

**Entwicklung einer ganzheitlichen methodengestützten Vorgehensweise zur
Gestaltung von Distributionsnetzwerken**

-

**Ein Ansatz für die Entwicklung einer Koordinationsmethodik zum
Interessenausgleich zwischen Bestands- und Transportmanagement in
Distributionsnetzwerken**

Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften,
Abteilung Maschinenbau und Verfahrenstechnik der
Universität Duisburg-Essen
zur Erlangung des akademischen Grades

einer

Doktorin der Ingenieurwissenschaften

Dr.-Ing.

genehmigte Dissertation

von

M. Sc. Hua Sheng

aus

Shanghai

Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Noche
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nina Vojdani

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Mai 2015

Vorwort

Heutzutage erstrecken sich Distributionsnetzwerke von den Produzenten über die Zentralläger und Regionalläger bis hin zu allen Endkunden und werden umfassender betrachtet als früher. Durch die Erweiterung der Produktsortimente und die verteilten Standorte der einzelnen Akteure hat der Grad der Vernetzung zwischen den Distributionsnetzwerken zugenommen. Hoher Vernetzungsgrad der Logistiknetzwerke, Globalisierung, Produktvielfalt, Entwicklung der Technik, Individualisierung der Kundenansprüche sowie dynamische Marktentwicklung sind alles aktuelle Trends, die zu intensiverem Wettbewerb führen und damit immer höhere Anforderungen an die Logistik stellen. Die Logistik hat sich zu einer spezifischen Konzeption der Unternehmensführung entwickelt und ist in vielen Branchen zu einem entscheidenden Erfolgsfaktor geworden (Delfmann, 1999) (Roger, 2010).

Im gesamten Distributionsnetzwerk sind gut ausgelastete Lieferkanäle und alternative Distributionswege nicht nur aus Kostengründen, sondern auch aufgrund flexibilitätsbezogener Vorteile angesagt. Allerdings ist die Frage, ob und inwiefern solche Distributionsstrategien wirklich sinnvoll sind, nicht leicht zu beantworten. Weiterhin tragen heutzutage auch stark schwankende Faktoren wie Marktbedarf, Kostensätze, etc. zu einem äußerst komplexen und dynamischen Distributionssystem bei. Die Kunden erwarten von den Produktionsunternehmen immer mehr Leistungen und immer höhere Flexibilität bei möglichst niedrigen Preisen. Die Kunden sind individueller, weniger berechenbar und kritischer gegenüber den Produkten geworden; dazu kommt noch ein gestiegenes Umweltbewusstsein (Wannenwetsch, 2004). Aus all diesem lässt sich erkennen, dass es für Unternehmen eine große Herausforderung darstellt, ihre Distributionsnetzwerke stets kostenminimiert, leistungsfähig und mit großer Flexibilität zu planen und zu realisieren, um ihre unternehmerischen Kompetenzen zielorientiert und kundenorientiert erweitern zu können.

Die Finanzkrise verstärkt den Druck auf die Unternehmen, ihre Gesamtkosten weiter zu senken. Dazu gehören natürlich auch die Logistikkosten, welche einen entscheidenden Teil der gesamten Unternehmenskosten ausmachen und in der strategischen Planung über einen weiteren beträchtlichen Spielraum für Kostensenkung verfügen.

In der vorliegenden Arbeit werden mithilfe eines Simulationsinstruments die dynamischen Zusammenhänge zwischen Transport- und Bestandsmanagement im gesamten Distributionsnetzwerk nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ untersucht. Damit kann diese Arbeit Distributionsplanern als wertvolle Unterstützung für eine erfolgreiche strategische und ganzheitliche Logistikplanung dienen.

Danksagung

Mit der Fertigstellung dieser Dissertationsschrift endet zugleich ein wichtiger Abschnitt in meinem Leben. An dieser Stelle möchte ich mich bei vielen Personen bedanken, die mich bei der Durchführung meines Promotionsvorhabens sowie bei der Erstellung dieser Arbeit sehr unterstützt haben.

Mein persönlicher Dank gilt in erster Linie meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr.-Ing. Bernd Noche, der mich während meiner Dissertation begleitete. Für sein meiner Arbeit entgegengebrachtes Vertrauen, für seine Unterstützung meiner Forschungsarbeiten sowie für seine wertvollen Anregungen zu Inhalt und Struktur dieser Arbeit bedanke ich mich recht herzlich. Zudem bedanke ich mich bei Herrn Professor Dr.-Ing. Andrés Kecskeméthy für den Vorsitz der Prüfungskommission und bei Frau Professor Dr.-Ing. Nina Vojdani für die Übernahme des Koreferats und das Interesse an meiner Arbeit.

Des Weiteren möchte ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Lehrstuhls Transportsysteme und -logistik an der Universität Duisburg-Essen für die sehr gute und freundschaftliche Zusammenarbeit herzlich bedanken. Besonders hervorheben möchte ich dabei meinen ehemaligen Bürokollegen Herrn Frank Marrenbach, der mich durch viele fachliche Gespräche unterstützte und mir bei meinen Forschungstätigkeiten immer mit Rat und Tat zur Seite stand.

Weiterhin möchte ich mich ganz herzlich bei Herrn Thomas Roll von der SDZ GmbH für die freundliche Unterstützung bei der Anpassung und Erweiterung der Simulationsmodelle bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Frau Sonnhild Namingha für das gewissenhafte Korrekturlesen dieser Arbeit.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, für ihre langjährige und bedingungslose Unterstützung in allen Lebenslagen. Schließlich danke ich von ganzem Herzen meinem Ehemann, der mich in all meinen Vorhaben unterstützt und mir während meiner Promotionszeit starken Rückhalt gegeben hat.

Forstern, im März 2014

Hua Sheng

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	II
DANKSAGUNG	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IX
TABELLENVERZEICHNIS	XIII
1. EINFÜHRUNG	- 1 -
1.1 Ausgangssituation und Problemstellung.....	- 1 -
1.2 Zielsetzung und Aufgabenstellung	- 2 -
1.3 Aufbau der Arbeit	- 4 -
2. STAND DER WISSENSCHAFT	- 7 -
2.1 Definition, Funktion, Aufgaben und Ziele der Logistik.....	- 7 -
2.2 Definition, Aufgaben, Ziele und Elemente der Distributionslogistik	- 9 -
2.3 Begriffe, Hauptthemen, Aufgaben, Ziele und Optimierungspotenziale von Supply Chain Management.....	- 12 -
2.4 Grundlagen von Transportmanagement und Lagerbestandsmanagement	- 21 -
2.5 Zielkonflikte im Distributionsnetzwerk.....	- 22 -
2.6 Forschungen in den Bereichen Transport- und Bestandsmanagement im Distributionsnetzwerk...	- 27 -
2.7 Abgrenzungen des Forschungsbereiches dieser Arbeit.....	- 30 -
3. BESTANDSMANAGEMENT UND TRANSPORTMANAGEMENT	- 32 -
3.1 Bestandsmanagement	- 32 -
3.2 Transportmanagement.....	- 36 -
3.3 Logistikleistung und Logistikkosten als Zielgrößen im Distributionsnetzwerk	- 40 -

4. DISTRIBUTIONSNETZWERK EINES UNTERNEHMENS DER KONSUMGÜTERINDUSTRIE.....	- 44 -
4.1 Einführung des Distributionsnetzwerks.....	- 44 -
4.2 Distributionsstruktur und -kosten	- 46 -
4.3 Paletten.....	- 48 -
4.4 Teillieferungen	- 48 -
4.5 Verallgemeinerte Rahmenbedingungen	- 49 -
4.6 Besonderheit / Schwierigkeit bei der Planung des Distributionsnetzwerks in dieser Arbeit	- 50 -
5. ALLGEMEINE LOGISTIKKOSTEN IN EINEM DISTRIBUTIONSNETZWERK.....	- 52 -
5.1 Transportkosten	- 52 -
5.2 Lagerhaltungskosten.....	- 53 -
5.3 Handhabungskosten	- 56 -
5.4 Auftragskosten	- 57 -
5.5 Fehlmengenkosten.....	- 57 -
6. ENTWICKLUNG EINER KOORDINATIONSMETHODIK ZUR GANZHEITLICHEN OPTIMIERUNG DES BESTANDS- UND TRANSPORTMANAGEMENTS IM DISTRIBUTIONSNETZWERK	- 59 -
6.1 Anforderungen an die Koordinationsmethodik und Gründe für ein Simulationsinstrument.....	- 59 -
6.2 Zielsetzung der Simulation	- 61 -
6.3 Auswirkungen der Unsicherheitsfaktoren	- 61 -
6.4 Beschreibungen des Simulationsinstruments	- 62 -
6.5 Abläufe der Simulation	- 64 -
7. VALIDIERUNG DES SIMULATIONSMODELLS.....	- 66 -
7.1 Experiment mit 0% Bündelungsgrad (nur Direktlieferung)	- 66 -
7.2 Experiment mit 100% Bündelungsgrad (ohne Direktlieferung)	- 67 -

8. SIMULATIONSEXPERIMENTE	- 71 -
8.1 Unterteilungskriterien der Experimente	- 71 -
8.2 Vorstellung der Experimentiergruppen	- 71 -
8.3 Erklärung der Namen verschiedener Experimentiergruppen	- 74 -
8.4 Bewertungskriterien des Distributionsnetzwerks	- 75 -
9. EXPERIMENTIERGRUPPE: KEIN RESIDUAL-STOCK.....	- 77 -
9.1 Vorstellung und Realisierung von Szenarien mit verschiedenen Lieferstrategien	- 77 -
9.2 Ergebnisse: Kostensplitt und Analyse	- 80 -
9.3 Analyse von drei Varianten	- 87 -
9.4 Frachtkostenanalyse	- 90 -
10. EXPERIMENTIERGRUPPE: AX-, BX- UND AY-ARTIKEL ALS RESIDUAL-STOCK	- 97 -
10.1 ABC- und XYZ-Analysen.....	- 97 -
10.2 Vorstellung und Realisierung von Szenarien mit verschiedenen Lieferstrategien	- 107 -
10.3 Ergebnisse: Kostensplitt, fester LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-RL), unterschiedlicher Bündelungsgrad.....	- 111 -
10.4 Ergebnisse: Kostensplitt, fester Bündelungsgrad, unterschiedlicher LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-RL).....	- 114 -
10.5 Analyse der Experimentiergruppe	- 119 -
11. EXPERIMENTIERGRUPPE: ALLE ARTIKEL ALS RESIDUAL-STOCK	- 121 -
11.1 Vorstellung und Analyse von Szenarien mit verschiedenen Lieferstrategien	- 121 -
11.2 Ergebnisse: Kostensplitt, fester LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-RL), unterschiedlicher Bündelungsgrad.....	- 121 -
11.3 Ergebnisse: Kostensplitt, fester Bündelungsgrad, unterschiedlicher LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-RL).....	- 124 -
11.4 Stabilitätsanalyse des Lagerbestands im RL	- 128 -

12. EXPERIMENTIERGRUPPE: A- UND B-ARTIKEL ALS RESIDUAL-STOCK	- 135 -
12.1 Vorstellung und Kostenvergleich dieser Lieferstrategie mit verschiedenen Grenzwerten der AB-Artikel in der ABC-Analyse	- 135 -
12.2 Kostenvergleich verschiedener Experimentiergruppen mit Residual-Stock	- 139 -
12.3 Ergebnisse: Kostensplitt und Analyse	- 139 -
13. EXPERIMENTIERGRUPPE: TEILWEISE MIT AB-ARTIKELN ALS RESIDUAL-STOCK (GEMISCHTE LÖSUNG)	- 144 -
13.1 Kostensplitt von MohneDy%, fester Bündelungsgrad, unterschiedlicher LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-8RL).....	- 144 -
13.2 Kostensplitt von MohneDy% mit veränderten Kostensätzen.....	- 147 -
13.3 Kostensplitt von M10%y%, fester Bündelungsgrad, unterschiedlicher LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-5RL).....	- 149 -
13.4 Vergleich der Experimentiergruppen MohneDy% und M10%y%	- 153 -
14. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	- 160 -
14.1 Kostenvorteile durch Transportbündelung.....	- 160 -
14.2 Experimentiergruppen mit Residual-Stock.....	- 161 -
14.3 Frachtsatzverlauf und Kostenvorteile durch Transportbündelung und Residual-Stock	- 164 -
14.4 Ausblick	- 165 -
LITERATURVERZEICHNIS	- 166 -
GLOSSAR	- 176 -
ANHANG	- 178 -
Anhang I Eingabedaten des Simulationsmodells.....	- 178 -
Eingabedaten des Simulationsmodells aus externen Dateien	- 178 -
Eingabedaten des Simulationsmodells in den Parametermasken	- 182 -
Anhang II Ausgabedaten des Simulationsmodells.....	- 188 -

Anhang III Füllgrad des Transportmittels..... - 189 -
Anhang IV Parametereinstellungen für das Simulationsmodell - 190 -

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau und Gliederung der Dissertation	- 6 -
Abbildung 2: Hauptziel der Logistik (Fortmann, et al., 2000)	- 8 -
Abbildung 3: Aufgaben der Distributionslogistik (Binner, 2002)	- 10 -
Abbildung 4: Ziele der Distributionslogistik (Binner, 2002)	- 11 -
Abbildung 5: Elemente der Distributionslogistik (Filz, 1989)	- 12 -
Abbildung 6: Verständnis von Supply Chain Management in der Literatur	- 14 -
Abbildung 7: Entwicklungsphase der Logistik und Herausstellung des Supply Chain Managements (Göpfert, 2004)	- 15 -
Abbildung 8: Hauptthemen des Supply Chain Managements (Simchi-Levi, et al., 2004 S. 17)	- 17 -
Abbildung 9: Optimierungspotenziale der Supply Chain	- 19 -
Abbildung 10: Zielkonflikte im Materialmanagement (Schulte, 2001)	- 23 -
Abbildung 11: Ziele und Zielkonflikte in der Distributionslogistik (Wannenwetsch, 2004) (Fleischmann, et al., 2002)	- 24 -
Abbildung 12: Ziele bzw. Zielkonflikte und Gegenmaßnahmen in der Distributionslogistik (Eigene Darstellung)	- 25 -
Abbildung 13: Ganzheitliche Modellierung in der Supply Chain (Min, et al., 2002)	- 27 -
Abbildung 14: Bestellmenge und Bestellintervall	- 34 -
Abbildung 15: Distributionsstrategie mit 100%igem LKW-Füllgrad; der LKW wird mit Residual-Stock voll aufgefüllt	- 38 -
Abbildung 16: Argumente pro (richtig dimensioniert) und contra (falsch dimensioniert) Residual-Stock (Eigene Darstellung)	- 38 -
Abbildung 17: Beispiel für Cycle-Stock	- 39 -
Abbildung 18: Zusammenhang zwischen logistischen Zielgrößen und Logistikkosten, vgl. dazu (Kuhn, 1995) (Nyhuis, et al., 2012 S. 10)	- 41 -
Abbildung 19: Zusammenhang von Residual-Stock, Transportbündelung, etc. (Eigene Darstellung)	- 43 -
Abbildung 20: Anzahl der Artikel in den drei Zentrallägern	- 44 -
Abbildung 21: Anzahl Artikel pro RL	- 46 -
Abbildung 22: Distributionsstruktur des Unternehmens im Fallbeispiel	- 47 -
Abbildung 23: Vergleich der beiden Lieferstrategien	- 49 -
Abbildung 24: Fehlmengenkosten (Weber, 1990)	- 57 -
Abbildung 25: Interaktion zwischen DOSIMIS-3, DLL, Excel, Access, VBA und Textdateien	- 62 -
Abbildung 26: Distributionsnetzwerk ExpB0%	- 66 -
Abbildung 27: Transportkosten der Direktlieferung, ExpB0%	- 67 -
Abbildung 28: Liefermenge (in PP) in der Direktlieferung, ExpB0%	- 67 -
Abbildung 29: Distributionsnetzwerk ExpBohneD	- 68 -
Abbildung 30: Erklärung der Namen verschiedener Experimentiergruppen	- 74 -
Abbildung 31: Lieferung nur nach Kundenbestellung, es wird kein Residual-Stock mitgeliefert und der LKW wird nicht aufgefüllt	- 77 -
Abbildung 32: Parametermaske „Lagersteuerung“ bei einem Experiment ohne Residual-Stock	- 78 -
Abbildung 33: Parametermaske „globale Einstellungen“ bei einem Experiment ohne Residual-Stock	- 79 -

Abbildung 34: Kostenverlauf bei unterschiedlichem Bündelungsgrad bzw. Direktlieferungsanteil	- 80 -
Abbildung 35: Verlauf der Transportkosten bei unterschiedlichem Bündelungsgrad	- 81 -
Abbildung 36: Verlauf der LHK bei unterschiedlichem Bündelungsgrad	- 82 -
Abbildung 37: Verlauf der Gesamtlogistikkosten bei unterschiedlichem Bündelungsgrad	- 82 -
Abbildung 38: Kostenverlauf bei unterschiedlichem Bündelungsgrad, die LHK betragen bei der Variante B0% 0€	- 83 -
Abbildung 39: Kostenverlauf bei unterschiedlichem Bündelungsgrad	- 84 -
Abbildung 40: Verlauf der Transportkosten bei unterschiedlichem Bündelungsgrad	- 85 -
Abbildung 41: Verlauf der LHK bei unterschiedlichem Bündelungsgrad	- 85 -
Abbildung 42: Verlauf der Gesamtlogistikkosten bei unterschiedlichem Bündelungsgrad	- 86 -
Abbildung 43: PP-Anzahl in %, LKW-Füllgrad (aus 3 ZL direkt an Kunden) unter 10%, Variante B0% (nur Direktlieferung)	- 87 -
Abbildung 44: Anzahl der Fahrten in %, LKW-Füllgrad (aus 3 ZL direkt an Kunden) unter 10%, Variante B0% (nur Direktlieferung)	- 88 -
Abbildung 45: Anzahl der Fahrten in % nach PP-Anzahl in LKWs aus 3 ZL zu den 19 RL, Variante BohneD (Lieferungen nach Bedarf, ohne Direktlieferung)	- 89 -
Abbildung 46: Anzahl der Fahrten in % nach PP-Anzahl in LKWs aus 3 ZL zu den 19 RL oder Kunden, Variante B10%	- 90 -
Abbildung 47: Frachtsätze ZL1-Kunden	- 91 -
Abbildung 48: Frachtsätze ZL2-Kunden	- 91 -
Abbildung 49: Frachtsätze ZL3-Kunden	- 91 -
Abbildung 50: Frachtsatz aus ZL1 an allen 19 RL	- 93 -
Abbildung 51: Frachtsatz aus ZL2 an allen 19 RL	- 93 -
Abbildung 52: Frachtsatz aus ZL2 an drei RL	- 94 -
Abbildung 53: Frachtsatz aus ZL3 an allen 19 RL	- 94 -
Abbildung 54: Frachtsatz aus ZL2 zu einem RL	- 95 -
Abbildung 55: Frachtsatz aus drei ZL an RL6000	- 96 -
Abbildung 56: Grafische Darstellung der ABC-Analyse für RL3300	- 99 -
Abbildung 57: Grafische Darstellung der ABC-Analyse für RL8000	- 100 -
Abbildung 58: Mittlerer Artikelanteil in den A-, B- und C-Klassen	- 100 -
Abbildung 59: Mittlerer Artikelanteil in den X-, Y- und Z-Klassen	- 103 -
Abbildung 60: Mittlerer Artikelanteil in jeder Klasse	- 106 -
Abbildung 61: Parametermaske "Lagersteuerung" bei einem Experiment mit AX-, BX- und AY-Artikeln als Residual-Stock	- 109 -
Abbildung 62: Parametermaske "globale Einstellungen" bei einem Experiment mit AX-, BX- und AY-Artikeln als Residual-Stock	- 110 -
Abbildung 63: Verlauf der LHK der Experimentiergruppen Ax%5%, Ax%10%, Ax%50%, Ax%100% im Vergleich zur Experimentiergruppe Bx%	- 111 -
Abbildung 64: Verlauf der Transportkosten der Experimentiergruppen Ax%5%, Ax%10%, Ax%50%, Ax%100% im Vergleich zur Experimentiergruppe Bx%	- 113 -
Abbildung 65: Kostenverlauf bei steigendem LKW-Füllgrad (ZL-RL), Experimentiergruppen A5%y%, A10%y%, A50%y%, A100%y% und AohneDy%	- 115 -
Abbildung 66: LKW-Füllgrad ab den 3 ZL, ExpA50%5%	- 117 -
Abbildung 67: LKW-Füllgrad ab den 3 ZL, ExpA50%10%	- 117 -

Abbildung 68: LKW-Füllgrad ab den 3 ZL, ExpA50%50%	- 118 -
Abbildung 69: LKW-Füllgrad ab den 3 ZL, ExpA50%100%	- 119 -
Abbildung 70: Verlauf der LHK der Experimentiergruppen Allex%5%, Allex%10%, Allex%50% und Allex%100% im Vergleich zur Experimentiergruppe ExpBx%	- 122 -
Abbildung 71: Verlauf der Transportkosten der Experimentiergruppen Allex%5%, Allex%10%, Allex%50% und Allex%100% im Vergleich zur Experimentiergruppe ExpBx%	- 123 -
Abbildung 72: Verlauf der Transportkosten wie in der Abbildung 71, Extremwert wird gekappt	- 123 -
Abbildung 73: Kostenverlauf bei steigendem LKW-Füllgrad (ZL-RL)	- 125 -
Abbildung 74: Kostenvergleich zwischen den Varianten mit AX-, AY- und BX-Artikeln als Residual-Stock und den Varianten mit allen Artikeln als Residual-Stock	- 127 -
Abbildung 75: Verlauf der mittleren Lagerbestände eines RL in einem Jahr, min. Lagerbestand als Anfangsbestand der Simulation im RL	- 129 -
Abbildung 76: Verlauf der mittleren Lagerbestände eines RL in einem Jahr, max. Lagerbestand als Anfangsbestand der Simulation im RL	- 130 -
Abbildung 77: Kostenvergleich der Varianten mit max. oder min. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL	- 132 -
Abbildung 78: Verlauf der mittleren Bestände in einem RL, ExpAlleohneD10%, ExpBohneD	- 133 -
Abbildung 79: Vergleich der Transportkosten der Varianten AlleohneD10%, AlleohneD40%, ABohneD10%, ABohneD40 und BohneD	- 137 -
Abbildung 80: Vergleich der LHK der Varianten AlleohneD10%, AlleohneD40%, ABohneD10%, ABohneD40% und BohneD	- 137 -
Abbildung 81: Vergleich der Gesamtlogistikkosten der Varianten AlleohneD10%, AlleohneD40%, ABohneD10%, ABohneD40% und BohneD	- 138 -
Abbildung 82: Kostenverlauf der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zu den Varianten ohne Residual-Stock	- 140 -
Abbildung 83: Verlauf der Transportkosten der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zu den Varianten ohne Residual-Stock	- 141 -
Abbildung 84: Verlauf der LHK der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zu den Varianten ohne Residual-Stock	- 142 -
Abbildung 85: Verlauf der Gesamtlogistikkosten der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zu den Varianten ohne Residual-Stock	- 143 -
Abbildung 86: Kostenverlauf der gemischten Varianten und der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock	- 145 -
Abbildung 87: Verlauf der Transportkosten der gemischten Varianten und der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock	- 146 -
Abbildung 88: Verlauf der Transportkosten der gemischten Varianten im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock, veränderte Kostensätze	- 147 -
Abbildung 89: Verlauf der LHK der gemischten Varianten im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock, veränderte Kostensätze	- 148 -
Abbildung 90: Verlauf der Gesamtlogistikkosten der gemischten Varianten im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock, veränderte Kostensätze	- 148 -
Abbildung 91: Kostenverlauf der gemischten Varianten und der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock	- 150 -

Abbildung 92: Verlauf der Transportkosten der gemischten Varianten und der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock	- 151 -
Abbildung 93: Verlauf der LHK der gemischten Varianten und der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock	- 152 -
Abbildung 94: Verlauf der Gesamtlogistikkosten der gemischten Varianten und der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock	- 152 -
Abbildung 95: Verlauf des mittleren Lagerbestands im RL1000, ABohneD40%, AB10%10%	- 154 -
Abbildung 96: Verlauf des mittleren Lagerbestands im RL1600, ABohneD40%, AB10%10%	- 154 -
Abbildung 97: Verlauf des mittleren Lagerbestands im RL5000, ABohneD40%, AB10%10%	- 155 -
Abbildung 98: Verlauf des mittleren Lagerbestands im RL9000, ABohneD40%, AB10%10%	- 156 -
Abbildung 99: Verlauf des mittleren Lagerbestands im RL7500, ABohneD40%, ABohneD10%, AB10%10%	- 157 -
Abbildung 100: Verlauf des mittleren Lagerbestands im RL8000, ABohneD40%, ABohneD10%, AB10%10%	- 158 -
Abbildung 101: Parametermaske der Lagersteuerung eines ZL	- 183 -
Abbildung 102: Parametermaske der Lagersteuerung eines RL, ohne Residual-Stock	- 184 -
Abbildung 103: Parametermaske der Lagersteuerung eines RL, mit Residual-Stock	- 184 -
Abbildung 104: Parametermaske der globalen Einstellungen	- 186 -
Abbildung 105: Schnittstellen des Simulationsmodells	- 187 -

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Transportkosten und Liefermenge (in PP) in der Lieferung über das RL, ExpBohneD	- 69 -
Tabelle 2: Artikelanteil der A-, B- und C-Klassen in 19 RL	- 98 -
Tabelle 3: Artikelanteil der X-, Y- und Z-Klassen in 19 RL	- 102 -
Tabelle 4: Artikelanteil aller Klassen in den 19 RL	- 104 -
Tabelle 5: Mittlerer Artikelanteil aller Klassen	- 106 -
Tabelle 6: AX-, BX- und AY-Artikel im RL300	- 108 -
Tabelle 7: Transportkosten ab den 19 RL und den 3 ZL, ExpA50%y%	- 116 -
Tabelle 8: LKW-Fahrten ab den 3 ZL, ExpA50%y%	- 119 -
Tabelle 9: Mittlerer Artikelanteil in allen Klassen nach der ABC-XYZ-Analyse	- 136 -
Tabelle 10: Entfernung eines RL zu einigen Standorten seiner Kunden und Kundeninfo	- 178 -
Tabelle 11: Entfernung eines ZL zu einigen Standorten seiner Kunden und Kundeninfo	- 179 -
Tabelle 12: Entfernung des ZL zu den Standorten anderer ZL und ZL-Informationen	- 179 -
Tabelle 13: Entfernung eines ZL zu einigen Standorten der RL und RL-Informationen	- 179 -
Tabelle 14: Frachtsätze eines ZL an Kunden mit verschiedenen PLZ, Liefermenge 1 PP	- 180 -
Tabelle 15: Frachtsätze eines ZL an Kunden mit verschiedenen PLZ, Liefermenge 2 PP	- 180 -
Tabelle 16: Frachtsätze eines ZL an ein RL, Liefermenge 1-40 PP	- 181 -
Tabelle 17: Frachtsätze eines RL an Kunden, Liefermenge 1-9 PP	- 181 -

1. Einführung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Durch den immer intensiveren Zeitwettbewerb, die zunehmende Herausforderung weltweiter, arbeitsteiliger Wertschöpfungsnetzwerke, die Globalisierung und die Individualisierung der Absatzmärkte verstärkt sich der Leistungsdruck eines Unternehmens im Bereich Logistik zunehmend, und eine kompetente Logistik wird mehr und mehr zu einer strategischen Ressource. Logistik wird als wichtiger Wettbewerbs- und Kostenfaktor für jedes Unternehmen angesehen (Delfmann, 1999) (Wannenwetsch, 2004).

Mithilfe strategischer Planung lassen sich u.a. auch die Logistikkosten optimieren, welche einen entscheidenden Anteil an den Gesamtkosten eines Unternehmens darstellen. Hier besteht ein beträchtlicher Spielraum, d.h. es gibt große Verbesserungspotenziale im Sinne der nachhaltigen Kostensenkung, ohne dass das gewünschte Serviceniveau gesenkt werden müsste.

Nicht berechenbare Faktoren wie schwankender Marktbedarf oder die Höhe der Frachtsätze etc. üben einen zunehmenden Einfluss auf logistische Strategien und die Strukturen der Distributionsnetzwerke aus. Aufgrund solcher veränderlichen Rahmenbedingungen ist es für ein Unternehmen von beträchtlicher Bedeutung, sein Distributionsnetzwerk schnell anpassen zu können, sodass der Gewinn auf Dauer maximiert werden kann. Ein Distributionsplaner muss auf der vorgegebenen Grundlage entscheiden, welche logistische Netzwerkstruktur die Voraussetzung für die Optimierung der Transport-, Lagerhaltungs-, Handhabungs-, Auftrags- und evtl. Fehlmengenkosten ist. Ein Distributionsplaner muss ferner in der Lage sein, nicht nur die Auswirkungen unberechenbarer Faktoren schnell zu erkennen, sondern auch rechtzeitig Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Hierbei handelt es sich eindeutig um eine äußerst komplexe und dynamische Aufgabe.

Ein Unternehmen sichert sich gegen diese Unsicherheitsfaktoren zumeist mit Überkapazitäten bzw. Überbeständen ab. Einerseits ist dies mit hohen Logistikkosten verbunden, andererseits widersprechen solche Maßnahmen auch den Anforderungen an die Supply Chain, sich an Marktänderungen rasch anzupassen, den Peitscheneffekt zu reduzieren und die Lagerbestände in der Supply Chain zu minimieren.

Im Distributionsnetzwerk sind viele konfliktäre Kostenverläufe zu beobachten, wie z.B. die Lagerhaltungs-, Transport- oder Fehlmengenkosten. Eine größere Bestandsmenge in den

Regionallägern reduziert zukünftige Transportkosten im Distributionsnetzwerk. Dazu werden eventuelle Fehlmengenkosten vermieden, d.h. also, das gewünschte Kundenserviceniveau kann gewährleistet bzw. erhöht werden. Allerdings ist dies mit höheren Lagerkosten und Kapitalbindungskosten der Bestände verbunden. Eine optimale Distributionsstrategie soll für die Minimierung der Gesamtlogistikkosten im ganzen Distributionsnetzwerk sorgen. Statt sich nur auf einzelne Teile des Logistiksystems zu konzentrieren, muss ein Distributionsplaner stets das ganze Distributionsnetzwerk im Auge haben. Es erweist sich als nicht trivial, in einem einzelnen Logistikbereich wie dem Transport- oder Lagerprozess die logistischen Kosten zu optimieren und gleichzeitig das Lieferserviceniveau aufrechtzuerhalten. Diese Schwierigkeit erhöht sich exponentiell, wenn sich die Aufgabe auf das ganze dynamische Distributionsnetzwerk bezieht.

Diese ganzheitliche Betrachtungsweise wurde zwar in der Literatur bereits diskutiert, aber solche analytischen Darstellungen erfolgten bisher nur unter sehr einschränkenden Annahmen (Fleischmann, et al., 2002). Die Vielfalt, Individualität und Dynamik in der betrieblichen Praxis erfordert eine viel effizientere Vorgehensweise mit großer Flexibilität. Distributionsstrategien bezüglich des Residual-Stocks¹ sowie der Transportbündelung mit Multiprodukt² wurden sowohl in der Literatur als auch in der Praxis bislang kaum beachtet.

1.2 Zielsetzung und Aufgabenstellung

Ein Simulationsinstrument kann den Distributionsplaner bei den im vorherigen Kapitel erwähnten Herausforderungen entscheidende Unterstützung leisten und eine systemweite und dynamische Optimierung im kompletten Distributionsnetzwerk ermöglichen. Der Fokus der vorliegenden Dissertation verdichtet sich auf diese ganzheitliche und dynamische Optimierung der Transport- und Lagerprozesse mithilfe eines Simulationsinstruments, welches eine Minimierung der Gesamtlogistikkosten sowie die ganzheitliche Erhöhung der logistischen Leistungen im Distributionsnetzwerk ermöglicht.

Ziel der vorliegenden Dissertation ist die Entwicklung einer Kooperationsmethodik mithilfe eines Simulationsinstruments zum Interessensausgleich zwischen Bestands- und Transportmanagement

¹ Als Residual-Stock bezeichnet man die Transportmenge, die ohne Kundenbestellung und zugunsten von kostenminimierten Transportprozessen entsteht. Mehr zu Residual-Stock siehe Kapitel 3.2.

² Hierbei ist die Artikelanzahl viel größer als eins.

im ganzen Distributionsnetzwerk. Diese Methodik kann zur Lösung von Problemen in den folgenden anspruchsvollen Bereichen eines Distributionsnetzwerks beitragen:

1. Gestaltung eines komplexen dynamischen Distributionsnetzwerks sowie quantitative Bewertung seiner Leistungsfähigkeiten (Lagerhaltungs-, Transport- und Gesamtlogistikkosten) mit unterschiedlichem Bündelungsgrad
2. Quantitative Untersuchung der Kostenvorteile durch **Transportbündelung** (Begriff siehe Kapitel 3.2) mittels eines Fallbeispiels, d.h. Ermittlung des kostengünstigsten Bündelungsgrads sowie Analyse der Wirkzusammenhänge (Bündelungseffekt)
3. Testen und Vergleich der verschiedenen Distributionsstrategien mit Residual-Stock (Begriff siehe Kapitel 3.2), d.h. es wird getestet, ob **durch Residual-Stock Kostensenkungspotenzial** entsteht, sowie quantitative Bewertung der Experimentiergruppen mit unterschiedlichem Residual-Stock und Bündelungsgrad aus Sicht der Transport-, Lagerhaltungs- und Gesamtlogistikkosten unter vorgegebenen Rahmenbedingungen
4. Gründliche Untersuchung des logistischen Begriffs **Residual-Stock** und Auswahl geeigneter Artikelgruppen als Residual-Stock im Hauptlauf mit unterschiedlichem LKW-Füllgrad und Bündelungsgrad
5. Allgemeine Regeln zur **Sortiments- und Mengenentscheidung des Residual-Stocks** bzw. Entwicklung einer optimalen Distributionsstrategie mit Residual-Stock

Das Simulationsinstrument kann Produktionsunternehmen entscheidend dabei helfen, nicht nur die Auswirkungen unberechenbarer Faktoren schnell zu erkennen, sondern diese auch quantitativ zu beurteilen, um somit logistische Strategien rechtzeitig umzusetzen und die Logistikstruktur flexibel umzugestalten.

Im Zuge dieser Dissertation wird ein Simulationsmodell entworfen und es wird eine Methodik entwickelt, um die Gesamtlogistikkosten und die Leistungsfähigkeit verschiedener Distributionsstrategien für vorgegebene Distributionsnetzwerke quantitativ zu bewerten und monetär

zu vergleichen. Die Kostenvorteile durch Transportbündelung mit Multiprodukt³ werden mittels eines Fallbeispiels ausführlich untersucht. Das Kostenreduzierungspotenzial durch Residual-Stock wird intensiv erforscht. Schließlich werden die allgemeinen Regeln zur Sortiments- und Mengenentscheidung von Residual-Stock mit Multiprodukt ausgearbeitet.

1.3 Aufbau der Arbeit

Insgesamt enthält die Arbeit vierzehn Kapitel, die im Folgenden kurz zusammengefasst werden:

Kapitel eins präsentiert die Einführung der Arbeit. Darin werden die Ausgangssituation, Problemstellung, Zielsetzung, Aufgabenstellung sowie der Aufbau dieser Arbeit vorgestellt.

Im zweiten Kapitel wird ein Überblick über den Stand der Wissenschaft gegeben. Hierbei wird der Schwerpunkt besonders auf die Zielkonflikte und Koordination zwischen Bestands- und Transportmanagement im Distributionsnetzwerk gelegt. Es wird mit der Darlegung der Grundlage der bisherigen Forschungen aus der Literatur ein Verständnis für die Abgrenzung des Forschungsbereiches in dieser Arbeit geschaffen.

Im dritten Kapitel werden theoretische Aspekte über die Instrumente, Kennzahlen und Begriffe sowie die Abhängigkeiten der Parameter im Bestands- und Transportmanagement beschrieben.

Kapitel vier stellt das Distributionssystem eines Unternehmens der Konsumgüterindustrie vor. Die Kennzahlen und Parameter des Distributionssystems, also die Daten und Informationen bezüglich Produkte, Kunden, Distributionsstruktur, -kosten, etc. werden hier zusammengefasst. Insbesondere werden die verallgemeinerten Rahmenbedingungen und die Schwierigkeiten der Distributionsplanung in diesem Unternehmen erläutert.

In Kapitel fünf werden die allgemeinen Logistikkosten im Distributionsnetzwerk bzw. die Transport-, Lagerhaltungs-, Auftrags-, Handhabungs- sowie Fehlmengenkosten ausführlich dargestellt.

Kapitel sechs und sieben widmen sich der Vorstellung und Validierung des Simulationsmodells zur ganzheitlichen Optimierung des Bestands- und Transportmanagements.

³ Hierbei ist die Artikelanzahl viel größer als eins.

Kapitel acht konzentriert sich auf die Vorstellung und Unterteilung von fünf Experimentiergruppen sowie die Bewertungskriterien eines Distributionsnetzwerks.

In den Kapiteln neun bis dreizehn werden die fünf verschiedenen Experimentiergruppen bezüglich ihrer Transport- und Lagerhaltungskosten sowie bezüglich der Gesamtlogistikkosten und Leistungsfähigkeiten gründlich analysiert, monetär verglichen und bewertet. Im Anschluss wird der effizienteste Lösungsansatz ausgearbeitet.

Kapitel vierzehn fasst die Ergebnisse aller Experimentiergruppen zusammen und gibt einen Ausblick auf die weitere Forschungsarbeit.

Nachfolgend ist der Aufbau der Arbeit in Form eines Flussdiagramms grafisch dargestellt.

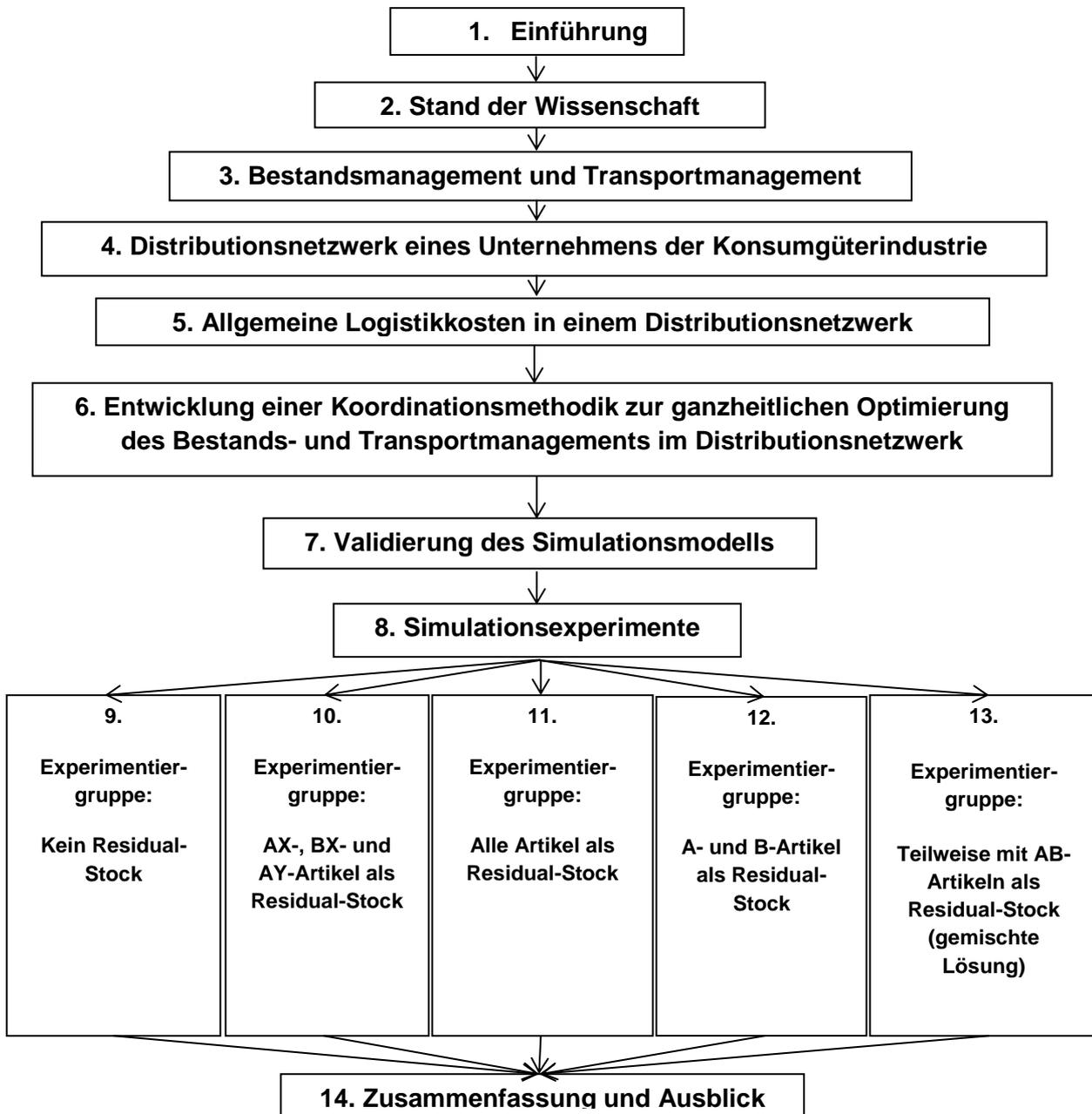


Abbildung 1: Aufbau und Gliederung der Dissertation

2. Stand der Wissenschaft

2.1 Definition, Funktion, Aufgaben und Ziele der Logistik

Logistik wird als ein wichtiger Wettbewerbs- und Kostenfaktor im Unternehmen angesehen (Wannenwetsch, 2004). In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Definitionen des Begriffs „Logistik“. Die unterschiedliche Verwendung der Logistikbegriffe beruht vornehmlich auf verschiedenen institutionellen und funktionellen Abgrenzungen von Logistiksystemen (Kleer, 1991). Logistik ist nach Ihde, Pfohl und Wildemann die zielgerichtete Überbrückung von Raum- und Zeitparitäten (Ihde, 2001) (Pfohl, 2010) (Wildemann, 2010). Nach Isermann ist Logistik die Gesamtheit aller Tätigkeiten, welche auf eine bedarfsgerechte Verfügbarkeit von Objekten, Personen, Sachgütern, Dienstleistungen, Informationen und Energie ausgerichtet ist (Isermann, 1998). Eine weitverbreitete Definition wurde von der amerikanischen Logistikgesellschaft „Council of Logistics Management (CLM)“ geprägt (CLM, 2004). Sie wurde von Pfohl wie folgt übersetzt:

„Logistik ist der Prozess der Planung, Realisierung und Kontrolle des effizienten, kosteneffektiven Fließens und Lagerns von Rohstoffen, Halbfabrikaten und Fertigfabrikaten und der damit zusammenhängenden Informationen vom Liefer- zum Empfangspunkt entsprechend den Anforderungen des Kunden (Freichel, 1992).“

Die o.g. Darstellung zeigt, dass Logistik sowohl die Tätigkeiten der Planung und Steuerung als auch die der Durchführung der Warenflüsse beinhaltet. Das heißt, die Funktion der Logistik besteht nicht nur im Management, sondern auch in der Realisierung effizienter unternehmensübergreifender Warenflüsse und der damit verbundenen Informationsflüsse zur anforderungsgerechten Versorgung von Kunden. Die Gesamtfunktion der Logistik lässt sich auf verschiedene Art und Weise in Teilfunktionen unterteilen. Neben den beiden Basisfunktionen der physischen Lagerung und des Transports gibt es Teilfunktionen wie Verpackung, Lagerhaltung und Auftragsabwicklung (Pfohl, 2004).

Die Logistikkonzeption ist nach Pfohl ein grundlegendes Denkmuster bzw. eine Denkgewohnheit der Problemwahrnehmung und -lösung, und die Realisierung der Logistikkonzeption wird in Forschung und Praxis als strategischer Schlüsselfaktor für die wettbewerbliche Positionierung der Unternehmen betrachtet (Ihde, 1991) (Freichel, 1992).

Die sechs Aufgaben der Logistik sind nach Jünemann, die richtige Menge der richtigen Objekte (Güter, Personen, Energie, Informationen) am richtigen Ort im System (Lieferant, Hersteller, Kunde,

Produktion etc.) zum richtigen Zeitpunkt (z.B. Just-in-Time) in der richtigen Qualität (fehlerfrei etc.) zu den richtigen Kosten (optimales Preis-Leistungs-Verhältnis) bereitzustellen (Ehrmann, 1997).

Hauptziel der Logistik ist nach Fortmann, wie in der folgenden Abbildung dargestellt, die Optimierung der Logistikeffizienz bzw. des Verhältnisses von System-Output zu System-Input.

Hauptziel der Logistik: Optimierung der Logistikeffizienz

Logistikeffizienz = Verhältnis von System-Output zu System-Input

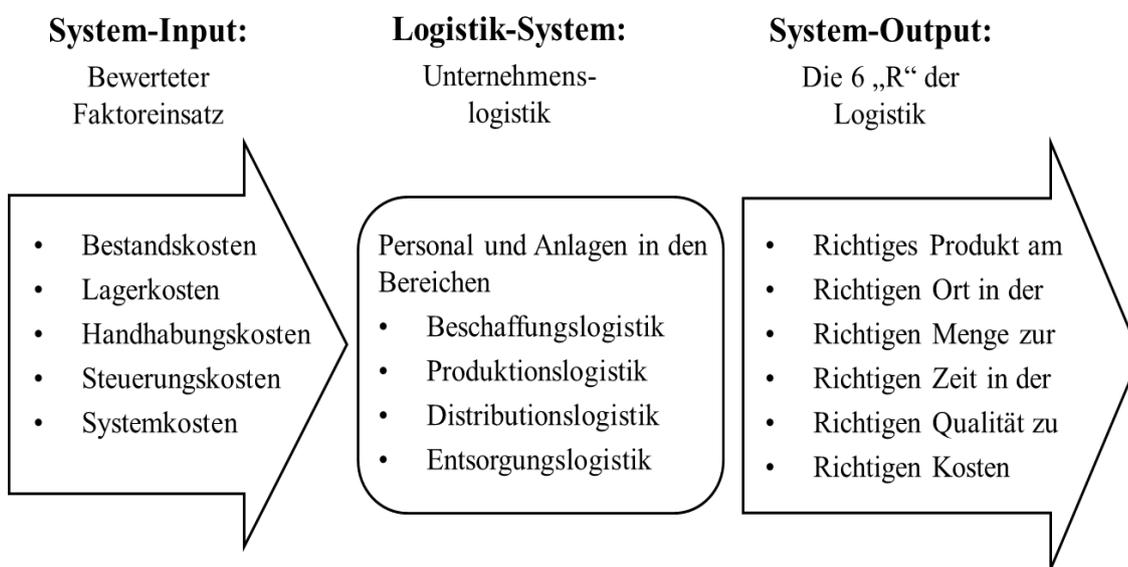


Abbildung 2: Hauptziel der Logistik (Fortmann, et al., 2000)

Nach Gudehus sind die Leistungsziele der Logistik wie folgt (Gudehus, 2010):

- Ausführung der Aufträge
- Erfüllung der Terminforderungen
- Erbringung des Leistungsdurchsatzes
- Bewältigung des Warendurchsatzes
- Lagern der Warenbestände
- Erfüllung zusätzlicher Serviceleistungen

Die Qualitätsziele der Logistik sind (Gudehus, 2010):

- Servicegrad
 - o Leistungsbereitschaft
 - o Sendungsqualität
 - o Termintreue
- Flexibilität
- Informationsbereitschaft
- Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit

Die Kostenziele der Logistik sind (Gudehus, 2010):

- Vermeidung, Reduzierung oder Verkürzung von Handling und Transport
- Vermeidung oder Reduzierung von Beständen
- optimale Nutzung der Infrastruktur, wie Flächen, Gebäude, Transportwege und Lagerkapazitäten
- maximale Auslastung von Ladungsträgern, Transportmitteln und Transportnetzen
- Leistungssteigerung von Transportmitteln, Betriebsmitteln und Anlagen
- verbesserter Informations- und Datenfluss
- effizienter Personaleinsatz
- optimale Nutzung der Zeit
- Einsatz von Logistikdienstleistern

Das am häufigsten genannte Ziel von Unternehmensnetzwerken ist die Realisierung von Wettbewerbsvorteilen (Pfohl, 2004). Die o.g. Ziele der Logistik stimmen mit dem Hauptziel aller Unternehmensnetzwerke sowie der gesamten Volkswirtschaft überein: Kostensenkung möglichst ohne Beeinträchtigung von Leistung und Qualität (Gudehus, 2010).

2.2 Definition, Aufgaben, Ziele und Elemente der Distributionslogistik

Die Distributionslogistik ist das Bindeglied zwischen der Produktion und der Absatzseite des Herstellers (Wannenwetsch, 2004). Sie verknüpft die Produktion mit den Kunden und hat die Aufgabe, den Abnehmern die physische Verfügbarkeit der Produkte einschließlich der dazugehörigen Information zu gewährleisten (Vastag, et al., 2002). Die Aufgaben der Distributionslogistik sind nach Binner in Abbildung 3 dargestellt.

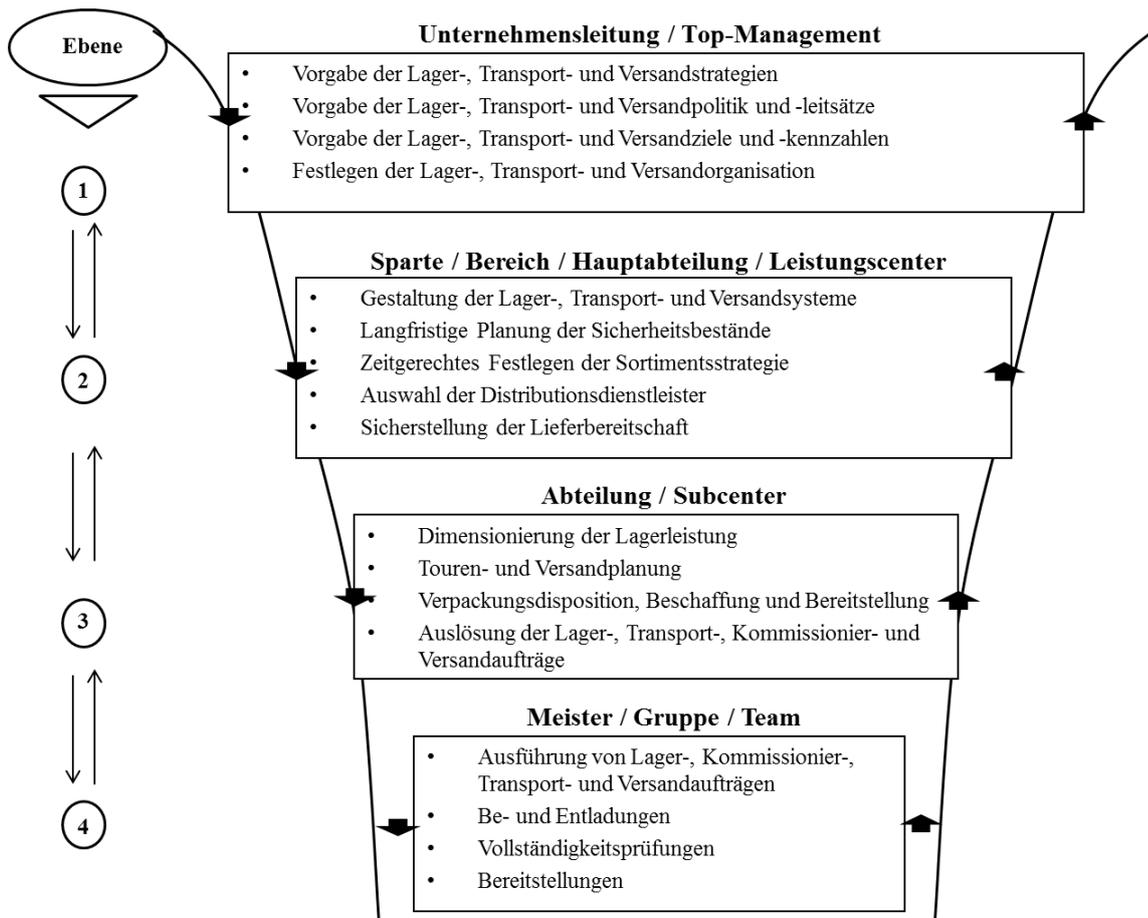


Abbildung 3: Aufgaben der Distributionslogistik (Binner, 2002)

Das primäre Ziel der Distributionslogistik ist die Sicherstellung eines kundenorientierten Lieferservices bei minimalen Distributionskosten (Vastag, et al., 2002). Nach Schulte ist das Ziel der Distributionslogistik die Lieferung der richtigen Waren zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort mit der richtigen Qualität bei gleichzeitigem, optimalen Verhältnis zwischen Lieferservice und anfallenden Kosten (Schulte, 1999). Nach Binner sind die Ziele der Distributionslogistik wie in der folgenden Abbildung dargestellt.

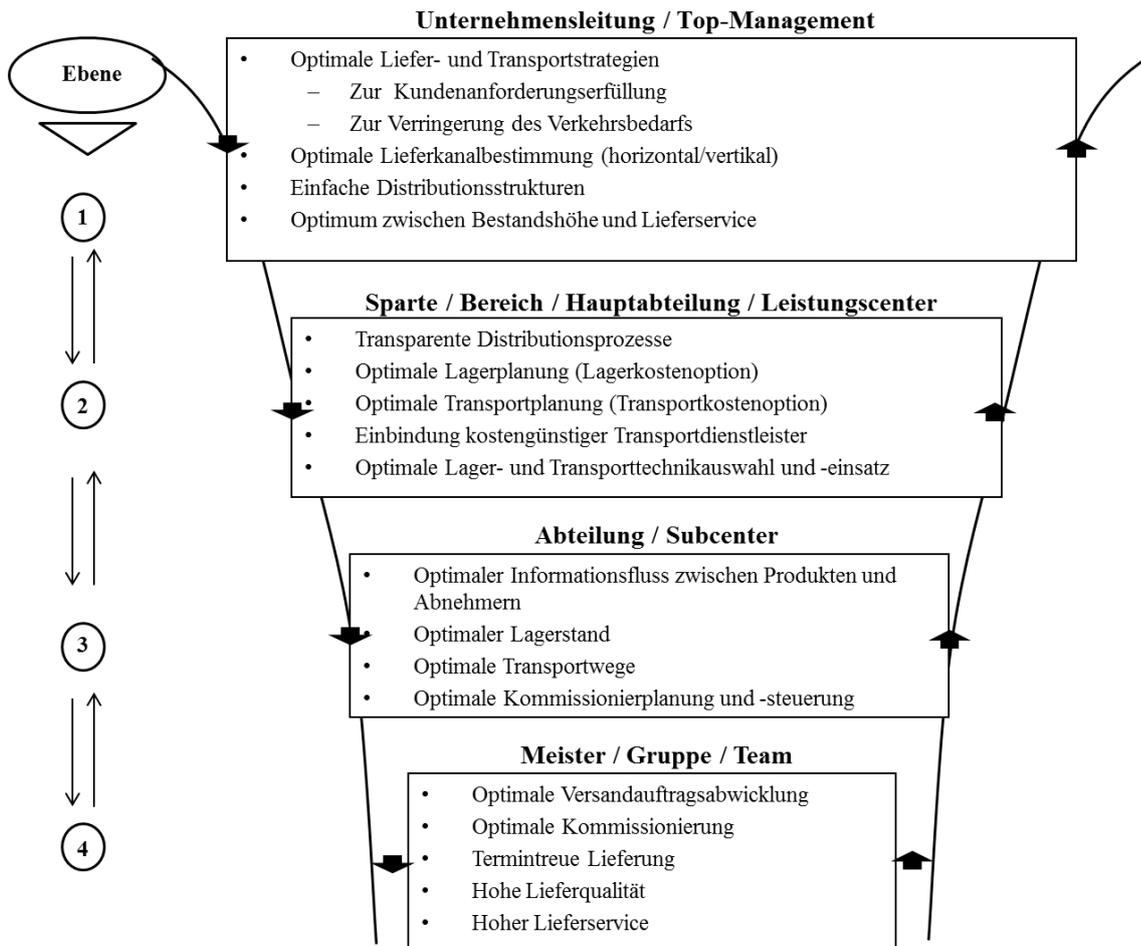


Abbildung 4: Ziele der Distributionslogistik (Binner, 2002)

Das distributionslogistische System beinhaltet bzw. integriert drei Elemente: Auftragsabwicklung, Lagerhaltung und Transport. In der Literatur werden vereinzelt Kommissionierung, Verpackung und Umschlag als weitere Elemente aufgefasst oder in eine andere Struktur eingefügt (Krulis-Randa, 1977) (Wannenwetsch, 2004) (Binner, 2002). Die folgende Abbildung zeigt eine Darstellung der Gliederung der Distributionslogistik nach Filz.

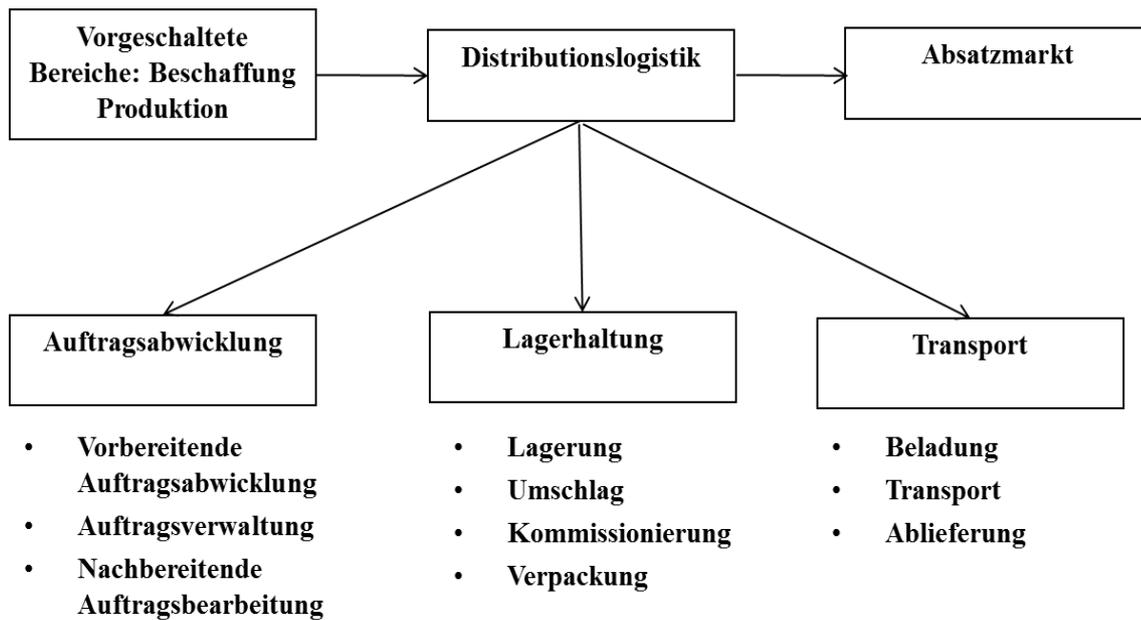


Abbildung 5: Elemente der Distributionslogistik (Filz, 1989)

2.3 Begriffe, Hauptthemen, Aufgaben, Ziele und Optimierungspotenziale von Supply Chain Management

Die Begriffe Supply Chain und Supply Chain Management

Die moderne Logistik wird mit dem Begriff des Supply Chain Managements (SCM) beschrieben (Vahrenkamp, 2011). Die Supply Chain beschränkt sich, trotz der begrifflichen Annahme, nicht nur auf die Interaktionen mit Lieferanten, sondern umfasst auch die nötigen Koordinationsaufgaben mit Kunden. Der begriffliche Unterschied zwischen Supply Chain (Interaktionen mit Lieferanten) und Demand Chain (Interaktionen mit Kunden) eines Unternehmens hat sich nicht durchgesetzt, sodass Supply Chain als Oberbegriff verwendet wird (Busch, et al., 2004). Die Supply Chain beinhaltet alle Netzwerkunternehmen und ihre unternehmensinternen Supply Chains von der „source of supply“ bis zum „point of consumption“ (Stevens, 1989).

