten Preisaktionen [ALI-05, S. 102][KUH-02, S. 18-20][LEE-97, S. 548-555][PHI-99, S. 2]. Für weitere Ausführungen zum Peitscheneffekt sei auf die genannte Quellen verwiesen.

In der Literatur werden für die Problematik schwankender Bedarfe bei Kanban-Steuerung quantitative Grenzen angegeben. WILDEMANN sieht die obere Grenze, bei der die auftretenden Bedarfsschwankungen mit organisatorischen Mitteln gelöst werden können, bei einer Schwankungsbreite von plus/minus 10% pro Woche und plus/minus 30% pro Monat erreicht [WIL-90, S. 99]. TÜRKE nennt eine Schwankungsbreite von plus/minus 10%, ohne jedoch eine Bezugsgröße zu nennen [TÜR-86, S. 30]. MONDEN begrenzt die maximale Schwankungsbreite auf plus/minus 10% der täglichen Bedarfsmenge vom monatlich gemittelten Tagesbedarf [MON-93, S. 372]. BRUNNER nennt Lösungsansätze für die Behandlung von schwankenden Artikeln, die in der folgenden Abbildung dargestellt sind.

Lösungsansatz	Schematische Darstellung	Stärken	Schwächen
1 Grobe Kapazitätsplanung (tagsgenau, Stückzahlen, „Lückensuche“)		<ul style="list-style-type: none"> • Abarbeitung der Kanban-Artikel wird durch Kapazitätsreservierungen für Exotenartikel nicht beeinträchtigt 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine sichere Prognose der Auftragsdurchlauf- und Lieferzeiten für Exotenartikel führt zur Absicherung der Lieferfähigkeit über Sicherheitsbestände
2 Feste Reservierung von Schicht- oder Tages-Zeitscheiben		<ul style="list-style-type: none"> • Relativ sichere Prognose der Auftragsdurchlauf- und Lieferzeiten für Exotenartikel durch Reservierung fester Zeitscheiben • Verfügbare Kapazität für die Abarbeitung von Kanban-Artikeln ist langfristig bekannt 	<ul style="list-style-type: none"> • Aus der Anordnung der Zeitscheiben ergibt sich eine Mindestdurchlaufzeit für die zu bearbeitenden Aufträge
3 Bedarfsweise Nutzung der Kapazitätsflexibilität für Exoten		<ul style="list-style-type: none"> • Kapazitätsangebot steht uneingeschränkt zur Abarbeitung von Kanban-Artikeln zur Verfügung 	<ul style="list-style-type: none"> • Lösungsansatz funktioniert nur, wenn Kapazitätsreserven vorhanden sind

Abbildung 3-9: Lösungsansätze für die Behandlung von Schwankungen [BRU-06, S. 105]

Schwankender Bedarf bzw. Steuerung von Exotenartikeln und großen Projektmengen bilden bei Kanban-Systemen also einen nicht zu vernachlässigenden Problemkomplex, der selbst bei den Gründern des TPS zu Ausgleichsbeständen und das Vorhalten von Kapazitätsreserven bzw. Fehlmenigen führt [MOT-82, S. 109ff] [SPA-03, S. 41].

4 Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit

Betrachtet man die zahlreich erschienenen Ausarbeitungen über das TPS, so stellt man fest, dass fast ausschließlich Beispiele und Methoden für die Anwendung in der Produktion dargestellt sind. Dies gilt insbesondere für die Logistik, die in der Säule „Just-in time“ innerhalb des TPS eingebettet ist (vgl. Abbildung 4-1). Dort sind die in Kapitel 3.2 erläuterten logistischen Methoden wie die Idee des gemischten Transports als Unterstützung der Weitergabe kleiner Losgrößen [TAK-02, S. 85ff] („Ein-Stück-Fluss“), der Einsatz von Mehrwegbehältern, Kanban als Produktionssteuerungskonzept sowie das Grundprinzip der Trennung von Wertschöpfung (alle herstellende Tätigkeiten) und Verschwendung (Logistik) mit Hilfe der bildhaften Vorstellung „Chirurg-Krankenschwester-Beziehung“ beschrieben.

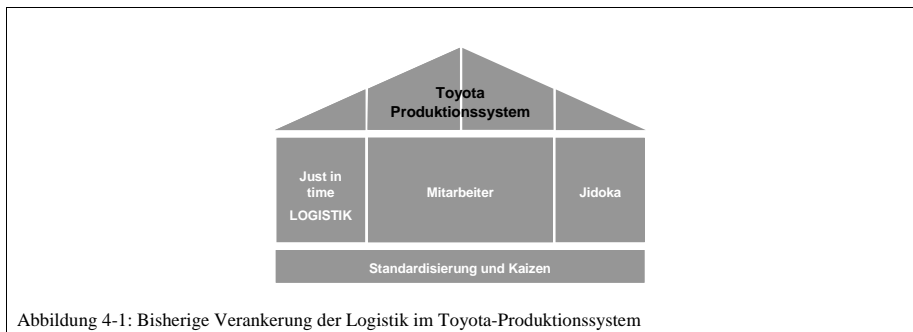


Abbildung 4-1: Bisherige Verankerung der Logistik im Toyota-Produktionssystem

Analysiert man die Stichwortverzeichnisse der dort genannten Quellen, so kommt das Wort „Logistik“ (bzw. „Logistic(s)“ bei englischen Quellen) kaum oder gar nicht vor. Des Weiteren werden einige Elemente der logistischen Kette gar nicht beschrieben, beispielsweise die Distributions- und Lagerlogistik. Unbeantwortet bleibt ebenso die Frage, in welcher Art und Weise bekannte logistische Methoden und Werkzeuge das Toyota-Produktionssystem unterstützen oder sogar in seiner Effizienz begrenzen. Gerade die Verkleinerung von Losgrößen im Sinne des Ein-Stück-Flusses hat erhebliche Auswirkungen auf die logistische Kette. Wird beispielsweise die Produktionsmenge eines Artikels je Förderhilfsmittel bei konstantem Kundenverbrauch in einem Betrachtungszeitraum halbiert, so müssen im Wareneingang des nachfolgenden Lagerhauses doppelt so viele Ladungsträger je Zeiteinheit verarbeitet werden. Dies stellt einen Mehraufwand dar, der sich entlang der logistischen Kette addiert und der bisher in keiner Quelle ausreichend analysiert wurde. Auf die Herausforderungen, die mit „Unsicherheiten“ verbunden sind, bietet Lean production bisher ebenfalls kaum Antworten. Beispielsweise steigert eine zu starke Bestandsreduzierung die Anfälligkeit gegenüber Störungen (z. B. Streik der Mitarbeiter) und das Konzept der selbst steuernden Regelkreise im Sinne der Produktionsplanung und –steuerung stößt bei zu großen Schwankungsbreiten des Bedarfs an seine Grenzen [MOR-99, S. 29-37] [SPA-03, S.41] [THA-03, S. 31].

Vor diesem Hintergrund wird im ersten Teil dieser Ausarbeitung exemplarisch für ausgewählte Teilbereiche der Logistik ein „schlankes Logistiksystem“ mit den dazugehörigen korrespondierenden Methoden für die

variantenreiche Serienproduktion beschrieben (Kapitel 5). Dazu wird die schlanke Logistik als eigener Baustein und separate Säule des Toyota-Produktionssystems entlang der logistischen Kette entwickelt und ausgebaut (vgl. Abbildung 4-2).

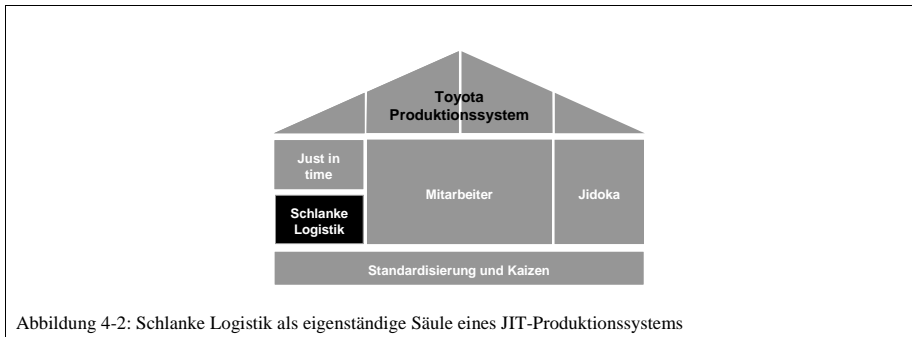


Abbildung 4-2: Schlanke Logistik als eigenständige Säule eines JIT-Produktionssystems

In Kapitel 5.1 wird dementsprechend die Logistik im Rahmen eines schlanken Unternehmens eingeordnet und darauf aufbauend werden die Anforderungen an eine schlanke Logistik beschrieben und entwickelt. Die Methoden hinsichtlich der Informationsflüsse und Querschnittsbereiche werden in Kapitel 5.2 dargestellt. Hier wird insbesondere der Ansatz einer schlanken Produktionsplanung und –steuerung auf Basis dezentraler Regelkreise, gekoppelt mit einer rechnergestützten Auftragssteuerung, als Lösungsansatz für Situationen mit eigen- und fremdinduzierten Bedarfsschwankungen und großer Schwankungsbreite vorgestellt (Konzept der kombinierten Steuerung). Die Entwicklung und Darstellung der Methoden einer schlanken Distributionslogistik ist Inhalt des Kapitels 5.3. Hier wird besonders auf die Glättung eigen- und fremderzeugter Bedarfsschwankungen mit einfachen Hilfsmitteln eingegangen. Kapitel 5.4 widmet sich den bisher bekannten Methoden einer schlanken Produktionslogistik, baut diese aus bzw. detailliert sie. Abschließend wird der Materialfluss entlang der Lieferkette um die Bausteine einer schlanken Beschaffungslogistik ergänzt (Kapitel 5.5).

Wie in den Ausführungen weiter oben bereits am Beispiel des Wareneingangs erwähnt, hat die Verkleinerung von Losgrößen im Sinne des Ein-Stück-Flusses erhebliche Auswirkungen auf Material- und Informationsflüsse entlang der logistischen Kette, die bisher kaum diskutiert wurden. Die gesamte Betrachtung der logistischen Kette würde den Umfang dieser Arbeit überschreiten, weshalb im zweiten Teil der Arbeit die Wirkweise der Verkleinerung der Losgröße im Sinne des Ein-Stück-Flusses auf den Teilbereich des Materialflusses in einem mechanisierten Lager eingegrenzt wird (vgl. Abbildung 4-3). Zielsetzung ist es, für die Gesamtkosten des Lagers hinsichtlich der Variierung der Losgröße ein Optimum zu finden, bei dem sich zusätzliche Aufwendungen und Einsparungsmöglichkeiten egalieren.

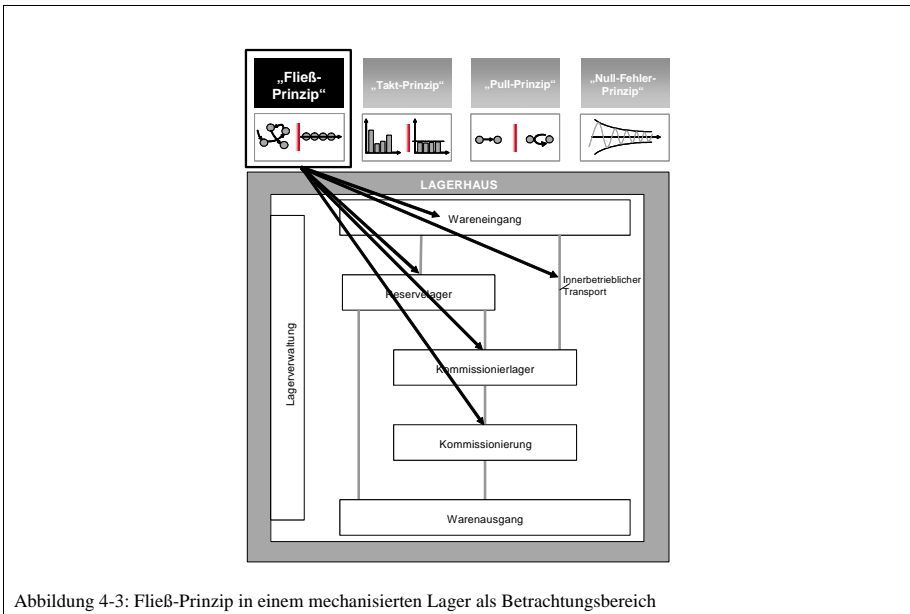


Abbildung 4-3: Fließ-Prinzip in einem mechanisierten Lager als Betrachtungsbereich

Dazu wird in Kapitel 6.1 das mechanisierte Lager in ein homomorphes (d. h. vereinfachtes) Modell überführt. Da im Warenausgang nicht die Anlieferlosgröße der Produktion entscheidend ist, sondern die Auftragsmenge der Kunden, wird der Warenausgang mit seinen Prozessen in der Betrachtung nicht berücksichtigt. Die im Lager ablaufenden Informationsflüsse („Lagerverwaltung“) werden unter der Prämisse der Aufwandsneutralität ebenfalls nicht berücksichtigt. Auf Basis des entwickelten homomorphen Modells werden Grenzwertbetrachtungen hinsichtlich der Losgrößenverkleinerung angestellt. Dies geschieht für jeden Lagerhausbereich separat und danach für die Gesamtkostenfunktion (Kapitel 6.2). Anschließend werden ausgewählte Methoden einer schlanken Logistik (siehe Kapitel 5) in ihrer Wirkweise im Zusammenspiel mit einer Losgrößenverkleinerung diskutiert. Dabei ist nachzuweisen, dass der Einsatz dieser Methoden eine weitere Verkleinerung der Losgröße zulässt, ohne dass zusätzliche Kosten entstehen (Kapitel 6.3). Abschließend werden im Rahmen eines Sonderfalls gewisse Rahmenbedingungen und ihre Wirkung auf das Modell diskutiert.

Die in Kapitel 5 entwickelten Methoden einer schlanken Logistik werden anschließend an Hand eines Unternehmens innerhalb der variantenreichen Serienproduktion in der Praxis eingeführt (Kapitel 7.1). Die im Rahmen des homomorphen Modells erzielten Ergebnisse werden danach an Hand eines mechanisierten Lagers durch Simulation mit Echtdateen und Fallbeispielen in der Praxis validiert (Kapitel 7.2). Abschließend wird der logistische Fortschritt am Beispiel der Entwicklung dreier globaler Kennzahlen dargestellt (Kapitel 7.3)

5 Konzept und Merkmale eines schlanken Logistiksystems

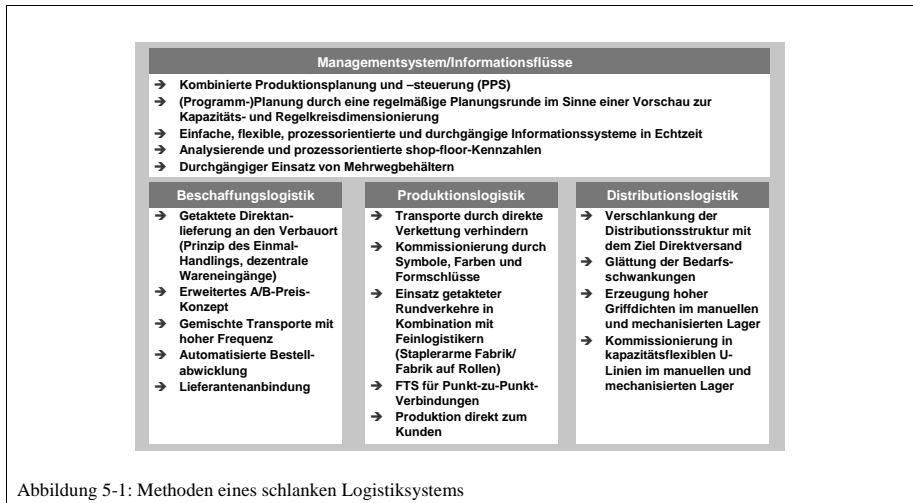
Auf Basis der in Kapitel 3.2 dargestellten bekannten logistischen Methoden im Rahmen des Toyota-Produktionssystems werden im Folgenden das Konzept und die Merkmale eines schlanken Logistiksystems vorgestellt. Kapitel 5.1 ordnet die Logistik im Rahmen eines schlanken Unternehmens ein, definiert Anforderungen an eine schlanke Logistik und stellt das Gesamtkonzept in einer Übersicht dar. Die weiteren Kapitel erweitern bzw. detaillieren die bekannten logistischen Methoden um neue Aspekte für das Managementsystem bzw. die Informationsflüsse (Kapitel 5.2), Distributionslogistik (Kapitel 5.3), Produktionslogistik (Kapitel 5.4) und Beschaffungslogistik (Kapitel 5.5).

5.1 Einordnung der Logistik im Rahmen eines schlanken Unternehmens

Betrachtet man die Logistik mit den Augen der sieben Verschwendungsarten, so fällt auf, dass Logistik im Rahmen des JIT-Produktionssystems per Definition Verschwendung ist (z. B. Transport, Wegezeiten). Selbst die schlankste Fabrik wird allerdings ohne diese unterstützenden Prozesse kein einziges Teil hervorbringen bzw. an den Kunden liefern. Teilbereiche der logistischen Aktivitäten fallen dabei in die Definition der offensichtlichen Verschwendung (z. B. unnötige Transporte, Sonderfahrten), die sofort eliminiert werden müssen, andere Tätigkeiten stellen als solche Verschwendung dar, müssen aber unter den gegebenen Umständen getan werden (z. B. Transport zum Kunden). Vor diesem Hintergrund muss der Verschwendungscharakter der Logistik im Rahmen des Wertschöpfungsbeitrages innerhalb eines schlanken Unternehmenssystems neu eingeordnet werden. Eine schlanke Logistik gestaltet Wertschöpfung, in dem sie effektiv und effizient die Grundsätze und Methoden eines schlanken Unternehmens unterstützt. Dies geschieht, indem das richtige Material und die richtige Information in der richtigen Qualität, zur richtigen Zeit, in der richtigen Menge, am richtigen Ort und in der richtigen Darreichungsform bereitgestellt wird. Bei Einhaltung des geforderten Lieferservice wird in Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik gleichermaßen auf die Reduzierung bzw. Eliminierung von Verschwendung hingearbeitet und größtmögliche Wandlungsfähigkeit erzeugt. Wandlungsfähigkeit bedeutet in diesem Zusammenhang die Möglichkeit, „auf unvorhergesehene Umweltveränderungen angemessen reagieren zu können“ [SPA-02, S. 28]. WIENDAHL liefert beispielsweise für das Auftragsmanagement einen erweiterten Wertschöpfungsansatz. Demnach ist wertschöpfend, „was dem Auftrag eine Eigenschaft hinzufügt, die seinen Wert aus Kundensicht erhöht“ [WIE-07, S. 90]. Aus diesen Überlegungen werden im Rahmen dieser Arbeit die Anforderungen an eine schlanke Logistik definiert:

- Schnell: Durchlauf- und Liegezeiten sind minimal
- Sicher: Sicherheit und Fehlervermeidung sind selbstverständlich
- Einfach: Abläufe und Prozesse sind verständlich für „Alle“
- Schlank: Abläufe sind verschwendungsarm, die Bestände gering
- Stabil: Prozesse sind zuverlässig und wiederholbar
- Flexibel/Wandlungsfähig: Strukturen passen sich leicht den aktuellen Gegebenheiten an

Aus den Anforderungen werden in dieser Ausarbeitung Basismethoden abgeleitet, mit denen die Einführung einer schlanken Logistik für die variantenreiche Serienproduktion unterstützt bzw. umgesetzt werden kann. Diese Basismethoden werden zum schlanken Logistiksystem ausgebaut (vgl. Abbildung 5-1).



Ziel dieses Kapitels ist es, die einzelnen hier entwickelten Bausteine mit ihren Methoden näher zu erläutern bzw. bekannte Bausteine des Kapitels 3.2 weiter zu detaillieren.

5.2 Managementsystem und Informationsflüsse

Ziel der Implementierung des Ein-Stück-Flusses ist die direkte Verkettung von Maschinen und Anlagen zu Prozessketten. Damit wird die direkte Ansteuerung einzelner Maschinen überflüssig und durch das Ansprechen der gesamten verketteten Maschinenreihe ersetzt, was den Aufwand bzw. die Komplexität erheblich reduziert und als wichtigstes Ziel hinsichtlich der Rahmenbedingungen einer schlanken Produktionsplanung und –steuerung angesehen werden muss (siehe Abbildung 5-2).

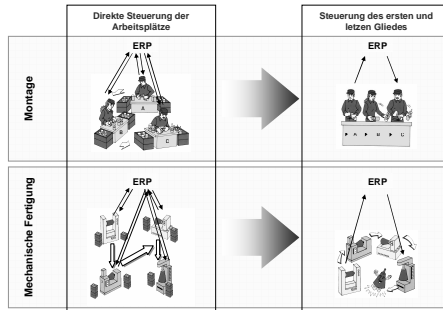


Abbildung 5-2: Direkte Verkettung reduziert Komplexität

Erst wenn keine direkte Verkettung möglich ist, werden die einzelnen Prozessglieder über direkte Regelkreise mit einfacher Systemunterstützung verbunden (dezentrale PPS, ziehende Fertigung). In einem dezentralen PPS-System wird die detaillierte Ablaufplanung für alle Produktionsstellen dezentral vorgenommen, d. h. die Bedarfsinformation wird nur an der letzten Stelle des Prozesses eingesteuert, alle davor liegenden Stellen steuern sich selbst über definierte Kreisläufe. Eine reine Steuerung über den Verbrauch mit Regelkreisen und Bedienung der Kundenaufträge aus definierten Beständen scheitert in der Praxis häufig an den eigen- oder fremdinduzierten Bedarfsschwankungen (Unsicherheit, vgl. Kapitel 3.2.5). Diesen ungünstigen Rahmenbedingungen kann in der Praxis durch Glättung der Lieferkette (siehe Kapitel 5.3), durch mit dem Kunden abgestimmte Teillieferungen (Auftragssplitt) oder durch Kombination der reinen Verbrauchssteuerung mit IT-System unterstützter Auftragssteuerung begegnet werden (Konzept der kombinierten Steuerung). Hierbei wird der Grundbedarf aus einem Lager bedient und an Hand des Verbrauchs in Abhängigkeit eines Meldebestandes nachproduziert, Großmengen werden in Abhängigkeit des (Kunden-) Auftrags gefertigt bzw. durch die Prozesskette gesteuert (vgl. Abbildung 5-3). Der Meldebestand ist dabei eine Bestandsgröße, deren Unterschreitung die Wiederbeschaffung bzw. die Nachproduktion auslöst.

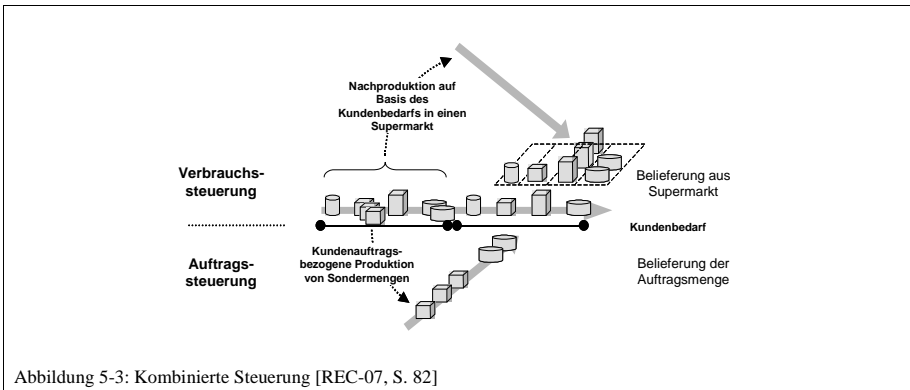


Abbildung 5-3: Kombinierte Steuerung [REC-07, S. 82]

Mit der Änderung der Systematik hinsichtlich der Produktionsplanung und –steuerung ändern sich ebenfalls die Aufgaben der Personen, die mit Produktionsplanung und –steuerung bzw. der Disposition beschäftigt sind. Sie passen nach den Zukunftsprognosen der Programmplanung je nach IT-Unterstützung manuell oder teilautomatisiert die Parameter der Verbrauchssteuerung an, der Grundbedarf wird ansonsten vom Mitarbeiter an der Maschine selbstständig eingeplant und produziert sowie danach am Verbrauchsort nachgefüllt. Dazu ist es notwendig, die Mitarbeiter an den Anlagen umfangreicher zu qualifizieren und das Wissen regelmäßig (z. B. in Form von Audits) zu überprüfen. Die (teil-) automatische Abwicklung des Grundbedarfs schafft auf der anderen Seite Freiräume für die Steuerung ungeplanter Aufträge bzw. die Abwicklung plötzlicher Bedarfsschwankungen, für welche der Mensch (in diesem Fall die Produktionssteuerung) als Ideengeber benötigt wird (z. B. woher bekomme ich das zusätzlich Rohmaterial?). Des Weiteren ist es möglich, alle notwendigen Stammdaten und Parameter regelmäßig zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren. Die Programm- bzw. Absatzplanung dient damit rein der Regelkreisanpassung und zur Erstellung von Kapazitätsplanungen auf den Ressourcen. Diese sollte in regelmäßigen Abständen mit Teilnehmern aus allen betroffenen Bereichen (z. B. Vertrieb/Marketing, Produktion, Beschaffung) stattfinden. Dabei definieren die Engpassressourcen den Detaillierungsgrad der Planung, d. h. statt manuell hunderte von (Fertigungs-) Aufträgen einzeln durch die Engpässe zu steuern, sollte statt dessen versucht werden, die benötigten Kapazitäten bedarfsgerecht zu regeln. Um Überinformation zu verhindern, sollten die benötigten Engpassplanungen mit den betroffenen Artikeln von der Produktionssteuerung identifiziert und angestoßen werden (Informations-Pull), statt alle Artikel über die Lieferkette zu planen.

Genauso einfach, wie die Produktionsplanung und –steuerung gestaltet wird, müssen die Informationssysteme bzw. die Informationstechnologie (IT) ausgelegt werden. Schon der Begründer des Toyota-Produktionssystems, Taiichi Ohno, erkannte die Potentiale, die in schlanken und prozessorientierten Informationssystemen stecken [OHN-93, S. 75]. Diese müssen so flexibel gestaltet sein, dass sie in kurzer Zeit an sich verändernde Prozesse angepasst werden können (IT folgt dem Prozess, nicht umgekehrt), durchgängig ohne Brüche arbeiten und aktuelle sowie korrekte Daten in Echtzeit zur Verfügung stellen.

Gerade unkorrekte und inkonsistente Grunddaten werden hier oft zum Stolperstein (vgl. hierzu exemplarisch [WES-06b, S. 19ff]). Dabei muss beachtet werden, dass nur die benötigten Informationen in geeigneter Form zur Verfügung gestellt werden, da sonst Überinformation das schlanke Unternehmen verhindert. Eine geeignete Vorgehensweise kann der folgenden Abbildung entnommen werden.

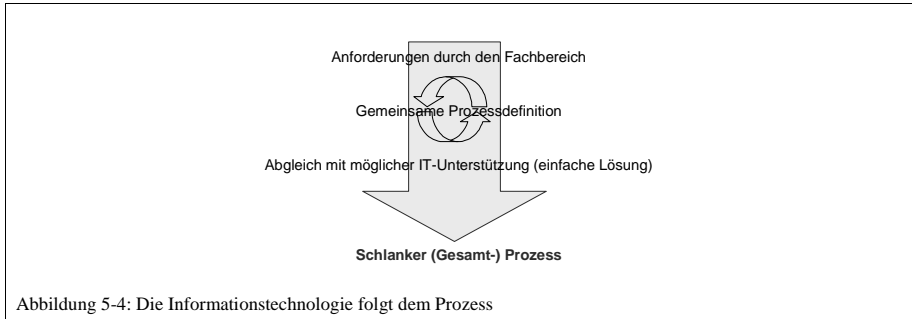
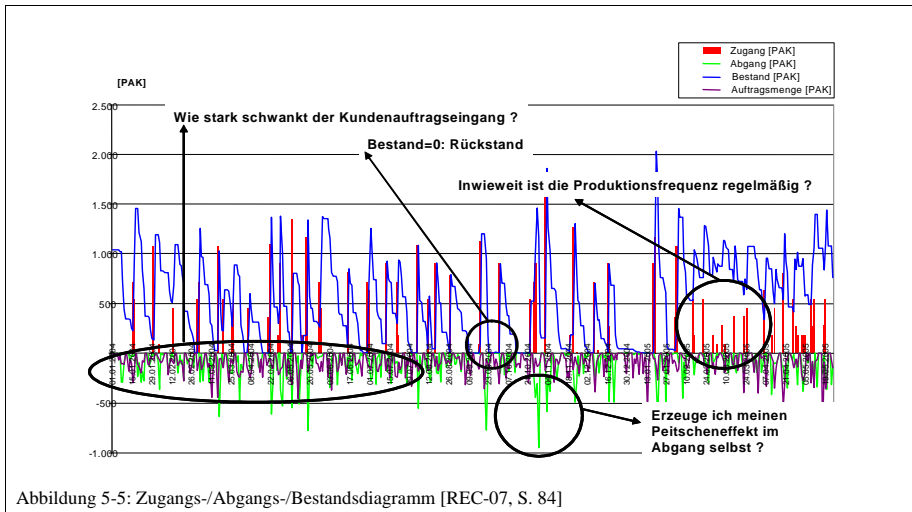
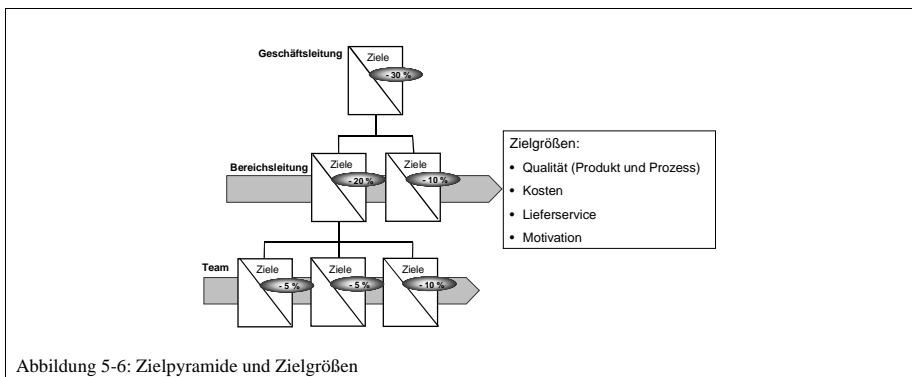


Abbildung 5-4: Die Informationstechnologie folgt dem Prozess

An dieser Stelle soll exemplarisch das Ergebnis einer schlanken IT-Unterstützung innerhalb der PPS dargestellt werden. Das Zusammenspiel zwischen Bestandshöhe, Produktionslosgröße und -frequenz sowie Kundenauftragseingang kann als Hilfsmittel in einem Zugangs-/Abgangs-/Bestandsdiagramm auf einfache Weise visualisiert werden (vgl. Abbildung 5-5), in dem die Zuflüsse (positiv) und Abgänge (negativ) eines Artikels auf der Y-Achse über die Zeit (X-Achse) automatisch im IT-System in Echtzeit (Veränderung der X-Achse) erzeugt und dargestellt werden. Aus den zeitliche Abständen zwischen den Produktzugängen (positive Säulen) ist ersichtlich, in welchem Rhythmus und welchen Losgrößen produziert wird bzw. in welchem Umfang eine geglättete/nivellierte Produktion erreicht ist. Die im positiven Bereich der X-Achse verlaufende Kurve gibt die Höhe des Lagerbestandes an. Ist diese gleich Null und gibt es gleichzeitig weitere Kundenauftragseingänge (im negativen Bereich abgetragen), so handelt es sich um einen Rückstand. Ist ein Artikel bei gleichzeitigen Kundenauftragseingängen im Rückstand, so erhält man nach dem Produktionszugang eine Auslagerungsspitze (negativer grauer Balken), mit dem die Rückstandssituation gegenüber dem Kunden aufgelöst wird. Dies führt zu einer eigenerzeugten Schwankung durch Rückstände. Durch verbesserte Zusammenarbeit mit den internen und externen Kunden ist es möglich, die Schwankungen des Kundenauftragseingangs zu reduzieren (siehe Kapitel 5.3).



Die Prozesse einer schlanken Logistik müssen durch geeignete Kennzahlen transparent gemacht werden. Dabei ist die Darstellung statischer Daten (z. B. Anzahl der Auftragspositionen pro Tag) genauso wichtig wie die Abbildung und Bewertung von Prozessketten (z. B. Durchlaufzeiten). Bei der Auswahl prozessbezogener Kennzahlen ist darauf zu achten, dass eine ganzheitliche Betrachtung erfolgt und keine Suboptima gemessen werden. Die Visualisierung muss klar zu erkennen geben, welcher Zielwert zu erreichen ist und wie sich die Kennzahl aktuell bzw. in Echtzeit zum Zielwert entwickelt. Bei Abweichungen vom Zielwert müssen dementsprechend Maßnahmen zur Verbesserung ableitbar sein. Die einzelnen Kennzahlen sollten sich über die aufbauorganisatorischen Ebenen in ein Managementinformationssystem verdichten lassen (vgl. Abbildung 5-6).



In Kombination mit dem logistischen Kennzahlensystem muss Handlungsdruck über Zielvereinbarungen für die beteiligten Personen erzeugt werden. Erst dann wird die Wandlung der Strukturen zum Selbstläufer und Verhaltensänderungen stellen sich ein.

5.3 Distributionslogistik

Die Struktur der Distributionskette hat entscheidenden Einfluss auf Komplexität, Durchlaufzeiten, eigenerzeugte Schwankungen in der Lieferkette und somit die daraus resultierende Kostenstruktur. Bestimmend für die Möglichkeiten der Verschlangung sind die vom internen bzw. externen Kunden vorgegebenen Rahmenbedingungen wie beispielsweise Lieferzuverlässigkeit, Lieferzeit und Lieferflexibilität (siehe Abbildung 5-7).

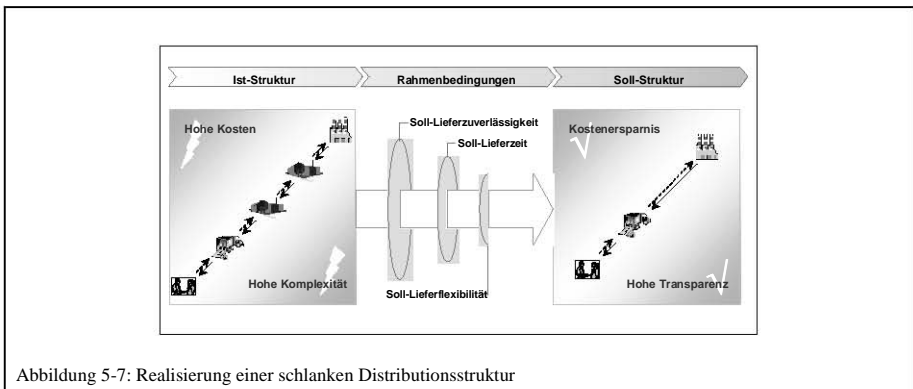


Abbildung 5-7: Realisierung einer schlanken Distributionsstruktur

Die in der Praxis häufig entkoppelten Strukturen müssen im Sinne des Ein-Stück-Flusses verknüpft (d. h. wenn möglich direkt verkettet) werden. So entstehen weitere Effizienzsteigerungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Die Aufgabe der schlanken (Distributions-) Logistik ist es, diese Verknüpfungen ohne überflüssigen Aufwand zu gestalten, d. h. es muss geklärt werden, welche Teile der Distributionskette an welcher Stelle überflüssig sind und damit entfernt werden bzw. durch Veränderung der Strukturen verschwendungsarm gestaltet werden können. Ziel muss es sein, den Kunden auf möglichst direktem Weg zu beliefern.

Im Sinne einer schlanken Logistik können die eigen- und fremdinduzierten Ursachen der Schwankungen entlang der Lieferkette (vgl. hierzu die Erläuterungen des „Peitscheneffekts“ in Kapitel 3.2.5) mit einfachen Maßnahmen reduziert bzw. verhindert werden. Dazu wird das Konzept der Glättung in der Produktion auf die Elemente der logistischen Prozesskette übertragen. Innerhalb der Lieferkette muss im Sinne des Ein-Stück-Flusses an der Verkürzung der Reaktionszeit und an der Erhöhung der Bestellfrequenz in Zusammenhang mit der Weitergabe kleiner Lose gearbeitet werden. Durch den Einsatz gemischter Transporte im Ersatz sortenreiner Einzelfahrten können dabei die Frachtkosten bis zu einem gewissen Punkt stabil gehalten werden. Statt Rabatte auf die Bestellung großer Losgrößen zu geben, sollten Vergünstigungen auf die Einhaltung vereinbarter Losgrößen und definierter Zeitfenster in Betracht gezogen werden und durch

eine „Everyday low price“ – Politik (vgl. Abbildung 5-8) unterstützt werden. Die Vereinbarung einfacher Steuerungsgrundsätze zwischen (internen und externen) Kunden und Lieferanten (Standardisierung) führen zu einer weiteren Reduktion des Peitschen-Effektes und bilden die Basis für eine nivellierte Produktion im Sinne des JIT-Produktionssystems.

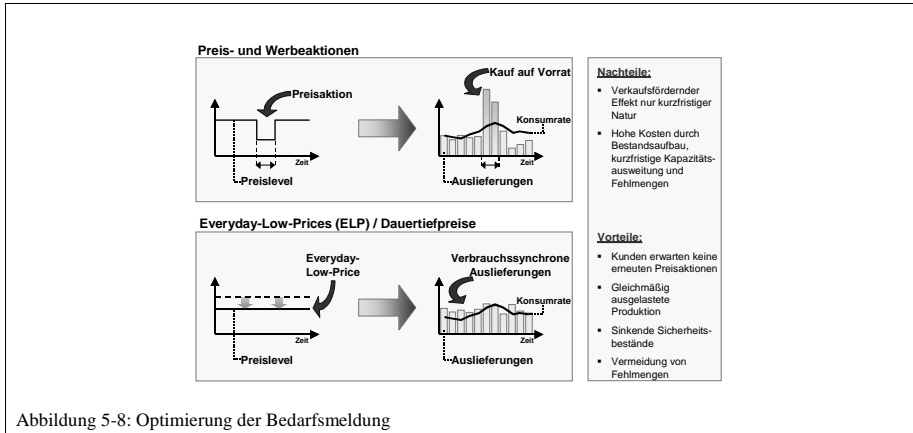


Abbildung 5-8: Optimierung der Bedarfsmeldung

Durch den Einsatz der kombinierten Steuerung sowie durch die Erhöhung der Bestell- und Lieferfrequenzen entlang der logistischen Kette können die Bestände reduziert werden. Dies ermöglicht, die Anzahl der Verpackungs- bzw. Pickereinheiten je Artikelnummer auf den Plätzen zu reduzieren und damit die Laufwege durch Erhöhung der Pickdichte in einem manuellen bzw. mechanisierten Lager effizienter zu gestalten (vgl. Abbildung 5-9).

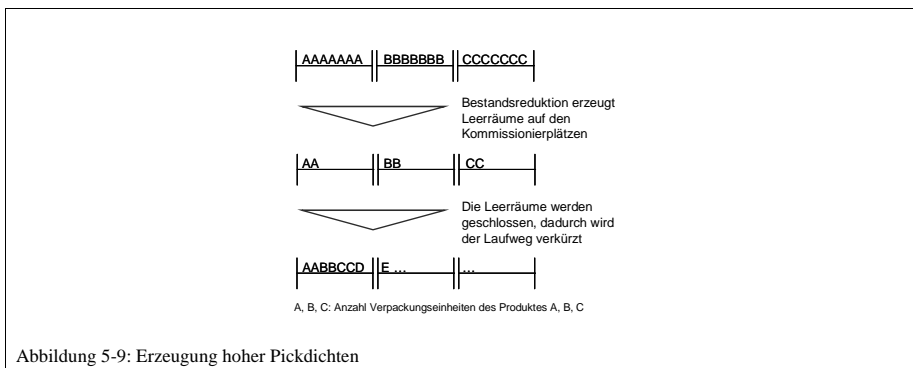


Abbildung 5-9: Erzeugung hoher Pickdichten

Den Einsparungen durch Pickdichtenerhöhungen stehen höhere Aufwendungen für den Nachschub auf die Pickplätze bzw. der Einlagerung gegenüber, auf die in Kapitel 6 näher eingegangen wird. Mit dieser Vorgehensweise ist es möglich, ohne große Investitionen (z. B. in eine „Ware-zum-Mann“-

Kommissionierung) die Produktivität eines manuellen bzw. mechanisierten Lagers unter Beibehaltung der maximalen Flexibilität hinsichtlich Strukturänderungen nachhaltig zu steigern. Durch den Einsatz der kombinierten Steuerung ist es zusätzlich möglich, die Kommissionierplätze über die Berechnung des maximal möglichen Bestandes pro Artikelnummer optimal auszulegen. An dieser Stelle sei angemerkt, dass die bekannten Optimierungspotentiale hinsichtlich der Platzierung von Artikeln (z. B. Einführung einer A/B/C-Klassifizierung, X/Y/Z-Klassifizierung) die Effizienz zusätzlich steigern.