Der Begriff Supply Chain Management wurde erstmals von Oliver und Webber in den 80er Jahren thematisiert (Oliver, et al., 1982). Mittlerweile existiert eine Vielzahl von Begriffen des Supply Chain Managements (Bechtel, et al., 1997) (Corsten, 2001) (Kotzab, 2000) (Marbacher, 2001) (Pfohl, 2000) (Stölzle, 1999). Die zahllosen Begriffe können in zwei große Gruppen unterteilt werden (Göpfert, 2004).

In der Begriffsgruppe eins erklären die Autoren den Gegenstand von Supply Chain Management unter direkter Bezugnahme auf die betriebliche Logistik (Göpfert, 2004). Der Begriff „Supply Chain“ wird als „Lieferkette“, „Versorgungskette“, „Logistikkette“ oder „logistics network“ betrachtet (Kotzab, 2000). Der Begriff von D. Simchi-Levi, P. Kaminsky und E. Simchi-Levi wird als repräsentativ für die Vertreter der ersten Begriffsgruppe ausgewählt (Göpfert, 2004). Ihrer Definition nach umfasst eine Supply Chain, auch als Logistiknetzwerk (logistics network) bezeichnet, die Lieferanten, Produktionszentren, Läger, Distributionszentren und Kundenläger sowie die Rohmaterialien, Bestände von Work-In-Process (WIP) und Endprodukte, welche zwischen allen Betriebsbereichen fließen (Simchi-Levi, et al., 2004 S. 2). Die in der Abbildung 6 wiedergegebenen Begriffe von Bowersox, Closs, Christopher, Handfields, Nichols, Simchi-Levi, Kaminsky, Göpfert und Hahn sind Beispiele für die erste Begriffsgruppe (Göpfert, 2004) (Karrer, 2005).

Den Autoren in der zweiten Begriffsgruppe zufolge besitzt das Supply Chain Management keinen direkten Bezug zur Logistik, und es wird allgemein als interorganisationales Management der Geschäftsprozesse bzw. als Kooperationsmanagement oder Beziehungsmanagement interpretiert (Hewitt, 1994) (Lambert, et al., 1996) (Marbacher, 2001). Beispiele für die zweite Begriffsgruppe sind die Begriffe von Kotzab, Cooper, et al. sowie Mentzer et al. in Abbildung 6.

Jahr	Autor	Begriff
1997	Bowersox	“Supply Chain Management is a collaborative-based strategy to link cross-enterprise business operations to achieve a shared vision of market opportunity” (Bowersox, 1997 S. 181)
1996	Bowersox, Closs	“The basic notion of supply chain management is grounded on the belief that efficiency can be improved by sharing information and by joint planning ... an overall supply chain focusing on integrated management of all logistical operations from original supplier procurement to final consumer acceptance” (Bowersox, et al., 1996 S. 4)
1994	Christopher	“Supply Chain Management covers the flow of goods from supplier through manufacturing and distribution chains to the end user” (Christopher, 1994 S. 22)
1997	Cooper, Lambert, Pagh	“The integration of all key business processes across the supply chain is what we are calling supply chain management” (Cooper, et al., 1997 S. 2)
1999	Handfield/ Nichols	Supply Chain Management als Management von “all activities associated with the flow and transformation of goods from raw

		materials stage...through the end user, as well as the associated information flows" (Handfield, et al., 1999 S. 2)
2000	Simchi-Levi, Kaminsky, Simchi-Levi	<p>"Supply Chain Management is a set of approaches utilized to efficiently integrate suppliers, manufacturers, warehouses, and stores, so that merchandise is produced and distributed at the right quantities, to the right locations, and at the right time, in order to minimize systemwide costs while satisfying service level requirements" (Simchi-Levi, et al., 2000 S. 1)</p> <p>"Supply chain management spans the entire enterprise and beyond, encompassing suppliers on one end, and customers on the other" (Simchi-Levi, et al., 2000 S. 221)</p>
2001	Kotzab	"Supply Chain Management versteht sich als ein kundenorientiertes, strategisches, kooperationsorientiertes Logistikmanagementkonzept, das zu einer Verbesserung der Logistikleistung auf allen Stufen der Supply Chain führt" (Kotzab, 2001 S. 17-33)
2001	Mentzer et al.	"Supply chain management is defined as the systemic, strategic coordination of the traditional business functions and the tactics across these business functions within a particular company and across businesses within the supply chain, for the purposes of improving the long-term performance of the individual companies and the supply chain as a whole" (Mentzer, et al., 2001 S. 18)
2002	Göpfert	„Das Supply Chain Management bildet eine moderne Konzeption für Unternehmensnetzwerke zur Erschließung unternehmensübergreifender Erfolgspotenziale mittels der Entwicklung, Gestaltung und Lenkung effektiver und effizienter Güter-, Informations- und Geldflüsse.“ (Göpfert, 2002 S. 32)
2002	Hahn	„Unter Supply Chain Management kann man die Planung, Steuerung und Kontrolle des gesamten Material- und Dienstleistungsflusses, einschließlich der damit verbundenen Informations- und Geldflüsse, innerhalb eines Netzwerks von Unternehmungen...verstehen.“ (Hahn, 2002 S. 1064)

Abbildung 6: Verständnis von Supply Chain Management in der Literatur

Die folgende Abbildung stellt die Entwicklungsphase der Logistik sowie die Herausstellung des Supply Chain Managements dar (Göpfert, 2004).

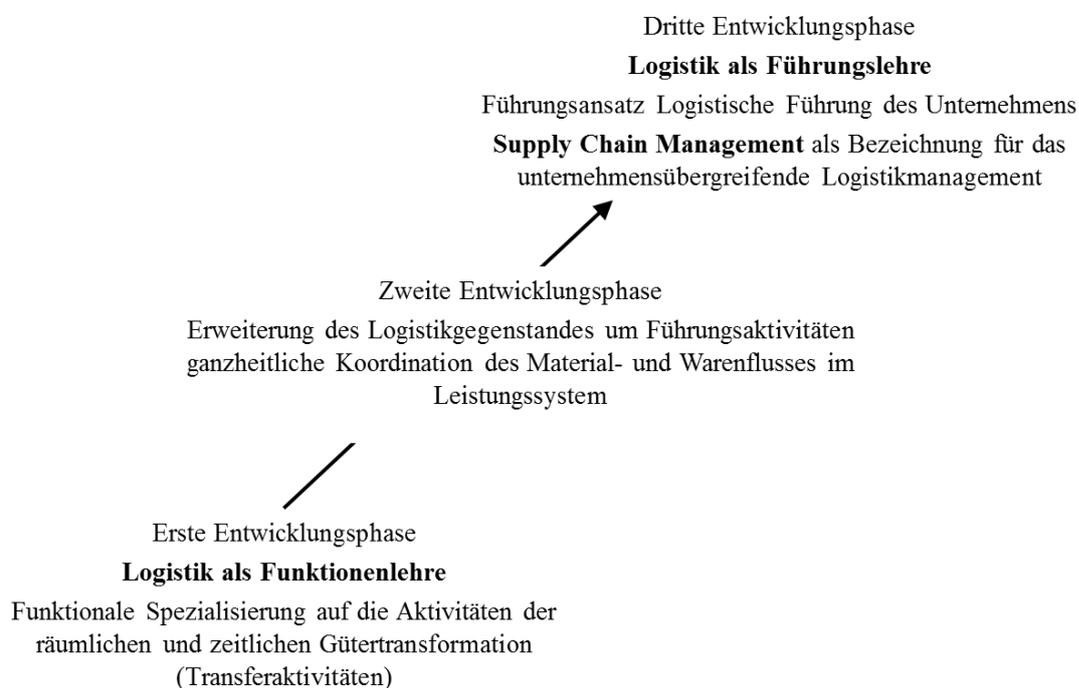


Abbildung 7: Entwicklungsphase der Logistik und Herausstellung des Supply Chain Managements (Göpfert, 2004)

Hauptthemen des Supply Chain Managements

Das Supply Chain Management ist aus folgenden Gründen kompliziert (Simchi-Levi, et al., 2004 S. 3)

1. Ganzheitliche Optimierung

Die herausfordernden Aufgaben bei der Gestaltung und beim Betrieb der Supply Chain sind die systemweite Kostenminimierung und Gewährleistung von Servicegraden in der ganzen Supply Chain. Es erweist sich als nicht trivial, die Gesamtkosten in einem einzelnen Betriebsbereich zu minimieren und gleichzeitig den Servicegrad zu erfüllen. Diese Schwierigkeit erhöht sich exponentiell, wenn die Aufgaben sich auf die ganze Supply Chain ausrichten. Diese systemweite Verbesserung wird als globale bzw. ganzheitliche Optimierung bezeichnet.

2. Bewältigung der Unsicherheit

Die Unsicherheit in der Supply Chain wird beispielsweise durch Störungen der Produktionsmaschinen und Transportmittel, variable Lieferzeit und durch nicht exakt prognostizierbaren Kundenbedarf verursacht. Eine optimale Supply Chain soll diese Unsicherheiten möglichst beseitigen und die noch verbleibenden Unsicherheiten möglichst effizient kontrollieren und beherrschen können.

Nach Simchi-Levi sind die Hauptthemen des Supply Chain Managements wie folgt (Simchi-Levi, et al., 2004 S. 12-17):

- Netzwerkplanung
- Bestandskontrolle (Inventory Control, Bestandsführung)
- Lieferaufträge
- Distributionsstrategien
- Strategische Partnerschaften
- Outsourcing- und Beschaffungsstrategien
- Produktdesign
- Kundennutzen sowie
- Informationstechnologie

Der Zusammenhang zwischen den Hauptthemen und den Schwierigkeiten des Supply Chain Managements ergibt sich nach Simchi-Levi wie in Abbildung 8 dargestellt (Simchi-Levi, et al., 2004 S. 17).

	Ganzheitliche Optimierung	Bewältigung der Unsicherheiten
Netzwerkplanung	X	
Bestandskontrolle		X
Liefieraufträge	X	
Distributionsstrategien	X	X
Strategische Partnerschaften	X	
Outsourcing- und Beschaffungsstrategien		X
Produktdesign		X
Kundennutzen	X	X
Informationstechnologie	X	X

Abbildung 8: Hauptthemen des Supply Chain Managements (Simchi-Levi, et al., 2004 S. 17)

Die o.g. Hauptthemen umfassen folgende strategischen, taktischen und operativen Ebenen (Schmidt, et al., 2000) (Simchi-Levi, et al., 2004 S. 13) (Afshari, et al., 2010):

- Die strategische Ebene bezieht sich auf die Entscheidungen, welche eine langfristige (z.B. 2-5 Jahre) Wirkung auf das Unternehmen haben. Dazu gehört beispielsweise die Entscheidung über die logistische Netzwerkplanung, die Anzahl, die Standorte und die Kapazität der Zentralläger (ZL) und Regionalläger (RL) sowie die Zuordnung des Kundenbedarfs zu den Lägern.
- Die taktische Ebene beinhaltet die Entscheidungen über die Strategien des Materialflussmanagements, welche in der Regel halbjährlich oder alle zwei Jahre zu aktualisieren sind. Dazu gehören z.B. die Transportstrategie, die Lieferhäufigkeit zum einzelnen Kunden, das Lagerbestandsniveau und das Produktionsniveau in der einzelnen Betriebsstätte.
- Die operative Ebene befasst sich mit den täglichen Entscheidungen, wie Versandterminierung, Tourenplanung und Füllgrad der LKWs.

Aufgaben, Vorteile, Ziele und Optimierungspotenziale des Supply Chain Managements

Nach Ziegenbein besteht die Aufgabe eines Supply Chain Managements darin, das eigene Unternehmen sowohl inputseitig mit den Lieferanten (und deren Lieferanten) als auch outputseitig mit den Kunden (und deren Kunden) zu koordinieren (Ziegenbein, 2006). Die vorrangigen Aufgaben des Supply Chain Managements sind nach Werner die Versorgung (Verfügbarkeitsaspekt), die Entsorgung und das Recycling der integrierten Unternehmensaktivitäten (Werner, 2010).

Nach Ziegenbein sind die sich durch Supply Chain Management ergebenden Vorteile (Ziegenbein, 2006):

- Reduzierungen der Lagerbestände entlang der gesamten Wertschöpfungskette
- Verkürzung der Dispositions- und Durchlaufzeiten
- Verbesserungen der Termintreue, des Liefer- und des Kundenservices, der Kundenzufriedenheit und -bindung
- Senkung der Logistikkosten
- schnellere Reaktionen auf unerwartete Marktchancen, plötzlich auftretende Engpässe und Änderungen

Nach Corsten sind die Ziele des Supply Chain Managements (Corsten, 2001):

- Senkung der Durchlaufzeit
- Verringerung der Bestände
- Erhöhung der Liefertreue

D.h., es handelt sich im Endeffekt um

- die Erhöhung des Serviceniveaus für die Endkunden,
- die Kostensenkung über alle Wertschöpfungsstufen der Supply Chain (Stölzle, 1999) und
- die Erhöhung der Anpassungs- und Entwicklungsfähigkeit der Supply Chain (Göpfert, 2004).

Kurzgefasst ist das Ziel des Supply Chain Managements die Realisierung von Kosten-, Zeit- und Qualitätsvorteilen (Heusler, 2004).

Zur Erreichung der o.g. Ziele müssen folgende Voraussetzungen gegeben sein (Vahrenkamp, 1999):

- Verstetigung des Güterstromes
- Reduzierung der Bestände in der Supply Chain

- Vermeidung von „Out-of-Stock“-Situationen
- effiziente Produktionssteuerung
- unternehmungsübergreifende Kapazitätsplanung

Folgende Optimierungspotenziale der Supply Chain werden nach Projekterfahrungen in der Literatur vorgelegt (Kloth, 1999) (Kuhn, et al., 1999) (Kotzab, 2000) (Stölzle, 1999) (Becker, 2004):

Kriterien	Optimierungspotenziale
Reduzierung der Sicherheitsbestände	20-50%
Reduzierung der gesamten Bestände in der Supply Chain	50-80%
Verbesserung der Liefertreue	10-25%
Rückgang von überfälligen Bestellungen	90%
Verkürzung der Auftragsabwicklungszeit	40-75%
Reduzierung der Herstellungszyklus-Zeit	30-90%
Senkung der Gemeinkosten	10-30%
Gewinnsteigerung entlang der gesamten Wertschöpfungskette	Bis zu 30%

Abbildung 9: Optimierungspotenziale der Supply Chain

Gemäß einer empirischen Untersuchung halten 89% von 626 befragten Top-Managern aus international tätigen Unternehmen das Supply Chain Management als „sehr wichtig“ (45%) bis „kritisch“ (44%) für ihr Unternehmen und ihre Branche. Ungefähr 51% sind der Ansicht, dass die Investitionen ihres Unternehmens im Bereich Supply Chain Management in den vergangenen drei Jahren „signifikant zugenommen“ haben (Accenture/INSEAD, 2003).

Koordination im Supply Chain Management

Nach Bhatnagar, Chandra und Goyal unterteilen sich die Koordinationsaufgaben im Supply Chain Management in zwei Varianten: „Multi-Plant Coordination“ und „General Coordination“ (Bhatnagar, et al., 1993). „Multi-Plant Coordination“ ist eine Koordination derselben Prozesse auf den verschiedenen Stufen der Supply Chain. Viele vertikal integrierte Unternehmen produzieren Halbfabrikate, um schließlich die Endprodukte herzustellen. Die Entscheidungen bezüglich des Produktionsprozesses im einzelnen Unternehmen sollen mit den Entscheidungen in den anderen Unternehmen koordiniert werden, sodass jedes einzelne Unternehmen seinen Produktionsprozess wettbewerbsfähig gestalten kann. Die Unsicherheit des einzelnen Produktionsprozesses, die

Lagerbeschränkung in einzelnen Unternehmen sowie die Unsicherheit des Bedarfs der Endkunden etc. müssen dabei in Betracht gezogen werden. Ziel dieser Koordination ist es, die logistischen Kennzahlen des Systems, wie Gesamtkosten, Fertigungsdurchlaufzeit etc., möglichst zu optimieren. Mehr zu dieser Variante siehe die Literatur von Carlson, Beek et al., Zipkin, Cohen und Lee, Kumar et al. sowie Oboulhas et al. (Carlson, et al., 1979) (Beek, et al., 1985) (Zipkin, 1986) (Cohen, et al., 1988) (Kumar, et al., 1990) (Oboulhas, et al., 2005).

Unter „General Coordination“ versteht man die Koordination zwischen verschiedenen Funktionsbereichen in der Supply Chain. Diese bereichsübergreifende Koordination unterteilt sich hauptsächlich in folgende drei Kategorien (Bhatnagar, et al., 1993) (Chandra, et al., 1994) (Sarmiento, et al., 1999) (Min, et al., 2002):

- Ganzheitliche Betrachtung der Lieferung und Produktionsplanung
- Ganzheitliche Betrachtung der Produktions- und Distributionsplanung
- Ganzheitliche Betrachtung der Lager- und Distributionsplanung

Bei der ersten Kategorie handelt es sich um die Koordination zwischen Lieferanten und ihren Abnehmern. Die meisten Modellierungen diesbezüglich nehmen den deterministischen Bedarf als Voraussetzung an und vereinfachen den Produktionsprozess beim Abnehmer. Der Zielkonflikt besteht hier zwischen der großen Bestell- bzw. Liefermenge und dem Just-In-Time-Konzept. Die Forschungsarbeiten in dieser Kategorie sind bei Monahan, Banerjee, Lee und Rosenblatt, Goyal und Gupta, Goyal und Deshmukh, Ben-Daya et al. sowie Chen und Sarker zu finden (Monahan, 1984) (Banerjee, 1984) (Lee, et al., 1986) (Goyal, et al., 1989) (Goyal, et al., 1992) (Goyal, et al., 1997) (Ben-Daya, et al., 2008) (Chen, et al., 2010).

Die zweite Kategorie bezieht sich auf die Koordination der Produktions- und Distributionsplanung. Der Produktionsplaner soll die Gesamtkosten der Produktion und Lagerhaltung minimieren und der Distributionsplaner die gesamten Transportkosten. Mehr zu dieser Kategorie siehe die Literatur von King und Love, Williams, Blumenfeld et al., Cohen und Lee, Ishii et al., Chandra und Fisher, Tsiakis und Papageorgiou, Liang sowie Gebennini et al. (King, et al., 1980) (Williams, 1981) (Blumenfeld, et al., 1987) (Cohen, et al., 1988) (Ishii, et al., 1988) (Chandra, et al., 1994) (Tsiakis, et al., 2008) (Liang, 2008) (Gebennini, et al., 2009).

Bei der dritten Kategorie handelt es sich um die Koordination der Lager- und Transportplanung in der Distributionslogistik. Ziel dieser Koordination ist die ganzheitliche Erhöhung der Kosteneffizienz und der logistischen Leistungsfähigkeit im gesamten Distributionsnetzwerk sowie die Forderung

nach mehr Flexibilität. Die gesamten Lager- und Transportkosten sollen ganzheitlich betrachtet und minimiert werden. Forschungsarbeiten in dieser Kategorie wurden von Bell et al., Federgruen und Zipkin, Burns et al., Dror und Ball, Anily und Federguen, Chandra, Qu et al., Kleywegt et al., Shu et al., Shen et al., Song et al., Bertazzi et al., Afshari et al. sowie Solyali et al. Durchgeführt, und auf diese Kategorie konzentriert sich die vorliegende Arbeit (Bell, et al., 1983) (Federgruen, et al., 1984) (Burns, et al., 1985) (Dror, et al., 1987) (Anily, et al., 1990) (Chandra, 1993) (Qu, et al., 1999) (Kleywegt, et al., 2002) (Shu, et al., 2005) (Shen, et al., 2007) (Song, et al., 2007) (Bertazzi, 2008) (Afshari, et al., 2010) (Solyali, et al., 2012).

2.4 Grundlagen von Transportmanagement und Lagerbestandsmanagement

Transportmanagement

Gestaltung von Transportnetzen und Steuerung der darin ablaufenden Transportprozesse sind die Aufgaben des Transportmanagements. Die Transportplanung umfasst folgende Aufgaben (Fleischmann, et al., 2002):

- Gestaltung des Transportnetzes: Festlegung der Anzahl und der Standorte der Läger sowie der Transportrelationen
- Planung der Transportwege und -mittel: Planung der Transportwege, Einzugsgebiete der Läger für die Vor- und Nachläufe, Führung für die Hauptläufe, eigene oder fremde Transportmittel, Festlegung des Verkehrsträgers
- Planung des Fahrzeugeinsatzes: Tourenplanung, Linienplanung

Das Ziel des Transportmanagements ist es, die Kosten für Transporte und Umschlag bei vorgegebener Leistung zu minimieren, insbesondere unter Erhaltung einer bestimmten Lieferzeit (Fleischmann, et al., 2002).

Bestandsmanagement

Aufgrund der mit der Lagerhaltung verbundenen Kosten und der vermeintlich wertschöpfungslosen Zeitüberbrückung werden häufig negative Eigenschaften mit der Lagerhaltung verbunden. Allerdings ist die Lagerhaltung in der Praxis hauptsächlich aus folgenden Gründen in den meisten Bereichen unumgänglich (ten Hompel, et al., 2005):

- Optimierung der logistischen Leistung / Sicherstellung der Lieferfähigkeit
- Sicherstellung der Produktionsfähigkeit
- Erbringung zusätzlicher Dienstleistungen
- Transportkostenreduktion
- Ausgleich von Bedarfs- und Liefermenge
- Nutzung der Marktposition
- Lagerung als Prozessschritt

Die wesentliche Funktion der Lagerbestände ist die mengenmäßige und/oder zeitliche Entkopplung des miteinander vernetzten Güterflusses in logistischen Ketten (Schneeweiß, 1981). Die Aufgabe des Lagerbestandsmanagements in der Distributionslogistik besteht in der Festlegung von Bestellmengen und -zeitpunkten für definierte Bedarfspunkte im Distributionsnetzwerk, um deren mengen- und termingerechte Versorgung mit den bestellten Produkten sicherzustellen (Inderfurth, et al., 2002).

Die Zielsetzung des Lagerbestandsmanagements basiert im Allgemeinen auf reinen Kostenkriterien, d.h. Bestellmenge und -zeitpunkte werden so aufeinander abgestimmt, dass die mit der Anwendung einer konkreten Bestellregel verbundenen Kosten unter Einhaltung der zu berücksichtigenden Rahmenbedingungen minimiert werden (Inderfurth, et al., 2002).

2.5 Zielkonflikte im Distributionsnetzwerk

Unter Zielkonflikt versteht man, dass die Zielerfüllung des einen Zieles zu einer negativen Beeinträchtigung der Zielerfüllung eines anderen Zieles führt (Schulte, 2001). Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die Zielkonflikte im Materialmanagement.

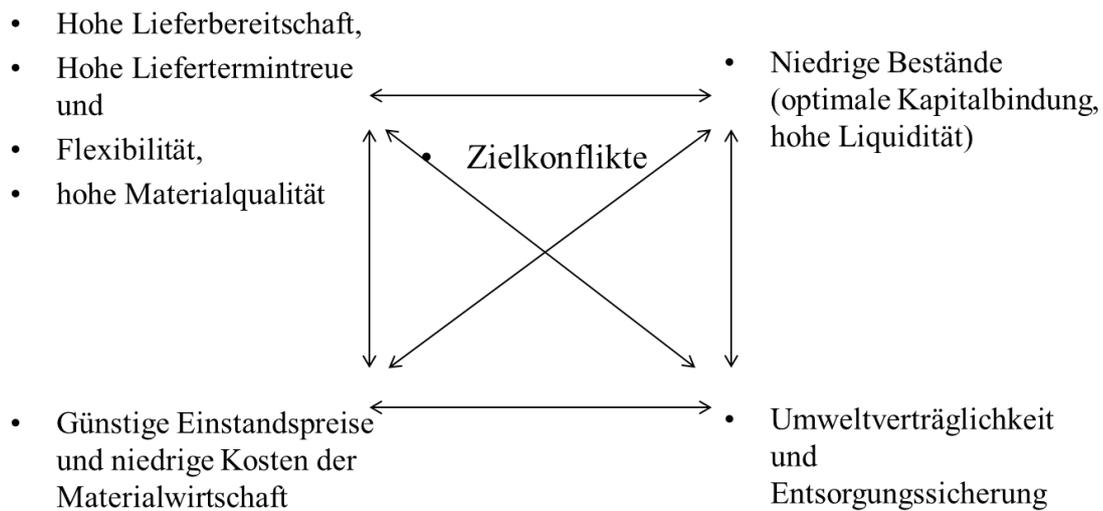


Abbildung 10: Zielkonflikte im Materialmanagement (Schulte, 2001)

Die folgende Abbildung zeigt detailliert die möglichen Ziele sowie Zielkonflikte in der Distributionslogistik.

Ziele und Zielkonflikte in der Distributionslogistik:

Unternehmensteilbereich	Ziele	Zielkonflikt
Lagerplanung	Hohe Produktverfügbarkeit, umfassendes Produktsortiment, verringerte Fehlmengenkosten	Hohe Lagermenge und damit hohe Lagerhaltungskosten und Kapitalbindungskosten, geringer Lagerumschlag, viele Lagerplätze
Lagerplanung	Lieferungen nur nach Bedarf (Just-in-Time), dadurch niedrige Lagerkosten und Kapitalbindungskosten	Hohe Transportkosten, evtl. Fehlmengenkosten
Transportplanung	Schneller Transport bzw. mehr Direktlieferung	Hohe Transportkosten
Transportplanung	kurze Wege zum Kunden	hohe Anzahl an Lägern und damit hohe Lagerkosten und Kapitalbindungskosten
Transportplanung	gut ausgelastete Lieferungen	Niedrige Transportkosten pro Einheit, hohe Lagerkosten sowie Kapitalbindungskosten
Controlling	Geringe Kapitalbindung und hohe Liquidität	Geringe Lagerbestände und damit Gefahr von Fehlmengenkosten

Abbildung 11: Ziele und Zielkonflikte in der Distributionslogistik (Wannenwetsch, 2004) (Fleischmann, et al., 2002)

In der folgenden Abbildung werden Ziele und Zielkonflikte sowie die entsprechenden Gegenmaßnahmen dargestellt.

Unternehmensbereich	Ziele / Zielkonflikte	Maßnahmen
Transportmanagement	Niedrige Transportkosten	Bündelung der Transporte durch die RL, optimaler Bündelungsgrad soll festgestellt werden
Transportmanagement	Niedrige Transportkosten pro Liefereinheit	Mehr Residual-Stock ⁴
Transportmanagement	Schneller Transport, geringe Fehlmengen	Mehr Direktlieferung bzw. niedriger Bündelungsgrad
Transportmanagement	Geringe Umweltbelastung	Höher Bündelungsgrad und wenige Direktlieferungen
Lagermanagement	Niedrige Lagerhaltungskosten im RL, niedrige Handhabungskosten im RL	Mehr Direktlieferung bzw. niedriger Bündelungsgrad, geringe Lagermenge, weniger Residual-Stock
Lagermanagement	Geringe Fehlmengen	Höhere Lagermenge und mehr Warensortimente, mehr Residual-Stock (ZL-RL)
Lagermanagement	Niedrige Lagermenge, hoher Lagerumschlag	Weniger Residual-Stock

Abbildung 12: Ziele bzw. Zielkonflikte und Gegenmaßnahmen in der Distributionslogistik (Eigene Darstellung)

Daraus ergibt sich, dass die Kooperation zwischen einzelnen Unternehmensbereichen bzw. zwischen dem Transport- und Bestandsmanagement von großer Bedeutung sind. Wenn die verschiedenen Teilbereiche im Unternehmen nicht miteinander kooperieren, kann Konkurrenz zwischen Unternehmensbereichen entstehen, was zu ineffizienten Logistikleistungen führt. Dies widerspricht dem Hauptziel der Logistik (Optimierung der Logistikeffizienz (Wannenwetsch, 2004)) sowie den Unternehmenszielen (langfristige Existenzsicherung des Unternehmens, Rentabilität usw. (Schulte, 2001)).

⁴ Als Residual-Stock versteht man die Transportmenge, die ohne Kundenbestellung und zugunsten von kostenminimierten Transportprozessen entsteht. Mehr zu Residual-Stock siehe Kapitel 3.2.

Zielkonflikte zwischen Transport- und Lagerhaltungskosten

Zwischen Lagerhaltungs- und Transportkosten entstehen Zielkonflikte (Simchi-Levi, et al., 2004).

Aus Sicht der Transportkosten ist eine gut ausgelastete Lieferung eine wirtschaftliche Liefermenge. Die Transportkosten enthalten sowohl Festkosten (z.B. Abschreibung, Personalkosten) als auch variable Kosten (z.B. Treibstoffkosten). Bei voller Ladung können die gesamten Transportkosten auf die volle Ladung verteilt werden, was niedrigere Transportkosten pro Produkt-Einheit (z.B. pro Palette) ergibt. Wird ein externer Anbieter mit den Transportprozessen beauftragt, sinken die angebotenen Frachtsätze in den meisten Fällen mit steigender Liefermenge. Das wird auch als Mengenrabatt bezeichnet. Aus dieser Sicht sollte Transportbündelung⁵ oder Lieferung mit Residual-Stock⁶ zu einer Senkung der Transportkosten führen können. In der Realität sind aber Einsparungen durch Transportbündelung begrenzt. Wichtige Einflussfaktoren sind z.B. das Bestellverhalten der Kunden und die Frachtsätze. Durch Residual-Stock können unter gewissen Bedingungen die gesamten Transportkosten reduziert werden. Aus Umweltsicht wird durch eine höhere Beladung des Transportmittels ein Teil der Transportfahrten vermieden, was wiederum die Umwelt schont.

Allerdings bestellen die Kunden heutzutage immer öfter und die Bestellmenge wird immer niedriger, sodass eine hoch ausgelastete Lieferung mit Residual-Stock aus dem ZL zum RL meistens über längere Zeit im RL bleiben muss, bis sie endlich verbraucht wird, was zu höheren Lagerkosten führt.

Außerdem ist aus Sicht der Lagerkosten eine Direktlieferung bzw. eine Lieferung ohne RL am günstigsten (keine Lagerkosten im RL). Unter diesen Umständen sind die Transportkosten aber am höchsten⁷. Mit steigendem Bündelungsgrad sinken die Transportkosten zuerst und dann steigen sie, während die Lagerhaltungskosten mit steigendem Bündelungsgrad kontinuierlich steigen⁸. All dies sind Zielkonflikte in der Distributionslogistik (Wannenwetsch, 2004). Eine isolierte Optimierung einzelner Bereiche wie Transportprozesse oder Lagerprozesse kann hohe Gesamtlogistikkosten verursachen und damit die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens beeinträchtigen.

⁵ Mehr zur Transportbündelung siehe Kapitel 3.2

⁶ Mehr zu Residual-Stock siehe Kapitel 3.2

⁷ Siehe Kapitel 9

⁸ Siehe Kapitel 9

Zielkonflikte zwischen Transport-, Lagerhaltungs- und Fehlmengenkosten

Eine Kostenreduzierung beim Transport und bei der Lagerhaltung führt üblicherweise zu einer Senkung des Kunden-Servicegrads, d.h. zu einer Erhöhung der Fehlmengenkosten. Der wesentliche Zielkonflikt im Bestandsmanagement ist die Minimierung der Lagerhaltungskosten und der Kapitalbindungskosten, ohne dabei die Lieferbereitschaft zu beeinträchtigen und dadurch Fehlmengenkosten zu verursachen. Eine hohe Lagermenge garantiert bereits einen hohen Lieferservicegrad und damit verringerte Fehlmengenkosten, aber dem stehen erhöhte Lagerhaltungskosten und Kapitalbindungskosten gegenüber (Schulte, 2001) (Windt, et al., 2002).

Ganzheitliche Betrachtung von Transport- und Bestandsmanagement

Die einzelnen Unternehmensbereiche in der Distribution bzw. im Lager- und Transportmanagement sollen nicht separat betrachtet und isoliert optimiert werden, denn eine ganzheitliche Optimierung in der Distribution spielt eine entscheidende Rolle für die Senkung der Gesamtlogistikkosten im Distributionsnetzwerk, trägt zu einer optimalen Erfüllung der Anforderungen der Kunden bei und steigert dadurch die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens.

2.6 Forschungen in den Bereichen Transport- und Bestandsmanagement im Distributionsnetzwerk

Die ganzheitliche Modellierung in der Supply Chain kann nach Min und Zhou in fünf Kategorien unterteilt werden: Lieferantenauswahl / Bestandskontrolle, Produktion / Lagerung, Standort / Bestandskontrolle, Standort / Tourenplanung sowie Bestandskontrolle / Transport (Min, et al., 2002).

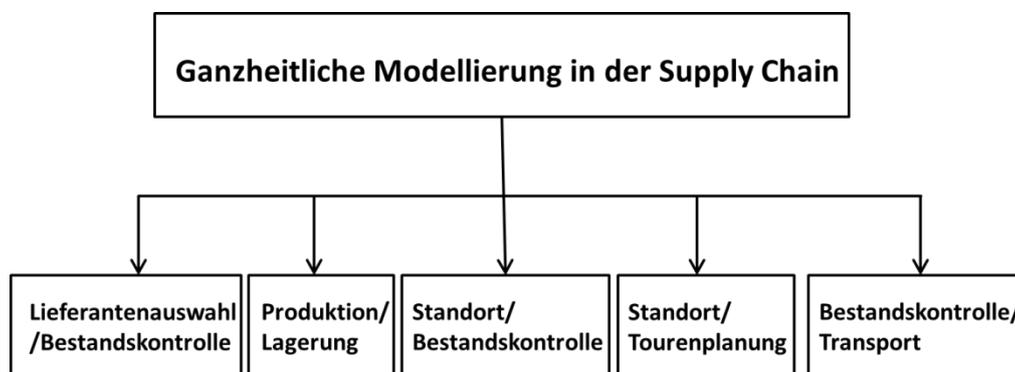


Abbildung 13: Ganzheitliche Modellierung in der Supply Chain (Min, et al., 2002)

Diese Dissertation konzentriert sich auf die Kategorie Bestandskontrolle / Transport. Im Distributionsnetzwerk sind die Lager- und Transportkosten meistens gegenläufig, sodass eine ganzheitliche Optimierung im Distributionsnetzwerk sehr wichtig ist. Die bisherigen Forschungen in Bezug auf die ganzheitliche Betrachtung der Lager- und Transportprozesse im Distributionsnetzwerk lassen sich durch folgende Kriterien unterscheiden (Schwarz, et al., 2004):

- Distributionsstruktur: einstufiges System (direkter Güterfluss), mehrstufiges System (indirekter Güterfluss) oder kombiniertes System (direkter und indirekter Güterfluss) (Pfohl, 2010)

Die Distributionsstruktur eines Warenverteilsystems basiert auf folgenden Elementen (Wannenwetsch, 2004) (Schwarz, et al., 2004):

- Anzahl der unterschiedlichen Lagerstufen
- Anzahl der Läger auf jeder Stufe und deren Standorte
- Räumliche Zuordnung der Läger zu den Absatzgebieten
- Lager mit oder ohne Bestandsführung
- Produkt: Einzelprodukt (eine einzige Artikelart) oder Multiprodukt (Artikelanzahl ist viel größer als eins)
- Bestellverhalten von Kunden: deterministischer oder stochastischer Kundenbedarf
- Transportmittel: unbegrenzte Kapazität oder begrenzte Kapazität, unbegrenzte oder begrenzte Anzahl des Transportmittels
- Bestellpolitiken bzw. Lagerhaltungspolitiken: (s,q)-, (r,S)-, (s,S)- oder (r,q)-Politik (siehe Kapitel 3.1)
- Wiederbeschaffungszeit: konstant oder uneinheitlich
- Planungshorizont: begrenzt oder unbegrenzt

Nach Min und Zhou unterteilt sich die Modellierung der Supply Chain in vier Kategorien, nämlich deterministisch, stochastisch, hybrid und IT-getrieben. In einem deterministischen Modell werden die

Kennzahlen als bekannt angenommen. Ein stochastisches Modell hingegen zieht die ungewissen und zufälligen Faktoren in Betracht. Ein hybrides Modell beinhaltet sowohl deterministische als auch stochastische Eigenschaften. Beim IT-getriebenen Modell handelt es sich um Systeme wie WMS (Warehouse Management System), TMS (Transportation Management System), CPFR (Collaborative Planning and Forecasting Replenishment), MRP (Material Requirement Planning), DRP (Distribution Resource Planning), ERP (Enterprise Resource Planning), GIS (Geographic Information System) etc. In einem deterministischen Modell ist der Bedarf bekannt und fest, was in der betrieblichen Praxis nur näherungsweise richtig ist. Der Kundenbedarf in einem stochastischen Modell ist ungewiss und zufällig (Min, et al., 2002).

Nach Chen sollten sich weitere Forschungen mehr auf die Modellierung mit dem stochastischen Bedarf konzentrieren, da die meisten vorhandenen Modelle für die koordinierte Produktion und Distribution in der Supply Chain auf dem deterministischen Bedarf basieren, d.h. der Bedarf ist im Voraus bekannt, was aber meistens nicht mit der Realität übereinstimmt (Chen, 2004).

Obwohl über den Zusammenhang zwischen Transport- und Lagerplanung in der Literatur bereits viel diskutiert wurde, gibt es eine analytische Darstellung des o.g. Zusammenhangs nur unter sehr einschränkenden Annahmen (Fleischmann, et al., 2002).

Schwarz hat eine ausführliche Auslistung von 49 Studien bezüglich der ganzheitlichen Betrachtung der Lager- und Transportplanung erstellt (Schwarz, et al., 2004). Die meisten Studien zu diesem Thema beziehen sich auf Einzelprodukt, was in den meisten Branchen aber nicht der Fall ist (nur z.B. bei der Distribution von Industriegas). Nur sieben der insgesamt 49 Studien wurden unter Beachtung des Multiprodukts durchgeführt. Viswanathan und Mathur, Fumero und Vercellis sowie Bertazzi et al. haben Modelle mit Multiprodukt entwickelt, wobei der Kundenbedarf als deterministisch angenommen wird (Viswanathan, et al., 1997) (Fumero, et al., 1999) (Bertazzi, et al., 2000) (Bertazzi, et al., 2002). Bassok und Ernst, Qu et al. sowie Adelman haben Modelle mit Multiprodukt und stochastischem Kundenbedarf vorgestellt (Bassok, et al., 1995) (Qu, et al., 1999) (Adelman, 2004). Multiprodukt und stochastischer Bedarf liegen der vorliegenden Dissertation zugrunde.

In den 80er Jahren präsentierten Golden und Wasil die Begriffe „Pre-Sell“ und „Driver-Sell“ bei der Distribution von alkoholfreien Getränken. Die Lieferung aufgrund bestehender Kundenbestellungen wird als „Pre-Sell“ bezeichnet. Die Kundenbestellungen sind also bekannt, bevor die Lieferung stattfindet. Im Gegensatz dazu werden die Produkte beim Begriff „Driver-Sell“ ohne Bestellung an den Kunden geliefert, und der Fahrer („Driver“) verkauft die Produkte direkt an den Kunden vor Ort.

„Driver-Sell“ ist eine Hauptart der Distribution von alkoholfreien Getränken. Eine Umfrage von „Beverage World“ zeigt, dass 71% der befragten alkoholfreien Getränkeindustrien ihre Produkte durch „Driver-Sell“ liefern (Golden, et al., 1987) (Bassok, et al., 1995).

Residual-Stock wird wie beim „Driver-Sell“ ebenfalls ohne Kundenbestellungen geliefert. Der Unterschied besteht darin, dass Residual-Stock nicht direkt zum Kunden, sondern zu den RL geliefert wird und dort für den zukünftigen Kundenbedarf gelagert wird.

In jüngerer Zeit findet man weitere Forschungen, die sich auf die ganzheitliche Optimierung der Transport- und Lagerprozesse beziehen, wie bei Romeijn et al., Solyali et al., etc. (Romeijn, et al., 2007) (Solyali, et al., 2012). Die Distributionsstrategien bezüglich des Residual-Stocks sowie der Transportbündelung mit Multiprodukt wurden aber kaum recherchiert. Zu diesem Forschungsbereich trägt die vorliegende Dissertation bei.

2.7 Abgrenzungen des Forschungsbereiches dieser Arbeit

In der vorliegenden Dissertation werden mehrere Distributionsstrategien in einem kombinierten Distributionssystem angewendet. Multiprodukt⁹, mehrere Standorte und stochastischer Kundenbedarf sind die Eigenschaften dieses Distributionsnetzwerks. Als Fallbeispiel wurde ein Unternehmen der Konsumgüterindustrie ausgewählt, welches über drei Zentralläger (ZL), 19 Regionalläger (RL) bzw. Distributionszentren sowie über 3000 Kundenstandorte landesweit verfügt. Insgesamt über 700 verschiedene Artikel verkauft oder liefert dieses Unternehmen im ganzen Land. Die Kunden werden entweder direkt aus den drei ZL beliefert oder erhalten ihre Bestellungen über die RL, d.h. im Distributionsnetzwerk besteht einstufige Distribution mit drei ZL bzw. zweistufige Distribution mit drei ZL und 19 RL. Jeder Artikel entsteht nur in einem ZL und jeder Kunde ist einem RL zugeordnet. Im Nachlauf (RL-Kunden) werden die Kunden direkt aus dem RL beliefert, es gibt also keine Tourenlieferung.

In den RL wird eine Bestandsführung durchgeführt und die Bestellpolitik (s,S)¹⁰ wird hier angewendet. Die Wiederbeschaffungszeit aus dem ZL an die Kunden beträgt ein bis vier Tage. Die maximale Transportmenge des Transportmittels ist aufgrund der begrenzten Ladekapazität des

⁹ Hierbei ist die Artikelanzahl viel größer als eins.

¹⁰ Bei der (s,S)-Politik wird eine Bestellung ausgelöst, wenn der Bestellpunkt s erreicht oder unterschritten wird. Die Bestellmenge soll den Lagerbestand wieder auf das Bestellniveau S anheben. Mehr zu den Bestellpolitiken siehe Kapitel 3.1.

LKWs festgelegt. Kundenaufträge werden nur komplett ausgeliefert, Teillieferungen sind nicht erlaubt.

Mit der Simulationstechnik werden Distributionsstrategien mit verschiedenen logistischen Parametern unter Beachtung von Multiprodukt, mehreren Standorten und stochastischem Kundenbedarf quantitativ untersucht und monetär verglichen. Die ganzheitliche Kostensenkung bezieht sich auf die Transport- (Hauptlauf und Nachlauf), Lagerhaltungs- (RL), Handhabungs- (ZL und RL), Auftrags- sowie Fehlmengenkosten.

Zusammengefasst wird der Forschungsbereich in dieser Arbeit wie folgt abgegrenzt:

- Distributionsstruktur: kombiniertes System (direkter und indirekter Güterfluss)
- Multiprodukt-System: große Produktvielfalt, d.h. Artikelanzahl ist viel größer als eins.
- Stochastischer Kundenbedarf: Dies entspricht häufig der betrieblichen Realität. Eine konstante Liefermenge jedes Artikels darf deshalb nicht als die beste Distributionsstrategie betrachtet werden (Silver, et al., 1998), sodass der Schwierigkeitsgrad der Analyse sich deutlich erhöht.
- Transportmittel mit festen Transportmengen: bedingt durch begrenzte LKW-Kapazität (40 PP)
- Unbegrenzte Anzahl der Transportmittel
- Bestellpolitiken (s,S): Heutzutage in der betrieblichen Praxis üblich, mit kontinuierlicher Beobachtung
- Begrenzter Planungshorizont
- Bestandsführung in den RL

Transportbündelung und Belieferung mit Residual-Stock werden als Transportstrategien im Distributionsnetzwerk mittels eines Fallbeispiels intensiv untersucht. Anschließend werden allgemeine Regeln zur Entscheidungsfindung bezüglich Transportbündelung sowie zur Sortiments- und Mengenentscheidung von Residual-Stock mit Multiprodukt ausgearbeitet und deren Nutzen abgeschätzt.

3. Bestandsmanagement und Transportmanagement

3.1 Bestandsmanagement

Im Bereich des Bestandsmanagements sind folgende Instrumente und Kennzahlen von großer Bedeutung und werden deshalb im Folgenden vorgestellt:

- ABC- und XYZ-Analyse
- Bestellpolitiken
- Durchschnittlicher Lagerbestand
- Sicherheitsbestand
- Lieferservicegrad
- Excess-Stock

ABC- und XYZ-Analyse

Grundlegende Instrumente des Bestandmanagements sind die ABC-Analyse und die XYZ-Analyse, welche zur Klassifizierung der Lagerbestände dienen können (Kummer, 2009).

Die ABC-Analyse geht von der Erfahrungsregel aus, dass nur ein kleiner Teil der untersuchten Produkte einen großen Teil des Verbrauchswertes oder der Bestellmenge ausmacht. Sie werden als A-Teile bezeichnet. Umgekehrt trägt ein großer Teil der Produkte nur zu einem kleinen Teil des Verbrauchswertes oder der Bestellmenge bei. Diese werden als C-Teile bezeichnet. B-Teile können als Restmenge von A- und C-Teilen gelten. Mithilfe der ABC-Analyse können „wichtige“ Produkte von „unwichtigen“ Produkten unterschieden werden (Vahrenkamp, 2005). Ziel einer ABC-Analyse im Distributionsnetzwerk ist es, die „wichtigen“ Produkte zu ermitteln, denen in der Distributionslogistik besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden soll (Schulte, 2001).

Die ABC-Analyse lässt sich in die reguläre und die inverse ABC-Klassifizierung unterteilen. Die Gesamtzahl N der Objekte wird mit den Anzahlen N_A , N_B , N_C in einem festen Verhältnis in A-, B- und C-Objekte unterteilt:

$$N_A:N_B:N_C = p_{NA}:p_{NB}:p_{NC}$$

Die auf diese Anzahlen entfallenden Anteile M_A , M_B , M_C werden in der Gesamteigenschaftsmenge angegeben:

$$M_A:M_B:M_C = p_{MA}:p_{MB}:p_{MC}$$

Bei der ABC-Klassifizierung entsteht häufig eine Einteilung im Verhältnis

$$N_A:N_B:N_C = 5\%:15\%:80\%$$

Für die inverse ABC-Klassifizierung gilt:

$$p_{MA}:p_{MB}:p_{MC} = 80\%:15\%:5\% \text{ (Gudehus, 2010)}$$

Nach der so genannten 80:20-Regel entfällt 80% der Menge auf 20% der Merkmalsträger. Diese 80:20-Regel ist aber in den meisten Fällen unzutreffend. Da in der Praxis sehr unterschiedliche Eigenschaftsmengen wie Bestellmenge, Umsätze, Bestandswerte, Lagermenge, etc. zu betrachten sind, entsteht eine Vielzahl von Lorenzkurven sowie den entsprechenden ABC-Klassifizierungen (Gudehus, 2010).

In dieser Dissertation gilt eine inverse ABC-Klassifizierung, d.h. A-Artikel machen 75% der Jahresbestellmenge aus, B-Artikel 20% und C-Artikel 5% (siehe Kapitel 10).

Die XYZ-Analyse ergänzt die ABC-Analyse mit der Regelmäßigkeit des Verbrauchs der verschiedenen Produkte (Vahrenkamp, 2005). Mehr zur XYZ-Analyse siehe XYZ-Klassifikation im Kapitel 10.1.

Bestellpolitiken

Bestellpolitiken sind ebenfalls wichtige Instrumente des Bestandsmanagements. In der Praxis werden unterschiedliche Bestellpolitiken entwickelt, nach denen die Bestellungen durchgeführt werden. Bestellpolitiken werden in der Literatur oft auch unter dem Oberbegriff Lagerhaltungspolitiken subsumiert, da Bestellmengen und Bestellintervalle die Lagerbestandshöhe beeinflussen. Bestellpolitiken lassen sich nach Bestellmenge und -intervall wie folgt unterteilen (Zimmermann, 1989) (Busse von Colbe, 1986) (Schulte, 2001).

	Bestellintervall	
	fix	variabel
Bestellmenge fix	(t,q)-Politik	(s,q)-Politik
Bestellmenge variabel	(t,S)-Politik	(s,S)-Politik

t: Bestellrhythmus oder -zeitpunkt: fixe Periode zwischen zwei Bestellungen

q: fixe Bestellmenge

s: Meldebestand oder Bestellgrenze: Lagerbestand, der die Bestellung auslöst

S: Sollbestand

Abbildung 14: Bestellmenge und Bestellintervall

Bei der (s,S)-Politik wird nach jeder Entnahme überprüft, ob der Meldebestand s unterschritten wird. Das Erreichen bzw. Unterschreiten des Meldebestands löst eine Bestellung aus. Die Bestellmenge ist vom Sollbestand S und dem Ausmaß der Unterschreitung des Meldebestands abhängig und wird so festgelegt, dass der Lagerbestand bis auf den Sollbestand S aufgefüllt wird. Der Bestellzyklus variiert in Abhängigkeit von der Höhe und Häufigkeit der Entnahme (Schulte, 2001).

Die (s,S)-Politik beinhaltet alle anderen Bestellpolitiken als Grenzfälle, d.h. die Lager- und Bestellkosten bei der optimalen (s,S)-Politik sind immer niedriger als die niedrigsten Kosten bei einer der anderen Bestellpolitiken (Tempelmeier, 2006). Darüber hinaus wird die (s,S)-Politik üblicherweise als die günstigste angesehen und wird deshalb in dieser Arbeit angewendet (Schulte, 2001).

Durchschnittlicher Lagerbestand

Der durchschnittliche Lagerbestand gehört zu den am häufigsten verwendeten Lagerkennzahlen. Der Lagerbestand zeigt das durchschnittlich im Lager gebundene Kapital an. Veränderungen bewirken insbesondere eine Beeinflussung der Kapitalbindungskosten und somit der Lagerhaltungskosten. Mögliche Abweichungsursachen sind zu hohe Sicherheitsbestände, ungenaue Bedarfsvorhersage, mangelnde Transparenz der Läger oder eine ungünstige

Sortimentszusammensetzung (Schulte, 2001). In dieser Arbeit wird der durchschnittliche Lagerbestand jährlich mengenmäßig nach Artikelarten ermittelt.

Lieferservicegrad

Der Lieferservicegrad bzw. der Lieferbereitschaftsgrad ist ebenfalls eine wichtige Lagerkennzahl.

Er steht für die Anzahl der zu einem gewünschten Liefertermin gelieferten Sachverhalte dividiert durch die Anzahl der bestellten Sachverhalte. Er dient zur Kontrolle der Lagerbestände – ein zu niedriger Lieferservicegrad verursacht Fehlmengenkosten (Strafkosten, Umsatzverlust etc.), hingegen führt ein zu hoher Lieferservicegrad zu hohen Lager- und Kapitalbindungskosten (Schulte, 2001) (Schönsleben, 2007).

Sicherheitsbestand

Die Höhe des Sicherheitsbestands ist abhängig vom angestrebten Servicegrad und von der Standardabweichung des Bedarfs während der Beschaffungszeit (Schönsleben, 2011) (Thonemann, 2010). Ein richtig dimensionierter Sicherheitsbestand führt zu einem hohen Lieferserviceniveau (Barth, et al., 2007). Der Sicherheitsbestand wird als Vielfaches der Standardabweichung des Bedarfs in der Beschaffungszeit, dem sog. Sicherheitsfaktor, errechnet. Die Formel lautet wie folgt (Melzer-Ridinger, 2004):

Sicherheitsbestand = Sicherheitsfaktor * Standardabweichung des Bedarfs in der Beschaffungszeit

Excess-Stock

Excess-Stock bezeichnet einen Lagerbestand, der während einer gewissen Zeit nicht gebraucht wird.

Excess-Stock wird durch eine falsche Entscheidung bei der Bestellung, eine mangelhafte Kontrolle der Lagerhaltung, eine Überlieferung durch Lieferanten oder durch eine angeblich unzureichende Prognostizierbarkeit des Absatzmarktes verursacht (Schulte, 2001). Die kontinuierliche Überwachung der Bestandsmenge und die Optimierung des Bestellverhaltens kann dabei helfen, diese zu hohen oder zu lange lagernden Warenbestände (sog. Lagerleichen) zu vermeiden (ten Hompel, et al., 2005).

3.2 Transportmanagement

Aufgrund der zunehmenden Anforderungen an die Schnelligkeit und Flexibilität der Transportleistungen sowie des stetigen Kostendrucks sind folgende Begriffe im Bereich des Transportmanagements sowie die damit verbundenen Zusammenhänge zu erläutern:

- Direktlieferung, Transportbündelung und Bündelungsgrad
- Outsourcing und LDL
- Residual-Stock
- Cycle-Stock
- Kapazität und Füllgrad des Transportmittels

Direktlieferung, Transportbündelung, Bündelungsgrad, Outsourcing sowie LDL

Eine **Direktlieferung** (direkter Güterfluss, einstufiges Distributionssystem) ist eine Lieferung, die nicht durch ein RL, sondern direkt aus dem ZL oder aus dem Werk an den Kunden erfolgt.

Im Gegensatz zur Direktlieferung werden die Produkte bei der **Transportbündelung** zusammengefasst und durch ein RL geliefert. Durch Bündelung von Transportmengen kann eine bessere Auslastung des Transportmittels erreicht werden, sodass die Transportkosten pro Liefereinheit minimiert werden können. Inwiefern die Transportbündelung die gesamten Transportkosten allerdings tatsächlich minimieren kann, lässt sich nicht einfach beantworten. In der vorliegenden Arbeit wird dieses Thema gezielt erforscht. Gudehus hat eine andere Bedeutung des Begriffs Transportbündelung vorgestellt. Bei seiner Transportbündelung werden mehrere Ladungen, die auf einer Tour abgeholt oder zugestellt werden können, zugunsten der Transportkosten in einer Transporteinheit befördert (Gudehus, 2007). Es handelt sich hierbei also um eine Tourenplanung. Diese Arbeit befasst sich mit der erstgenannten Definition des Begriffs Transportbündelung.

In der betrieblichen Praxis werden Großabnehmer meistens direkt aus den ZL beliefert, und kleinere Abnehmer erhalten ihren Bedarf über die RL (Gudehus, 2007). Wie der Grenzwert bestimmt wird, also ab welcher Bestellmenge direkt an den Kunden geliefert werden sollte, wird in dieser Arbeit mittels eines Fallbeispiels intensiv diskutiert.

Der **Bündelungsgrad** ist der Anteil der Lieferungen in Prozent, der über RL durchgeführt wird.

Beispiele:

- 0%iger Bündelungsgrad: nur Direktlieferung (ZL-Kunden), z.B. ExpB0% (siehe Kapitel 8.3)
- 100%iger Bündelungsgrad: ohne Direktlieferung, z.B. ExpBohneD (siehe Kapitel 8.3)

Im Distributionsnetzwerk haben heutzutage viele Produktionsunternehmen ihre Transporttätigkeiten (ZL – Kunden oder Werk – Kunden) an einen logistischen Dienstleister (**LDL**) delegiert. Bei einem LDL ist eine besonders starke Transportbündelung zu erreichen, da dieser die zu transportierenden Produkte von mehreren Auftraggebern in seinem Netz zusammenfassen kann. Durch diese Nutzung von Transportmitteln sowie RL kann eine Ersparnis der Logistikkosten erzielt werden (Keenan, 2000) (Simchi-Levi, et al., 2004).

Das Ziel der Transportbündelung ist die Senkung der Transportkosten. Eine hohe Auslastung des Transportmittels kann üblicherweise erhebliche Kostenvorteile bringen, da die Kosten einer Fahrt auf einer bestimmten Strecke für ein bestimmtes Transportmittel nur sehr unwesentlich von der Liefermenge abhängig sind. Durch eine hohe Transportauslastung werden deshalb die Transportkosten pro Liefereinheit niedriger. Bei erhöhter Liefermenge des Lieferauftrags werden einem Produktionsunternehmen beim Outsourcing üblicherweise vom LDL sinkende Frachtsätze angeboten. Allerdings kann die gebündelte Lieferung im Vergleich zur Direktlieferung aufgrund der zusätzlichen Standzeit und Bestandslagerung, des Umschlags, der Ein- und Auslagerung etc. im RL erhöhte Lieferzeit, Lagerhaltungs- und Handhabungskosten verursachen (Fleischmann, 2002).

Residual-Stock

Der Begriff Residual-Stock ist wichtig für den Interessensausgleich zwischen Transport- und Bestandsmanagement in einem koordinierten Distributionsnetzwerk. Unter Residual-Stock versteht man die Transportmenge, die ohne Kundenbestellung und zugunsten von kostenminimierten Transportprozessen entsteht (Push). Durch Residual-Stock wird die Transportauslastung optimiert und ineffiziente Fahrten werden vermieden. Die optimal dimensionierte Ladung des Residual-Stocks ist deshalb kostenreduzierend und umweltschonend. Andererseits verursacht eine falsch dimensionierte Ladung von Residual-Stock immer steigende Bestände in den nachfolgenden Lägern, welche in einem gewissen Zeitraum nicht verbraucht werden können; dies wird dann als Excess-Stock bezeichnet. Mit dem richtigen Residual-Stock können durch hohe Transportauslastungen Vorteile erzielt werden, allerdings unter der Voraussetzung, dass die Lagerhaltungskosten in den nachfolgenden Lägern stabil bleiben und der angestrebte

Lieferservicegrad weiter gewährleistet werden kann. In der vorliegenden Arbeit wird das Kostenreduzierungspotenzial durch Residual-Stock intensiv erforscht.

Eine Distributionsstrategie mit 100%igem Füllgrad des LKWs ist nachfolgend dargestellt:

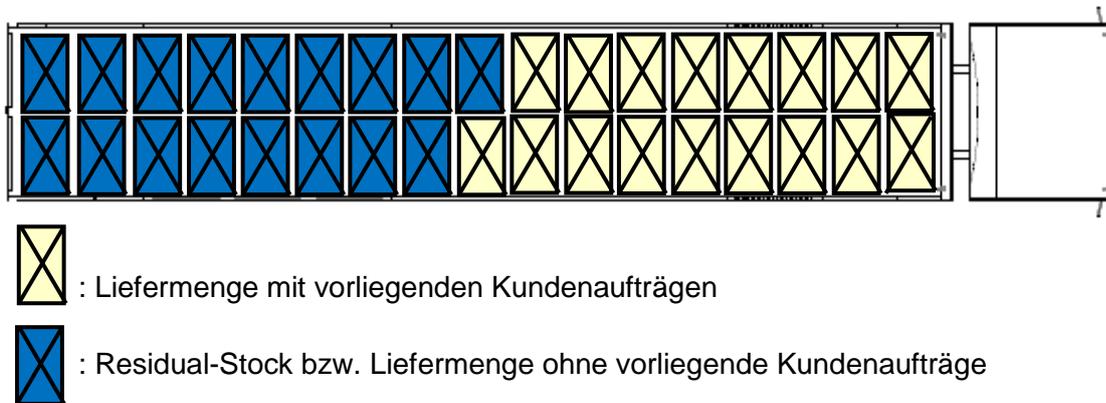


Abbildung 15: Distributionsstrategie mit 100%igem LKW-Füllgrad; der LKW wird mit Residual-Stock voll aufgefüllt

Die Argumente pro und contra Residual-Stock sind folgende:

Pro (richtig dimensionierter Residual-Stock)	Contra (falsch dimensionierter Residual-Stock)
Niedrige Transportkosten pro Liefereinheit (Transportmanagement)	Höhere Lagermenge im RL, damit hohe Lagerkosten, hohe Kapitalbindung und niedriger Lagerumschlag im RL
Geringe Fehlmengenkosten	Höhere Handhabungskosten

Abbildung 16: Argumente pro (richtig dimensioniert) und contra (falsch dimensioniert) Residual-Stock (Eigene Darstellung)

Cycle-Stock

Unter Cycle-Stock versteht man den Lagerbestand, der durch eine stapelweise Bestellung oder Fertigung verursacht wird, d.h. die Produkte werden nicht im Einzelnen, sondern in kompletten Paletten bestellt oder hergestellt (Silver, et al., 1998).

Im Folgenden ist ein Beispiel für Cycle-Stock dargestellt:

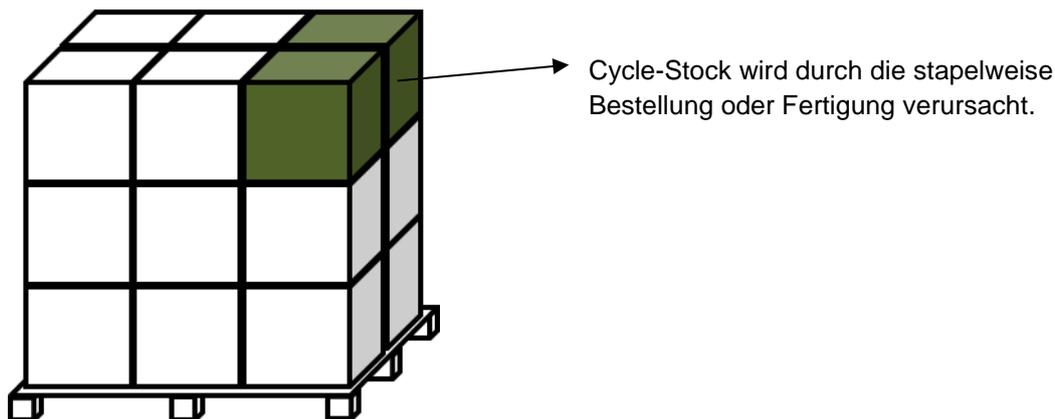


Abbildung 17: Beispiel für Cycle-Stock

Gründe für den Cycle-Stock sind (Silver, et al., 1998):

- Mengenrabatte bei den Transportkosten oder beim Einkaufspreis
- Wirtschaftlichkeit aufgrund hoher Rüstkosten in der Fertigung
- technische Rückstände wie ein Prozesstank mit begrenzter Größe in einem chemischen Prozess

Cycle-Stock ist eine Art Residual-Stock, da ebenfalls ohne Kundenauftrag geliefert wird und Cycle-Stock auch zur optimalen Transportauslastung dient.

In dieser Arbeit werden aus wirtschaftlichen Gründen stets komplette Paletten für die Strecke ZL-RL geliefert, d.h. der Cycle-Stock existiert immer beim Transportprozess ZL-RL. Der Aufwand für Umpacken im ZL wird dadurch gespart und die Transportauslastung ist besser, sodass die Handhabungskosten im ZL sowie die Transportkosten ZL-RL pro Artikeleinheit reduziert werden können. Der Lagerbestand des Cycle-Stocks im ZL ist mengenmäßig nicht hoch (weniger als eine

volle Palette) und wird für später eingehende Kundenaufträge bzw. als Sicherheitsbestand vorgehalten.

Der Cycle-Stock beim Transportprozess RL-Kunden oder ZL-Kunden ist aber aus Sicht der Lieferpräzision verboten, d.h. für die Strecken ZL-Kunden und RL-Kunden wird genau nach Kundenbestellung geliefert. Viele Kunden haben aus Betriebsgründen eine individuelle Paletten-Dimension. Lieferungen aus einem RL oder ZL an solche Kunden werden dann mit entsprechenden Kundenpaletten durchgeführt.

Kapazität und Füllgrad des Transportmittels

In dieser Arbeit ist die Ladekapazität des Transportmittels im ganzen Distributionsnetzwerk konstant. Mehr Informationen zum Füllgrad und zur Lademenge finden sich im Anhang.

3.3 Logistikleistung und Logistikkosten als Zielgrößen im Distributionsnetzwerk

Strukturierung der logistischen Leistungen im Distributionsnetzwerk

Als logistische Leistung kann je nach Betrachtungsumfang der Logistik nur der physische Prozess im Rahmen der Transportleistungen und der Lagerung der Produkte oder, darüber hinaus gehend, auch eine Koordinierung von Prozessketten zur Erfüllung der logistischen Kundenanforderungen verstanden werden (Weber, 1995).

Alle logistischen Leistungen im Distributionsnetzwerk sind mit Kennzahlen bzw. Logistikkosten darzustellen (Michel, 1989) (Kerner, 2002).

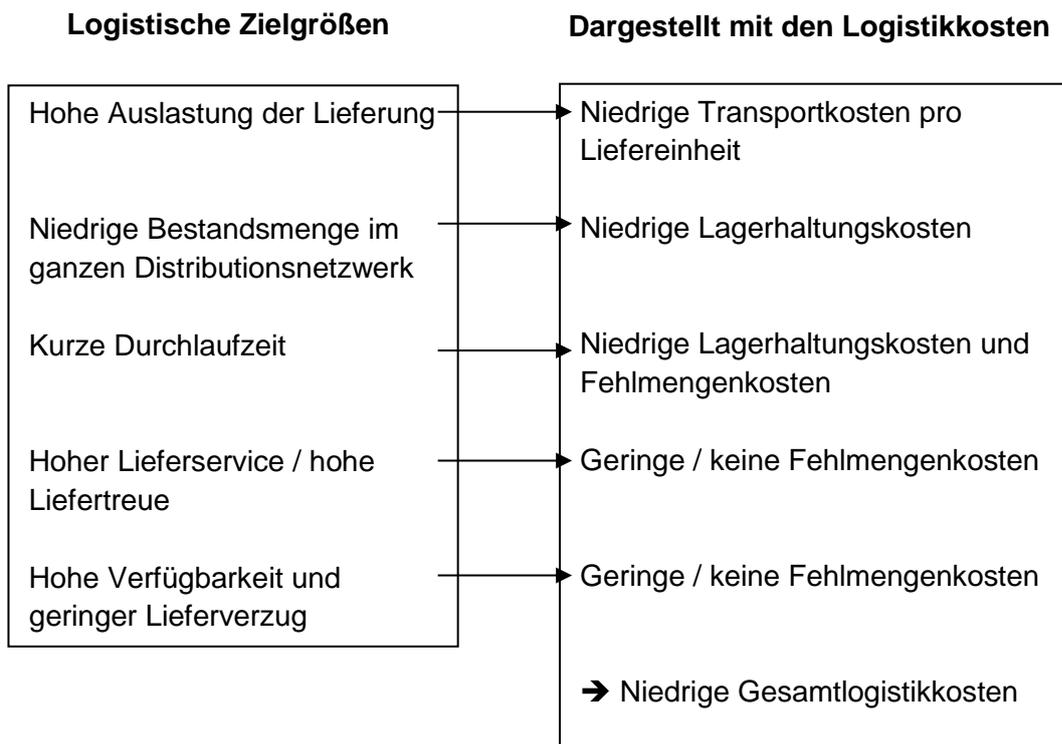


Abbildung 18: Zusammenhang zwischen logistischen Zielgrößen und Logistikkosten, vgl. dazu (Kuhn, 1995) (Nyhuis, et al., 2012 S. 10)

Allgemeine Logistikkosten in einem Distributionsnetzwerk

Die als Bewertungskriterium bzw. -kennzahlen der logistischen Leistungen im Distributionsnetzwerk zu betrachtenden Logistikkosten sind folgende:

- Transportkosten
- Lagerkosten (Lagerhaltungskosten, Handhabungskosten, Fixkosten)
- Auftragskosten
- Fehlmengenkosten

Ausführlich werden die oben genannten Kosten in Kapitel 5 vorgestellt.

Abhängigkeit von Parametern: Lagerhaltungskosten, Transportkosten, Fehlmengenkosten, Residual-Stock, Transportbündelung, Sicherheitsbestand

Der Sicherheitsbestand ist als Vorsichtsmaßnahme gegen Probleme wie Lieferverzug im vorgelagerten Lieferprozess oder als „Pufferstand“/Reserve zum Schutz gegen unerwartete Veränderungen in den Kundenaufträgen vorgesehen. Steigt die Menge des Sicherheitsbestands, können evtl. Fehlmengenkosten zwar vermieden werden, aber die Lagerhaltungskosten steigen. Ein Sicherheitsbestand ist deshalb zwar erforderlich, soll aber so gering wie möglich gehalten werden. Im RL werden Aufträge täglich nach der vorhandenen Bestandsmenge (inklusive Sicherheitsbestand) sowie nach Kundenbestellung zu den Zentrallägern gesendet.

Die bestmögliche Nutzung von Laderaumkapazitäten (z.B. Ganzladungen) hilft dabei, die Transportkosten zu optimieren und die sprungfixen Kostensätze im Transportgewerbe zu nutzen (ten Hompel, et al., 2005). Der Residual-Stock ist eine Liefermenge, die sich ohne Kundenbestellung zugunsten von kostenminimierten Transportprozessen ergibt. Wenn die Menge und das Sortiment des Residual-Stocks mit dem zukünftigen Kundenbedarf zum größten Teil übereinstimmen, erweist sich ein solcher Residual-Stock als „richtig“. Der richtige Residual-Stock kann im RL als Reserve dienen. Wenn der richtige Residual-Stock stets zum RL geliefert wird, braucht man in der nachfolgenden Zeit weniger Produkte zu bestellen, d.h. man kann einen solchen richtigen Residual-Stock als Sicherheitsbestand im RL halten. Die Lagermenge im RL bleibt konstant, also steigen die Lagerhaltungskosten im RL nicht als Folge des Residual-Stocks. Der gewünschte Servicegrad ist nach wie vor gewährleistet, es gibt also keine Fehlmengenkosten.

Vom RL werden unter Berücksichtigung der vorhandenen Lagermenge sowie Kundenbestellungen regelmäßig Aufträge an die ZL gesendet. Durch den richtigen Residual-Stock kann eine gewisse Lieferung für den zukünftigen Kundenbedarf vermieden werden. Mit dem Residual-Stock werden die Transportkosten pro Einheit (ZL-RL) reduziert, wodurch dann insgesamt niedrigere Transportkosten entstehen.

	Bestandsmanagement	Transportmanagement
Mit „richtigem“ Residual-Stock	stabile und niedrigere Lagermenge und LHK im RL, mehr Sicherheit bzw. geringeres Risiko bei evtl. Lieferverzug oder Kundenbedarfsänderung, daher geringere bzw. kaum Fehlmengenkosten	Niedrigere Transportkosten pro Einheit, eine gewisse Lieferung für den zukünftigen Kundenbedarf wird vermieden, daher niedrigere Transportkosten sowie Auftragskosten
Mit „falschem“ Residual-Stock	kontinuierlich steigende Lagermenge, daher höhere LHK im RL, höhere Handhabungskosten im RL	Niedrigere Transportkosten pro Einheit, Lieferung für den zukünftigen Kundenbedarf wird nicht reduziert, daher höhere gesamten Transportkosten
Ohne Residual-Stock	Niedrigere LHK im RL, relativ niedrigere Handhabungskosten im RL	Höhere Transportkosten pro Einheit
Ohne Transportbündelung (Direktlieferung)	Keine LHK im RL, keine Handhabungskosten im RL	Transportkosten von den Frachtsätzen abhängig, höhere Flexibilität
Mit Transportbündelung (Lieferung durch RL)	Höhere LHK im RL, höhere Handhabungskosten	Transportkosten von den Frachtsätzen abhängig

Abbildung 19: Zusammenhang von Residual-Stock, Transportbündelung, etc. (Eigene Darstellung)

Aus der obigen Tabelle ersieht man, dass der richtige Residual-Stock für die ganzheitliche Optimierung bzw. den Interessensausgleich im Bestandsmanagement und Transportmanagement von größter Bedeutung ist. Es ist aber keine leichte Aufgabe, den Residual-Stock sortimentsmäßig und mengenmäßig richtig einzustellen. Die Entscheidungsfindung bezüglich Transportbündelung ist zudem unerlässlich für ein kostensparendes und wettbewerbsfähiges Distributionsnetzwerk. Im Folgenden wird ein Unternehmen der Konsumgüterindustrie als Fallbeispiel dargestellt.

4. Distributionsnetzwerk eines Unternehmens der Konsumgüterindustrie

4.1 Einführung des Distributionsnetzwerks

Als Fallbeispiel wurde ein Unternehmen der Konsumgüterindustrie ausgewählt. Das Unternehmen hat drei Produktionsstandorte, 24 RL bzw. Distributionszentren sowie über 3000 Kundenstandorte landesweit. Insgesamt werden über 700 verschiedene Artikel im ganzen Land verkauft und geliefert. Eine hohe Anzahl an Artikeln, mehrere Standorte und stochastischer Kundenbedarf sind die Eigenschaften dieses Distributionsnetzwerks.

Jedes ZL ist direkt mit einem Produktionswerk gekoppelt, welches die un stetigen Marktbedarfe von der großvolumigen Chargenfertigung entkoppelt. Jedes Produktionswerk produziert eigene Artikel, d.h. eine Artikelsorte wird nur in einem entsprechenden Produktionswerk hergestellt und entsteht deshalb nur in einem ZL. Von den insgesamt 771 Artikelsorten befinden sich 184 Artikel in ZL1, 132 Artikel in ZL2 und 455 Artikel in ZL3.

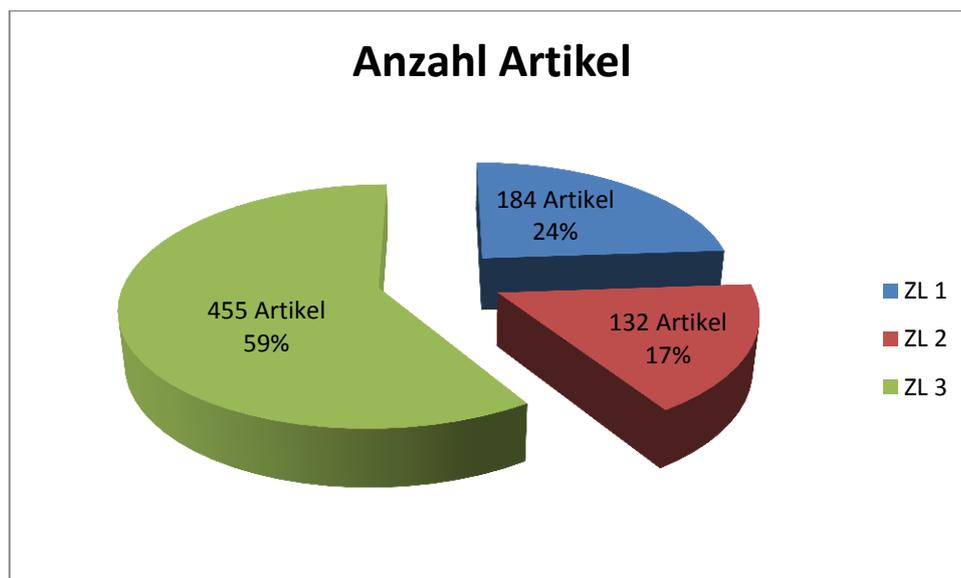


Abbildung 20: Anzahl der Artikel in den drei Zentrallägern

Die Kunden werden entweder direkt aus den ZL beliefert oder erhalten den Bedarf über die RL. Das Unternehmen übernimmt grundsätzlich die Transportkosten vom eigenen ZL bis zu den Kunden. Selbstabholer-Kunden sind selbst für den Transport aus den RL zuständig, daher entfallen die entsprechenden Transportkosten für das Unternehmen. Um die Allgemeingültigkeit der

Forschungsergebnisse zu gewährleisten, werden Selbstabholer-Kunden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Fünf der insgesamt 24 RL haben nur Selbstabholer-Kunden. Deshalb bezieht sich die vorliegende Dissertation nicht auf 24 RL, sondern auf 19 RL, und der Bedarf der Selbstabholer-Kunden in den 19 RL wird in dieser Arbeit ebenfalls ignoriert.

Das Distributionsnetzwerk besteht aus einer einstufigen Distribution mit drei ZL bzw. aus einer zweistufigen Distribution mit drei ZL und 19 RL. In der zweistufigen Distribution ist jeder Kunde einem RL zugeordnet; die Lieferungen aus dem RL an den Kunden werden nicht durch Touren mit mehreren Zielen, sondern durch Stichfahrten realisiert. LDL (logistische Dienstleister) übernehmen alle Transporttätigkeiten. Das Unternehmen im Fallbeispiel bezahlt nach Liefertarif. Die Transportkostenberechnung basiert grundsätzlich auf den benötigten Palettenplätzen (PP) pro Fahrt, auf der Lieferentfernung, den Regionen sowie auf einer festen Relation.

Aufgrund des immer intensiver werdenden Wettbewerbs sowie des zunehmenden Kostendrucks ist es zwingend erforderlich, kontinuierlich Optimierungspotenziale zu suchen und durch geeignete Maßnahmen zu realisieren. Das Distributionsnetzwerk soll ganzheitlich optimiert werden, d.h. die Gesamtlogistikkosten dieses Distributionsnetzwerks sollen minimiert werden, ohne dass Fehlmengen beim Kunden auftreten. Es soll also die höchste Leistungsfähigkeit (Effizienz) des Distributionsnetzwerks gewährleistet werden. Diese ganzheitliche Kostenminimierung bezieht sich auf Transportkosten (Hauptlauf und Nachlauf), Lagerhaltungskosten (RL), Handhabungskosten (ZL und RL), Auftragskosten sowie Fehlmengenkosten.

Die Ladekapazität der LKWs im ganzen Distributionsnetzwerk beträgt 40 PP. Ein Kundenauftrag wird nur komplett ausgeliefert, d.h. Teillieferungen sind nicht erlaubt. Im Distributionsnetzwerk gilt die Bestellpolitik (s,S). Die Wiederbeschaffungszeit vom ZL zum Kunden beträgt ein bis vier Tage.

Die folgende Abbildung gibt die Anzahl der Artikel pro RL im Überwachungsintervall von einem Jahr wieder.

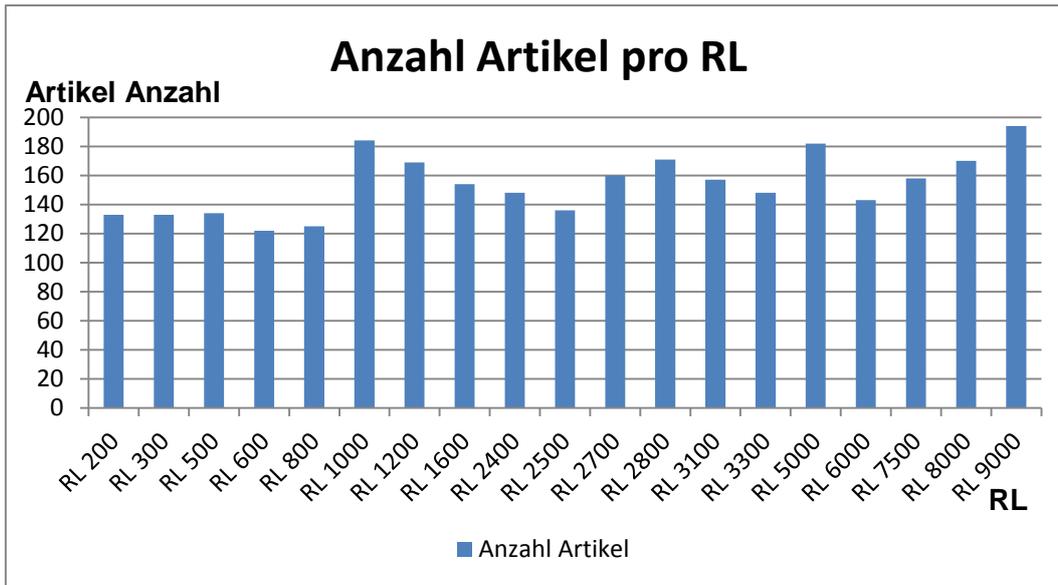
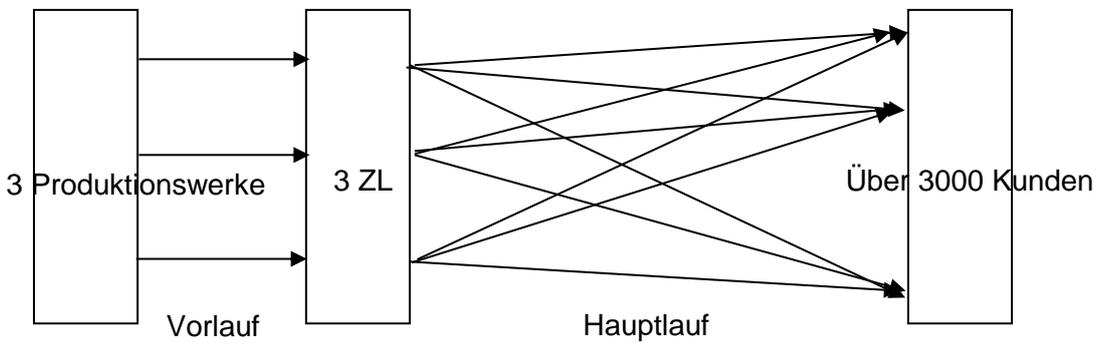


Abbildung 21: Anzahl Artikel pro RL

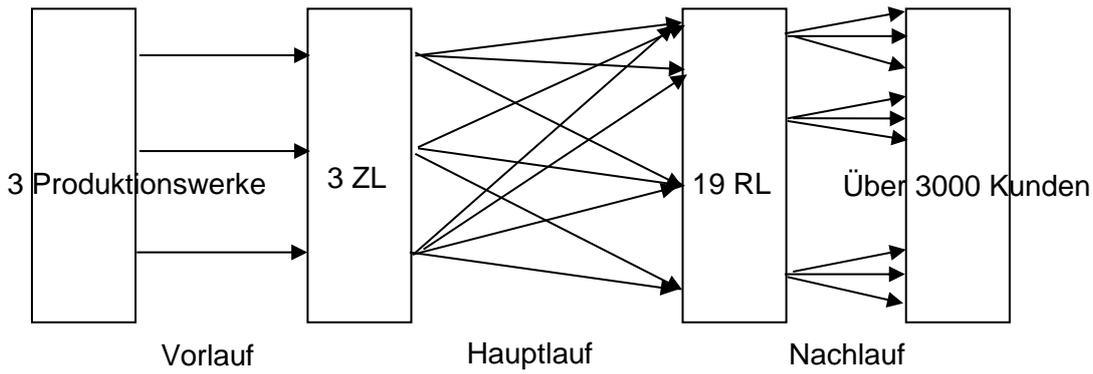
4.2 Distributionsstruktur und -kosten

Im Folgenden ist die Distributionsstruktur des Unternehmens im Fallbeispiel dargestellt:



Einstufiges Distributionsnetzwerk, mit Direktlieferung und ohne RL

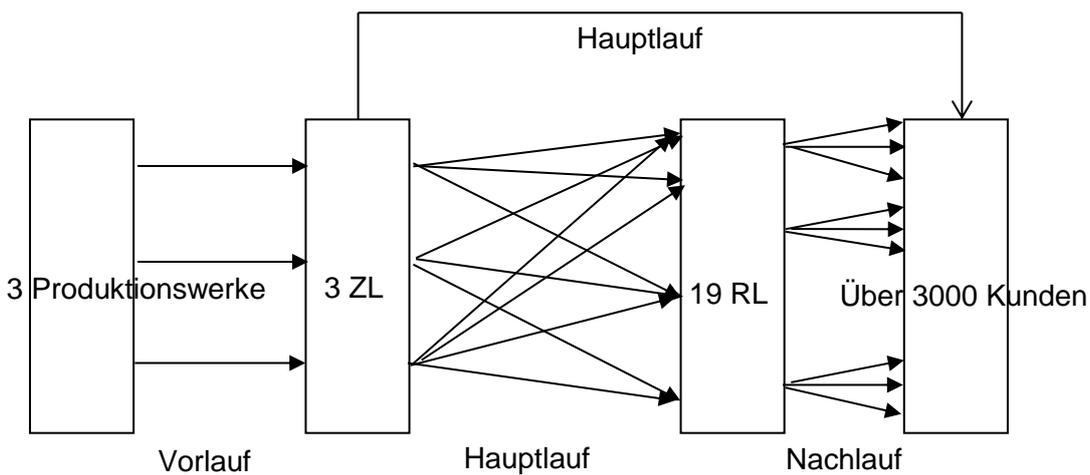
Anzahl der Kontakte im Hauptlauf: über $3000 \cdot 3 =$ über 9000



Zweistufiges Distributionsnetzwerk, mit RL und ohne Direktlieferung

Anzahl der Kontakte im Hauptlauf: $19 \cdot 3 = 57$

Anzahl der Kontakte im Nachlauf: über 3000



Gemischtes Distributionsnetzwerk, teilweise mit Direktlieferung

Abbildung 22: Distributionsstruktur des Unternehmens im Fallbeispiel

Der Hauptlauf hat den längsten Lieferabstand, sodass die Verringerung des Distributionsaufwands durch die RL aus Sicht der Anzahl der Kontakte im Hauptlauf scheinbar groß ist. Allerdings bleibt es offen, wann und wie viel durch RL geliefert (oder direkt geliefert) werden muss, um die niedrigsten

Gesamtlogistikkosten zu erreichen. Diese Frage wird deshalb in den folgenden Kapiteln ausführlich analysiert.

Folgende Kosten werden im Rahmen der Bewertung des Distributionsnetzwerks berücksichtigt und verglichen:

- Transportkosten (Hauptlauf und Nachlauf)
- Lagerhaltungskosten und Handhabungskosten in den RL
- Handhabungskosten in den ZL
- Auftragskosten
- Fehlmengenkosten

4.3 Paletten

Bei der Direktlieferung (ZL-Kunden) werden kundenspezifische Paletten im ZL bereitgestellt, während bei der Lieferung durch das RL solche kundenspezifischen Paletten im RL erst zusammengestellt werden. Da Paletten unter gewissen Umständen zweifach gestapelt werden können, entspricht die Anzahl der Paletten nicht mehr der Anzahl der Palettenplätze (PP). In dieser Arbeit wird die Anzahl der Palettenplätze (PP) verwendet. Nähere Angaben über die Abmessungen und die Stapelregel der verschiedenen Paletten sind im Anhang zu finden.

4.4 Teillieferungen

Zwei Liefervarianten

Im Distributionsnetzwerk sind zwei Liefervarianten bezüglich der Teillieferungen zu unterscheiden: entweder ist Teillieferung untersagt oder zulässig.

Ein Beispiel:

Ein Kundenauftrag besteht aus 1 Pal. von Artikel A, 3 Pal. von Artikel B und 1 Pal. von Artikel C. In einem RL sind 1 Pal. von Artikel A und 3 Pal. von Artikel B bereits vorhanden, nur 1 Pal. von Artikel C muss im ZL nachbestellt werden.

Fall 1: Keine Teillieferungen:

1 Pal. von Artikel A und 3 Pal. von Artikel B sollen im RL warten, bis 1 Pal. von Artikel C im RL ankommt bzw. bis diese Kundenbestellung vollständig beliefert werden kann; danach erst erfolgt die Lieferung zum Kunden. Hier ist keine Teillieferung zulässig.

Fall 2: Teillieferungen zulässig:

Hier ist die Teillieferung auf jeden Fall zulässig, d.h. 1 Pal. von Artikel A und 3 Pal. von Artikel B werden zuerst zum Kunden geliefert; die Nachlieferung von 1 Pal. Artikel C erfolgt, sobald dieser Artikel im RL lieferbar ist.

Vergleich der beiden Lieferstrategien

	Keine Teillieferungen	Teillieferungen zulässig
Transportkosten	Relativ niedrig	Relativ hoch
Lagerkosten in RL	Relativ hoch	Relativ niedrig
Kunden-Serviceniveau	Relativ niedrig	Relativ hoch

Abbildung 23: Vergleich der beiden Lieferstrategien

In dieser Arbeit werden keine Teillieferungen zugelassen. Dies wird je nach Kundenbedarf vertraglich festgelegt und kann bei verändertem Kundenbedarf in der Eingabedatei jederzeit geändert werden. Nähere Angaben siehe Anhang.

4.5 Verallgemeinerte Rahmenbedingungen

Zusammengefasst sind die verallgemeinerten Rahmenbedingungen in dieser Arbeit wie folgt:

- Einheitliche Ladekapazität der Transportmittel bzw. LKWs im ganzen Distributionsnetzwerk: 40 PP
- Teillieferungen nicht erlaubt
- Lieferungen mit Residual-Stock: In einigen Experimenten stehen AB-Artikel oder AX-, BX- und AY-Artikel für den Residual-Stock zur Verfügung. Aber falls ein Kunde keine der o.g.

Artikel aus einem ZL bestellt, wird sein LKW aus diesem ZL nicht nachgefüllt. Dies kommt sehr selten vor.

- Jedes ZL ist direkt einem Produktionswerk zugeordnet. Die Produktion hat eigene Losgrößenregeln, deshalb ist kaum Optimierungspotenzial vorhanden. Die Lagerhaltungskosten im ZL werden deshalb in der Bewertung nicht berücksichtigt.
- Vorgegebene Frachtsätze aus der betrieblichen Praxis
- Die Simulationszeit beträgt 12 Monate.
- Jeder Kunde ist einem RL zugeordnet.
- Stichfahrt RL-Kunden

4.6 Besonderheit / Schwierigkeit bei der Planung des Distributionsnetzwerks in dieser Arbeit

Mit der Transporttätigkeit werden Logistikdienstleister beauftragt. Das Unternehmen im Fallbeispiel zahlt nach vorgegebenen Tarifen und hat somit eine größere Freiheit und Verantwortung, seine Distribution zu gestalten und zu steuern. Die Freiheit der Planung und Steuerung dieses komplizierten dynamischen Distributionsnetzwerks führt zur Entscheidungsunsicherheit bei der Bestimmung von Transportströmen und -größen im Hinblick auf eine effiziente und kostengünstige Distribution. Aufgrund der großen Datenmenge ist es nicht einfach, genaue Entscheidungen zu treffen, wie das Distributionsnetzwerk im Detail effektiv betrieben werden soll. Die Aufgabe bezieht sich auf Entscheidungen über Distributionsstrukturen für einzelne Kunden (Transportbündelung oder Direktlieferung), Lieferungen mit / ohne Residual-Stock, Mengen und Sortiment des Residual-Stocks. Der sich ständig ändernde Marktbedarf soll berücksichtigt werden, deshalb ist es für das Unternehmen äußerst wichtig, auf solche Änderungen schnellstmöglich zu reagieren.

Die Besonderheiten bzw. Schwierigkeiten bei der Planung des Distributionsnetzwerks in dieser Arbeit sind wie folgt:

- Hohe Anzahl an Produkten: Mehr als 700 verschiedene Artikelsorten
- Mehrere Standorte: 3 ZL-, 19 RL- und über 300 Kundenstandorte führen zu komplizierten Transportströmen
- Schwierigkeit bei der Bedarfsprognose: Stochastischer Kundenbedarf; das Bestellverhalten der Kunden ist nicht beeinflussbar und auch schwer zu prognostizieren

- Wiederbeschaffungszeit ZL-Kunden beträgt 1-4 Tage, sodass entsprechende Bestandsmengen im RL geplant werden sollten
- Frachtsätze und Lagerhaltungssätze können über die Zeit durch veränderte Rahmenbedingungen variieren

5. Allgemeine Logistikkosten in einem Distributionsnetzwerk

Die verschiedenen strategischen Experimentiergruppen im Fallbeispiel werden nach den logistischen Gesamtkosten verglichen und bewertet. Die zu betrachtenden Gesamtlogistikkosten im Distributionsnetzwerk sind wie folgt klassifiziert:

- Transportkosten
- Lagerhaltungskosten
- Handhabungskosten
- Auftragskosten
- Fehlmengenkosten

5.1 Transportkosten

Die Transportkosten für das gesamte Distributionsnetzwerk setzen sich zusammen aus den Transportkosten in Vorlauf, Hauptlauf und Nachlauf. In Kapitel 4.2 sind grafische Darstellungen von Vorlauf, Hauptlauf und Nachlauf in der Distributionsstruktur zu finden.

In dieser Arbeit werden nur die Transportkosten im Hauptlauf (ZL-RL, ZL-Kunden) und Nachlauf (RL-Kunden) berücksichtigt, da die Transporttätigkeit im Vorlauf innerbetrieblich stattfindet und kaum Optimierungspotenziale bietet.

Die Formel lautet:

$$F = \underbrace{\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{z=1}^Z \sum_{d=1}^D m_{ptzd} \cdot f_{ptzd}}_{\substack{\text{Transportkosten} \\ \text{des Hauptlaufs} \\ \text{ZL-RL}}} + \underbrace{\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{d=1}^D \sum_{k=1}^K m_{ptdk} \cdot f_{ptdk}}_{\substack{\text{Transportkosten} \\ \text{des Nachlaufs} \\ \text{RL-Kunden}}} + \underbrace{\sum_{p=1}^P \sum_{t=1}^T \sum_{z=1}^Z \sum_{k=1}^K m_{ptzk} \cdot f_{ptzk}}_{\substack{\text{Transportkosten} \\ \text{der Direktlieferung} \\ \text{ZL-Kunden}}}$$

F: Gesamte Transportkosten im Distributionsnetzwerk

p: Einzelnes Produkt in einem Multiprodukt¹¹-Distributionssystem, P: Gesamtanzahl der Produkte

¹¹ Hierbei ist die Artikelanzahl viel größer als eins.

t: Einzelne Zeiteinheit (Tag), T: Überwachungsintervall

z: Einzelnes ZL, Z: Gesamtanzahl der ZL

d: Einzelnes RL, D: Gesamtanzahl der RL

k: Einzelner Kunde, K: Gesamtanzahl der Kunden

m: Liefermenge

f: Frachtsatz

Frachtsätze sind die Transportkosten je Palettenplatz. Die Höhe der Frachtsätze ist in der Regel von Lieferdistanz, Region, Liefermenge etc. abhängig. Der Mengenrabatt bei der Lieferung ist zum Zweck der Kostenoptimierung von großer Bedeutung. Die Transportmatrizen ergeben sich aus der betrieblichen Praxis.

Die Transportkosten des Unternehmens im Fallbeispiel werden wie folgt berechnet:

- Transportkosten des Hauptlaufs ZL-RL:
Die Berechnung basiert auf der Anzahl der zu liefernden PP und den vorgegebenen festen Relationen zwischen ZL und RL.
- Transportkosten der Direktlieferung ZL-Kunden:
Die Berechnung basiert auf der Anzahl der zu liefernden PP, der PLZ der Kunden und der Entfernung zwischen ZL und Kunden.
- Transportkosten des Nachlaufs RL-Kunden:
Die Lieferungen aus dem RL an die Kunden werden nicht durch Touren mit mehreren Zielen, sondern durch Stichfahrten realisiert. Die Berechnung basiert auf der zu liefernden PP-Anzahl, der PLZ der Kunden sowie der Entfernung zwischen RL und Kunden.

5.2 Lagerhaltungskosten

Lagerhaltungskosten sind die für die Zeitüberbrückung von Produkten im Lager anfallenden Kosten. Nach Schulte bestehen die Lagerhaltungskosten aus den Lagerkosten und den Kapitalbindungskosten. Die Lagerkosten lassen sich weiter in fixe und variable Kosten unterteilen (Schulte, 2001).

Fixkosten sind nicht von der Lagermenge abhängig. Sie fallen auch dann an, wenn keine Aktivitäten im Lager stattfinden.

Zu den Fixkosten zählen beispielsweise:

- Raumkosten (Kosten für die Gebäudeunterhaltung, z.B. Abschreibung, Hypothekenzinsen, Gebäudeversicherung, Beleuchtung, Heizung, Instandhaltung)
- Personalkosten für Lagerpersonal
- Miete und Leasingraten für Lagerräume, Transportmittel und Lagereinrichtung
- Abschreibung auf die Lagereinrichtung und die Transportmittel
- Instandhaltung und Wartung der Transportmittel und der Lagereinrichtung (Schulte, 2001)

Variable Kosten sind direkt von der Lagermenge abhängig. Dazu gehören:

- Kosten für die Wartung des Materials im Lager
- Kosten der Sonderbehandlung, wie materialspezifische Lagerung (z.B. Kühlung)
- Materialflusskosten, wie Betriebskosten für Transportmittel
- Wertberichtigungen infolge Schwund, Verderb und Veralterung (Schulte, 2001)

Nach Simchi-Levi und Kaminsky setzen sich die gesamten anfallenden Kosten eines Lagers (Lagerlogistikkosten) aus Fixkosten, Lagerhaltungskosten und Handhabungskosten zusammen (Simchi-Levi, et al., 2003). In dieser Arbeit werden die Lagerlogistikkosten nach Simchi-Levi und Kaminsky klassifiziert und berechnet.

Fixkosten sind nicht proportional zur Lager-Durchlaufmenge, sondern üblicherweise auf nichtlineare Weise proportional zur Lagerkapazität (Simchi-Levi, et al., 2003). Da die Lagerkapazität des Unternehmens fest vorgegeben ist, ist eine Optimierung der Fixkosten in dieser Arbeit nicht notwendig.

Lagerhaltungskosten sind proportional zum mittleren Lagerbestand (Simchi-Levi, et al., 2003). In der betrieblichen Praxis werden die Lagerhaltungskosten in der Regel mit einem Kostensatz (Lagerhaltungskosten für einen Palettenplatz (PP) pro Monat) verrechnet. So werden die Lagerhaltungskosten wie folgt berechnet:

$$\text{Lagerhaltungskosten} = \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P m_{dtp} \cdot ks_{dtp}$$

lks_{dtp} : Lagerkostensatz eines Produkts p in einer Zeiteinheit in einem RL (pro PP pro Monat in €)

ml_{dtp} : mittlere Lagermenge eines Produkts p in einer Zeiteinheit in einem RL

p: ein Produkt in einem RL, P: Gesamtanzahl verschiedener Produkte in einem RL

t: Zeiteinheit (Monat), T: Überwachungsintervall

d: Nummer eines RL, D: Gesamtanzahl der RL

Dieser Lagerkostensatz ist nicht vom Bestandswert abhängig, sondern vom erforderlichen Lagervolumen für das jeweilige Produkt (Seeck, 2010). Der Lagerkostensatz für verschiedene Produkte in einem Multiprodukt-System¹² kann unterschiedlich sein, wie in der o. g. Formel dargestellt.

In dieser Arbeit ist ein einheitlicher Lagerkostensatz (lks) von 2,55 € pro PP pro Monat für jedes Produkt in jedem RL vorgesehen. Dieser Lagerkostensatz kann im Simulationsmodell variiert werden. Falls sich die entsprechenden Rahmenbedingungen in Zukunft evtl. ändern sollten, wird dieser Kostensatz stets angepasst.

Daher wird die Formel wie folgt vereinfacht:

$$\text{Lagerhaltungskosten} = lks \cdot \sum_{d=1}^D \sum_{t=1}^T ml_{dt}$$

lks: fester Lagerkostensatz in RL

ml_{dt} : mittlere Lagermenge aller Produkte in einer Zeiteinheit in einem RL

t: Zeiteinheit (Monat), T: Überwachungsintervall

d: Nummer von RL, D: Gesamtanzahl der RL

Die jährlichen Lagerhaltungskosten in einem RL ergeben sich wie folgt:

$$\text{Lagerhaltungskosten pro RL} = 2,55 \cdot \sum_{t=1}^T ml_t$$

2,55: fester Lagerkostensatz in RL (pro PP pro Monat für jedes Produkt in €)

¹² Hierbei ist die Artikelanzahl viel größer als eins.

m_l : Mittlere Lagermenge (in PP) aller Produkte in einem Monat in einem RL

t: Zeiteinheit (Monat), T: Überwachungsintervall (ein Jahr)

In dieser Arbeit werden die Lagerhaltungskosten in 19 RL berücksichtigt und monetär verglichen. Jedes ZL ist direkt einem Produktionswerk zugeordnet, wo nach festgelegten Produktionsregeln produziert wird. Deshalb ist vergleichsweise kaum Optimierungspotenzial vorhanden, und die Lagerhaltungskosten in den ZL werden deshalb in der Bewertung nicht berücksichtigt.

5.3 Handhabungskosten

Die Handhabungskosten der Lagerbestände sind prozessorientierte Kosten. Dazu gehören die Kosten der Materialbewegung (z.B. WE, WA, Kommissionierung / Abpacken, Umlagerung, Ein- und Auslagerung), Bestandsaufnahmekosten (z.B. Zählen, Wiegen, Auszeichnen), Kosten für die Erhaltung (z.B. Ausbessern, Pflege), Belüften, Befeuchten.

Die Handhabungskosten steigen mit zunehmender Lager-Durchlaufmenge (Simchi-Levi, et al., 2003).

Die Handhabungskosten umfassen folgende Kosten:

- Handhabungskosten des Warenein- und -ausgangs
- Handhabungskosten der Kommissionierung / des Abpackens und der Auslagerung der Vollpaletten

Begriff des Abpackens:

Falls mehr als 50% der Palettenmenge bestellt wird, werden die überschüssigen Kartons von der Palette abgepackt.

In dieser Arbeit wird grundsätzlich nicht kommissioniert, sondern abgepackt, und der Auftrag wird nur komplett ausgeliefert, d.h. eine Teillieferung ist nicht erlaubt. Nähere Angaben über die Handhabungskostensätze in den ZL und RL sind im Anhang enthalten.

5.4 Auftragskosten

Auftragskosten sind die für die Auftragsabwicklung anfallenden Kosten.

Formel:

$$\text{Auftragskosten} = \text{Anzahl der gesamten Aufträge} \cdot \text{Kosten pro Auftrag}$$

Im Anhang finden sich nähere Angaben über den Kostensatz der Auftragsbearbeitung.

5.5 Fehlmengenkosten

Wenn die bestellten Produkte zum fest vereinbarten Liefertermin nicht in der gewünschten Menge und Qualität am gewünschten Ort zur Verfügung stehen, entstehen direkte Fehlmengenkosten in der Distributionslogistik. Wenn die Gefahr des Auftretens einer Fehlmenge erkannt wird, werden geeignete Maßnahmen eingeleitet, um eine solche Fehlmenge zu vermeiden. Die dadurch entstehenden Kosten werden als indirekte Fehlmengenkosten bezeichnet (Schulte, 2001).

Die folgende Abbildung zeigt eine detaillierte Aufgliederung der Fehlmengenkosten.

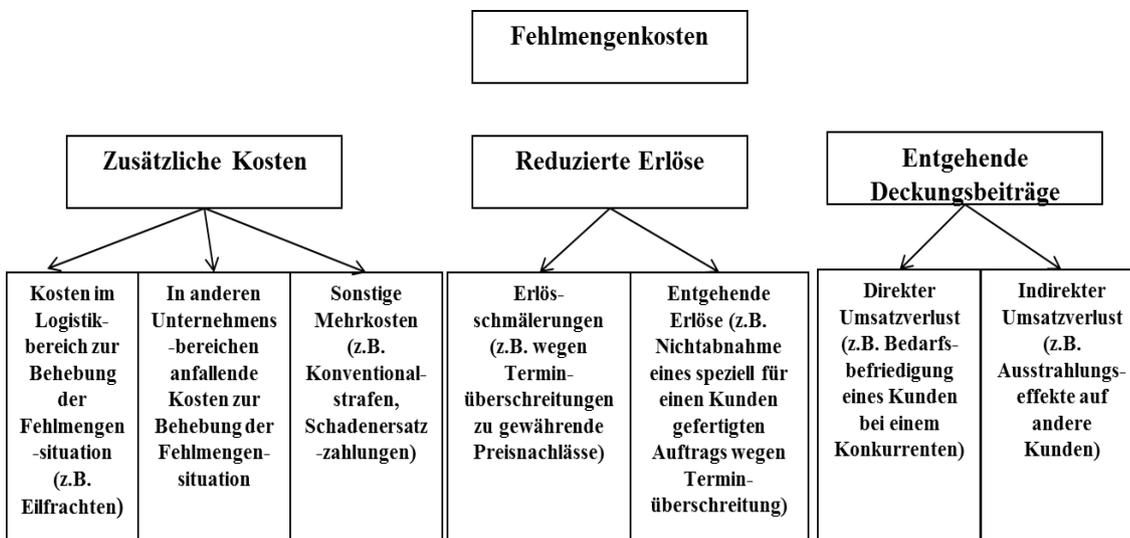


Abbildung 24: Fehlmengenkosten (Weber, 1990)

Stochastischer Lagerabgang und Lieferverzug sind häufige Ursachen für Fehlmengenkosten. Eine erhöhte Lagermenge kann voraussichtlich eine plötzlich erhöhte Bedarfsmenge oder einen

Lieferverzug abdecken, d.h. durch einen Sicherheitsbestand ist das Vermeiden von Fehlmengen und Einhalten des gewünschten Lieferserviceniveaus möglich. Aufgrund der dadurch erhöhten Lagerhaltungskosten und Kapitalbindungskosten wird die Lagermenge, die in der vorliegenden Arbeit durch s und S gesteuert wird, auf einem rationell-ökonomischen Niveau gehalten.

Die Fehlmengenkosten sind in der Praxis oft schwierig zu bestimmen, da nicht alle Einflussfaktoren quantifizierbar sind. In dieser Dissertation wird deshalb angenommen, dass keine Fehlmenge entstehen soll, d.h. die Läger haben ausreichend Reserve bzw. Sicherheitsbestand und der Transportprozess ist einwandfrei, sodass die vorhandenen Produkte den stochastischen Kundenbedarf stets decken können und der Lieferservice stets auf dem gewünschten Niveau gewährleistet wird.

Der stochastische Kundenbedarf bewirkt eine Vorverlagerung des Bestellpunkts bzw. eine Erhöhung des Meldebestands s im RL. Im Simulationsmodell ist dieser Sachverhalt so abgebildet, dass durch die Parameter s und S bei der Lagerhaltungspolitik (s,S) der Lagerbestand bzw. Sicherheitsbestand trotz des stochastischen Kundenbedarfs stets keine Fehlmengen bzw. keine Fehlmengenkosten erzeugt. Die so genannten Fehlmengenkosten werden durch die aus dem o.g. Grund erhöhten Lagerkosten abgedeckt.

Jedes ZL ist direkt einer Produktionsstätte angeschossen, daher gibt es im ZL immer ausreichend Reserven, sodass dort keine Fehlmengen entstehen können.

Auf dieser Basis werden alle Experimentiervarianten bezüglich der daraus entstehenden Gesamtlogistikkosten sowie des einzelnen Kostensektors bestehend aus Transportkosten, Lagerhaltungskosten, Handhabungskosten und Auftragskosten verglichen und bewertet.

6. Entwicklung einer Koordinationsmethodik zur ganzheitlichen Optimierung des Bestands- und Transportmanagements im Distributionsnetzwerk

6.1 Anforderungen an die Koordinationsmethodik und Gründe für ein Simulationsinstrument

Die Unsicherheiten in der Supply Chain und die Anforderungen an eine ganzheitliche Optimierung stellen den Aufgabenkomplex der Supply Chain dar (Simchi-Levi, et al., 2004). Als ein wichtiger Bestandteil der Supply Chain¹³ ist das Distributionsnetzwerk ebenfalls ein Bestandteil dieses Aufgabenkomplexes. Die Optimierung des Distributionsnetzwerks ist deshalb eine komplizierte und herausfordernde Aufgabe. Zu den Hauptzielen einer Koordinationsmethodik zur Optimierung des Bestands- und Transportmanagements zählt die Bewältigung der Unsicherheitsfaktoren. Dazu gehören beispielsweise Unsicherheiten von Kundenbestellungen oder von Produktionsprozessen, Länge des Prognosehorizonts von Bestellungen, Verfügbarkeit der Information und Aktualität der Daten (Van der Vorst, et al., 1999). Kernpunkt der Optimierung des Distributionsnetzwerks ist es, das stochastische und dynamische System beherrschbar zu machen, also die Unsicherheiten möglichst zu minimieren und die noch verbleibenden Unsicherheiten auf einem kontrollierbaren und beherrschbaren Niveau zu halten.

Mathematische Algorithmen sind bisher die traditionellen analytischen Methoden zur Bewältigung der Unsicherheiten. Es mangelt jedoch an der Fähigkeit, mit der Variabilität des Distributionsnetzwerks umzugehen. Aus dieser Sicht ist das Simulationsinstrument eine der besten Alternativen für die quantitative dynamische Analyse eines Distributionsnetzwerks. Die Simulationstechnik ist eine effiziente Methode für die Optimierungsaufgaben von Distributionsnetzwerken mit großen Datenmengen, wo analytische Methoden solche Probleme kaum modellieren und / oder lösen können (Van der Vorst, J. G. A. J., et al., 1998).

Mithilfe eines Simulationsmodells ist ein Distributionsplaner in der Lage, die Effizienz und Kostspieligkeit innovativer logistischer Strategien auszuprobieren, ohne diese in der betrieblichen Praxis physikalisch umzusetzen (Schunk, et al., 2000).

Die in einem Distributionssystem integrierten Elemente sind Auftragsabwicklung, Lagerhaltung, Transport, Kommissionierung, Verpackung und Umschlag (Krulis-Randa, 1977) (Wannenwetsch,

¹³ Vgl. Begriffe Supply Chain in Kapitel 2.3

2004) (Binner, 2002). Das Distributionsnetzwerk fasst verschiedene Standorte wie Produktionsstandorte, Zentralläger, Regionalläger und Kundenstandorte zusammen und koordiniert verschiedene Parteien wie Produktionsunternehmen, LDL, Großhändler, Einzelhändler und Endkunden. In Anbetracht dieser Komplexe und der möglichen Unsicherheiten in jeder Partei ist ein Simulationsinstrument die beste Methodik zur Systemanalyse (Pundoor, 2002).

Der hohe Kostendruck, der durch den Markt, besonders durch Discounter, ausgeübt wird, macht es erforderlich, kontinuierlich Optimierungspotenziale zu suchen und durch passende Maßnahmen zu nutzen. Im Zuge dieser stetigen Verbesserung der Distributionsnetzwerke wurde eine Reihe von Strategien entwickelt, die nicht mehr durch statische Kalkulationen analysiert und bewertet werden können. Die Datenmenge ist einerseits zu groß, um mit den konventionellen Werkzeugen Aussagen zu treffen, andererseits ist es nicht möglich, die Rückkopplungen und dynamischen Effekte einfach zu beschreiben, und eine quantitative Bewertung ist kaum durchführbar. In solchen Fällen ist die Simulationstechnik die beste Methodik zur Systemoptimierung.

Zusammengefasst ist die Nutzung eines Simulationsmodells aus den folgenden Gründen vorteilhaft:

- Abbildung der Komplexität des Distributionsnetzwerks
- Abbildung der Systemdynamik und Systemunsicherheiten
- Berücksichtigung der Anforderungen an ganzheitliche Analyse und Optimierung
- Vermeidung von Schwierigkeiten und Kosten bei der physikalischen Umsetzung verschiedener logistischer Strategien sowie bei der Umgestaltung der logistischen Netzwerkstrukturen in der Praxis
- Vermeidung der Schwierigkeiten bei der quantitativen Analyse und monetären Bewertung verschiedener Logistikstrategien
- Reduzierung des Zeitaufwands für die Systemanalyse unter veränderten Rahmenbedingungen

Nachteile der Simulation sind (Bartsch, 2010):

- Abweichungen von der Realität (vereinfachter Ausschnitt), wodurch Unsicherheiten bezüglich der Korrektheit der Ergebnisse entstehen
- Viele Simulationsläufe sind notwendig, um exakte Ergebnisse zu bekommen.

- Auffinden einer optimalen Lösung ist nicht garantiert.
- Die Interpretation der Simulationsergebnisse ist schwierig durch den fehlenden Kontext.
- Aufwändige Erstellung von Simulationsmodellen
- Spezialsoftware ist notwendig.
- Spezielle Ausbildung und / oder Erfahrung des Modellierers ist notwendig.

6.2 Zielsetzung der Simulation

Das Distributionsnetzwerk in dieser Arbeit wurde mit dem Simulationswerkzeug Dosimis-3 abgebildet. Dabei wurde die Steuerung derart aufgebaut, dass durch Parametrierung die verschiedenen Eigenschaften, Rahmenbedingungen und Strategien im Modell ausgewählt werden können.

Zielsetzung der Simulation dieser Arbeit ist es, die dynamische Interaktion zwischen Bestands- und Transportmanagement, bzw. zwischen Lagerhaltungskosten, Transportkosten und Gesamtlogistikkosten, unter Vorgabe bestimmter Bedingungen und Restriktionen zu ermitteln. Diese Bedingungen und Restriktionen sind: vorgegebener Füllgrad des LKWs, mit oder ohne Residual-Stock, mit oder ohne Direktlieferung unter der Anforderung, die Transport- und Lagerprozesse kostenminimal und ganzheitlich zu gestalten.

Die Ergebnisse der Simulation werden zusammengefasst und quantitativ analysiert. Die Simulation gewährleistet, dass bei einem strategischen koordinierten Distributionsnetzwerk die Kostenfunktionen minimiert werden können, wobei der definierte Servicegrad sichergestellt wird.

6.3 Auswirkungen der Unsicherheitsfaktoren

Schwankende Faktoren wie z.B. die Ölpreise verursachen einen veränderten Frachtsatz und beeinflussen dadurch zunehmend die logistischen Strategien sowie die Strukturen im ganzen Distributionsnetzwerk. Auch der sich ständig verändernde Kundenbedarf spielt bei der Planung und Gestaltung des Distributionsnetzwerks eine entscheidende Rolle. Ein Distributionsplaner muss die Auswirkungen veränderter Faktoren in die Logistikplanung des Distributionsnetzwerks mit einbeziehen. Auf der vorgegebenen Grundlage muss der Planer entscheiden, welche logistischen Strategien die Logistikkosten im gesamten Distributionsnetzwerk minimieren.

Ein Simulationsmodell hilft dem Distributionsplaner beträchtlich dabei, nicht nur schnell auf die Auswirkungen veränderter Rahmenbedingungen, wie anschwellender Frachtsatz, veränderter Kundenbedarf etc. zu reagieren, sondern diese rechtzeitig in die strategische Planung einzubeziehen. Die logistischen Strategien können rechtzeitig umgesetzt werden und die Logistikstruktur lässt sich dementsprechend umgestalten.

6.4 Beschreibungen des Simulationsinstruments

Simulationsinstrument Dosimis-3

Die Planung und Optimierung im Bereich des Supply Chains erfordert ein Simulationsinstrument, das leistungsfähig und leicht bedienbar sein soll. Dosimis-3 wird beiden Anforderungen gerecht und wird häufig in der betrieblichen Praxis eingesetzt (SDZ GmbH, 2007). In dieser Arbeit wurde deshalb Dosimis-3 als Simulationswerkzeug verwendet.

Dosimis-3 ist ein etabliertes Simulationssystem im Bereich der ereignisorientierten, diskreten Simulation und wurde von der SimulationsDienstleistungsZentrum GmbH entwickelt. Mit dem Standard Dosimis-3 und zusätzliche C++ Programmen (DLL: Dynamic Link Library) wurde das Distributionsnetzwerk abgebildet. Das Modell wurde spezifisch für die Simulationsuntersuchungen von Supply Chains erstellt. Dabei wurden verschiedene Rahmenbedingungen und logistische Strategien durch Parametrierung in dem Modell implementiert. Neben Dosimis-3 und C++ finden hier auch Microsoft Excel, Access und VBA (Visual Basic for Application) für eine ausführliche Datenanalyse Anwendung. Die Interaktion zwischen Dosimis-3, DLL, Excel, Access und Textdateien ist in der folgenden Abbildung dargestellt (Housein, 2007).



Abbildung 25: Interaktion zwischen DOSIMIS-3, DLL, Excel, Access, VBA und Textdateien

Folgende Parameter des Distributionsnetzwerks wurden in dem Simulationsmodell implementiert:

Allgemeine Daten bezüglich Artikel, Bestellungen und Standorte:

- Artikel: Gewicht, Volumen, Material-Nr. und -beschreibung, Werk-Nr. sowie Ladeeinheit
- Standorte: PLZ, Entfernungen
- Kundenbestellungen: Kunden-Nr., Bestell-Artikel, -menge und -datum, Auftragsstyp, die entsprechende Werk-Nr. sowie die Palettenvollmenge und -höhe.
- ZL und RL: Lagerbestände, Frachtsätze, Handhabungs- und Auftragskosten, Arbeitstage pro Woche

Distributionsstrategie und Befüllungspolitik:

- Direktlieferung: mit oder ohne Direktlieferung, ab welcher Liefermenge erfolgt die Direktlieferung aus dem ZL an Kunden?
- Befüllungspolitik ZL-RL (mit oder ohne Residual-Stock, Sortimentsentscheidung des Residual-Stocks): nach Bedarf (Pull-Konzept, ohne Residual-Stock), x% volle LKW (mit Residual-Stock)
- LKW-Füllgrad (Mengenentscheidung des Residual-Stocks)
- Mit oder ohne Bestandsführung im RL und ZL
- Paletten-Dimensionen, wie Länge, Höhe, Breite, Nutzungsgrad der Mischpalette, max. Stapelhöhe, max. Stellplatzhöhe

Produktion:

- Der Produktionsprozess wird als Black Box modelliert.
- Die Kapazität der Produktion und der ZL steht unbegrenzt zur Verfügung, sodass die Kundenbestellungen stets erfüllt werden können.

Ein- und Ausgabedaten des Simulationsmodells

Zuerst wurden Textdateien als Eingabedaten für das Simulationsmodell erstellt. Die Textdateien unterstützen das Simulationsmodell mit wichtigen Informationen über die Standorte der ZL, RL und

Kunden sowie über den Kundenbedarf etc. Die Informationen werden vom Simulationsmodell gelesen und bearbeitet.

Zwei Schnittstellen wurden auf der Plattform Dosimis-3 für das Modell entwickelt. Die Eingaben erfolgen über die Parameter-Masken der Lagersteuerung und der globalen Einstellungen. In den beiden Parameter-Masken können Informationen über Standort, Artikel, Lagerspiegel, Kostensätze, Befüllungspolitik (Nachschubstrategie), Kundenaufträge, Direktlieferung, Residual-Stocks etc. eingegeben werden.

Die Ausgabedaten des Modells umfassen die Informationen über die Transport-, Auftrags- und Handhabungskosten nach Artikeln im Lager, die Lieferungen (Anzahl Paletten und Palettenplätze, Gewicht und Volumen der Produkte), die direkt an Kunden gelieferten Artikel, die Palettenbewegungen, die Artikelliste pro LKW-Lieferung, die tägliche Bestandshöhe im Lager, den Servicegrad im Lager etc.

Ausführliche Informationen zu den Ein- und Ausgabedaten des Simulationsmodells finden sich im Anhang.

6.5 Abläufe der Simulation

In diesem Simulationsmodell werden die Abläufe wie folgt abgebildet (Roll, et al., 2007):

Um 12 Uhr werden die Aufträge in den RL und ZL angemeldet. Die Bedarfe für den Tag werden eingelesen. Nachdem die vorhandene Lagermenge geprüft wurde, wird der Auftrag für die Kommissionierung vorgemerkt oder die Artikel werden nachbestellt. Die Nachschubaufträge werden konsolidiert und die Vollpaletten werden nachbestellt. Der Mindestbestand im Lager wird geprüft und die Vorschaudaten werden eingelesen. Im ZL wird der Nachschub für RL reserviert.

Um 16 Uhr startet die Kommissionierung im RL. Die Kommissionierart jedes Artikels wird bestimmt. Genauer gesagt, es wird bestimmt, ob der Artikel kommissioniert oder abgepackt wird. Anschließend werden die Kosten für Auftrag und Kommissionierung berechnet. Danach werden die Artikel im WA bereitgestellt. Der Servicegrad wird vermerkt und die Tourenplanung (LKW-Verladung) wird durchgeführt; gegebenenfalls werden zusätzliche Artikel zugeladen. Die Auslieferung findet am darauffolgenden Tag statt.

Um 18 Uhr startet die Kommissionierung im ZL. Für jeden Artikel wird bestimmt, ob er kommissioniert oder abgepackt wird. Anschließend werden die Kosten für Auftrag und Kommissionierung berechnet und die Artikel werden im WE bereitgestellt. Der Servicegrad wird vermerkt und Tourenplanung und LKW-Verladung werden durchgeführt. Gegebenenfalls werden zusätzliche Artikel zugeladen. Die Ware wird im Nachtsprung zum RL gebracht.

Um 00:00 Uhr wird der Lagerspiegel notiert und die Anzahl der Palettenplätze pro Artikel für jedes Lager wird aufsummiert.

Um 6:00 Uhr am darauffolgenden Tag findet der WE der Lieferungen aus dem ZL im RL statt. Im ZL wird die Ware aus der Produktion oder vom Lieferanten angeliefert. Die LKW werden entladen und die Kosten für den WE werden berechnet. Die Ware wird vereinnahmt und dem ältesten Auftrag zugewiesen oder ins Lager eingelagert. Schließlich wird der Auftrag für die Kommissionierung vorgemerkt.