Vergleichbar mit den U-Linien in der Produktion im Rahmen der Fließfertigung können die Regale in der Kommissionierung in einem manuellen bzw. mechanisierten Lager in Form eines „U“ aufgestellt werden (vgl. Abbildung 5-10). Statt im Sinne einer „Mann-zur-Ware“-Kommissionierung den Auftrag von Start bis Ende durch einen Mitarbeiter zusammenstellen zu lassen, wird das Personal den U-Linien nach Kapazitätsbedarf flexibel zugeordnet und die Ladungsträger bzw. Aufträge werden vom Personal innerhalb der U-Linie teilkommissioniert. Ein- und Ausgang der U-Linie werden von einer Person bedient, die das Einlasten der Ladungsträger und die Abgabe an den Hauptstrom koordiniert. Die Anzahl der Werker wird dabei den Bedarfsschwankungen flexibel angepasst, d. h. es wird in Taktzeit gearbeitet und Nebenzeiten reduzieren sich. Innerhalb der U-Linie wird ohne Stapler gearbeitet (z. B. mit Rollwagen). Ein Rundverkehr verbindet die U-Linien untereinander. Der Nachschub in die Kommissionierregale erfolgt getrennt von der Kommissionierung durch fest zugeordnetes und getaktetes Nachschubpersonal ähnlich dem Konzept des Feinlogistikers in der Produktion. Hierbei können technische Hilfsmittel zum Einsatz kommen, welche die Weitergabe kleiner Losgrößen in hoher Frequenz unterstützen (vgl. dazu Kapitel 3.2).

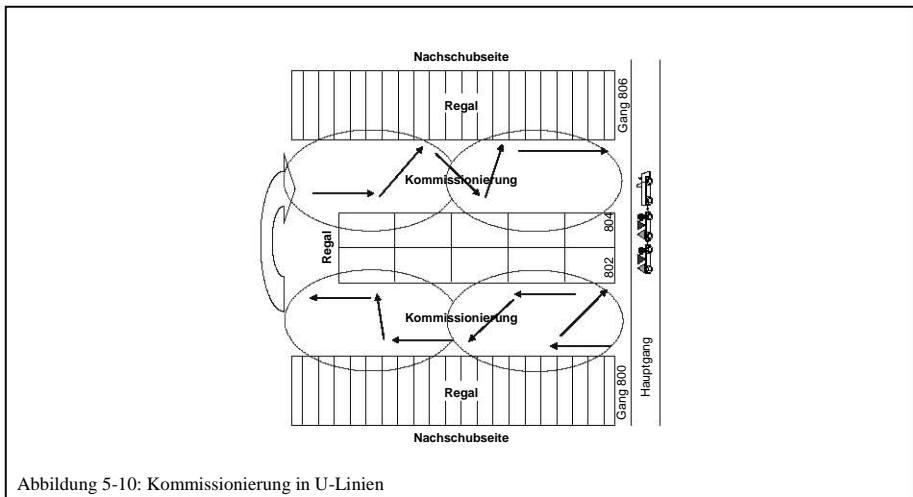


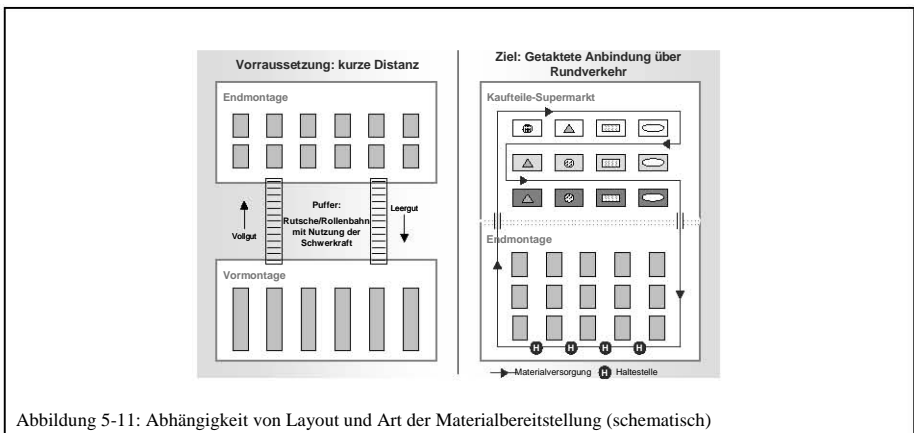
Abbildung 5-10: Kommissionierung in U-Linien

In einem zweiten Schritt können innerhalb einer U-Linie einzelne Zonen gebildet werden (in der Abbildung 5-10 in Form von Ovalen dargestellt). Dabei ist es wichtig, die Arbeitsinhalte (d. h. beispielsweise die Pickpositionen je Zeiteinheit) pro Person bzw. Zone gleichmäßig zu verteilen, soweit dies durch eine

geglättete Auftragslast ermöglicht werden kann. Die Ladungsträger fließen dann an den Mitarbeitern vorbei bzw. zwischen den Mitarbeitern durch die U-Linie und es können weitere Laufwege reduziert werden. An dieser Stelle sei angemerkt, dass im Falle der Ein- und Auslagerung der gleichen Losgröße (z. B. bei einer Waschmaschine) die hier dargestellte Wirkweise der Pickdichtenerhöhung nicht umsetzbar ist. Dies wird mathematisch in Kapitel 6.4 näher erläutert.

5.4 Produktionslogistik

Wie in Kapitel 3.2.2 bereits dargestellt, ist im Rahmen der Einführung des TPS innerhalb der Produktion die Unterstützung der Weitergabe kleiner Losgrößen durch den Einsatz eines gemischten Rundverkehrs in Kombination mit der Feinverteilung an den Produktionslinien bekannt. Die erste Frage muss jedoch lauten, wie und in welchem Umfang sich Transporte durch direkte Verkettung von Maschinen und Anlagen sowie durch eine materialflussgerechte Anordnung der Betriebsmittel und Puffer bzw. Supermärkte verhindern lassen. Ist eine direkte Verkettung nicht möglich, so fallen zur Verbindung der Produktionseinheiten Transportwege an. Der materialflussgerechten Layoutgestaltung mit dem Ziel der direkten Verkettung kommt somit eine zentrale Bedeutung innerhalb der Produktionslogistik zu (vgl. Abbildung 5-11).



Sind zwei aufeinander folgende Prozessschritte in kurzen räumlichen Distanzen angeordnet, so lassen sich die Rohmaterialien bzw. Halbfertigerzeugnisse bis zu einem gewissen Eigengewicht mit minimalem Krafteinsatz über Rutschen und Rollen unter Nutzung der Schwerkraft bewegen. Liegen zwischen Materialquellen und –senken größere räumliche Distanzen, so muss die Materialversorgung über einen getakteten Rundverkehr vorgenommen werden. Dazu werden an den Abladestellen wie im realen Verkehr „Haltestellen“ eingerichtet, an denen ein Vollgut-Leerguttausch stattfinden kann und die Informationsträger der Produktionsplanung- und –steuerung übergeben werden können.

Eine geeignete Kommissionierunterlage, die den Mitarbeitern die Bedarfsinformationen über den zu kommissionierenden Umfang bereitstellt, trägt wesentlich zum reibungslosen Materialfluss bei. Das Lesen

der Belege verursacht dabei oft einen nicht zu vernachlässigenden Zeitaufwand und stellt in sich eine potentielle Fehlerquelle dar. Zur Steigerung der Produktivität und Reduktion der Mengen- und Verwechslungsfehler wird heute eine beleglose Kommissionierung (z. B. Pick by light, Pick by voice) eingesetzt [EHR-03, S. 375] [SCH-05, S. 258]. Im Sinne einer einfachen und sicheren Lösung für die Produktionslogistik kann mit wenig Aufwand eine Kommissionierung durch Symbole, Farben und Formschlüsse für die Materialbereitstellung eingeführt werden (vgl. Abbildung 5-12). Dazu werden Kommissionierschablonen eingesetzt, in welche die zu kommissionierenden Teile mit Hilfe von Formschlüssen eingesetzt bzw. mit Hilfe von Farbkombinationen zugeordnet werden können. In einigen Fällen werden auch Bilder der auszuwählenden Teile an den Schablonen angebracht, die eine einfache visuelle Kontrolle des Kommissioniervorgangs ermöglichen.

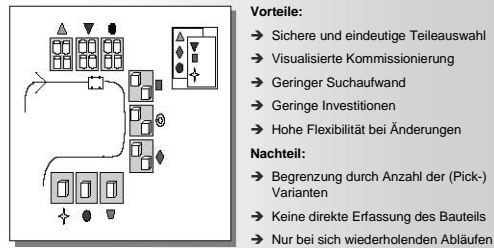
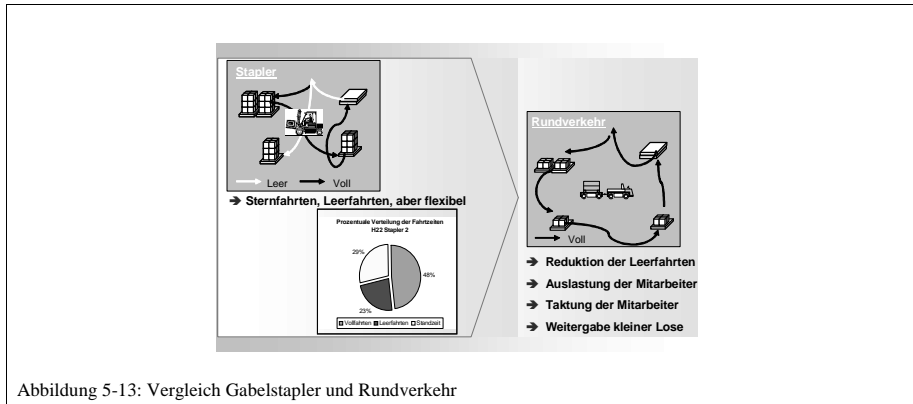


Abbildung 5-12: Kommissionierung mit Symbolen, Farben und Formschlüssen

Die Nachteile einer belegorientierten Kommissionierung (z. B. Aufwand für Informationsverarbeitung, Mengenfehler) werden durch die Poka Yoke –Lösung stark reduziert, ohne in große Infrastruktur investieren zu müssen. Begrenzt wird der Einsatz durch die Anzahl der (Pick-) Varianten, die direkt abgebildet werden können. Die Verwendung spezieller Kommissionierschablonen macht nur dann Sinn, wenn es sich um wiederholende Abläufe und Bauteilumfänge handelt.

In einem JIT-Produktionssystem bedeutet der Transport von Material zum Verbrauchs- bzw. Verbauter (und zurück), die „kleinstmögliche Menge gerade zum geforderten Zeitpunkt zusammen mit den notwendigen Informationen effizient zu bewegen (heranzuziehen)“ [TAK-02, S. 89]. Der Einsatz getakteter Rundverkehre mit gemischter Beladung in Kombination mit einem Feinlogistiker wurde bereits in Kapitel 3.2 beschrieben. Im Vergleich zu einem Gabelstapler ist er besser für die Weitergabe kleiner Lose geeignet. Der Fahrweg eines konventionell betriebenen Gabelstaplers ist auf Grund seiner großen Flexibilität in Kombination mit einem Leitsystem von Stern- bzw. Leerfahrten geprägt (z. B. Hinweg ist Vollfahrt, Rückweg ist Leerfahrt). Das Potential eines Rundverkehrs liegt somit in der Transportbündelung, der Taktung der Mitarbeiter und der Reduktion der Leerfahrten (vgl. Abbildung 5-13). Er erreicht auf dieser Basis eine optimale Ressourcenausnutzung, einen hohen Servicegrad, Flexibilität hinsichtlich des benötigten Transportspektrums bzw. betrieblicher Umstellungen und erfüllt damit die in Kapitel 2.4 erläuterten Anforderungen an ein

innerbetriebliches Transportsystem. Dementsprechend muss es das Ziel sein, mit möglichst wenigen Gabelstaplern eine „Fabrik auf Rollen“ zu realisieren.



Die Einführung eines Rundverkehrs basiert auf einer detaillierten Analyse der Material- und Informationsflüsse. In einem ersten Schritt müssen alle Quellen und Senken mit ihren jeweiligen Materialien bestimmt werden. Danach werden die Routen des Rundverkehrs festgelegt, der Zeitbedarf pro Rundlauf abgeschätzt und ein Fahrplan mit festen Zeiten erstellt. Die Anzahl der benötigten Rundverkehre bestimmt sich dabei aus der Taktzeit des Rundverkehrs, der Anzahl und dem Volumen der Teileumfänge sowie aus der Anzahl der Stellplätze je Wagen des Rundverkehrs.

Die Vorteile eines mitarbeitergelenkten Rundverkehrs liegen in der Möglichkeit, durch qualifizierte Mitarbeiter Störungen im Produktionssystem auszugleichen und mehrere Produktionslinien mit unterschiedlichen Takten zu bedienen. Im Vergleich zu einem fahrerlosen Transportsystem (FTS) wird jedoch Personal benötigt. Ein FTS kann dementsprechend bei einfachen Quelle-Senke-Beziehungen (z. B. Punkt-zu-Punkt-Verbindungen) eingesetzt werden (vgl. Abbildung 5-14).

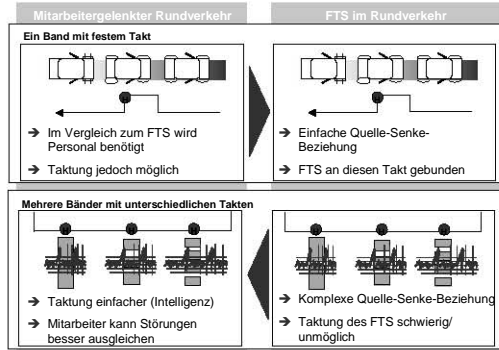


Abbildung 5-14: Vergleich: Mitarbeitergesteuerter Rundverkehr - FTS

Ist ein hohes Maß der Produktions- und Logistikflexibilisierung erreicht, kann direkt in die U-Linien der Kommissionierung ohne Reservelager produziert werden. Bei maximaler Flexibilität der Produktion (Zielsetzung) kann das Fertigwarenlager aufgelöst bzw. in die Produktion verlagert werden. Die logistischen Aktivitäten werden dann auf eine Produktion direkt zum Kunden ausgerichtet.

5.5 Beschaffungslogistik

Die Direktbelieferung von Produktionslinien wurde bereits im Kapitel 3.2.3 als Zielsetzung eines JIT-Produktionssystems dargestellt. Durch Reduktion von Bestandsstufen wird der Ein-Stück-Fluss entlang der Wertschöpfungskette ausgehend vom Versandlager stromabwärts in Richtung der Lieferanten schrittweise umgesetzt (vgl. Abbildung 5-15).

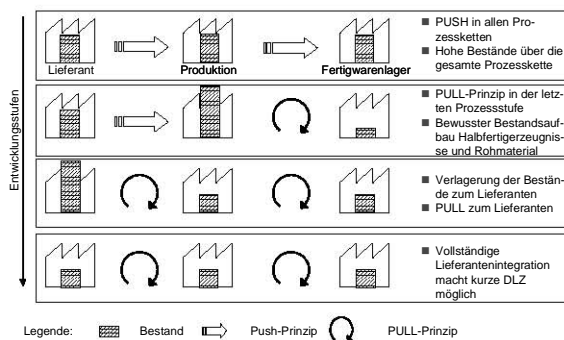


Abbildung 5-15: Entwicklungsstufen zur Direktanlieferung

Im Ausgangszustand erfolgt die Steuerung der gesamten Lieferkette im Push-System. Die Prozesskette ist durch hohe Bestände und eigenerzeugte Lieferschwankungen gekennzeichnet. Im ersten Schritt wird ausgehend vom Kunden die letzte Fertigungsstufe in eine Pull-Steuerung überführt und die Lieferschwankungen geglättet. Die Bestände werden zur vorgelagerten Prozessstufe überführt und am Verbauort dementsprechend auf ein Minimum reduziert. Im nächsten Schritt wird die nächste Prozessstufe in eine ziehende Fertigung umgewandelt und der Kreislauf wiederholt sich.

Die getaktete Direktanlieferung an den Verbauort ist dabei der anzustrebende Zustand (siehe Kapitel 3.2). Hierzu ist es notwendig, die Wareneingänge zu dezentralisieren und ebenfalls zu takten, da ansonsten die ungleichmäßige Kapazitätsauslastung zu Waren- und Transportmittelstau sowie hohen Kapazitäts- und Zeitverlusten führt. Durch die Zuordnung von fest definierten Anlieferzeiten zu bestimmten Lieferanten wird der Warenstrom geglättet und es ergeben sich Ressourceneinsparungen (vgl. Abbildung 5-16).

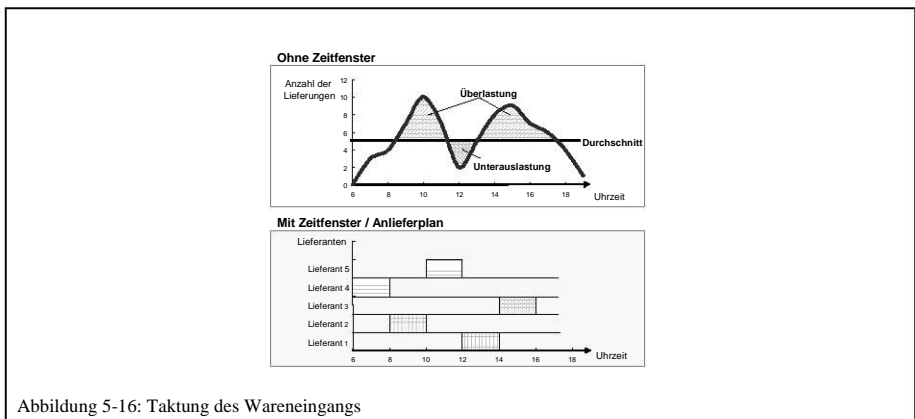


Abbildung 5-16: Taktung des Wareneingangs

Ebenso kann bei gemischter Anlieferung der Wareneingang über das Anliefervolumen (z. B. Anzahl der Ladungsträger pro Zeitfenster) geglättet werden. Zielsetzung muss es sein, die angelieferten Bauteile mit einem einzigen Handling durch Unterstützung einfacher Hilfsmittel (z. B. Rollenwagen) an den Verbauort zu befördern.

Die Lieferantenauswahl wird heute aus logistischer Sicht in den allermeisten Fällen an Hand des A/B-Preis-Konzeptes getroffen. Dabei werden der Preis bis zur Rampe des Lieferanten (A-Preis) und die danach durch Transport, Handling und Lagerung entstehenden logistischen Kosten pro Lieferant getrennt angefragt und verhandelt. Der B-Preis ergibt sich dann als Summe aus A-Preis und Logistikkosten (vgl. Abbildung 5-17). Dieser Preis wird dann mit einem „frei Haus“-Angebot des Lieferanten verglichen und bewertet.

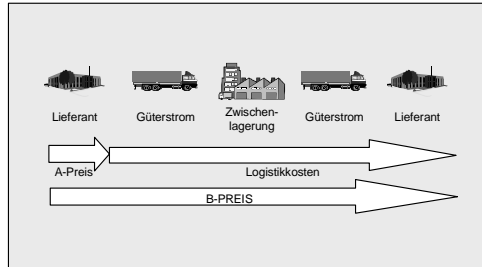


Abbildung 5-17: A/B-Preis-Konzept [REC-01, S. 66]

Eine separate Einzelbetrachtung jedes Lieferanten führt in der Praxis jedoch häufig zur Vereinbarung suboptimaler Bestellmengen auf Basis einzelner Lieferbeziehungen, die nicht das Ziel des Ein-Stück-Flusses unterstützen. Ganzheitliche Betrachtungen beispielsweise unter Berücksichtigung der Logistikkosten einer gemischten Anlieferung über mehrere Lieferanten (z. B. externer Rundverkehr) finden nur selten statt. Dementsprechend muss das Konzept der Trennung von Herstell- und Logistikkosten um die Komponenten zur Bewertung des Einsatzes gemischter Transporte erweitert werden (Erweitertes A/B-Preis-Konzept, vgl. Abbildung 5-18). Zielsetzung ist die Entscheidungsfindung auf Basis einer gesamthaften Betrachtung der Prozesskosten eines schlanken Logistikkonzeptes über mehrere Lieferanten.

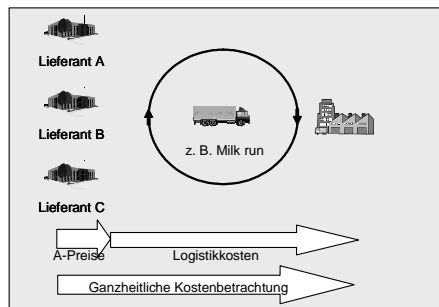


Abbildung 5-18: Erweitertes A/B-Preis-Konzept

Bei der Bestellabwicklung mit internen und externen Lieferanten kann auf eine automatisierte Bestellabwicklung mit prozessorientierter IT-Unterstützung zurückgegriffen werden (vgl. Abbildung 5-19). Der im Folgenden beschriebene Bestellablauf kann nur dann als „schlank“ bezeichnet werden, wenn er vollständig und nicht nur teilweise umgesetzt wird. Beispielsweise führt die Weitergabe kleiner Lose ohne Gutschriftsverfahren zu einem erhöhten Rechnungsaufwand. Im ersten Schritt wird ein Bedarf entweder

durch das Ablesen eines Barcodes oder durch Unterschreitung eines Meldebestandes im IT-System ausgelöst.

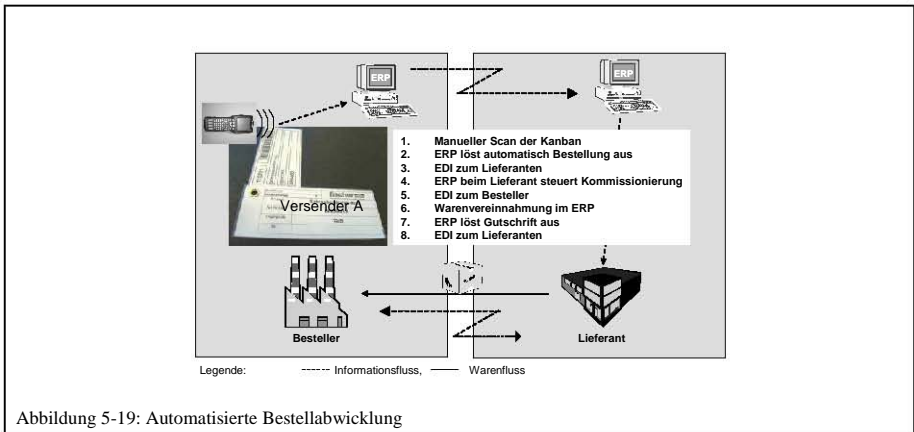


Abbildung 5-19: Automatisierte Bestellabwicklung

Dieses erzeugt dann auf Basis der hinterlegten Stammdaten automatisch eine Bestellung beim internen bzw. externen Lieferanten. Die Informationen werden mit Hilfe der elektronischen Datenübermittlung (engl. EDI: Electronic data interchange) übertragen. Dabei kann auf bereits existierenden Standards (z. B. EDIFACT[®], EANCOM[®], WebEDI) zurückgegriffen werden. Das IT-System des Lieferanten löst auf Basis dieser Informationen die Kommissionierung bzw. Produktion der benötigten Teile aus. Auf dieser Basis wird ein elektronischer Informationsfluss in Richtung des Bestellers mit allen benötigten Anlieferinformationen versendet. Diese Informationen werden im ERP-System des Bestellers elektronisch verarbeitet und bilden die Voraussetzungen für eine beleglose Warenannahme, die den Handlings- und Verwaltungsaufwand (z. B. manuelle Erfassung der Anlieferung im ERP-System) erheblich reduziert. Auf Basis der Anlieferinformationen und dem Abgleich im Wareneingang (kaufmännische Wareneingangskontrolle) wird durch das IT-System eine Gutschrift an den Lieferanten erzeugt, welche die manuelle Verbuchung der Zahlungsflüsse gegen Null reduziert.

Lieferanten werden als Wertschöpfungspartner zunehmend in die verantwortliche Gestaltung der gemeinsamen Prozesskette einbezogen. Die Lieferantenanbindung steht für die optimale Beherrschung der sich aus dieser Einbindung ergebenden Austauschbeziehungen und –prozesse an Material und Information zwischen Lieferanten und Hersteller und die sich daraus ergebende systematische und ganzheitliche Erschließung von Optimierungspotentialen hinsichtlich Qualität, Kosten, Lieferservice und Motivation (vgl. Abbildung 5-20).

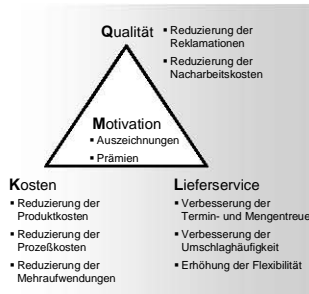


Abbildung 5-20: Das Q-/K-/L/M-Dreieck (Auszug)

Dabei ist es wichtig, neben der reinen Konzentration auf den Wertschöpfungsprozess auch die Potentiale in der Produktgestaltung zu berücksichtigen (vgl. Abbildung 5-21). Bei der technischen Entfeinerung werden die Verschwendungen im Produkt erkannt, reduziert bzw. eliminiert (so viel wie nötig, so wenig wie möglich). Beispielsweise können Überfunktionen, übertriebene Materialvorgaben, überhöhte Leistungsanforderungen, unübliche Größen/Normen etc. als Verschwendungsarten gemeinsam mit dem Lieferanten definiert werden. Die Kaufteilpreisanalyse ermittelt die Kostentreiber und erstellt die Nulllinie zur Bewertung der gemeinsam erreichten Optimierungen. Eine einseitige Betrachtung einzelner Elemente führt dabei in Summe nicht zu einer schlanken Logistik.

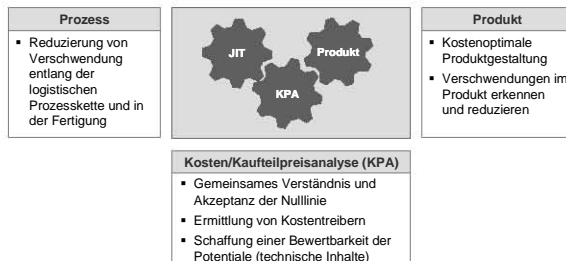


Abbildung 5-21: Instrumente der Lieferantenanbindung

Bei der Realisierung einer optimierten Lieferantenanbindung im Sinne einer schlanken Logistik wurden im Rahmen dieser Arbeit fünf wesentliche Erfolgsfaktoren identifiziert und entwickelt (vgl. Abbildung 5-22). Die Entwicklung von Lieferanten muss langfristig angelegt werden und darf nicht das Ziel haben, durch kurzfristige Preiseffekte schnelle Ergebnisse zu erzielen. Die Verhinderung von Überproduktion hat oberste Priorität. Deshalb erfolgt die gesamte Steuerung der Prozesskette nach dem Zieh-Prinzip (Material und Information). Der frühzeitige Austausch sensibler Informationen (z. B. Prozess- und Preisdefinitionen) ist

Zeichen einer langfristig angelegten Partnerschaft mit gegenseitigem Vertrauen. Über die Standardisierung aller Prozesse und Produkte wird zusätzlich Verschwendung reduziert. Die erreichten Verbesserungen kommen im Ergebnis beiden Partnern zu Gute.

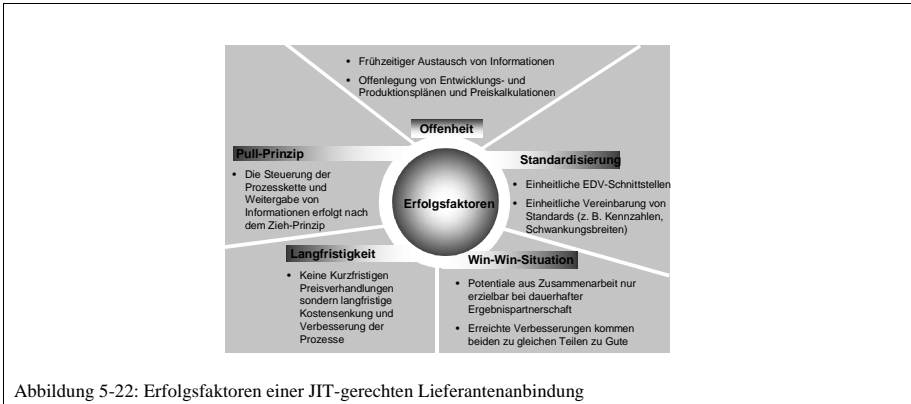


Abbildung 5-22: Erfolgsfaktoren einer JIT-gerechten Lieferantenanbindung

Da die ganzheitliche Betrachtung aller in diesem Kapitel vorgestellten Methoden hinsichtlich der Wirkweise der Verkleinerung von Losgrößen den Rahmen dieser Ausarbeitung überschreiten würde, soll im Folgenden Kapitel lediglich die Auswirkung der Weitergabe kleiner Lose in einem mechanisierten Lager mit ihren Wechselwirkungen dargestellt werden.

6 Homomorphes Modell zur Darstellung der Wirkweise der Verkleinerung von Losgrößen in einem mechanisierten Lager

Die Verkleinerung von Losgrößen im Sinne des Ein-Stück-Flusses hat verschiedene Einflüsse auf die Elemente der logistischen Kette. Ein Ziel dieser Ausarbeitung ist es, die Wirkweise auf ein mechanisiertes Lager darzustellen. Dazu wird das Lager gemäß der in Kapitel 2.5 dargestellten Abbildung 2-5 mit den Lagerhausbereichen Wareneingang, Reservelager, Kommissionierung und innerbetrieblicher Transport in ein homomorphes mathematisches Modell überführt (Kapitel 6.1). Zunächst werden die aus der Produktion im Lager ankommenden Losgrößen unter Einsatz von Förderhilfsmitteln modelliert sowie die Regalstruktur in Reservelager und Kommissionierung aufgebaut. Auf Basis dieser grundsätzlichen Überlegungen werden die Lagerhausbereiche modelliert. Danach wird in Kapitel 6.2 die Wirkweise der Weitergabe kleiner Losgrößen dargestellt und es werden Grenzwertbetrachtungen angestellt, um positive (Einsparungen) und negative Aspekte (Mehraufwand) zu verdeutlichen bzw. in Zusammenhang zu bringen. Anschließend wird die Wirkweise ausgewählter Methoden einer schlanken Logistik (z. B. Einsatz eines internen Rundverkehrs) auf das Modell diskutiert (Kapitel 6.3) mit dem Ziel, zu ermitteln, welchen Einfluss diese Methoden auf das Modell haben bzw. ob diese eine weitere Verkleinerung von Losgrößen ohne nachteilige Aspekte zulassen. Abschließend zeigt ein Sonderfall die Grenzen des Modells bei bestimmten Rahmenbedingungen auf (Kapitel 6.4).

6.1 Modellierung eines mechanisierten Lagers

Für die Überführung eines mechanisierten Lagers in das homomorphe (d. h. vereinfachte) Modell werden für die folgenden Kapitel einige Rahmenbedingungen und Prämissen festgelegt. Die Kommissionierung erfolgt mit einer „Mann-zur-Ware“-Bereitstellung von Artikeln, eindimensional (d. h. in der Ebene), einstufig, seriell und im Pick- und Pack-Verfahren. Das im Rahmen dieser Ausarbeitung betrachtete Lagermodell wird rein auf die Prozessschritte des im mechanisierten Lager stattfindenden Materialflusses fokussiert, dabei wird von sortenreiner Anlieferung je Förderhilfsmittel ausgegangen. Die kaufmännischen Aspekte (z. B. Lieferscheinkontrolle, Mengenkontrolle, Beschädigungen, etc.), die Aspekte der Informationsverarbeitung (Auftragsabwicklung im Lagerleitstand, Bereitstellung von Kommissionierinformationen, etc.) sowie die Aspekte der Qualitätsprüfung (Stichprobenauswahl und -umfang, Prüfungen, etc.) bleiben unberücksichtigt, da dies den Rahmen dieser Ausarbeitung überschreiten würde. Der Transport des Materials soll mit Hilfe von flurgebundenen, gleislosen und mechanisierten Unstetigförderern u aus der Menge $UF=\{1,2,\dots,U\}$ (z. B. Schlepper, Gabelstapler, Wagen) erfolgen, diese werden im Folgenden auch als „Flurförderfahrzeuge“ bezeichnet. Bei der Bewegung der Flurförderfahrzeuge werden anfallende Brems- und Beschleunigungseffekte vernachlässigt, d. h. sie fahren mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit (v_u). Die Kosten eines Flurförderfahrzeugs können über die in Kapitel 2.4 dargestellten Transportkostenfunktionen ermittelt werden. Auf jedem Förderhilfsmittel soll nur ein Artikel gleichzeitig transportiert werden. Die Personalkosten sind in diesem Modell bei jedem Mitarbeiter gleich hoch. Ebenso soll es keine Unterscheidung hinsichtlich unterschiedlicher Kosten verschiedener flurgebundener, gleisloser und mechanisierter Unstetigförderer geben, d. h. es wird im Modell durchgängig ein Typ modelliert, folglich

konstante Kosten. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass sich das System immer im eingeschwungenen Zustand befindet. Dies bedeutet, dass Ruhezeiten und Auslastungsschwankungen, die zu Leerzeiten bzw. Stillstandszeiten von Personen und Anlagen führen könnten, vernachlässigt werden. Verlustfaktoren, die sich aus unterschiedlichen Packungsdichten in Förderhilfsmitteln ergeben, werden nicht dargestellt. Im Modell wird jeder Auftrag A einzeln zum Warenausgang transportiert. Dort wird jeder Auftrag abgemeldet und zum Versand fertig gemacht, d. h. der Warenausgang ist von der Anzahl der Aufträge bzw. vom Kundenbestellverhalten und nicht von der Lagerlosgröße abhängig. Dementsprechend werden der Transport zum Warenausgang und die Prozesse im Warenausgang hier nicht weiter abgebildet. Das Wort "Anzahl" soll im Folgenden gleichermaßen für eine natürliche und reelle Zahl verwendet werden.

6.1.1 Grundsätzliche Überlegungen

Im Modell liegen im Lager unterschiedliche Losgrößen. Die kleinste vorkommende Losgröße und damit die kleinste Einheit, die ein Kunde beziehen kann, ist die Verkaufseinheit des Artikels. Jeder Artikel i aus dem Sortiment $S^{\text{OR}} = \{1, 2, \dots, S\}$ besitzt eine eigene, vom Markt bzw. vom Kunden fest vorgegebene Verkaufseinheit mit zugehörigem Volumen (V_i^V). Dieses Volumen lässt sich berechnen aus der dazugehörigen Höhe der Verkaufseinheit (H_i^V), der Breite der Verkaufseinheit (B_i^V) und der Länge der Verkaufseinheit (L_i^V) zu:

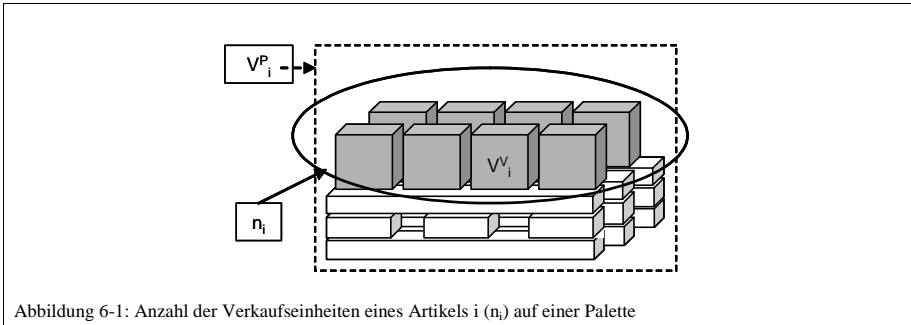
$$V_i^V = H_i^V * B_i^V * L_i^V$$

Jeder Artikel i hat einen vom Markt bzw. vom Kunden gegebenen und nicht veränderbaren Bedarf pro betrachteter Zeiteinheit bzw. dem Bezugszeitraum (t^K). Dieser artikelspezifische Bedarf wird durch das Kundenbedarfsvolumen des Artikels i (V_i^K) beschrieben. Das Kundenbedarfsvolumen des Artikels i wird angegeben durch das Produkt aus Anzahl der bestellten Verkaufseinheiten des Artikels i (b_i^K) und Volumen der Verkaufseinheiten des Artikels i (V_i^V), so dass sich das gesamte Kundenbedarfsvolumen (V^K) darstellen lässt als:

$$V^K = \sum_{i=1}^S V_i^K = \sum_{i=1}^S b_i^K * V_i^V \quad (6.1.1.1)$$

Um die Verkaufseinheiten von der Produktion in das Lager zu transportieren, werden in dieser Abhandlung Paletten als Förderhilfsmittel verwendet und dargestellt. Jede Palette wird durch das Volumen beschrieben, welches für den Artikel i aus der Produktion angeliefert wird (V_i^P). Dieses Anliefervolumen wird als durch die Produktion definiert und vorgegeben angenommen. Das Volumen der Palette mit dem Artikel i setzt sich aus der Anzahl auf ihr liegender Verkaufseinheiten (n_i) und dem Volumen der Verkaufseinheit des Artikels i (V_i^V) zusammen (siehe Abbildung 6-1) zu:

$$V_i^P = n_i * V_i^V \quad (6.1.1.2)$$

Abbildung 6-1: Anzahl der Verkaufseinheiten eines Artikels i (n_i) auf einer Palette

Zwischen Palette und Verkaufseinheit kann ein weiteres Förderhilfsmittel (z. B. Mehrwegbehälter, Umkarton) als Zwischengröße verwendet werden. Dabei werden mehrere Verkaufseinheiten zu einer Lagerlosgröße (V^L) zusammengefasst. Eine Lagerlosgröße wird als Volumen in Abhängigkeit von der Höhe (h^L), der Breite (b^L) und der Länge der Lagerlosgröße (l^L) modelliert. Das Volumen der Lagerlosgröße ergibt sich als Produkt der drei Kantenlängen (siehe Abbildung 6-2).

$$V^L = h^L * b^L * l^L$$

(6.1.1.3)

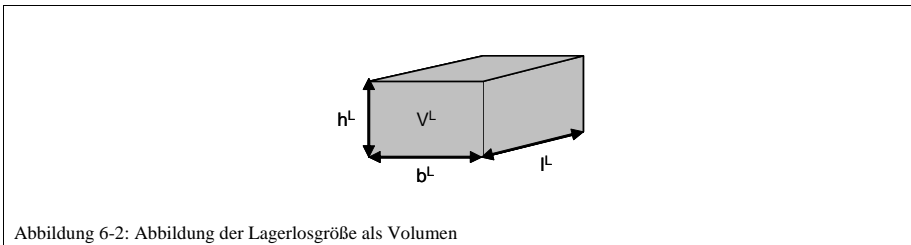


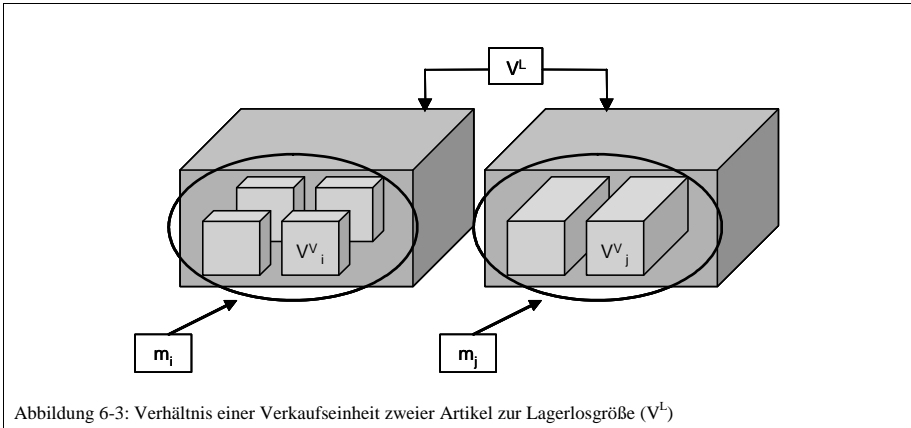
Abbildung 6-2: Abbildung der Lagerlosgröße als Volumen

Mit Hilfe dieser Lagerlosgröße (V^L) werden Verkaufseinheiten in einem Regalsystem zur Kommissionierung bereitgestellt. Es wird dabei von einer homogenen Regalstruktur ausgegangen, d. h. jeder Artikel i wird in derselben Lagerlosgröße gelagert und dargestellt. Die Verkaufseinheit steht in einem Verhältnis zur Lagerlosgröße. Die Lagerlosgröße ergibt sich aus dem Produkt der Anzahl der Verkaufseinheiten des Artikels i, die in der Lagerlosgröße beinhaltet sind (m_i), und dem Volumen der Verkaufseinheit des Artikels i zu der Gleichung:

$$V^L = m_i * V_i^V$$

(6.1.1.4)

Aus dieser Gleichung ist ersichtlich, dass keine Verlustfaktoren (z. B. Randbreite des Mehrwegbehälters, Luft) berücksichtigt werden. Das ermittelte Verhältnis kann für jeden Artikel unterschiedlich sein (vergleiche Abbildung 6-3).