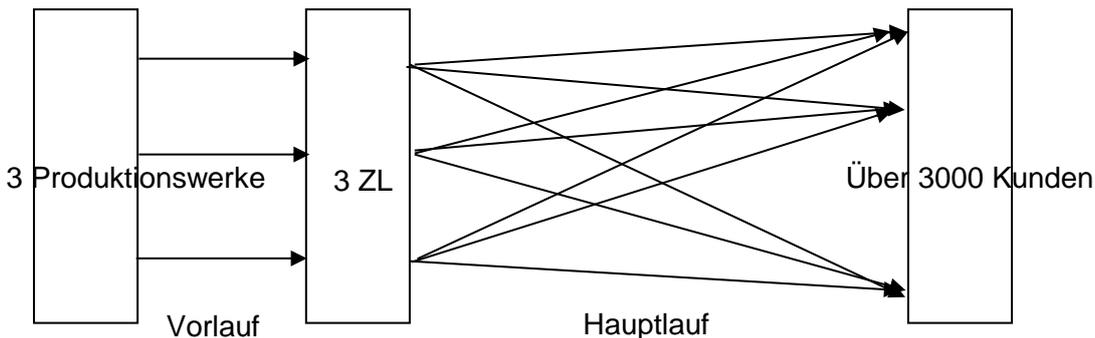
7. Validierung des Simulationsmodells

Das Simulationsmodell des Distributionsnetzwerks besteht aus vielen Verbindungen und einer Vielzahl von Daten und Ablaufregeln. Um sicherzustellen, dass das Modell auch richtig abläuft, werden spezielle Validierungsläufe durchgeführt. Dies kann durch spezielle Parametersetzungen erfolgen, wie z.B. das einheitliche Festsetzen der Frachtsätze auf 1 €.

7.1 Experiment mit 0% Bündelungsgrad (nur Direktlieferung)

Hier wird ein Experiment (ExpB0%) mit 0% Bündelungsgrad und ohne Residual-Stock durchgeführt, d.h. die Produkte werden nach Bestellung nur direkt an den Kunden geliefert. Die Frachtsätze im ganzen Distributionsnetzwerk betragen 1€. Stimmen die gesamten Transportkosten mit der gesamten Liefermenge (in PP) in der Direktlieferung überein, ist nachgewiesen, dass der Transportprozess der Direktlieferung im Simulationsmodell zumindest die Transporte korrekt erfüllt.

ExpB0%



Einstufiges Distributionsnetzwerk, mit Direktlieferung und ohne RL

Abbildung 26: Distributionsnetzwerk ExpB0%

Die daraus entstehenden gesamten Transportkosten betragen 649.373€; davon kosten die Transportprozesse wie folgt: ZL1-Kunden 197.353€, ZL2-Kunden 136.038€ und ZL3-Kunden 315.982€, Dies ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

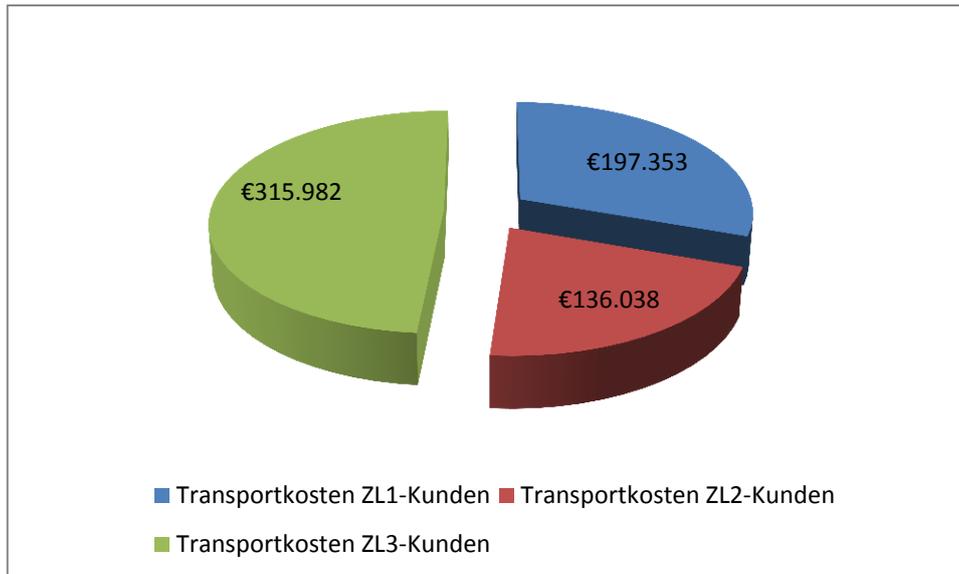


Abbildung 27: Transportkosten der Direktlieferung, ExpB0%

Aus der Datengruppe der Output-Datei „tourxx.txt“ bekommt man die gesamte Liefermenge der Direktlieferung in PP. Sie verteilt sich folgendermaßen:

PP-Anzahl der Direktlieferung			
Liefermenge ZL1-Kunden	Liefermenge ZL2-Kunden	Liefermenge ZL3-Kunden	Summe
197353 PP	136038 PP	315982 PP	649373 PP

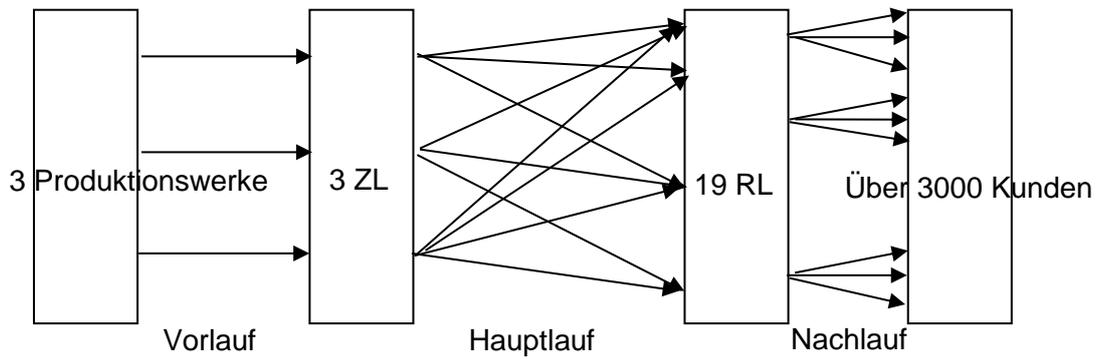
Abbildung 28: Liefermenge (in PP) in der Direktlieferung, ExpB0%

Damit ist nachgewiesen, dass der Transportprozess der Direktlieferung im Modell richtig abgebildet worden ist und dass die Berechnungen korrekt sind.

7.2 Experiment mit 100% Bündelungsgrad (ohne Direktlieferung)

Der Transportprozess durch das RL wird wie in Kapitel 7.1 validiert. Ein Experiment ohne Direktlieferung und ohne Residual-Stock wird durchgeführt (ExpBohneD), und die Frachtsätze sollen im ganzen Distributionssystem 1€ betragen.

ExpBohneD:



Zweistufiges Distributionsnetzwerk, mit RL und ohne Direktlieferung

Abbildung 29: Distributionsnetzwerk ExpBohneD

Wenn die Transportkosten ZL-RL und die Transportkosten RL-Kunden mit der Liefermenge im Hauptlauf und Nachlauf identisch sind, bedeutet das, dass der Transportprozess durch das RL im Simulationsmodell ebenfalls korrekt abgebildet wurde.

Die Transportkosten und der Kostensplitt aus dem Simulationsmodell sowie die entsprechende Liefermenge aus der Output-Datei „tourxx.txt“ sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

ZL	Transportkosten ZL-RL in €	Liefermenge ZL-RL in PP
1	121344	121344
2	57472	57472
3	219192	219192
Summe	398008	398008
RL	Transportkosten RL-Kunden in €	Liefermenge RL-Kunden in PP
200	14665	14665
300	12145	12145
500	20341	20341
600	7391	7391
800	13630	13630
1000	70518	70518
1200	26284	26284
1600	24380	24380
2400	21577	21577
2500	12229	12229
2700	23729	23729
2800	24090	24090
3100	15766	15766
3300	22178	22178
5000	82279	82279
6000	26934	26934
7500	28360	28360
8000	32365	32365
9000	43980	43980
Summe	522841	522841
Summe	920849	920849

Tabelle 1: Transportkosten und Liefermenge (in PP) in der Lieferung über das RL, ExpBohneD¹⁴

Aus der obigen Tabelle erkennt man, dass der Transportprozess durch das RL im Simulationsmodell ebenfalls die Anforderungen erfüllt.

¹⁴ Die Kundenbestellmenge ist oft sehr klein (viel kleiner als die Artikelanzahl auf einer Palette, siehe Kapitel 9.3) und die Bestellmengen des gleichen Artikels werden zusammengefügt und über das RL geliefert. Daher ist die gesamte Liefermenge RL-Kunden (in PP) höher als die gesamte Liefermenge ZL-RL (in PP).

Daraus ergibt sich, dass die Ergebnisse aus diesem Simulationsmodell plausibel sind und mit diesem Modell verschiedene Distributionsstrategien untersucht werden können.

8. Simulationsexperimente

8.1 Unterteilungskriterien der Experimente

Die Experimente wurden nach folgenden Kriterien unterteilt:

1. Bündelungsgrad oder Direktlieferungsanteil

- mit oder ohne Direktlieferung
- mit Direktlieferung: Unterschiedlicher Bündelungsgrad, d.h. erst wenn die Bestellmenge min. x% der LKW-Ladepazität entspricht, wird aus dem ZL direkt an den Kunden geliefert, x%: 0%, 5%, 10%, 20% bis 100%

2. Residual-Stock (ZL-RL)

- mit oder ohne Residual-Stock (ZL-RL)
- mit Residual-Stock: Mengen- und Sortimentsentscheidung des Residual-Stocks
 - ❖ AX-, BX-, AY-Artikel als Residual-Stock
 - ❖ alle Artikel als Residual-Stock
 - ❖ A- und B-Artikel als Residual-Stock (A-, B-Artikel entsprechen 95%, 90% oder 98% der Bedarfsmenge)
 - ❖ gemischte Varianten: teilweise mit Residual-Stock

3. LKW-Füllgrad (ZL-RL): 5% bis 100%

4. Minimal- oder Maximalbestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

5. Kostensatz: Originale und veränderte Frachtsätze oder Lagerkostensätze

8.2 Vorstellung der Experimentiergruppen

Die Experimentiergruppen unterteilen sich wie folgt:

1. Ohne Residual-Stock (Lieferung nur nach Bedarf, Pull-Konzept, es wird nur das geliefert, was bestellt wurde, und der LKW wird nicht aufgefüllt), unterschiedlicher Bündelungsgrad (ExpBx%), min. und max. Bestand als Anfangsbestand in der Simulation

- Nur Direktlieferung: B0% (0% Bündelungsgrad)
- Keine Direktlieferung: Bohned (100% Bündelungsgrad)
- Teilweise Direktlieferung: Bx%
 Unterschiedlicher Bündelungsgrad, also erst ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladekapazität wird aus dem ZL direkt an den Kunden geliefert, x%: 0%, 5%, 10%, 20% bis 100%

2. AX-, BX-, AY-Artikel als Residual-Stock (LKW wird mit AX-, BX-, AY-Artikeln bis zu einem gewissen LKW-Füllgrad aufgefüllt, Push-Konzept), unterschiedlicher LKW-Füllgrad (ZL-RL) 5%-100%, unterschiedlicher Bündelungsgrad (ExpAx%y%), min. Bestand als Anfangsbestand

- Fester Bündelungsgrad, unterschiedlicher LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-RL): A5%y%, A10%y%, A50%y%, A100%y%, etc.
- Fester LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-RL), unterschiedlicher Bündelungsgrad: Ax%5%, Ax%10%, Ax%50%, Ax%100%, etc.

3. Alle Artikel als Residual-Stock (LKW wird mit allen Artikeln bis zu einem gewissen LKW-Füllgrad aufgefüllt, Push-Konzept), unterschiedlicher LKW-Füllgrad (ZL-RL) 5%-100%, unterschiedlicher Bündelungsgrad (ExpAillex%y%), min. Bestand als Anfangsbestand

- Fester Bündelungsgrad, unterschiedlicher LKW-Füllgrad ZL-RL
- Fester LKW-Füllgrad ZL-RL, unterschiedlicher Bündelungsgrad

4. Untersuchungen wie unter 3, aber max. Lagerbestand als Anfangsbestand in der Simulation

5. A-, B-Artikel als Residual-Stock (LKW wird mit A-, B-Artikeln bis zu einem gewissen LKW-Füllgrad aufgefüllt, Push-Konzept), max. Bestand als Anfangsbestand

- A-, B-Artikel: 95% der Bedarfsmenge
- A-, B-Artikel: 90% der Bedarfsmenge
- A-, B-Artikel: 98% der Bedarfsmenge

6. A-, B-Artikel als Residual-Stock (LKW wird mit A-, B-Artikeln bis zu einem gewissen LKW-Füllgrad aufgefüllt, Push-Konzept), A-, B-Artikel entsprechen 98% der Bedarfsmenge, max. Bestand als Anfangsbestand (Exp**AB**x%y%)
- Fester Bündelungsgrad, unterschiedlicher LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-RL):
AB10%y%, AB50%y%, AB100%y%, ABohneDy%
7. Gemischte Varianten: Teilweise mit Residual-Stock (LKW aus dem ZL an einigen RL wird mit A-, B-Artikeln bis zu einem gewissen LKW-Füllgrad aufgefüllt, Push-Konzept, AB-Artikel: 98% der Bedarfsmenge), max. Bestand als Anfangsbestand (Exp**M**10%y%)
- Ohne Direktlieferung (100% Bündelungsgrad), unterschiedlicher LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-8RL): **M**ohneDy%
 - Veränderte Kostensätze
 - Fester Bündelungsgrad, unterschiedlicher LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-5RL):
M10%y%
 - Vergleich der Experimentiergruppen **M**ohneDy% und **M**10%y%

8.3 Erklärung der Namen verschiedener Experimentiergruppen

Die Namen der verschiedenen Experimentiergruppen werden in der folgenden Tabelle erläutert.

Exp.	Residual-Stock				Bündelungsgrad bzw. Direktlieferungsanteil	LKW-Füllgrad (Hauptlauf bzw. ZL-RL)
	Ohne Residual-Stock, bzw. Lieferung nach Bedarf	AX-, BX-, AY-Artikel	Alle Artikel	A-, B-Artikel	Bestellmenge ab x% LKW-Ladepazität erfolgt eine Direktlieferung	y%
Bx%	x				x%: 0-100%	
BohneD	x				Ohne Direktlieferung	
Ax%y%		x			x%:0-100%	y%
AohneDy%		x			Ohne Direktlieferung	y%
Allex%y%			x		x%:0-100%	y%
AlleohneDy%			x		Ohne Direktlieferung	y%
ABx%y%				x	x%: 0-100%	y%
ABohneDy%				x	Ohne Direktlieferung	y%
MohneDy%	x teilweise			x teilweise	Ohne Direktlieferung	y%
M10%y%	x teilweise			x teilweise	x%: 10%	y%

Abbildung 30: Erklärung der Namen verschiedener Experimentiergruppen

Die Gestaltung der Distributionsnetzwerke mit den unterschiedlichen oben genannten Parametern ist sehr kompliziert. Nur mithilfe eines passenden Simulationsinstruments wie Dosimis-3 ist es möglich, die entsprechenden Ergebnisse zu erzielen, die diversen Varianten monetär zu vergleichen und zu recherchieren. Die Namen und Erklärungen der verschiedenen Experimentiergruppen sind im Folgenden aufgelistet.

Exp**AohneDy%**: AX-, AY-, BX-Artikel als Residual-Stock, ohne Direktlieferung, y% LKW-Füllgrad ZL-RL

Exp**Ax%y%**: Entspricht Exp**AohneDy%**, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladepazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden

Exp**Alle**ohneDy%: Alle Artikel stehen für den Residual-Stock zur Verfügung, y% LKW-Füllgrad ZL-RL, ohne Direktlieferung

Exp**Alle**x%y%: Entspricht Exp**Alle**ohneDy%, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladepazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden

Exp**AB**ohneDy%: A- und B-Artikel Artikel als Residual-Stock, y% LKW-Füllgrad ZL-RL, ohne Direktlieferung

Exp**AB**x%y%: Entspricht Exp**AB**ohneDy%, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladepazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden

Exp**B**ohneD: Lieferung nach Bedarf, ohne Residual-Stock, ohne Direktlieferung

Exp**B**x%: Entspricht Exp**B**ohneD, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladepazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden

Exp**M**ohneDy%: Gemischte Variante. Einige Regionalläger werden mit einer Residual-Stock-Strategie versorgt und andere ohne Residual-Stock-Strategie. AB-Artikel als Residual-Stock, ohne Direktlieferung, y% LKW-Füllgrad ZL-RL

Exp**M**x%y%: Entspricht Exp**M**ohneDy%, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladepazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden

8.4 Bewertungskriterien des Distributionsnetzwerks

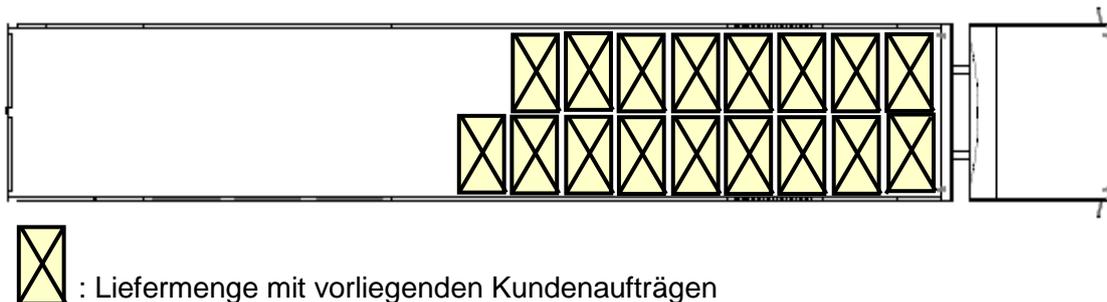
Die Aufgabe der Logistik nach Jünemann ist die Erfüllung der „6R“, d.h., das richtige Objekt soll zur richtigen Zeit am richtigen Ort in der richtigen Qualität in der richtigen Zusammensetzung und zu den richtigen Kosten bereitgestellt werden (Jünemann, 1989). Inwieweit das richtige Objekt, die richtige Zeit, der richtige Ort, die richtige Qualität, die richtige Zusammensetzung entsteht, wird durch die Kennzahl der Fehlmengenkosten dargestellt. Daraus lässt sich ableiten, dass die Bewertung der

verschiedenen Distributionsstrategien komplett durch die Gesamtlogistikkosten erfolgen kann. Die Gesamtlogistikkosten bestehen in dieser Arbeit aus den gesamten Transportkosten (ZL-Kunden, ZL-RL und RL-Kunden), den Lagerhaltungskosten in den RL, den Handhabungskosten in den RL und ZL, den Auftragskosten sowie den Fehlmengenkosten im ganzen Distributionsnetzwerk. Diese Gesamtlogistikkosten verschiedener Experimente werden verglichen und analysiert. In dieser Arbeit wird keine Fehlmenge in der Simulation zugelassen, d.h. die richtige Ware wird stets zur richtigen Zeit am richtigen Ort in der richtigen Qualität in der richtigen Zusammensetzung bereitgestellt und der Lieferservice ist stets zu 100% erfüllt, sodass es auf die dann erforderlichen gesamten Transport-, Lagerhaltungs-, Auftrags- sowie Handhabungskosten des Distributionsnetzwerks ankommt und die Leistungsbewertung auf Basis der Gesamtsumme der o.g. Kosten durchgeführt werden kann.

9. Experimentiergruppe: Kein Residual-Stock¹⁵

9.1 Vorstellung und Realisierung von Szenarien mit verschiedenen Lieferstrategien

Die Produkte werden nach Kundenbedarf bzw. Kundenbestellungen geliefert, es herrscht also das Pull-Konzept. Es wird nur das geliefert, was bestellt wurde, und es wird kein Residual-Stock mitgeliefert. Der LKW wird nicht aufgefüllt.



 : Liefermenge mit vorliegenden Kundenaufträgen

Abbildung 31: Lieferung nur nach Kundenbestellung, es wird kein Residual-Stock mitgeliefert und der LKW wird nicht aufgefüllt

Diese Experimentiergruppe beinhaltet folgende Varianten:

- ExpBx%: Erst ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladekapazität erfolgt die Direktlieferung, also teilweise mit Direktlieferung.
- ExpB0%: Schon ab einer Bestellmenge von 0 erfolgt die Direktlieferung aus dem ZL an Kunden, d.h. komplett mit Direktlieferung.
- ExpBohneD: Es findet keine Direktlieferung statt.

Die o.g. Experimente wurden sowohl mit dem min. Bestand (Bestellpunkt s) als auch mit dem max. Bestand (Bestellniveau S) als Anfangsbestand der Simulation im RL durchgeführt.

Realisierung mit dem Simulationsmodell

In den Parametermasken des Simulationsmodells werden die o.g. Rahmenbedingungen eingestellt. In der Lagersteuerung wird „nur Bedarf“ als Befüllungspolitik bzw. Nachschubstrategie gewählt. In

¹⁵ Lieferung nur nach Bedarf, Pull-Konzept

den globalen Einstellungen ist der Parameter x% (oder „ohne Direktlieferung“) durch Angabe der Anzahl der Stellplätze bzw. der PP einstellbar. Im Folgenden ist ein Beispiel dargestellt.

The screenshot shows a software window titled "Lager-Steuerung" with the following fields and controls:

- Lager-Nr:** 6000
- Lager-Typ:** NL
- Bezeichnung:** NL_Vlotho
- Stammdaten:**
 - Lagerbestand: \daten\lagerspiegel6000.txt
 - Artikel: \daten\artikel.txt
 - ABC-Klasse: \daten\ABC6000.txt
 - Kunden: \daten\kunden6000.txt
- Bewegungsdaten:**
 - Produktion: (empty)
 - max.Prodmenge: (empty)
 - Aufträge: \daten\bedarf6000.txt
- Kosten:**
 - Lagerkosten: \daten\lagerkostenNL.txt
 - Frachtkosten: \daten\frachtkosten6000.txt
- Lagerbestand:** 1 - mit Bestandsführung
- maximale Produktionsmenge berücksichtigen
- Nachschub:** 1 - nur Bedarf (circled in black)
- Sub-Niederlassung:** Ist dem Lager-Nr. 0 zugeordnet.
- Buttons:** OK, Abbruch, globale Einstellungen

Version 2.4.2 vom 04.12.2009 13:07:51

Abbildung 32: Parametermaske „Lagersteuerung“ bei einem Experiment ohne Residual-Stock

globale Einstellungen ✕

Batch-Modus Trace-Modus

Simulationsstartdatum: 12.10.2012 ▾

Mischpalette

Länge: 1200 mm Breite: 800 mm

Höhe: 2000 mm Nutzung: 90 %

Versandpalette

Palette abpacken > 50 % Vollpalette

Versand

max. Stellplatzhöhe: 2400 mm

max. Stapelhöhe: 2 Pal

Direktlieferung ab 20 Stellplätze

Auftragstypen

Volumen je Lademeter: 6 m³

Kapazität volle LKW: 100 %

Arbeitstage

Mo Di Mi Do Fr

Sa So

Ausgabeverzeichnis (muss existieren):

C:\SupplyChainSim\modell\Modell16.12\exp^Ä ...

Speichern Abbrechen

x% = 50%,

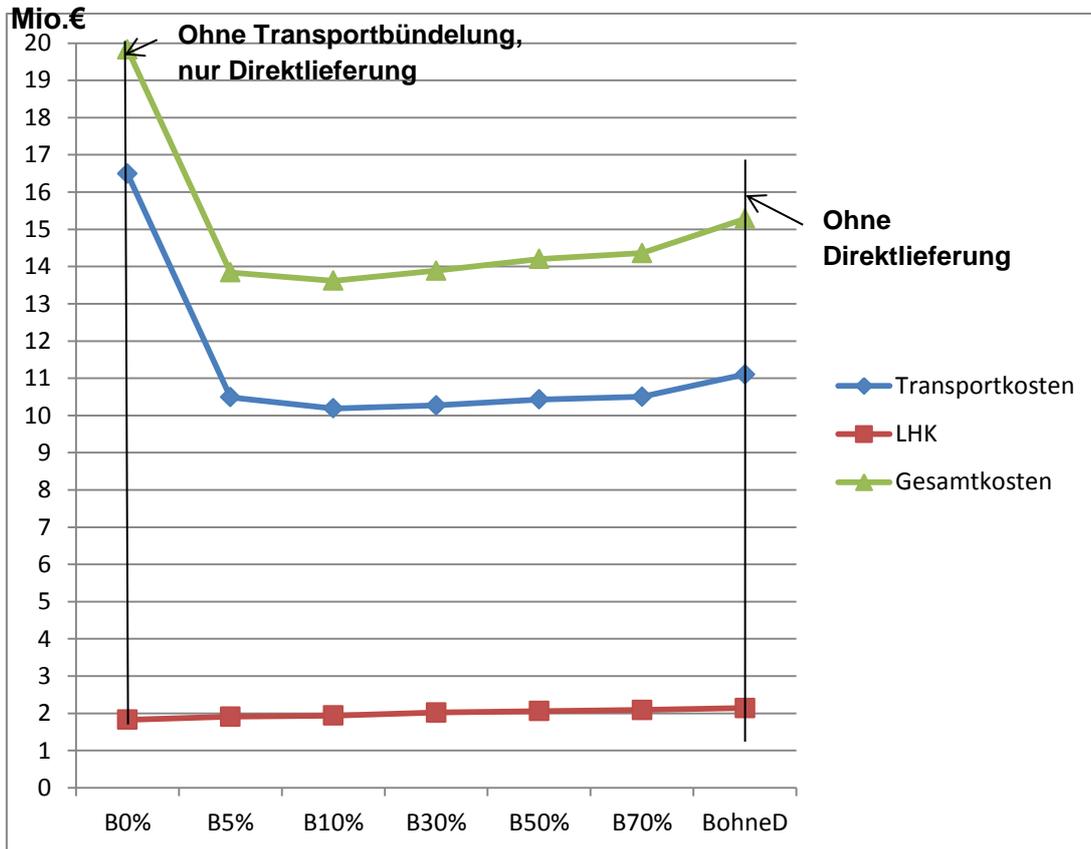
Volle LKW-Kapazität 40 PP

Abbildung 33: Parametermaske „globale Einstellungen“ bei einem Experiment ohne Residual-Stock

9.2 Ergebnisse: Kostensplitt und Analyse

Kostenverläufe, unterschiedlicher Bündelungsgrad bzw. Direktlieferungsanteil, min. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

Die Ergebnisse werden in den folgenden Abbildungen dargestellt und verglichen.



Anteil der Direktlieferung sinkt, Anteil der Lieferung durch RL steigt, also steigt der Bündelungsgrad.

Abbildung 34: Kostenverlauf bei unterschiedlichem Bündelungsgrad bzw. Direktlieferungsanteil¹⁶

Entlang der X-Achse sinkt der Anteil der Direktlieferung und der Anteil der Lieferungen durch das RL steigt, die gesamten LHK steigen kontinuierlich, die gesamten Transportkosten sinken zunächst

¹⁶ Min. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

dramatisch und steigen dann leicht an, der Verlauf der Gesamtlogistikkosten ist ähnlich wie bei den Transportkosten, und der Tiefpunkt der Gesamtlogistikkosten liegt bei B10%.

Der detaillierte Kostensplitt ist in der folgenden Abbildung dargestellt:

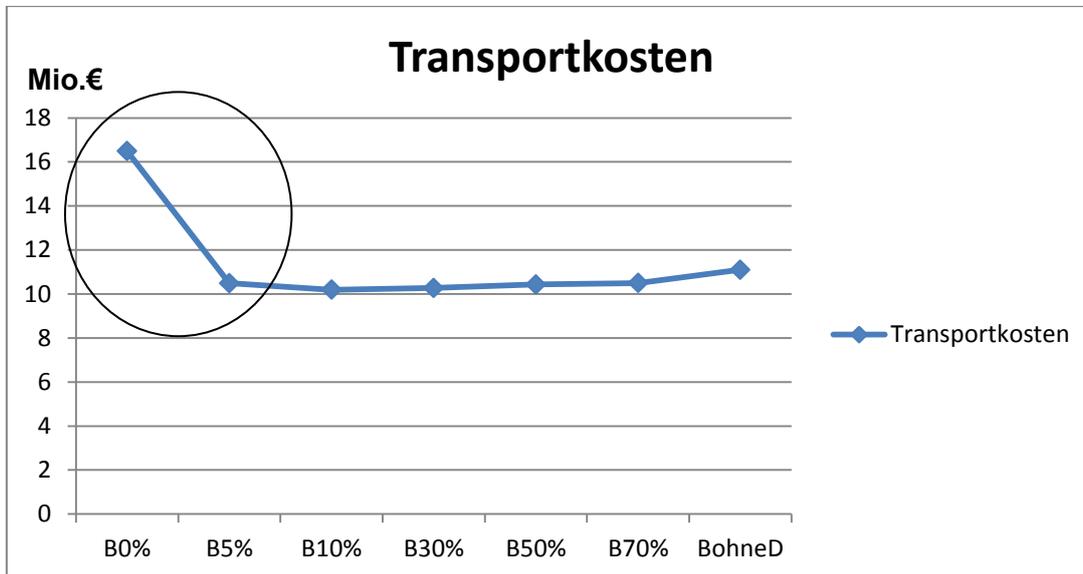


Abbildung 35: Verlauf der Transportkosten bei unterschiedlichem Bündelungsgrad¹⁷

Die Transportkosten in der obigen Abbildung sinken zuerst erheblich und der Tiefpunkt liegt bei B10%. Die Gründe dafür sind folgende:

Durchschnittlich haben 93% aller Bestellungen nur 1-4 PP, und solche kleinen Bestellungen machen 48% der gesamten gelieferten PP aus (siehe Kapitel 9.3). Die Frachtsätze der Direktlieferung ZL-Kunden für geringe Liefermengen (1-4 PP) sind extrem hoch (siehe Kapitel 9.4). Deshalb wäre die Distribution komplett ohne Transportbündelung (B0%) extrem kostenintensiv und umweltbelastend.

Ab einer Liefermenge von 4 PP bleiben die Frachtsätze der Direktlieferung ZL-Kunden sowie die Frachtsätze ZL-RL relativ stabil, und die Frachtsätze der Direktlieferung sind nicht wirklich viel höher als die entsprechenden Frachtsätze ZL-RL (mehr zu den Frachtsätzen siehe Kapitel 9.4). Außerdem kommen bei der Lieferung durch das RL zusätzlich noch die Transportkosten RL-Kunden hinzu. Dadurch ist die Transportbündelung für Liefermengen ab 4 PP aus wirtschaftlicher Sicht nicht nötig. Also liegt der günstigste Bündelungsgrad sehr niedrig (bei B10%).

¹⁷ Min. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

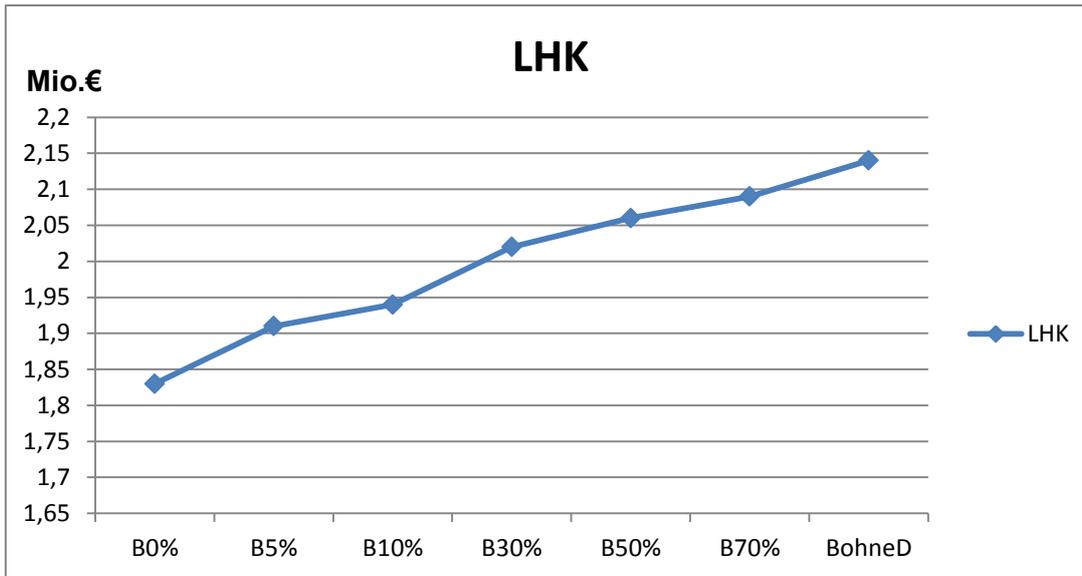


Abbildung 36: Verlauf der LHK bei unterschiedlichem Bündelungsgrad¹⁸

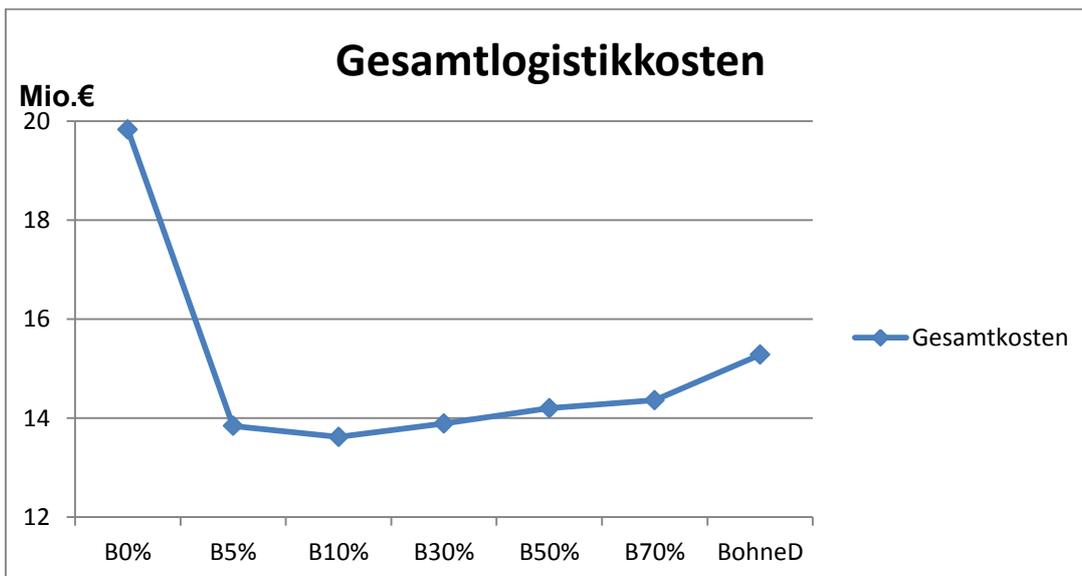
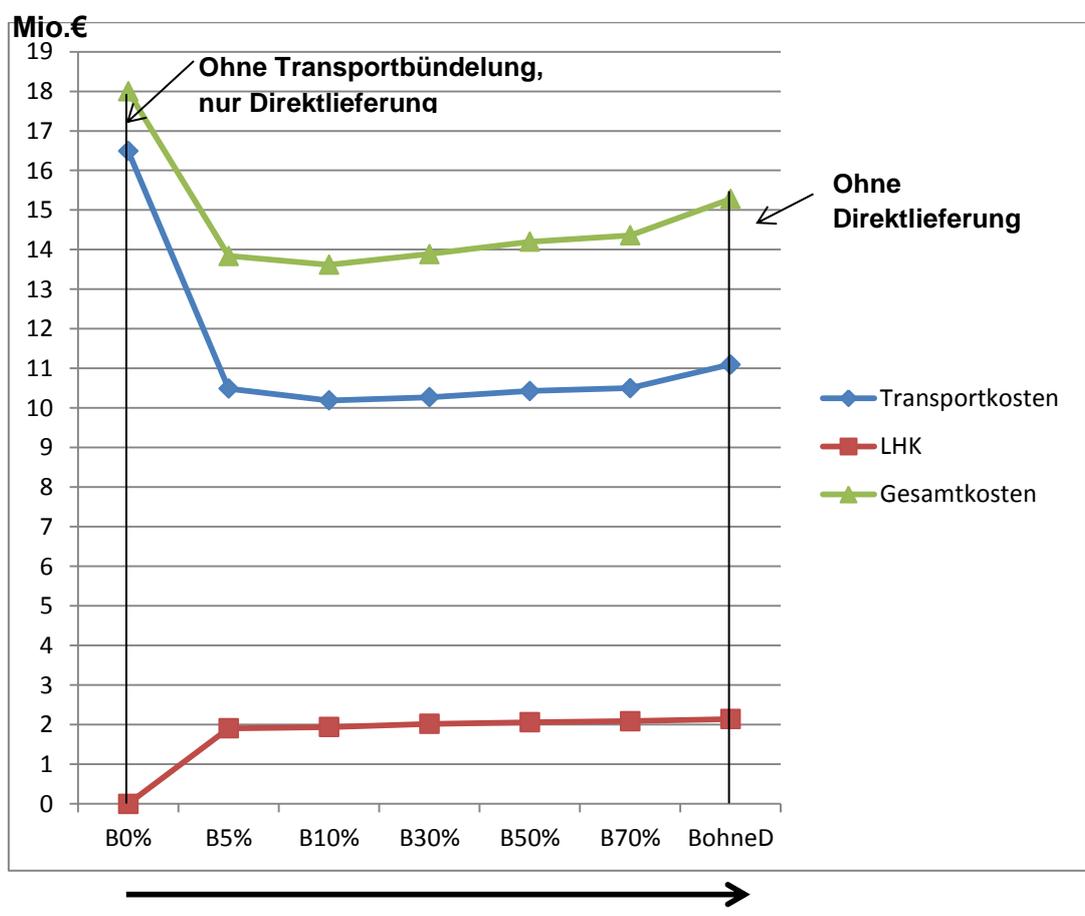


Abbildung 37: Verlauf der Gesamtlogistikkosten bei unterschiedlichem Bündelungsgrad¹⁹

¹⁸ Min. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

¹⁹ Min. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

In der Variante B0% (nur Direktlieferung) sind eigentlich keine Lagerbestände im RL nötig, sodass die LHK hier auf 0€ gesetzt werden können. Die LHK steigen kontinuierlich mit steigendem Bündelungsgrad durch das RL. Trotz null LHK ist die Variante B0% (100% Direktlieferung) aufgrund sehr hoher Transportkosten die teuerste Lösung. Durch die RL wird ein Bündelungseffekt ermöglicht und unnötige Transportaktivitäten werden eliminiert. Der Einsatz der RL ist deshalb für eine gewisse Nutzungsdauer sinnvoll. Die Variante B10% hat die niedrigsten Transport- und Gesamtkosten, d.h. wenn ab einer Bestellmenge von 4 PP (10% der LKW-Kapazität) Direktlieferung stattfindet, sind die Gesamtlogistikkosten in dieser Experimentiergruppe am günstigsten. Zur Erläuterung der Gründe siehe Kapitel 9.4 „Frachtkostenanalyse“.



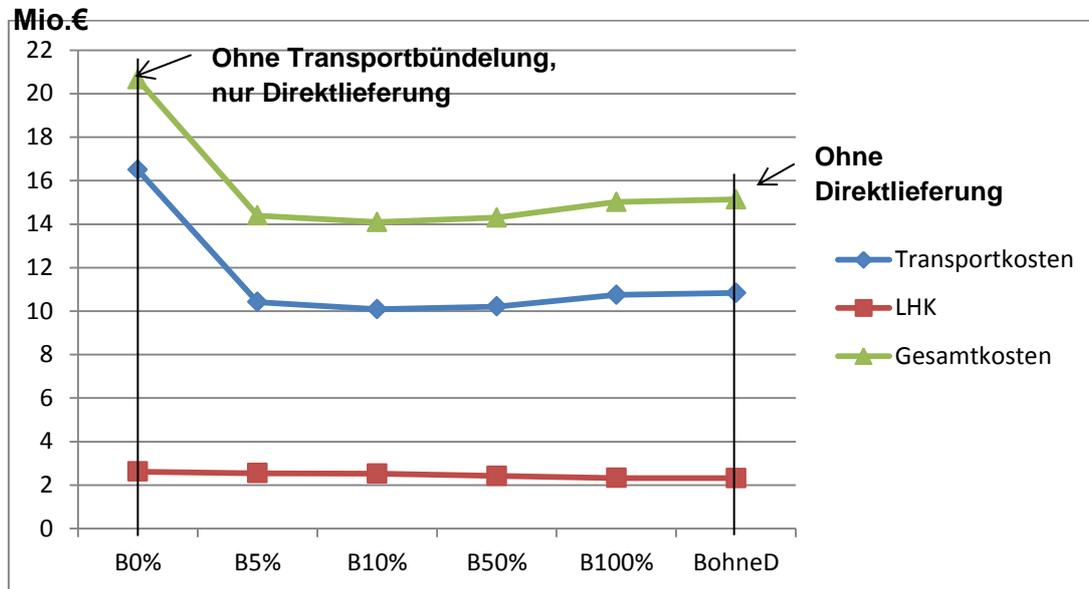
Anteil der Direktlieferung sinkt, Anteil der Lieferung durch RL steigt, also steigt der Bündelungsgrad.

Abbildung 38: Kostenverlauf bei unterschiedlichem Bündelungsgrad²⁰, die LHK betragen bei der Variante B0% 0€

²⁰ Min. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

Kostenverläufe, unterschiedlicher Bündelungsgrad bzw. Direktlieferungsanteil, max. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

Wenn der max. Bestand (S) statt des min. Bestands (s) als Anfangsbestand im RL genommen wird, sind die Kostenverläufe wie folgt:



Anteil der Direktlieferung sinkt, Anteil der Lieferung durch RL steigt, also steigt der Bündelungsgrad.

Abbildung 39: Kostenverlauf bei unterschiedlichem Bündelungsgrad²¹

²¹ Max. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

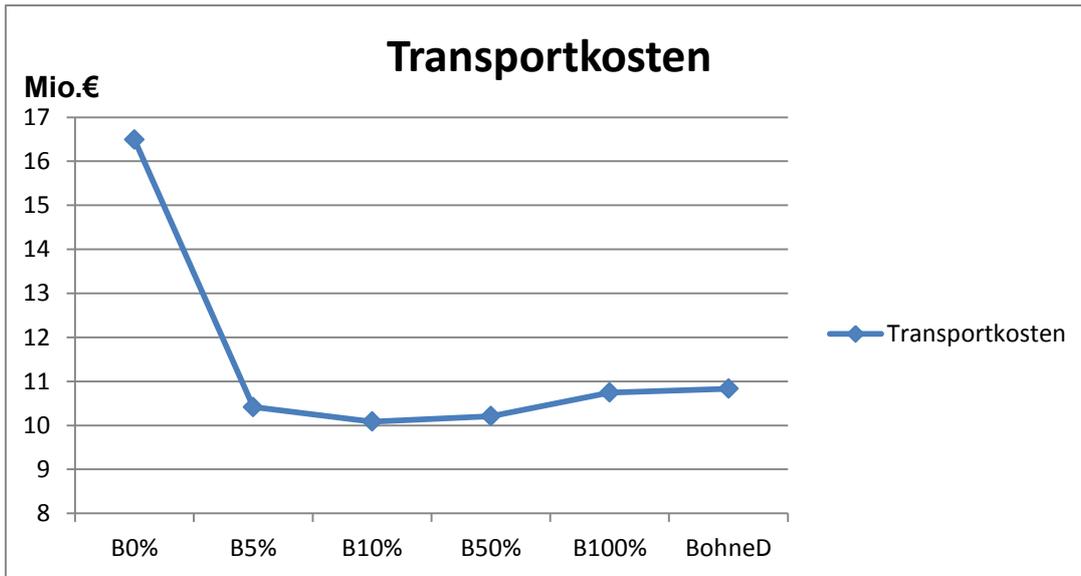


Abbildung 40: Verlauf der Transportkosten bei unterschiedlichem Bündelungsgrad²²

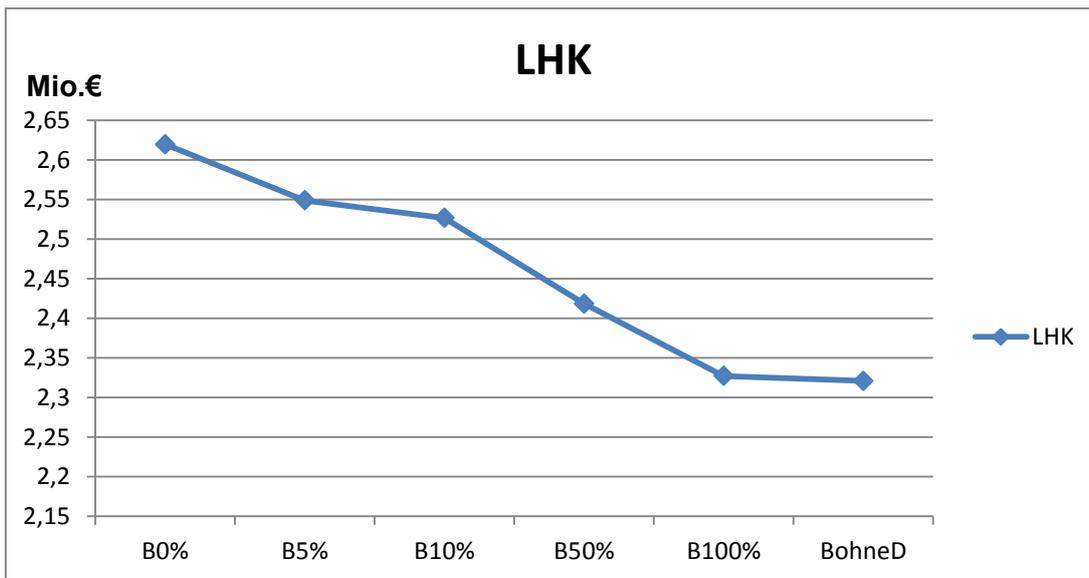


Abbildung 41: Verlauf der LHK bei unterschiedlichem Bündelungsgrad²³

²² Max. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

²³ Max. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

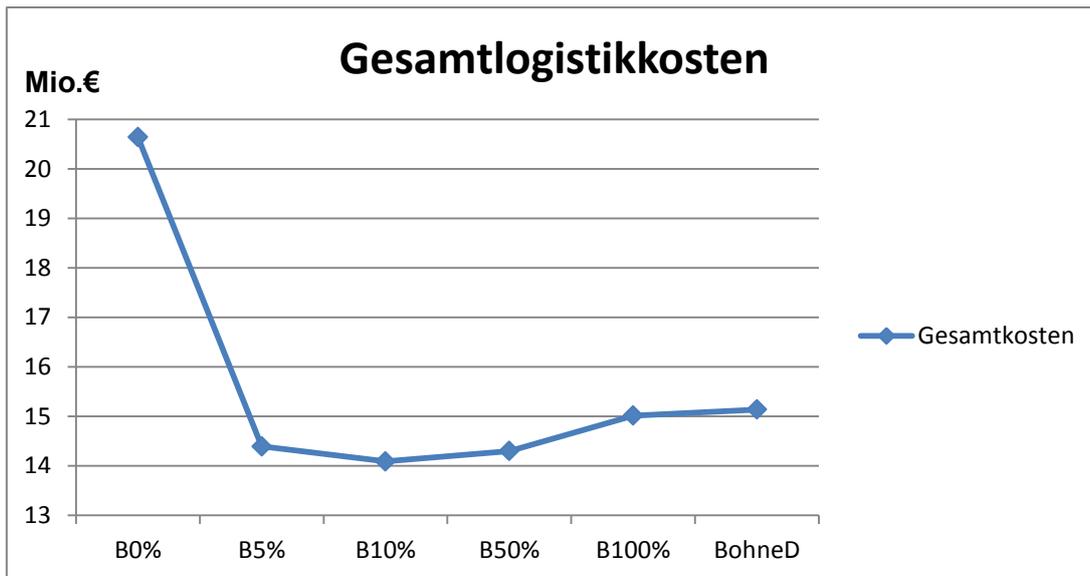


Abbildung 42: Verlauf der Gesamtlogistikkosten bei unterschiedlichem Bündelungsgrad²⁴

Die obigen Abbildungen geben an, dass, wenn der max. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL genommen wird, die gesamten Transportkosten leicht niedriger sind als die bei der Variante, wo der min. Bestand als Anfangsbestand genommen wird, da zu Simulationsbeginn gewisse Transportaktivitäten vermieden werden können. Die LHK sind hier höher. Bei der Variante mit dem min. Bestand als Anfangsbestand steigen die LHK, wenn der Bündelungsgrad steigt, bzw. wenn der Direktlieferungsanteil sinkt. Im Gegensatz dazu sinken die LHK bei der Variante mit dem max. Bestand als Anfangsbestand. Der Grund liegt darin, dass mit der Zeit die Lagerbestände im RL stabil bleiben, und diese stabilen Lagerbestände liegen zwischen den min. und max. Beständen der Artikel. Je mehr Lieferbestände durch das RL laufen, desto schneller werden die Lagerbestände stabil. Auf Dauer gibt es keinen Kostenunterschied zwischen den Varianten mit minimalem und maximalem Anfangsbestand.

Die beiden Experimentiergruppen in diesem Kapitel dienen als Basis für die nachfolgenden Experimentiergruppen.

²⁴ Max. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

9.3 Analyse von drei Varianten

Im Folgenden werden drei repräsentative Varianten analysiert.

Variante B0% (nur Direktlieferung)

Anzahl der Palettenplätze, 1-4 PP bzw. LKW-Füllgrad nicht höher als 10%

	PP-Anzahl, LKW-Füllgrad unter 10%	gesamte PP-Anzahl	PP-Anzahl in %, LKW-Füllgrad unter 10%
ZL 1	113204	197353	57,36%
ZL 2	86838	136038	63,83%
ZL 3	114576	315982	36,26%
durchschnittlich			48,45%

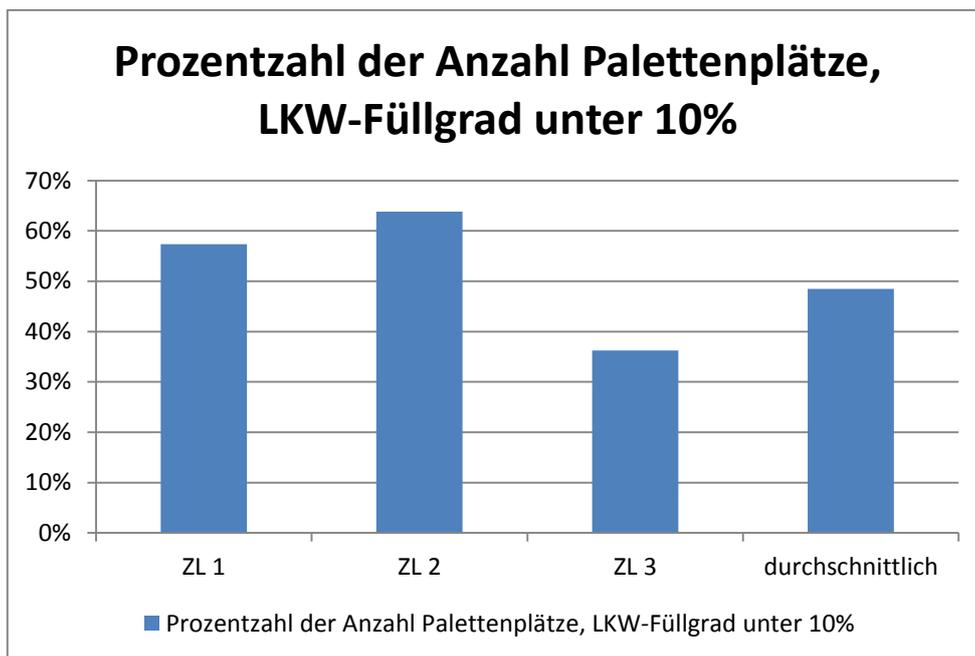


Abbildung 43: PP-Anzahl in %, LKW-Füllgrad (aus 3 ZL direkt an Kunden) unter 10%, Variante B0% (nur Direktlieferung)

Anzahl Fahrten, 1-4 PP bzw. LKW-Füllgrad nicht höher als 10%

	Anzahl Fahrten, LKW-Füllgrad unter 10%	gesamte Anzahl Fahrten	Anzahl Fahrten in %, LKW-Füllgrad unter 10%
ZL 1	85028	90647	93,80%
ZL 2	83833	86870	96,50%
ZL 3	87998	99349	88,57%
durchschnittlich			92,77%

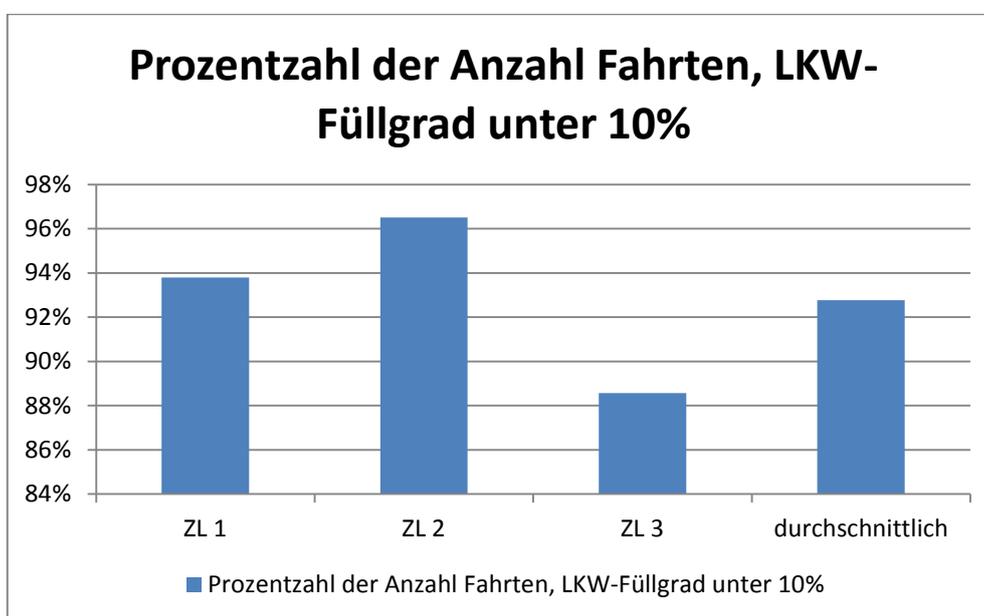


Abbildung 44: Anzahl der Fahrten in %, LKW-Füllgrad (aus 3 ZL direkt an Kunden) unter 10%, Variante B0% (nur Direktlieferung)

In der Variante mit 100% Direktlieferungen haben durchschnittlich **93%** der LKWs aus den ZL einen Füllgrad unter 10% (nur 1-4 PP), und in solchen LKWs werden durchschnittlich **48%** der gesamten PP geliefert. Das bedeutet, dass durchschnittlich **93%** der Kundenbestellungen nur 1-4 PP haben und dass solche kleinen Bestellungen **48%** der gesamten gelieferten PP ausmachen. Daraus erkennt man, dass ohne RL (B0%) die Distribution extrem kostenintensiv und umweltbelastend wäre.

Variante BohneD (ohne Direktlieferung)

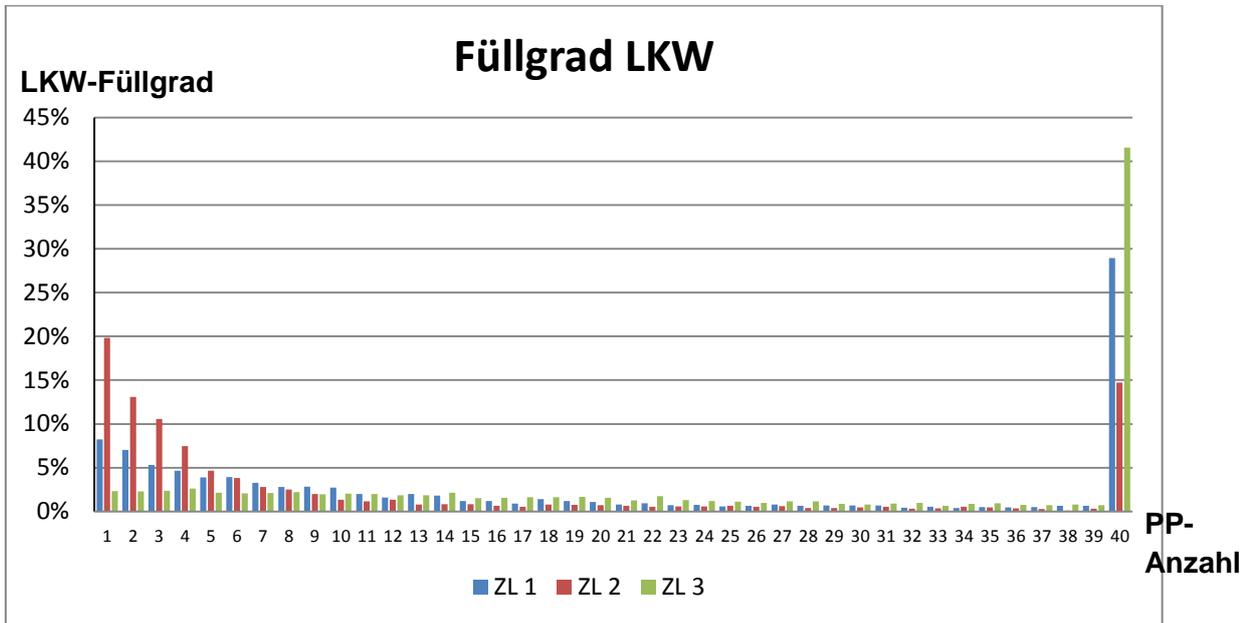


Abbildung 45: Anzahl der Fahrten in % nach PP-Anzahl in LKWs aus 3 ZL zu den 19 RL, Variante BohneD (Lieferungen nach Bedarf, ohne Direktlieferung)

Durch Transportbündelung werden Lieferungen mit geringer Liefermenge reduziert und die Anzahl der Lieferungen mit hoher Liefermenge erhöht sich, der Transportaufwand wird damit also erheblich verringert. Da die Liefermenge der gebündelten Lieferungen ZL-RL oft die LKW-Kapazität (40 PP) übersteigt, entstehen in der obigen Abbildung die Spitzen bei 40 PP. Durchschnittlich hat eine Fahrt aus dem ZL 19 Palettenplätze.

Variante B10%

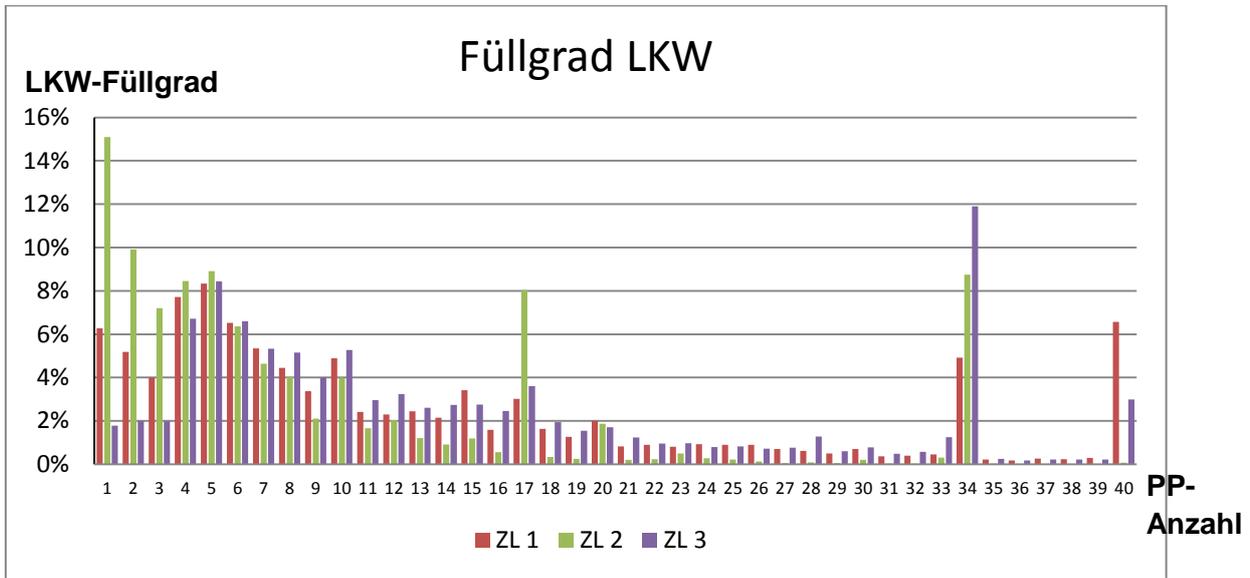


Abbildung 46: Anzahl der Fahrten in % nach PP-Anzahl in LKWs aus 3 ZL zu den 19 RL oder Kunden, Variante B10%

Bei der Variante B10% werden nur die Lieferungen mit ganz geringer Bestellmenge gebündelt und über das RL geliefert. Deshalb gibt es viel weniger Fahrten mit 40 PP als bei der Variante BohneD (siehe Variante BohneD im Kapitel 9.3). Durchschnittlich hat eine Fahrt aus dem ZL13 PP.