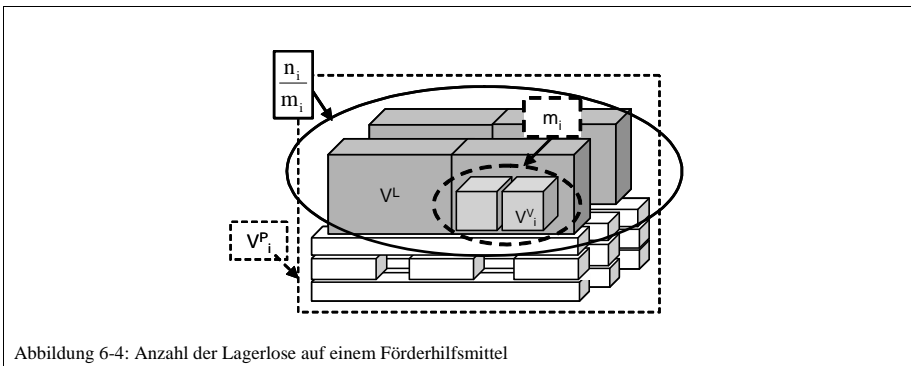


Ersetzt man V_i^V in der Formel (6.1.1.2) durch die Formel (6.1.1.4), nachdem man diese nach V_i^V aufgelöst hat, so erhält man:

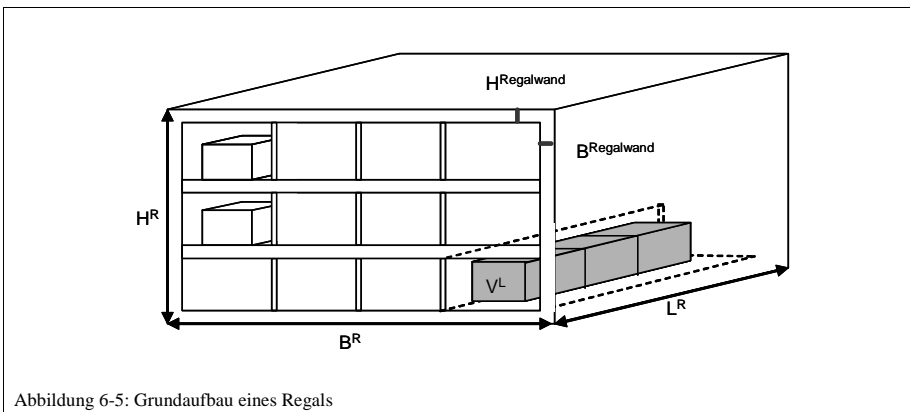
$$V_i^P = \frac{n_i}{m_i} * V^L \quad (6.1.1.5)$$

Der Quotient (o_i) gibt dabei die Anzahl der Lagerlose an, die auf dem Förderhilfsmittel liegen (vgl. Abbildung 6-4).

$$o_i = \frac{n_i}{m_i} \quad (6.1.1.6)$$



In dem modellierten, nicht automatisierten Lager sollen entweder Fachregallager (Lagerung auf geschlossenen Fachböden aus Stahlblech oder Holz über mehrere Ebenen), Paletten-Fachregallager (Lagerung von palettierten Gütern auf Auflageträgern mit einfacher Lagertiefe (Einplatzsystem) sowie in der Höhe auf mehreren Ebenen) oder Durchlauf-Regallager (Regale mit separater Ein- und Auslagerung von hintereinander liegendem Lagergut, dass sich durch Schwerkraft oder mit Hilfe von Antriebsselementen von der Aufgabe- zur Entnahmestelle bewegt) zum Einsatz kommen [SCH-05, S. 226ff]. Das verwendete Regal wird beschrieben durch die Höhe (H^R), die Breite (B^R) und die Länge des Regals (L^R) sowie die Höhe der Regalwand ($H^{\text{Regalwand}}$) und die Breite der Regalwand ($B^{\text{Regalwand}}$). Höhe und Breite der Regalwand stellen Verlustfaktoren der Packungsdichte dar (siehe Abbildung 6-5). Die verschiedenen Regalsysteme werden im Modell durch verschiedene Raummaße dargestellt (z. B. Anpassung der Regallänge L^R).



Das Regal wird in Regalfächer mit weiteren Verlustfaktoren untergliedert (vgl. Abbildung 6-6), die abhängig sind von der Höhe der Lagerlosgröße, der Höhe des Leerraums zwischen Lagerlosgröße und Regalschiene (H^{Luft}), der Höhe der Regalschiene ($H^{\text{Regalschiene}}$), der Breite der Lagerlosgröße, der Breite des Leerraums zwischen der Trennwand und der Lagerlosgröße (B^{Luft}) und der Breite der Regaltrennwand ($B^{\text{Regaltrennwand}}$). Fachregallager und Durchlaufregallager unterscheiden sich dabei in der Auslegung der Höhe, der Breite und der Länge des Regals des spezifischen Lagers, sowie durch die bauartbedingten Ausprägungen der Verlustfaktoren.

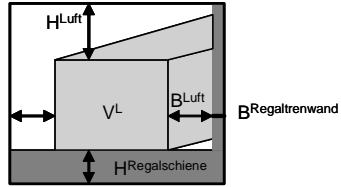


Abbildung 6-6: Grundaufbau einer Regalfrontfläche mit Verlustfaktoren

Die Anzahl der Verkaufseinheiten eines Artikels i (z^V), die in ein Regalfach passen, wird durch die Anzahl der Verkaufseinheiten, die in einer Lagerlosgröße liegen (m_i), und durch die Anzahl der in einem Regalfach liegenden Lagerlosgrößen (p) angegeben.

$$z^V = p \cdot m_i \quad (6.1.1.7)$$

Die Anzahl der Lagerlose, die in ein Regalfach passen, ist von der Länge des Regals (L^R) und der Länge der Lagerlosgröße (l^L) abhängig. Hierbei wird nicht auf die nächste natürliche Zahl abgerundet, sondern in der Funktion wird die reelle Zahl mitgeführt (Unschärfe zur Praxis).

$$L^R = p \cdot l^L \quad (6.1.1.8)$$

Dabei wird vorausgesetzt, dass alle betrachteten Artikel i in der gleichen Lagerlosgröße zur Kommissionierung bereitgestellt werden (siehe Abbildung 6-7).

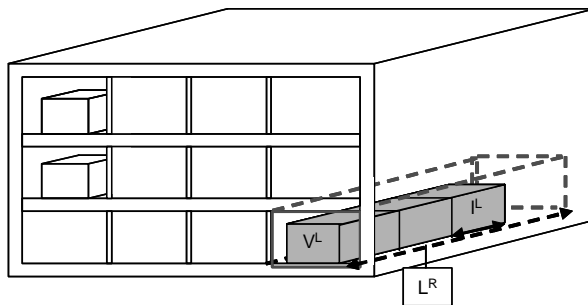


Abbildung 6-7: Verhältnis der Regallänge zur Länge der Lagerlosgröße

In ein Regalfach passen demnach genau p Lagerlosgrößen. Das Anlieferolumen wurde bereits in Abhängigkeit der Verkaufseinheiten eines Artikels i beschrieben (siehe Formel 6.1.1.2) und ebenfalls in Abhängigkeit der Anzahl der auf ihr liegenden Lagerlosgrößen (siehe Formel 6.1.1.5). Des Weiteren muss untersucht werden, ob das Anlieferolumen vollständig in das Regal eingelagert werden kann, oder ob überschüssige Lagerlosgrößen zwischengepuffert werden müssen. Dazu wird das Anlieferolumen in die darin enthaltenen Lagerlose, die direkt in ein leeres Regalfach gelegt werden können, und den Anteil überschüssiger Lagerlose, die nicht mehr in ein Regalfach passen (a_i), aufgeteilt. Da die Lagerlosgröße (V^L) im Modell variiert werden kann und nicht vom Artikel i abhängt, ist nur die Anzahl der überschüssigen Lagerlose (a_i) abhängig vom Artikel i (siehe Abbildung 6-8).

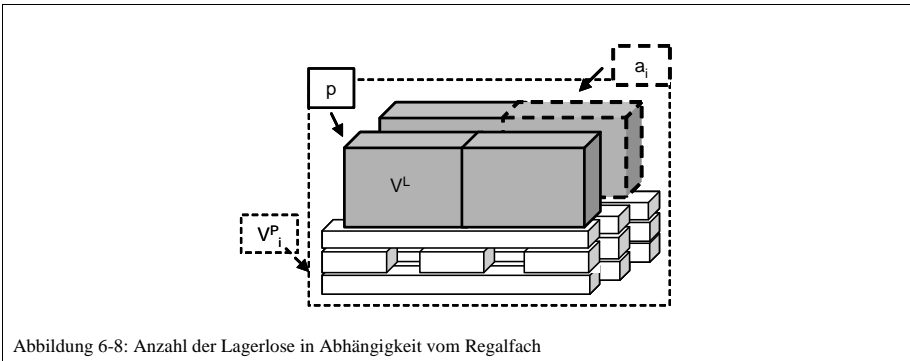


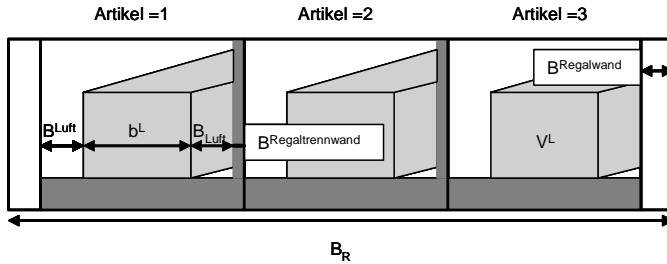
Abbildung 6-8: Anzahl der Lagerlose in Abhängigkeit vom Regalfach

Damit ergibt sich für das Anlieferolumen folgende Gleichung:

$$V_i^P = (p + a_i) * V^L \quad (6.1.1.9)$$

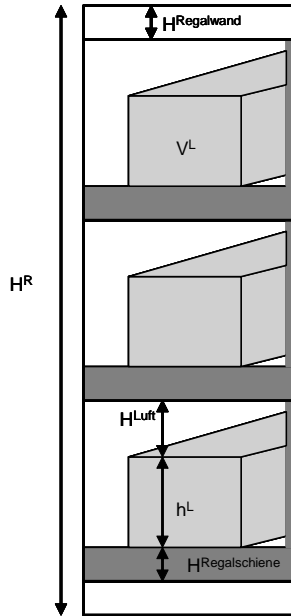
An diesem Punkt soll angemerkt werden, dass für die Parameter der Länge (Tiefe) des Regals (L^R) sowie der Höhe des Regals (B^R) in der Praxis nicht unbegrenzt jede reelle Zahl einsetzbar ist. Das Anlieferolumen wird demnach im Modell begrenzt durch ein maximales Volumen (V^{PMax}) mit dazugehöriger Höhe (H^{Max}), Breite (B^{Max}) und Länge (L^{Max}). Die Höhe eines Regals und die Länge eines Regals sollen immer als vorgegeben angenommen werden. Die Breite eines Regals wird in dem hier dargestellten Modell als eine berechenbare Größe abgebildet, die abhängig ist von der Höhe des Lagerloses und der Breite des Lagerloses. Dabei wird davon ausgegangen, dass es für jeden Artikel nur ein Regalfach gibt. Stellt man alle Artikel i aus dem Sortiment nebeneinander in ein Regalfach, dann ergibt sich zunächst die Breite des Regalfachs zu (vergleiche Abbildung 6-9):

$$B^R = S * \left(2 * B^{Luft} + b^L + B^{Regaltrennwand} \right) - B^{Regaltrennwand} + 2 * B^{Regalwand} \quad (6.1.1.10)$$

Abbildung 6-9: Grundaufbau der Regalbreite (B_R)

Wenn die Höhe der Lagerlosgröße (h^L) kleiner ist als die Höhe des Regals (H^R) abzüglich der Höhe der Regalwand ($H^{Regalwand}$) und den Verlustfaktoren (H^{Luft} und $H^{Regalschiene}$), dann kann man im Regal auch die Artikel übereinander legen (vergleiche Abbildung 6-10). Wie viele Artikel in die Höhe gestellt werden können, ist abhängig von den einzelnen Parametern. An dieser Stelle sei angemerkt, dass in diesem Modell für B^R und H^R keine ganzzahlige Rundung berücksichtigt wird. Es ergeben sich die folgenden Bedingungen:

$$\left. \begin{array}{l} h^L \leq H^R - 2 * H^{Regalwand} - H^{Luft} - H^{Regalschiene} \\ h^L \leq H^{Max} \end{array} \right\} h^L \leq H^{Max} \leq H^R - 2 * H^{Regalwand} - H^{Luft} - H^{Regalschiene}$$

Abbildung 6-10: Grundaufbau der Regalhöhe (H^R)

Die Anzahl der Regalfächer ($z^{\text{RFüb}}$), die übereinander stehen, ergibt sich dann aus dem folgenden Quotienten:

$$z^{\text{RFüb}} = \frac{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}}{h^L + H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}}}$$

Dabei wird nicht auf die nächste natürliche Zahl abgerundet, sondern in der Funktion wird die reelle Zahl mitgeführt (Unschärfe zur Praxis).

Dadurch liegen nicht mehr alle Artikel i aus dem Sortiment S^{OR} nebeneinander. Durch den Quotienten aus der Anzahl aller Artikel i des Sortiments und der Anzahl der Regalfächer, die übereinander stehen, ergibt sich die Anzahl der nebeneinander liegenden Regalfächer (z^{RFnb}) zu:

$$z^{\text{RFnb}} = \frac{S}{\frac{H^R - 2 * H^{\text{Regalschiene}}}{h^L + H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}}}} = \frac{S * (h^L + H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalschiene}}}$$

Daraus resultiert die individuelle Regalbreite zu:

$$B^R = \frac{S * (h^L + H^{Luft} + H^{Re\ galschiene})}{H^R - 2 * H^{Re\ galwand}} * (2 * B^{Luft} + b^L + B^{Re\ galtrennwand}) - B^{Re\ galtrennwand} + 2 * B^{Re\ galwand}$$

(6.1.1.11)

An dieser Stelle sollen die wichtigsten bisher betrachteten Formeln, die in weiteren Kapiteln verwendet werden, zusammenfassend dargestellt werden:

- Das Kundenbedarfsvolumen eines Artikels i bildet sich aus der Formel für das gesamte Kundenbedarfsvolumen. Dabei wird nicht über alle Artikel i aufsummiert:

$$V_i^K = b_i^K * V_i^V \quad (6.1.1.1a)$$

- Das Anliefervolumen für einen Artikel i aus der Produktion (V^P_i) in Abhängigkeit von der Verkaufseinheit (Volumen der Palette des Artikels i) ergibt sich dann zu:

$$V_i^P = n_i * V_i^V \quad (6.1.1.2)$$

- Das Anliefervolumen für einen Artikel i aus der Produktion (V^P_i) in Abhängigkeit zum Regalfach (Volumen der Palette des Artikels i) lässt sich wie folgt errechnen:

$$V_i^P = (p + a_i) * V^L \quad (6.1.1.9)$$

- Das Volumen der Lagerlosgröße (V^L) bildet sich zum einen aus der Höhe, Breite und Länge der Lagerlosgröße und zum anderen in Abhängigkeit von der Verkaufseinheit eines Artikels i .

$$V^L = h^L * b^L * l^L \quad (6.1.1.3)$$

$$V^L = m_i * V_i^V \quad (6.1.1.4)$$

- Die Regalbreite:

$$B^R = \frac{S * (h^L + H^{Luft} + H^{Re\ galschiene})}{H^R - 2 * H^{Re\ galwand}} * (2 * B^{Luft}) + \frac{S * (h^L + H^{Luft} + H^{Re\ galschiene})}{H^R - 2 * H^{Re\ galwand}} * (b^L + B^{Re\ galtrennwand}) - B^{Re\ galtrennwand} + 2 * B^{Re\ galwand}$$

(6.1.1.11)

Im folgenden Modell gibt es Größen, die aus der Praxis vorgegeben werden und Größen, die variabel sind. Diese besitzen einen Definitionsbereich, der angibt, welche Werte die jeweilige Variable annehmen kann. Die Variablen im Modell sind die Höhe-, die Breite und die Länge der Lagerlosgröße sowie die Anzahl der überschüssigen Lagerlose. Der Wertebereich der Höhe der Lagerlosgröße ergibt sich zu:

$$W^{h^L} = \left\{ \left[\max_{i \in S} \{H_i^V\}; H^{\text{Max}} \right] \right\}$$

Der Wertebereich der Breite der Lagerlosgröße ergibt sich zu:

$$W^{b^L} = \left\{ \left[\max_{i \in S} \{B_i^V\}; B^{\text{Max}} \right] \right\}$$

Der Wertebereich der Länge der Lagerlosgröße ergibt sich zu:

$$W^{l^L} = \left\{ \left[\max_{i \in S} \{L_i^V\}; L^{\text{Max}} \right] \right\}$$

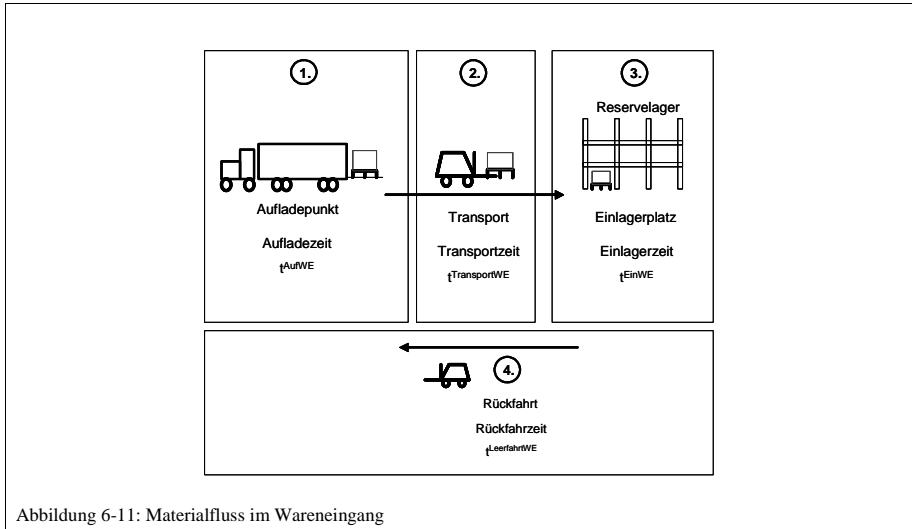
Der Wertebereich der überschüssigen Lagerlose ergibt sich zu:

$$W^{a^i} = \left[0; f(h^L, b^L, l^L) = \begin{cases} \left(\frac{V^{P^{\text{Max}}}}{V^L} - p \right), & \text{falls } \left(\frac{V^{P^{\text{Max}}}}{V^L} - p \right) > 0 \\ 0, & \text{falls } \left(\frac{V^{P^{\text{Max}}}}{V^L} - p \right) < 0 \end{cases} \right] = [0; a^{\text{Max}}]$$

Dabei beschreibt der Quotient aus dem maximalen Volumen, welches ein Anliefervolumen besitzen darf ($V^{P^{\text{Max}}}$), und der Lagerlosgröße (V^L) die größtmögliche Anzahl der Lagerlose auf einem Förderhilfsmittel.

6.1.2 Wareneingang

In der vorliegenden Ausarbeitung soll der Materialfluss im Wareneingang mit Hilfe von vier Prozessschritten mit korrespondierenden Prozesszeiten dargestellt werden (siehe Abbildung 6-11).



Der erste Prozessschritt im Wareneingang ist das Aufladen eines Anlieferolumens (V^P) an der Wareneingangsrampe vom LKW auf ein Flurförderfahrzeug (u) zum Weitertransport im Lager. Dazu wird die Aufnahmezeit (t^{AufWE}) benötigt. Der Stellplatz des Anlieferolumens auf dem LKW sei dabei für alle Anlieferolumen konstant. Im zweiten Prozessschritt wird das aufgenommene Anlieferolumen von der LKW-Rampe bis zum Reservelager (Strecke s^{WE}) mit dem Flurförderfahrzeug und der Geschwindigkeit (v_u) in der Zeit ($t^{\text{TransportWE}}$) bewegt. Im dritten Prozessschritt folgt die Einlagerung des Anlieferolumens, dazu wird die Einlagerzeit (t^{EinWE}) benötigt. Der Einlagerplatz des Anlieferolumens sei dabei ebenfalls konstant. Der letzte Prozessschritt beschreibt die Rückfahrt zur Rampe auf der Strecke ($s^{\text{LeerWE}} = s^{\text{WE}}$) mit der konstanten Geschwindigkeit (v_u) in der dafür benötigten Zeit ($t^{\text{LeerfahrtWE}}$). Zum Beginn des Wareneingangsprozesses bewegt ein Mitarbeiter das Flurförderfahrzeug vom Ruheplatz bis zur LKW-Rampe (Startsituation). Am Ende des Wareneingangsprozesses bewegt der Mitarbeiter das Flurförderfahrzeug vom Reservelager zum Ruheplatz zurück (Endsituation). Die dazu benötigte Fahrtzeit wird vernachlässigt, da sie nur jeweils einmal täglich zu Beginn und Ende der Arbeitszeit anfällt. Die gesamte Zeit für den Wareneingangsprozess eines Anlieferolumens (t^{WE}) ergibt sich dann aus der Summe der vier einzelnen Prozessschritte zu:

$$t^{\text{WE}} = t^{\text{AufWE}} + \frac{s^{\text{WE}}}{v_u} + t^{\text{EinWE}} + \frac{s^{\text{WE}}}{v_u}$$

Somit ergibt sich für die Gesamtzeit des Wareneingangs (T^{WE}):

$$T^{WE} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{V_i^K}{V_i^P} \right) * \left(t^{Auf^{WE}} + \frac{2 * S^{WE}}{v_u} + t^{Ein^{WE}} \right) \quad (6.1.2.1)$$

Dabei beschreibt der erste Quotient die Anzahl der durch das Flurförderfahrzeug zu bewegenden Handlungseinheiten. Über alle Artikel i aus dem Sortiment S^{OR} aufsummiert erhält man die Gesamtzeit des Wareneingangs, welche für die Abarbeitung des gesamten Kundenbedarfs während des betrachteten Zeitraumes (t^K) benötigt wird.

Die Summe aus Personalkosten (PK) und Flurförderfahrzeugkosten ($FöK_u$) eines Fahrzeugtyps (u) stellt den Kostensatz dar, mit welchem die angefallene Zeit multipliziert werden muss, um die Gesamtkosten des Wareneingangsprozesses (K^{WE}) zu bekommen. Ersetzt man V_i^K in der Formel (6.1.2.1) durch die Formel (6.1.1.1a) und ersetzt man V_i^P in (6.1.2.1) durch (6.1.1.2), so erhält man:

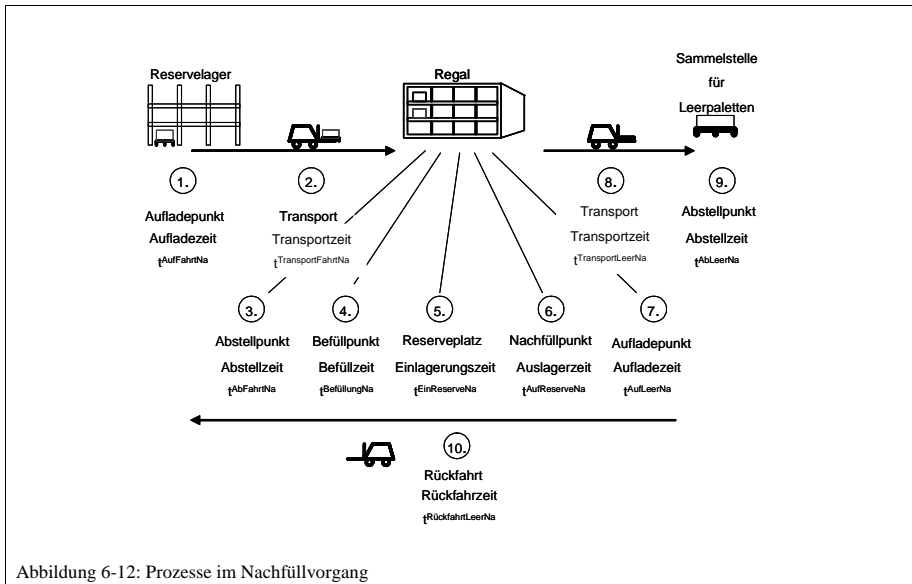
$$K^{WE} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(t^{Auf^{WE}} + \frac{2 * S^{WE}}{v_u} + t^{Ein^{WE}} \right) * (PK + FöK_u) \quad (6.1.2.2)$$

Die Kostenfunktion des Wareneingangsprozesses (f^{WE}) ist damit definiert durch:

$$f^{WE}(n_i) = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(t^{Auf^{WE}} + \frac{2 * S^{WE}}{v_u} + t^{Ein^{WE}} \right) * (PK + FöK_u) \quad (6.1.2.3)$$

6.1.3 Nachfüllprozess zwischen Reservelager und Kommissionierung

Der Nachfüllprozess zwischen Reservelager und Kommissionierung wird hinsichtlich des Materialflusses mit Hilfe von zehn Schritten mit dazu korrespondierenden Prozesszeiten dargestellt (vgl. Abbildung 6-12).



Zu Beginn des Nachfüllprozesses bewegt ein Mitarbeiter das Flurförderfahrzeug (u) vom Ruheplatz an den Reservelageranfang (Startsituation), am Ende vom Regal bis zum Ruheplatz zurück (Endsituation). Die dazu benötigte Fahrtzeit wird vernachlässigt. Im ersten Prozessschritt wird ein Anliefervolumen (V_i^P) im Reservelager mit einem Flurförderfahrzeug aufgeladen. Dazu wird die Aufladezeit ($t_{\text{AuffahrtNa}}$) benötigt. Der Stellplatz des Anliefervolumens im Reservelager sei dabei für alle Anliefervolumen konstant. Beim folgenden zweiten Prozessschritt wird das aufgenommene Anliefervolumen vom Reservelager bis zum Regal (Strecke s_{FahrtNa}) mit dem Flurförderfahrzeug und der Geschwindigkeit (v_u) in der Zeit ($t_{\text{TransportFahrtNa}}$) bewegt. Im dritten Prozessschritt wird das Anliefervolumen auf einen Pufferplatz am Anfang des Regals abgestellt. Dazu wird die Zeit ($t_{\text{AbFahrtNa}}$) benötigt. Die Zeit, die benötigt wird, um die Palette vor das richtige Regalfach zu legen und die Leerpallette nach dem Befüllen und Zwischenlagern wieder zum Anfang des Regal auf den Pufferplatz zu befördern, wird in der Praxis in der Befüllzeit ($t_{\text{BefüllenNa}}$) als Durchschnittsgröße berücksichtigt. Dabei wird die Breite des Regals nicht berücksichtigt.

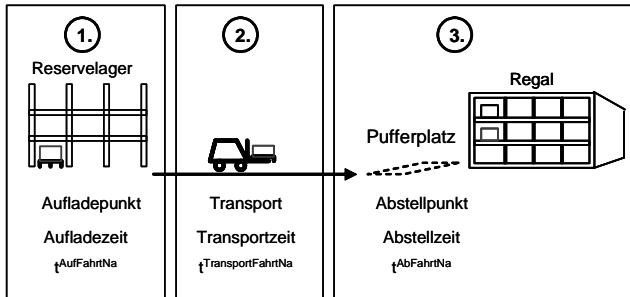


Abbildung 6-13: Nachschubfahrt im Nachfüllprozess

Die gesamte Zeit für die Nachschubfahrt (t^{FahrtNa}) für ein Anlieferolumen ergibt sich aus der Summe der drei einzelnen Prozessschritte:

$$t^{\text{FahrtNa}} = t_{\text{AufFahrtNa}} + \frac{S^{\text{FahrtNa}}}{v_u} + t_{\text{AbFahrtNa}}$$

Somit ergibt sich für die Gesamtzeit aller Nachschubfahrten (T^{FahrtNa}):

$$T^{\text{FahrtNa}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{V_i^K}{V_i^P} \right) * \left(t_{\text{AufFahrtNa}} + \frac{S^{\text{FahrtNa}}}{v_u} + t_{\text{AbFahrtNa}} \right) \quad (6.1.3.1)$$

Dabei beschreibt der erste Quotient die Anzahl der durch das Flurförderfahrzeug bewegten Handlungseinheiten. Über alle Artikel i aus dem Sortiment S^{OR} aufsummiert, erhält man die Gesamtzeit aller Nachschubfahrten, welche für die Abarbeitung des Kundenbedarfs während des betrachteten Zeitraumes (t^K) benötigt wird.

Die Summe aus Personalkosten (PK) und Flurförderfahrzeugkosten (FöK_u) eines Fahrzeugtyps (u) stellt den Kostensatz dar, mit welchem die angefallene Zeit multipliziert werden muss, um die Gesamtkosten der Nachschubfahrten (K^{FahrtNa}) zu bekommen. Ersetzt man V_i^K in der Formel (6.1.3.1) durch die Formel (6.1.1.1a) und ersetzt man V_i^P in (6.1.3.1) durch (6.1.1.2) so erhält man:

$$K^{\text{FahrtNa}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(t_{\text{AufFahrtNa}} + \frac{S^{\text{FahrtNa}}}{v_u} + t_{\text{AbFahrtNa}} \right) * (PK + FöK_u) \quad (6.1.3.2)$$

Im Anschluss an die Nachschubfahrt (Prozessschritte 1-3 des Nachfüllprozesses) erfolgt das Befüllen des Regals (Prozessschritt 4). Dabei werden die auf dem Pufferplatz bereitgestellten Verkaufseinheiten (V_i^V) in

der entsprechenden Lagerlosgröße (V^L) in die Regalfächer befüllt. Für jede Lagerlosgröße wird die Befüllzeit ($t^{\text{BefüllenNa}}$) benötigt. Die Befüllzeit sei unabhängig vom Gewicht, von der Größe der Lagerlosgröße und von der Lage des Regalfachs.

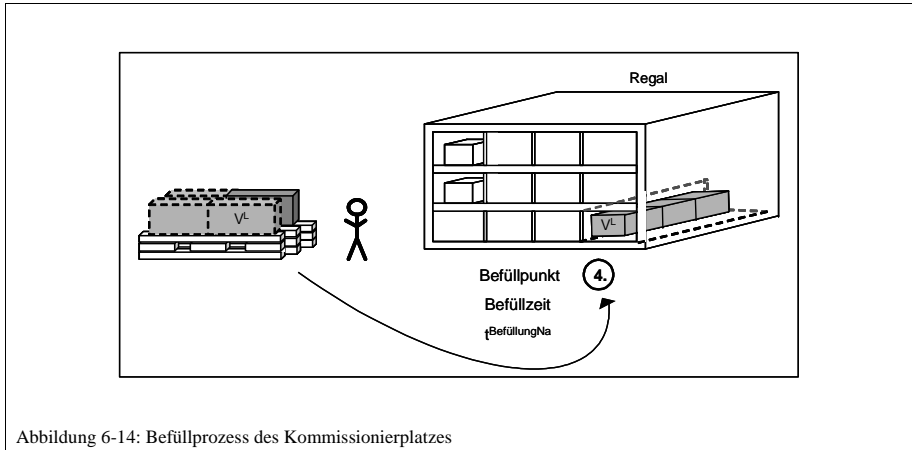


Abbildung 6-14: Befüllprozess des Kommissionierplatzes

Die Befüllzeit wird auf zwei Arten gerechnet: Zum einen in Abhängigkeit vom Kundenbedarfsvolumen (V_i^K) und zum anderen in Abhängigkeit von der Anzahl der Lagerlosgrößen, die in ein Regalfach passen (p). Bei der Befüllzeit in Abhängigkeit vom Kundenbedarfsvolumen ergibt sich die gesamte Zeit, um ein einzelnes Regalfach zu befüllen ($t^{\text{BefüllungNa}}$), aus dem Produkt der Befüllzeit und der Anzahl der Lagerlose.

$$t^{\text{BefüllungNa}} = \frac{V_i^K}{V^L} * t^{\text{BefüllenNa}}$$

Die Gesamtzeit für das Befüllen des Regals ($T^{\text{BefüllungNa}}$) mit allen Artikeln i ergibt sich aus:

$$T^{\text{BefüllungNa}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{V_i^K}{V^L} \right) * t^{\text{BefüllenNa}} \quad (6.1.3.3a)$$

Der erste Quotient beschreibt dabei die Anzahl der bewegten Lagerlosgrößen in Abhängigkeit des Kundenbedarfsvolumens. Wird die Gesamtzeit für das Befüllen des Regals mit den Personalkosten multipliziert, erhält man die Gesamtkosten für das Befüllen eines Regals ($K^{\text{BefüllungNa}}$). Ersetzt man V_i^K in der Formel (6.1.3.3a) durch die Formel (6.1.1.1a) und ersetzt man V^L in (6.1.3.3a) durch (6.1.1.3) so erhält man:

$$K^{\text{BefüllungNa}} = \frac{1}{h^L * b^L * l^L} * \left(\sum_{i=1}^S b_i^K * V_i^V \right) * t^{\text{BefüllenNa}} * PK \quad (6.1.3.4a)$$

Bei der Befüllzeit in Abhängigkeit von der Regalfachgröße ergibt sich die gesamte Zeit, um ein einzelnes Regalfach zu befüllen, aus dem Produkt der Prozesszeit und der Anzahl der Lagerlose im Regalfach.

$$t^{\text{Befüllung}^{\text{Na}}} = p * t^{\text{Befüllen}^{\text{Na}}}$$

Die Gesamtzeit für das Befüllen des Regals mit allen Artikeln i ergibt sich aus:

$$T^{\text{Befüllung}^{\text{Na}}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{V_i^K}{V_i^P} \right) * p * t^{\text{Befüllen}^{\text{Na}}} \quad (6.1.3.3b)$$

Hier wird die Gesamtzeit für das Befüllen des Regals mit allen Artikeln i in Anhängigkeit vom Kundenbedarf und der Anzahl der Verkaufseinheiten auf einer Palette (= Anzahl der Nachschubfahrten) ermittelt. Wird die Gesamtzeit für das Befüllen des Regals mit den Personalkosten multipliziert, erhält man die Gesamtkosten für das Befüllen des Regals. Ersetzt man V_i^K in der Formel (6.1.3.3b) durch die Formel (6.1.1.1a) und ersetzt man V_i^P in (6.1.3.3b) durch (6.1.1.9) so erhält man:

$$K^{\text{Befüllung}^{\text{Na}}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{(p + a_i) * m_i} \right) * p * t^{\text{Befüllen}^{\text{Na}}} * PK \quad (6.1.3.4b)$$

Im fünften Prozessschritt werden die überschüssigen Lagerlosgrößen (a_i) des bereitgestellten Anlieferolumens, die nicht mehr in das Regalfach gesetzt werden können, auf einem zusätzlichen Reserveplatz zwischengepuffert. Die dazugehörige Einlagerungszeit sei ($t^{\text{EinReserveNa}}$). Der sechste Prozessschritt beinhaltet das Auslagern der auf dem Reserveplatz zwischengelagerten Lagerlosgrößen und das Nachfüllen des Regalfachs mit dieser Lagerlosgröße. Dazu wird die Auslagerzeit ($t^{\text{AusReserveNa}}$) benötigt. Der Reserveplatz für den Zwischenpuffer befindet sich in der Nähe des jeweiligen Regalfachs für diesen Artikel (z. B. oberhalb des Regals). Deswegen wird an dieser Stelle ein Flurförderfahrzeug mit Hebeeinrichtung benötigt (vergleiche Abbildung 6-15).

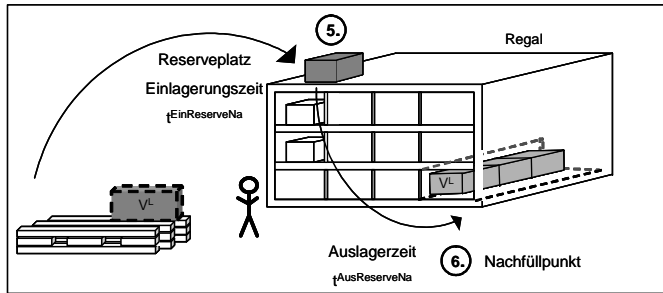


Abbildung 6-15: Zwischenlagern am Reserveplatz

Die gesamte Zeit für die Zwischenlagerung am Reserveplatz ($t^{\text{ReserveplatzNa}}$) je überschüssiger Lagerlosgröße eines Artikels i ergibt sich aus der Summe der beiden Prozessschritte zu:

$$t^{\text{ReserveplatzNa}} = a_i * t^{\text{EinReserveNa}} + a_i * t^{\text{AusReserveNa}}$$

Für die Gesamtzeit der Zwischenlagerung aller Artikel i ($T^{\text{ReserveplatzNa}}$) gilt:

$$T^{\text{ReserveplatzNa}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{V_i^K}{V_i^P} * a_i \right) * \left(t^{\text{EinReserveNa}} + t^{\text{AusReserveNa}} \right) \quad (6.1.3.5)$$

Dabei beschreibt der Quotient aus Kundenbedarfsvolumen und dem Anlieferavolumen den Anteil der Nachschubfahrten während des betrachteten Zeitraums. So wird für jedes Produkt in Abhängigkeit des Artikels i der Anteil der überschüssigen Lagerlosgrößen während des betrachteten Zeitraums ermittelt.

Die Summe aus Personalkosten und Flurförderfahrzeugkosten eines Fahrzeugtyps (u) stellt den Kostensatz dar, mit welchem die angefallene Zeit multipliziert werden muss, um die Gesamtkosten für die Zwischenlagerung ($K^{\text{ReserveplatzNa}}$) zu bekommen. Ersetzt man V_i^K in der Formel (6.1.3.5) durch die Formel (6.1.1.1a) und ersetzt man V_i^P in (6.1.3.5) durch (6.1.1.9) so erhält man:

$$K^{\text{ReserveplatzNa}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{(p + a_i) * m_i} * a_i \right) * \left(t^{\text{EinReserveNa}} + t^{\text{AusReserveNa}} \right) * (PK + F\ddot{O}K_u) \quad (6.1.3.6)$$

Im Anschluss an die Nachschubfahrt und das Befüllen wird das nicht mehr benötigte leere Förderhilfsmittel aufgeräumt. In diesem siebten Prozessschritt nimmt ein Mitarbeiter mit Hilfe eines Flurförderfahrzeuges ein Förderhilfsmittel auf, dafür wird die Zeit ($t^{\text{AufLeerNa}}$) benötigt. Während des achten Prozessschritts bewegt der Mitarbeiter das Flurförderfahrzeug vom Pufferplatz bis zum Sammelplatz für leere Förderhilfsmittel. Dabei

wird die Strecke vom Regalende bis zum Sammelplatz (s^{LeerNa}) mit der Geschwindigkeit des Flurförderfahrzeugs zurückgelegt. Das Abstellen des leeren Förderhilfsmittels am Sammelplatz benötigt die Zeit (t^{AbLeerNa}) und wird im neunten Prozessschritt beschrieben.

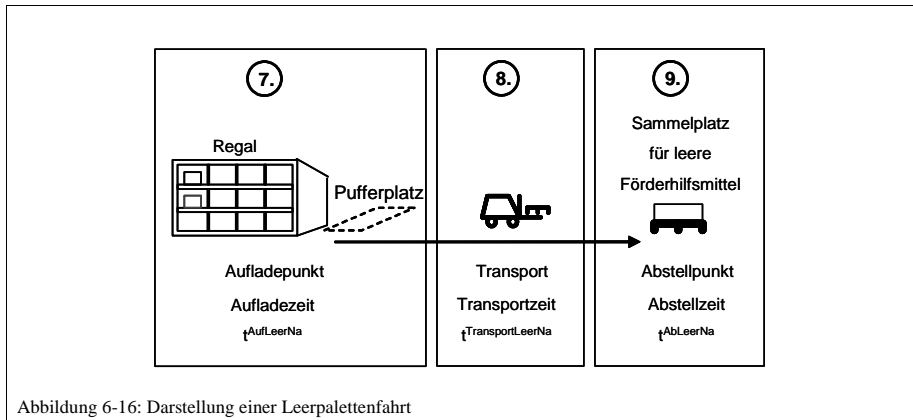


Abbildung 6-16: Darstellung einer Leerpalettenfahrt

Die gesamte Zeit zum Aufräumen eines nicht mehr benötigten Förderhilfsmittels (t^{LeerNa}) ergibt sich aus der Summe der drei einzelnen Prozessschritte:

$$t^{\text{LeerNa}} = t^{\text{AufLeerNa}} + \frac{s^{\text{LeerNa}}}{v_u} + t^{\text{AbLeerNa}}$$

Für die Gesamtzeit der Aufräumvorgänge (T^{LeerNa}) nicht mehr benötigter Förderhilfsmittel für alle Artikel i gilt:

$$T^{\text{LeerNa}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{V_i^K}{V_i^P} \right) * \left(t^{\text{AufLeerNa}} + \frac{s^{\text{LeerNa}}}{v_u} + t^{\text{AbLeerNa}} \right) \quad (6.1.3.7)$$

Dabei beschreibt der erste Quotient die Anzahl der durch das Flurförderfahrzeug bewegten Förderhilfsmittel in Abhängigkeit vom Kundenbedarfsvolumen im betrachteten Zeitraum.

Die Summe aus Personalkosten und Flurförderfahrzeugkosten eines Fahrzeugtyps (u) stellt den Kostensatz dar, mit welchem die angefallene Zeit multipliziert werden muss, um die Gesamtkosten für das nicht mehr benötigte (leere) Förderhilfsmittel (K^{LeerNa}) zu bekommen. Ersetzt man V_i^K in der Formel (6.1.3.7) durch die Formel (6.1.1.a) und ersetzt man V_i^P in (6.1.3.7) durch (6.1.1.2) so erhält man:

$$K^{\text{LeerNa}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(t^{\text{AufLeerNa}} + \frac{s^{\text{LeerNa}}}{v_u} + t^{\text{AbLeerNa}} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u) \quad (6.1.3.8)$$

Im zehnten und letzten Schritt des Nachfüllprozesses bewegt ein Mitarbeiter das Flurförderfahrzeug vom Sammelplatz für leere Förderhilfsmittel zurück zum Reservelager ($s^{\text{RückLeerNa}}$), ebenfalls in der Geschwindigkeit des Flurförderfahrzeugs.

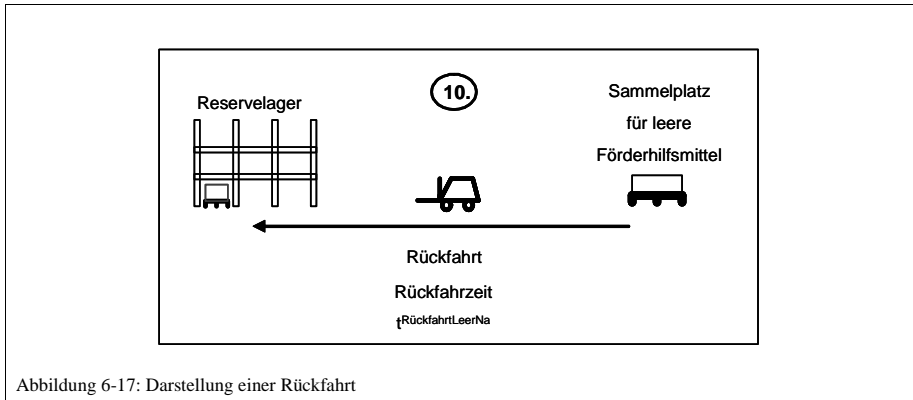


Abbildung 6-17: Darstellung einer Rückfahrt

Die Zeit für eine Rückfahrt ($t^{\text{RückfahrtLeerNa}}$) ergibt sich aus der Strecke und der Geschwindigkeit des Flurförderfahrzeugs zu:

$$t^{\text{RückfahrtLeerNa}} = \frac{s^{\text{RückLeerNa}}}{v_u}$$

Für die Gesamtzeit der Rückfahrten ($T^{\text{RückfahrtLeerNa}}$) für alle Artikel i während des betrachteten Zeitraums ergibt sich die Formel:

$$T^{\text{RückfahrtLeerNa}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{V_i^K}{V_i^P} \right) * \left(\frac{s^{\text{RückLeerNa}}}{v_u} \right) \quad (6.1.3.9)$$

Der erste Quotient beschreibt die dabei benötigte Anzahl an Nachschubfahrten in Abhängigkeit vom Kundenbedarfsvolumen und dem Anliefervolumen. Da auf jede Nachschubfahrt eine Rückfahrt folgen muss, gilt hier ebenfalls der erste Quotient.

Die Summe aus Personalkosten und Flurförderfahrzeugkosten eines Fahrzeugtyps (u) stellt den Kostensatz dar, mit welchem die angefallene Zeit multipliziert werden muss, um die Gesamtkosten der Rückfahrt

($K^{\text{RückfahrtLeerNa}}$) zu bekommen. Ersetzt man V_i^K in der Formel (6.1.3.9) durch die Formel (6.1.1.1a) und ersetzt man V_i^P in (6.1.3.9) durch (6.1.1.2) so erhält man:

$$K^{\text{RückfahrtLeerNa}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(\frac{S^{\text{RückLeerNa}}}{v_u} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u) \quad (6.1.3.10)$$

Zusammenfassend ergeben sich die einzelnen Formeln zu einer Gesamtkostenfunktion des Nachfüllprozesses (F^{Na}).

- Kosten der Nachschubfahrt:

$$K^{\text{FahrtNa}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(t^{\text{AufFahrtNa}} + \frac{S^{\text{FahrtNa}}}{v_u} + t^{\text{AbFahrtNa}} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u) \quad (6.1.3.2)$$

- Kosten für den Befüllprozess in Abhängigkeit vom Kundenvolumen:

$$K^{\text{BefüllungNa}} = \frac{1}{h^L * b^L * l^L} * \left(\sum_{i=1}^S b_i^K * V_i^V \right) * t^{\text{BefüllenNa}} * PK \quad (6.1.3.4a)$$

- Kosten für den Befüllprozess in Abhängigkeit von der Regalfachgröße:

$$K^{\text{BefüllungNa}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{(p + a_i) * m_i} \right) * p * t^{\text{BefüllenNa}} * PK \quad (6.1.3.4b)$$

- Kosten für die Zwischenlagerung:

$$K^{\text{ReserveplatzNa}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{(p + a_i) * m_i} * a_i \right) * \left(t^{\text{EinReserveNa}} + t^{\text{AusReserveNa}} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u) \quad (6.1.3.6)$$

- Kosten für das Aufräumen:

$$K^{\text{LeerNa}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(t^{\text{AufLeerNa}} + \frac{S^{\text{LeerNa}}}{v_u} + t^{\text{AbLeerNa}} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u) \quad (6.1.3.8)$$

- Kosten für die Rückfahrt:

$$K^{\text{Rückfahrt}^{\text{Leer}^{\text{Na}}}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(\frac{s^{\text{Rück}^{\text{Leer}^{\text{Na}}}}}{v_u} \right) * (PK + F\delta K_u) \quad (6.1.3.10)$$

Außerdem werden die Fahrten im Nachfüllprozess zusammengefasst zu:

$$K^{\text{Fahrten}^{\text{Na}}} = K^{\text{Fahrt}^{\text{Na}}} + K^{\text{Leer}^{\text{Na}}} + K^{\text{Rückfahrt}^{\text{Leer}^{\text{Na}}}}$$

Dabei werden auch die Zeiten und Strecken zusammengefasst zu:

$$T^{\text{Auf}^{\text{Na}}} = t^{\text{Auf}^{\text{Fahrt}^{\text{Na}}}} + t^{\text{Auf}^{\text{Leer}^{\text{Na}}}}$$

$$T^{\text{Ein}^{\text{Na}}} = t^{\text{Ab}^{\text{Fahrt}^{\text{Na}}}} + t^{\text{Ab}^{\text{Leer}^{\text{Na}}}}$$

$$s^{\text{Na}} = s^{\text{Fahrt}^{\text{Na}}} + s^{\text{Leer}^{\text{Na}}} + s^{\text{Rück}^{\text{Leer}^{\text{Na}}}}$$

Somit ergibt sich:

$$K^{\text{Fahrten}^{\text{Na}}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(T^{\text{Auf}^{\text{Na}}} + \frac{s^{\text{Na}}}{v_u} + T^{\text{Ein}^{\text{Na}}} \right) * (PK + F\delta K_u) \quad (6.1.3.11)$$

Die Gesamtkosten des Nachfüllprozesses:

$$f^{\text{Na}} = K^{\text{Fahrten}^{\text{Na}}} + K^{\text{Befüllung}^{\text{Na}}} + K^{\text{Reserveplatz}^{\text{Na}}} \quad (6.1.3.12)$$

6.1.4 Kommissionierung

In der vorliegenden Ausarbeitung wird der Kommissionierprozess mit den korrespondierenden Prozesszeiten in acht Schritten dargestellt. (siehe Abbildung 6-18).

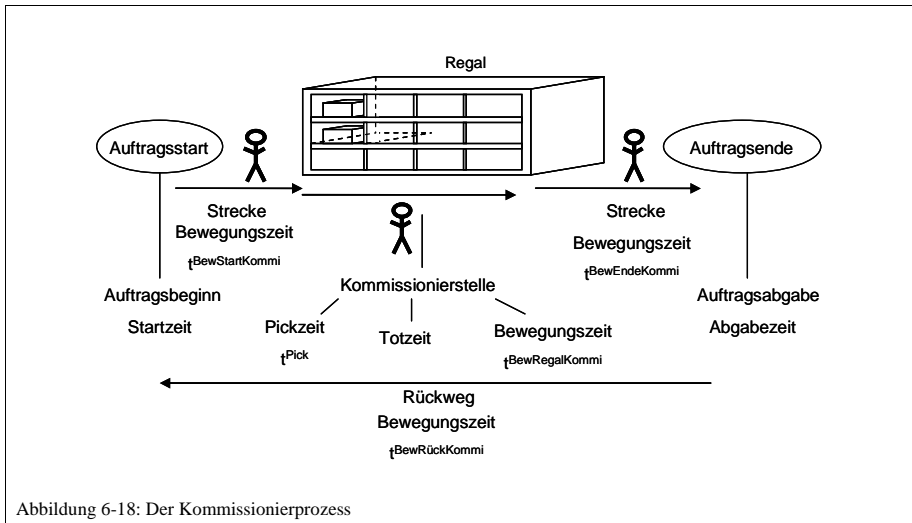


Abbildung 6-18: Der Kommissionierprozess

Für den gesamten Kommissionierprozess werden folgende Prämissen getroffen:

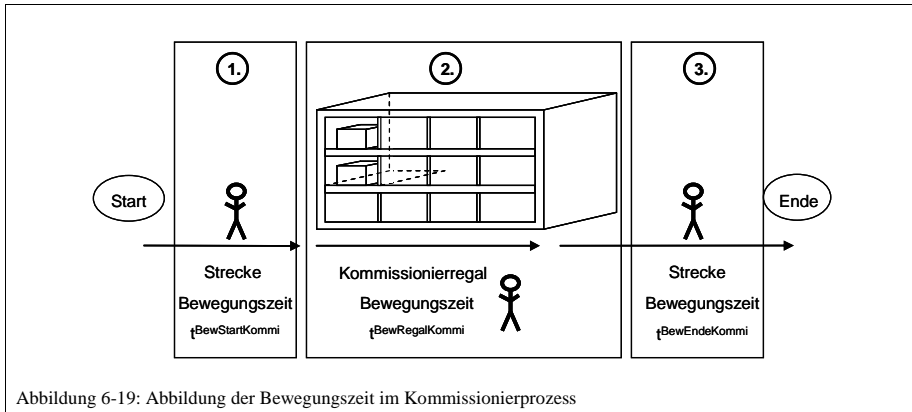
- In jedem Durchlauf des Kommissionierprozesses wird nur ein Auftrag abgearbeitet.
- Die Pickzeit (t^{Pick}) ist unabhängig von der Größe der Verkaufseinheit (V_i^V) und der Art des Regals.
- Für jeden einzelnen Kommissionierprozess muss die gesamte Regalbreite (B^R) einmal abgelaufen werden, d. h. es kann in der Mitte nicht umgekehrt werden.
- Zeiten für den Auftragsbeginn, Tot- und Pickzeiten sowie das Auftragsende werden im Rechenmodell nicht berücksichtigt, da sie nicht durch die Verkleinerung der Losgrößen beeinflusst werden. Aus diesem Grund werden im Folgenden nicht die Auftragspositionen, sondern der gesamte Auftrag als eine Spielzeit betrachtet und in vier Prozessschritten der Bewegungszeiten modelliert.

Im ersten Schritt bewegt der Mitarbeiter das Flurförderfahrzeug (u) über die Strecke vom Auftragsstart bis zum Regalanfang ($s^{\text{StartKommi}}$) mit der Geschwindigkeit (v_u). Beim zweiten Prozessschritt wird die Strecke vom Anfang des Kommissionierregals bis zum Ende des Kommissionierregals ($s^{\text{RegalKommi}}$) mit der Geschwindigkeit des Flurförderfahrzeugs zurückgelegt. Danach bewegt sich der Mitarbeiter bis zum Auftragsende (Strecke: $s^{\text{EndeKommi}}$), um den Auftrag abzugeben. Danach begibt er sich im vierten Prozessschritt mit der Geschwindigkeit des Flurförderfahrzeugs wieder auf den Rückweg vom Auftragsende bis zum Auftragsanfang.

$$s^{\text{LeerKommi}} = s^{\text{StartKommi}} + s^{\text{RegalKommi}} + s^{\text{EndeKommi}}$$

Die gesamte Zeit für den Kommissionierprozess unter der Berücksichtigung der Bewegungsabläufe für einen Auftrag (t^{BewKommi}) ergibt sich dann aus der Summe der vier einzelnen Prozessschritte zu (vgl. Abbildung 6-19):

$$t^{\text{BewKommi}} = \frac{s^{\text{StartKommi}}}{v_u} + \frac{s^{\text{RegalKommi}}}{v_u} + \frac{s^{\text{EndeKommi}}}{v_u} + \frac{s^{\text{StartKommi}} + s^{\text{RegalKommi}} + s^{\text{EndeKommi}}}{v_u}$$



Somit ergibt sich die Gesamtzeit der Bewegungsabläufe (T^{BewKommi}) beim Kommissionierprozess während des betrachteten Zeitraums (t^K) zu:

$$T^{\text{BewKommi}} = A * \frac{2 * (s^{\text{StartKommi}} + s^{\text{RegalKommi}} + s^{\text{EndeKommi}})}{v_u}$$

Dabei wird die gesamte Zeit für einen Auftrag mit der Anzahl aller Aufträge (A) multipliziert.

Die Summe aus Personalkosten (PK) und Flurförderfahrzeugkosten ($FöK_u$) eines Fahrzeugtyps (u) stellt den Kostensatz dar, mit welchem die Gesamtzeit der Bewegungsabläufe multipliziert werden muss, um die Gesamtkosten der Bewegungsabläufe im Kommissionierprozess (K^{BewKommi}) zu bekommen.

$$K^{\text{BewKommi}} = A * \frac{2 * (s^{\text{StartKommi}} + s^{\text{RegalKommi}} + s^{\text{EndeKommi}})}{v_u} * (PK + FöK_u) \quad (6.1.4.1)$$

Die Kostenfunktion des Kommissionierprozesses (f^{Kommi}) sei:

$$f^{\text{Kommi}} = A * \frac{2 * \left(s^{\text{Start}^{\text{Kommi}}} + s^{\text{Regal}^{\text{Kommi}}} + s^{\text{Ende}^{\text{Kommi}}} \right)}{v_u} * (\text{PK} + \text{FöK}_u)$$

6.2 Wirkweise und Grenzwertbetrachtungen der Weitergabe kleinerer Losgrößen

In Kapitel 6.1 wurde ein homomorphes Modell eines mechanisierten Lagers entwickelt. Auf dieser Basis soll nun die Wirkweise der Verkleinerung von Losgrößen in diesem Umfeld diskutiert werden. Dazu werden die entwickelten Kostenfunktionen für die verschiedenen Lagerhausbereiche hinsichtlich ihres Verhaltens bei Verkleinerung der Losgrößen betrachtet. Dies geschieht mit Hilfe mathematischer Ableitung bzw. Grenzwertbetrachtungen. Zielsetzung ist es, die entstehenden Mehrkosten bzw. Einsparungen für die Lagerhausbereiche einzeln darzustellen und anschließend für die Gesamtkostenfunktion des Lagers ein Optimum nachzuweisen.

6.2.1 Wareneingang

Die Kostenfunktion des Wareneingangsprozesses (f^{WE}) lautet:

$$f^{\text{WE}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(t^{\text{Auf}^{\text{WE}}} + \frac{2 * s^{\text{WE}}}{v_u} + t^{\text{Ein}^{\text{WE}}} \right) * (\text{PK} + \text{FöK}_u)$$

Die Kostenfunktion lässt sich aufspalten in die Kostenfunktion jedes einzelnen Artikels i (f_i^{WE}). Nach den algebraischen Regeln [KÖN-04, S. 141] gilt, dass die Summe aus differenzierbaren Funktionen wieder differenzierbar ist.

$$f^{\text{WE}} = f_1^{\text{WE}} + \dots + f_i^{\text{WE}} + \dots + f_S^{\text{WE}} = \sum_{i=1}^S f_i^{\text{WE}}$$

mit

$$f_i^{\text{WE}}(n_i) = \left(\frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(t^{\text{Auf}^{\text{WE}}} + \frac{2 * s^{\text{WE}}}{v_u} + t^{\text{Ein}^{\text{WE}}} \right) * (\text{PK} + \text{FöK}_u)$$

Deswegen wird zunächst die Wirkungsweise der Weitergabe kleiner Losgrößen für die Kostenfunktion des Artikels i betrachtet.

$$f_i^{\text{WE}}(n_i) = \left(\frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(t^{\text{Auf}^{\text{WE}}} + \frac{2 * s^{\text{WE}}}{v_u} + t^{\text{Ein}^{\text{WE}}} \right) * (\text{PK} + \text{FöK}_u)$$

Es wird angenommen, dass die Anzahl der Verkaufseinheiten des Kundenbedarfs (b_i^K) gegeben ist, ebenso die Aufnahmezeit eines Anlieferervolumen ($t^{\text{Auf}^{\text{WE}}}$), die Strecke von der LKW-Rampe bis zum Reservelager (s^{WE}), die Einlagerungszeit eines Anlieferervolumens ($t^{\text{Ein}^{\text{WE}}}$), die Personalkosten (PK) und die

Flurförderfahrzeugkosten (FöK_w). Die einzige Unbekannte ist die Anzahl der Verkaufseinheiten je Anlieferolumen (n_i). Alle Zeit-, Geschwindigkeits- und Kostenvariablen sind Teil der Menge der positiven natürlichen Zahlen \mathbb{N}_+ . Der dazugehörige Definitionsbereich (D) der Funktion f_i^{WE} wird wie folgt definiert:

$$D^{P_i} = \left\{ n_i \in \mathbb{R} : 1 \leq n_i \leq \frac{V_i^{\text{PMax}}}{V_i^{\text{V}}} \right\} = \left\{ \left[1; \frac{V_i^{\text{PMax}}}{V_i^{\text{V}}} \right] \right\}$$

Dabei beschreibt der Quotient aus dem maximalen Volumen, welches ein Anlieferolumen besitzen kann (V_i^{PMax}), und der Verkaufseinheit (V_i^{V}) die maximale Anzahl der Verkaufseinheiten des Artikels i je Förderhilfsmittel. Die Kostenfunktion für den Artikel i bildet den Definitionsbereich der Funktion auf die Menge der reellen Zahlen \mathbb{R} ab.

$$f_i^{\text{WE}} : \left[1; \frac{V_i^{\text{PMax}}}{V_i^{\text{V}}} \right] \rightarrow \mathbb{R}$$

Für die Grenzwertbetrachtung ist zu zeigen, dass die Kostenfunktion für den Artikel i streng monoton fallend ist, d. h. je größer die Losgröße wird, desto kleiner werden die Kosten (Funktion fällt). Nach dem Mittelwertsatz von Lagrange [KÖN-04, S. 144] gilt, dass eine Funktion $f: [a,b] \rightarrow \mathbb{R}$, die auf dem kompakten Intervall $[a;b]$ stetig und auf dem offenen Intervall $(a;b)$ differenzierbar ist, ein $\xi \in (a,b)$ hat, so dass gilt:

$$\frac{f(b) - f(a)}{b - a} = f'(\xi)$$

Die Kostenfunktion für den Artikel i ist stetig auf dem Intervall $[1, (V_i^{\text{PMax}}/V_i^{\text{V}})]$ und differenzierbar auf dem korrespondierenden offenen Intervall. Somit gilt:

$$\exists \xi \in \left(1; \frac{V_i^{\text{PMax}}}{V_i^{\text{V}}} \right) : f \left(\frac{V_i^{\text{PMax}}}{V_i^{\text{V}}} \right) - f(1) = f'(\xi) * \left(\frac{V_i^{\text{PMax}}}{V_i^{\text{V}}} - 1 \right)$$

Aus dem Monotoniekriterium [KÖN-04, S. 145] folgt, wenn eine Funktion $f: [a,b] \rightarrow \mathbb{R}$ differenzierbar ist, dass gilt:

$f(x) > 0$ in $(a;b) \Rightarrow f(x)$ wächst in $(a;b)$ streng monoton;

$f(x) < 0$ in $(a;b) \Rightarrow f(x)$ fällt in $(a;b)$ streng monoton

Für die Kostenfunktion des Artikels i kann man nach Anwendung der Ableitungsregel einer Grundfunktion: $D x^n = n \cdot x^{n-1}$ [KÖN-04, S. 135] zeigen, dass gilt:

$$f_i^{WE'} = \left(-\frac{b_i^K}{n_i^2} \right) * \left(t_{Auf}^{WE} + \frac{2 * s^{WE}}{v_u} + t_{Ein}^{WE} \right) * (PK + FöK_u)$$

$$\Rightarrow \forall \xi \in \left(1; \frac{V_i^{PMax}}{V_i^V} \right) : f_i^{WE'}(\xi) < 0$$

Die Kostenfunktion für den Artikel i ist im Definitionsbereich streng monoton fallend, was zu zeigen war. Somit besitzt die Ableitung der Kostenfunktion für den Artikel i keine Extremstellen, denn es gilt:

$$\forall \xi \in \left(1; \frac{V_i^{PMax}}{V_i^V} \right) : f_i^{WE'}(\xi) \neq 0$$

Daraus folgt, dass die Kostenfunktion des Wareneingangsprozesses aus der Summe der einzelnen Kostenfunktionen auch keine Extremstelle besitzt. Nach dem Satz vom Maximum und Minimum [KÖN-04, S. 90] ist bekannt, dass jede stetige Funktion $f: K \rightarrow \mathbb{R}$ auf einem Kompaktum K ein Maximum und ein Minimum annimmt, d. h. $\exists \xi_1, \xi_2 \in D$ so daß $\forall x \in D : f(\xi_1) \leq f(x) \leq f(\xi_2)$. Aufgrund der Monotonie gilt ebenfalls:

$$\forall n_i \in \left(1; \frac{V_i^{PMax}}{V_i^V} \right) : f(1) > f(n_i) > f\left(\frac{V_i^{PMax}}{V_i^V}\right)$$

Ergebnis: Es gilt für die Grenzwertbetrachtung der Weitergabe kleiner Losgrößen im Wareneingang, dass mit Abnahme der Anzahl der Verkaufseinheiten auf einem Anliefervolumen die Kosten steigen, um den Artikel i zu verräumen. Für die Summe über alle Artikel aus dem Sortiment (S^{OR}) der Kostenfunktionen für einen Artikel i gilt, dass die Minimalkosten jeder einzelnen Funktion summiert die Minimalkosten der Gesamtfunktion ergeben. Die Verkleinerung der Losgröße bringt im Wareneingang dementsprechend einen Mehraufwand mit sich, verursacht durch die größere Anzahl an Förderhilfsmittel, die im Bezugszeitraum bewältigt werden muss.

6.2.2 Nachfüllprozess zwischen Reserverlager und Kommissionierung

Die Kostenfunktion für den Nachfüllprozess (f^{Na}) lautet:

$$f^{Na} = K_{Fahren}^{Na} + K_{Befüllung}^{Na} + K_{Reserveplatz}^{Na}$$

Da die Formel (6.1.3.6) für die Zwischenlagerung abhängig ist von der Anzahl der Lagerlosgrößen, die in ein Regalfach (p) passen, muss auch die Kostenfunktion für die Fahrten ($K^{\text{FahrtenNa}}$) hinsichtlich der Anzahl der überschüssigen Lagerlosgrößen, die nicht mehr in ein Regalfach passen, (a_i) und (p) angepasst werden. Die Kostenfunktion ist abhängig von der Anzahl der Verkaufseinheiten auf dem Förderhilfsmittel (n_i). Das Volumen der Anlieferpalette wird durch die Anzahl der Verkaufseinheiten der Lagerlose in Abhängigkeit vom Regalfach mit Hilfe der Formel (6.1.1.9) dargestellt. Setzt man für (V_i^P) die Formel (6.1.1.2) ein, so erhält man folgenden Term:

$$n_i * V_i^V = (p + a_i) * V^L$$

Das Auflösen der Gleichung nach n_i ergibt die Anzahl der Verkaufseinheiten auf dem Förderhilfsmittel in Abhängigkeit von der Lagerlosgröße:

$$n_i = (p + a_i) * \frac{V^L}{V_i^V}$$

Setzt man für V^L jetzt die Formel (6.1.1.4) ein, so erhält man:

$$n_i = (p + a_i) * m_i \quad (6.2.2.1)$$

Ersetzt man in der Formel (6.1.3.11) n_i durch die oben hergeleitete Formel (6.2.2.1), so wird die Kostenfunktion in Abhängigkeit von der Anzahl der Lagerlose dargestellt, die in ein Regalfach passen:

$$K^{\text{FahrtenNa}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{(p + a_i) * m_i} \right) * \left(T^{\text{AufNa}} + \frac{S^{\text{Na}}}{v_u} + T^{\text{EinNa}} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u)$$

Somit ergibt sich die Kostenfunktion für den Nachfüllprozess (f^{Na}) zu:

$$\begin{aligned} f^{\text{Na}} &= \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{(p + a_i) * m_i} \right) * \underbrace{\left(T^{\text{AufNa}} + \frac{S^{\text{Na}}}{v_u} + T^{\text{EinNa}} \right)}_{= F} * (PK + F\ddot{o}K_u) \\ &+ \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{(p + a_i) * m_i} \right) * p * \underbrace{t^{\text{BefüllenNa}}}_{= G} * PK \\ &+ \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{(p + a_i) * m_i} * a_i \right) * \underbrace{\left(t^{\text{EinReserveNa}} + t^{\text{AusReserveNa}} \right)}_{= H} * (PK + F\ddot{o}K_u) \end{aligned}$$

Die Parameter p und m_i sind nicht gegeben. Deswegen wird p ersetzt durch die Formel (6.1.1.8), nachdem diese nach p aufgelöst wurde. Der Parameter m_i wird ersetzt durch die Formel (6.1.1.4), nachdem diese nach m_i aufgelöst wurde. Daraus ergibt sich:

$$f^{Na} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{\left(\frac{L^R}{1^L} + a_i \right) * \frac{V^L}{V_i^V}} \right) * F + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{\left(\frac{L^R}{1^L} + a_i \right) * \frac{V^L}{V_i^V}} \right) * \frac{L^R}{1^L} * G + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{\left(\frac{L^R}{1^L} + a_i \right) * \frac{V^L}{V_i^V}} * a_i \right) * H$$

Als letztes ersetzt man V^L durch die Formel (6.1.1.3). Daraus ergibt sich:

$$f^{Na} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{\left(\frac{L^R}{1^L} + a_i \right) * h^L * b^L * 1^L} \right) * F + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{\left(\frac{L^R}{1^L} + a_i \right) * h^L * b^L * 1^L} * \frac{L^R}{1^L} \right) * G + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{\left(\frac{L^R}{1^L} + a_i \right) * h^L * b^L * 1^L} \right) * H$$

Der Definitionsbereich der Funktion f^{Na} ist:

$$D = \left\{ \left(h^L, b^L, 1^L, a_1, \dots, a_S \right) \in \mathbb{R}^{3+S} \mid \left[\sup_{i \in S} \{H_i^V\}, H^{\text{Max}} \right] \times \left[\sup_{i \in S} \{B_i^V\}, B^{\text{Max}} \right] \times \left[\sup_{i \in S} \{L_i^V\}, L^{\text{Max}} \right] \times [0; a^{\text{Max}}] \right\}$$

Für die Ermittlung der Wirkungsweise der Weitergabe kleiner Lagerlose wird die Funktion f^{Na} auf Extremwerte untersucht. Dazu wird die Funktion f^{Na} nach den Parametern $h^L, b^L, 1^L, a_1, \dots, a_S$ abgeleitet:

$$\left(\begin{array}{l}
\frac{\partial f^{\text{Na}}}{\partial h^{\text{L}}} \\
\frac{\partial f^{\text{Na}}}{\partial b^{\text{L}}} \\
\frac{\partial f^{\text{Na}}}{\partial i^{\text{L}}} \\
\frac{\partial f^{\text{Na}}}{\partial a_1} \\
\dots \\
\frac{\partial f^{\text{Na}}}{\partial a_i} \\
\dots \\
\frac{\partial f^{\text{Na}}}{\partial a_s}
\end{array} \right) = \left(\begin{array}{l}
-\frac{1}{h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}}}{(L^{\text{R}} + a_i * 1^{\text{L}})} * F - \frac{1}{h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}} * L^{\text{R}}}{(L^{\text{R}} * 1^{\text{L}} + a_i * 1^{\text{L}^2})} * G - \frac{1}{h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}} * a_i}{(L^{\text{R}} + a_i * 1^{\text{L}})} * H \\
-\frac{1}{h^{\text{L}} * b^{\text{L}^2}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}}}{(L^{\text{R}} + a_i * 1^{\text{L}})} * F - \frac{1}{h^{\text{L}} * b^{\text{L}^2}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}} * L^{\text{R}}}{(L^{\text{R}} * 1^{\text{L}} + a_i * 1^{\text{L}^2})} * G - \frac{1}{h^{\text{L}} * b^{\text{L}^2}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}} * a_i}{(L^{\text{R}} + a_i * 1^{\text{L}})} * H \\
-\frac{1}{h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}} * a_i}{(L^{\text{R}} + a_i * 1^{\text{L}})^2} * F - \frac{1}{h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}} * L^{\text{R}^2}}{(L^{\text{R}} + a_i * 1^{\text{L}})^2 * 1^{\text{L}^2}} * G - \frac{1}{h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}} * L^{\text{R}} * 2 * a_i}{(L^{\text{R}} + a_i * 1^{\text{L}})^2 * 1^{\text{L}}} * G \\
-\frac{1}{h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}} * a_i^2}{(L^{\text{R}} + a_i * 1^{\text{L}})^2} * H \\
-\frac{1}{h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * \frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}} * 1^{\text{L}}}{(L^{\text{R}} + a_i * 1^{\text{L}})^2} * F - \frac{1}{h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * \frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}} * L^{\text{R}}}{(L^{\text{R}} + a_i * 1^{\text{L}})^2} * G + \frac{1}{h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * \frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}} * L^{\text{R}}}{(L^{\text{R}} + a_i * 1^{\text{L}})^2} * H \\
\dots \\
-\frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}} * 1^{\text{L}}}{(L^{\text{R}} + a_i * 1^{\text{L}})^2 * h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * F - \frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}} * L^{\text{R}}}{(L^{\text{R}} + a_i * 1^{\text{L}})^2 * h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * G + \frac{b_i^{\text{K}} * V_i^{\text{V}} * L^{\text{R}}}{(L^{\text{R}} + a_i * 1^{\text{L}})^2 * h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * H \\
\dots \\
-\frac{b_s^{\text{K}} * V_s^{\text{V}} * 1^{\text{L}}}{(L^{\text{R}} + a_s * 1^{\text{L}})^2 * h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * F - \frac{b_s^{\text{K}} * V_s^{\text{V}} * L^{\text{R}}}{(L^{\text{R}} + a_s * 1^{\text{L}})^2 * h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * G + \frac{b_s^{\text{K}} * V_s^{\text{V}} * L^{\text{R}}}{(L^{\text{R}} + a_s * 1^{\text{L}})^2 * h^{\text{L}} * b^{\text{L}}} * H
\end{array} \right)$$

Um die Funktion nach Extremstellen zu untersuchen, wird das Differenzial gleich Null gesetzt. Durch weiteres Umformen erhält man:

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * 1^L)} * F + \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * 1^L)} * \frac{L^R}{1^L} * G + \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * 1^L)} * H = 0 \\
& \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * 1^L)} * F + \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * 1^L)} * \frac{L^R}{1^L} * G + \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * 1^L)} * H = 0 \\
& \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * 1^L)^2} * F + \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * 1^L)^2} * \frac{L^{R^2}}{1^{L^2}} * G \\
& + \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * 2 * a_i}{(L^R + a_i * 1^L)^2} * \frac{L^R}{1^L} * G + \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i^2}{(L^R + a_i * 1^L)^2} * H = 0 \\
& -1^L * F - 1^L * G + L^R * H = 0 \\
& \dots\dots\dots \\
& -1^L * F - 1^L * G + L^R * H = 0 \\
& \dots\dots\dots \\
& -1^L * F - 1^L * G + L^R * H = 0
\end{aligned}$$

Es ergibt sich ein unterdefiniertes Gleichungssystem (d. h. es gibt zur Lösung zu wenig Gleichungen), das im Definitionsbereich keine Lösung hat. Somit ist kein Extremwert bestimmbar. Um das Verhalten der Funktion auf die Veränderung der Losgröße zu veranschaulichen, werden die Grenzwerte für die Variablen untersucht. Zuerst wird untersucht, wie sich die Funktion verhält, wenn die Variable h^L gegen den Wert unendlich strebt:

$$\begin{aligned}
\lim_{h^L \rightarrow \infty} f^{Na} &= \underbrace{\left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * 1^L)} * h^L * b^L \right)}_{\rightarrow 0} * F + \underbrace{\left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * 1^L)} * h^L * b^L * \frac{L^R}{1^L} \right)}_{\rightarrow 0} * G \\
&+ \underbrace{\left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * 1^L)} * h^L * b^L \right)}_{\rightarrow 0} * H
\end{aligned}$$

Somit erreicht man die Minimalkosten, wenn die Höhe der Lagerlosgröße den höchsten Wert aus dem Definitionsbereich annimmt. Für die Breite der Lagerlosgröße b^L gilt ebenfalls:

$$\begin{aligned}
\lim_{b^L \rightarrow \infty} f^{Na} &= \underbrace{\left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * 1^L)} * h^L * b^L \right)}_{\rightarrow 0} * F + \underbrace{\left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * 1^L)} * h^L * b^L * \frac{L^R}{1^L} \right)}_{\rightarrow 0} * G \\
&+ \underbrace{\left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * 1^L)} * h^L * b^L \right)}_{\rightarrow 0} * H
\end{aligned}$$

Hier liegt das Optimum ebenfalls beim größten Wert des Definitionsbereichs. Für den Parameter l^L gilt bei der Grenzwertbetrachtung das gleiche wie für die oberen zwei Variablen. Auch hier erreicht man die Minimalkosten, wenn die Länge der Lagerlosgröße ihren höchsten Wert annimmt:

$$\lim_{l^L \rightarrow \infty} f_{Na} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * l^L) * h^L * b^L} \right) * F + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * l^L) * h^L * b^L} * \frac{L^R}{l^L} \right) * G$$

$$+ \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * l^L) * h^L * b^L} \right) * H$$

Ergebnis: Da die Funktion, wie oben gezeigt, keinen Extremwert besitzt, gibt es auf der Definitionsmenge der Funktion nur einen Minimalwert (H^{Max} , B^{Max} , L^{Max}). Wenn die Werte h^L , b^L und l^L gegen unendlich streben, wird a_i gegen Null streben. Somit folgt, dass die Verkleinerung der Lagerlosgröße für den Nachfüllprozess nicht bevorzugt wird, da höhere Kosten entstehen, je kleiner diese ist.

6.2.3 Kommissionierung

Die Kostenfunktion für den Kommissionierprozess (f^{Kommi}) lautet:

$$f^{\text{Kommi}} = A * \frac{2 * \left(s^{\text{StartKommi}} + s^{\text{RegalKommi}} + s^{\text{EndeKommi}} \right)}{v_u} * (PK + FöK_u)$$

Die Strecke vom Anfang des Regals bis zum Ende ($s^{\text{RegalKommi}}$) gleicht der Breite des Regals (B^R). Durch Ersetzen von $s^{\text{RegalKommi}}$ durch die Formel (6.1.1.11) erhält man die Kostenfunktion in Abhängigkeit von der Höhe der Lagerlosgröße (h^L) und der Breite der Lagerlosgröße (b^L):

$$f^{\text{Kommi}} = 2 * A * \left(\begin{array}{l} s^{\text{StartKommi}} \\ + \frac{S * 2 * B^{\text{Luft}} * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{S * 2 * B^{\text{Luft}} * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + \frac{S * b^L * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + \frac{S * B^{\text{Regaltrennwand}} * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{S * B^{\text{Regaltrennwand}} * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + s^{\text{EndeKommi}} \end{array} \right) * (PK + FöK_u)$$

Im Kommissioniersystem kann die Verkleinerung der Losgröße nur dadurch genutzt werden, dass man im jeweiligen Regalsystem eine Pickdichtenerhöhung erzielt (siehe Kapitel 5.3), d. h. im Regal lagern kleinere Losgrößen auf engerem Raum. In diesem Modell entsprechen sie der Lagerlosgröße (V^L). Die Verkleinerung der Losgröße wird erreicht, indem man das Volumen der Lagerlosgröße (V^L) an das Volumen der größten Verkaufseinheit (V_i^V) annähert, welches ein Artikel i aus dem Sortiment S^{OR} besitzt. Die maximale

Pickdichtenerhöhung kann gemäß den Prämissen dieses Modells erreicht werden, wenn V^L der Verkaufseinheit (V_i^V) gleicht. Gemäß den weiteren Modellannahmen ergibt sich:

$$\max_{i \in S} \{V_i^V\} = \min \{V^L\}$$

Die Grenzwertbetrachtung wird durchgeführt, indem man die Extremstellen der Kostenfunktion des Kommissionierprozesses untersucht. Dazu wird die Kostenfunktion nach den Variablen h^L und b^L abgeleitet. Die beiden Differentiale ergeben sich zu:

$$\frac{\partial f_{\text{Kommi}}}{\partial h^L} = 2 * A * \frac{\left(\frac{S * 2 * B^{\text{Luft}}}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{S * b^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{S * B^{\text{Regaltrennwand}}}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \right)}{v_u} * (PK + FöK_u)$$

$$\frac{\partial f_{\text{Kommi}}}{\partial b^L} = 2 * A * \frac{\left(\frac{S * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{S * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \right)}{v_u} * (PK + FöK_u)$$

Um die Extremstellen zu bestimmen, werden die Differentiale gleich Null gesetzt und umgeformt zu:

$$2 * A * S * \frac{(2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}})}{v_u * (H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}})} * (PK + FöK_u) + 2 * A * S * \frac{b^L}{v_u * (H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}})} * (PK + FöK_u) = 0$$

$$2 * A * S * \frac{(H^{\text{Luft}} + H^{\text{Re galschiene}})}{v_u * (H^R - 2 * H^{\text{Re galwand}})} * (PK + FöK_u) + 2 * A * S * \frac{h^L}{v_u * (H^R - 2 * H^{\text{Re galwand}})} * (PK + FöK_u) = 0$$

Beide Gleichungen nach den Variablen aufgelöst ergeben:

$$b^L = -(2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}})$$

$$h^L = -(H^{\text{Luft}} + H^{\text{Re galschiene}})$$

Es existiert eine Extremstelle, die nicht im Definitionsbereich liegt, da die Höhe und die Breite der Lagerlosgröße keine negative Zahl annehmen kann. Die Definitionsmenge der Kostenfunktion f^{Kommi} ist:

$$D = \left\{ (h^L, b^L) \in \mathbb{R}^2 \mid \left[\max_{i \in S} \{H_i^V\}, H^{\text{Max}} \right] \times \left[\max_{i \in S} \{B_i^V\}, B^{\text{Max}} \right] \right\}$$

Somit liegt das Minimum der Kosten auf den Randpunkten des Definitionsbereichs. Es gilt der Satz vom Maximum und Minimum, der besagt, dass jede stetige Funktion $f: X \rightarrow \mathbb{R}$ auf einem kompakten Raum X ein

Maximum und ein Minimum annimmt. Die Extremstelle ist kleiner als der Anfang des Definitionsbereichs, somit ergibt sich für das Minimum:

$$\min(f^{\text{Kommi}}) = f^{\text{Kommi}} \left(\max_{i \in S} \{H_i^V\}, \max_{i \in S} \{B_i^V\} \right)$$

Ergebnis: Für den Kommissionierprozess gilt, dass sich durch die Verkleinerung der Lagerlosgröße die entstehenden Kosten minimieren lassen. Die Wege und damit die Kosten sind minimal, wenn die Frontfläche bzw. die Grifffläche nur aus den Frontflächen der Verkaufseinheiten inklusive der Verlustfaktoren besteht (vgl. Abbildung 6-6).