9.4 Frachtkostenanalyse

Frachtsätze²⁵ ZL-Kunden

In den folgenden drei Abbildungen werden die Frachtsätze ZL-Kunden dargestellt.

²⁵ Mehr zu Frachtsatz siehe Kapitel 5.1

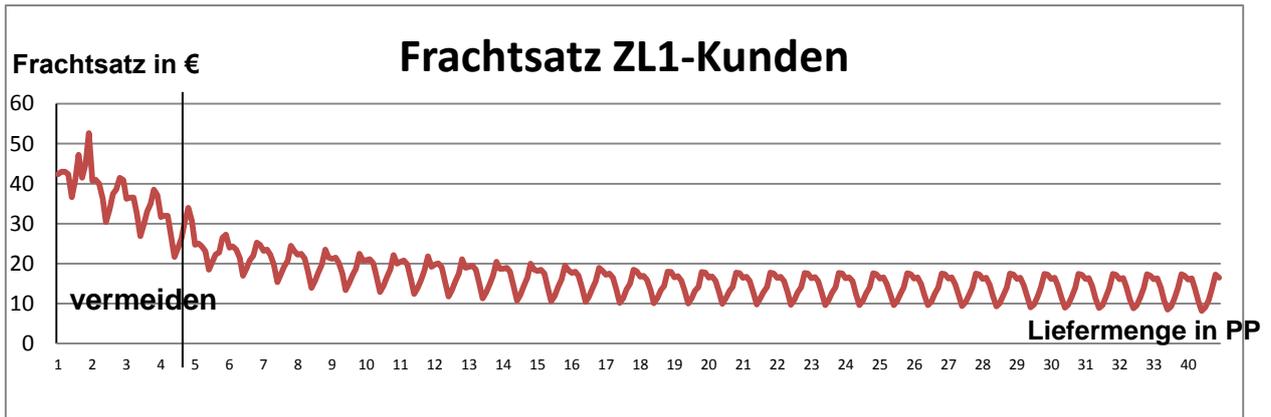


Abbildung 47: Frachtsätze ZL1-Kunden

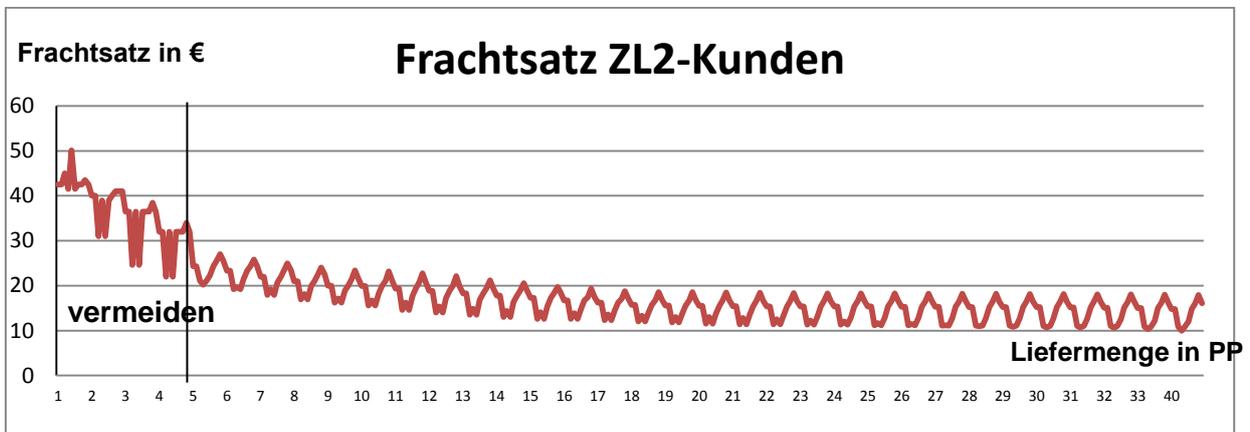


Abbildung 48: Frachtsätze ZL2-Kunden

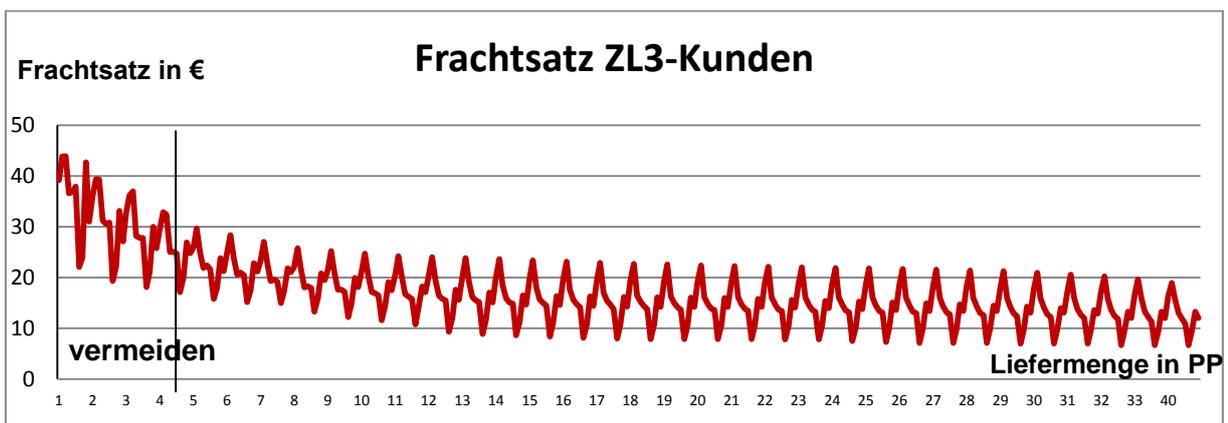


Abbildung 49: Frachtsätze ZL3-Kunden

Die Berechnung der Frachtsätze der Direktlieferungen (ZL-Kunden) basiert auf der Anzahl der Palettenplätze sowie auf der Entfernung ZL-Kunden bzw. auf dem Postleitzahlbereich des Kundenstandorts. Die Kurven haben einen gezackten Verlauf, da der Frachtsatz-Verlauf bei gleicher Liefermenge vom Postleitzahlbereich des Kundenstandorts abhängig ist. Zwischen einer PP-Anzahl von 1 und 4 haben die Kurven große Gradienten, d.h. der Kostensatz fällt sehr steil ab. Ab 16 PP bis 40 PP haben die Kurven nur noch Gradienten, bzw. die Kostensätze bleiben annähernd konstant. Von 4 PP bis 16 PP fallen die Kostensätze nur leicht ab. Die Transportkosten sind extrem hoch bei einer Liefermenge von 1 bis 4 PP direkt aus dem ZL an den Kunden, daher ist dies zu vermeiden. Mit anderen Worten, solche geringen Bestellmengen (1-4 PP) sollten mit der Bestellmenge von anderen Kunden gebündelt und durch das RL zugestellt werden.

Ab einer Liefermenge von 4 PP sind die Kostensätze ZL-Kunden kaum höher als die Kostensätze ZL-RL. Außerdem kommen bei der Lieferung durch das RL zusätzlich noch die Transportkosten RL-Kunden hinzu.

Dies sind die Gründe, warum der kostengünstigste Bündelungsgrad bei der Experimentiergruppe Bx% (ohne Residual-Stock) sehr niedrig liegt, d.h. die niedrigsten gesamten Transportkosten bei der Experimentiergruppe Bx% (ohne Residual-Stock) können erreicht werden, wenn ab einer Bestellmenge von 4 PP (10% der LKW-Ladefähigkeit, $x\% = 10\%$) die Direktlieferung ZL-Kunden erfolgt. Ab 4 PP ist es hinsichtlich der Transportkosten akzeptabel, aus dem ZL direkt an den Kunden zu liefern.

Die Kosteneinsparung durch den Bündelungseffekt ist begrenzt und man sollte deshalb seine Wirkung nicht überschätzen.

Es lässt sich erkennen, dass der Bündelungseffekt bzw. die Kostenvorteile der Transportbündelung hauptsächlich durch die Frachtsätze und das Bestellverhalten der Kunden bestimmt werden.

Frachtsätze ZL-RL

In den folgenden Abbildungen sind die Frachtsätze zwischen ZL und RL dargestellt.

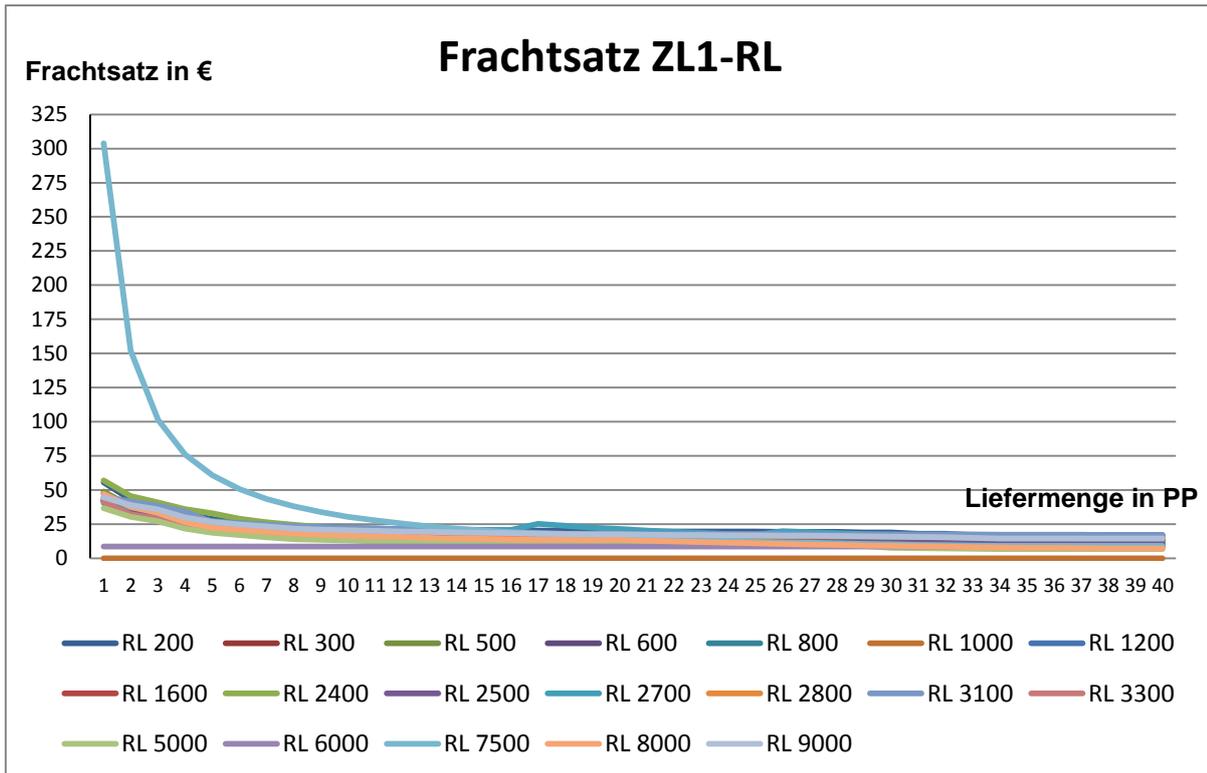


Abbildung 50: Frachtsatz aus ZL1 an allen 19 RL

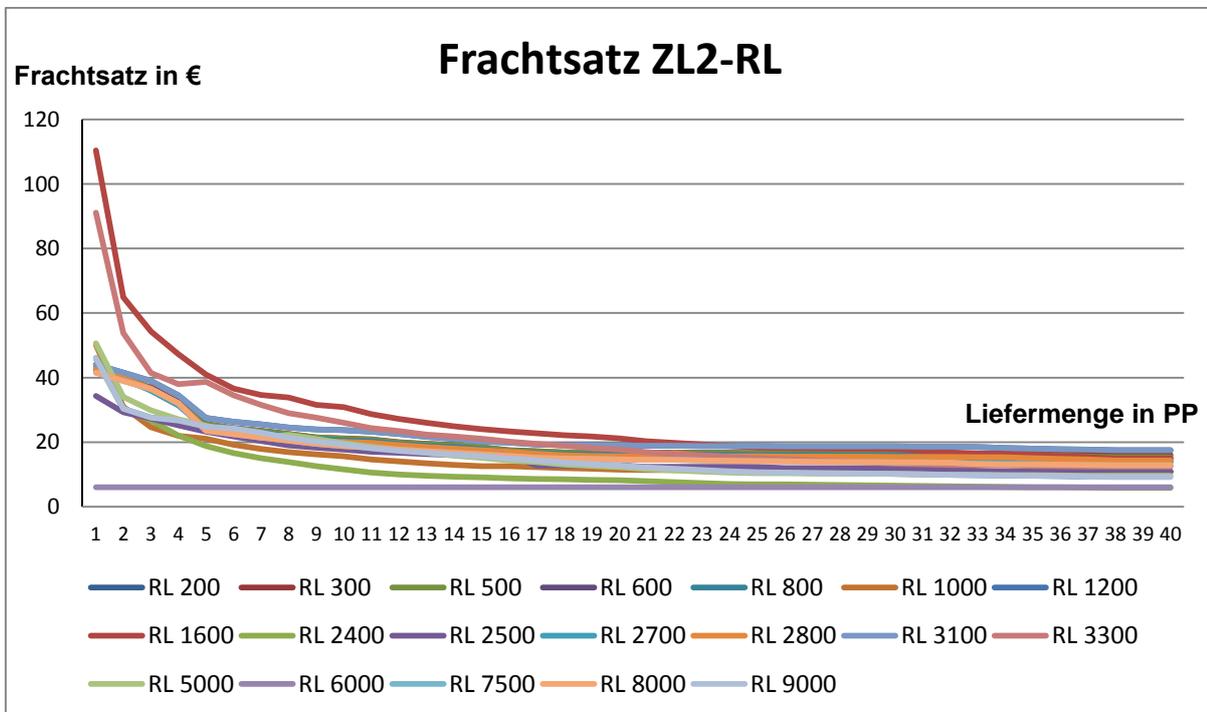


Abbildung 51: Frachtsatz aus ZL2 an allen 19 RL

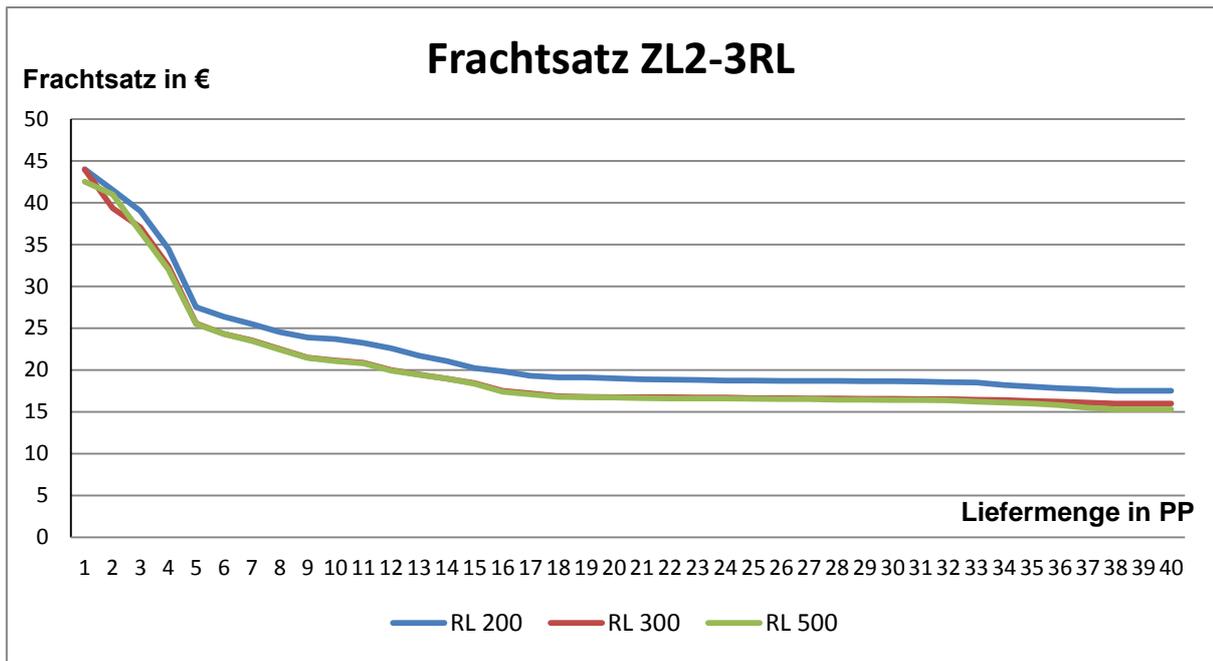


Abbildung 52: Frachtsatz aus ZL2 an drei RL

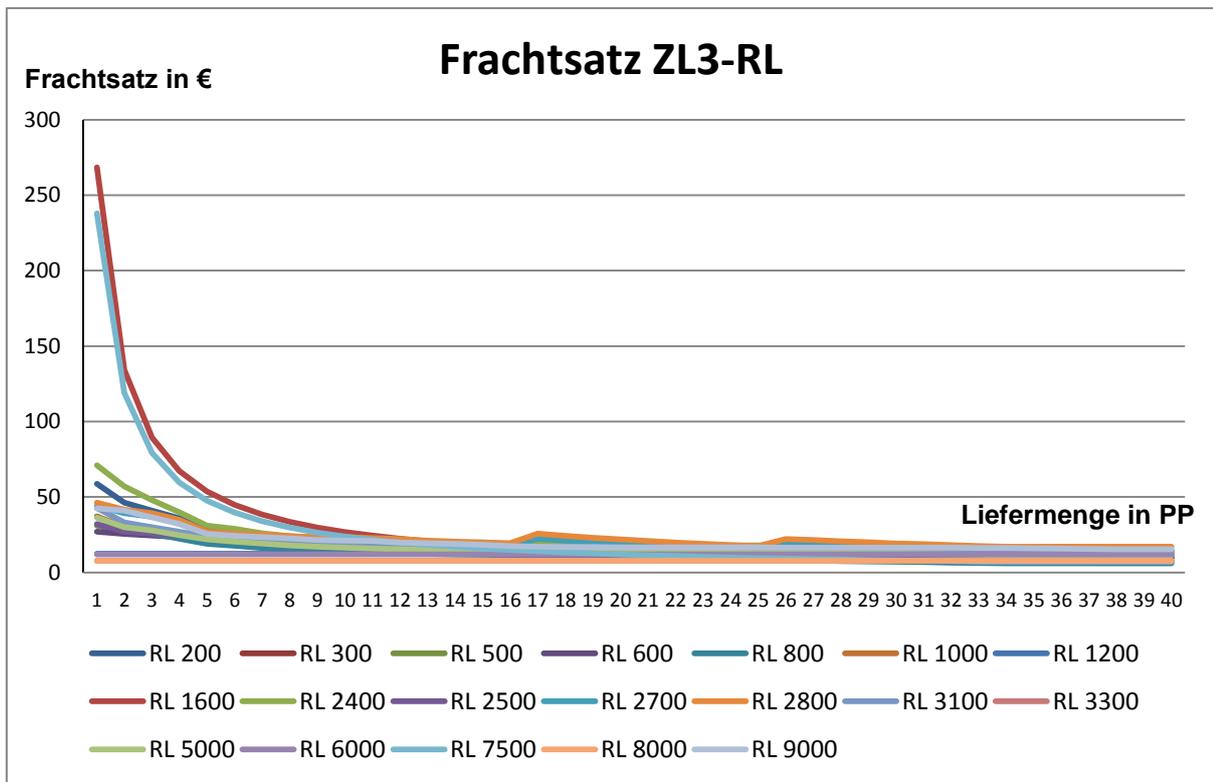


Abbildung 53: Frachtsatz aus ZL3 an allen 19 RL

Die Berechnung der Frachtsätze ZL-RL basiert auf der Anzahl der PP und auf den vorgegebenen festen Relationen (3 ZL - 19 RL). Die Transportdienstleistung ist in ein Outsourcing-Konzept eingebunden, in dem verschiedene logistische Dienstleister (LDL) für bestimmte Regionen zuständig sind. Die Aufteilung auf verschiedene Dienstleister ergibt sich aus den jeweiligen Städten, da die LDL ihrerseits Frachten bündeln können und damit die Auslastung ihrer LKW erhöhen. Dennoch kann es vorkommen, dass einzelne Dienstleister in bestimmten Regionen keine ausreichende Auslastung ihrer LKW erreichen können, sodass sich kaum Kostenvorteile realisieren lassen. Die Dienstleister haben dazu, je nach Region, unterschiedliche Tarifkurven entwickelt, die von der zu transportierenden Palettenanzahl abhängen.

Das folgende Diagramm stellt beispielhaft eine derartige Frachtsatzkurve dar.

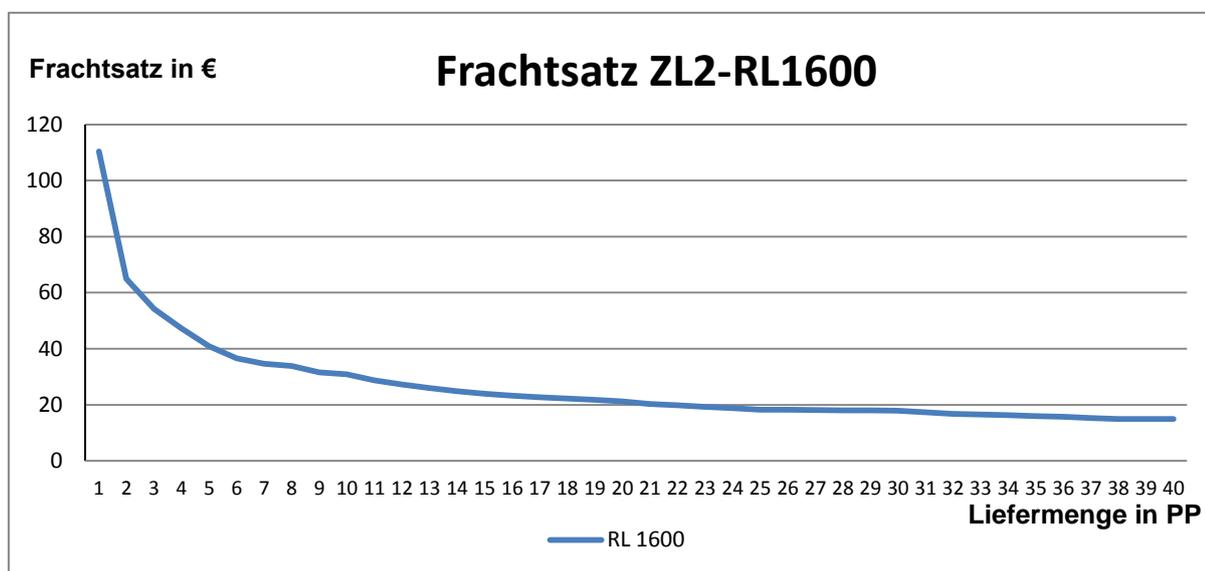


Abbildung 54: Frachtsatz aus ZL2 zu einem RL

In der obigen Abbildung sind die Frachtsätze aus ZL2 zu einem RL dargestellt. Eine Lieferung mit 1 PP kostet 110€ pro PP. Eine Lieferung mit 2 PP kostet 65€ pro PP, das sind insg. 130€. Eine Lieferung mit 30 PP kostet nur 18€ pro PP, das sind insg. 540€.

Die oben gezeigten Frachtsätze ergeben sich aus der betrieblichen Praxis. Derartige hohe Frachtsätze sind vertraglich vorgesehen. Die Auswirkungen der Kurvenverläufe auf die Distributionskonzepte müssen also noch weiter erforscht werden. Allerdings kommen durch die Transportbündelung solche Fälle mit extrem hohen Frachtsätzen ZL-RL infolge geringer

Liefermenge nur selten vor, da die gebündelte Liefermenge zu einem RL selten so niedrig ist (siehe Kapitel 9.3). Es besteht weiterhin Kostenreduzierungspotenzial durch den Wettbewerb mehrerer logistischer Dienstleister. Ein guter LDL sollte den Bündelungseffekt voll ausnutzen können.

Linearer Frachtsatz-Verlauf

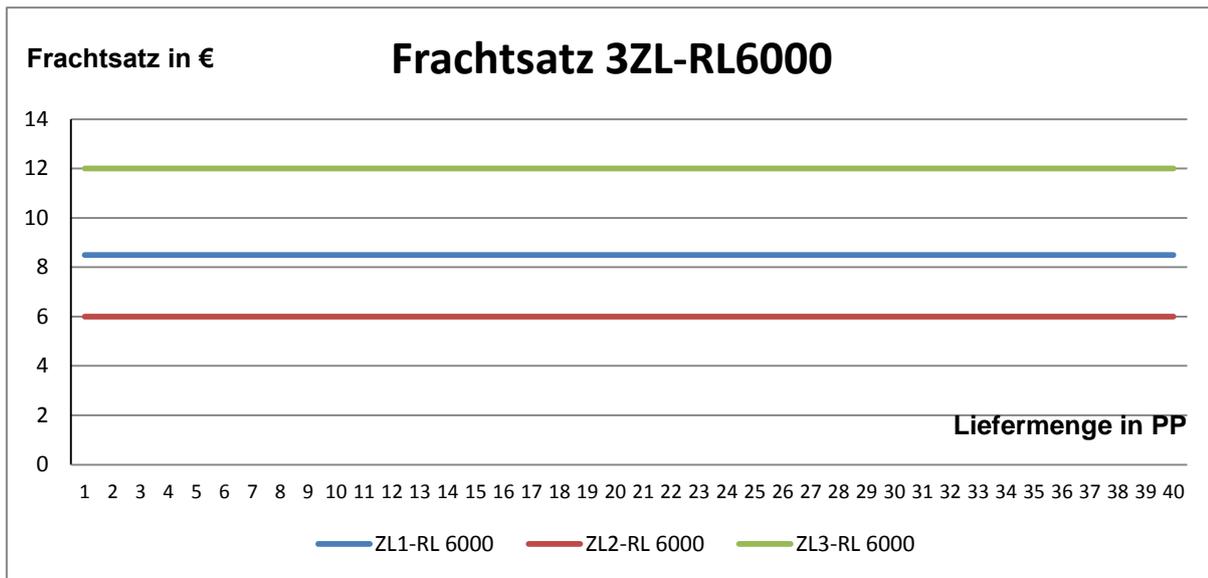


Abbildung 55: Frachtsatz aus drei ZL an RL6000

In der obigen Abbildung ist dargestellt, dass die Frachtsätze aus drei ZL an RL6000 bei unterschiedlicher Liefermenge gleich bleiben, d.h. es gibt keinen Mengenrabatt bei der Lieferung. In diesem Fall lohnt sich die Residual-Stock-Strategie aus Kostensicht nicht. Wenn es im gesamten Distributionsnetzwerk keinen Mengenrabatt bei der Lieferung gäbe, würde sich weder die Transportbündelung noch der Residual-Stock aus Kostensicht lohnen.

Bei einem nicht linearen Frachtsatz-Verlauf gilt: Je steiler die Frachtsätze mit steigender Liefermenge sinken, desto mehr Kostenvorteile sollten sich vergleichsweise durch den Residual-Stock und die Transportbündelung ergeben.

10. Experimentiergruppe: AX-, BX- und AY-Artikel als Residual-Stock

In diesem Kapitel werden die AX-, BX- und AY-Artikel, die durch die ABC-, und XYZ-Analyse festgelegt werden, als Residual-Stock im LKW (ZL-RL) mitgeliefert.

10.1 ABC- und XYZ-Analysen

ABC-Klassifikation

Traditionell wird die ABC-Analyse nach Produktwert (Bestellmenge mal Preis) durchgeführt (Schulte, 2001). Hier wird eine Variante der ABC-Analyse angewendet, wobei die Klassifizierung lediglich auf Basis der Bestellmenge erfolgt, da nicht der Produktwert, sondern die Bestellmenge den Aufwand im Transport- und Bestandsmanagement darstellt.

Die ABC-Analyse nach Bestellmenge ergibt folgende Klassifizierung (Schulte, 2001):

- A-Artikel: hohe Bestellmenge
- B-Artikel: mittlere Bestellmenge
- C-Artikel: niedrige Bestellmenge

Erfahrungsgemäß entfallen insg. 75% der gesamten Jahresbestellmenge auf A-Artikel, 20% auf B-Artikel und 5% auf C-Artikel. Diese Werte werden in der Experimentiergruppe, in der die AX-, BX- und AY-Artikel als Residual-Stock gehalten werden, als Grenzwerte vorgegeben.

Anteil der Artikel in den A-, B- und C-Klassen

RL	A	B	C	Summe
RL200	15,79%	28,57%	55,64%	100,00%
RL300	14,29%	29,32%	56,39%	100,00%
RL500	14,18%	28,36%	57,46%	100,00%
RL600	14,75%	34,43%	50,82%	100,00%
RL800	13,60%	29,60%	56,80%	100,00%
RL1000	14,67%	27,17%	58,15%	100,00%
RL1200	17,37%	29,94%	52,69%	100,00%
RL1600	17,53%	29,87%	52,60%	100,00%
RL2400	14,19%	30,41%	55,41%	100,00%
RL2500	16,91%	31,62%	51,47%	100,00%
RL2700	16,88%	27,50%	55,63%	100,00%
RL2800	16,96%	32,16%	50,88%	100,00%
RL3100	17,83%	32,48%	49,68%	100,00%
RL3300	10,81%	36,49%	52,70%	100,00%
RL5000	12,09%	28,57%	59,34%	100,00%
RL6000	13,99%	30,07%	55,94%	100,00%
RL7500	20,89%	31,65%	47,47%	100,00%
RL8000	23,53%	31,76%	44,71%	100,00%
RL9000	19,07%	25,26%	55,67%	100,00%
Mittlerer Artikelanteil in A, B und C-Klasse	16,07%	30,28%	53,66%	100,00%

Tabelle 2: Artikelanteil der A-, B- und C-Klassen in 19 RL

Je flacher der Verlauf der Lorenzkurve ist, desto mehr Artikel fallen in die A-Klasse (Schulte, 2001). RL3300 hat den niedrigsten Anteil an A-Artikeln. Hier hat man eine sehr steile Lorenzkurve, d.h. sehr wenige Artikel haben einen hohen Anteil an der Bestellmenge. Im Gegensatz dazu macht in RL8000 ein vergleichsweise hoher Artikelanteil ca. 75% der Bestellmenge aus. Hier ist der Kurvenverlauf flacher. Im Folgenden wird die ABC-Analyse für RL3300 und RL8000 in Form von Lorenzkurven grafisch dargestellt.

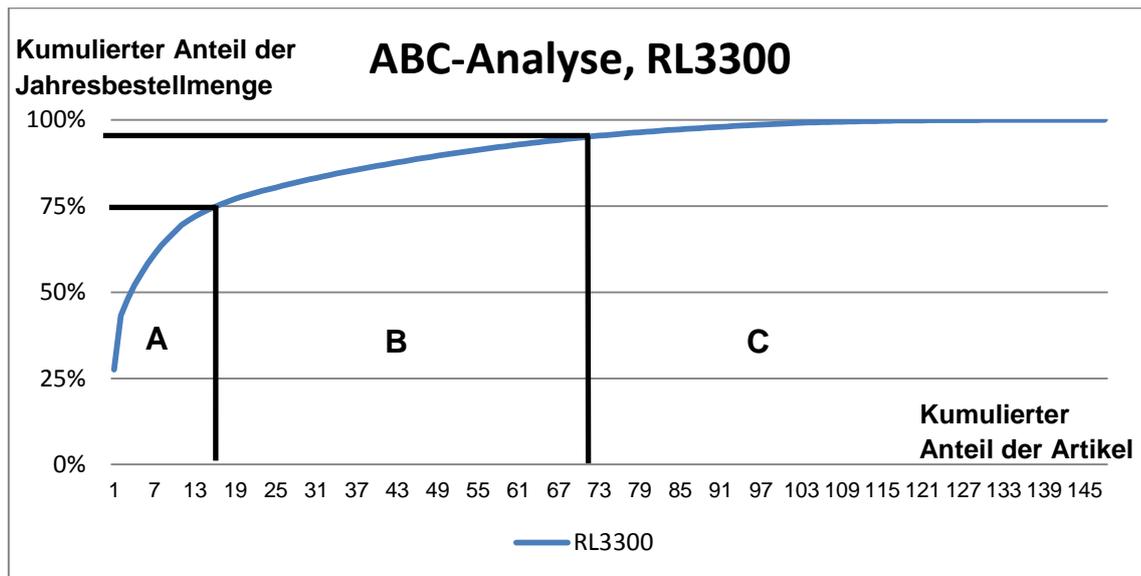


Abbildung 56: Grafische Darstellung der ABC-Analyse für RL3300

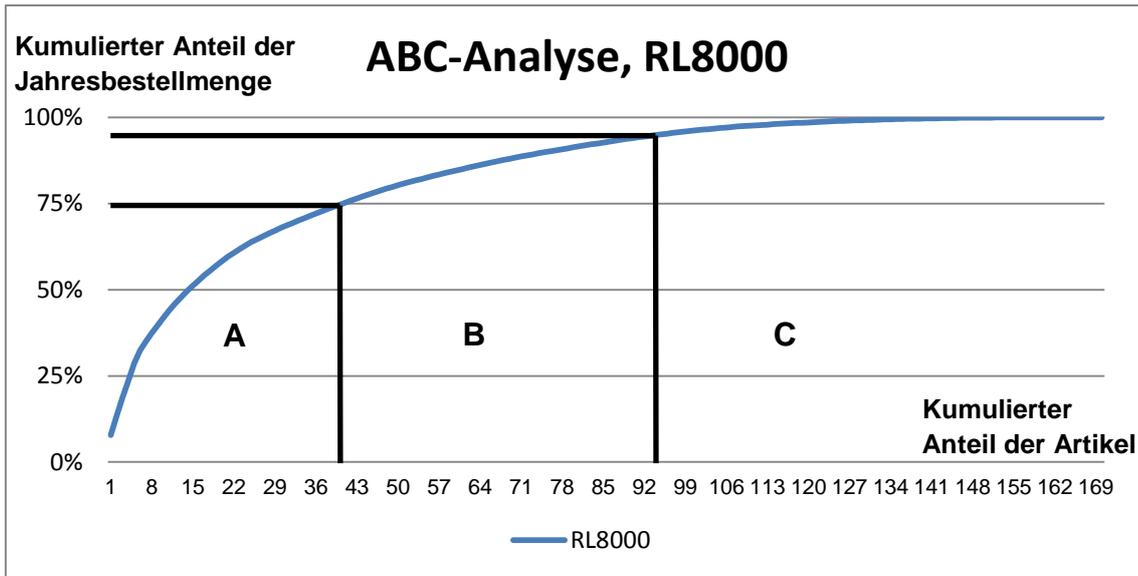


Abbildung 57: Grafische Darstellung der ABC-Analyse für RL8000

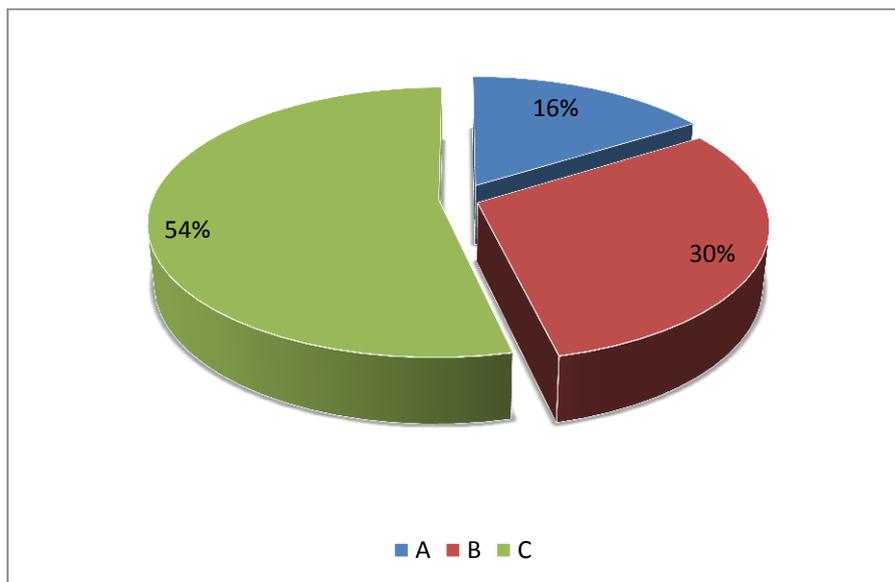


Abbildung 58: Mittlerer Artikelanteil in den A-, B- und C-Klassen

Mit durchschnittlich 16% der Artikel wird insgesamt 75% der Jahresbestellmenge abgewickelt.

XYZ-Klassifikation

Eine weitere Methode zur Artikelklassifizierung ist die XYZ-Analyse. Die XYZ-Analyse klassifiziert die Artikel hinsichtlich ihrer Vorhersagegenauigkeit und kann in der Praxis anhand der Variationskoeffizienten durchgeführt werden. Unter Variationskoeffizient wird die relative Streuung eines Artikels um dessen mittleren Verbrauch (dies entspricht der Vorhersagegenauigkeit) verstanden. Der Variationskoeffizient wird wie folgt berechnet (Kohn, 2004):

$$\text{Variationskoeffizienten} = \frac{\text{Standardabweichung}}{\text{Arithmetisches Mittel}}$$

Je nach Autor werden unterschiedliche Grenzwerte der Variationskoeffizienten verwendet. Als Klassengrenzen werden in dieser Arbeit folgende Werte für die Variationskoeffizienten verwendet:

- **X-Artikel:** Variationskoeffizient ≤ 0.5 , hohe Vorhersagegenauigkeit (stetiger Verbrauch, Schwankungen eher selten, gut prognostizierbar)
- **Y-Artikel:** $0.5 < \text{Variationskoeffizient} \leq 1.0$, mittlere Vorhersagegenauigkeit (halbstetiger Verbrauch, stärkere Schwankungen im Verbrauch, mittelgut prognostizierbar)
- **Z-Artikel:** Variationskoeffizient > 1.0 , niedrige Vorhersagegenauigkeit (völlig unregelmäßiger Verbrauch, schlecht prognostizierbar)

Anteil der Artikel in den X-, Y- und Z-Klassen

RL	X	Y	Z	Summe
RL200	27,07%	32,33%	40,60%	100,00%
RL300	25,56%	29,32%	45,11%	100,00%
RL500	20,90%	47,76%	31,34%	100,00%
RL600	26,23%	44,26%	29,51%	100,00%
RL800	21,60%	47,20%	31,20%	100,00%
RL1000	29,89%	26,09%	44,02%	100,00%
RL1200	28,14%	31,14%	40,72%	100,00%
RL1600	22,73%	35,71%	41,56%	100,00%
RL2400	30,41%	37,16%	32,43%	100,00%
RL2500	18,38%	35,29%	46,32%	100,00%
RL2700	27,50%	43,75%	28,75%	100,00%
RL2800	24,56%	29,24%	46,20%	100,00%
RL3100	28,03%	29,30%	42,68%	100,00%
RL3300	25,00%	32,43%	42,57%	100,00%
RL5000	31,32%	24,18%	44,51%	100,00%
RL6000	27,27%	21,68%	51,05%	100,00%
RL7500	24,05%	26,58%	49,37%	100,00%
RL8000	24,71%	25,29%	50,00%	100,00%
RL9000	26,29%	25,26%	48,45%	100,00%
Mittlerer Artikelanteil in X, Y und Z-Klasse	25,77%	32,84%	41,39%	100,00%

Tabelle 3: Artikelanteil der X-, Y- und Z-Klassen in 19 RL

In RL2400 und RL5000 sind über 30% der Artikel X-Artikel, die hohe Vorhersagegenauigkeit haben. Im Gegensatz dazu haben RL6000 und RL8000 über 50% Z-Artikel, die praktisch nicht prognostizierbar sind.

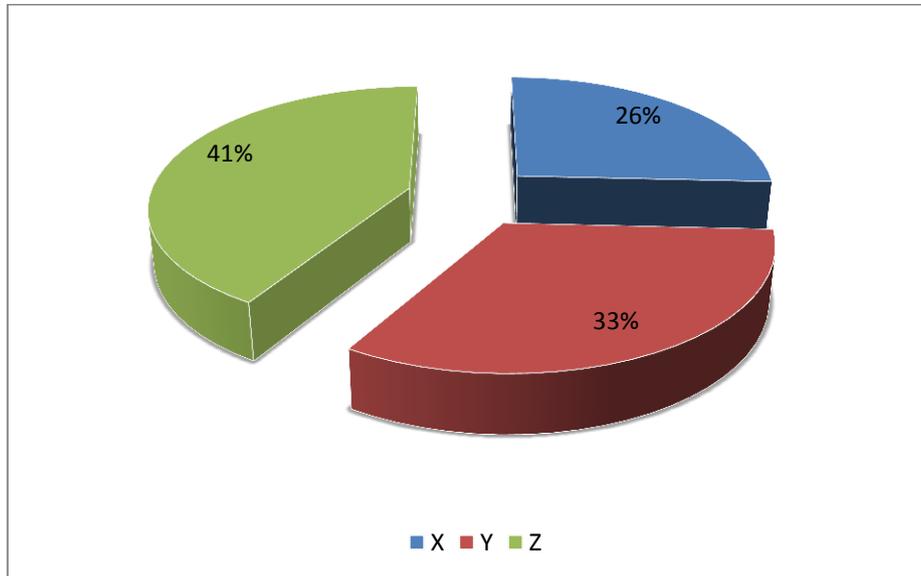


Abbildung 59: Mittlerer Artikelanteil in den X-, Y- und Z-Klassen

Die meisten Artikel (41%) sind Z-Artikel und haben völlig unregelmäßigen Verbrauch, sind daher schlecht prognostizierbar.

ABC-XYZ-Klassifikation

Anteil der Artikel in AX-, AY-, AZ-, BX-, BY-, BZ-, CX-, CY-, und CZ-Klassen

RL	AX	AY	AZ	BX	BY	BZ	CX	CY	CZ	Summe
RL200	4,51%	1,50%	9,77%	3,01%	9,02%	16,54%	19,55%	21,80%	14,29%	100,00%
RL300	6,77%	0,75%	6,77%	3,76%	9,02%	16,54%	15,04%	19,55%	21,80%	100,00%
RL500	5,22%	1,49%	7,46%	4,48%	13,43%	10,45%	11,19%	32,84%	13,43%	100,00%
RL600	3,28%	3,28%	8,20%	4,10%	20,49%	9,84%	18,85%	20,49%	11,48%	100,00%
RL800	4,00%	3,20%	6,40%	0,80%	16,80%	12,00%	16,80%	27,20%	12,80%	100,00%
RL1000	2,72%	1,09%	10,87%	6,52%	4,35%	16,30%	20,65%	20,65%	16,85%	100,00%
RL1200	5,39%	4,19%	7,78%	8,38%	8,98%	12,57%	14,37%	17,96%	20,36%	100,00%
RL1600	5,84%	1,95%	9,74%	5,84%	11,04%	12,99%	11,04%	22,73%	18,83%	100,00%
RL2400	8,11%	2,03%	4,05%	8,11%	7,43%	14,86%	14,19%	27,70%	13,51%	100,00%
RL2500	2,94%	4,41%	9,56%	2,94%	11,03%	17,65%	12,50%	19,85%	19,12%	100,00%
RL2700	5,63%	7,50%	3,75%	6,88%	10,63%	10,00%	15,00%	25,63%	15,00%	100,00%
RL2800	5,85%	5,26%	5,85%	6,43%	9,94%	15,79%	12,28%	14,04%	24,56%	100,00%
RL3100	7,01%	3,18%	7,64%	9,55%	8,92%	14,01%	11,46%	17,20%	21,02%	100,00%
RL3300	4,73%	0,68%	5,41%	6,08%	12,84%	17,57%	14,19%	18,92%	19,59%	100,00%
RL5000	6,04%	1,10%	4,95%	9,34%	3,85%	15,38%	15,93%	19,23%	24,18%	100,00%
RL6000	6,29%	2,10%	5,59%	6,99%	2,10%	20,98%	13,99%	17,48%	24,48%	100,00%
RL7500	5,70%	6,33%	8,86%	3,80%	7,59%	20,25%	14,56%	12,66%	20,25%	100,00%
RL8000	8,82%	3,53%	11,18%	8,24%	8,24%	15,29%	7,65%	13,53%	23,53%	100,00%
RL9000	5,67%	3,09%	10,31%	3,09%	6,19%	15,98%	17,53%	15,98%	22,16%	100,00%
Mittlerer Artikelanteil in jeder Klasse	5,50%	2,98%	7,59%	5,70%	9,57%	15,00%	14,57%	20,29%	18,80%	100,00%

Tabelle 4: Artikelanteil aller Klassen in den 19 RL

In der obigen Tabelle ist dargestellt, dass der Anteil der AX-Artikel, die einen hohen Anteil an der gesamten Bestellmenge haben und regelmäßig bestellt werden, sehr klein ist. Im Gegensatz dazu haben CX-Artikel einen hohen Artikelanteil. In RL1000 gibt es nur 3% AX-Artikel, aber 21% CX-Artikel. Umgekehrt ist es beispielsweise in RL2400 und RL3100, wo das Verhältnis des AX-Anteils zum CX-Anteil immer noch ungewöhnlich, aber nicht so extrem ist.

Das Verhältnis des AZ-Anteils zum CZ-Anteil ist logisch und entspricht den Erwartungen. Z-Artikel werden völlig unregelmäßig bestellt und in der Z-Klasse sind mehr CZ-Artikel als AZ-Artikel.

In der C-Klasse, wo die Artikel niedrige Bestellmengen haben, ist der Anteil der CX-Artikel im Vergleich zum CZ-Anteil sehr hoch. Zum Beispiel haben RL200, RL600, RL800, RL1000 und RL2400 einen recht hohen CX-Anteil im Vergleich zum CZ-Anteil.

In der A-Klasse ist der AZ-Anteil in RL200, RL500, RL600, RL800, RL1000, RL1200, RL1600, RL2500, RL3100, RL3300, RL7500, RL8000 und RL9000 sehr hoch. Anders als in den o.g. RL ist es in RL2400, RL2700, RL5000 und RL6000, wo das Verhältnis des AZ-Anteils zum AX-Anteil eher den Erwartungen entspricht.

Im Folgenden ist die Spannweite der Artikel-Klassen dargestellt:

- AX-Klasse: 3% - 9%
- AY-Klasse: 1% - 8%
- AZ-Klasse: 4% - 11%
- BX-Klasse: 1% - 10%
- BY-Klasse: 2% - 20%
- BZ-Klasse: 10% - 21%
- CX-Klasse: 8% - 21%
- CY-Klasse: 13% - 33%
- CZ-Klasse: 11% - 25%

Der mittlere Artikelanteil jeder Artikel-Klasse ist in der folgenden Abbildung grafisch dargestellt:

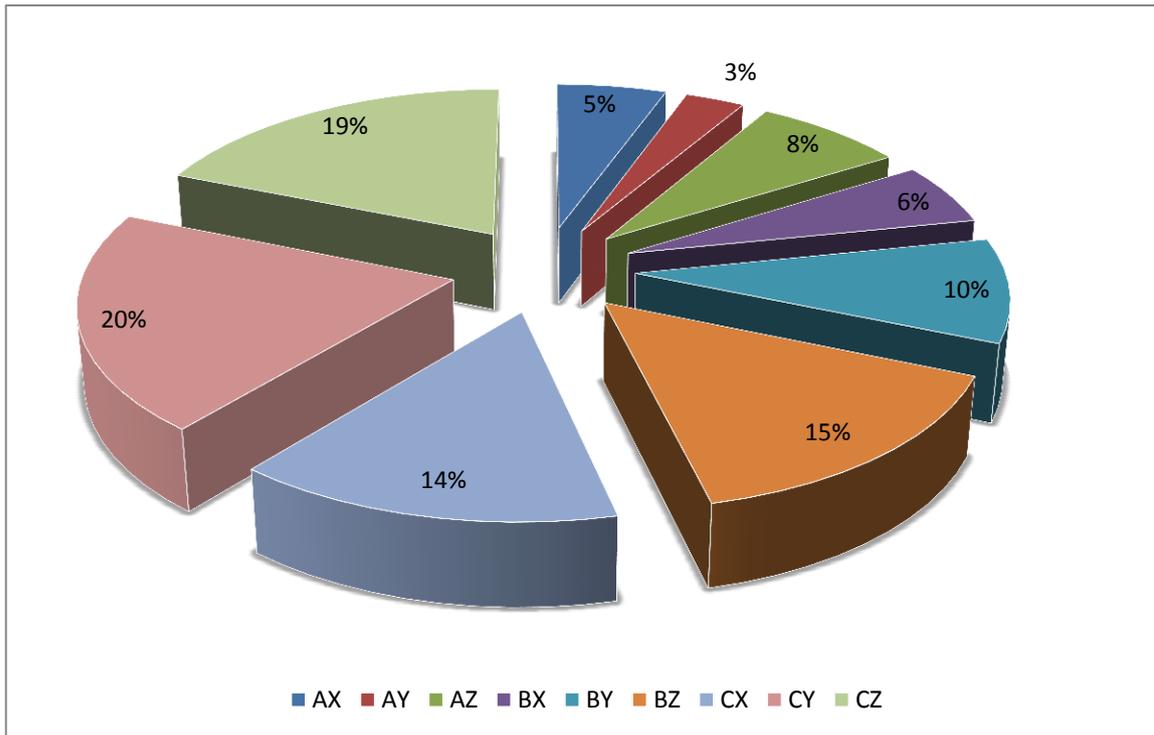


Abbildung 60: Mittlerer Artikelanteil in jeder Klasse

Nach dieser Klassifizierung gehören über 20% der Artikel zur CY-Klasse, die hier die größte Artikel-Klasse darstellt. Der mittlere Artikelanteil aller AX-, BX und AY-Artikel in den 19 RL beträgt **14%**. Diese Artikel werden im Folgenden als Residual-Stock im LKW (ZL-RL) aufgefüllt.

Mittlerer Artikel-Anteil in den AX-, AY-, AZ-, BX-, BY-, BZ-, CX-, CY-, und CZ-Klassen

	A	B	C
X	5,50%	5,70%	14,57%
Y	2,98%	9,57%	20,29%
Z	7,59%	15,00%	18,80%

Tabelle 5: Mittlerer Artikelanteil aller Klassen

10.2 Vorstellung und Realisierung von Szenarien mit verschiedenen Lieferstrategien

Die A- und B-Artikel verursachen die meisten Logistikkosten bzw. die höchsten Transport-, Lager-, Auftrags- und Handhabungskosten, da sie hohe bis mittlere Bestellmengen haben. Die X- und Y-Artikel werden stetig bis halbstetig bestellt. Aus logistischer Sicht werden deshalb die AX-, AY-, und BX-Artikel in diesem Kapitel als Residual-Stock im LKW (ZL-RL) bis zu einem bestimmten LKW-Füllgrad aufgefüllt (Push-Konzept). In den Simulationen wird der Mindestbestand als Anfangsbestand im RL gehalten.

	A	B	C
X	AX-Artikel als Residual-Stock	BX-Artikel als Residual-Stock	
Y	AY-Artikel als Residual-Stock		
Z			

Diese Experimentiergruppe unterteilt sich nach dem Bündelungsgrad (0-100%) und dem LKW-Füllgrad ZL-RL (5%-100%) in zwei Gruppen:

- Fester Bündelungsgrad, unterschiedlichem LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-RL): A5%y%, A10%y%, A50%y%, A100%y%, AohneDy%, etc.
- Fester LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-RL), unterschiedlicher Bündelungsgrad: Ax%5%, Ax%10%, Ax%50%, Ax%100%, etc.²⁶

Realisierung mit dem Simulationsmodell

Die Lieferungen aus dem ZL3 über das RL300 an die Kunden beim Experiment ExpA50%30% werden im Folgenden als Beispiel genommen, um die Vorgehensweise mit dem Simulationsmodell detailliert darzustellen:

²⁶ ExpAohneDy%: AX-, AY-, BX-Artikel als Residual-Stock, ohne Direktlieferung, y% LKW-Füllgrad ZL-RL
ExpAx%y%: AX-, AY-, BX-Artikel als Residual-Stock, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladepazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden, y% LKW-Füllgrad ZL-RL

ExpA50%30%: Ab einer Bestellmenge von 20 PP (50% der LKW-Kapazität) erfolgt die Direktlieferung aus dem ZL an die Kunden. Ansonsten wird über das RL geliefert. Wenn der LKW-Füllgrad ZL-RL unter 30% (12 PP) liegt, werden die AX-, BX- und AY-Artikel als Residual-Stock im LKW aufgefüllt, bis der LKW zu 30% (12 PP) voll ist.

RL 300 hat insgesamt 133 Artikel, wovon 15 Artikel AX-, BX- oder AZ-Artikel sind. Von diesen 15 Artikeln stammen 11 Artikel aus dem ZL3. Diese 11 Artikel können als Residual-Stock in die LKW aus dem ZL3 an das RL300 aufgefüllt werden. Die Auffüllreihenfolge richtet sich nach der Artikelnummer der AX-, BX- und AY-Artikel.

Liegen die Kundenbestellungen unter 20 PP, werden diese Bestellungen aus dem ZL3 durch das RL300 gebündelt. Wenn eine gebündelte Lieferung aus dem ZL3 an das RL300 nur 9 PP (Füllgrad unter 30%, 12 PP) hat, werden drei Paletten der oben erwähnten 11 AX-, BX- oder AY-Artikel als Residual-Stock in die LKW aufgefüllt, d.h. die Artikel 2490, 4486 und 5340 (eine Palette pro Artikel) werden in die LKW aufgefüllt. Die nächste Lieferung mit Residual-Stock aus dem ZL3 an das RL300 fängt dann mit dem Artikel 5341 als Residual-Stock an.

Artikel-Nr.	Klasse	Klasse	aus dem ZL
2184	A	X	2
2234	A	X	1
2490	A	X	3
4486	A	X	3
4599	A	X	2
5340	A	X	3
5341	A	X	3
5491	A	X	3
5550	A	X	3
2060	A	Y	3
2142	B	X	3
3493	B	X	3
4481	B	X	2
5567	B	X	3
5910	B	X	3

Gesamte Artikelanzahl RL300: 133

Bei der ersten Lieferung mit Residual-Stock aus dem ZL3 an das RL300 werden 3 Paletten als Residual-Stock mitgeliefert.

3 Paletten: Artikel 2490, 4486 und 5340 eine Palette pro Artikel

Die nächste Lieferung mit Residual-Stock aus dem ZL3 an das RL300 fängt dann mit dem Artikel 5341 als Residual-Stock an.

Tabelle 6: AX-, BX- und AY-Artikel im RL300

Im Simulationsmodell wird in der Parametermaske Lagersteuerung „x% volle LKW (A-Artikel)“ als Nachschubstrategie ausgewählt und die oben gezeigten 15 AX-, BX- und AY-Artikel werden als „A-Artikel“ in die Inputdateien „ABC 300.txt“ eingefügt.

Die Parameter x% und y% sind in den globalen Einstellungen einstellbar. In diesem Beispiel ist x% 50% und y% 30%, d.h. „Direktlieferung ab 20 Stellplätze“ (50% LKW-Füllgrad) und „Kapazität volle LKW 30%“.

The screenshot shows the 'Lager-Steuerung' (Inventory Control) parameter mask. The window title is 'Lager-Steuerung'. It contains several sections:

- Stammdaten** (Inventory data): Lager-Nr (6000), Lager-Typ (NL), Bezeichnung (NL_Vlotho), Lagerbestand, Artikel, ABC-Klasse, Kunden.
- Bewegungsdaten** (Movement data): Produktion, max. Prodmenge, Aufträge.
- Kosten** (Costs): Lagerkosten, Frachtkosten.
- Lagerbestand** (Inventory status): 1 - mit Bestandsführung, maximale Produktionsmenge berücksichtigen (checkbox).
- Nachschub** (Reorder): 2 - x% volle LKW (A-Artikel) (dropdown menu, circled in black), Parameter Nachschub (button).
- Sub-Niederlassung** (Sub-warehouse): Ist dem Lager-Nr. 0 zugeordnet.

At the bottom, there are buttons for 'OK', 'Abbruch', and 'globale Einstellungen'. The status bar shows 'Version 2.4.2 vom 04.12.2009' and the time '13:16:05'.

Abbildung 61: Parametermaske "Lagersteuerung" bei einem Experiment mit AX-, BX- und AY-Artikeln als Residual-Stock

globale Einstellungen

Batch-Modus Trace-Modus

Simulationsstartdatum: 12.10.2012

Mischpalette
 Länge: 1200 mm Breite: 800 mm
 Höhe: 2000 mm Nutzung: 90 %

Versandpalette
 Palette abpacken > 50 % Vollpalette

Versand
 max. Stellplatzhöhe: 2400 mm
 max. Stapelhöhe: 2 Pal
 Direktlieferung ab 20 Stellplätze
 Auftragstypen

Volumen je Lademeter: 6 m³

Kapazität volle LKW: 30 %

Arbeitstage
 Mo Di Mi Do Fr
 Sa So

Ausgabeverzeichnis (muss existieren):
 C:\SupplyChainSim\modell\Modell16.12\expA

Speichern Abbrechen

x% = 50%,
 Volle LKW-Kapazität: 40 PP

y% = 30%,
 d.h. LKW (ZL-RL) wird mit Residual-Stock
 bis zu einem Füllgrad von 30% aufgefüllt.

Abbildung 62: Parametermaske "globale Einstellungen" bei einem Experiment mit AX-, BX- und AY-Artikeln als Residual-Stock

10.3 Ergebnisse: Kostensplitt, fester LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-RL), unterschiedlicher Bündelungsgrad

Im folgenden Abschnitt werden die verschiedenen Kostenverläufe der Lagerhaltung und der Transporte näher untersucht. Die Verläufe der LHK der Varianten ExpAx%5%, ExpAx%10%, ExpAx%50%, ExpAx%100% im Vergleich mit ExpBx% sind als ein Teil der Ergebnisse wie folgt dargestellt²⁷.

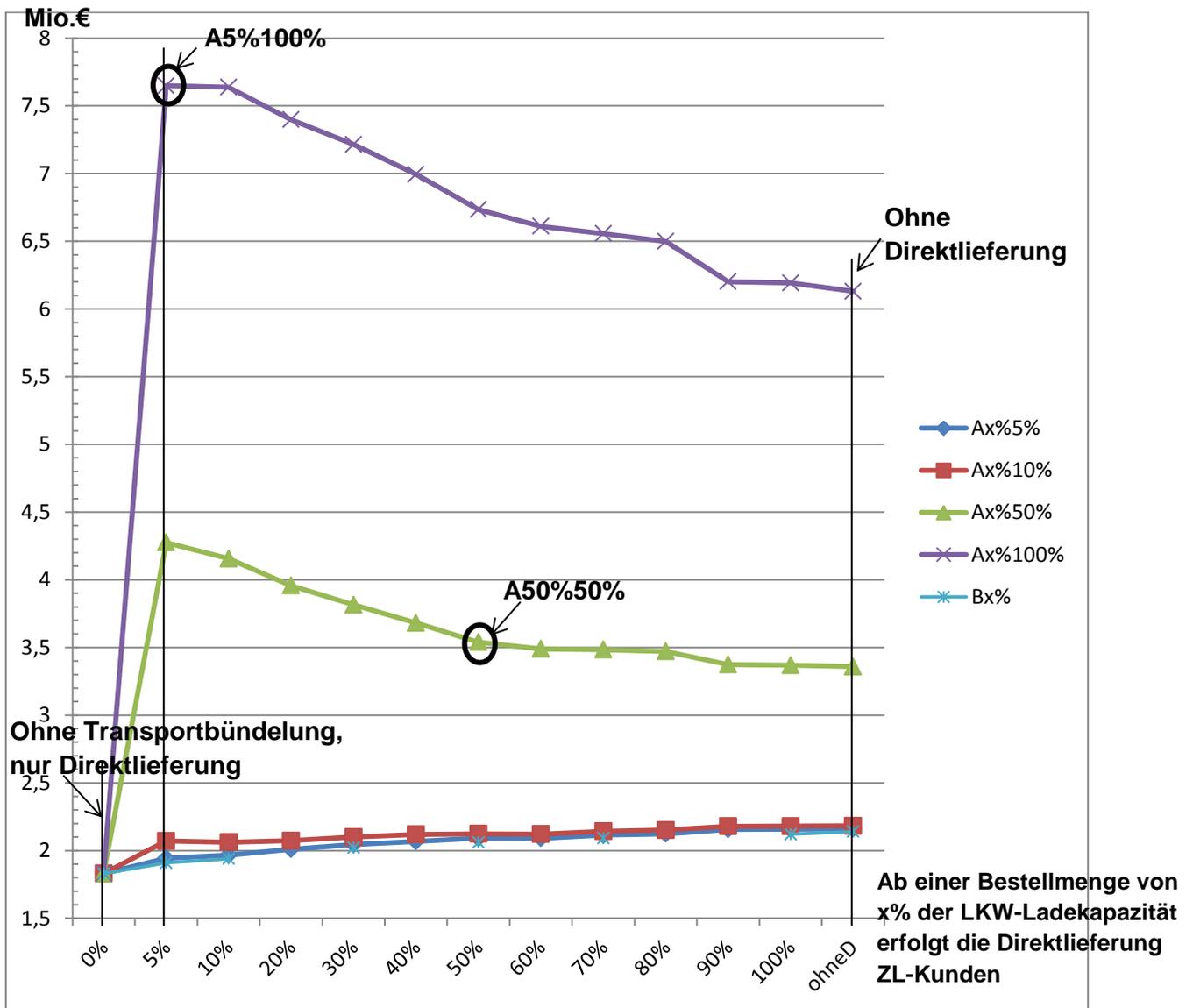


Abbildung 63: Verlauf der LHK der Experimentiergruppen Ax%5%, Ax%10%, Ax%50%, Ax%100% im Vergleich zur Experimentiergruppe Bx%

²⁷ Min. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

Bei $\text{ExpAx}\%10\%$ erfolgt eine Direktlieferung gemäß den Werten auf der X-Achse und der LKW ZL-RL wird mit AX-, BX- und AY-Artikeln auf 10% (4 PP) aufgefüllt. Es ist natürlich zu erwarten, dass hier selten der Fall eintritt, dass ein Auffüllen notwendig ist. Durch die Bündelung wird ein LKW oft schon über 10% ausgelastet. Deshalb ist der Kurvenverlauf ähnlich wie bei $\text{ExpBx}\%$ (ohne Residual-Stock).

Anders liegt der Fall bei $\text{ExpAx}\%50\%$. Hier wird ein LKW ZL-RL auf 50% aufgefüllt. Bei $\text{ExpA50}\%50\%$ ($x\% = 50\%$) erfolgt eine Direktlieferung ab 20 PP (50% Füllgrad), darunter greift der Bündelungseffekt. Bei kleinen $x\%$ -Werten (kleiner als 50%) werden die LKWs oft aufgefüllt und bei großen $x\%$ -Werten (größer als 50%) wird selten aufgefüllt. Auf der Kurve sieht man deshalb deutlich, dass der Kurvenverlauf ab 50% ($x\%$) flacher wird.

Bei $\text{ExpAx}\%100\%$ wird der LKW ZL-RL auf 100% aufgefüllt. Ein Auffüllen ist notwendig, solange der LKW ZL-RL nicht 100% voll ausgelastet ist. Je größer der $x\%$ -Wert ist, desto höher liegt die gebündelte Liefermenge (ZL-RL) und in den LKW wird dann weniger aufgefüllt. Deshalb sinkt die Kurve ab $\text{ExpA5}\%100\%$ mit Zunahme der $x\%$ -Werte.

Im Folgenden sind die Verläufe der Transportkosten der o.g. Varianten dargestellt²⁸.

²⁸ Min. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

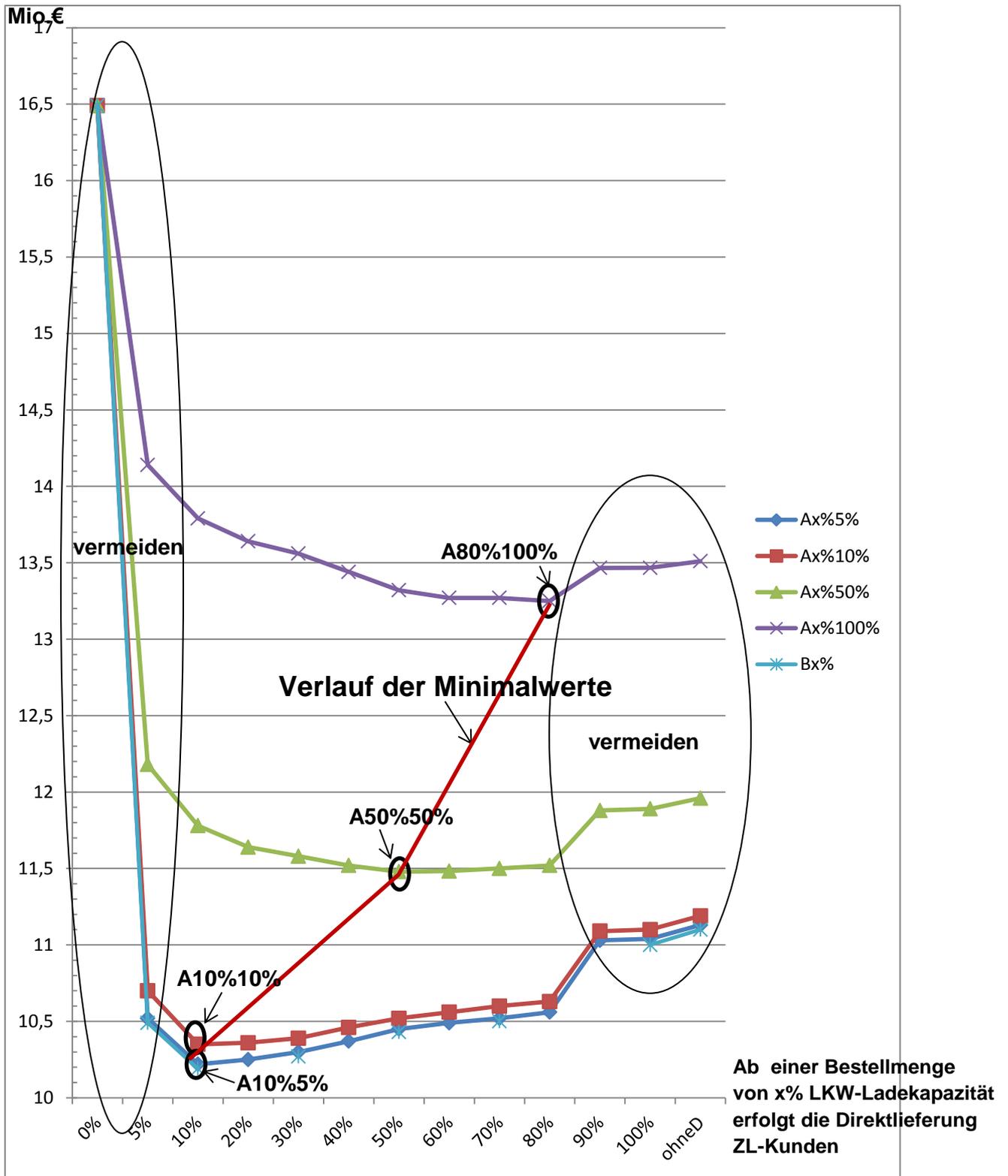


Abbildung 64: Verlauf der Transportkosten der Experimentiergruppen Ax%5%, Ax%10%, Ax%50%, Ax%100% im Vergleich zur Experimentiergruppe Bx%

Aus der Abbildung erkennt man, dass aufgrund der hohen Transportkosten solche Fälle zu vermeiden sind, wo $x\%$ niedriger als 10% oder höher als 80% liegt.

In der obigen Abbildung ist der Verlauf der Minimalwerte der Transportkosten dargestellt. Genauer gesagt liegt der Minimalwert der Kurve $Ax\%100\%$ bei $A80\%100\%$, der Wert der Kurve $Ax\%50\%$ bei $A50\%50\%$, der Wert der Kurve $Ax\%10\%$ bei $A10\%10\%$ und der Wert der Kurve $Ax\%5\%$ bei $A10\%5\%$. Mit der Zunahme der $y\%$ -Werte erhöhen sich die x -Werte für die minimalen Transportkosten.

10.4 Ergebnisse: Kostensplitt, fester Bündelungsgrad, unterschiedlicher LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-RL)

Im Folgenden werden die Verläufe der Transportkosten, der LHK und der Gesamtkosten der Varianten $ExpA5\%y\%$, $ExpA10\%y\%$, $ExpA50\%y\%$, $ExpA100\%y\%$ und $ExpAohneDy\%$ dargestellt. In den Simulationen wird der Mindestbestand als Anfangsbestand im RL gehalten.

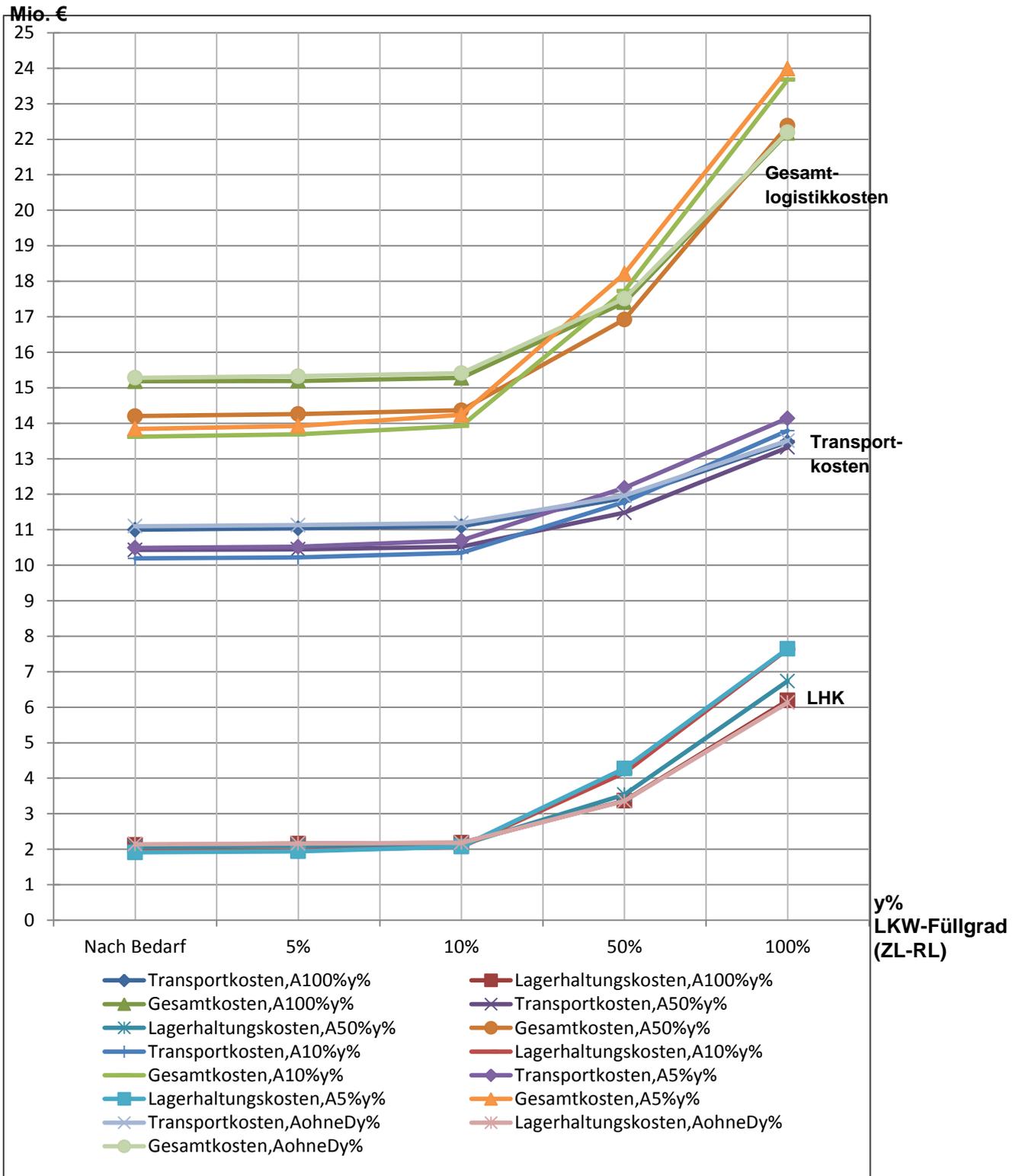


Abbildung 65: Kostenverlauf bei steigendem LKW-Füllgrad (ZL-RL), Experimentiergruppen A5%y%, A10%y%, A50%y%, A100%y% und AohneDy%

Die in der Abbildung dargestellten Ergebnisse zeigen, dass sich, wenn der Direktlieferungsanteil konstant bleibt und der LKW-Füllgrad (ZL-RL) steigt bzw. die Menge des Residual-Stocks (AX-, BX- und AY-Artikel) steigt, die Transport-, Lagerhaltungs- und Gesamtkosten permanent erhöhen. Im Vergleich zu den Ergebnissen von Exp.Bx% sind die diversen Kosten hier höher, wenn es sich um den gleichen Direktlieferungsanteil handelt. AX-, AY- und BX-Artikel sind deshalb als Residual-Stock nicht geeignet.

Die gesamten Transportkosten erhöhen sich sehr stark bei Zunahme des LKW-Füllgrads. Die Kurve A50%y% wird als Beispiel genommen, um dies zu veranschaulichen.

Transportkosten ab ZL oder RL	A50%5%	A50%10%	A50%50%	A50%100%
RL 600	92.756	92.756	92.756	92.756
RL 300	121.358	121.358	121.358	121.358
RL 3100	156.204	156.204	156.204	156.204
RL 2500	159.177	159.177	159.177	159.177
RL 800	162.783	162.783	162.783	162.783
RL 200	166.996	166.996	166.996	166.996
RL 500	176.864	176.864	176.864	176.864
RL 2400	203.303	203.303	203.303	203.303
RL 3300	211.539	211.539	211.539	211.539
RL 1600	245.501	245.501	245.501	245.501
RL 2800	254.542	254.542	254.542	254.542
RL 2700	272.833	272.833	272.833	272.833
RL 6000	274.730	274.730	274.730	274.730
RL 1200	279.981	279.981	279.981	279.981
RL 7500	296.460	296.460	296.460	296.460
RL 8000	379.691	379.691	379.691	379.691
RL 9000	390.852	390.852	390.852	390.852
RL 5000	498.755	498.755	498.755	498.755
RL 1000	662.363	662.363	662.363	662.363
ZL 2	943.370	990.988	1.402.778	2.088.599
ZL 1	1.458.657	1.476.470	1.857.269	2.454.143
ZL 3	3.042.708	3.048.041	3.212.567	3.769.421
Gesamte Transportkosten (€)	10.451.422	10.522.186	11.479.301	13.318.850

Die Transportkosten ab den 19 RL sind bei den verschiedenen Varianten gleich.

Tabelle 7: Transportkosten ab den 19 RL und den 3 ZL, ExpA50%y%

Da die Transportkosten ab den 19 RL bei den verschiedenen y%-Werten gleich sind, werden die Fahrten ab den drei ZL weiter verglichen und analysiert.

Die LKW-Füllgrade bzw. PP-Anzahl einzelner Fahrt ab den drei ZL bei den o.g. Varianten sind im Folgenden grafisch dargestellt:

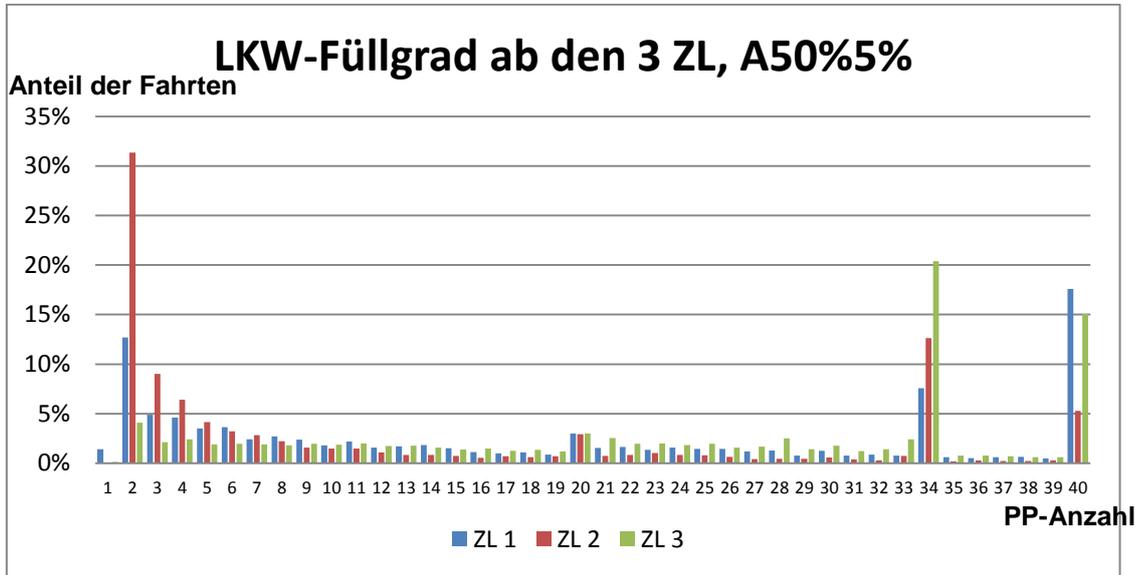


Abbildung 66: LKW-Füllgrad ab den 3 ZL, ExpA50%5%

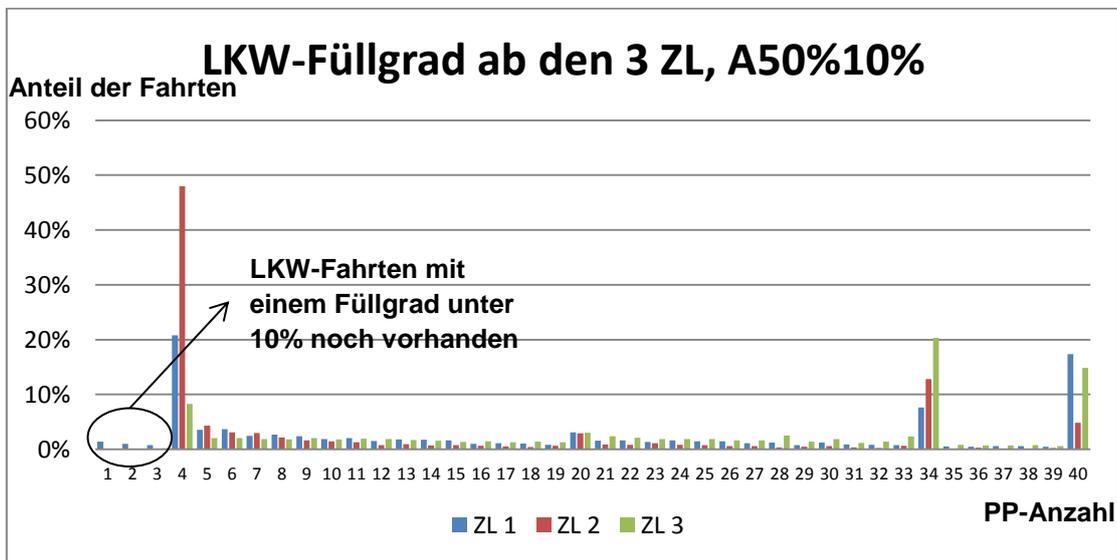


Abbildung 67: LKW-Füllgrad ab den 3 ZL, ExpA50%10%

In der obigen Abbildung findet man dass die LKW-Fahrten mit einem Füllgrad unter 10% (4 PP) noch vorhanden sind. Der Grund dafür ist folgender:

Ab einer Bestellmenge von 20 PP (50% LKW-Füllgrad) wird direkt von ZL zu Kunden geliefert, d.h. solche Bestellmenge kann auch größer als 40 PP (100% LKW-Füllgrad) sein, deshalb ist ein nächster LKW mit geringem Füllgrad erforderlich für die Fahrt ZL-Kunden. Anteil solcher Fahrten (Füllgrad unter 10%) ist sehr gering. Die Lieferungen ZL-RL werden komplett bis 4 PP (10% Füllgrad) nachgefüllt.

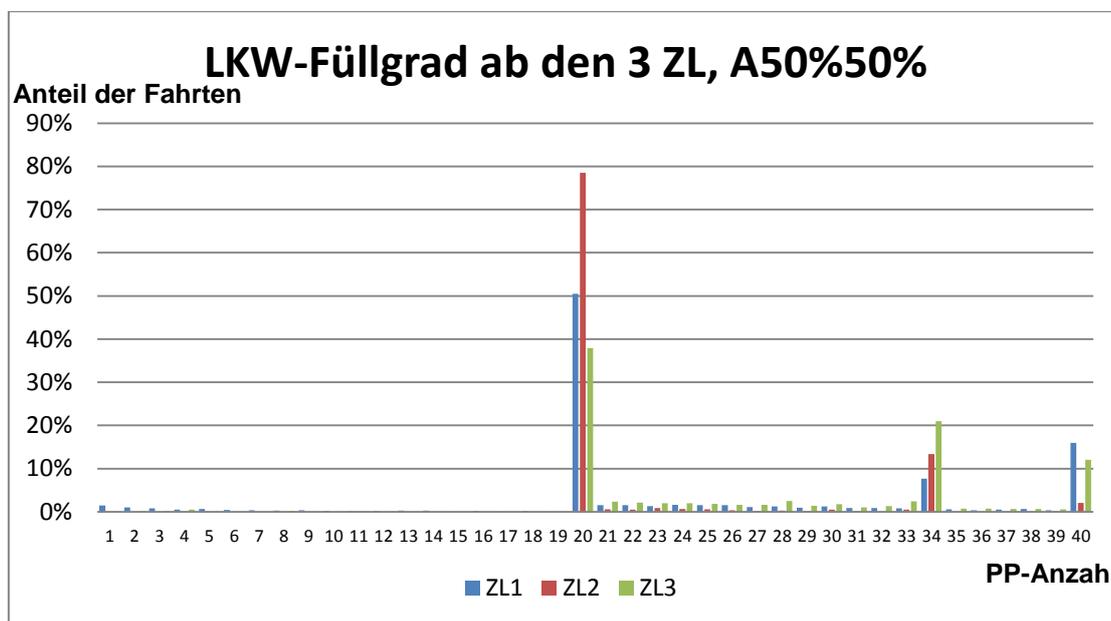


Abbildung 68: LKW-Füllgrad ab den 3 ZL, ExpA50%50%

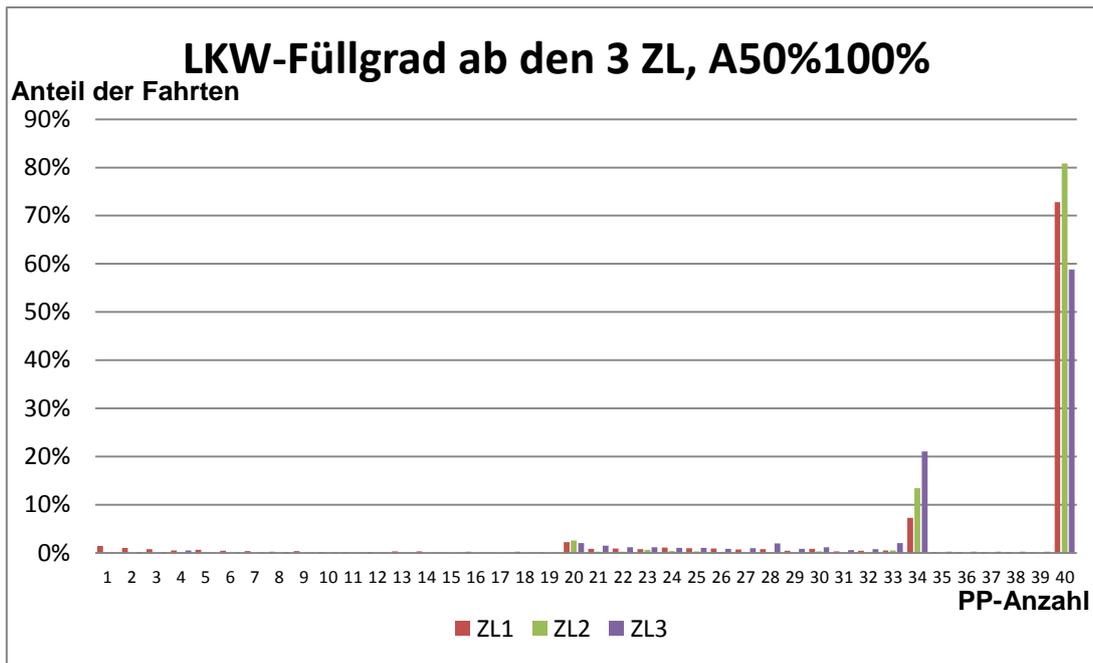


Abbildung 69: LKW-Füllgrad ab den 3 ZL, ExpA50%100%

LKW-Fahrten ab den 3 ZL	A50%5%	A50%10%	A50%50%	A50%100%
Anzahl der Fahrten	21.686	21.579	20.876	20.450
Gesamte Anzahl der gelieferten Palettenplätze	437.234	438.983	530.853	738.082
Durchschnittlicher LKW-Füllgrad	50%	51%	64%	90%

Tabelle 8: LKW-Fahrten ab den 3 ZL, ExpA50%y%

In der obigen Tabelle ist dargestellt, dass, obwohl die Anzahl der LKW-Fahrten ab den drei ZL bei hohem LKW-Füllgrad relativ niedrig liegt, die Anzahl der gesamten gelieferten Palettenplätze aufgrund des hohen LKW-Füllgrads erheblich höher ist. Dies führt zu einer starken Steigerung der Transportkosten bei Zunahme des LKW-Füllgrads (y%).

10.5 Analyse der Experimentiergruppe

Aus den folgenden Gründen ist es kostenintensiv, wenn AX-, BX-, AY-Artikel als Residual-Stock gehalten werden:

Nur 14% Artikel sind AX-, BX-, AY-Artikel, daher ist die Wiederholungszahl der Zustellungen von Residual-Stock sehr hoch, und solche Artikel werden somit häufig im RL gelagert. Da sie aber nicht rechtzeitig von Kunden bestellt werden, führt dies zu hohen LHK. Insgesamt werden mehr Waren geliefert, aber Transporte aufgrund der Bestellungen der anderen 86% Artikel (AZ-, BY-, BZ-, und C-Artikel) können nicht vermieden werden, was hohe Transportkosten verursacht.

Ein Experimentversuch mit allen Artikeln als Residual-Stock wird deshalb in Erwägung gezogen.

11. Experimentiergruppe: Alle Artikel als Residual-Stock

11.1 Vorstellung und Analyse von Szenarien mit verschiedenen Lieferstrategien

In dieser Experimentiergruppe werden alle Artikel nach der Reihenfolge der Artikelnummer in LKW (ZL-RL) bis zu einem bestimmten Füllgrad als Residual-Stock aufgefüllt (Push-Konzept). Der min. Bestand wird als Anfangsbestand der Simulationen im RL gehalten. Diese Experimentiergruppe unterteilt sich nach Bündelungsgrad (0-100%) und LKW-Füllgrad ZL-RL (5%-100%) in folgende zwei Gruppen:

- Fester Bündelungsgrad, unterschiedlicher LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-RL): Alle5%y%, Alle10%y%, Alle50%y%, Alle100%y%, AlleohneDy%, etc.
- Fester LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-RL), unterschiedlicher Bündelungsgrad: Allex%5%, Allex%10%, Allex%50%, Allex%100%, etc.²⁹

Nach der Durchführung der Simulationsläufe ergibt sich die nachfolgend beschriebene Situation für die einzelnen Kostenarten.

11.2 Ergebnisse: Kostensplitt, fester LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-RL), unterschiedlicher Bündelungsgrad

Der Vergleich der LHK der Varianten ExpAllex%5%, ExpAllex%10%, ExpAllex%50%, ExpAllex%100% und ExpB% wird als ein Teil der Ergebnisse in der folgenden Abbildung dargestellt³⁰.

²⁹ ExpAlleohneDy%: Alle Artikel stehen für den Residual-Stock zur Verfügung, y% LKW-Füllgrad ZL-RL, ohne Direktlieferung

ExpAllex%y%: Entspricht ExpAlleohneDy%, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladepazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden

³⁰ Min. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

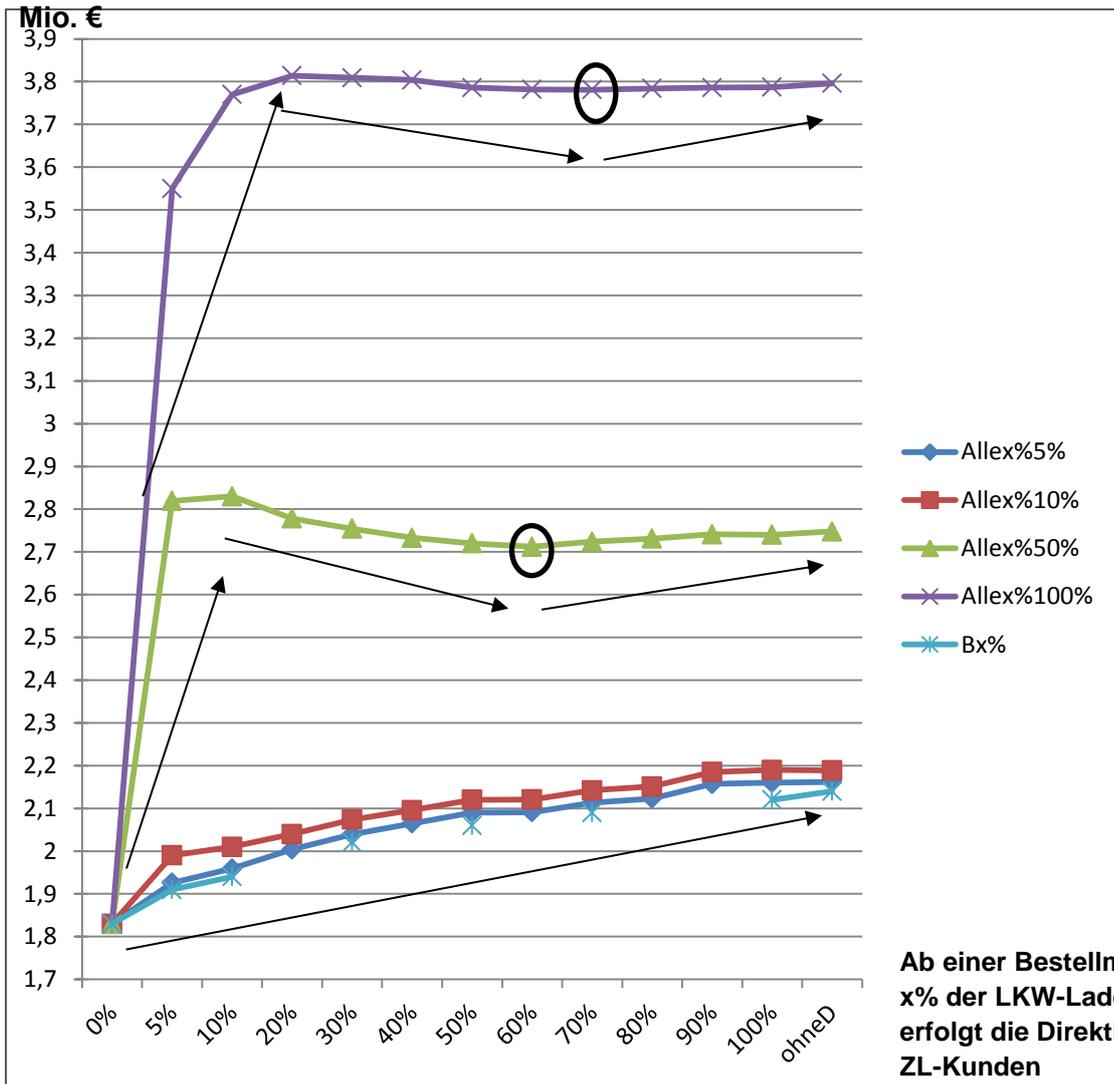


Abbildung 70: Verlauf der LHK der Experimentiergruppen Alex%5%, Alex%10%, Alex%50% und Alex%100% im Vergleich zur Experimentiergruppe ExpBx%

Im Folgenden wird ein Vergleich der Transportkosten der Varianten ExpAlex%5%, ExpAlex%10%, ExpAlex%50%, ExpAlex%100% und ExpB% vorgenommen³¹.

³¹ Min. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

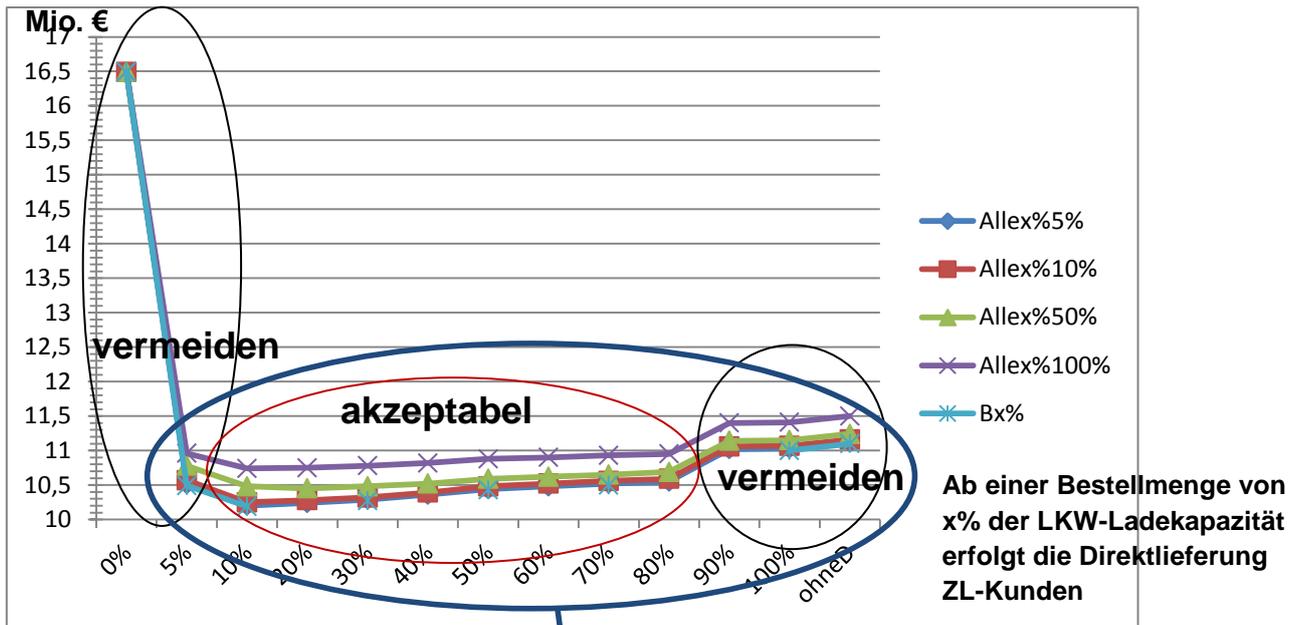


Abbildung 71: Verlauf der Transportkosten der Experimentiergruppen Allex%5%, Allex%10%, Allex%50% und Allex%100% im Vergleich zur Experimentiergruppe ExpBx%

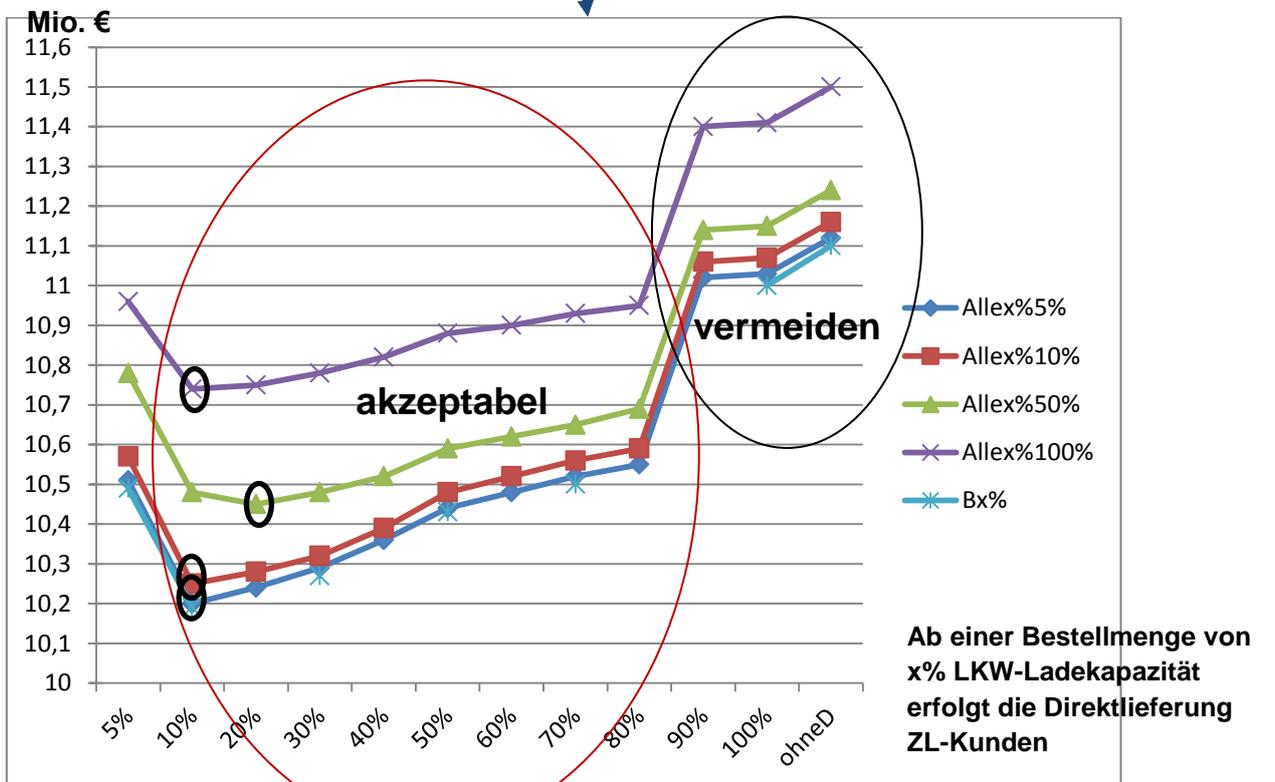


Abbildung 72: Verlauf der Transportkosten wie in der Abbildung 71, Extremwert wird gekappt

Wie aus den obigen Abbildungen zu entnehmen ist, ist es aufgrund hoher Transportkosten zu vermeiden, komplett mit Direktlieferung zu liefern. Außerdem ist es ebenso kostenintensiv, wenn der Direktlieferungsanteil zu niedrig liegt ($x\%$: ab 80%). Wenn $x\%$ zwischen 10% (ab einer Kundenbestellmenge von 4 PP) und 80% (ab einer Kundenbestellmenge von 32 PP) liegt, liegen die entsprechenden Transportkosten innerhalb einer akzeptablen Toleranzgrenze. Tiefpunkte liegen bei 10% oder 20%, d.h. beim festen LKW-Füllgrad sind die Transportkosten in dieser Experimentiergruppe am niedrigsten, wenn die Direktlieferung ab einer Bestellmenge von 4 PP (10% der LKW-Kapazität) oder 8 PP (20% der LKW-Ladekapazität) erfolgt.

In den beiden obigen Abbildungen ist die Spreizung der Kurven nicht so groß wie in Abbildung 64. D.h. bei der Experimentiergruppe Alex%y%³² erhöhen sich die Transportkosten mit steigendem LKW-Füllgrad nicht so dramatisch wie bei der Experimentiergruppe Ax%y%³³. Daraus erkennt man, dass die Strategie mit allen Artikeln als Residual-Stock günstiger ist im Vergleich zu einer Strategie, bei der nur AX-, AY- und BX-Artikel als Residual-Stock gehalten werden.

11.3 Ergebnisse: Kostensplitt, fester Bündelungsgrad, unterschiedlicher LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-RL)

Die Verläufe der Transportkosten, LHK und Gesamtlogistikkosten sind wie folgt dargestellt³⁴.

³² Alle Artikel stehen für den Residual-Stock zur Verfügung.

³³ Nur AX-, AY- und BX-Artikel als Residual-Stock

³⁴ Min. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

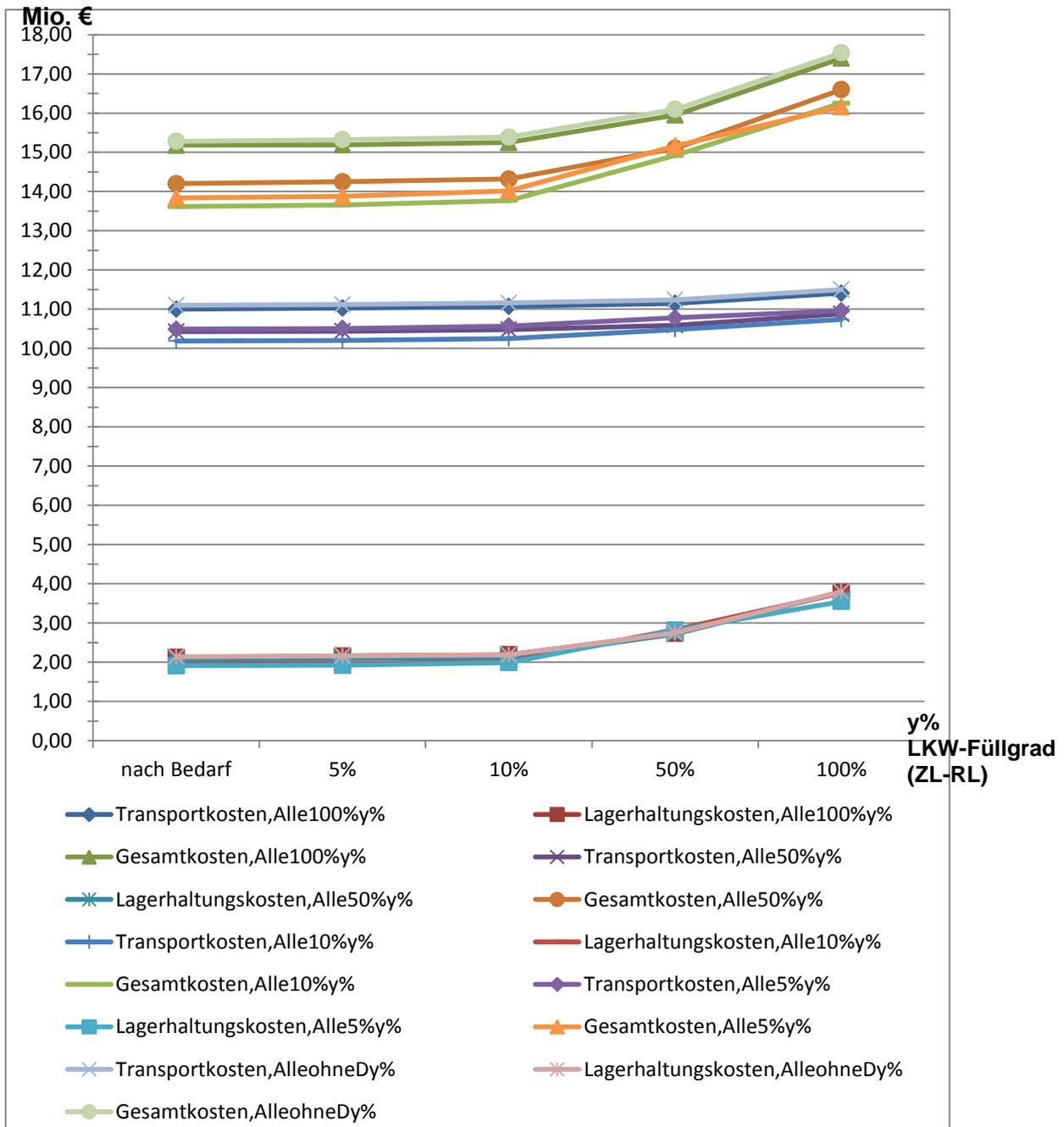


Abbildung 73: Kostenverlauf bei steigendem LKW-Füllgrad (ZL-RL)

Die Abbildung zeigt, dass beim festen Direktlieferungsanteil (x%) die Transportkosten, die LHK und die Gesamtlogistikkosten steigen, wenn der LKW-Füllgrad (y%) bzw. die Menge des Residual-Stocks steigt. Im Vergleich zu den Transportkosten weisen die LHK eine größere Steigung auf. Die LHK bei der Variante mit 100% LKW-Füllgrad (ExpAx%100) sind fast doppelt so hoch wie bei der

Variante ohne Residual-Stock (Exp.Bx%). Werden alle Artikel als Residual-Stock in LKW aufgefüllt, werden viele nicht oft bestellte Artikel (C-Artikel) im RL gelagert, was zu hohen LHK führt.

Diese Ergebnisse legen nahe, weitere Experimente durchzuführen. Ziel ist dabei die Untersuchung der oft bestellten Artikel, d.h. die AB-Artikel sollten in die Residual-Stock-Auswahl einbezogen werden.

Die Kostenverläufe der Experimentiergruppe mit AX-, AY- und BX-Artikeln als Residual-Stock und der Experimentiergruppe mit allen Artikeln als Residual-Stock werden in der folgenden Abbildung grafisch dargestellt und verglichen³⁵.

³⁵ Min. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

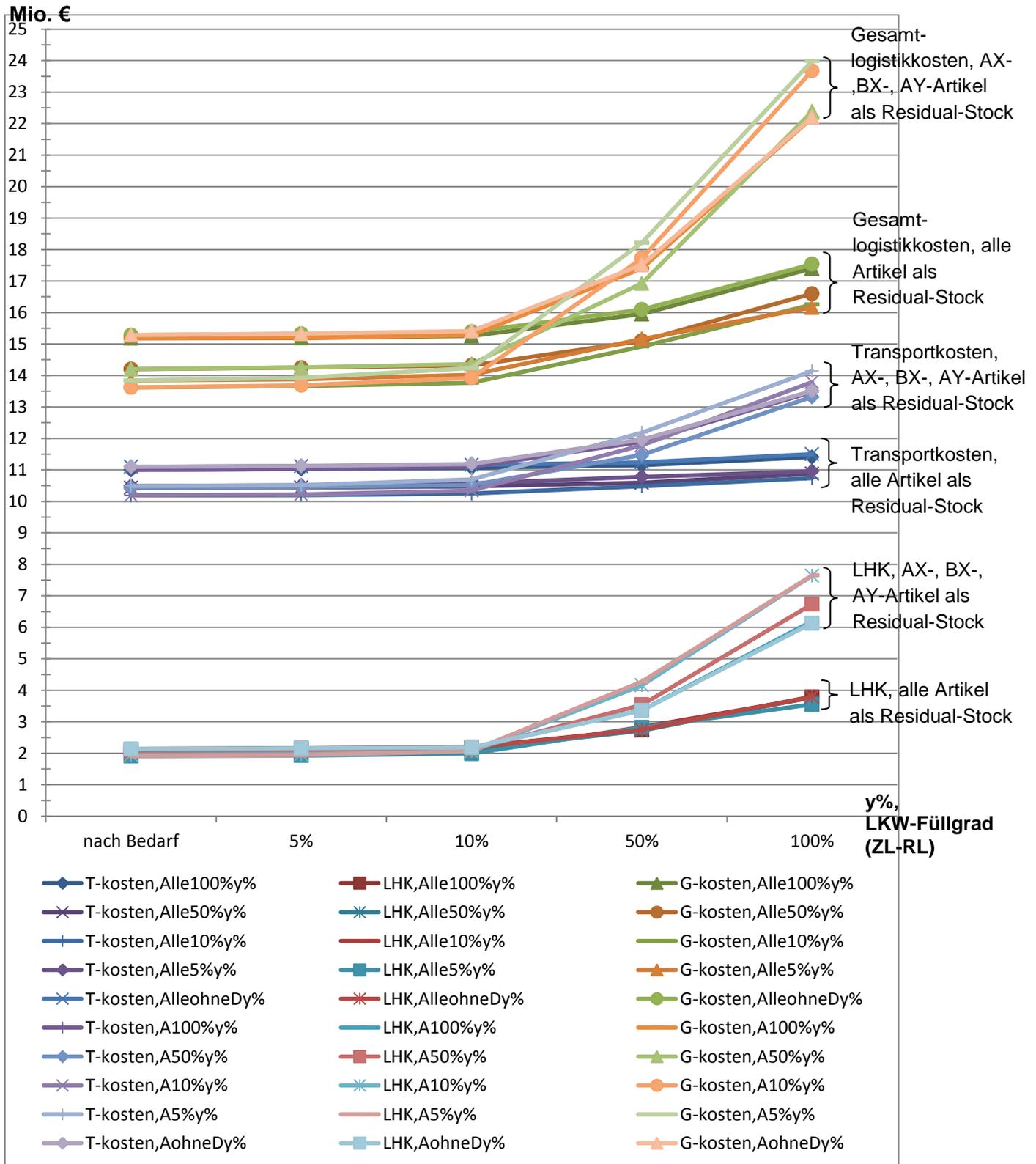


Abbildung 74: Kostenvergleich zwischen den Varianten mit AX-, AY- und BX-Artikeln als Residual-Stock und den Varianten mit allen Artikeln als Residual-Stock

Der Vergleich der Verlaufskurven in der Abbildung zeigt, dass der Steigungsgrad aller Kosten bei der Variante mit allen Artikeln als Residual-Stock deutlich niedriger liegt als bei der Variante mit AX-, BX- und AY-Artikeln als Residual-Stock. Die Strategie mit allen Artikeln als Residual-Stock kann tatsächlich einige Fahrten vermeiden, sodass die Transportkosten sinken. Da der Residual-Stock dann aufgrund relativ weniger Fahrten seltener aufgefüllt wird, sind auch die LHK niedriger. Dies alles führt zu niedrigeren Gesamtkosten. Dennoch sind alle Kosten hier immer noch höher als bei den entsprechenden Varianten ohne Residual-Stock (Bx%).

11.4 Stabilitätsanalyse des Lagerbestands im RL

In allen vorherigen Experimenten mit Residual-Stock wird der minimale Lagerbestand als Anfangsbestand der Simulation im RL genommen. Der Lagerspiegel in allen RL steigt im Verlauf der Simulationszeit (ein Jahr). Wenn der max. Bestand als Anfangsbestand genommen wird, sinken einige Lagerspiegel in den RL.

Im Folgenden wird der Lagerspiegel eines RL als Beispiel genommen.

Die nachstehende Abbildung präsentiert den mittleren Lagerbestand eines RL in einem Jahr (Experimente: ohne Direktlieferung, min. Lagerbestand als Anfangsbestand im RL, alle Artikel als Residual-Stock, LKW-Füllgrad ZL-RL: 5%, 10%, 50% und 100%).

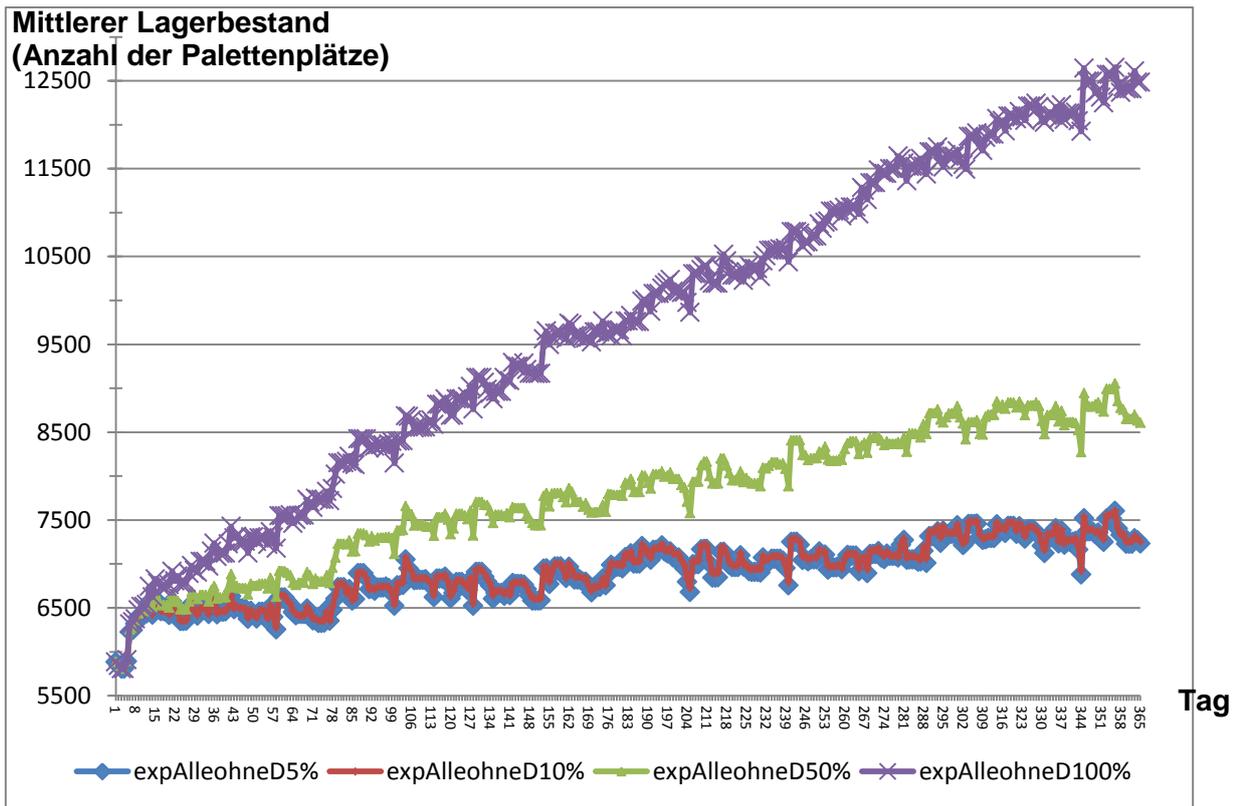


Abbildung 75: Verlauf der mittleren Lagerbestände eines RL in einem Jahr, min. Lagerbestand als Anfangsbestand der Simulation im RL³⁶

Die nächste Abbildung zeigt den mittleren Lagerbestand des RL bei den gleichen Experimenten, aber in diesem Fall wurde die Simulation mit dem max. Lagerbestand als Anfangsbestand im RL durchgeführt.

³⁶ Experimente: Alle Artikel stehen für den Residual-Stock zur Verfügung, ohne Direktlieferung, LKW-Füllgrad ZL-RL: 5%, 10%, 50% und 100%

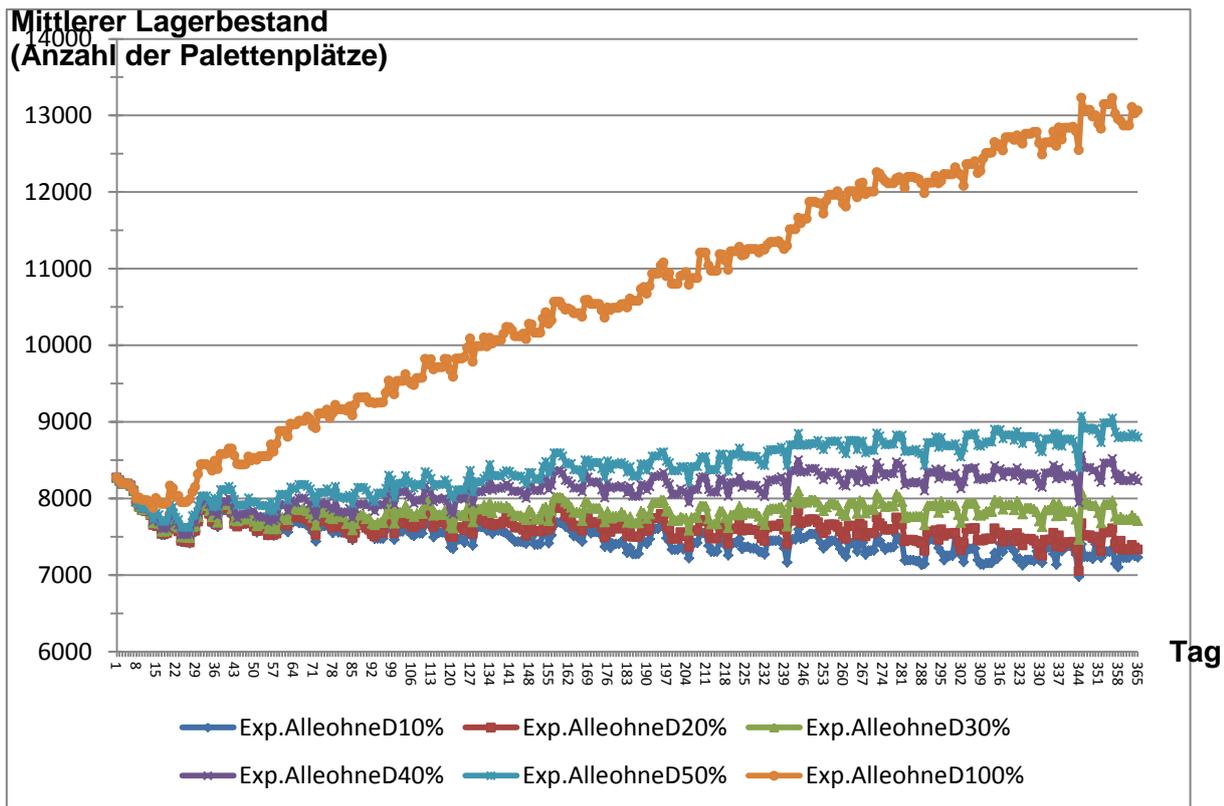


Abbildung 76: Verlauf der mittleren Lagerbestände eines RL in einem Jahr, max. Lagerbestand als Anfangsbestand der Simulation im RL³⁷

Wenn der LKW-Füllgrad (ZL-RL) nicht höher als 20% liegt, steigt der Lagerspiegel dieses RL in der ersten Abbildung mit der Zeit, während er in der zweiten Abbildung sinkt. Daraus ergibt sich einerseits, dass der Lagerspiegel bei einem Füllgrad unter 20% mit der Zeit stabil bleiben wird, bzw. eine Stabilität des Lagerbestands erreicht werden kann. Andererseits weisen die Experimente mit dem max. Bestand als Anfangsbestand deutlicher auf die Tendenz des Verlaufs des Lagerspiegels im RL hin. Deshalb werden alle nachstehenden Experimente mit dem max. Bestand als Anfangsbestand durchgeführt.

Ab einem LKW-Füllgrad von 30% steigt der Lagerbestand in den meisten RL kontinuierlich (Experimente: alle Artikel als Residual-Stock, max. Bestand als Anfangsbestand). Das heißt, der Lagerspiegel ist instabil und die Lager werden ständig aufgefüllt. Die angelieferten Produkte werden nicht rechtzeitig von den Kunden abgerufen und deshalb steigen die Lagerhaltungskosten. Die meisten der bestellten Produkte befinden sich nicht im RL, daher wird nachgeliefert und

³⁷ Die anderen Bedingungen der Experimente sind gleich wie in der vorherigen Abbildung.

Transportaktivitäten können nicht vermieden werden, weshalb auch die Transportkosten hoch sind. Ein LKW-Füllgrad ab 30% mit Residual-Stock ist deshalb bei so einem Bestellverhalten (Experimente ohne Direktlieferung) nicht sinnvoll, während ein LKW-Füllgrad mit maximal 20% Residual-Stock (alle Artikel als Residual-Stock) akzeptabel ist.

Wenn eine Variante einen instabilen Lagerspiegel im RL verursacht, wird diese Variante auf Dauer extrem kostenintensiv und damit unrealistisch sein, auch wenn in der Simulationszeit die gesamten Kosten niedrig liegen könnten. Generell lässt sich sagen, dass, wenn mit dem max. Bestand als Anfangsbestand der Lagerspiegel im RL in der Simulationszeit ständig steigt, man aufgrund der Instabilität des Lagerbestands auf diese Variante verzichten muss.