6.2.4 Gesamtprozess eines Lagers

Aus den obigen Überlegungen wird ersichtlich, dass einerseits Prozesse im Lager existieren, die sich auf die Weitergabe kleinerer Lose hinsichtlich der Kosten negativ auswirken, andererseits aber auch Prozesse auftreten, auf die sich die Weitergabe kleinerer Lose hinsichtlich der Kosten positiv auswirkt. Da die Abläufe innerhalb eines Lagers stark voneinander abhängen und die Wechselbeziehungen zwischen den einzelnen Prozessen einen wesentlichen Beitrag zur Effizienz darstellen, ist es erforderlich, eine Gesamtbetrachtung aller Prozesse durchzuführen, um eine fundierte Aussage treffen zu können, welche Auswirkungen die Weitergabe kleiner Lose hat. Dazu werden alle Kostenfunktionen (Wareneingang (f^{WE}), Nachfüllprozesse (f^{Na}) und Kommissionierprozess (f^{Kommi})) addiert zu:

$$f^{\text{Ges}} = f^{\text{WE}} + f^{\text{Na}} + f^{\text{Kommi}}$$

Dabei werden einzelne Größen wie folgt zusammengefasst zu:

$$T^{\text{Auf}} = t^{\text{Auf}}^{\text{WE}} + t^{\text{Auf}}^{\text{FahrtNa}} + t^{\text{Auf}}^{\text{LeerNa}}$$

$$T^{\text{Ein}} = t^{\text{Ein}}^{\text{WE}} + t^{\text{Ab}}^{\text{FahrtNa}} + t^{\text{Ab}}^{\text{LeerNa}}$$

$$s = 2 * s^{\text{WE}} + s^{\text{FahrtNa}} + s^{\text{LeerNa}} + s^{\text{Rück}}^{\text{LeerNa}}$$

Daraus ergibt sich die Gesamtformel (f^{Ges}) zu:

$$\begin{aligned}
 f^{\text{Ges}} = & \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * 1^L) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left[\left(T^{\text{Auf}} + \frac{S}{V_u} + T^{\text{Ein}} \right) * (PK + F\ddot{O}K_u) \right]}_E \\
 & + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(1^L * L^R + 1^L * a_i) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{Befüllen}^{\text{Na}}} * PK \right)}_M \\
 & + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * 1^L) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{Ein Reserve}^{\text{Na}}} + t^{\text{Aus Reserve}^{\text{Na}}} \right) * (PK + F\ddot{O}K_u)}_p \\
 & + \frac{2 * A * (PK + F\ddot{O}K_u)}{V_u} * \left(\begin{aligned} & \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ & + \frac{S * b^L * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ & + \frac{S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ & + \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ & + s^{\text{Start}^{\text{Kommi}}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + s^{\text{Ende}^{\text{Kommi}}} \end{aligned} \right)
 \end{aligned}$$

Bei Betrachtung dieser Funktion wird zuerst ihr Definitionsbereich untersucht, d. h. es werden die Werte gesucht, die man in die Funktion nicht einsetzen darf (Sprungstellen der Funktion). Dazu wird noch einmal festgehalten, dass alle vorkommenden Parameter auf Grund des Praxisbezugs Elemente aus den positiven reellen Zahlen sind. Trivialerweise ist zu erkennen, dass für die Höhe (h^L) und die Breite (b^L) der Lagerlosgröße der Wert Null nicht eingesetzt werden darf, weil dadurch ein Teil der vorkommenden Nenner den Wert Null annehmen würde, was nicht zulässig ist. Die Länge der Lagerlosgröße (1^L) darf den Wert Null ebenfalls nicht annehmen, dies wird aus dem Quotienten vor der Variablen M ersichtlich. Im Falle, dass die Länge der Lagerlosgröße den Wert Null annehmen würde, würde der Nenner ebenfalls den Wert Null annehmen, was nicht zulässig ist. Zu betrachten wäre nur noch die Variable der überschüssigen Lagerlosgrößen (a_i). Die folgende Gleichung darf den Wert Null nicht annehmen, damit der Nenner in der Gesamtfunktion nicht Null wird:

$$L^R + a_i * 1^L = 0, \text{ wenn } \begin{cases} 1. \text{ Fall: } a_i = -\frac{L^R}{1^L} \\ 2. \text{ Fall: } 1^L = -\frac{L^R}{a_i} \end{cases}$$

Aus den Voraussetzungen ergibt sich, dass beide Fälle nicht relevant für die Funktionsbetrachtung sind, da nur der Raum der positiven Zahlen betrachtet wird. Falls die überschüssige Lagerlosgröße den Wert Null annimmt, fällt die Gewichtung der Länge der Lagerlosgröße aus der Gesamtgleichung heraus. Dadurch beschreibt der Quotient vor der Variablen E nicht die Anzahl der benötigten Fahrten in Abhängigkeit vom Kundenbedarfsvolumen und der Anzahl der Lagerlose auf dem Förderhilfsmittel, sondern die Anzahl der

benötigten Fahrten in Abhängigkeit vom Kundenbedarfsvolumen und der Größe des Regalfachs. Aus diesem Grund gilt für die Funktion (f^{Ges}), dass der Zahlenbereich für die überschüssigen Lagerlose aus den positiven Zahlen ohne die Null besteht. Für den Wert Null wird eine ummodellerte Funktion ($f^{\text{Ges}*}$) verwendet, in der die Länge des Regals durch die Länge des Lagerloses ersetzt wird. Dies ist notwendig, da sonst die Funktion beispielsweise die Hälfte der Palettenfahrten berechnet, wenn die Länge des Regals doppelt so groß ist wie l^L . Daraus ergibt sich:

$$f^{\text{Ges}*} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{l^L * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left[\left(T^{\text{Auf}} + \frac{s}{v_u} + T^{\text{Ein}} \right) * (PK + FöK_u) \right]}_E + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{l^L * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{BefüllenNa}} * PK \right)}_M$$

$$+ \frac{2 * A * (PK + FöK_u)}{v_u} * \left(\begin{array}{l} \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + \frac{S * b^L * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + \frac{S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + \frac{s^{\text{StartKomm}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + s^{\text{EndeKomm}}}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \end{array} \right)$$

Zur Untersuchung wird, wie bereits in den oberen Abschnitten beschrieben, zuerst die erste Ableitung der Funktion (f^{Ges}) berechnet. Diese ist jetzt abhängig von den Variablen $a_i \forall i \in S^{\text{OR}}$, l^L , b^L und h^L . Die Ableitung nach den einzelnen Parametern lautet:

$$\frac{\partial f^{\text{Ges}}}{\partial h^L} = \left(-\frac{1}{h^L^2 * b^L} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * 1^L)} \right) * E + \left(-\frac{1}{h^L^2 * b^L} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(l^L * L^R + a_i * 1^L^2)} \right) * M + \left(-\frac{1}{h^L^2 * b^L} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * 1^L)} \right) * P$$

$$+ \frac{2 * S * A * (PK + FöK_u) * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}})}{v_u * (H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + b^L * \frac{2 * S * A * (PK + FöK_u)}{v_u * (H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}})}$$

$$\frac{\partial f^{\text{Ges}}}{\partial b^L} = \left(-\frac{1}{h^L * b^L^2} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * 1^L)} \right) * E + \left(-\frac{1}{h^L * b^L^2} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(l^L * L^R + a_i * 1^L^2)} \right) * M + \left(-\frac{1}{h^L * b^L^2} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * 1^L)} \right) * P$$

$$+ h^L * \frac{2 * S * A * (PK + FöK_u)}{v_u * (H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{2 * S * A * (PK + FöK_u) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{v_u * (H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}})}$$

$$\frac{\partial f^{\text{Ges}}}{\partial l^L} = \left(-\frac{1}{h^L * b^L} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * 1^L)^2} \right) * E + \left(-\frac{1}{h^L * b^L} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R^2}{(L^R + a_i * 1^L)^2 * 1^L^2} \right) * M + \left(-\frac{1}{h^L * b^L} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R * a_i}{(L^R + a_i * 1^L)^2 * 1^L} \right) * M$$

$$+ \left(-\frac{1}{h^L * b^L} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i^2}{(L^R + a_i * 1^L)^2} \right) * P$$

$$\frac{\partial f^{\text{Ges}}}{\partial a_1} = \left(-\frac{1}{h^L * b^L} * \frac{b_1^K * V_1^V * 1^L}{(L^R + a_1 * 1^L)^2} \right) * E + \left(-\frac{1}{h^L * b^L} * \frac{b_1^K * V_1^V * L^R}{(L^R + a_1 * 1^L)^2} \right) * M + \left(\frac{1}{h^L * b^L} * \frac{b_1^K * V_1^V * L^R}{(L^R + a_1 * 1^L)^2} \right) * P$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\frac{\partial f^{\text{Ges}}}{\partial a_S} = \left(-\frac{1}{h^L * b^L} * \frac{b_S^K * V_S^V * 1^L}{(L^R + a_S * 1^L)^2} \right) * E + \left(-\frac{1}{h^L * b^L} * \frac{b_S^K * V_S^V * L^R}{(L^R + a_S * 1^L)^2} \right) * M + \left(\frac{1}{h^L * b^L} * \frac{b_S^K * V_S^V * L^R}{(L^R + a_S * 1^L)^2} \right) * P$$

Um Extremstellen zu finden, wird die Ableitung gleich Null gesetzt und umgeformt. Durch subtrahieren der ersten Gleichung von der zweiten Gleichung lässt sich ein Zusammenhang zwischen h^L und b^L finden.

$$b^L = \frac{(2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Realtrennwand}})}{(H^{\text{Luft}} + H^{\text{Realschiene}})} * h^L$$

Das Umformen der letzten beiden Gleichungen bringt keine ersichtliche Lösung. Deswegen wird wieder das Grenzwertverhalten der Variablen untersucht, um zu zeigen, wie sich diese Funktion bei Verkleinerung der Lagerlosgröße verhält. Für die Grenzwertbetrachtung werden die Randpunkte des Definitionsbereichs betrachtet, d. h. das Verhalten der Funktion, wenn sich die der Variable für das Annähern gegen Unendlich und minus Unendlich sowie das Annähern von der linken und rechten Seite an die Definitionslücken, d. h. für Werte, die nicht in der Definitionsmenge liegen. Für die allgemeine Funktion gilt, dass für die Variablen h^L , b^L und l^L die Null nicht eingesetzt werden darf. Beim genauen Betrachten wird ersichtlich, dass die zuerst zu untersuchende Variable die Länge der Lagerlosgröße l^L ist, da h^L und b^L abhängig voneinander sind und a_i von h^L , b^L und l^L abhängt. Der Wertebereich dieser Variable für das Modell ist:

$$W^{l^L} = \left\{ \left[\max_{i \in S} \{L_i^V\}, L^{\text{Max}} \right] \right\}$$

Der allgemeine Wertebereich lautet:

$$W^{l^L} = \left\{ l^L \in \mathbb{R} \mid l^L \notin \left\{ -\frac{L^R}{a_i}, 0 \right\} \right\}$$

Somit wird das Grenzverhalten gegen den Wert Null und Unendlich betrachtet, da der Wertebereich der Variablen gleichzeitig die entsprechende Definitionsmenge der Gesamtfunktion (f^{Ges}) ist.

$$0 < \max_{i \in S} \{L_i^V\} < L^{\text{Max}} < \infty$$

Die zweite Definitionslücke wird nicht untersucht. Sie spielt für die Modellbetrachtung keine relevante Rolle, da der Betrachtungsbereich sich im negativen Zahlenbereich befindet. Zuerst wird untersucht, wie sich die Kostenfunktion verhält, wenn die Variable l^L gegen unendlich strebt.

$$\begin{aligned}
\lim_{l^L \rightarrow \infty} f^{\text{Ges}} &= \underbrace{\frac{b_1^K * V_1^V}{(L^R + a_1 * 1^L) * h^L * b^L}}_{l^L \rightarrow \infty \rightarrow 0} * E + \underbrace{\frac{b_1^K * V_1^V * L^R}{(1^L * L^R + a_1 * 1^L)^2 * h^L * b^L}}_{l^L \rightarrow \infty \rightarrow 0} * M + \underbrace{\frac{b_1^K * V_1^V * a_1}{(L^R + a_1 * 1^L) * h^L * b^L}}_{l^L \rightarrow \infty \rightarrow 0} * P \\
&+ \dots \\
&+ \underbrace{\frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * 1^L) * h^L * b^L}}_{l^L \rightarrow \infty \rightarrow 0} * E + \underbrace{\frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(1^L * L^R + a_i * 1^L)^2 * h^L * b^L}}_{l^L \rightarrow \infty \rightarrow 0} * M + \underbrace{\frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * 1^L) * h^L * b^L}}_{l^L \rightarrow \infty \rightarrow 0} * P \\
&+ \dots \\
&+ \underbrace{\frac{b_S^K * V_S^V}{(L^R + a_S * 1^L) * h^L * b^L}}_{l^L \rightarrow \infty \rightarrow 0} * E + \underbrace{\frac{b_S^K * V_S^V * L^R}{(1^L * L^R + a_S * 1^L)^2 * h^L * b^L}}_{l^L \rightarrow \infty \rightarrow 0} * M + \underbrace{\frac{b_S^K * V_S^V * a_S}{(L^R + a_S * 1^L) * h^L * b^L}}_{l^L \rightarrow \infty \rightarrow 0} * P \\
&+ \frac{2 * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\begin{array}{l} S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ S * b^L * h^L \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}}) \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}}) \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ +_S \text{StartKommi} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} +_S \text{EndeKommi} \end{array} \right) \\
&= \frac{2 * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\begin{array}{l} S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ S * b^L * h^L \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}}) \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}}) \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ +_S \text{StartKommi} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} +_S \text{EndeKommi} \end{array} \right)
\end{aligned}$$

Danach wird das Verhalten der Funktion untersucht, wenn die Länge der Lagerlosgröße gegen den Wert Null strebt (von rechts).

$$\begin{aligned}
\lim_{l^L \rightarrow 0} f^{\text{Ges}} &= \underbrace{\frac{b_1^K * V_1^V}{(L^R + a_1 * l^L) * h^L * b^L}}_{\xrightarrow{l^L \rightarrow 0} \frac{b_1^K * V_1^V}{L^R * h^L * b^L}} * E + \underbrace{\frac{b_1^K * V_1^V * L^R}{(l^L * L^R + a_1 * l^L)^2} * h^L * b^L}_{\xrightarrow{l^L \rightarrow 0} \infty} * M + \underbrace{\frac{b_1^K * V_1^V * a_1}{(L^R + a_1 * l^L) * h^L * b^L}}_{\xrightarrow{l^L \rightarrow 0} \frac{b_1^K * V_1^V * a_1}{L^R * h^L * b^L}} * P \\
&+ \dots \\
&+ \underbrace{\frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * l^L) * h^L * b^L}}_{\xrightarrow{l^L \rightarrow 0} \frac{b_i^K * V_i^V}{L^R * h^L * b^L}} * E + \underbrace{\frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(l^L * L^R + a_i * l^L)^2} * h^L * b^L}_{\xrightarrow{l^L \rightarrow 0} \infty} * M + \underbrace{\frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * l^L) * h^L * b^L}}_{\xrightarrow{l^L \rightarrow 0} \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{L^R * h^L * b^L}} * P \\
&+ \dots \\
&+ \underbrace{\frac{b_S^K * V_S^V}{(L^R + a_S * l^L) * h^L * b^L}}_{\xrightarrow{l^L \rightarrow 0} \frac{b_S^K * V_S^V}{L^R * h^L * b^L}} * E + \underbrace{\frac{b_S^K * V_S^V * L^R}{(l^L * L^R + a_S * l^L)^2} * h^L * b^L}_{\xrightarrow{l^L \rightarrow 0} \infty} * M + \underbrace{\frac{b_S^K * V_S^V * a_S}{(L^R + a_S * l^L) * h^L * b^L}}_{\xrightarrow{l^L \rightarrow 0} \frac{b_S^K * V_S^V * a_S}{L^R * h^L * b^L}} * P \\
&+ \frac{2 * A * (PK + F \ddot{o} K_u)}{v_u} * \left(\begin{array}{l} S * (2 * B_{\text{Luft}} + B_{\text{Regaltrennwand}}) * h^L \\ \quad H^R - 2 * H_{\text{Regalwand}} \\ + \frac{S * b^L * h^L}{H^R - 2 * H_{\text{Regalwand}}} \\ S * b^L * (H_{\text{Luft}} + H_{\text{Regalschiene}}) \\ \quad H^R - 2 * H_{\text{Regalwand}} \\ + \frac{S * (2 * B_{\text{Luft}} + B_{\text{Regaltrennwand}}) * (H_{\text{Luft}} + H_{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H_{\text{Regalwand}}} \\ + s_{\text{Start}^{\text{Kommi}}} - B_{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B_{\text{Regalwand}} + s_{\text{Ende}^{\text{Kommi}}} \end{array} \right) \\
&= \infty
\end{aligned}$$

Somit kann man folgern, dass für den maximal möglichen Wert der Länge der Lagerlosgröße l^L die Funktion gegen ihren minimalen Wert strebt. Deswegen wird im Folgenden eine neue Gesamtfunktion mit dem neuen Wert L^{Max} für die Länge der Lagerlosgröße l^L betrachtet.

$$\begin{aligned}
f^{\text{Gesneu}^1} &= \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * L^{\text{Max}}) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left(T^{\text{Auf}} + \frac{S}{v_u} + T^{\text{Ein}} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u)}_E \\
&+ \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(L^{\text{Max}} * L^R + L^{\text{Max}^2} * a_i) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{(t^{\text{Befüllen}^{\text{Na}}} * PK)}_M \\
&+ \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * L^{\text{Max}}) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{(t^{\text{EinReserve}^{\text{Na}}} + t^{\text{AusReserve}^{\text{Na}}}) * (PK + F\ddot{o}K_u)}_P \\
&+ \frac{2 * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\begin{aligned} &\frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ &+ \frac{S * b^L * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ &+ \frac{S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ &+ \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ &+ s^{\text{Start}^{\text{Kommi}}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + s^{\text{Ende}^{\text{Kommi}}} \end{aligned} \right)
\end{aligned}$$

Im zweiten Schritt werden die Variablen a_i mit $i=1, \dots, S$ untersucht. Der Wertebereich im Modell ist:

$$W^{a_i} = \left[0; f(h^L, b^L, l^L) \right] = \begin{cases} \left(\frac{V^{\text{PMax}}}{V^L} - p \right), & \text{falls } \left(\frac{V^{\text{PMax}}}{V^L} - p \right) > 0 \\ 0, & \text{falls } \left(\frac{V^{\text{PMax}}}{V^L} - p \right) < 0 \end{cases} = \left[0; a^{\text{Max}} \right]^S$$

Somit betrachten wir das Grenzwertverhalten für den Wert Unendlich und den Wert Null. Es gilt:

$$0 < a^{\text{Max}} < \infty$$

Im ersten Schritt wird untersucht, wie sich die Funktion verhält, wenn sich die a_i gegen Unendlich nähern:

$$\begin{aligned}
\lim_{\substack{a_i \rightarrow \infty \\ i \in \{1, \dots, S\}}} f^{\text{Ges}^{\text{neu}^1} &= \underbrace{\frac{b_1^K * V_1^V}{(L^R + a_1 * L^{\text{Max}}) * h^L * b^L}}_{a_1 \rightarrow \infty \rightarrow 0} * E + \underbrace{\frac{b_1^K * V_1^V * L^R}{(L^{\text{Max}} * L^R + a_1 * L^{\text{Max}^2}) * h^L * b^L}}_{a_1 \rightarrow \infty \rightarrow 0} * M + \underbrace{\frac{b_1^K * V_1^V * a_1}{(L^R + a_1 * L^{\text{Max}}) * h^L * b^L}}_{a_1 \rightarrow \infty \rightarrow \frac{b_1^K * V_1^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L}} * P \\
&+ \dots \\
&+ \underbrace{\frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * L^{\text{Max}}) * h^L * b^L}}_{a_i \rightarrow \infty \rightarrow 0} * E + \underbrace{\frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(L^{\text{Max}} * L^R + a_i * L^{\text{Max}^2}) * h^L * b^L}}_{a_i \rightarrow \infty \rightarrow 0} * M + \underbrace{\frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * L^{\text{Max}}) * h^L * b^L}}_{a_i \rightarrow \infty \rightarrow \frac{b_i^K * V_i^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L}} * P \\
&+ \dots \\
&+ \underbrace{\frac{b_S^K * V_S^V}{(L^R + a_S * L^{\text{Max}}) * h^L * b^L}}_{a_S \rightarrow \infty \rightarrow 0} * E + \underbrace{\frac{b_S^K * V_S^V * L^R}{(L^{\text{Max}} * L^R + a_S * L^{\text{Max}^2}) * h^L * b^L}}_{a_S \rightarrow \infty \rightarrow 0} * M + \underbrace{\frac{b_S^K * V_S^V * a_S}{(L^R + a_S * L^{\text{Max}}) * h^L * b^L}}_{a_S \rightarrow \infty \rightarrow \frac{b_S^K * V_S^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L}} * P \\
&+ \frac{2 * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\begin{array}{l} S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ S * b^L * h^L \\ + \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}}) \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ + \\ S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}}) \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ + S^{\text{Start}^{\text{Kommi}}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + S^{\text{Ende}^{\text{Kommi}}} \end{array} \right)
\end{aligned}$$

Es ergibt sich, dass sich die Funktion einem bestimmten Grenzwert annähert:

$$\begin{aligned}
\lim_{\substack{a_i \rightarrow \infty \\ i \in \{1, \dots, S\}}} f^{\text{Ges}^{\text{neu}^1} &= \frac{b_1^K * V_1^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L} * P + \dots + \frac{b_i^K * V_i^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L} * P + \dots + \frac{b_S^K * V_S^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L} * P \\
&+ \frac{2 * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\begin{array}{l} S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ S * b^L * h^L \\ + \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}}) \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ + \\ S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}}) \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ + S^{\text{Start}^{\text{Kommi}}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + S^{\text{Ende}^{\text{Kommi}}} \end{array} \right)
\end{aligned}$$

Im zweiten Schritt wird untersucht, wie sich die Gesamtfunktion verhält, wenn sich die Variablen dem Wert Null annähern:

$$\begin{aligned}
 \lim_{\substack{a_i \rightarrow 0 \\ i \in \{1, \dots, S\}}} f^{\text{Gesneu}1} &= \underbrace{\frac{b_1^K * V_1^V}{(L^R + a_1 * L^{\text{Max}}) * h^L * b^L}}_{\xrightarrow{a_1 \rightarrow 0} \frac{b_1^K * V_1^V}{L^R * h^L * b^L}} * E + \underbrace{\frac{b_1^K * V_1^V * L^R}{(L^{\text{Max}} * L^R + a_1 * L^{\text{Max}^2}) * h^L * b^L}}_{\xrightarrow{a_1 \rightarrow 0} \frac{b_1^K * V_1^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L}} * M + \underbrace{\frac{b_1^K * V_1^V * a_1}{(L^R + a_1 * L^{\text{Max}}) * h^L * b^L}}_{\xrightarrow{a_1 \rightarrow 0} 0} * P \\
 &+ \dots \\
 &+ \underbrace{\frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * L^{\text{Max}}) * h^L * b^L}}_{\xrightarrow{a_i \rightarrow 0} \frac{b_i^K * V_i^V}{L^R * h^L * b^L}} * E + \underbrace{\frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(L^{\text{Max}} * L^R + a_i * L^{\text{Max}^2}) * h^L * b^L}}_{\xrightarrow{a_i \rightarrow 0} \frac{b_i^K * V_i^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L}} * M + \underbrace{\frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * L^{\text{Max}}) * h^L * b^L}}_{\xrightarrow{a_i \rightarrow 0} 0} * P \\
 &+ \dots \\
 &+ \underbrace{\frac{b_S^K * V_S^V}{(L^R + a_S * L^{\text{Max}}) * h^L * b^L}}_{\xrightarrow{a_S \rightarrow 0} \frac{b_S^K * V_S^V}{L^R * h^L * b^L}} * E + \underbrace{\frac{b_S^K * V_S^V * L^R}{(L^{\text{Max}} * L^R + a_S * L^{\text{Max}^2}) * h^L * b^L}}_{\xrightarrow{a_S \rightarrow 0} \frac{b_S^K * V_S^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L}} * M + \underbrace{\frac{b_S^K * V_S^V * a_S}{(L^R + a_S * L^{\text{Max}}) * h^L * b^L}}_{\xrightarrow{a_S \rightarrow 0} 0} * P \\
 &+ \frac{2 * A * (PK + FöK_u)}{v_u} * \left(\begin{array}{l} S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ S * b^L * h^L \\ + \frac{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}}{S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})} \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ + \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + S^{\text{StartKommi}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + S^{\text{EndeKommi}} \end{array} \right)
 \end{aligned}$$

Die Funktion nähert sich einem bestimmten Wert an, welcher ist:

$$\begin{aligned}
 \lim_{\substack{a_i \rightarrow 0 \\ i \in \{1, \dots, S\}}} f^{\text{Gesneu}1} &= \frac{b_1^K * V_1^V}{L^R * h^L * b^L} * E + \frac{b_1^K * V_1^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L} * M + \dots + \frac{b_i^K * V_i^V}{L^R * h^L * b^L} * E + \frac{b_i^K * V_i^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L} * M + \dots + \frac{b_S^K * V_S^V}{L^R * h^L * b^L} * E + \frac{b_S^K * V_S^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L} * M \\
 &+ \frac{2 * A * (PK + FöK_u)}{v_u} * \left(\begin{array}{l} S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ S * b^L * h^L \\ + \frac{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}}{S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})} \\ H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \\ + \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + S^{\text{StartKommi}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + S^{\text{EndeKommi}} \end{array} \right)
 \end{aligned}$$

Im ersten Schritt muss untersucht werden, welcher der beiden Grenzwerte kleiner ist. Es wird gezeigt, in welchem Fall die Kosten günstiger sind, wenn sich die überschüssige Lagerlosgröße dem Wert Null nähert. Zu zeigen ist, wann die folgende Bedingung gültig ist:

$$\lim_{\forall a_i \rightarrow 0} f^{\text{Ges neu}^I} \leq \lim_{\forall a_i \rightarrow \infty} f^{\text{Ges neu}^I}$$

Diese Voraussetzung ist erfüllt, wenn für jedes a_i gilt:

$$\frac{b_i^K * V_i^V}{L^R * h^L * b^L} * E + \frac{b_i^K * V_i^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L} * M \leq \frac{b_i^K * V_i^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L} * P$$

Durch weiteres Umformen erhält man die folgende Voraussetzung:

$$\frac{L^{\text{Max}}}{L^R} * E + M \leq P$$

Wenn die Voraussetzung erfüllt würde, läge der minimale Wert für alle überschüssigen Lagerlosgrößen bei $a_i=0$. Die dadurch neu entstehende Gesamtfunktion lautet:

$$f^{\text{Ges neu}^{2a}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{L^R * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left[\left(T^{\text{Auf}} + \frac{S}{v_u} + T^{\text{Ein}} \right) * (PK + FöK_u) \right]}_E$$

$$+ \underbrace{\left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L} \right) * (t^{\text{Befüllen}^{\text{Na}}} * PK)}_M$$

$$+ \frac{2 * A * (PK + FöK_u)}{v_u} * \left(\begin{array}{l} \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + \frac{S * b^L * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + \frac{S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + s_{\text{Start}^{\text{Kommi}}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + s_{\text{Ende}^{\text{Kommi}}} \end{array} \right)$$

Aus der obigen Erklärung muss aber beachtet werden, dass für die Gesamtfunktion bei Annahme des Wertes Null für die überschüssige Lagerlosgröße die Gesamtfunktion f^{Ges^*} betrachtet werden muss. Somit wird im Folgenden die neue Bedingung untersucht:

$$f^{\text{Ges}*} \leq \lim_{\forall a_i \rightarrow \infty} f^{\text{Ges}}$$

Diese Voraussetzung ist erfüllt, wenn für jedes a_i gilt:

$$\frac{b_i^K * V_i^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L} * E + \frac{b_i^K * V_i^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L} * M \leq \frac{b_i^K * V_i^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L} * P$$

Durch weiteres Umformen erhält man die folgende Voraussetzung:

$$E + M \leq P$$

Ist die Voraussetzung erfüllt, ergibt sich die neue Gesamtfunktion zu:

$$f^{\text{Ges,neu}^{2b}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left[\left(T^{\text{Auf}} + \frac{S}{v_u} + T^{\text{Ein}} \right) * (PK + FöK_u) \right]}_E$$

$$+ \underbrace{\left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{L^{\text{Max}} * h^L * b^L} \right) * (t^{\text{Befüllen}^{\text{Na}}} * PK)}_M$$

$$+ \frac{2 * A * (PK + FöK_u)}{v_u} * \left(\frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{S * b^L * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{2 * S * A * (PK + FöK_u)}{v_u} * \frac{S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + s^{\text{Start}^{\text{Kommi}}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + s^{\text{Ende}^{\text{Kommi}}} \right)$$

Die weitere Grenzwertbetrachtung ist für die nächsten Schritte nicht mehr sinnvoll. Außerdem gab es am Anfang einen Zusammenhang zwischen den verbliebenen Variablen. In den nächsten Schritten wird die Funktion wieder abgeleitet und das Differenzial gleich Null gesetzt. Man folgert denselben Zusammenhang wie schon zu Beginn des Kapitels. Das Differenzial ergibt sich zu:

$$\frac{\partial f^{\text{Ges,neu}^{2b}}}{\partial h^L} = \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^L * L^{\text{Max}}} * \sum_{i=1}^S b_i^K * V_i^V \right) * E + \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^{L^2} * L^{\text{Max}}} * \sum_{i=1}^S b_i^K * V_i^V \right) * M$$

$$+ \frac{2 * S * A * (PK + FöK_u)}{v_u} * \left(\frac{2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{b^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \right)$$

$$\frac{\partial f^{\text{Ges,neu}^{2b}}}{\partial b^L} = \left(-\frac{1}{h^L * b^{L^2} * L^{\text{Max}}} * \sum_{i=1}^S b_i^K * V_i^V \right) * E + \left(-\frac{1}{h^L * b^{L^2} * L^{\text{Max}}} * \sum_{i=1}^S b_i^K * V_i^V \right) * M$$

$$+ \frac{2 * S * A * (PK + FöK_u)}{v_u} * \left(\frac{h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}}}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \right)$$

Indem man das Differenzial gleich Null setzt, ergeben sich zwei Gleichungen zu:

$$\begin{aligned} & \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^L * L^{Max}} * \sum_{i=1}^S b_i^K * V_i^V \right) * E + \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^L * L^{Max}} * \sum_{i=1}^S b_i^K * V_i^V \right) * M \\ & + \frac{2 * S * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\frac{2 * B^{Luft} + B^{Regaltrennwand}}{H^R - 2 * H^{Regaltrennwand}} + \frac{b^L}{H^R - 2 * H^{Regaltrennwand}} \right) = 0 \\ & \left(-\frac{1}{h^L * b^{L^2} * L^{Max}} * \sum_{i=1}^S b_i^K * V_i^V \right) * E + \left(-\frac{1}{h^L * b^{L^2} * L^{Max}} * \sum_{i=1}^S b_i^K * V_i^V \right) * M \\ & + \frac{2 * S * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\frac{h^L}{H^R - 2 * H^{Regaltrennwand}} + \frac{H^{Luft} + H^{Regalschiene}}{H^R - 2 * H^{Regaltrennwand}} \right) = 0 \end{aligned}$$

Nachdem die erste Gleichung von der zweiten subtrahiert wurde, ergibt sich der bekannte Zusammenhang:

$$b^L = \frac{(2 * B^{Luft} + B^{Regaltrennwand})}{(H^{Luft} + H^{Regalschiene})} * h^L$$

Das gefundene b^L wird dann in die erste Gleichung eingesetzt und es ergibt sich der folgende zu lösende Term:

$$\begin{aligned} & \left(-\frac{H^{Luft} + H^{Regalschiene}}{h^{L^3} * (2 * B^{Luft} + B^{Regaltrennwand})} * \sum_{i=1}^S b_i^K * V_i^V \right) * E + \left(-\frac{L^R * (H^{Luft} + H^{Regalschiene})}{h^{L^3} * (2 * B^{Luft} + B^{Regaltrennwand})} * \sum_{i=1}^S b_i^K * V_i^V \right) * M \\ & + \frac{2 * S * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\frac{(2 * B^{Luft} + B^{Regaltrennwand})}{(H^R - 2 * H^{Regaltrennwand})} \right. \\ & \left. + \frac{(2 * B^{Luft} + B^{Regaltrennwand}) * h^L}{(H^R - 2 * H^{Regaltrennwand}) * (H^{Luft} + H^{Regalschiene})} \right) = 0 \end{aligned}$$

Nach weiterer Umformung erhält man eine Gleichung 4.-ten Grades:

$$\begin{aligned} & \frac{2 * S * A * (PK + F\ddot{o}K_u) * (2 * B^{Luft} + B^{Regaltrennwand})^2}{v_u (H^R - 2 * H^{Regaltrennwand}) * (H^{Luft} + H^{Regalschiene})} * h^{L^4} + \frac{2 * S * A * (PK + F\ddot{o}K_u) * (2 * B^{Luft} + B^{Regaltrennwand})^2}{v_u (H^R - 2 * H^{Regaltrennwand})} * h^{L^3} \\ & + \left(- (H^{Luft} + H^{Regalschiene}) * \sum_{i=1}^S b_i^K * V_i^V \right) * (E + L^R * M) = 0 \end{aligned}$$

Gleichungen dieses Grades können durch die Formel von Ludovico Ferrari gelöst werden [SCH-88, Seite 68/69]. Dieses Verfahren ist sehr aufwendig, deswegen wird hier auf die weitere Rechnung verzichtet. Statt dessen wird die berechnete Breite der Lagerlosgröße (die Abhängigkeit der optimalen Breite der Lagerlosgröße von der Höhe der Lagerlosgröße) in die zweite Gesamtfunktion ($f^{Gesneu2b}$) eingesetzt und eine neue Gesamtfunktion ($f^{Gesneu3a}$) gebildet, bei der noch einmal das Grenzwertverhalten der Variablen h^L untersucht wird.

$$\begin{aligned}
f^{\text{Gesneu}^3} &= \left(\frac{1}{h^L} \right) * \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{L^{\text{Max}} * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}})} \right) * \underbrace{\left[T^{\text{Auf}} + \frac{S}{v_u} + T^{\text{Ein}} \right]}_E * (PK + F\ddot{o}K_u) \\
&+ \left(\frac{1}{h^L} \right) * \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{L^{\text{Max}} * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}})} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{Befüllen}^{\text{Na}}} * PK \right)}_M \\
&+ \frac{2 * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\begin{aligned} &\frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}})}{(H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})} * h^{L^2} \\ &+ \frac{2 * S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} * h^L \\ &+ \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ &+ s^{\text{Start}^{\text{Kommi}}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + s^{\text{Ende}^{\text{Kommi}}} \end{aligned} \right)
\end{aligned}$$

Durch die Grenzwertbetrachtung ergibt sich, dass die Funktion gegen unendlich konvergiert, wenn sich h^L unendlich nähert und wenn h^L sich von rechts der Null annähert. Somit kann man folgern, dass die Funktion einen Tiefpunkt besitzt, ohne seine Existenz rechnerisch nachzuweisen.