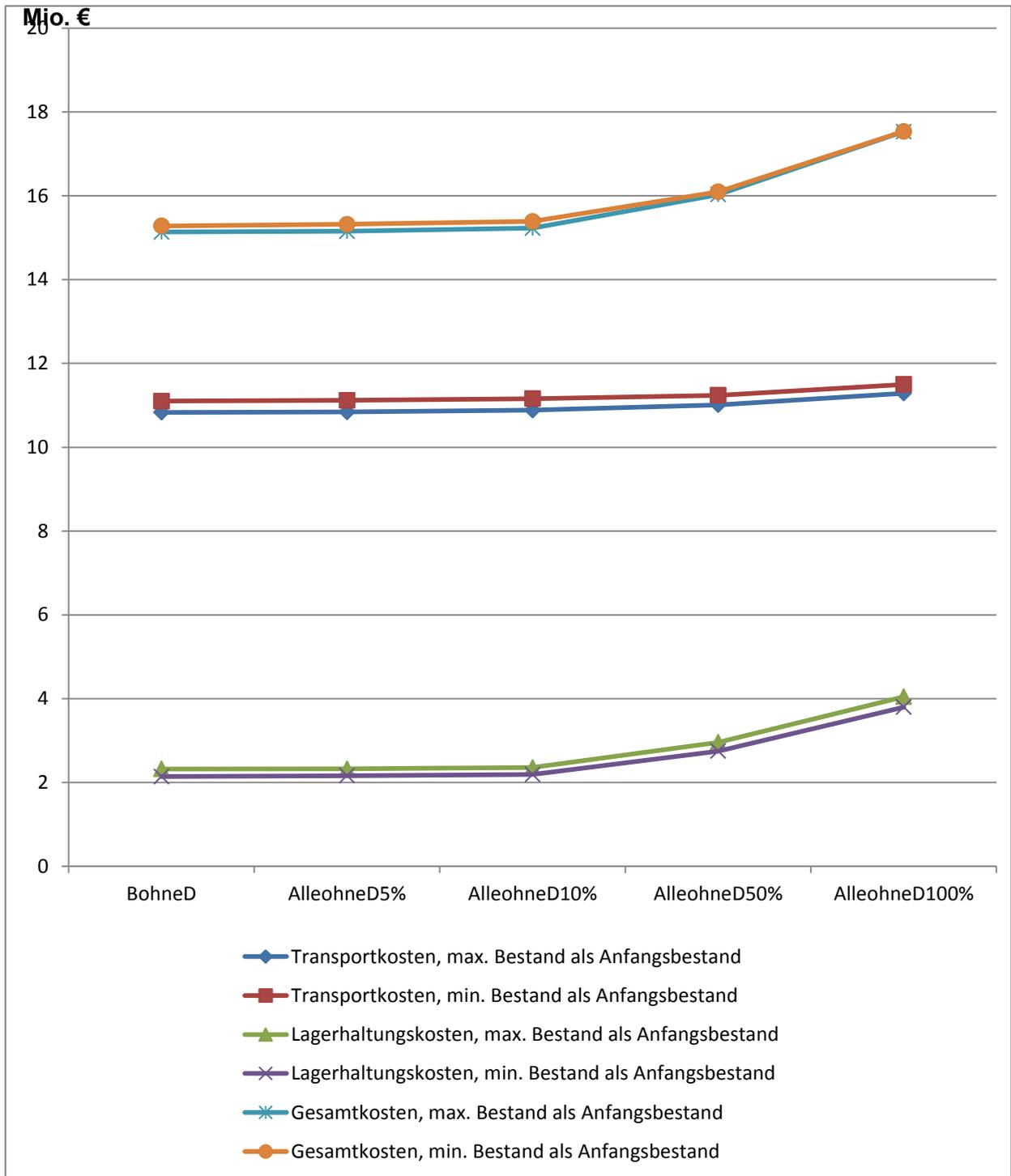


Abbildung 77: Kostenvergleich der Varianten mit max. oder min. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL³⁸

³⁸ Experimente: ohne Direktlieferung, ohne Residual-Stock oder mit allen Artikeln als Residual-Stock, unterschiedlicher LKW-Füllgrad ZL-RL, max. Lagerbestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

In der obigen Abbildung ist dargestellt, dass die gesamten LHK bei den Varianten mit max. Bestand als Anfangsbestand höher sind als bei den Varianten mit min. Bestand als Anfangsbestand im RL. Die gesamten Transportkosten sind leicht niedriger, da zu Simulationsbeginn gewisse Transporte vermieden werden können. Mit der Zeit ist aber kein Kostenunterschied zwischen den beiden Varianten zu sehen. Die Variante ohne Residual-Stock ist allerdings immer noch günstiger als die entsprechende Variante mit allen Artikeln als Residual-Stock.

Der **Lagerspiegel** im RL ist ebenso höher als dies bei den Varianten ohne Residual-Stock der Fall ist.

Im Folgenden wird ein anderes RL als Beispiel genommen. Das Experiment AlleohneD10% (ohne Direktlieferung, max. Lagerbestand als Anfangsbestand im RL, alle Artikel als Residual-Stock, LKW-Füllgrad ZL-RL 10%) wird mit dem Experiment BohneD (gleiche Bedingungen wie im vorherigen Experiment, aber ohne Residual-Stock) verglichen.

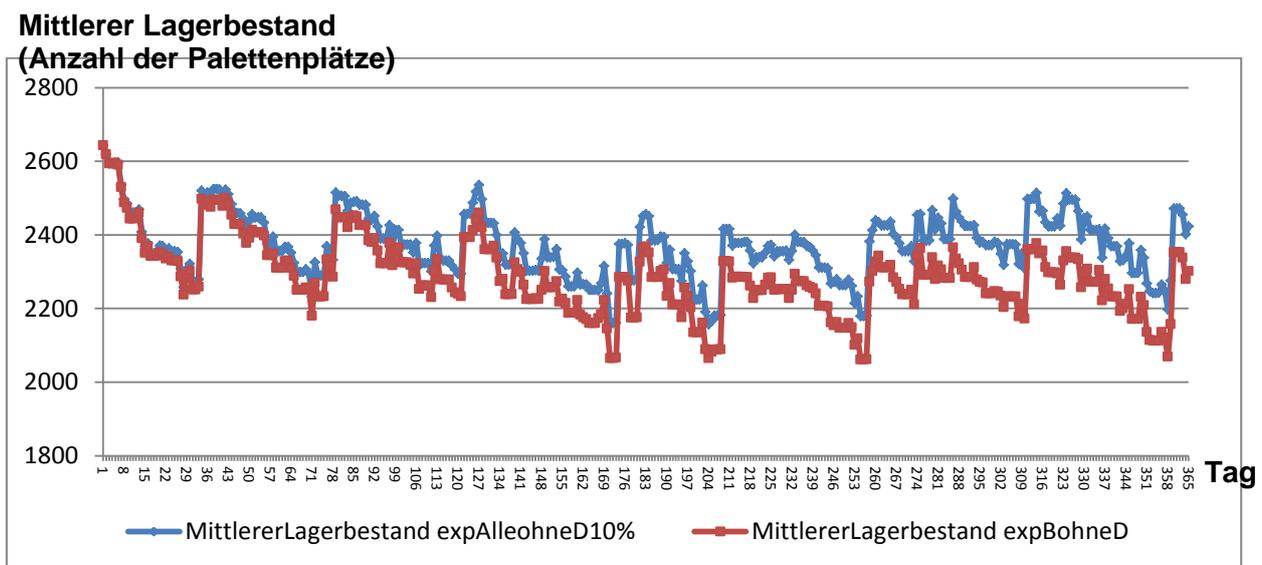


Abbildung 78: Verlauf der mittleren Bestände in einem RL, ExpAlleohneD10%, ExpBohneD

Abbildung 78 zeigt, dass einige als Residual-Stock in LKW aufgefüllte Artikel nicht zeitnah von Kunden bestellt werden. Dies verursacht höhere LHK als das Experiment, bei dem kein Residual-Stock mitgeliefert wird. Alle Artikel als Residual-Stock zu verwenden ist deshalb ebenfalls nicht optimal. Daher liegt es nahe, eine Experimentiergruppe festzulegen, in der sehr selten bestellte

Artikel nicht mehr in die Residual-Stock-Auswahl einbezogen werden. D.h. es wird mit den A- und B-Artikeln als Residual-Stock experimentiert.

12. Experimentiergruppe: A- und B-Artikel als Residual-Stock

12.1 Vorstellung und Kostenvergleich dieser Lieferstrategie mit verschiedenen Grenzwerten der AB-Artikel in der ABC-Analyse³⁹

In diesem Kapitel werden die A- und B-Artikel als Residual-Stock betrachtet und der LKW (ZL-RL) wird bis zu einem bestimmten Füllgrad aufgefüllt.

	A	B	C
X	AX-Artikel als Residual-Stock	BX-Artikel als Residual-Stock	
Y	AY-Artikel als Residual-Stock	BY-Artikel als Residual-Stock	
Z	AZ-Artikel als Residual-Stock	BZ-Artikel als Residual-Stock	

Die Begründung, warum die AB-Artikel als Residual-Stock gehalten werden sollten, ergibt sich aus den nachfolgenden Überlegungen.

Der mittlere Artikelanteil der A- und B-Artikel liegt bei 46% und ist viel höher als der mittlere Artikelanteil der AX-, BX- und AY-Artikel (14,18%). Mehr Artikelsortimente werden deshalb als Residual-Stock aufgefüllt, und die Wiederholung der gleichen Artikel als Residual-Stock wird erheblich reduziert, sodass die Möglichkeit, dass Excess-Stock durch Residual-Stock entsteht oder der Transportbedarf durch andere Artikel (Nicht-Residual-Stock) ausgelöst wird, sinkt. Die o.g. Experimentiergruppe ist deshalb günstiger als die Gruppe mit den AX-, BX- und AY-Artikeln als Residual-Stock.

Im Vergleich zu der Experimentiergruppe mit allen Artikeln als Residual-Stock ist die o.g. Gruppe ebenfalls günstiger. Die ganz selten bestellten C-Artikel werden hier nicht im LKW aufgefüllt, was im RL einen Excess-Stock verursachen könnte. Außerdem haben aus Sicht des Lieferservices die wichtigsten Artikel bzw. die AB-Artikel bei der o.g. Gruppe Priorität und deren Lieferungen können gesichert werden.

³⁹ Max. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

Insgesamt sind 95% der Bestellmenge A- und B-Artikel. Aus Tabelle 6 ergibt sich, dass diese Bestellungen mit 46,34% des Sortiments realisiert werden können.

	A	B	C
X	5,50%	5,70%	14,57%
Y	2,98%	9,57%	20,29%
Z	7,59%	15,00%	18,80%

Tabelle 9: Mittlerer Artikelanteil in allen Klassen nach der ABC-XYZ-Analyse⁴⁰

Durch die Setzung verschiedener Grenzen für die AB-Artikel in der ABC-Analyse kann die o.g. Experimentiergruppe bzw. ExpABohneDy% oder ExpABx%y% wie folgt weiter klassifiziert werden:

1. ABohneDy% und ABx%y% (A-, B-Artikel entsprechen 95% der Bedarfsmenge)
2. ABohneDy% und ABx%y% (A-, B-Artikel entsprechen 90% der Bedarfsmenge)
3. ABohneDy% und ABx%y% (A-, B-Artikel entsprechen 98% der Bedarfsmenge)

Nachstehend werden die Transportkosten, die LHK und die Gesamtlogistikkosten der Varianten AlleohneD10%, AlleohneD40%, ABohneD10% (AB-Artikel entsprechen 90%, 95% oder 98% der gesamten Bedarfsmenge), ABohneD40% (AB-Artikel entsprechen 90%, 95% oder 98% der gesamten Bedarfsmenge) und Bohned verglichen (max. Bestand als Anfangsbestand im RL).

⁴⁰ AB-Artikel entsprechen 95% der gesamten Bedarfsmenge

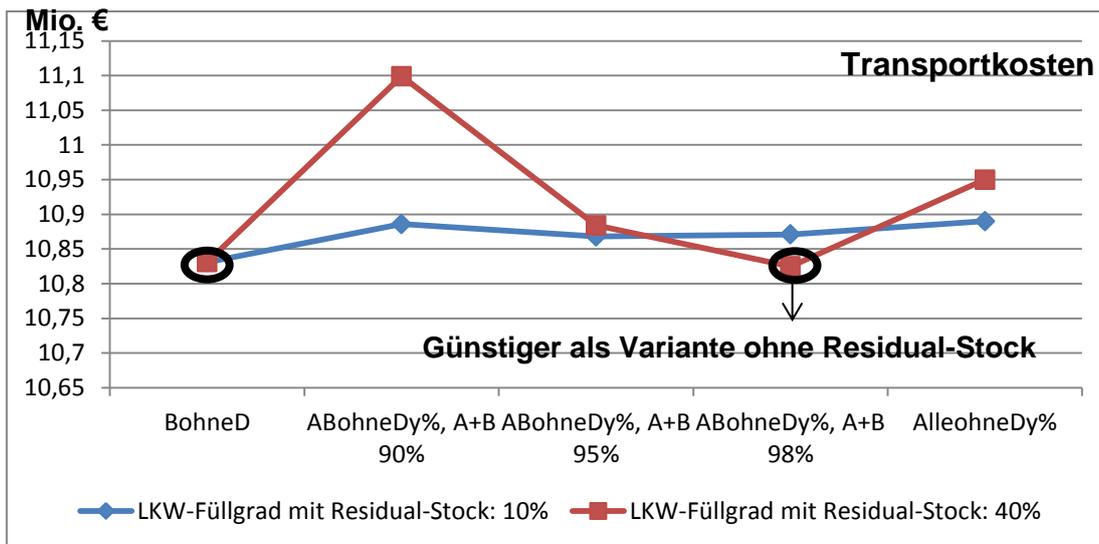


Abbildung 79: Vergleich der Transportkosten der Varianten AlleohneD10%, AlleohneD40%, ABohneD10%⁴¹, ABohneD40%⁴² und BohneD⁴³

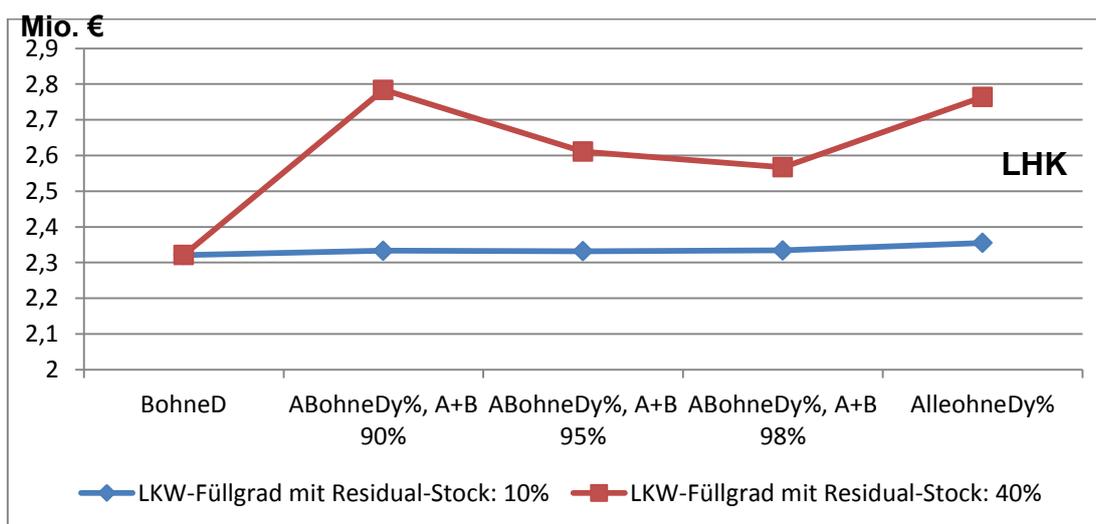


Abbildung 80: Vergleich der LHK der Varianten AlleohneD10%, AlleohneD40%, ABohneD10%⁴⁴, ABohneD40%⁴⁵ und BohneD⁴⁶

⁴¹ AB-Artikel entsprechen 90%, 95% oder 98% der Bedarfsmenge

⁴² AB-Artikel entsprechen 90%, 95% oder 98% der Bedarfsmenge

⁴³ Max. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

⁴⁴ AB-Artikel entsprechen 90%, 95% oder 98% der Bedarfsmenge

⁴⁵ AB-Artikel entsprechen 90%, 95% oder 98% der Bedarfsmenge

⁴⁶ Max. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

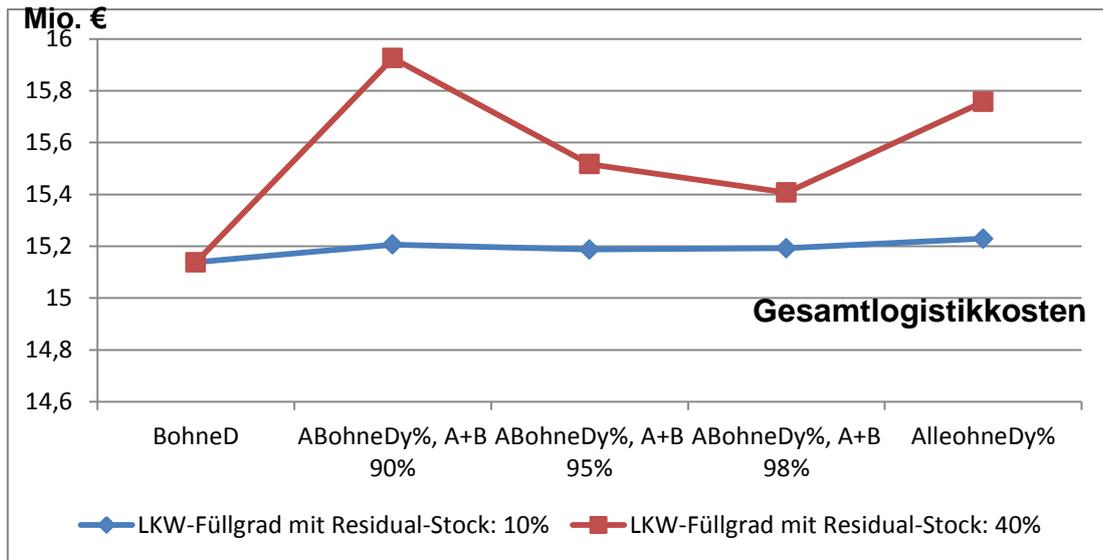


Abbildung 81: Vergleich der Gesamtlogistikkosten der Varianten AlleohneD10%, AlleohneD40%, ABohneD10%⁴⁷, ABohneD40%⁴⁸ und Bohned⁴⁹

Die obigen drei Abbildungen zeigen, dass mit einem sehr kleinen Residual-Stock bzw. 10% LKW-Füllgrad (blaue Kurve) der Unterschied der diversen Kosten gering ausfällt (unter 1%), aber die Variante ohne Residual-Stock ist stets die günstigste Lösung.

Mit 40% LKW-Füllgrad (rote Kurve) führt die Variante ABohneD40%, bei der AB-Artikel 98% der gesamten Bedarfsmenge ausmachen, zu einem Ersparnis der Transportkosten um 2,5%, der LHK um 8%, und der Gesamtlogistikkosten um 3,3% im Vergleich zu anderen Varianten mit Residual-Stock. Bezüglich der Transportkosten ist die Variante ABohneD40% (AB-Artikel: 98% der gesamten Bedarfsmenge) günstiger als die Variante ohne Residual-Stock. So wird dann die Variante mit AB-Artikeln (AB-Artikel: 98% der Bedarfsmenge) als Residual-Stock weiter analysiert, und im Folgenden wird diese Variante einfach als **ABx%y%** oder **ABohneDy%** bezeichnet.

⁴⁷ AB-Artikel: 90%, 95% oder 98% der Bedarfsmenge

⁴⁸ AB-Artikel: 90%, 95% oder 98% der Bedarfsmenge

⁴⁹ Max. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

12.2 Kostenvergleich verschiedener Experimentiergruppen mit Residual-Stock

C-Artikel werden bei der Variante **ABx%y%** oder **ABohneDy%** ganz selten bestellt, d.h. C-Artikel machen nur 2% der Jahresbestellmenge aus. Wenn diese C-Artikel auch als Residual-Stock im LKW aufgefüllt werden, fließen sie nicht mehr in ausreichender Menge zu den Kunden ab. Aus diesem Grund ist die Experimentiergruppe **ABx%y%** kostengünstiger als die Gruppe **Allex%y%**. Da die Experimentiergruppe **Ax%y%** (AX-, BX-, AY-Artikel als Residual-Stock) noch kostenintensiver ist als **Allex%y%** (alle Artikel als Residual-Stock), ist sie dann die teuerste Gruppe aller untersuchten Varianten mit Residual-Stock. Daraus ergibt sich die folgende Darstellung des Vergleichs der Transport-, Lagerhaltungs-, und Gesamtkosten aller untersuchten Experimentiergruppen mit Residual-Stock.

$$\mathbf{ABx\%y\%} < \mathbf{Allex\%y\%} < \mathbf{Ax\%y\%}$$

$$\mathbf{ABohneDy\%} < \mathbf{AlleohneDy\%} < \mathbf{AohneDy\%}^{50}$$

12.3 Ergebnisse: Kostensplitt und Analyse

AB-Artikel werden in dieser Experimentiergruppe als Residual-Stock im LKW (ZL-RL) bis zu einem bestimmten Füllgrad aufgefüllt (Push-Konzept). Die AB-Artikel entsprechen hier 98% der gesamten Bedarfsmenge. Der max. Bestand wird als Anfangsbestand der Simulation im RL gehalten.

In den nachstehenden Abbildungen werden die Transportkosten, die LHK und die Gesamtlogistikkosten der Varianten **ABx%y%** oder **ABohneDy%**⁵¹ (fester Bündelungsgrad, unterschiedlicher LKW-Füllgrad y% (ZL-RL) wegen Residual-Stock) mit den Varianten ohne Residual-Stock (**Bx%** oder **BohneD**) verglichen; der max. Bestand S wird als Anfangsbestand der Simulation im RL gehalten.

⁵⁰ Exp**Ax%y%**: AX-, AY-, BX-Artikel als Residual-Stock, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladepazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden, y% LKW-Füllgrad ZL-RL

Exp**AohneDy%**: Entspricht Exp**Ax%y%**, ohne Direktlieferung

Exp**Allex%y%**: Alle Artikel stehen für den Residual-Stock zur Verfügung, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladepazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden, y% LKW-Füllgrad ZL-RL

Exp**AlleohneDy%**: Entspricht Exp**Allex%y%**, ohne Direktlieferung

Exp**ABx%y%**: A- und B-Artikel als Residual-Stock, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladepazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden, y% LKW-Füllgrad ZL-RL, hier machen die AB-Artikel 98% der Bedarfsmenge aus

Exp**ABohneDy%**: Entspricht Exp**ABx%y%**, ohne Direktlieferung, hier machen die AB-Artikel 98% der Bedarfsmenge aus

⁵¹ AB-Artikel: 98% der gesamten Bestellmenge

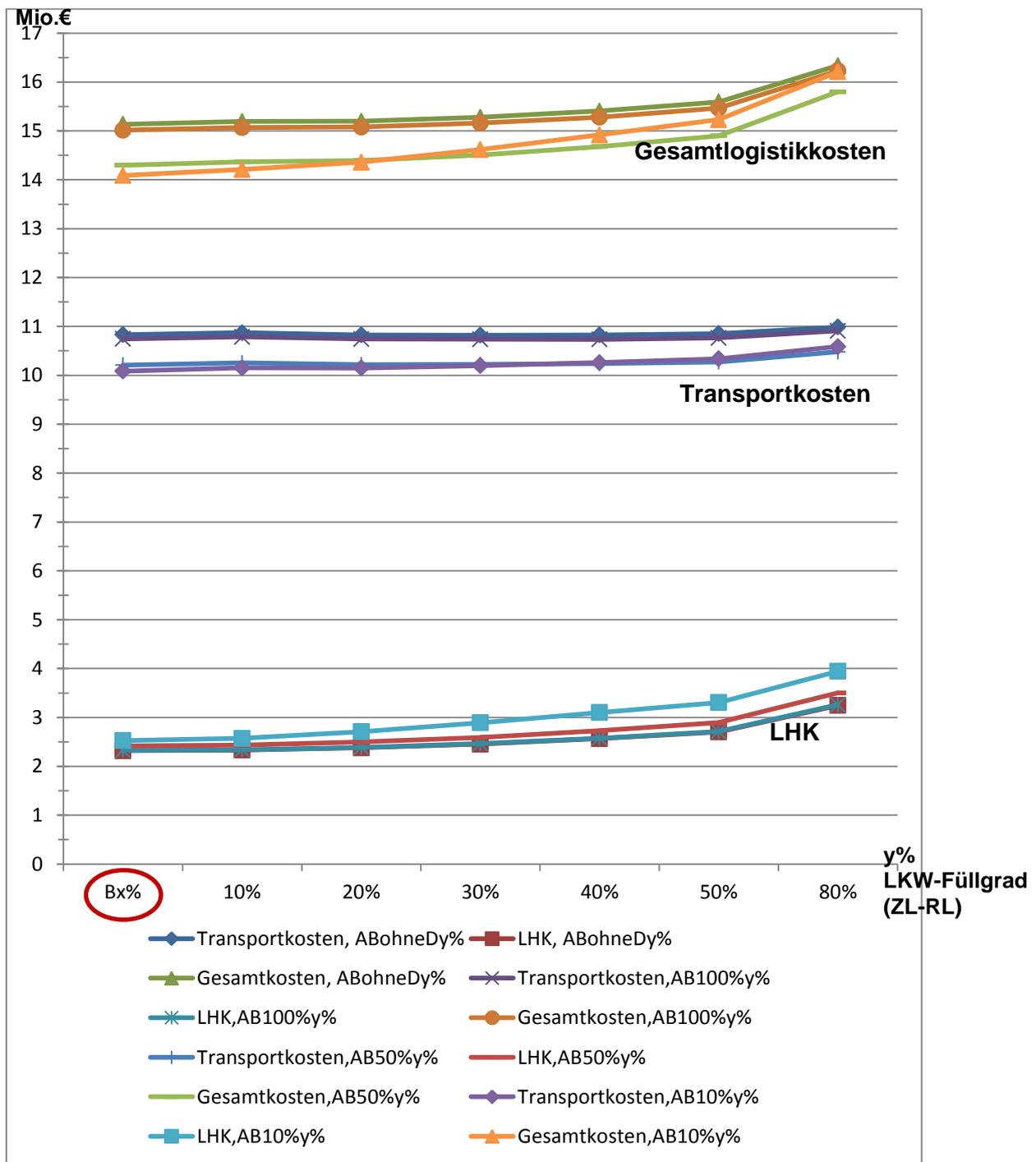


Abbildung 82: Kostenverlauf der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock⁵² im Vergleich zu den Varianten ohne Residual-Stock⁵³

⁵² Fester Bündelungsgrad und unterschiedlicher LKW-Füllgrad y% mit Residual-Stock (ZL-RL)

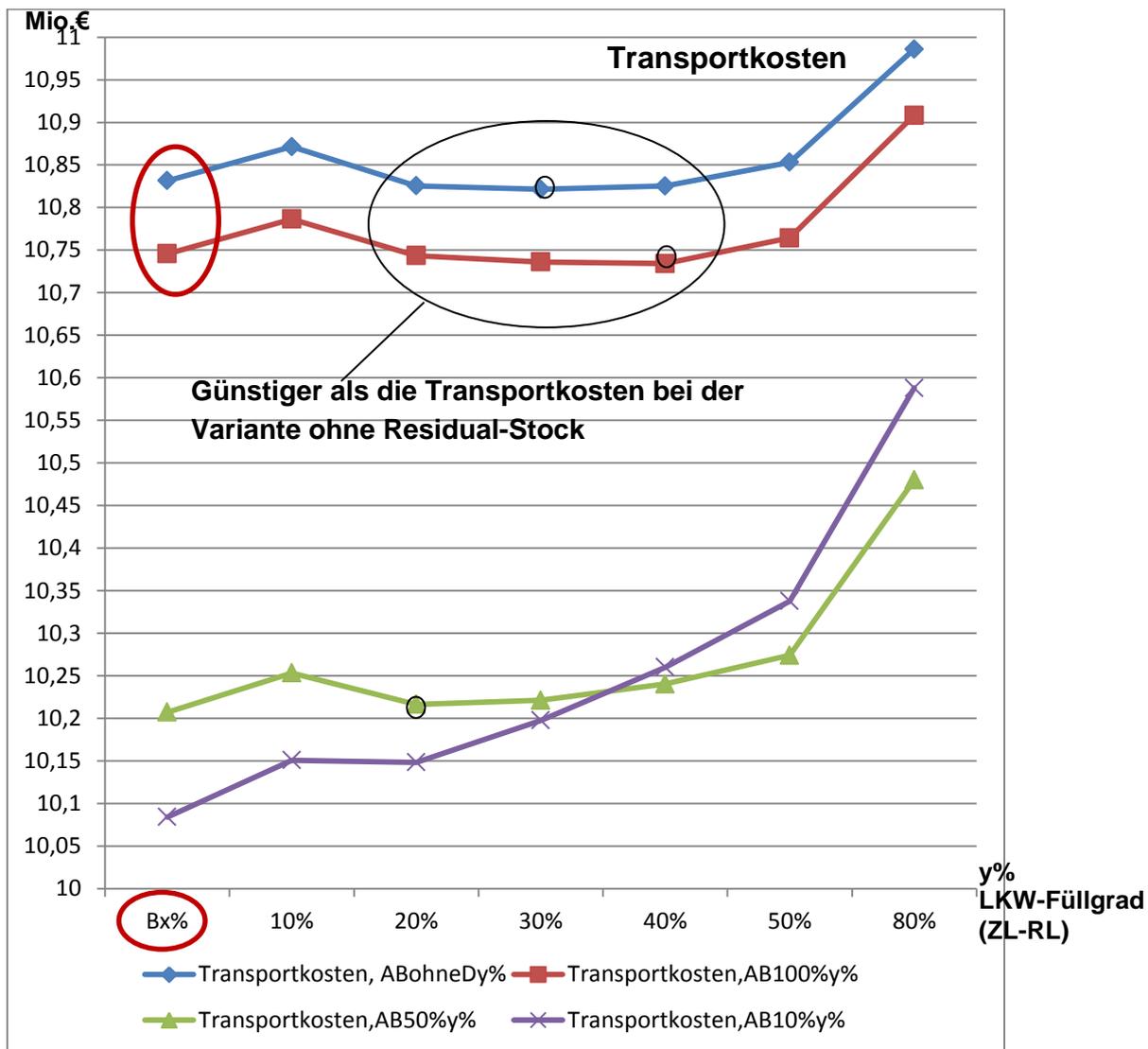


Abbildung 83: Verlauf der Transportkosten der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zu den Varianten ohne Residual-Stock⁵⁴

Die Tiefpunkte der Transportkosten in der Abbildung liegen jeweils bei einem LKW-Füllgrad von 20%, 30% oder 40%. Bei den Experimentiergruppen ABohneDy% (ohne Direktlieferung) oder AB100%y% (Direktlieferung ab einer Bestellmenge von 40 PP) sind die Transportkosten niedriger als bei der Experimentiergruppe Bohned oder B100% (ohne Residual-Stock), wenn der LKW-

⁵³ Max. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

⁵⁴ Max. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

Füllgrad zwischen 20% und 40% liegt. Dies weist darauf hin, dass mit den AB-Artikeln als Residual-Stock bei den Transportkosten gespart werden kann.

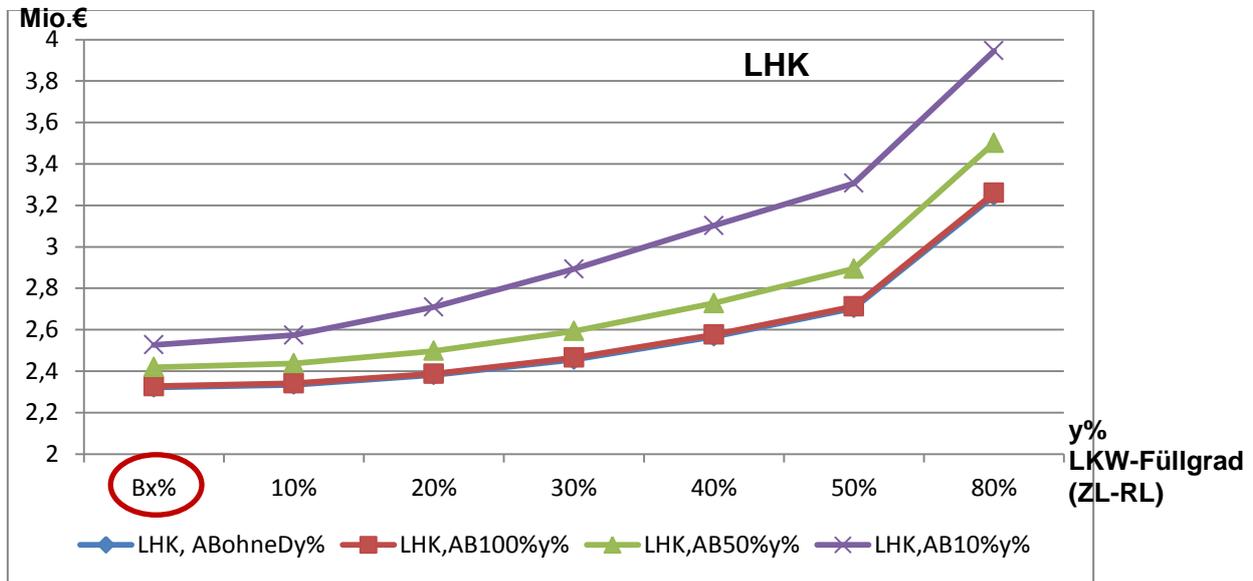


Abbildung 84: Verlauf der LHK der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zu den Varianten ohne Residual-Stock⁵⁵

Mit steigendem LKW-Füllgrad gehen die LHK kontinuierlich hoch, weil immer mehr Lagerbestände im RL aufgefüllt werden. Da hier der max. Lagerbestand als Anfangsbestand genommen wurde, ist dies ein Hinweis darauf, dass bei dieser Experimentiergruppe einige RL instabile Lagerbestände haben.

⁵⁵ Max. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

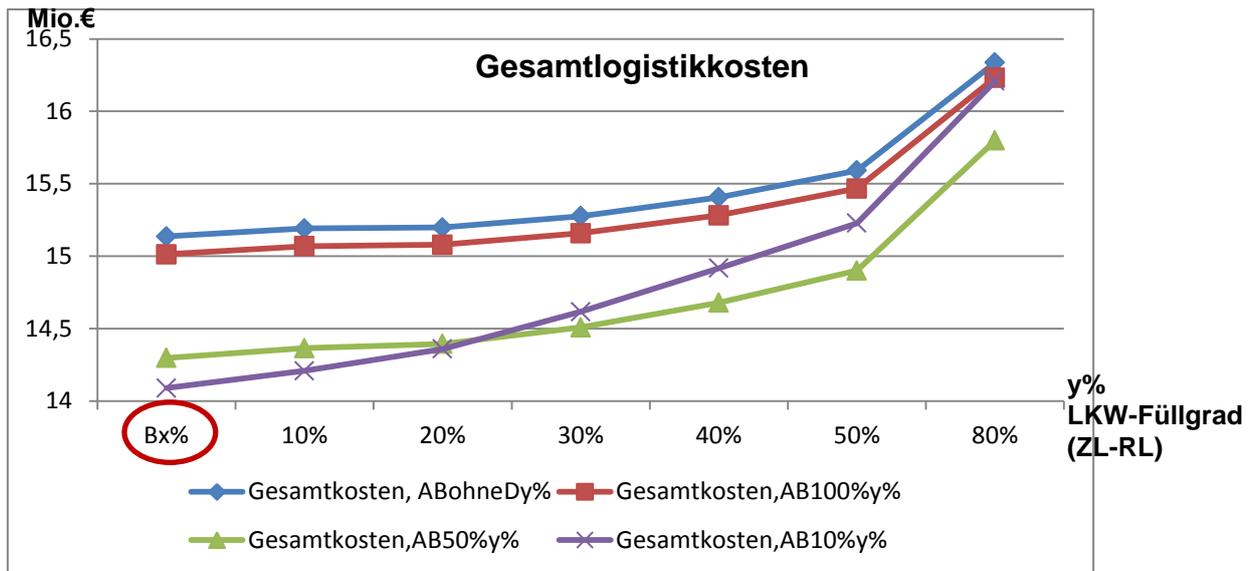


Abbildung 85: Verlauf der Gesamtlogistikkosten der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zu den Varianten ohne Residual-Stock⁵⁶

Da die Ersparnis der Transportkosten durch Residual-Stock erheblich geringer ist als die dadurch entstehende Erhöhung der LHK, besteht keine Kostenreduktion der Gesamtkosten durch Residual-Stock. Allerdings sind durch die Residual-Stock-Strategie mit AB-Artikeln die Lieferungen der meistgefragten Artikelarten bzw. der AB-Artikel (AB-Artikel: 98% Bestellmenge) gesichert und Fehlmengenkosten durch evtl. Lieferverzug dieser 98% der Kundenbestellmenge können vermieden werden.

Die LHK nehmen bei steigendem LKW-Füllgrad kontinuierlich zu, da immer mehr RL steigende Lagerbestände haben, wenn sich der Füllgrad erhöht. Steigen alle Lagerspiegel im RL mit der Zeit, muss man auf diese Variante verzichten. Steigen nur einige Lagerspiegel im RL, müssen solche RL separat betrachtet werden bzw. ohne Residual-Stock organisiert werden. Deshalb wurde eine weitere Experimentiergruppe festgelegt, die nur teilweise eine Residual-Stock-Strategie enthält.

⁵⁶ Max. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL

13. Experimentiergruppe: Teilweise mit AB-Artikeln als Residual-Stock (gemischte Lösung)⁵⁷

In diesem Kapitel wird mit Varianten experimentiert, bei denen nicht in allen RL AB-Artikel als Residual-Stock verwendet werden.

13.1 Kostensplitt von MohneDy%, fester Bündelungsgrad, unterschiedlicher LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-8RL)

Die Variante ABohneD40% wird hier als Beispiel genommen. 11 RL haben einen ständig steigenden Lagerspiegel. Diese 11 RL werden deshalb ohne Residual-Stock beliefert, während die anderen 8 RL (RL1000, RL1200, RL1600, RL2400, RL2800, RL3300, RL5000, RL9000) weiterhin mit AB-Artikel als Residual-Stock versorgt werden. Diese gemischte Experimentiergruppe wird **MohneDy%**⁵⁸ genannt.

Im Folgenden sind die Kostenverläufe der Experimentiergruppe MohneDy% (teilweise mit AB-Artikeln als Residual-Stock) und der Experimentiergruppe ABohneDy% (AB-Artikel als Residual-Stock) im Vergleich zur Variante BohneD (ohne Residual-Stock) abgebildet.

⁵⁷ Max. Bestand als Anfangsbestand der Simulation im RL, AB-Artikel: 98% der Bedarfsmenge

⁵⁸ MohneDy%: Fester Bündelungsgrad, ohne Direktlieferung (100%iger Bündelungsgrad), unterschiedlicher LKW-Füllgrad y% mit Residual-Stock (ZL-8 RL)

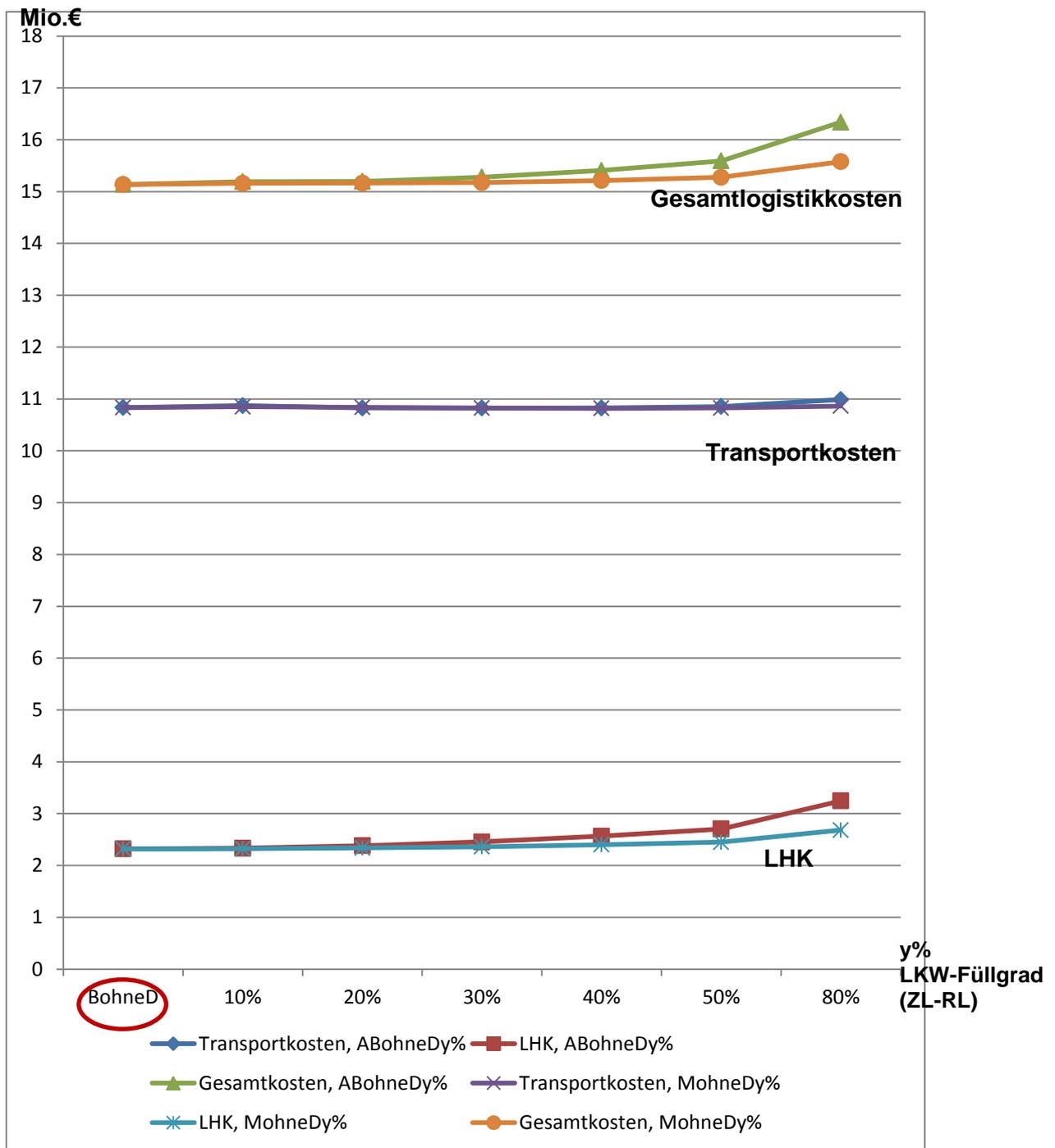


Abbildung 86: Kostenverlauf der gemischten Varianten⁵⁹ und der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock

⁵⁹ Teilweise mit AB-Artikeln als Residual-Stock

In der obigen Abbildung ist dargestellt, dass im Vergleich zu den entsprechenden Varianten ABohneDy% (AB-Artikel als Residual-Stock) nicht nur beim Transport, sondern auch bei der Lagerhaltung mit der Mischlösung (MohneDy%) eine Kostenersparnis erzielt werden kann.

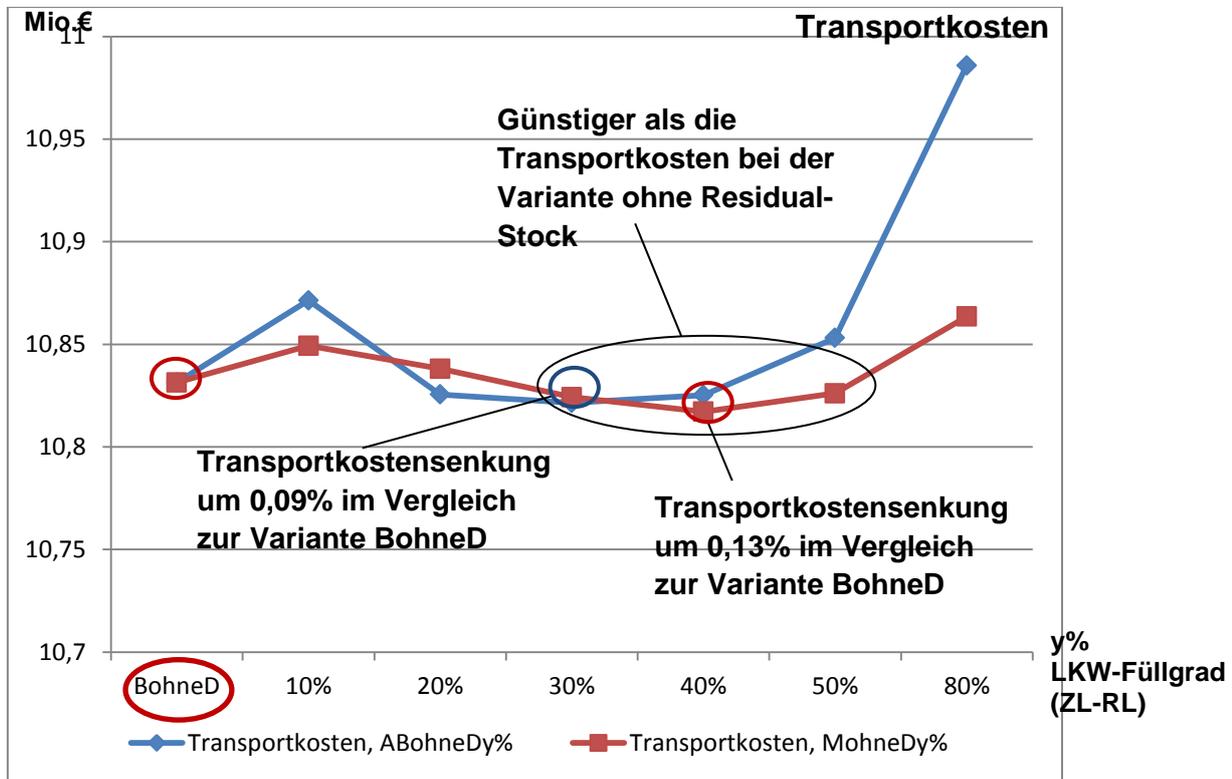


Abbildung 87: Verlauf der Transportkosten der gemischten Varianten und der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock

Die Variante mit AB-Artikeln als Residual-Stock (ABohneD30%, LKW-Füllgrad 30%) weist eine Ersparnis der gesamten Transportkosten von 10.000€ im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock (BohneD) auf, was einer Senkung der Transportkosten um 0,09% entspricht. Die gemischte Lösung bzw. die Lösung, in der teilweise AB-Artikel als Residual-Stock verwendet werden (MohneD40%, LKW-Füllgrad 40%) weist hingegen eine Ersparnis von 14.300€ auf, was einer Transportkostensenkung um 0,13% entspricht.

Da sich die LHK mit steigendem LKW-Füllgrad ständig erhöhen, ist bei der Variante MohneDy% keine Kostenreduktion der Gesamtlogistikkosten im Vergleich zur Variante BohneD (ohne Residual-

Stock) zu erwarten. Allerdings kann unter veränderten Rahmenbedingungen (wie z.B. veränderten Kostensätzen) durch Residual-Stock eine Ersparnis der Gesamtlogistikkosten erzielt werden.

13.2 Kostensplitt von MohneDy% mit veränderten Kostensätzen

Wenn die Frachtsätze verdreifacht und die Lagerkostensätze durch 3 geteilt werden, ergibt sich eine Ersparnis der Gesamtlogistikkosten durch Residual-Stock (8 RL mit AB-Artikeln als Residual-Stock, LKW-Füllgrad 30-40%, ohne Direktlieferung) im Vergleich zur Variante komplett ohne Residual-Stock. Das folgende Diagramm zeigt die entsprechenden Kostenverläufe.

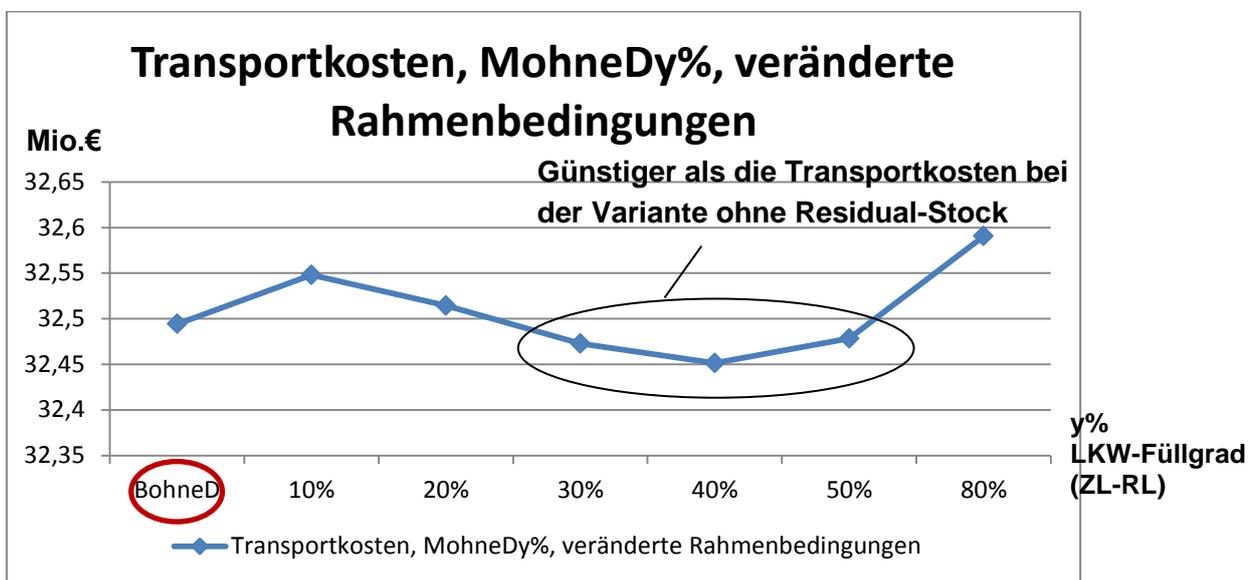


Abbildung 88: Verlauf der Transportkosten der gemischten Varianten im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock, veränderte Kostensätze

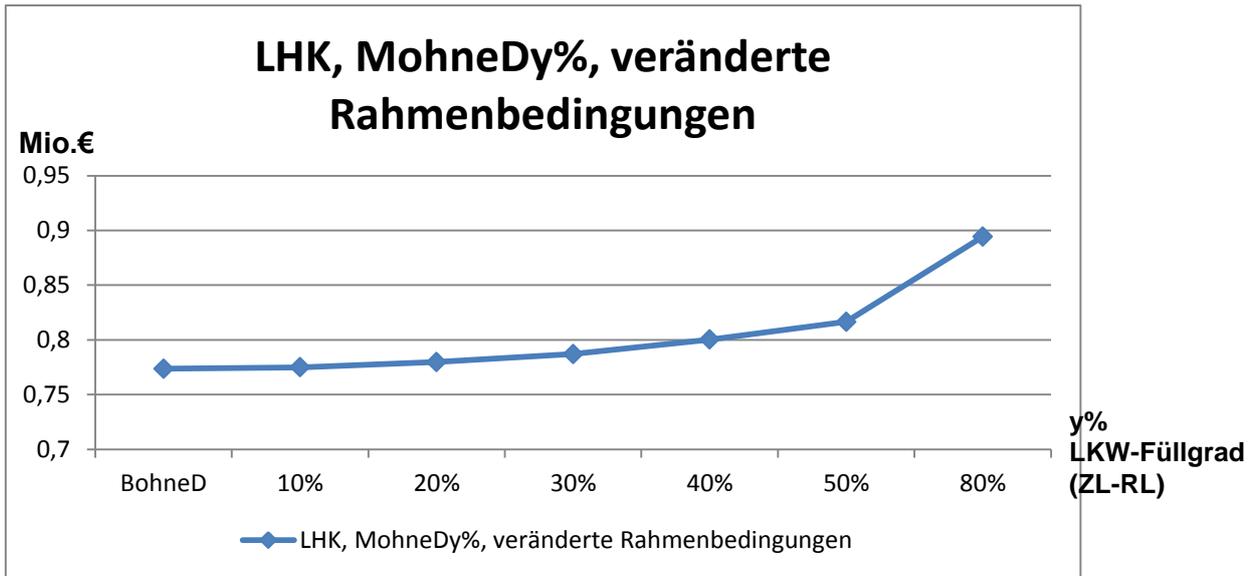


Abbildung 89: Verlauf der LHK der gemischten Varianten im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock, veränderte Kostensätze

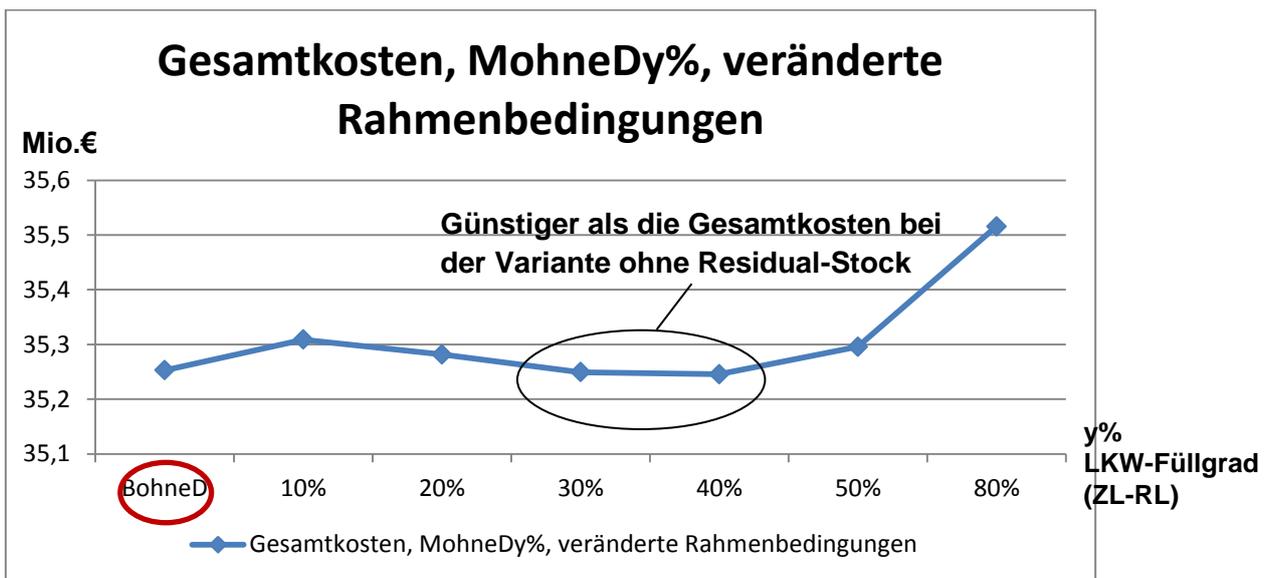


Abbildung 90: Verlauf der Gesamtlogistikkosten der gemischten Varianten im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock, veränderte Kostensätze

Die o.g. Experimentiergruppe enthält keine Direktlieferungen bzw. hat einen Bündelungsgrad von 100%. Mit einem anderen Bündelungsgrad ist ebenfalls eine Kostensenkung durch Residual-Stock zu erwarten.

13.3 Kostensplitt von M10%y%, fester Bündelungsgrad, unterschiedlicher LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-5RL)

Der Experiment B10% hat die niedrigsten Kosten in der Experimentiergruppe Bx% und Bohned, d.h. ohne Residual-Stock sind die diversen Kosten beim Experiment B10% am niedrigsten. Hier findet die Direktlieferung ab 10% LKW-Ladefähigkeit statt. Es ist deshalb sinnvoll, diese Variante mit Residual-Stock zu untersuchen, was zur Experimentiergruppe AB10%y% führt.

In der Variante AB10%10% haben 14 RL ständig steigende Lagerspiegel im RL. Diese 14 RL werden ohne Residual-Stock beliefert, und die Fahrten an die anderen 5 RL (RL1000, RL1600, RL5000, RL7500, RL8000) werden mit AB-Artikeln als Residual-Stock aufgefüllt. Diese gemischte Experimentiergruppe wird als M10%y%⁶⁰ bezeichnet.

In den folgenden Abbildungen sind die Kostenverläufe der Experimentiergruppe M10%y% (5 RL mit Residual-Stock versorgt) und der Experimentiergruppe AB10%y% im Vergleich zur Variante B10% (ohne Residual-Stock) dargestellt.

⁶⁰ M10%y%: Fester Bündelungsgrad, ab einer Bestellmenge von 10% der LKW-Kapazität (4 PP) erfolgt die Direktlieferung, unterschiedlicher LKW-Füllgrad mit Residual-Stock (ZL-5 RL)

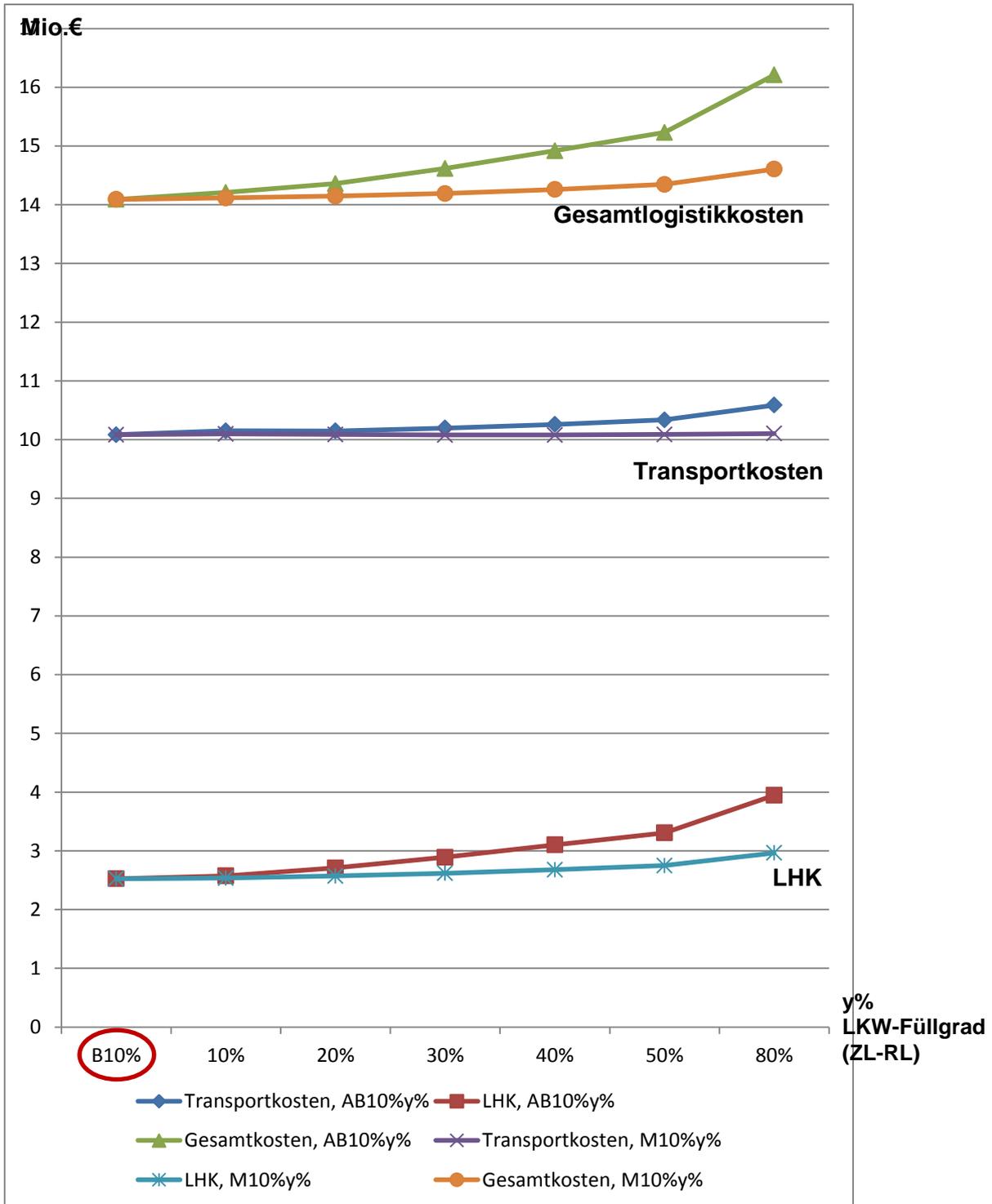


Abbildung 91: Kostenverlauf der gemischten Varianten und der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock

Aus der obigen Abbildung wird ersichtlich, dass bei der gemischten Lösung eine Ersparnis sowohl der Transportkosten als auch der LHK erreicht werden kann im Vergleich zur entsprechenden Variante AB10%y%.