Aus den Ergebnissen ist herauszulesen, dass die Weitergabe kleiner Lose einen Grenzwert besitzt, in dem die Funktion ihr Optimum, d. h. die geringsten Kosten annimmt. Dieses Optimum für die Variablen h^L und b^L muss an die Definitionsmenge der beiden Variablen angepasst werden. Dies hängt von den anderen im Modell unbekannt Parametergrößen ab. Wenn die Voraussetzung ($E+M \leq P$) nicht erfüllt ist, dann liegt das Optimum für die Gesamtfunktion bei a^{Max} für alle Variablen a_i . Somit ergibt sich die neue Gesamtfunktion zu:

$$\begin{aligned}
f^{\text{Gesneu}^{2c}} &= \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a^{\text{Max}} * l^{\text{Max}}) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left[T^{\text{Auf}} + \frac{S}{v_u} + T^{\text{Ein}} \right]}_E * (PK + F\ddot{o}K_u) \\
&+ \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(l^{\text{Max}} * L^R + l^{\text{Max}^2} * a_i) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{Befüllen}^{\text{Na}}} * PK \right)}_M \\
&+ \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a^{\text{Max}}}{(L^R + a^{\text{Max}} * l^{\text{Max}}) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{Ein}^{\text{Reserve}^{\text{Na}}}} + t^{\text{Aus}^{\text{Reserve}^{\text{Na}}}} \right)}_P * (PK + F\ddot{o}K_u) \\
&+ \frac{2 * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\begin{aligned} &\frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} * h^L \\ &+ \frac{S * b^L * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ &+ \frac{S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ &+ \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ &+ s^{\text{Start}^{\text{Kommi}}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + s^{\text{Ende}^{\text{Kommi}}} \end{aligned} \right)
\end{aligned}$$

Für die weitere Betrachtung wird wie im vorherigen Fall das Differenzial berechnet, welches sich ergibt zu:

$$\begin{aligned} \frac{\partial f^{\text{Gesneu2b}}}{\partial h^L} &= \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^L} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a^{\text{Max}} * L^{\text{Max}})} \right) * E + \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^L} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(L^{\text{Max}} * L^R + a^{\text{Max}} * L^{\text{Max}^2})} \right) * M \\ &+ \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^L} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a^{\text{Max}}}{(L^R + a^{\text{Max}} * L^{\text{Max}})} \right) * P + \frac{2 * S * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\frac{2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{b^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \right) \\ \frac{\partial f^{\text{Gesneu2b}}}{\partial b^L} &= \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^{L^2}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a^{\text{Max}} * L^{\text{Max}})} \right) * E + \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^{L^2}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(L^{\text{Max}} * L^R + a^{\text{Max}} * L^{\text{Max}^2})} \right) * M \\ &+ \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^{L^2}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a^{\text{Max}}}{(L^R + a^{\text{Max}} * L^{\text{Max}})} \right) * P + \frac{2 * S * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\frac{h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}}}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \right) \end{aligned}$$

Indem man das Differenzial gleich Null setzt, ergeben sich zwei Gleichungen zu:

$$\begin{aligned} \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^L} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a^{\text{Max}} * L^{\text{Max}})} \right) * E + \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^L} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(L^{\text{Max}} * L^R + a^{\text{Max}} * L^{\text{Max}^2})} \right) * M &= 0 \\ + \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^L} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a^{\text{Max}}}{(L^R + a^{\text{Max}} * L^{\text{Max}})} \right) * P + \frac{2 * S * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\frac{2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{b^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \right) & \\ \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^{L^2}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a^{\text{Max}} * L^{\text{Max}})} \right) * E + \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^{L^2}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(L^{\text{Max}} * L^R + a^{\text{Max}} * L^{\text{Max}^2})} \right) * M &= 0 \\ + \left(-\frac{1}{h^{L^2} * b^{L^2}} * \sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a^{\text{Max}}}{(L^R + a^{\text{Max}} * L^{\text{Max}})} \right) * P + \frac{2 * S * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\frac{h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}}}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \right) & \end{aligned}$$

Nachdem die erste Gleichung von der zweiten subtrahiert wurde, ergibt sich der bekannte Zusammenhang:

$$b^L = \frac{(2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}})}{(H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})} * h^L$$

Das gefundene b^L wird dann in die erste Gleichung eingesetzt und es ergibt sich der folgende zu lösende Term:

$$\begin{aligned} -\frac{1}{h^{L^2} * \left(\frac{2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}}{H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}}} * h^L \right)} * \left[\left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a^{\text{Max}} * L^{\text{Max}})} \right) * E + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(L^{\text{Max}} * L^R + a^{\text{Max}} * L^{\text{Max}^2})} \right) * M \right. \\ \left. + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a^{\text{Max}}}{(L^R + a^{\text{Max}} * L^{\text{Max}})} \right) * P \right] \\ + \frac{2 * S * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\frac{2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{(2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L}{(H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})} \right) = 0 \end{aligned}$$

Nach weiterer Umformung erhält man eine Gleichung 4.-ten Grades:

$$\begin{aligned} & \frac{2 * S * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \frac{(2 * B^{Luft} + B^{Regaltrennwand})^2}{(H^R - 2 * H^{Regalwand}) * (H^{Luft} + H^{Regalschiene})} * h^L^4 \\ & + \frac{2 * S * A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \frac{(2 * B^{Luft} + B^{Regaltrennwand})^2}{H^R - 2 * H^{Regalwand}} * h^L^3 \\ & - (H^{Luft} + H^{Regalschiene}) * \left[\left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a^{Max} * L^{Max})} \right) * E + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(L^{Max} * L^R + a^{Max} * L^{Max^2})} \right) * M \right] \\ & + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a^{Max}}{(L^R + a^{Max} * L^{Max})} \right) * P \end{aligned} = 0$$

Gleichungen diesen Grades können durch die Formel von Ludovico Ferrari gelöst werden. Dieses Verfahren ist, wie gesagt, sehr aufwendig, deswegen wird hier auf die weitere Rechnung verzichtet. Statt dessen wird die berechnete Breite der Lagerlosgröße (die Abhängigkeit der optimalen Breite der Lagerlosgröße von der Höhe der Lagerlosgröße) in die zweite Gesamtfunktion ($f^{Gesneu2c}$) eingesetzt und eine neue Gesamtfunktion ($f^{Gesneu3b}$) gebildet, bei der noch einmal das Grenzwertverhalten der Variablen h^L untersucht wird. Durch die Grenzwertbetrachtung ergibt sich, dass die Funktion gegen unendlich konvergiert, wenn sich h^L unendlich nähert und wenn h^L sich von rechts der Null annähert. Somit kann man folgern, dass die Funktion einen Tiefpunkt besitzt, ohne seine Existenz rechnerisch nachzuweisen.

Ergebnisse: Aus den Betrachtungen ist herauszulesen, dass die Weitergabe kleiner Lose einen Grenzwert besitzt, in dem die Gesamtfunktion ihr Optimum, d. h. die geringsten Kosten, annimmt. Dieses Optimum für die Variablen h^L und l^L muss evtl. an die Wertemenge der beiden Variablen angepasst werden. Dies hängt von den anderen im Modell unbekanntem Parametergrößen ab. Im letzten Schritt sei zu beachten, dass der optimale Wert a^{Max} durch seine Abhängigkeit von der Größe h^L , l^L und l^L auch bei dem Wert Null liegen kann, wodurch der Fall der Gesamtfunktion ($f^{Gesneu2b}$) eintreten würde. Beim Programmieren der Funktion muss drauf geachtet werden. Das Optimum für die Länge der Lagerlosgröße l^L liegt bei L^{Max} , also bei der maximalen Länge des Anliefer Volumens.

6.3 Ausgewählte JIT-Methoden in der Lagerlogistik und Wirkweise auf die Weitergabe kleiner Losgrößen

Aus dem vorigem Kapitel wird ersichtlich, dass eine Verkleinerung von Losgrößen sowohl zusätzliche Aufwendungen als auch mögliche Einsparungen mit sich bringt. Um eine weitere Verkleinerung der Losgröße zu erreichen, müssen zusätzlich Handlingskosten gespart werden. Dies kann durch den Einsatz der Methoden einer schlanken Logistik erreicht werden.

Der Einsatz eines getakteten Rundverkehrs soll zuerst modelliert werden. Da ein Rundverkehr mehrere Förderhilfsmittel gleichzeitig transportieren kann, wird die Anzahl der zu fahrenden Strecken reduziert und somit Kosten gespart. Dabei wird angenommen, dass der Rundverkehr immer die gleiche Anzahl der

Förderhilfsmittel mitnimmt und die Handlungszeiten im Wareneingang sowie im Reservelager gleich bleiben. Diese Aussage wird an der Kostenfunktion f^{WE} beispielhaft untersucht.

$$f^{WE} = \underbrace{\left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right)}_{\substack{\text{Anzahl der zu} \\ \text{befördern den} \\ \text{Förderhilfsmittel}}} * \left(t_{\text{Auf}}^{WE} + \frac{2 * s^{WE}}{v_u} + t_{\text{Ein}}^{WE} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u)$$

Die Funktion wird umgestellt, um die Abhängigkeit der Anzahl zu befördernden Förderhilfsmittel von der zu befahrenden Strecke s^{WE} anschaulich darzustellen.

$$f^{WE} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(t_{\text{Auf}}^{WE} + t_{\text{Ein}}^{WE} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u) \\ + \underbrace{\left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right)}_{\text{Anzahl der Fahrten}} * \frac{2 * s^{WE}}{v_u} * (PK + F\ddot{o}K_u)$$

Durch Einsatz eines getakteten Rundverkehrs werden pro zurückgelegte Strecke eine Anzahl „x“ Förderhilfsmittel gleichzeitig mitgenommen, somit werden (x-1)-Fahrten weniger gefahren. Deswegen muss die obere Formel um die neue Variable ergänzt werden. Daraus ergibt sich eine angepasste Kostenfunktion.

$$f^{WE\text{neu}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(t_{\text{Auf}}^{WE} + t_{\text{Ein}}^{WE} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u) \\ + \frac{\left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right)}{x} * \frac{2 * s^{WE}}{v_u} * (PK + F\ddot{o}K_u)$$

Hängt die Kostenfunktion im nächsten Betrachtungsschritt nur von der Anzahl der mitgenommenen Förderhilfsmittel ab, so ist der erste Summand eine Konstante, d. h. die Anzahl der Verkaufseinheiten eines Artikels i auf einem Anlieferolumen wurde vorher berechnet. Durch Differenzieren nach der Variablen x ergibt sich ein Differenzial, welches konstant negativ bleibt. Daraus ergibt sich, dass die neue Kostenfunktion streng monoton fallend ist. Durch die Mitnahme von mehr Förderhilfsmittel können Kosten eingespart werden, solange das neu eingesetzte Flurförderfahrzeug nicht immense Flurförderfahrzeugkosten besitzt, die keine Einsparungen mehr ermöglichen. Das zur Verfügung stehende Einsparungspotential für die mögliche Losgrößenverkleinerung ergibt sich, indem man die alte Kostenfunktion von der neuen subtrahiert:

$$\text{Einsparungspotential} = f^{WE} - f^{WE\text{neu}}$$

$$\text{Einsparungspotential} = \left(\frac{x-1}{x} \right) * \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(\frac{2 * s^{WE}}{v_u} \right) * (\text{PK} + \text{FöK}_u)$$

Durch die gewonnene Kosteneinsparung kann die Losgröße weiter verkleinert werden, ohne dass man zusätzliche Handlingskosten aufbringen muss. Unter der Annahme, dass aus der ursprünglichen Wareneingangsfunktion $f^{WE}(n_i)$ für alle $i \in S^{OR}$ die Anzahl der Verkaufseinheiten eines Artikels i auf einem Förderhilfsmittel errechnet wurde, kann die durch den Einsatz eines Rundverkehrs erzielte Einsparung (Einsparungspotential) für die Losgrößenverkleinerung genutzt werden. Aus dem Einsparungspotential ergibt sich neues Kapital, welches zu den Kosten der ursprünglichen Wareneingangsfunktion summiert wird, womit sich ein neuer Kostenwert ergibt, der zu Verfügung steht. Dieser Kostenwert wird wieder mit der Wareneingangsfunktion $f^{WE}(n_i^{neu})$ gleichgesetzt. Daraus werden die neuen Werte für die Anzahl der Verkaufseinheiten eines Artikels i auf einem Förderhilfsmittel (n_i^{neu}) errechnet. Die neue Lösgröße ergibt sich dann aus der zu lösenden Gleichung:

$$\begin{aligned} f^{WE}(n_i) + \left(\frac{x-1}{x} \right) * \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i} \right) * \left(\frac{2 * s^{WE}}{v_u} \right) * (\text{PK} + \text{FöK}_u) \\ = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K}{n_i^{neu}} \right) * \left(t_{\text{Auf}^{WE}} + \frac{2 * s^{WE}}{v_u} + t_{\text{Ein}^{WE}} \right) * (\text{PK} + \text{FöK}_u) \end{aligned}$$

Durch Aufspaltung der Gesamtfunktion in Funktionen, die nur von einem Artikel abhängen, ergibt sich, dass jedes n_i^{neu} zu ermitteln ist aus:

$$n_i^{neu} = \frac{\left(t_{\text{Auf}^{WE}} + \frac{2 * s^{WE}}{v_u} + t_{\text{Ein}^{WE}} \right)}{\left(t_{\text{Auf}^{WE}} + \frac{2 * s^{WE}}{v_u} + t_{\text{Ein}^{WE}} \right) + \left(\frac{x-1}{x} \right) * \left(\frac{2 * s^{WE}}{v_u} \right)} * n_i$$

Es ist ersichtlich, dass der Quotient vor n_i immer eine Zahl zwischen Null und Eins ist. Somit ist gezeigt, dass die neue Anzahl der Verkaufseinheiten auf dem Förderhilfsmittel n_i^{neu} eine geringere ist wie die zuerst berechnete Anzahl n_i . Für die Gesamtfunktion mit verändertem Wareneingang bedeutet dies:

$$\begin{aligned}
f_{\text{Ges}^{\text{neu}^d}} &= \left(\frac{\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * l^L) * h^L * b^L}}{x} \right) * \left[\left(\frac{2 * s^{\text{WE}}}{v_u} \right) * (\text{PK} + \text{FöK}_u) \right] \\
&+ \left(\frac{\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * l^L) * h^L * b^L}}{x} \right) * \left[\left(T^{\text{Auf}} + \frac{s^{\text{FahrtNa}} + s^{\text{LeerNa}} + s^{\text{RückLeerNa}}}{v_u} + T^{\text{Ein}} \right) * (\text{PK} + \text{FöK}_u) \right] \\
&+ \left(\frac{\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(l^L * L^R + l^{L2} * a_i) * h^L * b^L}}{x} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{BefüllenNa}} * \text{PK} \right)}_M \\
&+ \left(\frac{\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * l^L) * h^L * b^L}}{x} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{EinReserveNa}} + t^{\text{AusReserveNa}} \right)}_p * (\text{PK} + \text{FöK}_u) \\
&+ \frac{2 * A * (\text{PK} + \text{FöK}_u)}{v_u} * \left(\frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \right. \\
&\quad + \frac{S * b^L * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\
&\quad + \frac{S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\
&\quad + \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\
&\quad \left. + s^{\text{StartKommi}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + s^{\text{EndeKommi}} \right)
\end{aligned}$$

Durch die veränderte Funktion wird die neue Lagerlosgröße erneut nach der Vorgehensweise im Kapitel 6.2.4 ermittelt. Dabei ist x keine veränderliche Variable, sondern ein Parameter, der zuerst vorgegeben wird.

Im zweiten Schritt wird angenommen, dass pro Transport ein Förderhilfsmittel transportiert werden kann und dabei für die Rückfahrt ein Doppelspiel erreicht wird. Dies geschieht, indem man versucht, die Leerfahrten zu minimieren bzw. zu eliminieren. In dem hier betrachteten Modell sind die folgenden Strecken zu befahren (vgl. Abbildung 6-20):

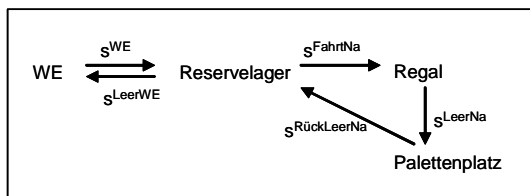


Abbildung 6-20: Übersicht der zu fahrenden Strecken im Modell

Um die Leerfahrten zu reduzieren bzw. zu eliminieren, müssen die Leerfahrten durch Vollfahrten anderer Prozessbausteine ersetzt werden. Dabei versucht man, die einzelnen Prozessbausteine (z. B. Reservelager,

Regal) so anzuordnen oder umzuordnen, dass dies möglich wird. In dem hier abgebildeten Modell sollen dementsprechend alle Leerfahrten eliminiert werden. Es ergeben sich folgende Fahrten:

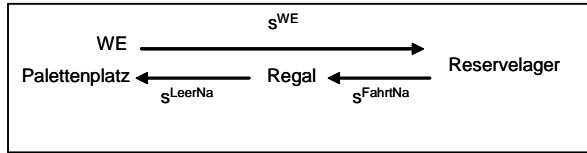


Abbildung 6-21: Zusammenfassung der Leerfahrten durch Doppelspiele

Es wird ersichtlich, dass die Strecken s^{LeerWE} und $s^{\text{RückLeerNa}}$ wegfallen. Somit kann durch das Doppelspiel wiederum frei werdendes Potential in Losgrößenreduktion umgesetzt werden, so dass die Losgröße noch kleiner ausfallen kann. Die neue Gesamtkostenfunktion, die optimiert werden soll, ergibt sich dann zu:

$$\begin{aligned}
 f^{\text{Ges}^{\text{neu}^5}} = & \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * L) * h^L * b^L} \right) * \left[T^{\text{Auf}} + \frac{s^{\text{WE}} + s^{\text{Fahrt}^{\text{Na}}} + s^{\text{Leer}^{\text{Na}}}}{v_u} + T^{\text{Ein}} \right] * (PK + F\ddot{O}K_u) \\
 & + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(L^L * L^R + L^{L^2} * a_i) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{Befüllen}^{\text{Na}}} * PK \right)}_M \\
 & + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * L) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{Ein}^{\text{Reserve}^{\text{Na}}}} + t^{\text{Aus}^{\text{Reserve}^{\text{Na}}}} \right)}_p * (PK + F\ddot{O}K_u) \\
 & + \frac{2 * A * (PK + F\ddot{O}K_u)}{v_u} * \left(\frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \right. \\
 & \quad + \frac{S * b^L * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\
 & \quad + \frac{S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\
 & \quad + \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\
 & \quad \left. + s^{\text{Start}^{\text{Kommi}}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + s^{\text{Ende}^{\text{Kommi}}} \right)
 \end{aligned}$$

Durch die veränderte Funktion wird die neue Lagerlosgröße nach der Vorgehensweise im Kapitel 6.2.4 erneut ermittelt.

In Ergänzung zu den bisher angestellten Überlegungen kann der Laufweg weiter reduziert werden, in dem die Kommissionierung in Form von U-Linien aufgestellt wird (siehe Kapitel 5.3). Für das modellierte Lager ergibt sich daraus, dass die Strecke $s^{\text{LeerKommi}}$ entfällt, da bei der Hälfte des Kommissionierregals umgedreht

wird, um auf dem Rückweg die zweite Hälfte des Kommissionierregals abzulaufen. Dabei fallen Auftragsstart und Auftragsende räumlich zusammen. Für die Gesamtkostenfunktion bedeutet dies:

$$\begin{aligned}
 f^{\text{Ges,neu}^6} &= \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * 1^L)} * h^L * b^L \right) * \left[\left(T^{\text{Auf}} + \frac{S}{v_u} + T^{\text{Ein}} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u) \right] \\
 &+ \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(1^L * L^R + 1^L * a_i)} * h^L * b^L \right) * \underbrace{\left(t^{\text{BefüllenNa}} * PK \right)}_M \\
 &+ \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * 1^L)} * h^L * b^L \right) * \underbrace{\left(t^{\text{EinReserveNa}} + t^{\text{AusReserveNa}} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u)}_P \\
 &+ \frac{A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\begin{array}{l} S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L \\ \frac{H^R - 2 * H^{\text{Regaltrennwand}}}{S * b^L * h^L} \\ + \frac{H^R - 2 * H^{\text{Regaltrennwand}}}{S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})} \\ + \frac{H^R - 2 * H^{\text{Regaltrennwand}}}{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})} \\ + s^{\text{StartKommi}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regaltrennwand}} + s^{\text{EndeKommi}} \end{array} \right)
 \end{aligned}$$

Wenn in dieser „U-Linie“ ein weiteres Regal in der Mitte steht (siehe Abbildung 5-10), so bedeutet dies, dass man gleichzeitig rechts und links Kommissionieren kann. Dies ist auf Hinweg und Rückweg möglich, so dass sich die Strecke s^{Regal} halbiert. Daraus ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 f^{\text{Ges,neu}^6} &= \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * 1^L)} * h^L * b^L \right) * \left[\left(T^{\text{Auf}} + \frac{S}{v_u} + T^{\text{Ein}} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u) \right] \\
 &+ \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(1^L * L^R + 1^L * a_i)} * h^L * b^L \right) * \underbrace{\left(t^{\text{BefüllenNa}} * PK \right)}_M \\
 &+ \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * 1^L)} * h^L * b^L \right) * \underbrace{\left(t^{\text{EinReserveNa}} + t^{\text{AusReserveNa}} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u)}_P \\
 &+ \frac{A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\begin{array}{l} S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L \\ \frac{2 * (H^R - 2 * H^{\text{Regaltrennwand}})}{S * b^L * h^L} \\ + \frac{2 * (H^R - 2 * H^{\text{Regaltrennwand}})}{S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})} \\ + \frac{2 * (H^R - 2 * H^{\text{Regaltrennwand}})}{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})} \\ + s^{\text{StartKommi}} - \frac{B^{\text{Regaltrennwand}}}{2} + B^{\text{Regaltrennwand}} + s^{\text{EndeKommi}} \end{array} \right)
 \end{aligned}$$

Durch die veränderte Funktion wird die neue Lagerlosgröße nach der Vorgehensweise im Kapitel 6.2.4 erneut ermittelt.

Im letzten Schritt wendet man alle drei Methoden einer schlanken Logistik, d. h. getakteter Rundverkehr, Doppelspiel und die U-Linien Kommissionierung, gemeinsam an. Dadurch ergibt sich wiederum eine neue Gesamtfunktion zu:

$$\begin{aligned}
 f_{\text{Gesneu}}^8 &= \left(\frac{\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * l^L) * h^L * b^L}}{x} \right) * \left[\left(\frac{s^{WE}}{v_u} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u) \right] \\
 &+ \left(\frac{\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * l^L) * h^L * b^L}}{x} \right) * \left[\left(T^{\text{Auf}} + \frac{s^{\text{Fahrt}^{\text{Na}}} + s^{\text{Leer}^{\text{Na}}}}{v_u} + T^{\text{Ein}} \right) * (PK + F\ddot{o}K_u) \right] \\
 &+ \left(\frac{\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(l^L * L^R + l^{L2} * a_i) * h^L * b^L}}{x} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{Befüllen}^{\text{Na}}} * PK \right)}_M \\
 &+ \left(\frac{\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * l^L) * h^L * b^L}}{x} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{Ein}^{\text{Reserve}^{\text{Na}}}} + t^{\text{Aus}^{\text{Reserve}^{\text{Na}}}} \right)}_p * (PK + F\ddot{o}K_u) \\
 &+ \frac{A * (PK + F\ddot{o}K_u)}{v_u} * \left(\frac{S * \left(2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}} \right) * h^L}{2 * \left(H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \right)} \right. \\
 &\quad + \frac{S * b^L * h^L}{2 * \left(H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \right)} \\
 &\quad + \frac{S * b^L * \left(H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}} \right)}{2 * \left(H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \right)} \\
 &\quad + \frac{S * \left(2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}} \right) * \left(H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}} \right)}{2 * \left(H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}} \right)} \\
 &\quad \left. + s^{\text{Start}^{\text{Kommi}}} - \frac{B^{\text{Regaltrennwand}}}{2} + B^{\text{Regalwand}} + s^{\text{Ende}^{\text{Kommi}}} \right)
 \end{aligned}$$

Dabei ist x keine Variable und die neue Lagerlosgröße wird wie in Kapitel 6.2.4. berechnet.

Ein weiteres Ziel könnte sein, dass die Produktion die Ware ohne Reservelager direkt in die Kommissionierung abliefern (maximale Produktionsflexibilität, Produktion direkt zum Kunden). Bei einer solchen Anlieferung müssten die Strecke des Wareneingangs zur Kommissionierung neu definiert werden (s^{Wneu}). Die neuen Fahrstrecken sind der folgenden Abbildung zu entnehmen.

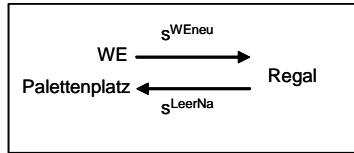


Abbildung 6-22: Direktbelieferung der Kommissionierung

Ergebnisse: Aus den obigen Überlegungen wird ersichtlich, dass durch den Einsatz der im Kapitel 5 beschriebenen Methoden einer schlanken Logistik die Losgröße weiter verkleinert werden kann, ohne dass zusätzliche Kosten entstehen. Dies könnte exemplarisch für den Einsatz eines getakteten Rundverkehrs, die Einführung von Doppelspielen und einer Kommissionierung in Form von U-Linien rechnerisch nachgewiesen werden.

6.4 Sonderfall: Die kleinste Verkaufseinheit ist gleich dem maximalen Anliefervolumen

Im dem Fall, dass die kleinste Verkaufseinheit V^V dem maximalen Anliefervolumen V^{Max} gleicht, verändert sich der Definitionsbereich der Gesamtfunktion. Der alte Definitionsbereich (bezogen nur auf einen Artikel) lautet:

$$D_{f_{\text{Ges}}} = \left\{ (h^L, b^L, l^L, a_1) \in \mathfrak{R}^4 \mid \left[\max_{i \in S} \{H_i^V\} H^{\text{Max}} \right] \times \left[\max_{i \in S} \{B_i^V\} B^{\text{Max}} \right] \times \left[\max_{i \in S} \{L_{V_i}^V\} L^{\text{Max}} \right] \times [0, a^{\text{Max}}] \right\}$$

Aus dem alten Definitionsbereich (bezogen nur auf einen Artikel) ergibt sich ein neuer Definitionsbereich, der aus einem einzigen Wert besteht, da gilt:

$$V_1^V = H_1^V * B_1^V * L_1^V = H^{\text{Max}} * B^{\text{Max}} * L^{\text{Max}} = V_1^P = V^{\text{PMax}}$$

Der neue Definitionsbereich lautet dementsprechend:

$$D_{f_{\text{Ges}}} = \left\{ (h^L, b^L, l^L, a_1) \in \mathfrak{R}^4 \mid [H_1^V] \times [B_1^V] \times [L_1^V] \times [a^{\text{Max}}] \right\}$$

In diesem Fall gilt für a^{Max} :

$$\begin{aligned}
 D_{a_1} &= \begin{cases} 0; f(H^{\text{Max}}, B^{\text{Max}}, L^{\text{Max}}) = \left(\frac{V^{\text{PMax}}}{V^{\text{PMax}}} - \frac{L^{\text{R}}}{L^{\text{Max}}} \right), \text{ falls } \left(\frac{V^{\text{PMax}}}{V^{\text{PMax}}} - \frac{L^{\text{R}}}{L^{\text{Max}}} \right) > 0 \\ 0, \text{ falls } \left(\frac{V^{\text{PMax}}}{V^{\text{PMax}}} - \frac{L^{\text{R}}}{L^{\text{Max}}} \right) < 0 \end{cases} \\
 &= \begin{cases} 0; f(H^{\text{Max}}, B^{\text{Max}}, L^{\text{Max}}) = \left(1 - \frac{L^{\text{R}}}{L^{\text{Max}}} \right), \text{ falls } \left(1 - \frac{L^{\text{R}}}{L^{\text{Max}}} \right) < 0 \\ 0 \end{cases} \\
 &= [0]
 \end{aligned}$$

Die Regallänge L^{R} ist immer größer oder gleich der Länge der Lagerlosgröße. In diesem Fall muss die Regallänge mindestens so lang sein wie die maximale Länge des Anlieferolumens. Somit wird die Gesamtfunktion f^{Gesneu2b} gewählt und die Definitionsmenge eingesetzt. Es ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 f^{\text{Gesneu2b}} &= \left(\frac{b_1^{\text{K}} * V_1^{\text{V}}}{L^{\text{Max}} * H^{\text{Max}} * B^{\text{Max}}} \right) * \left[\left(T^{\text{Auf}} + \frac{s}{v_u} + T^{\text{Ein}} \right) * (\text{PK} + \text{FöK}_u) \right] \\
 &+ \left(\frac{b_1^{\text{K}} * V_1^{\text{V}}}{L^{\text{Max}} * H^{\text{Max}} * B^{\text{Max}}} \right) * \left(t^{\text{BefüllenNa}} * \text{PK} \right) \\
 &+ \frac{2 * A * (\text{PK} + \text{FöK}_u)}{v_u} * \left(\begin{array}{l} \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * H^{\text{Max}}}{H^{\text{R}} - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + \frac{S * B^{\text{Max}} * H^{\text{Max}}}{H^{\text{R}} - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + \frac{S * B^{\text{Max}} * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^{\text{R}} - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^{\text{R}} - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ + s^{\text{StartKommi}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + s^{\text{EndeKommi}} \end{array} \right)
 \end{aligned}$$

Nach dem Einsetzen entsteht für die Kosten ein bestimmter Zahlenwert, da alle veränderbaren Variablen einen bestimmten Wert zugeordnet bekommen haben (die Definitionsmenge besteht aus einem Vektor). Somit ergeben sich in diesem Fall keine Einsparungsmöglichkeiten. In der Praxis ist dies zum Beispiel bei einer Waschmaschine oder einem Kühlschrank der Fall.

7 Realisierung und erzielte Ergebnisse

In Kapitel 5 und 6 wurden die Methoden einer schlanken Logistik dargestellt und die Wirkweise der Verkleinerung von Losgrößen wurde für ein mechanisiertes Lager in einem homomorphen Modell abgebildet und diskutiert. Die dort theoretisch erzielten Ergebnisse sollen nun am Beispiel eines Unternehmens in der Praxis realisiert und validiert werden. Dazu wird in Kapitel 7.1 die Einführung der Methoden einer schlanken Logistik am Beispiel der fischerwerke Artur fischer GmbH & Co. KG (kurz: fischer) in ausgewählten Teilgebieten dargestellt. Auf Basis der durch eine Prozesskostenrechnung bzw. durch Messung ermittelten Zykluszeiten des Zentrallagers von fischer werden die Ergebnisse der Verkleinerung von Losgrößen in Kapitel 7.2 simuliert und in der Praxis nachgewiesen. Kapitel 7.3 zeigt ausgewählte Ergebnisse der Einführung einer schlanken Logistik bei fischer am Beispiel dreier globaler Kennzahlen.

7.1 Umsetzung eines schlanken Logistiksystems am Beispiel der fischer Befestigungssysteme

Im Jahre 1948 wurde durch Artur Fischer der Grundstein für die heute weltweit operierende Unternehmensgruppe fischer gelegt. Als kleiner Werkstattbetrieb, inmitten der Schwarzwaldgemeinde Waldachtal gegründet, etablierte sich das Unternehmen im Bereich Befestigungstechnik und gilt heute als eine der großen Ideenfabriken weltweit. Berühmt wurde Artur Fischer mit der Erfindung des legendären „fischerdübel S“ aus Nylon, der den Befestigungsmarkt revolutionierte. Der Marktführer in der Dübeltechnik hat sich in den vergangenen zwanzig Jahren als traditions- und inhabergeführtes Unternehmen unter Leitung des Gründersohnes Klaus Fischer zu einem international tätigen „global player“ entwickelt, der mit über zwanzig Auslandsgesellschaften und 3.300 Mitarbeitern einen Umsatz von ca. 491 Millionen Euro (Geschäftsjahr 2006) erreicht. Hauptsäulen dieses Erfolgs sind neben der internationalen Ausrichtung die Konzentration auf drei Hauptgeschäftsfelder: fischer Befestigungssysteme (Dübel und Bauzubehör), fischer automotive systems (kinematische Aufbewahrungskomponenten für den Automobil-Innenraum) sowie fischer Baukastensysteme (Konstruktionsspielzeug). Im Jahr 2004 wurde die fischer Prozessberatung gegründet, die auch für andere Unternehmen den Zugang zum fischer-Wissen für die Verbesserung von innerbetrieblichen Prozessen öffnet. Sämtliche Aktivitäten der Unternehmensgruppe sind eng am Kunden ausgerichtet. Zielgerichtete und individuelle Problemlösungen erlauben es, den Verwendern bestmöglichen Nutzen zu garantieren und ein breites Anwendungsspektrum zu ermöglichen. Um auch künftig die gute Wettbewerbsposition zu erhalten, werden im gesamten Unternehmen kontinuierliche Verbesserungen der Prozessabläufe betrieben, um entlang der Wertschöpfungskette Verschwendung zu minimieren und ungenutzte Potentiale aufzudecken (fischer Prozesssystem). Ein schlankes, hochflexibles und schnelles Unternehmen ist demnach eines der Kernziele.

Im Folgenden soll exemplarisch an Hand ausgewählter Beispiele die Umsetzung einiger Methoden eines schlanken Logistikkonzeptes am Beispiel der fischer Befestigungssysteme für die deutschen Produktions- und Logistikstandorte dargestellt werden. Es handelt sich hierbei um eine variantenreiche Serienproduktion von Befestigungselementen (z. B. Kunststoff-, Stahl- und Chemiedübel), die in einer mehrstufigen Distributionskette über den Handel an den Endverbraucher vertrieben werden. Die Erzeugnisse aller

Produktionsstätten (z. B. Waldachtal-Tumlingen, Emmendingen, Denzlingen, Tschechien, China) werden zunächst in das Zentrallager (Global Distribution Center, kurz: GDC) in Waldachtal-Tumlingen geliefert. Das Artikelspektrum umfasst dort ca. 6.000 lagerhaltige Endprodukte und pro Jahr zwischen 500 und 1.000 kundenspezifische Artikel, d. h. Produkte, die für einen Kunden mit speziellem Anwendungsfall hergestellt werden. Im Jahr 2003 existieren neben dem GDC am Standort Tumlingen (Versorgung Mittel- und Süddeutschland, Baumarktversorgung) ein ausschließlich für den Export genutztes Logistikzentrum im badischen Herbolzheim sowie zwei weitere Regionallager in Wuppertal (Versorgung Nordwest- und Westdeutschland) und Brehna (Versorgung Nordost- und Ostdeutschland), wie in Abbildung 7-1 dargestellt. Neben Nachschublieferungen für die Regional- sowie auch das Exportlager finden zusätzlich Nachschublieferungen der Regionallager in den Landesgesellschaften (z. B. Spanien, Brasilien, Australien) und die direkte Belieferung unternehmensfremder Importeure (z. B. Indien) vom GDC aus statt. Die Aufgabe der Landesgesellschaften besteht hauptsächlich aus dem Vertrieb der Produkte in dem jeweiligen Land. Jedes Regionallager einer Landesgesellschaft ist für die Belieferung der Kunden des eigenen Landes und evtl. auch für weitere angrenzende Länder verantwortlich. Kunden der Landesgesellschaften ohne eigenes Lager werden vom nächstgelegenen Auslieferungslager beliefert. Sowohl in Landesgesellschafts- als auch in Importeurländern gibt es weiterhin einzelne Kunden, deren Ware direkt aus dem GDC versendet wird. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, verfügt das GDC über 11.900 Palettenplätze, 4.000 Plätze im Fachbodenregal und weiteren 1.000 Plätzen in einer modernen, computergesteuerten „pick-by-light“ Kommissionieranlage (Datengrundlage 2003). Durch die Einführung einer datenfunkgestützten Lagerabwicklung basierend auf SAP R/3 LES sind sämtliche Lageraktivitäten systemseitig abgebildet. Dies ermöglicht beispielsweise eine beleglose Kommissionierung in Echtzeit sowie ein durchgängiges pick & pack-Prinzip.



Abbildung 7-1: Distributionsstandorte in Deutschland im Jahr 2003

Hinsichtlich des Managementsystems und der Informationsflüsse soll auf die veränderte Systematik der Produktionssteuerung eingegangen werden. Im Jahr 2003 wurde bei fischer Befestigungssysteme der Ansatz einer zentralen Produktionsplanung und -steuerung verfolgt. In diesem Sinne wurde jedes Glied der Produktionskette zentral mit IT-Systemunterstützung angesteuert (vgl. Abbildung 7-2).

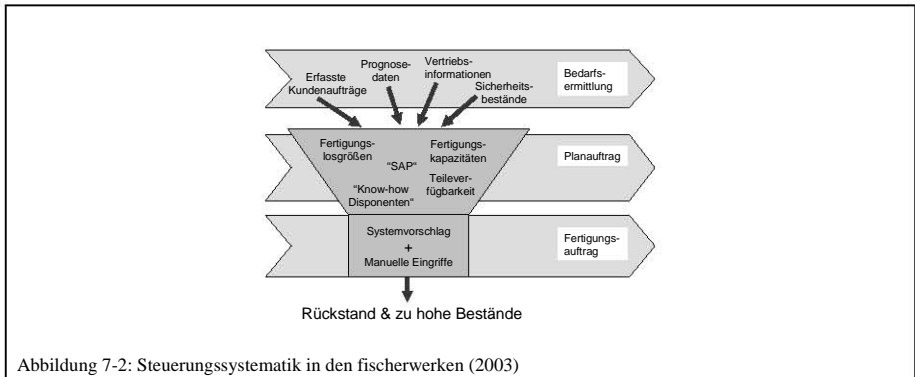


Abbildung 7-2: Steuerungssystematik in den fischerwerken (2003)

Aus ungenauen und inkonsistenten Prognosedaten und Vertriebsinformationen wurden unter Berücksichtigung von „optimalen“ Fertigungslosgrößen, Fertigungskapazitäten und Teileverfügbarkeiten mit Echtzeit-Rückmeldung über Maschinendatenerfassungen (MDE) bzw. Betriebsdatenerfassung (BDE) Produktionsvorschläge errechnet. Diese wurden dann oftmals durch manuelle Eingriffe der Disponenten (verantwortlich für die Fertigungssteuerung) übersteuert. Ursache dafür waren fehlende oder unzureichende Stammdaten und aktuelle Einflüsse, die nicht oder nur zum Teil in die Neuberechnung der Produktionsvorschläge einfließen (vgl. Abbildung 7-3).

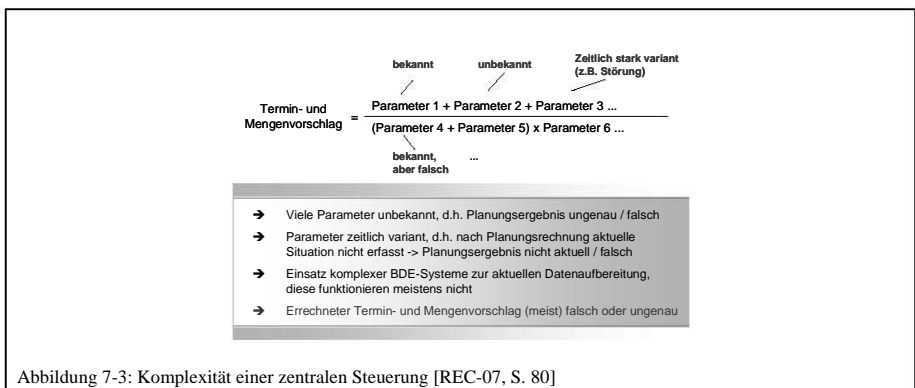


Abbildung 7-3: Komplexität einer zentralen Steuerung [REC-07, S. 80]

Das Ergebnis waren hohe Rückstände, ein daraus resultierender Lieferservice von unter 80% in den Jahren 2003 und 2004 (gemessen auf Auftragspositionen) sowie vergleichsweise hohe Bestände.

Im 3. Quartal des Jahres 2004 wurde beschlossen, die bestehende Steuerungslogik durch eine dezentrale PPS-Anwendung unter Berücksichtigung des Konzeptes der selbststeuernden Regelkreise mit einfacher und prozessorientierter IT-Unterstützung zu ersetzen. Zusätzlich wurden in der Produktion die Rüstzeiten stark gesenkt und die Komplexität wurde mit der direkten Verkettung von Produktionsprozessen reduziert. Für relativ gleichmäßige Bedarfe funktionierte diese Verbrauchssteuerung sehr gut (vgl. Kapitel 3.2.5). In einigen Fällen kam es, z. B. aufgrund von Großprojekten, zu Bedarfsspitzen, die über das Jahr verteilt auftraten (spontaner Bedarf) und nicht durch Prognosedaten erfasst werden konnten. Andere Artikel konnten diesen unterschiedlichen Bedarfsformen nicht eindeutig zugeordnet werden, da sich gleichmäßiger Bedarf und Projektgeschäft überlagerten (Kombination kontinuierlicher und spontaner Bedarf). Außerdem gab es Artikel, die einen saisonalen Bedarfsverlauf aufwiesen, z. B. aufgrund von Vertriebsaktionen (saisonaler Bedarf). Eine reine Steuerung auf Basis des Kanban-Prinzips schied daher aus. Kernelement des neu erarbeiteten Prozesses war die Aufteilung in Sockel- und Sonderbedarf, d. h. auf alle Arten des Kundenbedarfs wurde und wird mit zwei Steuerungsstrategien und deren Kombination eingegangen (Konzept der Kombinierte Produktionsplanung und Steuerung, vgl. Abbildung 7-4).

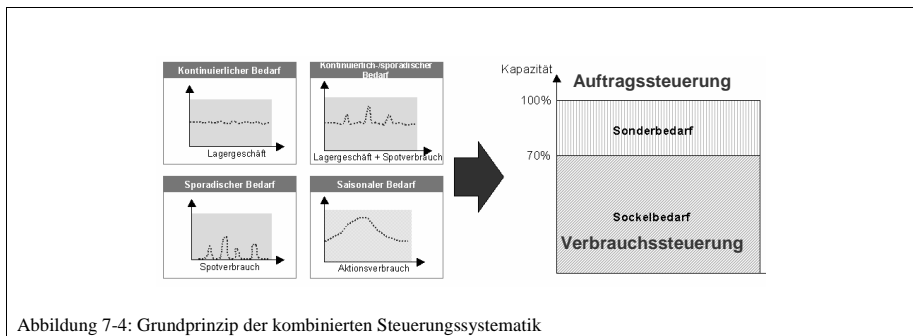


Abbildung 7-4: Grundprinzip der kombinierten Steuerungssystematik

Dabei generieren bei Fischer Befestigungssysteme Artikel mit einer Schwankungsbereite kleiner 100% (gemessen gegen den Tag) ca. 70% des Umsatzes. Die Notwendigkeit der Kombination beider Steuerungsarten soll an nachfolgendem Beispiel gezeigt werden (vgl. Abbildung 7-5).

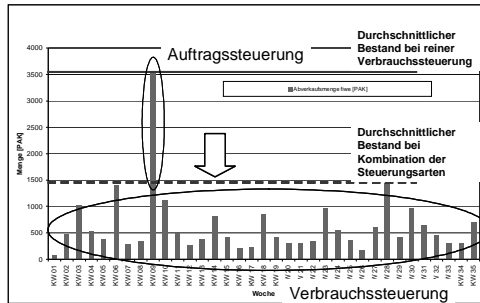


Abbildung 7-5: Bestandsbetrachtung bei überlagerten Bedarfsverläufen [REC-07, S. 83]

Betrachtet man den auf der Y-Achse über die Zeit abgetragenen wöchentlichen Bedarf, so kann man eine Regelmäßigkeit der Bedarfshöhe bis ca. 1.500 Päckchen pro Woche erkennen. Eine Ausnahme stellt die Bedarfssituation in Kalenderwoche 9 (in der Abbildung mit „KW“ abgekürzt) dar, die deutlich über dem sonstigen Level liegt und die Ursache in einem Großprojekt in Dubai hat. Würde man den Bestand auf Basis einer reinen Kanban-Steuerung errechnen, so würde man sich über das Jahr gesehen auf einem zu hohen Bestandsniveau bewegen. Durch Kombination der Steuerungsarten werden der Grundbedarf mit einer Kanban-Steuerung (Sockelbestand und –bestand) und der Sonderbedarf über eine Auftragssteuerung behandelt und somit ein niedrigeres Bestandsniveau über das Jahr erreicht (vgl. Abbildung 7-6, Variante 1). Zusätzlich gibt es in Abstimmung mit dem Kunden die Möglichkeit, den Projektbedarf über mehrere Produktionslosgrößen und Sendungen zu verteilen, wenn der Kunde den gesamten Bedarf nicht an einem einzigen Termin benötigt (eigenerzeugte Glättung, vgl. Abbildung 7-6, Variante 2). Die Auslieferung erfolgt dann aus dem Sockelbestand.

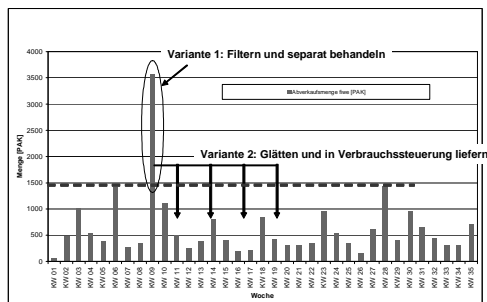


Abbildung 7-6: Möglichkeiten zur Abarbeitung von Projektaufträgen

Die Funktionsweise der bei Fischer Befestigungssysteme zum Einsatz kommenden Abwicklung ist in Abbildung 7-7 dargestellt.

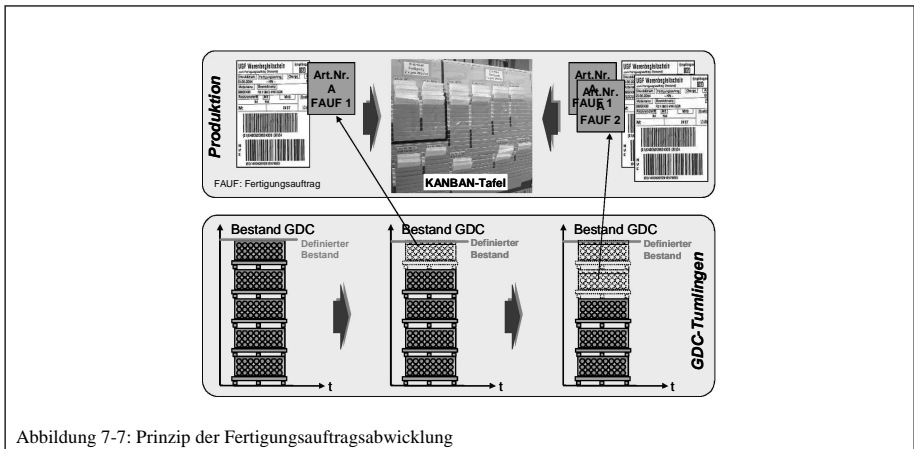


Abbildung 7-7: Prinzip der Fertigungsauftragsabwicklung

Die Bestände im GDC Tumlingen sind als Supermärkte definiert und über einen nach der Kanban-Formel errechneten Meldebestand bestimmt. Wird in diesem systemgeführten Bestand das erste Stück eines Artikels reserviert und der Meldebestand unterschritten, so wird in der Produktion ein Fertigungsauftrag in Form eines EAN-128-Transportetiketts ausgedruckt, auf dem die Rundungsmenge, d. h. die kleinste Fertigungslosgröße, und die dafür benötigte Fertigungszeit angedruckt ist. Wird eine weitere Rundungsmenge unterschritten bzw. reserviert, so wird ein zweites Etikett ausgedruckt. Diese Etiketten werden dann in der Fertigung nach Artikelnummern sortiert an einer Kanban-Tafel angebracht, die über einen grünen (der grüne Bereich entspricht 40% des Meldebestandes), gelben (der gelbe Bereich entspricht 40% des Meldebestandes) und roten Bereich (der rote Bereich entspricht 20% des Meldebestandes) eine Bestandsübersicht im GDC darstellt. Im grünen Bereich kann der Mitarbeiter an der Anlage entscheiden, ob er produziert oder nicht, im gelben Bereich sollte er sofort produzieren und der rote Bereich zeigt an, dass der Sicherheitsbestand erreicht ist und sofort produziert werden muss. Ist der auf dem Etikett angegebene Rundungswert produziert, wird das Label durch den Mitarbeiter an dem Förderhilfsmittel angebracht und durch den Scan des Barcodes in Richtung GDC abgemeldet. Dort sind dann alle Informationen über elektronischen Datenaustausch verfügbar und die Ware kann zugebucht werden. Die Berechnung des Meldebestandes erfolgt nach der in der nächsten Abbildung dargestellten Vorgehensweise. Zur Definition der Standardabweichung sei auf LIPPE verwiesen [LIP-93, S. 86].

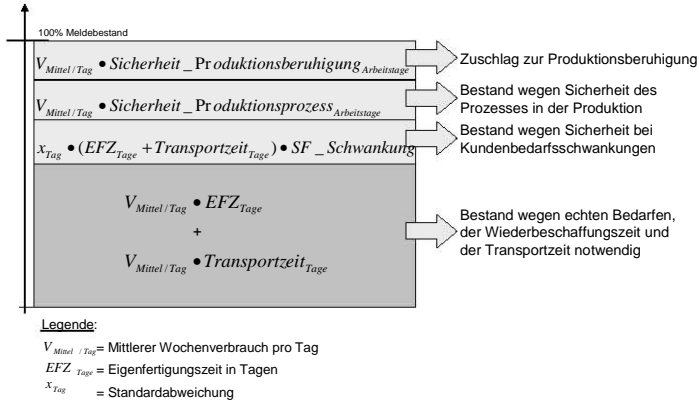


Abbildung 7-8: Formel zur Errechnung des Meldebestandes

Um innerhalb der Tagesplanung flexibler arbeiten zu können, wurden auf den täglich mit hohen Stückzahlen laufenden Artikeln zusätzlich die Bestände in definiertem Umfang erhöht (vgl. Abbildung 7-9). Diese Vorgehensweise wird als „atmen über Bestand“ bezeichnet.

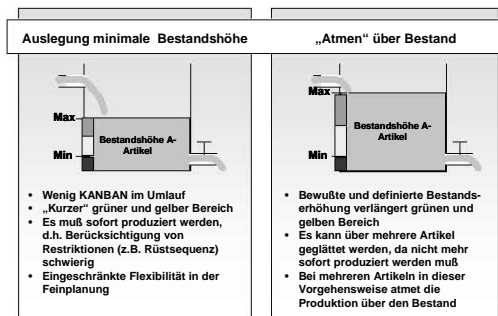


Abbildung 7-9: Atmen über Bestand

Kann ein Sonderbedarf bzw. eine große Projektmenge nicht über die Zerteilung des Auftrages in Teillieferungen und Auslieferung der Teilmengen aus dem Sockelbestand abgehandelt werden, so wird im ERP-System eine Folge elektronischer Arbeitsschritte angestoßen (Abwicklung über Auftragssteuerung). Zwischen Kunde, Vertriebsinnendienst und Fertigungssteuerung wird abgestimmt, wann der Auftrag in Abhängigkeit der Kapazitäten bzw. der Materialverfügbarkeit produziert werden kann. Die Fertigungssteuerung erzeugt dann auf Basis der hinterlegten Rundungswerte die Etiketten und plant diese in den Tagesablauf ein. Im IT-System werden der Liefertermin und alle sonstigen Angaben in den Auftrag

kopiert, die Ware wird produziert und in das GDC geliefert. Einziger Unterschied ist, dass diese Ware dem Sockelbestand nicht zugebucht wird, sondern direkt mit dem Kundenauftrag verbunden ist (vgl. Abbildung 7-10).

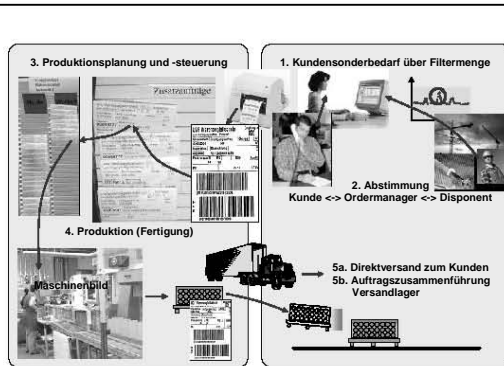


Abbildung 7-10: Arbeitsablauf bei Sonderbedarf

Die Absatzplanung wird heute im Sinne einer Vorschau generiert, um den Meldebestand anzupassen bzw. auf die Entwicklung der zukünftigen Kapazitätsbedarfe Rücksicht nehmen zu können. In der Auftragssteuerung (Abwicklung von Sonderaufträgen) sind Planungsinformationen die Basis für die Beschaffungs-, Rohstoff- und Kapazitätsplanung. Es gilt der Grundsatz, dass die Planung nicht direkt in Fertigungsaufträge umgesetzt wird, sondern der Bestands- und Kapazitätsdimensionierung dient. Schematisch kann die Programmplanung bei Fischer Befestigungssysteme in drei Planungsprozesse untergliedert werden (vgl. Abbildung 7-11).

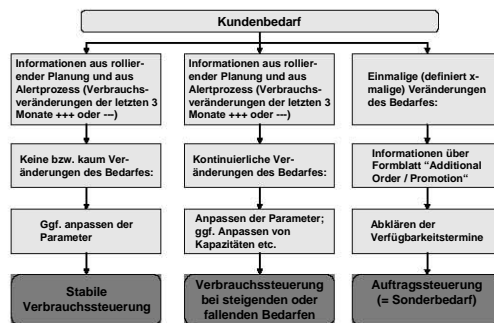


Abbildung 7-11: Planungsprozesse

Hierbei wird die Information als Pull-Prinzip ausgelegt, d. h. die Fertigung zeigt potentielle Engpässe auf und nennt dem Absatzplaner die auf der Ressource maßgeblichen Artikel. Dieser erarbeitet dann zusammen mit den Landesgesellschaften für diese Artikel eine Vorschau. Die Übermittlung der Planungsinformationen aus den Landesgesellschaften erfolgt über EDI (EANCOM). Eine generelle Planung über alle Artikel findet nicht mehr statt.

Entscheidende Rahmenbedingung für eine nivellierte Produktion nach dem JIT-Prinzip ist die Glättung der eigen- und fremderzeugten Schwankungen in der Distributionslogistik. Deshalb wurde mit den Landesgesellschaften begonnen, das Bestellverhalten auf Artikelnummerebene zu betrachten und anzupassen. Die folgende Abbildung zeigt das Bestellverhalten einer Landesgesellschaft vor den Glättungsmaßnahmen mit einer durchschnittlichen Bestelllosgröße von zwei Paletten pro Bestellung. Durch Sommerurlaub und Preiserhöhungen zum Jahresende werden Schwankungen in der Lieferkette erzeugt. Das Dispositionsverhalten ist nicht standardisiert. Durch Überlagerung des ungeglätteten Abrufverhaltens aller Landesgesellschaften mussten zu einem Zeitpunkt große Mengen eines Artikels vorgehalten werden.

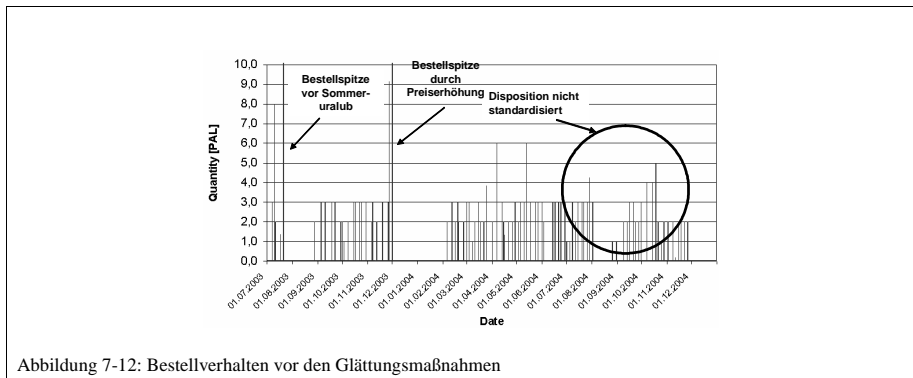


Abbildung 7-12: Bestellverhalten vor den Glättungsmaßnahmen

Um die Schwankungen der Bedarfe so gering wie möglich zu halten, musste in der Lieferkette geglättet bestellt werden. Die Anpassung der Dispositionsparameter wurde durch eine Zentralabteilung in Abstimmung mit der Landesgesellschaft vorgenommen. Die Bestelllosgröße wurde auf durchschnittlich eine Palette je Bestellung reduziert. Eine weitere Verkleinerung der Losgrößen ergab auf Grund der Basismengeneinheit „Palette“ keine weitere Verbesserung. Auf Grund des steigenden Bedarfs in der Landesgesellschaft (Wachstum) konnte ein zusätzliche Transport je Woche realisiert werden (Erhöhung der Transportfrequenz), ohne Auslastungsnachteile zu verzeichnen. Es wurde mit den Landesgesellschaften vereinbart, dass eine erhöhte Disposition auf Grund von Preisadjustungen nicht mehr vorgenommen werden darf.

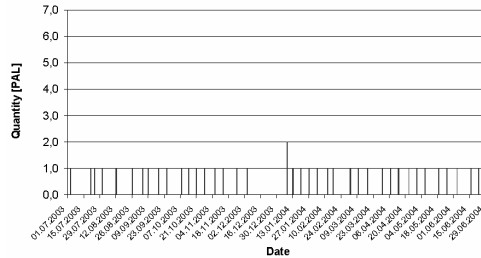


Abbildung 7-13: Geglättetes Bestellverhalten nach Umstellung

Mit Hilfe einer selbst definierten Kennzahl, dem „Glättungsfaktor“, wurde das Ziel eines nivellierten Bestellverhaltens verfolgt und gemessen (vgl. Abbildung 7-14).

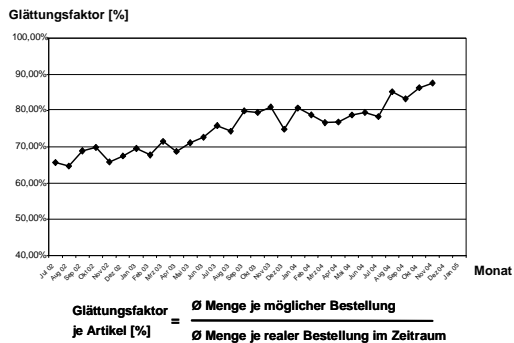


Abbildung 7-14: Definition und Entwicklung der Kennzahl „Glättungsfaktor“

Für die Produktionslogistik soll exemplarisch die Einführung eines mitarbeitergelenkten Rundverkehrs dargestellt werden. Ausgangssituation war ein im Jahr 2002 eingeführtes fahrerloses Transportsystem (FTS), das weder Produktivitäts- noch Lieferservice-Erwartungen erfüllen konnte. Fehlende Standards (z. B. Behälter standen im Fahrweg, Stau, Leerfahrten, falsche Routenwahl) verhinderten ein durchgängiges Funktionieren der internen Logistik. Es wurden 4 FTS eingesetzt, die im Schnitt nur 20 % ausgelastet waren und lange Durchlaufzeiten von einer Bestellung bis zur Anlieferung an den Verbrauchsort erzeugten (teilweise über 30 Minuten). Trotz des FTS wurde bei den Mitarbeitern ein hoher Wegeaufwand durch Fehlfunktionen des FTS festgestellt (im Schnitt zwischen 900 m und 2.200 m in der Stunde). Das FTS wurde durch einen mitarbeitergelenkten Rundverkehr ersetzt, mit dem die Schwachstellen des Produktionssystems (z. B. fehlende Standards) besser ausgeglichen werden konnten. Zusätzlich wurden die Transportkapazitäten durch mehrere Anhänger an einer Zugmaschine erhöht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 7-15 dargestellt.



Abbildung 7-15: Ergebnisse der Einführung eines Rundverkehrs

In der Beschaffungslogistik wurden nach detaillierter Analyse der externen Logistik Anlieferfrequenzen festgelegt und Anlieferarten definiert (vgl. Abbildung 7-16).

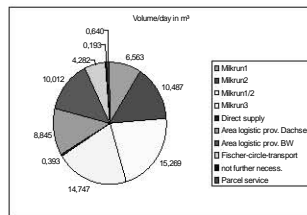


Abbildung 7-16: Transportvolumen und Anlieferart in der Beschaffungslogistik

Dazu wurde das Frachtvolumen je Zeiteinheit für alle Lieferanten unter Berücksichtigung von Volumenschwankungen ermittelt und auf Basis dieser Informationen die sortenreinen Transporte durch gemischte Ladungen ersetzt (vgl. Abbildung 7-17).

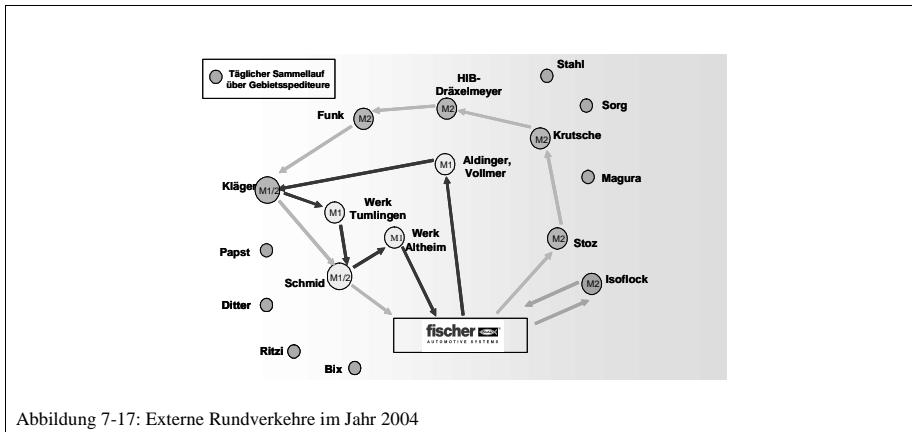


Abbildung 7-17: Externe Rundverkehre im Jahr 2004

Durch die Erhöhung der Anlieferfrequenz konnten die Bestände an Kaufteilen reduziert werden. Zusätzliche Effekte wurden durch die Integration der Transporte in das unternehmensweite Netzwerk erreicht (Volumenbündelung). Das Kaufteilelager wurde als Supermarktsystem strukturiert. Dies bedeutete im Einzelnen:

- Lagerordnung nach Produktionslinien
- Lageordnung der Kaufteile im Supermarkt nach Produktreihenfolge in der Fertigung
- Lagerung innerhalb der Produkte nach aufsteigender Artikelnummer
- Pro Artikel ein Lagerkanal
- FIFO durch definierte Befüll- und Entnahmeseite
- Größe des Lagerkanals der Kaufteile ausgelegt auf 1-3 Tage, Sicherheitsbestand je nach Risikoeinstufung des Lieferanten
- Einstufige Lagerung mit maximaler Höhe von fünf Lagen KLT auf dem Hallenboden

7.2 Berechnungsfunktion der Lagerlosgröße am Beispiel GDC Tumlingen

Um die erarbeitete Berechnungsfunktion für die optimale Lagerlosgröße an einem praktischen Beispiel (GDC Tumlingen) zu simulieren und zu interpretieren, wird im folgendem Microsoft EXCEL als Hilfsprogramm eingesetzt. Im ersten Schritt wird eine Daten-Tabelle angelegt, in der die folgenden Werte zu finden sind:

- Spalte A: Artikel nach ihren Artikelnummern aufgelistet
- Spalte C-F: Volumendaten des dazugehörigen Artikels
- Spalte K-N: Auftragsstruktur im Inland

Der Aufbau der Tabelle kann folgender Abbildung entnommen werden:

	A	B	C	D	E	F	K	L	M	N	
1							Inland				
2	Artikelnummer	ABC-Klassifizierung	Höhe der Verkaufseinheit	Breite der Verkaufseinheit	Länge der Verkaufseinheit	Volumen der Verkaufseinheit	Anzahl Aufträge ins Inland je Artikel pro Monat	Anzahl Aufträge ins Inland je Artikel pro Tag	Anzahl der bestellten Verkaufseinheiten ins Inland pro Monat	Anzahl der bestellten Verkaufseinheiten ins Inland pro Tag	
3		Klasse	HV [cm]	BV [cm]	LV [cm]	VV [cm ³]	A [Inland Monat]	A [Inland Tag]	bK [Inland Monat]	bK [Inland Tag]	
4	50108	A	6,00	9,00	10,50	587,00	1.876,00	62,53	328.959,00	10.985,30	
5	49126	A	14,60	7,50	2,00	219,00	1.016,00	33,87	102.910,00	3.430,33	
6	45138	A	9,00	9,00	18,00	1.458,00	371,00	12,37	35.448,00	1.181,60	
7	50355	A	6,20	8,00	13,20	654,72	1.551,00	51,70	192.502,00	6.416,73	
8	53085	B	22,50	6,00	6,00	810,00	74,00	2,47	11.970,00	399,00	
9	90246	B	4,50	9,00	18,00	729,00	68,00	2,27	3.411,00	113,70	
10	50285	B	4,50	9,00	18,00	729,00	127,00	4,23	12.114,00	403,80	
11	78255	C	8,30	8,00	12,30	816,72	15,00	0,50	53,00	1,77	
12	51112	C	24,00	30,50	35,50	25.986,00	39,00	1,30	1.557,00	51,90	
13	92464	C	32,00	25,50	38,50	31.416,00	7,00	0,23	228,00	7,60	
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27	Summe Transportaufträge							5.144,00	171,47		

Abbildung 7-18: Struktur der Daten-Tabelle

In einer weiteren Tabelle werden die benötigten Funktions-Parameter nach ihren Prozessschritten unterteilt und die entsprechenden Zellen mit den Namen benannt. Zum Beispiel wird die benötigte Zeit, um ein Anlieferolumen im Wareneingang zu transportieren, mit dem im Modell bekannten Namen: t^{WE} gekennzeichnet, d. h. es wird eine Liste mit allen benötigten Zeiten sowie Kosten dargestellt (vgl. Abbildung 7-19 und Abbildung 7-20).

	A	B	C	D
1	Variablen zur Berechnung			
2				
3	Wareneingang			
4	Aufnahmezeit für ein Anlieferolumen (WE)	taufWE		Sek
5	Einlagerzeit für ein Anlieferolumen ins Reservelager (WE)	teinWE		Sek
6	Fahrzeit zur Einlagerung eines Anlieferolumens (WE)	tTransportWE		Sek
7	- Strecke von der Rampe zum Reservelager	sWE		cm
8	- Geschwindigkeit des flurgeb. gleisl. Unstetigförderers	vWE	319,4444	cm/Sek
9	Fahrzeit für die Rückfahrt vom Reservelager zur Rampe	tLeerfahrtWE		Sek
10				
11				
12	Zeit für den Wareneingangsprozess eines Anlieferolumens	tWE	101,2000	Sek
13	Personalkosten je Mitarbeiter (WE)	PKWE	0,0097	€/Sek
14	Kosten flurgeb. gleisl. Unstetigförderer (WE)	FöKWE	0,0005	€/Sek
15				
16	Nachschubfahrt im Nachfüllprozess			
17	Aufnahmezeit für ein Anlieferolumen (Na)	tAuffahrtNa		Sek
18	Einlagerzeit für ein Anlieferolumen auf Pufferplatz (Na)	tAbfahrtNa		Sek
19	Fahrzeit je Nachschubfahrt je Anlieferolumen (Na)	tTransportFahrtNa		Sek
20	- Strecke vom Reservelager zum Pufferplatz am Regalanfang	sFahrtNa		cm
21	- Geschwindigkeit des flurgeb. gleisl. Unstetigförderers	vFahrtNa	319,4444	cm/Sek
22				
23	Zeit für die Nachschubfahrt eines Anlieferolumens	tFahrtNa	201,0000	Sek
24	Personalkosten je Mitarbeiter (Na)	PKFahrtNa	0,0097	€/Sek
25	Kosten flurgeb. gleisl. Unstetigförderer (Na)	FöKFahrtNa	0,0005	€/Sek
26				
27	Befüllprozess im Nachfüllprozess			
28	-Zeit zur Nachfüllung einer Lagerlösgröße vom Pufferplatz in das Regal	tBefüllenNa	9,4715	Sek
29	-Personalkosten je Mitarbeiter (Befüllen)	PKBefüllenNa	0,0097	€/Sek
30	Befüllungskosten pro Lagerlösgröße	M	0,0921	€
31				

Abbildung 7-19: Tabelle der Funktions-Parameter (Teil I)

32	Zwischenlagern überzähliger Lagerlosgrößen auf dem Reserveplatz			
33	Einlagerzeit je überzähliger Lagerlosgröße auf Reserveplatz	tEinReserveNa	33,8100	Sek
34	Zeit zur Nachfüllung einer Lagerlösgröße vom Reserveplatz in das Regal	tAusReserveNa	17,9883	Sek
35	Zeit zur Ein- und Auslagerung je überzählig Lagerlosgröße	tReserveplatzNa	51,7983	Sek
36	Personalkosten je Mitarbeiter (ReserveNa)	PKReserveNa	0,0097	€/Sek
37	Kosten flurgeb. gleisl. Unstetigförderer (ReserveNa)	FoKReserveNa	0,0005	€/Sek
38	Handlingskosten je überzählige Lagerlosgröße	P	0,5306	€
39				
40	Leerpalettenfahrt im Nachfüllprozess			
41	Aufnahmezeit für ein Förderhilfsmittel (Leer)	tAufLeerNa	5,3250	Sek
42	Abstellzeit je Förderhilfsmittel auf Sammelplatz für leere FHM (Na)	tAbLeerNa	15,1867	Sek
43	- Strecke vom Pufferplatz am Regal zum Sammelplatz für leere FHM	sLeerNa		cm
44	- Geschwindigkeit des flurgeb. gleisl. Unstetigförderers	vLeerNa	319,4444	cm/Sek
45	Zeit um ein Förderhilfsmittel aufzuräumen	tLeerNa	40,9667	Sek
46	Personalkosten je Mitarbeiter (Leer)	PKLeerNa	0,0097	€/Sek
47	Kosten flurgeb. gleisl. Unstetigförderer (Leer)	FoKLeerNa	0,0005	€/Sek
48				
49	Rückfahrt im Nachfüllprozess			
50	Rückfahrzeit vom Sammelplatz für leere FHM zum Reservelager	tRückfahrtLeerNa	19,9575	Sek
51	- Strecke vom Sammelplatz für leere FHM zum Reservelager	sRückLeerNa		cm
52	- Geschwindigkeit des flurgeb. gleisl. Unstetigförderers	vRückLeerNa	319,4444	cm/Sek
53				
54	Kommissionierprozess			
55	Strecke vom Auftragsstart bis zum Regal (Kommi)	sStartKommi	800,0000	cm
56	Strecke vom Regalende bis zur Auftragsabgabe (Kommi)	sEndeKommi	800,0000	cm
57	Geschwindigkeit desKommissionierers	vKommi	166,6667	cm/Sek
58	Breite der Regalwand	BRegalwand	7,5000	cm
59	Höhe der Regalwand	HRegalwand	10,2333	cm
60	Höhe der Regalschiene	HRegalschiene	9,0000	cm
61	Höhe des Leerraums zwischen Lagerlosgröße und Regalschiene	HLuft	14,1000	cm
62	Breite des Leerraums zwischen der Trennwand und der Lagerlosgröße	BLuft	4,9250	cm
63	Breite der Regaltrennwand	BRegaltrennwand	2,9525	cm
64	Höhe eines Regals	HR	209,1250	cm
65	Personalkosten je Mitarbeiter (Kommi)	PKKommi	0,0097	€/Sek
66	Kosten flurgeb. gleisl. Unstetigförderer (Kommi)	FöKKommi	0,0003	€/Sek
67				
68	Sonstige Variable			
69	Länge eines Regals	LR	120,0000	cm
70	Anzahl der Artikel im Sortiment	S	10,0000	
71	Kosten aller Fahrten je Anliefervolumen (Zwischenergebnis)	E	3,7195	€
72				
73				
74	Vereinfachung			
75	Personalkosten je Mitarbeiter alle Bereiche	PK	0,0097	€/Sek
76	Kosten je Förderzeug	FöK	0,0005	€/Sek
77	Geschwindigkeit des flurgeb. gleisl. Unstetigförderers	vFöK	319,4444	cm/Sek

Abbildung 7-20: Tabelle der Funktions-Parameter (Teil II)

Als letzter Schritt wird die Berechnungs- Tabelle angelegt. In dieser Tabelle werden alle veränderbaren Parameter eingetragen. Im Einzelnen sind dies (vgl. Abbildung 7-21):

- Spalte A: Artikel nach ihren Artikelnummern aufgelistet (aus Daten-Tabelle)
- Spalte B: Anzahl bestellter Verkaufseinheiten des Artikels i (aus Daten-Tabelle)
- Spalte C: Volumen der Verkaufseinheit eines Artikels i (aus Daten-Tabelle)
- Spalte D-E: Variablen der überschüssigen Lagerlose und ihr Wert (veränderbare Zelle)
- Spalte F-H: Anzahl der benötigten Fahrten, Befüllvorgänge und Bewegungsvorgänge der überschüssigen Lagerlose a_i in Abhängigkeit von der Größe des Lagerloses
- Spalte I: Kosten des Kommissionierers bei A Aufträgen
- Spalte J-N: Berechnung der Regalbreite in Abhängigkeit von der Größe des Lagerloses
- Spalte Q-S: Variablen Höhe, Breite und Länge der Lagerlosgröße und die Gesamtkosten
- Spalte U-V: Obere und untere Schranke der Höhe, Breite und Länge der Lagerlosgröße
- Spalte W-Z: Obere und untere Schranke der überschüssigen Lagerlose

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Inland							
2				Überzählige Lagerlose		Anzahl aller Fahrten je Anliefervolumen und Anteil in Abhängigkeit von der Lagerlosgröße	Anzahl der Befüllvorgänge je Artikel in Abhängigkeit von der Lagerlosgröße	Anzahl Beschamungsvorgänge der überschüssigen Lagerlose je Artikel in Abh. v.d. Lagerlosgröße
3	Artikelnummer	b _k	V _v		vor Π	vor M	vor P	
4	50108	18.447,85	567,00	a1	1,0000	77.074,2781	9.249.913,3719	77.074,2781
5	49126	5.145,50	219,00	a2	1,0000	9.312,9298	1.117.551,5702	9.312,9298
6	45138	1.772,40	1.458,00	a3	1,0000	21.356,8676	2.562.802,5124	21.356,8676
7	50355	9.625,10	654,72	a4	1,0000	52.080,5411	6.249.664,9309	52.080,5411
8	53085	598,50	810,00	a5	1,0000	4.006,4876	480.778,5124	4.006,4876
9	90246	170,55	729,00	a6	1,0000	1.027,5285	123.303,4215	1.027,5285
10	50265	605,70	729,00	a7	1,0000	3.649,2174	437.906,0826	3.649,2174
11	78255	2,85	816,72	a8	1,0000	17,8868	2.146,4212	17,8868
12	51112	77,85	25.986,00	a9	1,0000	16.719,0917	2.006.291,0083	16.719,0917
13	92464	11,40	31.416,00	a10	1,0000	2.959,8545	355.182,5455	2.959,8545
14	0	0,00						
15	0	0,00						
16								
17	Alle Artikel zusammen					188.204,5031	22.584.540,3789	188.204,5031

I	J	K	L	M	N	O
Gesamtkosten für die Bewegung des Kommissionierers	Formel Kommissionierung Teil 1 (ca. Regalbreite)	Formel Kommissionierung Teil 2 (ca. Regalbreite)	Formel Kommissionierung Teil 3 (ca. Regalbreite)	Formel Kommissionierung Teil 4 (ca. Regalbreite)	Formel Kommissionierung Teil 5 (ca. Regalbreite und Start- und Endstrecke)	Länge des Kommissionierregals
vor Kommi	Kommi1	Kommi2	Kommi3	Kommi4	Kommi5	KommiRegal
0,0308	0,6786	0,0530	1,2244	15,6758	1.612,0475	1.629,6794

Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
				Obere Definitionsgrenze			Untere Definitionsgrenze		Obere Definitionsgrenze
H _L	B _L	L _L		H _L Max	200,0000	a1	0,0000	1.919.880,0000	1.919.880,0000
1,0000	1,0000	1,0000		B _L Max	80,0000	a2	0,0000	1.919.880,0000	1.919.880,0000
Volumen der Lagerlosgröße				L _L Max	120,0000	a3	0,0000	1.919.880,0000	1.919.880,0000
1,0000					120,0000	a4	0,0000	1.919.880,0000	1.919.880,0000
				Untere Definitionsgrenze		a5	0,0000	1.919.880,0000	1.919.880,0000
Gesamtkosten				H _L Min	32,0000	a6	0,0000	1.919.880,0000	1.919.880,0000
2.879.608,7612				B _L Min	30,5000	a7	0,0000	1.919.880,0000	1.919.880,0000
				L _L Min	38,5000	a8	0,0000	1.919.880,0000	1.919.880,0000
						a9	0,0000	1.919.880,0000	1.919.880,0000
						a10	0,0000	1.919.880,0000	1.919.880,0000

Abbildung 7-21: Berechnungs-Tabelle

Um die optimalen Kosten zu berechnen, wird in Microsoft EXCEL das Hilfsprogramm „EXCEL-Solver“ benutzt. Wie die folgende Abbildung zeigt, muss die „Zielzelle“ eingestellt werden. Im vorliegenden Fall ist dies die Zelle der Gesamtkosten, die es zu minimieren gilt.

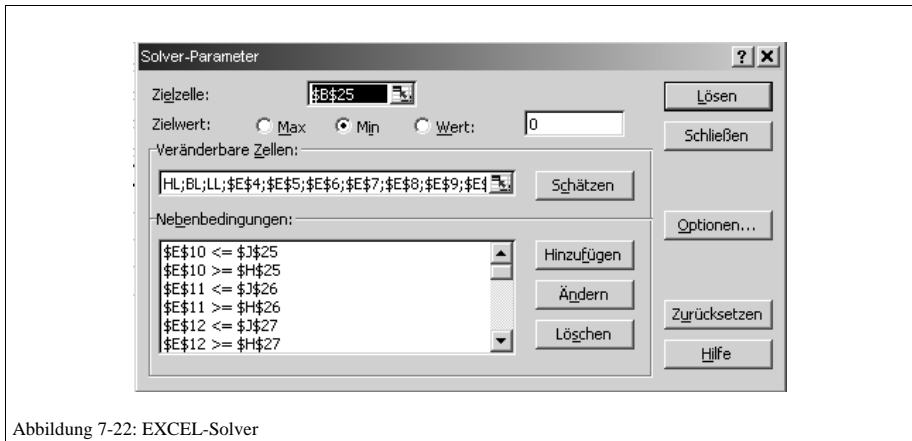


Abbildung 7-22: EXCEL-Solver

Die „Veränderbaren Zellen“ sind die Zellen, die eine Variable (z. B. die Höhe der Lagerlosgröße) darstellen und somit die veränderbaren Größen/Werte in dieser Funktion. Unter den „Nebenbedingungen“ werden die Grenzen der Variablen festgelegt, da die Kostenfunktion im Praxisfall nur in einem bestimmten Zahlenbereich (Definitionsbereich) interessant ist. Nachdem alles eingestellt wurde, kann der Solver durch das Newton-Verfahren oder Gradienten-Berechnung die minimalen Kosten und die dazu entsprechenden Werte der veränderbaren Variablen bestimmen. Aus diesen lässt sich dann die optimale Lagerlosgröße errechnen (vgl. Abbildung 7-23). Die Felder „Genauigkeit“, „Toleranz“ und „Konvergenz“ sind für die Bestimmung der Genauigkeit der Rechnung verantwortlich. Die Option „Quadratisch“ führt zu verbesserten Ergebnissen bei nichtlinearen Problemen. „Vorwärts“ wird bei den meisten Problemen verwendet, bei denen sich die Werte der Nebenbedingungen relativ langsam verändern. „Gradient“ benötigt weniger Arbeitsspeicher als das Newton-Verfahren, erfordert im Allgemeinen jedoch eine größere Anzahl von Iterationen, um einen bestimmten Genauigkeitsgrad zu erzielen. Diese Option wird verwendet, wenn das Problem umfangreich ist und der zur Verfügung stehende Speicherplatz eventuell nicht ausreicht. Bei dem hier modellierten Lager werden bei Einstellung „Newton“ bzw. „Gradient“ die gleichen Ergebnisse in gleicher Zeit berechnet.

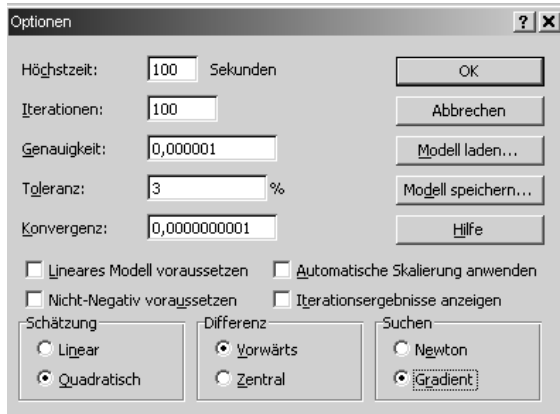


Abbildung 7-23: Optionseinstellungen im Solver

Für das Fallbeispiel wurden aus dem Artikelsortiment jeweils vier Artikel aus der Klasse der A-Artikel gewählt, drei aus der Klasse der B-Artikel und drei aus der Klasse der C-Artikel. Die Unterscheidung zwischen den Artikelgruppen ist der folgenden Grafik zu entnehmen.

ABC-Klassifikation	Anteil der Lieferpositionen [%]	
	von	bis
(AA-Artikel)	(0%)	(< 30%)
A-Artikel	0% (30%)	< 70%
B-Artikel	70%	< 90%
C-Artikel	90%	< 99%
D-Artikel	> 99%	(Abgang > 1 Lieferpositionen pro Monat)
E-Artikel	Kein Abgang	

Abbildung 7-24: Logistische A/B/C-Klassifizierung bei fischer

Zu diesen Artikeln wurde eine Auswertung der bestellten Verkaufseinheiten im Monat Juni 2007 und ihrer zugehörigen Anzahl von Aufträgen erstellt. Diese Werte sind in der obigen Daten-Tabelle zu finden. Es entstand eine Teilmenge von zehn Artikeln aus dem gesamten Artikelsortiment von fischer. Diese ist die zu untersuchende Menge $S^{OR} = \{i=1, \dots, 10\}$. Im Weiteren wurden die entsprechenden Parameter im Versandlager gemessen und in die Tabelle der Funktions-Parameter übertragen. Aus den zehn Artikeln wurde die optimale Lagerlosgröße für diese Artikelmenge bestimmt. In der folgenden Tabellen werden alle wichtigen Größen der Optimallösung aufgelistet. Dies sind die Höhe der Lagerlosgröße h^L (in cm), die Breite der Lagerlosgröße b^L (in cm), die Länge der Lagerlosgröße l^L (in cm), die Anzahl überschüssiger Lagerlosgrößen

a_i , das für diese Parameter ermittelte „optimale“ Volumen der Lagerlosgröße V^L (in cm^3), die Beschreibung der Lagerlosgröße in Prozent einer vollen Europalette und das zugehörige Kostenoptimum (in €). Eine volle Europalette hat dabei eine Höhe von 200 cm, eine Breite von 80 cm und eine Länge von 120 cm (Definitionsgrenzen). In dieser ersten Simulation wird mit nur einer Geschwindigkeit $v^{\text{FöK}}$ gerechnet.

h^L	b^L	l^L	$a_i, i = 1, \dots, 10$
133,42	74,28	120	0,61

V^L	Lagerlosgröße in %	Kostenoptimum
1.189.252,85	61,94	58,39

Aus dem ersten Simulationslauf ist zu erkennen, dass die errechnete optimale Lagerlosgröße bei etwas mehr als der Hälfte der im Modell maximal möglichen Lagerlosgröße (eine volle Europalette) liegt. Eine zusätzliche Verkleinerung der Lagerlosgröße würde bei diesen Modelldaten zusätzliche Kosten bedeuten.

Für das Praxisbeispiel im GDC Tümlingen ist zu beachten, dass sich das Flurförderfahrzeug im Nachschubprozess und das Flurförderfahrzeug für den Kommissionierprozess in ihren Parametern unterscheiden. Daher wird die Funktion in zwei Bereiche geteilt und die unterschiedlichen Flurförderfahrzeuge dem jeweiligen Bereich zugeordnet (Flurförderfahrzeug u_1 fährt mit der Geschwindigkeit $v^{\text{FöK}}$ bzw. den Flurförderfahrzeugkosten FöK und Flurförderfahrzeug u_2 fährt mit v^{Kommi} und $\text{FöK}^{\text{Kommi}}$):

$$f^{\text{Ges}} = \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * l^L) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left[\left(t^{\text{Auf}} + \frac{s}{v_{u_1}} + t^{\text{Ein}} \right) * (\text{PK} + \text{FöK}_{u_1}) \right]}_E \quad \left. \vphantom{\sum_{i=1}^S} \right\} \text{Nachschub}$$

$$+ \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(l^L * L^R + l^L * a_i) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{Befüllen}^{\text{Na}}} * \text{PK} \right)}_M$$

$$+ \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * l^L) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{Ein}^{\text{Reserve}^{\text{Na}}}} + t^{\text{Aus}^{\text{Reserve}^{\text{Na}}}} \right) * (\text{PK} + \text{FöK}_{u_1})}_P$$

$$+ \frac{2 * A * (\text{PK} + \text{FöK}_{u_2})}{v_{u_2}} * \left(\frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{S * b^L * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} + S^{\text{Start}^{\text{Kommi}}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + S^{\text{Ende}^{\text{Kommi}}} \right) \quad \left. \vphantom{\frac{2 * A * (\text{PK} + \text{FöK}_{u_2})}{v_{u_2}}} \right\} \text{Kommissionierung}$$

Die Optimallösung wird unter diesen Rahmenbedingungen mit angepassten Parametern erneut bestimmt zu:

h^L	b^L	l^L	$a_i, i = 1, \dots, 10$
112,85	63,41	120	1,24

V^L	Lagerlosgröße in %	Kostenoptimum
858.715,42	44,72	79,72

Durch die Veränderung der Kostensätze der Flurförderfahrzeuge ergibt sich ein anderes (höheres) Kostenoptimum mit dazugehöriger Lagerlosgröße. Diese liegt für die angepassten Parameter nun bei 42% einer vollen Europalette, d. h. weniger als eine halbe Europalette.

Des Weiteren ist zu betrachten, ob die Lagerlosgröße von der Art eines Artikels abhängig ist, d. h. zu welcher Klasse dieser Artikel gehört. Hierfür wird für jeden Artikel einzeln seine optimale Lagerlosgröße bestimmt. Es ergibt sich:

Artikelnummer	h^L	b^L	l^L	a	Kosten	V^L	$(V_i^{V*} \cdot b_i^K) / A$
50108	200,0	80,0	120,0	0,0	25,24	1.920.000,0	99.424,18
49126	144,49	79,86	120	0,39	8,45	1.384.740,91	22.182,37
45138	200,0	80,0	120,0	0	5,97	1.920.000,0	139.307,77
50355	200	80	120	0	19,0	1.920.000,0	81.260,42
53085	200	80	120	0	1,15	1.920.000,0	131.022,97
90246	185,22	80	120	0,08	0,63	1.778.064,68	36.567,93
50265	200	80	120	0	1,46	1.920.000,0	69.536,27
76255	84,34	47,09	120	3,03	0,1	476.623,21	2.885,74
51112	200	80	120	0	2,95	1.920.000,0	1.037.441,08
92464	200	80	120	0	0,52	1.920.000,0	1.023.264,00

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass die Lagerlosgröße nicht von der Klasse des Artikels abhängig ist, denn sowohl für die Klasse A, B und C war die optimale Lagerlosgröße eine Vollpalette. Aus der Tabelle ergeben sich aber drei Sonderfälle, bei denen sich die kleineren Losgrößen aus anderen Gründen ergeben. In diesen Sonderfällen nimmt das Verhältnis des bestellten Kundenvolumens zu der Anzahl an Aufträgen einen geringeren Wert an als bei den anderen Artikeln. Ist dieses Verhältnis klein, sinkt die optimale Lagerlosgröße.

7.3 Erzielte Ergebnisse

Zunächst soll die Wirkweise der Verkleinerung der Losgrößen im Zusammenspiel mit einem optimierten visuellen Management dargestellt werden. Hierzu fand im Jahr 2004 ein Workshop im Regionallager Wuppertal statt. In diesem Workshop wurden durch Losgrößenverkleinerungen als Folge einer optimierten Disposition (kombinierte Steuerung) und somit Packungsdichtenerhöhung die Laufwege um 45% reduziert. Um dieses Messergebnis zu erhalten, wurden vor und nach dem Workshop zehn Referenzaufträge kommissioniert und verglichen. Durch weitere Maßnahmen wie beispielsweise eine bessere Beschriftung der Plätze konnte die Zykluszeit der zehn Aufträge um 59% verbessert werden (vgl. Abbildung 7-25).

Kennzahlen / Ergebnisse		Projektteam:		Datum:		Hinweis:		
Untersuchungsbereich / Thema: RDC Wuppertal Steigerung Produktivität		T-LO H. Reuter, T-LOD H. Eisenblätter, T-LOP H. Hagen, T-LODW H. Hermsdorf, T-LODW F. Grauer, T-LODF H. Katschke		11.08.04		KVP Trainer: T-LOKVP H. Hauser		
				Seite:				
				von:				
Kennzahlen	vorher	Ziel	nachher				Differenz in %	Potenzial
Kommissionierwege pro Kommission [m]	23	-50%	13				-45%	
Kommissionierzykluszeit pro Kommission [sec]	61	-40%	25				-59%	
Benötigte Fläche [m ²]	2.251,4	-40%	1.531,4				-32%	

Abbildung 7-25: Ergebnisse des Kommissionierworkshops im Lager Wuppertal

Die durch die Einführung einer schlanken Logistik in Zusammenspiel mit der Umsetzung eines schlanken Unternehmens erzielten Gesamtergebnisse sollen hinsichtlich der Logistik an Hand der Entwicklung von drei Kennzahlen dargestellt werden. Zur Messung der Kundenzufriedenheit ist der Lieferservice ein entscheidender Faktor. Nach Umstellung der Produktionssteuerung von einem Push-System auf eine kombinierte Steuerung entwickelte sich dieser nach anfänglichen Schwierigkeiten kontinuierlich nach oben und liegt heute stabil über 96%.

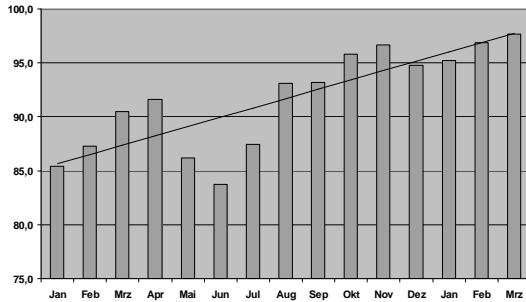


Abbildung 7-26: Entwicklung des Lieferservices im Jahr 2006

Die Verbesserung des Lieferservicegrades wurde unabhängig von Lagerbeständen erreicht. Im Zeitraum von vier Jahren konnte der Warenbestand um 32% reduziert werden.

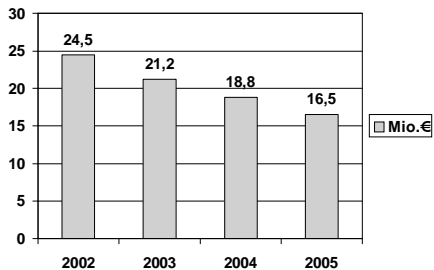


Abbildung 7-27: Bestandsentwicklung

Gleichzeitig sanken die Logistikkosten gemessen am Umsatz bedingt durch die Verschlinkung der Distributionsstruktur und Erhöhung der Pickdichte von über 9% im Jahr 2003 auf 4,9% (März 2007), wie in Abbildung 7-28 dargestellt.

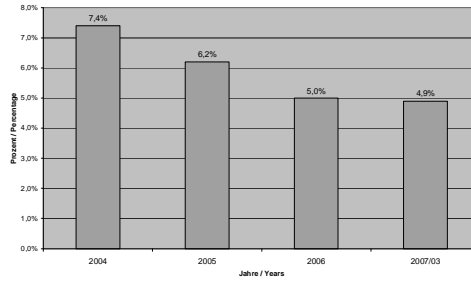


Abbildung 7-28: Entwicklung der Logistikkosten in Relation zum Umsatz

8 Zusammenfassung und Ausblick

Unter den Rahmenbedingungen von globalisierten Märkten, immer individueller werdenden Kundenanforderungen hinsichtlich Produkten und Prozessen sowie zunehmend turbulenteren Umfeldbedingungen haben viele Unternehmen begonnen, „Ganzheitliche Produktionssysteme“ einzuführen, um diesen höheren Anforderungen gerecht zu werden. Dementsprechend haben in den letzten Jahren viele Implementierungen einer „Schlanken Produktion“ statt gefunden, bei denen der Fokus in vielen Fällen auf die Methoden in der Produktion beschränkt war. Aspekte zur Vermeidung von Verschwendung beispielsweise in Informationsflüssen oder administrativen Prozessen blieben weitestgehend unberücksichtigt. Die Darstellungen des Standes der Technik zeigen, dass die Beschreibung der Methoden einer schlanken Logistik nicht nur für die Produktionslogistik, sondern insbesondere für weitere Elemente der logistischen Kette notwendig ist. Die Wirkweise der in einem JIT-Produktionssystem geforderten Verkleinerung von Losgrößen (Ein-Stück-Fluss) auf die logistische Kette insbesondere hinsichtlich sinnvoller minimaler Grenzen wird ebenfalls nur unzureichend dargestellt.

Dementsprechend widmet sich diese Ausarbeitung im ersten Teil der Darstellung des Konzepts und der Merkmale eines schlanken Logistiksystems. Ausgehend von der Fragestellung, ob und in welchem Umfang eine schlanke Logistik zur Wertschöpfung beiträgt, werden gemäß der Philosophie schlanker Prozesse die Anforderungen an logistische Prozesse abgeleitet. Aus diesen Anforderungen werden Methoden eines schlanken Logistiksystems entwickelt und beschrieben. Um den Rahmen der Ausarbeitung einzugrenzen, finden hierbei lediglich Elemente von Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik sowie ausgewählte Elemente der Informationsflüsse Berücksichtigung.

Aufbauend auf den Überlegungen hinsichtlich der Methoden eines schlanken Logistiksystem wird im zweiten Teil der Ausarbeitung ein mechanisiertes Lager modelliert, um die Auswirkungen der Verkleinerung von Losgrößen im Sinne des Ein-Stück-Flusses in Kombination mit dem Einsatz logistischer Methoden darzustellen. Das entwickelte Modell beschränkt sich dabei auf die Darstellung der Materialflüsse, um den Rahmen der Ausarbeitung nicht zu umfangreich werden zu lassen. Die durch die Verkleinerung von Losgrößen bewirkten zusätzlichen Aufwendungen und erzielbaren Einsparungen werden im Rahmen von Grenzwertbetrachtungen untersucht und diskutiert. Es lässt sich zeigen, dass der Ein-Stück-Fluss sowohl erhöhte Aufwendungen durch eine steigende Anzahl von Handlingsvorgängen (z. B. im Wareneingang) als auch Einsparungen im Sinne von Griffdichtenerhöhungen und damit Laufwegereduzierungen (z. B. in der Kommissionierung) mit sich bringt. Im Rahmen einer Gesamtkostenfunktion kann so ein Kostenminimum für das mechanisierte Lager nachgewiesen werden. Wendet man die entwickelten Methoden eines schlanken Logistiksystem in einem mechanisierten Lager an, so lässt sich das Kostenminimum verschieben, d. h. die Losgröße lässt sich verkleinern, ohne dass zusätzliche Kosten entstehen. Abschließend wird für einen Sonderfall dargestellt, unter welchen Rahmenbedingungen eine Verkleinerung der Losgröße in einem mechanisierten Lager aufwandsneutral bleibt. Die Verifizierung des Modells wird abschließend am praktischen Beispiel eines mechanisierten Lagers der fischerwerke Artur fischer GmbH & Co. KG

vorgenommen und in Simulationen auf Basis von Echtdateen dargestellt. Ebenso wird die Umsetzung ausgewählter Methoden eines schlanken Logistiksystems am Beispiel von fischer diskutiert und bewertet.

Aus meinen dargelegten Ausführungen ergibt sich also folgende Gesamtkostenfunktion zur Darstellung der Wirkweise der Verkleinerung von Losgrößen im Sinne des „Ein-Stück-Flusses“ für die Materialflüsse in einem mechanisierten Lager:

$$\begin{aligned}
 f^{\text{Ges}} = & \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V}{(L^R + a_i * I^L) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left[\left(T^{\text{Auf}} + \frac{S}{v_u} + T^{\text{Ein}} \right) * (PK + FöK_u) \right]}_E \\
 & + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * L^R}{(I^L * L^R + I^{L2} * a_i) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{Befüllen}^{\text{Na}}} * PK \right)}_M \\
 & + \left(\sum_{i=1}^S \frac{b_i^K * V_i^V * a_i}{(L^R + a_i * I^L) * h^L * b^L} \right) * \underbrace{\left(t^{\text{Ein Reserve}^{\text{Na}}} + t^{\text{Aus Reserve}^{\text{Na}}} \right) * (PK + FöK_u)}_P \\
 & + \frac{2 * A * (PK + FöK_u)}{v_u} * \left(\begin{aligned} & \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ & + \frac{S * b^L * h^L}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ & + \frac{S * b^L * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ & + \frac{S * (2 * B^{\text{Luft}} + B^{\text{Regaltrennwand}}) * (H^{\text{Luft}} + H^{\text{Regalschiene}})}{H^R - 2 * H^{\text{Regalwand}}} \\ & + S^{\text{Start}^{\text{Kommi}}} - B^{\text{Regaltrennwand}} + 2 * B^{\text{Regalwand}} + s^{\text{Ende}^{\text{Kommi}}} \end{aligned} \right)
 \end{aligned}$$

Abbildung 8-1: Ermittelte Gesamtkostenfunktion des mechanisierten Lagers

Anhand dieser Formel lässt sich für jedes mechanisierte Lager, das nach der in dieser Ausarbeitung dargelegten Struktur aufgebaut ist, durch den Einsatz der entsprechenden Parameter ein Losgrößenoptimum errechnen, dessen weitere Unterschreitung wieder zu höheren Kosten im Materialfluss führen würde.

Ansätze für weiterführende Arbeiten werden im Wesentlichen in drei Themenfeldern gesehen:

- Das im Rahmen dieser Ausarbeitung erstellte Modell ist rein auf die Materialflüsse in einem mechanisierten Lager beschränkt worden (homomorphes Modell). Deshalb wäre es notwendig, das Modell hinsichtlich der Einflüsse der Verkleinerung von Losgrößen auf die Informationsflüsse (z. B. Verbuchung im Wareneingang) unter Berücksichtigung der Bereitstellungsarten von Bedarfsinformationen (z. B. Kommissionierung mit Listen, Handheld, Pick-by-voice) zu erweitern und zusätzlich die Bestandshöhe im Modell zu berücksichtigen. Ebenso müssten die Prämissen (z. B. Vollbeschäftigung, konstante Befüllzeit) fallen gelassen werden, beispielsweise könnten die

Auslastungsschwankungen hinsichtlich ihrer Wirkweise gegenüber der Austaktung des Lagers (z. B. Taktung des Wareneingangs) modelliert und untersucht werden. Ziel könnte sein, das Modell für ein mechanisiertes Lager annähernd isomorph zu gestalten. Des Weiteren kann das hier vorgestellte Modell auf weitere Lagerarten (z. B. voll automatisiertes Lager, Einsatz unterschiedlicher Lagerarten, „Ware-zum-Mann“-Kommissionierung) erweitert werden.

- Ein zweites Themenfeld ergibt sich aus der Abgrenzung der Ausarbeitung auf ein mechanisiertes Lager in der Distributionslogistik. Dementsprechend könnte das Modell entlang der logistischen Kette auf Produktions- und Beschaffungslogistik unter Berücksichtigung der externen Transporte erweitert werden. In der Produktionslogistik kann beispielsweise der Einsatz eines Rundverkehrs im Zusammenspiel mit verschiedenen Organisations- und Transportformen betrachtet werden. In der Beschaffungslogistik lassen sich beispielsweise die Anlieferungsformen modellieren und es könnten Betrachtungen hinsichtlich des Ziels der Direktanlieferung angestellt werden. Im externen Transport kann insbesondere der Einsatz von Mehrwegbehältern auf das Transportvolumen (z. B. Erhöhung des Stapelfaktors) weiter untersucht werden sowie die direkte Verkettung (Transporte verhindern) unter ökologischen Gesichtspunkten untersucht werden.
- Die Umsetzung der hier beschriebenen modellseitigen Ansätze in ein IT-unterstütztes System bildet das dritte Themenfeld. Gerade in der täglichen Arbeit kann Bedarf an Prozessen und Systemen bestehen, welche die hier vorgestellten Sachverhalte auf Artikel- oder Artikelgruppenebene darstellen und optimieren. Dem verantwortlichen Personal kann somit eine automatisierte Hilfestellung zur Lageroptimierung gegeben werden, ohne dass dieses über aufwendiges manuelles Rechnen viel Zeit verliert. Insbesondere könnte im Zusammenspiel mit der Produktion bzw. der Beschaffung die Verkleinerung von Bestelllosgrößen in ihrer Wirkweise auf das Lager und weitere Parameter (z. B. die Bestandshöhe) im Vorfeld simuliert werden. Damit würden sich vielseitige Planungs- und Steuerungsinformationen ergeben.

9 Management Summary

Under the general conditions of globalized markets, customer requirements that are becoming more and more individual in terms of products and processes and more and more tumultuous surrounding conditions, many companies started to establish “holistic production systems“ to cope with these higher requirements. According to this during the last years many “lean productions” were implemented with a focus that was in many cases limited to the production methods. Aspects to prevent from waste, e.g. in information flows or administrative processes, stayed unconsidered to a very large degree. The descriptions of the state of the art show, that the description of the method of lean logistics is not only necessary for production logistics, but also for further elements of the logistic chain. The effectiveness of the downsizing of lot sizes that is required in a JIT production system (one-piece-flow) on the logistic chain, particularly in consideration of reasonable minimum limits, is only inadequately described, as well.

Correspondingly in the first part of the description the analysis addresses the concept and characteristics of a lean logistic system. Based on the question, if and to what extent a lean logistic contributes to the value added, requirements to logistic processes are derived following the philosophy of lean processes. From these requirements the methods for a lean logistic system are developed and described. To limit the frame for the elaboration, only elements of procurement, production and distribution logistics, as well as selected elements of the information flow are taken into consideration.

Based on the considerations concerning the methods of a lean logistic system, in the second part of the analysis, a mechanized warehouse is modelled to show the effects of a downsizing of lot sizes in the sense of the one-piece-flow combined with the use of logistic methods. The developed model is restricted to the display of material flows, to prevent the scope of the elaboration from becoming too wide. The downsizing of lot sizes causes additional expenditures and attainable savings are analyzed and discussed in the context of marginal examinations. It can be shown that the one-piece-flow involves both higher expenditures due to a higher number of handling steps (e.g. in the goods receipt) and savings in the sense of the number of articles, which can be picked within a defined walking length (picking density) and therewith a reduction of routes (e.g. during commissioning). Within the frame of a total expenditure function, this way a cost minimum for the mechanized warehouse can be verified. If the developed methods of a lean logistic system are applied in a mechanized warehouse, the cost minimum can be shifted, i.e. the lot sized can be reduced without additional costs arising. Finally it is described for a special case, under which framework conditions a downsizing of lot sizes in a mechanized warehouse will stay neutral in terms of expenses. A verification of the model will finally be done by employing a practical example of a mechanized warehouse at fischerwerke Artur fischer GmbH & Co. KG and is displayed in a simulation based on real data. The implementation of selected methods of a lean logistic system is discussed and assessed at the example of fischer, as well.

Approaches for continuative works are fundamentally divided into three ranges of topics:

- The first model provided in the context of this elaboration was strictly limited to material flows in a mechanized warehouse (homomorphous model). This makes it necessary to enhance the model concerning impacts of the reduction of lot sizes on information flows (e.g. booking in the goods receipt) bearing in mind the ways of supply of needed information (e.g. commissioning with lists, scanner, pick-by-voice) and additionally take into consideration the stock amount in the model. Equally the premises (e.g. full employment, constant fill times) must be abandoned, e.g. the variations in workload can be modelled and analyzed concerning their effect on the warehouse's balancing (e.g. pulsing of goods receipt). Goal might be to design an almost isomorphous warehouse. In addition, the presented model can be enhanced for further warehouse types (e.g. automated warehouse, use of different warehouse types, "goods-to-man" commissioning).
- A second range of topic results from the dissociation of the elaboration to a mechanized warehouse in distribution logistics. According to this, the model might be enhanced along the logistic chain to production or procurement logistics taking into consideration external transports. In the production logistics one might e.g. look at the use of a circular distribution in combination with several forms of organization and transport. In procurement logistics, for example, the forms of delivery can be modelled and reflections concerning the target of direct delivery can be made. In the external transport, in particular, the use of returnable containers concerning transport volume (e.g. increase of stockpiling factor) can further be analyzed, as well as the direct chaining (prevent from transports) under ecological aspects.
- The implementation of the model based approaches described here into an IT supported system forms the third range of topic. Especially during everyday work, there may be need for processes and systems, which describe and optimize the presented circumstances on the level of articles or article groups. This way an automated support can be provided for the responsible personnel for the optimization of the warehouse without losing too much time on complex manual calculations. In particular, the reduction of purchase orders in their effect on the warehouse and further parameters (e.g. stock amount) in combination with production or procurement could be simulated in advance. This would provide versatile information for planning and coordination.

10 Literatur

Auf folgende Werke wurde in oben stehenden Ausführungen verwiesen:

[ALI-05]	Alicke, Knut: Planung und Betrieb von Logistiknetzwerken : Unternehmensübergreifendes Supply Chain Management. 2., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin u. a.: Springer, 2005
[ARN-04]	Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.: Handbuch Logistik. 2., aktualisierte und korrigierte Auflage. Berlin u. a.: Springer, 2004
[BAU-04]	Baudin, Michel: Lean logistics: the nuts and bolts of delivering materials and goods. New York: Productivity Press, 2004 (ISBN 1-56327-296-2)
[BEH-99]	Behr, Stephan M.: Einsatz der Systemanalyse zur Strukturplanung von Kundendiensten. Dortmund: Praxiswissen, 1999
[BRO-90]	Brockhaus Enzyklopädie in 24 Bd.; 19. Auflage, F.A. Brockhaus GmbH, Mannheim, 1990, Band 13
[BRU-06]	Brunner, Heribert: Lean-Prinzipien in der Elektronikproduktion. – Integration von klassischer PPS und Lean-Production bei Siemens VDO Automotive in Regensburg. In: Westkämper, E.; Schraft, R.: Schlankes Auftragsmanagement : Lean-Ansätze versus klassische PPS. 11. Stuttgarter PPS-Seminar F 134, 28. und 29. September 2006, Stuttgart. Stuttgart : FpF – Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung e. V., 2006, S. 90-109
[CON-01]	Conner, Gary B.: Lean manufacturing for the small shop. Michigan: Society of Manufacturing Engineers , 2001
[DIN199-1]	DIN 199-1: CAD-Modelle, Zeichnungen und Stücklisten – Teil 1: Begriffe. Berlin, Beuth, 2002
[DRE-05]	Drew, John; Blair McCallum; Stefan Roggenhofer: Unternehmen Lean. Schritte zu einer neuen Organisation. Frankfurt a.M./New York: Campus Verlag, 2005 (ISBN 3-593-37651-2)
[DÜR-01]	Dürschmidt, Stephan: Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion. München: Lutz, 2001
[EHR-03]	Ehrmann, Harald; Olfert, Klaus (Hrsg.): Logistik. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage. Ludwigshafen (Rhein): Kiehl, 2003
[EN 12777]	Europäische Norm 12777: In: Arnold, D.: Skript zur Vorlesung Logistik. Ergänzungsblatt Nr.1. Universität Karlsruhe (TH), Institut für Fördertechnik und Logistiksysteme, 1998
[EN 9000]	Norm DIN EN ISO 9000:2000 1995-08
[ERL-07]	Erlach, Klaus: Wertstromdesign : Der Weg zur schlanken Fabrik. Berlin u. a.: Springer, 2007

[FIS-04]	Fischer, W.; Dittrich, L.: Materialfluss und Logistik : Potentiale vom Konzept bis zur Detailauslegung. 2., erweiterte Auflage. Berlin/Heidelberg/New York: Springer Verlag, 2004
[FOR-61]	Forrester, J.: Industrial Dynamics. New York: MIT Press; Wiley, 1961
[GAB-88]	Gabler Wirtschafts-Lexikon 10. Auflage, 6 Bände Wiesbaden, 1988
[JAB-99]	Jablonski, S.; Böhm, M.; Schulze, W.: Workflow-Management : Entwicklung von Anwendungen und Systemen – Facetten einer neuen Technologie. Korrigierter Nachdruck. Heidelberg: dpunkt, 1999
[JÜN-00]	Jünemann, R.; Schmidt, T.: Materialflusssysteme : Systemtechnische Grundlagen. In: Jünemann, R.; Pfohl, H.-C. (Hrsg.): Logistik in Industrie, Handel und Dienstleistungen. 2. Auflage. Berlin u. a.: Springer, 2000
[JÜN-89]	Jünemann, Reinhardt: Materialfluss und Logistik, Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispiele. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1989
[KÖN-04]	Königsberger, Konrad: Analysis I. 6.Aufl. Berlin Heidelberg: Springer, 2004
[KOT-97]	Kotzab, Herbert: Neue Konzepte der Distributionslogistik von Handelsunternehmen. 1. Auflage. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 1997
[KRÄ-92]	Krämer, Marnie B.: Der Beitrag der Logistik zum Erreichen strategischer Erfolgspositionen. Bamberg: Difo-Druck GmbH, 1992 (Diss.-Nr. 1376) St. Gallen , Univ., Institut für BWL, Diss., 1992
[KRA-96]	Krallmann, H. (Hrsg.): Systemanalyse im Unternehmen : Geschäftsprozessoptimierung, partizipative Vorgehensmodelle, objektorientierte Analyse. 2. Auflage. München u. a.: Oldenbourg, 1996
[KUH-02]	Kuhn, Axel; Hellingrath, Bernd: Supply Chain Management : Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette. Berlin u. a.: Springer, 2002
[LEE-97]	Lee-Hau, L.; Padmanabhan, V.; Whang, Seungjin: Information Distortion in a Supply Chain : The Bullwhip Effect. In: Management Science, 43 (1997) Nr. 4, S. 546-558
[LIK-06]	Liker, Jeffrey K.: Der Toyota Weg : 14 Managementprinzipien des weltweit erfolgreichsten Automobilkonzerns. 1. Auflage. München: FinanzBuch Verlag, 2006
[LIP-93]	Von der Lippe, Peter: Deskriptive Statistik. Stuttgart: UTB, 1993
[MON-93]	Monden, Yasuhiro: Toyota Production System : An Integrated Approach to Just-In-Time. 2. Auflage. Norcross: Institute of Industrial Engineers, 1993
[MOR-99]	Moritz, Andreas: Verfahren zur simulationsgestützten Regelung der Kanban-Steuerung bei dynamischen Bedarfen. Aachen, RWTH, Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Diss., 1999

[MOT-82]	Motobayashi, K.: Materialflussbegleitkarten zur Produktionssteuerung. In: Werkstatt und Betrieb (1982), 115. Jahrgang, Nr. 2, S.109-110
[OEL-00]	Oeltjenbruns, Henning; Bracht, Uwe: Organisation der Produktion nach dem Vorbild Toyotas. Institut für maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit. Aachen, RWTH, Diss., 2000
[OHN-93]	Ohno, Taiichi : Das Toyota-Produktionssystem. Frankfurt am Main: Campus Verlag, 1993, ISBN: 3-593-37801-9
[PFO-04]	Pfohl, Hans-Christian: Logistiksysteme : Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 7., korrigierte und aktualisierte Auflage. Berlin u. a.: Springer, 2004
[PHI-99]	Philippson, Clemens (Hrsg.), u. a.: Marktspiegel Supply Chain Management Software. 1. Auflage. Aachen: Forschungsinstitut für Rationalisierung, 1999
[REC-01]	Reuter, Christian: Die Aufgaben der Logistik im Simultaneous Engineering Prozess. Karlsruhe, Universität Karlsruhe (TH), Institut für Industriebetriebslehre und Industrielle Produktion (IIP), Diplomarbeit, 2001
[REC-07]	Reuter, Christian: Schlanke Logistik bei fischer : Eine Schlüsselfunktion der Produktivität. In: Westkämper, E.; Verl, A.: Auftragsmanagement ohne Verschwendung : Reserven mobilisieren, Durchsatz erhöhen. 12. Stuttgarter PPS-Seminar und Workshop F 151, 27. und 28. September 2007, Stuttgart. Stuttgart : FpF – Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung e. V., 2007, S. 74-86
[RHO-91]	Rhode, V. F.: MRP II und Kanban als Bestandteil eines kombinierten PPS-Systems. Fuchsstadt: Wilfer Verlag, 1991
[ROE-85]	Roell, Jan Stefan: Das Informations- und Entscheidungssystem der Logistik: Eine empirische Untersuchung in der Investitionsgüterindustrie. Frankfurt - Bern - New York: Peter Lang, 1985 (Europäische Hochschulschriften Reihe 5: Volks- und Betriebswirtschaft Band 623)
[SCH-00]	Schumacher, R.; Wenzel, Sigrid : Der Modellbildungsprozess in der Simulation. In: Wenzel, Sigrid (Hrsg.): Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik. Gent u. a.: SCS-Europe BVBA, 2000, S.5-11
[SCH-02]	Schönsleben, Paul: Integrales Logistikmanagement: Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin u. a.: Springer, 2002
[SCH-05]	Schulte, Christof: Logistik – Wege zur Optimierung der Supply Chain. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage. München: Franz Vahlen, 2005 (ISBN 3-800-63093-1)
[SCH-05a]	Scharf, Till: Möglichkeiten und Grenzen der „Schlanken Produktion“ in der Fertigung und Untersuchung der Übertragbarkeit auf die Kunststoffverarbeitung. Clausthal, Technische Universität, Diss., 2005

[SCH-06]	Schuh, Günther (Hrsg.): Produktionsplanung und Steuerung : Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 3. Auflage. Berlin u. a.: Springer, 2006
[SCH-86]	Schwarting, Carsten: Optimierung der ablauforganisatorischen Gestaltung von Kommissioniersystemen. 1. Auflage. München: Huss Verlag, 1986
[SCH-88]	Scheja, Günter; Storch, Uwe: Lehrbuch der Algebra Teil 2., Stuttgart: Teubner, 1988
[SPA-02]	Spath, Dieter; Rasch, Daniel: Wandlungsfähigkeit und Planung von Fabriken. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 97 (2002), Nr. 1-2, S. 28-32
[SPA-03]	Spath, Dieter (Hrsg.): Ganzheitlich produzieren. Innovative Organisation und Führung. Stuttgart: LOG_X Verlag, 2003 (ISBN 3-932298-22-5)
[SUZ-89]	Suzaki, Kiyoshi: Modernes Management im Produktionsbetrieb : Strategien, Techniken, Fallbeispiele. München u. a.: Hanser Verlag, 1989
[SUZ-94]	Suzaki, Kiyoshi : Die ungenutzten Potenziale – Neues Management im Produktionsbetrieb. München/Wien: Hanser Verlag, 1994
[TAK-02]	Takeda, Hitoshi: Das synchrone Produktionssystem. Just – In – Time für das ganze Unternehmen. 3. Auflage. München: Redline Wirtschaft bei Verlag Moderne Industrie, 2002
[TAK-96]	Takeda, Hitoshi: Das System der Mixed Production, Landsberg: Verlag Moderne Industrie, 1996 (ISBN 3-478-91480-9)
[TAK-96a]	Takeda, Hitoshi: Automation ohne Verschwendung. Landsberg: Verlag Moderne Industrie, 1996
[TEM-99]	Tempelmeier, Horst: Material-Logistik: Modelle und Algorithmen für die Produktionsplanung und –steuerung und das Supply Chain Management. 4. Auflage. Berlin/Heidelberg: Springer, 1999
[TEN-03]	ten Hompel, M.; Schmidt, T.: Warehouse Management : Automatisierung und Organisation von Lager- und Kommissioniersystemen. 1. Auflage. Berlin u. a.: Springer, 2003
[THA-03]	Thaler, Klaus : Supply Chain Management : Prozessoptimierung in der logistischen Kette. 4., aktualisierte und erweiterte Auflage. Köln: Fortis im Bildungsverlag EINS GmbH, 2003 (ISBN 3-933430-53-4)
[TÜR-86]	Türke, Dieter: Das KANBAN-System aus Japan oder wie man fast lagerlos fertigt. 4. Auflage. Nürnberg: Verlag Wissen + Praxis, 1986
[VDI-3633]	Verein Deutscher Ingenieure (VDI) e.V. (Hrsg.): VDI-Richtlinie 3633: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Grundlagen. In: VDI-Handbuch Materialfluss und Fördertechnik: Materialfluss II. Berlin: Beuth, 2000 (Band 8)
[WAL-96]	Walter, U.: Computergestützte Planung der Variantenvielfalt von Produktfamilien in Industriebetrieben. Bamberg, Universität, Diss., 1996

[WEB-87]	Schulze, L.; Weber, U.: Die Einbindung konventioneller Flurförderzeuge in ein CIM-Konzept. In: Der Betriebsleiter (1987), Nr. 4, S.12-18
[WEG-93]	Wegner, Ullrich: Organisation der Logistik., Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1993
[WES-00]	Westkämper, E.; Zahn, E.; Balve, P.; Tilebein, M.: Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen - ein Bezugsrahmen für die Unternehmensentwicklung im turbulenten Umfeld. In: Wt Werkstatttechnik 90 (2000), Nr. 1-2, S. 22-26
[WES-06]	Westkämper, Engelbert: Produktion – Wandlungsfähigkeit in der industriellen Produktion. München: TCW Transfer-Centrum GmbH & Co. KG, 2006 (TCW-report; Nr.44)
[WES-06a]	Westkämper, Engelbert (Hrsg.): Einführung in die Organisation der Produktion. Berlin: Springer, 2006
[WES-06b]	Schuh, Günther; Westkämper, Engelbert: Liefertreue im Maschinen- und Anlagenbau: Stand - Potentiale – Trends. Aachen – Stuttgart: Studienergebnisse des FIR, IPA, WZL, 2006
[WES-98]	Westkämper, Engelbert; Balve, P.; Wiendahl, H.-H.: Auftragsmanagement in wandlungsfähigen Unternehmensstrukturen - Anforderungen und Ansätze: In: PPS-Management 3 (1998), Nr. 1, S. 22-26
[WIE-02]	Wiendahl, Hans-Peter (Hrsg.): Erfolgsfaktor Logistikqualität : Vorgehen, Methoden und Werkzeuge zur Verbesserung der Logistikleistung. 2. Auflage. Berlin u. a.: Springer, 2002
[WIE-06]	Wiendahl, Hans-Hermann: Schlanke Auftragsmanagement : Anforderungen, Lösungen, Stolpersteine. In: Westkämper, E.; Schraft, R.: Schlanke Auftragsmanagement : Lean-Ansätze versus klassische PPS. 11. Stuttgarter PPS-Seminar F 134, 28. und 29. September 2006, Stuttgart. Stuttgart : FpF – Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung e. V., 2006, S. 7-19
[WIE-07]	Wiendahl, Hans-Hermann: Schlanke Planung und Steuerung : Die Bedeutung der Lean-Prinzipien für das Auftragsmanagement. In: Westkämper, E.; Verl, A.: Auftragsmanagement ohne Verschwendung : Reserven mobilisieren, Durchsatz erhöhen. 12. Stuttgarter PPS-Seminar und Workshop F 151, 27. und 28. September 2007, Stuttgart. Stuttgart : FpF – Verein zur Förderung produktionstechnischer Forschung e. V., 2007, S. 87-97
[WIL-90]	Wildemann, H.: Das Just-in-Time-Konzept : Produktion und Zulieferung auf Abruf. 2., neu bearbeitete Auflage. München: gmft Verlag, 1990
[WÖH-96]	Wöhe, Günter; Döring, Ulrich (Mitarb.): Einführung in die allgemeines Betriebswirtschaftslehre. 19., Neubearb. Aufl. München: Vahlen, 1996
[WOM-96]	Womack, James P.; Jones, Daniel T.: Lean Thinking: Banish waste and create Wealth in your Corporation. New York: Simon & Schuster, 1996

[WOM-98]	Womack, James P; Jones, Daniel T.: Auf dem Weg zum perfekten Unternehmen. Frankfurt/New York: Campus, 1998
[ZIM-88]	Zimmermann, Gero: Produktionsplanung variantenreicher Erzeugnisse mit EDV. Berlin u. a.: Springer, 1988 (Betriebs- und Wirtschaftsinformatik 30)

Lebenslauf des Autors

Persönliche Daten	Name	Christian Reuter	
	Geboren am	24. Februar 1975	
	Familienstand	verheiratet, 1 Kind	
Schulische Ausbildung / Wehrdienst	09/85 - 06/94	Staatliches Albert-Schweitzer-Gymnasium, Kaiserslautern Allgemeine Hochschulreife	
	07/94 - 06/95	Wehrdienst	
Universitäre Ausbildung	10/95 - 04/01	Studium des Wirtschaftsingenieurwesens (Diplom) Vertiefungsrichtung Unternehmensführung / Unternehmensplanung, Universität Karlsruhe (TH)	
	10/00 - 04/01	Diplomarbeit: Die Aufgaben der Logistik im Simultaneous Engineering Prozess – dargestellt am Beispiel der Dr. Ing. h. c. F. Porsche AG, Stuttgart	
	01/06 - 05/09	Erarbeitung einer Dissertation zum Thema „Logistikrelevante Lösungen auf der Basis von Lean-Management bei kleinen Losgrößen und hoher Variantenvielfalt“, Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart	
Praktische Arbeits- erfahrungen	06/01 - 09/03	Anstellung als Berater im Bereich „Schlanke Produktion und Logistik“, Porsche Consulting GmbH, Stuttgart	
	10/03 - 12/05	Hauptabteilungsleiter Logistik und Ordermanagement fischerwerke Artur Fischer GmbH & Co. KG, Waldachtal	
	01/06 - 06/06	Mitglied der Geschäftsleitung Zusätzliche Leitung der Bereiche Produktionsverbund, Internationaler Einkauf und Qualitätsmanagement fischerwerke Artur Fischer GmbH & Co. KG, Waldachtal	
	07/06 - 12/07	Geschäftsführer Entwicklung / Kundenversorgung fischerwerke Artur Fischer GmbH & Co. KG, Waldachtal	
	01/08 - 08/08	Prokurist, Leitung Produktionssystem Freudenberg Dichtungs- und Schwingungstechnik GmbH & Co. KG, Weinheim	
	Seit 09/08	Prokurist, Direktor Leadcenter Simmerringe Europa Freudenberg Simmerringe GmbH & Co. KG, Weinheim	
Zusätzliche Qualifikationen	Seit 2006	Gastdozent im Rahmen des Executive MBA für Technologie- manager der RWTH Aachen und der Universität St. Gallen (HSG)	
	07/02 - 10/06	Mitglied des Aufsichtsrates Deutsche Reihenhaus AG, Kaiserslautern	
	Sprachen	Englisch (sehr gute Kenntnisse in Wort und Schrift) Französisch (Grundkenntnisse)	
	Sonstiges	Führungsseminare, Rhetorik, Japanreisen	