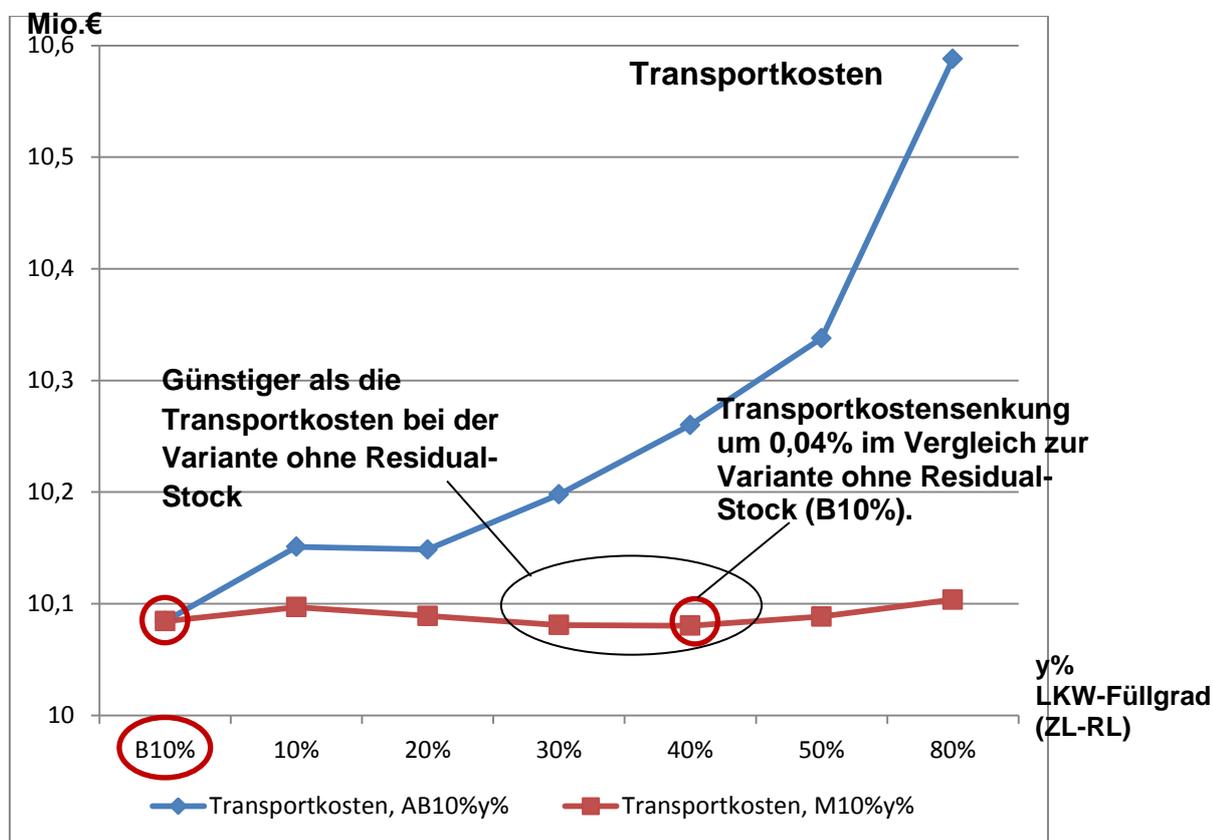


Abbildung 92: Verlauf der Transportkosten der gemischten Varianten und der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock

In der obigen Abbildung ist dargestellt, dass die Experimentiergruppe AB10%y% (AB-Artikel als Residual-Stock) bei gleichem Bündelungsgrad keine Kostenvorteile im Vergleich zur Variante B10% (ohne Residual-Stock) hat. Dennoch führt die gemischte Lösung M10%40% (5 RL mit AB-Artikeln als Residual-Stock versorgt, LKW-Füllgrad 40%) zu einer Ersparnis der gesamten Transportkosten von 4.000€, bzw. zu einer Transportkostensenkung um 0,04% im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock (B10%).

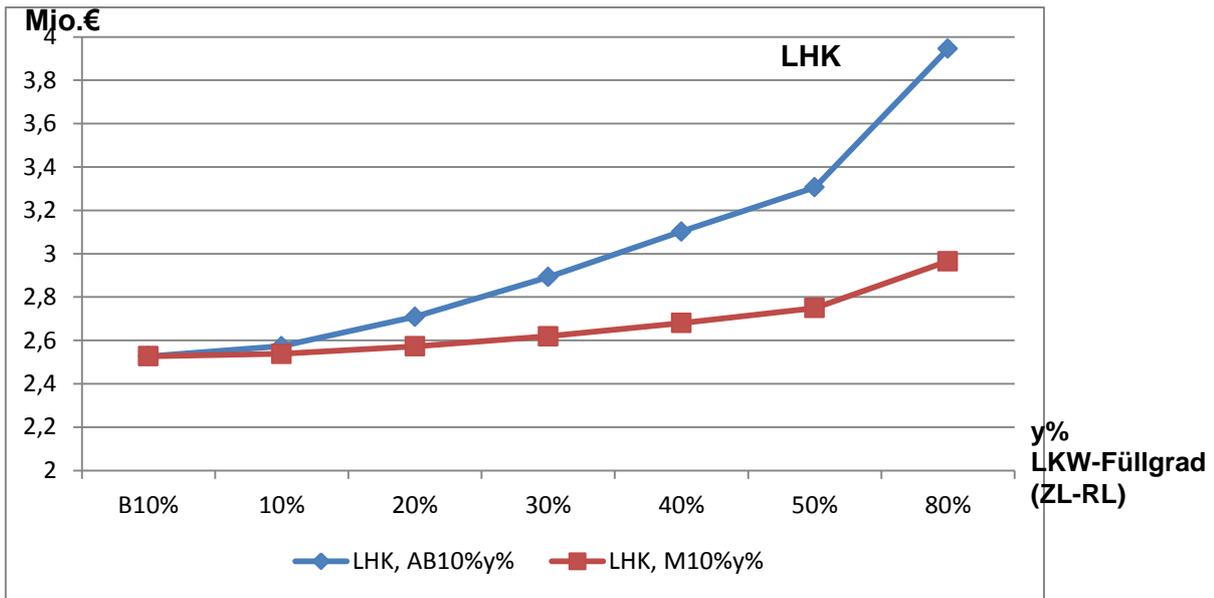


Abbildung 93: Verlauf der LHK der gemischten Varianten und der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock

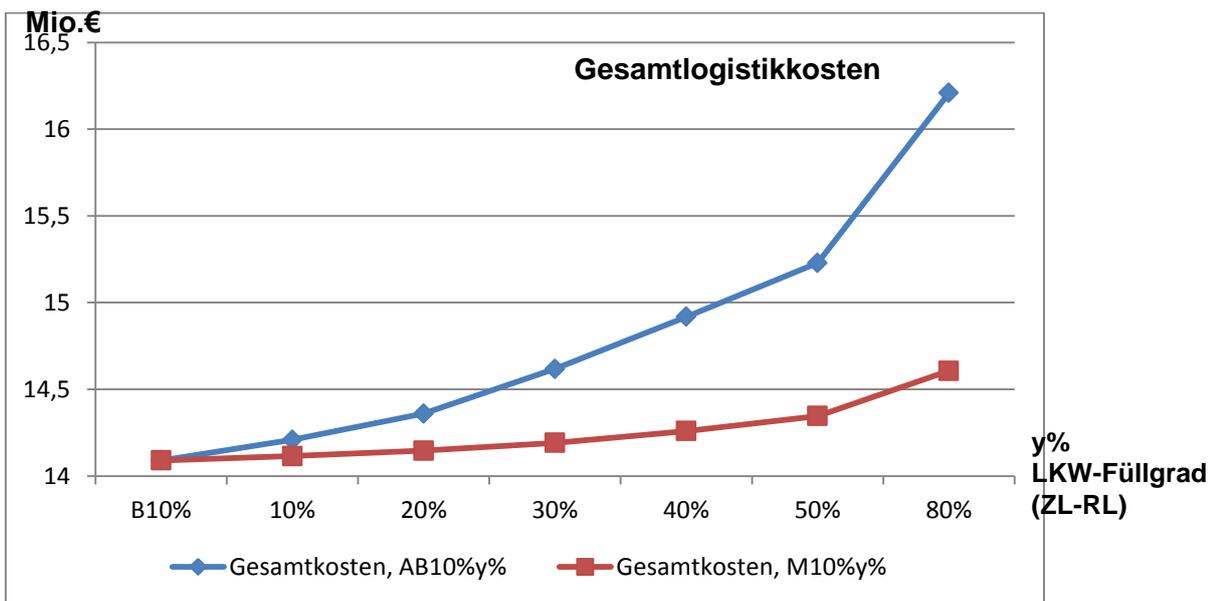


Abbildung 94: Verlauf der Gesamtlogistikkosten der gemischten Varianten und der Varianten mit AB-Artikeln als Residual-Stock im Vergleich zur Variante ohne Residual-Stock

Aufgrund der ständig steigenden LHK weisen die beiden Experimentiergruppen keine Reduktion der Gesamtlogistikkosten auf. Unter veränderten Rahmenbedingungen wie z.B. viel niedrigere Lagerkostensätze und / oder viel höhere Frachtsätze ist eine Reduktion der Gesamtkosten möglich.

13.4 Vergleich der Experimentiergruppen MohneDy% und M10%y%

In der Experimentiergruppe **MohneDy%** können 8 RL mit Residual-Stock versorgt werden; diese 8 RL sind:

RL1000, RL1200, RL1600, RL2400, RL2800, RL3300, RL5000, RL9000

In der Experimentiergruppe **M10%y%** erfolgen die Lieferungen zu 5 RL mit Residual-Stock. Diese 5 RL sind:

RL1000, RL1600, RL5000, RL7500, RL8000

Die oben markierten 3 RL (RL1000, RL1600, RL5000) können sowohl bei MohneDy% als auch bei M10%y% mit Residual-Stock versorgt werden. 5 RL (RL1200, RL2400, RL2800, RL3300, RL9000) werden bei MohneDy% mit Residual-Stock beliefert, bei M10%y% aber ohne Residual-Stock. Und die Lieferungen zu RL7500 und RL8000 finden bei MohneDy% ohne Residual-Stock statt, aber bei M10%y% mit Residual-Stock. Die Stabilität des Lagerspiegels in RL1000, RL1600, RL5000, sowie in RL9000, RL7500 und RL8000 wird deshalb im Folgenden detaillierter untersucht.

Stabilität des Lagerspiegels in RL1000, RL1600 und RL5000

In den nachstehenden drei Abbildungen sind die Verläufe des mittleren Lagerbestands in RL1000, RL1600 und RL5000 dargestellt.

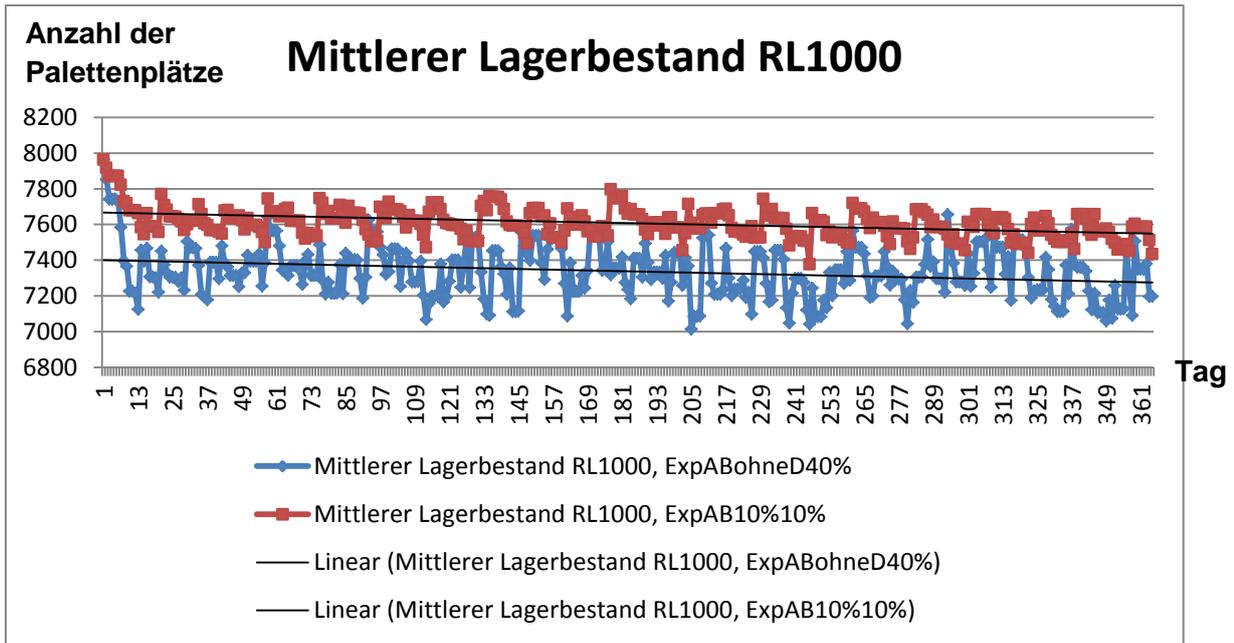


Abbildung 95: Verlauf des mittleren Lagerbestands im RL1000, ABohneD40%, AB10%10%

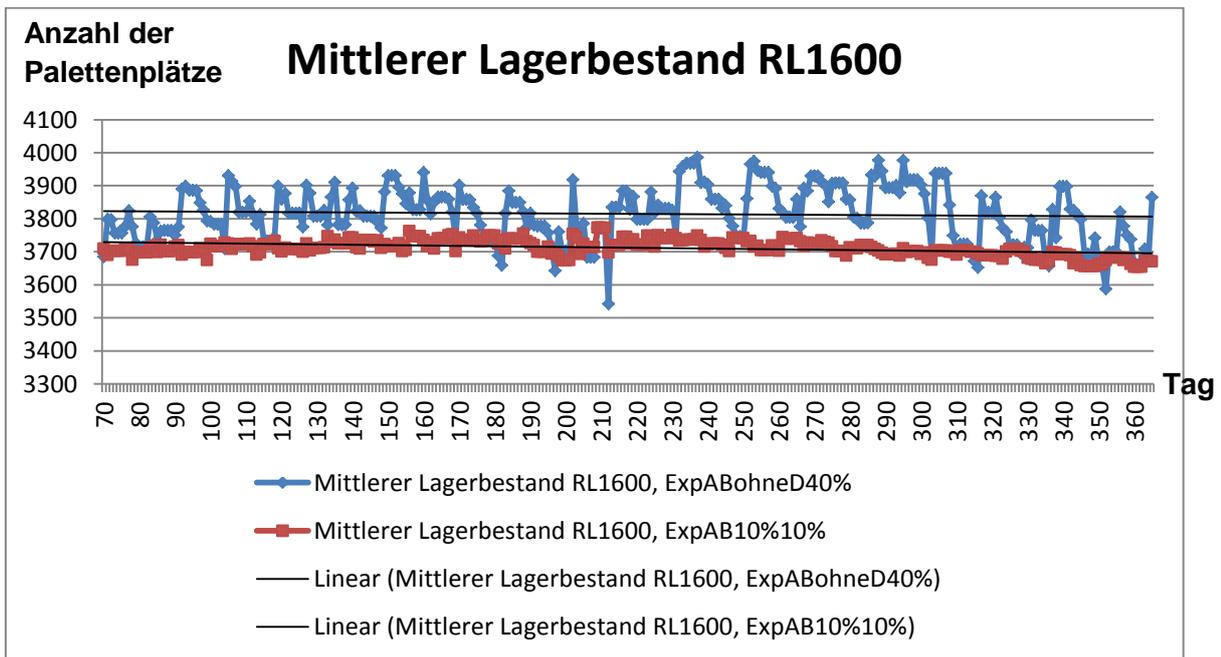


Abbildung 96: Verlauf des mittleren Lagerbestands im RL1600, ABohneD40%, AB10%10%⁶¹

⁶¹ Nach der Anfangsphase (innerhalb der ersten 70 Tage) bleiben die beiden Trendlinien fast konstant.

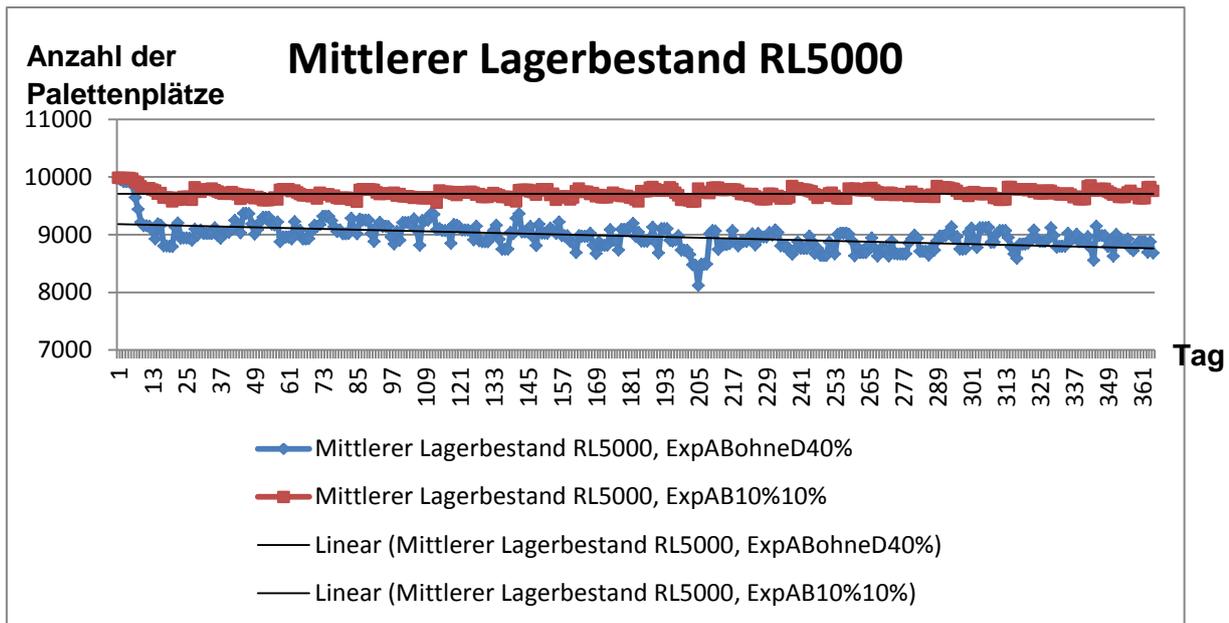


Abbildung 97: Verlauf des mittleren Lagerbestands im RL5000, ABohneD40%, AB10%10%

Aus den obigen drei Abbildungen wird ersichtlich, dass die obengenannten drei RL sowohl bei ExpAB10%10% als auch bei ExpABohneD40% stabilen Lagerbestand haben. Daher werden die drei RL bei MohnedY% und M10%y% mit Residual-Stock beliefert.

Stabilität des Lagerspiegels in RL9000

Die kontinuierlich steigende Trendlinie eines Lagerspiegels weist darauf hin, dass der Lagerbestand eindeutig instabil ist und deshalb ohne Residual-Stock beliefert wird. Dies wird als instabiler Lagerbestand bezeichnet. Im anderen Fall wird das Lager mit Residual-Stock-Strategie betrieben.

RL9000 hat bei ExpAB10%10% einen instabilen Lagerbestand und bei ExpABohneD40% keinen kontinuierlich steigenden Lagerspiegel.

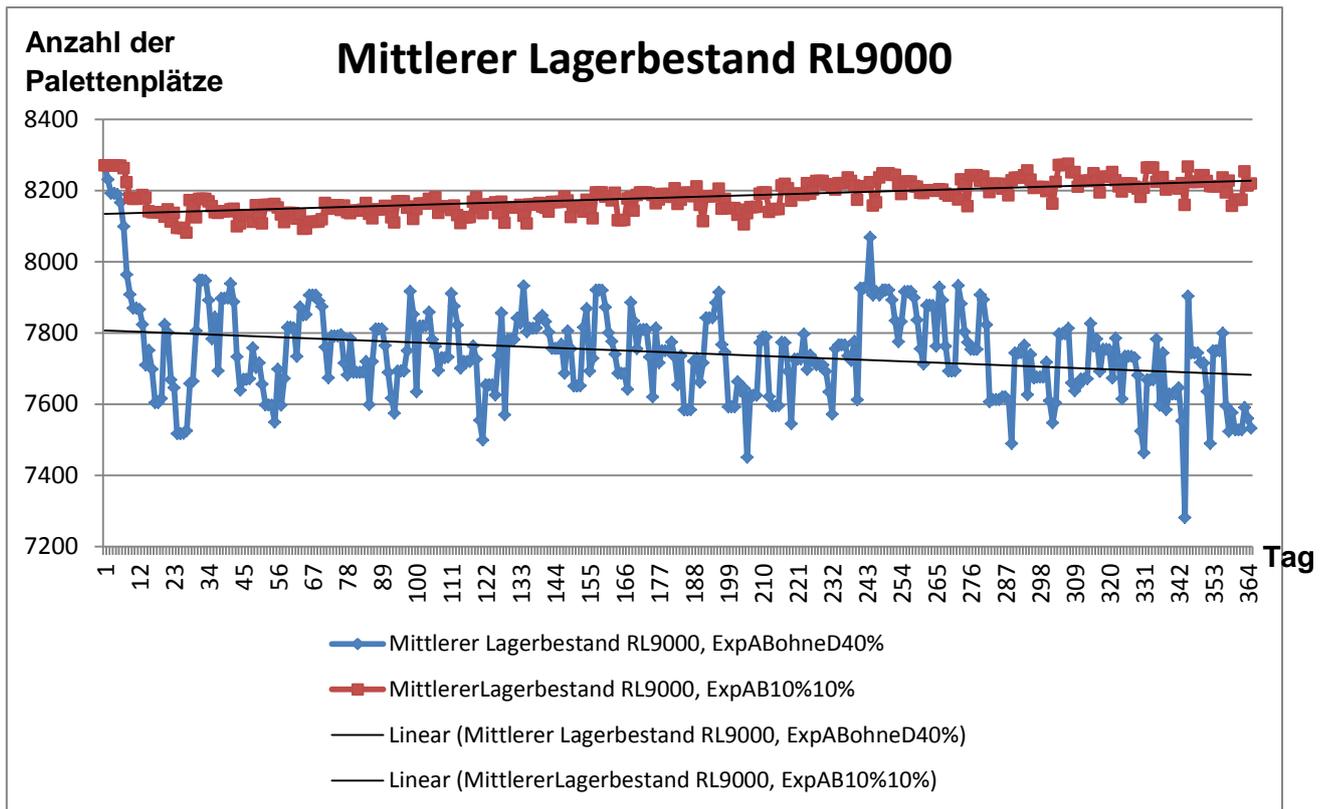


Abbildung 98: Verlauf des mittleren Lagerbestands im RL9000, ABohneD40%, AB10%10%

Die Experimentiergruppe ABohneDy% hat keine Direktlieferung bzw. einen Bündelungsgrad von 100%, während AB10%y% einen viel niedrigeren Bündelungsgrad hat, d.h. bei AB10%y% wird viel mehr direkt beliefert. Da bei der zweiten Experimentiergruppe viel weniger bestellte Waren durch das RL zu liefern sind, wird beim gleichen LKW-Füllgrad mehr Residual-Stock in LKW aufgefüllt. Daher verursacht auch ein sehr niedriger LKW-Füllgrad wie 10% (4 PP, AB10%10%) einen steigenden Lagerspiegel in RL9000.

Der steigende Lagerspiegel zeigt an, dass obwohl die AB-Artikel (AB-Artikel: 98% der Bedarfsmenge) im Vergleich zu allen anderen Varianten die kostengünstigste Variante sind, diese AB-Artikel nicht exakt mit dem zukünftigen Kundenbedarf übereinstimmen. Daher ist eine angemessene Liefermenge des Residual-Stocks zum Zweck der Kostenreduktion von großer Bedeutung. Jedes RL hat einen eigenen Bedarfsverlauf und bei einigen RL darf kein Residual-Stock geplant werden.

Stabilität des Lagerspiegels in RL7500 und RL8000

RL7500 und RL8000 werden bei der Variante Mohned40% ohne Residual-Stock beliefert, aber bei der Variante M10%10% mit Residual-Stock, da der Lagerspiegel der beiden RL bei der Variante ABohneD40% kontinuierlich steigt und der Bestand bei der Variante AB10%10% fast stabil bleibt.

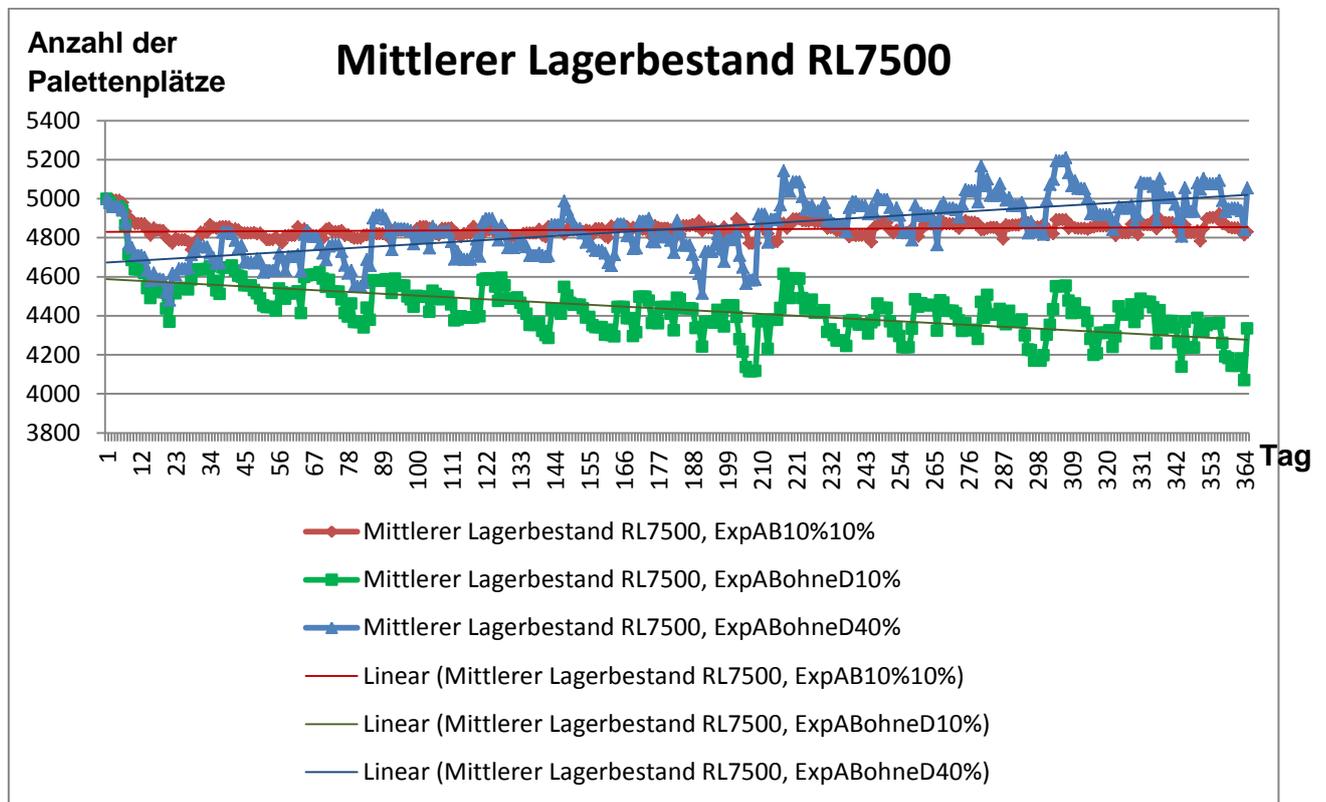


Abbildung 99: Verlauf des mittleren Lagerbestands im RL7500, ABohneD40%, ABohneD10%, AB10%10%

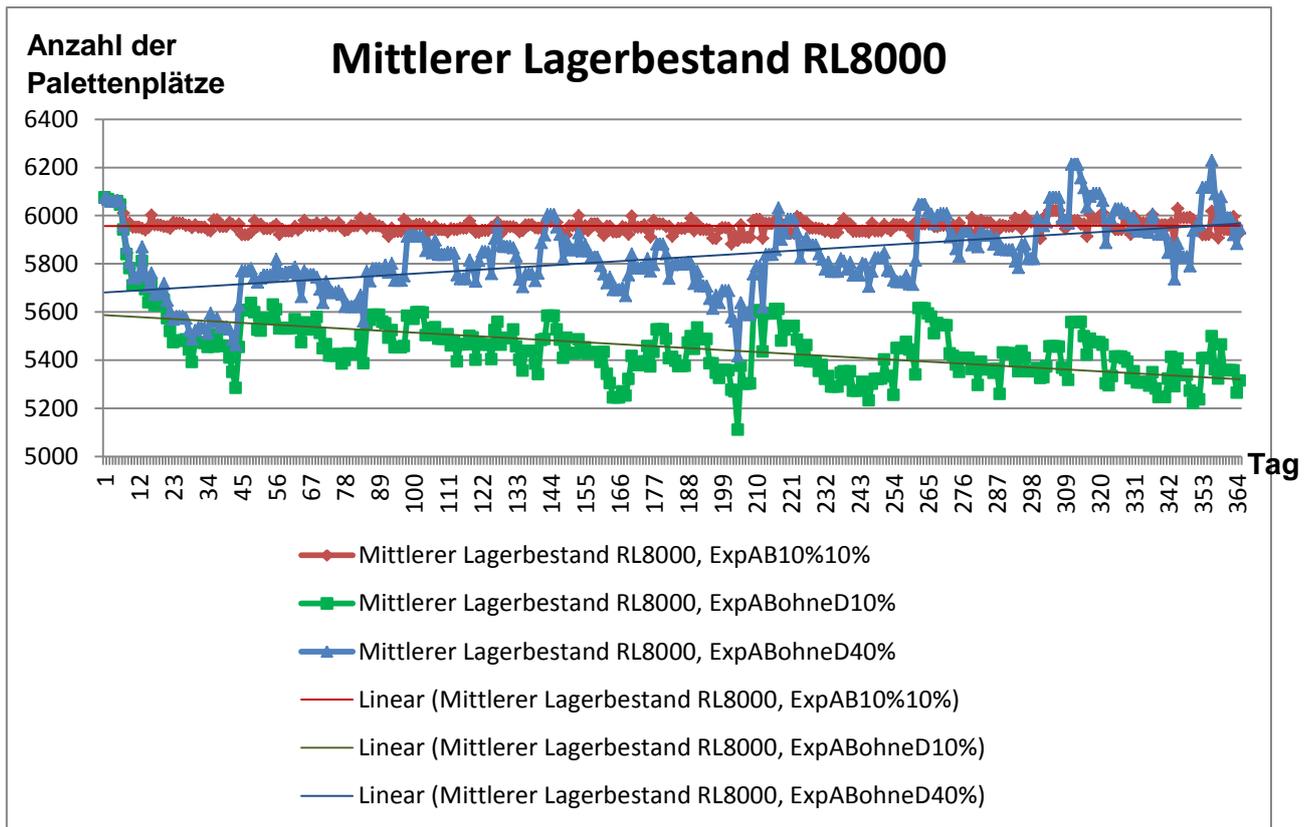


Abbildung 100: Verlauf des mittleren Lagerbestands im RL8000, ABohneD40%, ABohneD10%, AB10%10%

Die Trendlinien der Lagerspiegel bei der Variante **ABohneD40%** (blaue Linien) in den beiden obigen Abbildungen steigen. Sinkt der LKW-Füllgrad auf 10%, sinken die Trendlinien der Lagerspiegel (grüne Linien). Werden viel weniger bestellte Produkte durch die RL geliefert ($x\% = 10\%$), bleiben die Trendlinien der Lagerspiegel (rote Linien) in den beiden RL fast konstant.

Bei der Experimentiergruppe **AB10%10%** werden im Vergleich zur Experimentiergruppe **ABohneD10%** erheblich weniger bestellte Waren durch die RL geliefert, und deshalb wird bei gleichem LKW-Füllgrad mehr Residual-Stock in die LKW aufgefüllt. Daher bleibt der Lagerspiegel in RL7500 und RL8000 bei der Experimentiergruppe **AB10%10%** mit niedrigem LKW-Füllgrad (10%) konstant, während bei der Experimentiergruppe **ABohneD10%** der Lagerspiegel sinkt. Aufgrund des relativ hohen Füllgrads von 40% steigt der Lagerspiegel in RL7500 und RL8000 bei der Experimentiergruppe **ABohneD40%**.

Ein hoher Direktlieferungsanteil bei gleichem LKW-Füllgrad (ZL-RL) oder ein hoher LKW-Füllgrad bei gleichem Direktlieferungsanteil führt zu einer hohen Liefermenge des Residual-Stocks (ZL-RL).

Je mehr Residual-Stock vom ZL zu den RL geschickt wird, desto mehr RL haben einen instabilen Lagerspiegel.

Die RL mit instabilen Lagerspiegeln sollen ohne Residual-Stock beliefert werden und die restlichen RL mit Residual-Stock. Durch diese gemischte Lieferstrategie (einige RL werden mit Residual-Stock versorgt) können die Transportkosten reduziert werden, und bei bestimmten Rahmenbedingungen wie veränderten Kostensätzen können die Gesamtlogistikkosten ebenfalls reduziert werden.

Wenn man die Bestände der ZL mitberücksichtigt und annimmt, dass die Bestände im gesamten Distributionsnetzwerk konstant sind, reduziert sich die Problematik des Residual-Stocks beim stabilen Lagerspiegel im RL auf die Transportkosten.

14. Zusammenfassung und Ausblick

Aus Sicht einer ganzheitlichen Optimierung der Lager- und Transportprozesse wurden in dieser Dissertation verschiedene Distributionsstrategien intensiv untersucht, monetär verglichen und quantitativ bewertet. Die Ergebnisse wurden mit Diagrammen veranschaulicht und es wurde eine effiziente ganzheitliche und dynamische Optimierungsmethodik im gesamten Distributionsnetzwerk entwickelt. Ein Unternehmen der Konsumgüterindustrie wurde als Fallbeispiel ausgewählt und sein Distributionsnetzwerk wurde mit dem Simulationsinstrument Dosimis-3 modelliert und simuliert. Durch dieses Fallbeispiel wurden die Kostenvorteile durch Transportbündelung und das Kostensenkungspotenzial durch Residual-Stock gründlich erforscht. Insbesondere wurde der logistische Begriff des Residual-Stocks ausführlich analysiert.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit werden im Folgenden zusammengefasst.

14.1 Kostenvorteile durch Transportbündelung⁶²

Ein hoher Bündelungsgrad führt nicht immer zu einer Kostenersparnis. Die Kostenvorteile durch Transportbündelung wurden mittels eines Fallbeispiels quantitativ untersucht. Der kostengünstigste Bündelungsgrad (Experimentiergruppe ohne Residual-Stock) beim Fallbeispiel liegt ziemlich niedrig, d.h. um die niedrigsten Gesamtlogistikkosten bei der Experimentiergruppe ohne Residual-Stock zu erzielen, sollten nur Lieferungen mit sehr niedriger Liefermenge gebündelt und über die RL geliefert werden. Genau gesagt handelt es sich im Fallbeispiel um eine Grenzliefermenge von 4 PP, d.h. ab einer Bestellmenge von 4 PP soll aus dem ZL direkt an die Kunden geliefert werden und erst bei einer Liefermenge von unter 4 PP soll Transportbündelung erfolgen. Dieses Phänomen wird hauptsächlich durch die Frachtsätze und das Bestellverhalten der Kunden bestimmt:

- Die meisten Kundenbestellungen sind sehr klein, genauer gesagt haben durchschnittlich 93% aller Kundenbestellungen nur 1 bis 4 PP, und solche kleinen Bestellmengen machen 48% der gesamten gelieferten Palettenplätze (PP) aus.
- Die Frachtsätze der Direktlieferung ZL-Kunden für geringe Liefermengen (1-4 PP) sind extrem hoch, ab 4 PP liegen sie dagegen viel niedriger.

⁶² Experimentiergruppe ohne Residual-Stock

⇒ Aufgrund dieses Bestellverhaltens und der extrem hohen Frachtsätze für geringe Liefermengen ist für geringe Liefermengen eine Transportbündelung erforderlich.

- Ab einer Liefermenge von 4 PP bleiben die Frachtsätze der Direktlieferung ZL-Kunden sowie die Frachtsätze ZL-RL relativ stabil, und die Frachtsätze der Direktlieferung sind nicht wirklich wesentlich höher als die entsprechenden Frachtsätze ZL-RL. Außerdem kommen bei der Lieferung über die RL zusätzlich noch die Transportkosten RL-Kunden hinzu.

⇒ Unter diesen Umständen ist eine Transportbündelung für Liefermengen ab 4 PP aus wirtschaftlicher Sicht nicht nötig. Dadurch liegt der günstigste Bündelungsgrad des Unternehmens im Fallbeispiel sehr niedrig.

All dies weist darauf hin, dass die Einsparung durch Bündelungseffekte begrenzt ist und die wirtschaftlichen Auswirkungen nicht überschätzt werden sollten. Die Frachtsätze und das Kundenbestellverhalten sind die wichtigsten Einflussfaktoren, die entscheiden, ob und inwiefern die Transportbündelung tatsächlich Kostenvorteile bringt. Mithilfe des Simulationsinstruments ist ein Logistikplaner in der Lage, den optimalen Bündelungsgrad unter allen Bedingungen schnellstmöglich mit geringstem Aufwand festzustellen.

In Anbetracht der Frachtsätze ZL-RL bestehen immer noch Kostenreduzierungspotenziale durch den Wettbewerb der verschiedenen logistischen Dienstleister. Ein guter Logistikdienstleister sollte den Bündelungseffekt voll ausnutzen und die Transporttätigkeiten wirtschaftlich, ökologisch und sozial verantwortungsvoll betreiben können.

14.2 Experimentiergruppen mit Residual-Stock

Durch Residual-Stock kann eine nachhaltige Senkung der gesamten Transportkosten realisiert werden, allerdings nur, wenn der sortiments- und mengenmäßig richtige Residual-Stock mitgeliefert wird. Unter gewissen Bedingungen (bestimmtes Verhältnis der Fracht- und Lagerkostensätze) werden die Gesamtlogistikkosten in der Distribution nachhaltig reduziert. Außerdem unterstützt richtig dimensionierter Residual-Stock weitere Zielsetzungen, wie umweltschonende Distribution, höhere Lieferbereitschaft und Kundenzufriedenheit in der Distribution. Daraus erkennt man, dass die Sortiments- und Mengenentscheidung über den Residual-Stock die allerwichtigste Aufgabe im

Hinblick auf ein kostenminimiertes und leistungsfähiges Distributionsnetzwerk ist. Ein Simulationsinstrument ermöglicht mit geringstem Aufwand eine möglichst schnelle Sortiments- und Mengenentscheidung in Bezug auf den Residual-Stock und hilft dabei, alle Kostenaspekte im Distributionsnetzwerk zu berücksichtigen und ausgeglichene Transport- und Bestandsprozesse bezüglich der Gesamtlogistikkosten auszuarbeiten. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse bezüglich des Residual-Stocks zusammengefasst.

Optimaler Anfangsbestand in der Simulation und Stabilität des Lagerspiegels im RL⁶³

Bei den Experimentiergruppen mit Residual-Stock sollte mit dem max. Bestand (Bestellniveau S) als Anfangsbestand (RL) in der Simulation gestartet werden, da dies die Tendenz des Lagerspiegelverlaufs im RL deutlich aufzeigen kann und sich eine eventuelle Instabilität des Lagerbestands in den RL schnell erkennen lässt. Im Fall, dass unter o.g. Umständen der Lagerspiegel des RL während der Simulationszeit ständig steigt, sollte man aufgrund der Instabilität des Lagerspiegels auf diese Varianten verzichten, d.h. die entsprechende Sortiments- und / oder Mengenentscheidung des Residual-Stocks ist nicht geeignet.

Wird der min. Bestand (s) als Anfangsbestand (RL) in der Simulation gehalten, kommt man nicht so einfach zum o.g. Ergebnis. Allerdings besteht auf Dauer kein Unterschied zwischen den Simulationsergebnissen, egal ob der max. oder der min. Bestand als Anfangsbestand (RL) in der Simulation genommen wird.

Kostenvergleich der Experimentiergruppen mit Residual-Stock

Vergleich der Transport-, Lagerhaltungs- und Gesamtkosten bei den Experimentiergruppen mit unterschiedlichem Residual-Stock:

ABx%y% < Allex%y% < Ax%y%

ABohneDy% < AlleohneDy% < AohneDy%⁶⁴

⁶³ Experimentiergruppen mit Residual-Stock

⁶⁴ AohneDy%: AX-, AY-, BX-Artikel als Residual-Stock, ohne Direktlieferung, y% LKW-Füllgrad ZL-RL

Ax%y%: Entspricht AohneDy%, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladefähigkeit erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden

AlleohneDy%: Alle Artikel stehen für den Residual-Stock zur Verfügung, y% LKW-Füllgrad ZL-RL, ohne Direktlieferung

Im Vergleich zu allen anderen Versuchen mit Residual-Stock sind die AB-Artikel (98% der Bedarfsmenge nach der ABC-Analyse) hier das günstigste Sortiment des Residual-Stocks. Zum Zweck der Sortimentsentscheidung des Residual-Stocks bringt die XYZ-Analyse nicht viel.

Sortiments- und Mengenentscheidung des Residual-Stocks

Der zukünftige Bedarf lässt sich nie 100% exakt ermitteln. So ist neben der Sortimentsentscheidung des Residual-Stocks die Entscheidung über die angemessene Menge des Residual-Stocks von größter Bedeutung, um maximale Kostenersparnis zu erzielen. Die Mengenentscheidung über den Residual-Stock bezieht sich darauf, welche RL mit oder ohne Residual-Stock versorgt werden sollen, und wie viel Residual-Stock im Transportmittel aufgefüllt werden soll (gesteuert durch den LKW-Füllgrad).

Die AB-Artikel (98% der Bedarfsmenge) entsprechen im Fallbeispiel annähernd der zukünftigen Bestellmenge der Kunden. Allerdings stimmen die A- und B-Artikel nicht 100% mit den zukünftig bestellten Waren überein. Eine angemessene Liefermenge des Residual-Stocks ist deshalb zum Zweck der Kostensenkung von größter Bedeutung und einige RL sollten nicht mit einer Residual-Stock-Strategie betrieben werden.

Die Liefermenge des Residual-Stocks bzw. der LKW-Füllgrad sollte mit Rücksicht auf den daraus entstehenden Lagerspiegel (max. Bestand als Anfangsbestand in Simulation) im zu beliefernden Lager bzw. RL bestimmt werden. Mit einem Simulationsinstrument ist es möglich, den Lagerspiegel im RL ständig zu untersuchen. Wenn durch Residual-Stock ein instabiler Lagerspiegel (kontinuierlich steigende Tendenz, max. Bestand als Anfangsbestand) im RL gebildet wird, sollte entweder weniger Residual-Stock in LKW aufgefüllt werden oder solche RL sollten ohne Residual-Stock versorgt werden und die restlichen RL, die einen stabilen Lagerspiegel haben, sollten mit einer Residual-Stock-Strategie betrieben werden.

Darüber hinaus kann mit der gemischten Variante $Mx\%y\%$ (teilweise mit Residual-Stock) die größte Logistikkostenersparnis erzielen. Die gesamten Transportkosten können durch Residual-Stock

Alle $x\%y\%$: Entspricht **AlleohneDy%**, ab einer Bestellmenge von $x\%$ der LKW-Ladekapazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden

ABohneDy%: A- und B-Artikel als Residual-Stock (AB-Artikel: 98% der gesamten Bedarfsmenge), $y\%$ LKW-Füllgrad ZL-RL, ohne Direktlieferung

AB $x\%y\%$: Entspricht **ABohneDy%**, ab einer Bestellmenge von $x\%$ der LKW-Ladekapazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden

tatsächlich reduziert werden. Eine nachhaltige Senkung der Gesamtlogistikkosten ist von den Frachtsätzen und Lagerkostensätzen abhängig und unter gewissen Bedingungen (bestimmtes Verhältnis der Fracht- und Lagerkostensätze) ebenfalls möglich, d.h. mit Residual-Stock ist es durchaus möglich, eine nachhaltige Senkung der Gesamtlogistikkosten zu erzielen.

Wenn man die Bestände der ZL mitberücksichtigt und annimmt, dass die Bestände im gesamten Distributionsnetzwerk konstant sind, dann haben nur die gesamten Transportkosten bei stabilem Lagerspiegel im RL einen entscheidenden Einfluss auf die Gesamtlogistikkosten. Deshalb können die Gesamtlogistikkosten wie die Transportkosten durch die Residual-Stock-Strategie ebenfalls nachhaltig reduziert werden.

Bei der gemischten Variante $Mx\%y\%$ werden einige RL über eine Residual-Stock-Strategie mit A- und B-Artikeln versorgt, speziell dann, wenn die A- und B-Artikel 98% der gesamten Kundenbedarfsmenge ausmachen. Da diese wichtigsten Artikel Priorität haben und deren Lieferung durch Residual-Stock sichergestellt wird, können 98% der gesamten Bestellmenge in solchen RL abgesichert werden. Mögliche Fehlmengenkosten durch evtl. Lieferverzug dieser wichtigsten Artikel werden gespart. Aus Sicht der Kundenzufriedenheit und der o.g. Fehlmengenkosten ist diese Experimentiergruppe (teilweise mit Residual-Stock) ebenfalls günstiger als die Experimentiergruppe ohne Residual-Stock.

14.3 Frachtsatzverlauf und Kostenvorteile durch Transportbündelung und Residual-Stock

Wenn die Frachtsätze bei unterschiedlicher Liefermenge gleich bleiben, wenn es also keinen Mengenrabatt bei der Lieferung gibt, würde sich aus Kostensicht weder die Transportbündelung noch die Residual-Stock-Strategie lohnen.

Je steiler die Frachtsätze mit steigender Liefermenge sinken, desto eher kann ein RL durch eine Residual-Stock-Strategie profitieren und desto größere Kostenvorteile können durch eine Transportbündelung erzielt werden.

14.4 Ausblick

Die weiterführende Forschungsarbeit ergibt sich durch veränderte Rahmenbedingungen des Distributionsnetzwerks, wie z.B. anderes Bestellverhalten, umstrukturiertes Distributionsnetzwerk, andere Lagerkostensätze und / oder andere Frachtsatzstrukturen durch verschiedene LDL. Eine weitere Untersuchung bezüglich der Ermittlung des Residual-Stocks bzw. des zukünftigen Bedarfs mithilfe der ABC-Analyse oder anderer Vorgehensweisen ist ebenfalls noch ein interessantes Forschungsfeld.

Literaturverzeichnis

Accenture/INSEAD. 2003. *A Global Study of Supply Chain Leadership and its Impact on Business Performance.* 2003.

Adelman. 2004. *A Price-Directed Approach to Stochastic Inventory/Routing,* OPERATIONS RESEARCH, Vol. 52, No. 4. 2004. S. 499–514.

Afshari, Hamid, Amin-Nayeri, Majid und Ardestanijaafari, Amir. 2010. *Optimizing Inventory Decisions in Facility Location within Distribution Network Design, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2010 Vol III.* Hong Kong : s.n., 2010.

Anily, S. und Federgruen, A. 1990. *One Warehouse Multiple Retailer Systems With Vehicle Routing Costs,* Management Science, 36(1). 1990. S. 92–114.

Banerjee, A. 1984. *A Joint Economic Lot Size Model for Purchaser and Vendor,* Decision Sciences, 17(3). 1984. S. 292–311.

Barth, Klaus, Hartmann, Michaele und Schröder, Hendrik. 2007. *Betriebswirtschaftslehre des Handels.* 6. s.l. : Gabler, 2007. S. 349.

Bartsch, Christian. 2010. *Modellierung und Simulation von IT-Dienstleistungsprozessen.* s.l. : KIT Scientific Publishing, 2010.

Bassok, Y. und Enst, R. 1995. *Dynamic Allocations for Multi-Product Distribution,* Transportation Science 29. 1995. S. 256-266.

Bechtel, C. und Jayaram, J. 1997. *Supply Chain Management: A Strategic Perspective,* in: *International Journal of Logistics Management* 8, (1). 1997. S. 16-19.

Becker, Torsten. 2004. *Supply Chain Prozesse: Gestaltung und Optimierung,* in: *Integriertes Supply Chain Management, Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse,* Hrsg.: A. Busch; W. Dangelmaier. 2. Wiesbaden : Gabler Verlag, 2004. S. 88.

Beek, P., Bremer, A. und Putten, C. 1985. *Design and Optimization of Multi-Echelon Assembly Networks: Savings and Potentialities,* European Journal of Operational Research, 19(1). 1985. S. 57-67.

Bell, W., et al. 1983. *Improving The Distribution of Industrial Gases with An On-Line Computerized Routing and Scheduling Optimizer,* Interfaces, 13(6). 1983. S. 4–23.

Ben-Daya, M., Darwish, M. und Ertogral, K. 2008. *The joint economic lot sizing problem: Review and extensions;* European Journal of Operational Research, Volume 185, No. 2. 2008. S. 726-742.

Bertazzi, G., Paletta und Speranza, M. 2002. *Deterministic Order-Up-To Level Policies in an Inventory Routing Problem,* Transportation Science 36. 2002. S. 119-132.

- Bertazzi, Luca. 2008.** *Analysis of Direct Shipping Policies in an Inventory-Routing Problem with Discrete Shipping Times*, *Management Science* vol. 54 no. 4. 2008. S. 748-762.
- Bertazzi, M., Speranza und Ukovich, W. 2000.** *Exact and Heuristic Solutions for a Shipment Problem with Given Frequencies*, *Management Science* 46. 2000. S. 973-988.
- Bhatnagar, Rohit und Chandra, Pankaj und Goyal, Suresh K. 1993.** *Models for multi-plant coordination*, *European Journal of Operational Research*, 67(2). 1993. S. 141-160.
- Binner, Hartmut F. 2002.** *Unternehmensübergreifendes Logistikmanagement*. s.l. : Hanser, 2002. S. 99-100.
- Blumenfeld, D., et al. 1987.** *Reducing Logistics Costs at General Motors*, *Interfaces*, 17(1). 1987. S. 26–47.
- Bowersox, D. J. 1997.** *Integrated Supply Chain Management: A Strategic Imperative*, *Annual conference proceedings, Council of Logistics Management fall meeting*. Chicago : s.n., 1997. S. 181.
- Bowersox, Donald J. und Closs, David J. 1996.** *Logistical Management: the Integrated Supply Chain Process*. New York et al. : McGraw-Hill, 1996. S. 4.
- Burns, L., et al. 1985.** *Distribution Strategies that Minimize Transportation and Inventory Costs*, *Operations Research*, 33(3). 1985. S. 469-490.
- Busch, Axel und Dangelmaier, Wilhelm. 2004.** *Integriertes Supply Chain Management-ein koordinationsorientierter Überblick*, in: *Integriertes Supply Chain Management, Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse*, Hrsg.: A. Buschl; W. Dangelmaier. 2. Wiesbaden : Gabler Verlag, 2004. S. 4.
- Busse von Colbe, W. 1986.** *Bereitstellungsplanung, Einkaufs- und Lagerpolitik*. [Hrsg.] H. Jakob. 3. Wiesbaden : s.n., 1986. S. 598-603. Bd. Industriebetriebslehre.
- Carlson, R., Jucker, J. und Kropp, D. 1979.** *Less Nervous MRP Systems: A Dynamic Economic Lot Sizing Approach*, *Management Science*, 25 (8). 1979. S. 754-761.
- Chandra, P. 1993.** *A Dynamic Distribution Model with Warehouse and Customer Replenishment Requirements*, *Journal of the Operational Research Society*, 44(7). 1993. S. 681-692.
- Chandra, P. und Fisher, M. 1994.** *Coordination of Production and Distribution Planning*, *European Journal of Operational Research*, 72 (3). 1994. S. 503–517.
- Chen, Z. 2004.** *Integrated Production and Distribution Operations: Taxonomy, Models and Review*, Chapter 17 of the book *“Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis: Modeling in the E-Business Era”*, edited by D. Simchi-Levi, S.D. Wu, and Z.-J. Shen. 1. s.l. : Kluwer Academic Publishers, 2004.

- Chen, Z. X., Sarker und R., B. 2010.** *Multi-vendor integrated procurement-production system under shared transportation and just-in-time delivery system, Journal of the Operational Research Society (2010) 61.* 2010. S. 1654–1666.
- Christopher, M. 1994.** *The strategy of distribution management.* Oxford : s.n., 1994. S. 22.
- CLM. 2004.** *Council of Logistics Management.* 2004.
- Cohen, M. und Lee, H. 1988.** *Strategic Analysis of Integrated Production-Distribution Systems: Models and Methods, Operations Research, 36(2).* 1988. S. 216–228.
- Cooper, M. C., Lambert, D. M. und Pagh, J. D. 1997.** *Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics, in: International Journal of Logistics Management, Vol. 8, No. 1.* 1997. S. 2.
- Corsten, Hans. 2001.** *Supply Chain Management, Grundlagen und Konzept, in: Unternehmensnetzwerke.* München, Wien : Oldenbourg, 2001. S. 189-198.
- Delfmann, Werner. 1999.** *Kernelemente der Logistik-Konzeption.* Köln : Kölner Wissenschaftsverlag, 1999. S. 1.
- Dror, M. und Ball, M. 1987.** *Inventory/Routing: Reduction from An Annual To A Short Period, Naval Research Logistics, 34(6).* 1987. S. 891-905.
- Ehrmann, H. 1997.** *Logistik.* Ludwigshafen : Kiehl, 1997. S. 24.
- Federgruen, A. und Zipkin, P. 1984.** *A Combined Vehicle Routing and Inventory Allocation Problem, Operations Research, 32(5).* 1984. S. 1019-1037.
- Filz, B. u.a. 1989.** *Kennzahlensysteme für die Distribution.* Köln : TÜV Rheinland, 1989.
- Fleischmann, B. 2002.** *Systeme der Transportlogistik, in: Handbuch Logistik, Hrsg.: Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst. s.l. : Springer, 2002.* S. A1-13.
- Fleischmann, B. und Gietz, M. 2002.** *Transport- und Tourenplanung, in: Handbuch Logistik, Hrsg.: Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst. s.l. : Springer, 2002.* S. A3-45/46/51.
- Fortmann, K-M und Kallweit, A. . 2000.** *Logistik.* Stuttgart : Kohlhammer, 2000. S. 123.
- Freichel, Stephan Louis Klaus. 1992.** *Unternehmensführung und Logistik: Organisation von Logistikservice-Netzwerken, Theoretische Konzeption und empirische Fallstudien.* Berlin : Erich Schmidt Verlag, 1992. S. 8.
- Fumero und Vercellis, C. 1999.** *Synchronized Development of Production, Inventory, and Distribution Schedules, Transportation Science 33.* 1999. S. 330-340.
- Gebennini, E, Gamberini, R und Manzini, R. 2009.** *An integrated production–distribution model for the dynamic location and allocation problem with safety stock optimization. International Journal of Production Economics 122.* 2009. S. 286–304.

- Golden, B. L. und Wasil, E. A. 1987.** *Computerized vehicle routing in the soft drink industry.* *Operations Research* 35(1). 1987. S. 6–17.
- Göpfert, Ingrid. 2004.** *Einführung, Abgrenzung und Weiterentwicklung des Supply Chain Managements, in: Integriertes Supply Chain Management, Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse, Hrsg.: Axel Busch/Wilhelm Dangelmaier. 2.* Wiesbaden : Gabler Verlag, 2004. S. 28-36.
- Göpfert, Ingrid. 2002.** *Einführung, Abgrenzung und Weiterentwicklung des Supply Chain Managements, in: Integriertes Supply Chain Management, Theorie und Praxis effektiver unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse, Hrsg.: Axel Busch/Wilhelm Dangelmaier.* Wiesbaden : s.n., 2002. S. 32.
- Goyal, S. und Gupta, Y. 1989.** *Integrated Inventory Models: The Buyer-Vendor Coordination,* *European Journal of Operational Research*, 41. 1989. S. 261–269.
- Goyal, S.K. und Deshmukh, S.G. 1997.** *Integrated procurement- production system in a just-in-time environment-modelling and analysis, Production Planning & Control: The Management of Operations Volume 8, No. 1.* 1997. S. 31-36.
- Goyal, S.K. und Deshmukh, S.G. 1992.** *Integrated procurement-production systems: A review,* *European Journal of Operational Research* 62. 1992. S. 1-10.
- Gudehus, Timm. 2007.** *Logistik 2, Netzwerke, Systeme und Lieferketten. 3. s.l. : Springer, 2007. S. 945, 995.*
- Gudehus, Timm. 2010.** *Logistik-Grundlagen, Strategien, Anwendungen. 4. s.l. : Springer, 2010. S. 75-77, 132-133.*
- Hahn, D. 2002.** *Problemfelder des Supply Chain Management, in: Hahn u.a. (Hrsg., 2002).* 2002. S. 1064.
- Handfield, Robert B. und Nichols, Ernest L. 1999.** *Introduction to Supply Chain Management.* Upper Saddle River, New Jersey : Prentice-Hall, 1999. S. 2.
- Heusler, K. F. 2004.** *Implementierung von Supply Chain Management - Kernkompetenzorientierte Analyse aus der Perspektive eines Netzwerkakteurs, in: Eßig, M.; Stölzle, W. (Hrsg.): Supply Chain Management, 1 Auflage.* Wiesbaden : Deutscher Universitäts-Verlag, 2004.
- Hewitt, Fred. 1994.** *Supply Chain Redesign, in: The International Journal of Logistics Management 5, Heft 2.* 1994. S. 1-9.
- Housein, Tarak Ali . 2007.** *Optimizing Coordination Strategies in a Real Supply Chain: Simulation Approach.* Duisburg : s.n., 2007. S. 24.
- Ihde, Gösta B. 2001.** *Transport, Verkehr, Logistik. 3.* München : Vahlen, 2001.

- Ihde, Gösta B. 1991.** *Transport, Verkehr, Logistik: gesamtwirtschaftliche Aspekte und einzelwirtschaftliche Handhabung.* s.l. : Franz Vahlen, 1991. S. 22.
- Inderfurth, K. und Jensen, T. 2002.** *Lagerbestandsmanagement, in: Handbuch Logistik, Hrsg.: Arnold, Dieter; Isermann, Heinz; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst.* s.l. : Springer, 2002. S. A3-62/64.
- Isermann, H. . 1998.** *Logistik, Gestaltung von Logistiksystemen.* Landsberg : Moderne Industrie, 1998.
- Ishii, K., Takahashi, K. und Muramatsu, R. 1988.** *Integrated Production, Inventory and Distribution Systems, International Journal of Production Research, 26(3).* 1988. S. 473–482.
- Jünemann, Reinhardt. 1989.** *Materialfluss u. Logistik.* Berlin : Springer Verlag, 1989.
- Karrer, Michael. 2005.** *Supply Chain Performance Management, Entwicklung und Ausgestaltung einer unternehmensübergreifenden Steuerungskonzeption, in: Supply Chain Management, Hrsg.: M. Eßig; W. Stölzle.* Gabler Edition Wissenschaft : s.n., 2005. S. 15.
- Keenan, F. 2000.** *One Smart Cookie, BusinessWeek E.Biz.* 2000.
- Kerner, Axel. 2002.** *Modellbasierte Beurteilung der Logistikleistung von Prozessketten.* Dissertation. Universität Hannover. 2002. S. 7-10.
- King, R. und Love, R. 1980.** *Coordinating Decisions For Increased Profits, Interfaces, 10.* 1980. S. 4-19.
- Kleer, Michael. 1991.** *Unternehmensführung und Logistik: Gestaltung von Kooperationen zwischen Industrie- und Logistikunternehmen, Ergebnisse theoretischer und empirischer Untersuchungen.* Berlin : Erich Schmidt Verlag, 1991. S. 5.
- Kleywegt, Anton J., Nori, Vijay S. und Savelsbergh, Martin W. P. 2002.** *The Stochastic Inventory Routing Problem with Direct Deliveries, Transportation Science, vol. 36 no. 1.* 2002. S. 94-118.
- Kloth, M. 1999.** *Steuerung der Supply Chain auf Basis des SCOR-Modells, in: Effektives Supply Chain Management auf Basis von Standardprozessen und Kennzahlen, Hrsg.: J. Weber; M. Dehler.* Dortmund : s.n., 1999. S. 14.
- Kohn, Wolfgang. 2004.** *Statistik: Datenanalyse und Wahrscheinlichkeitsrechnung.* Springer, 2004. S. 81.
- Kotzab, H. 2001.** *Der Beitrag integrativer Logistikkonzepte zum Unternehmenserfolg - Kritische Bestandsaufnahme theoretischer und empirischer Befunde, in: Logistik MAnagement, 3. Jg., Heft 2,.* 2001. S. 17-33.
- Kotzab, H. 2000.** *Zum Wesen von Supply Chain Management vor dem Hintergrund der betriebswirtschaftlichen Logistikkonzeption-erweiterte Überlegungen, in: Supply Chain Management, Hrsg.: Wildemann, H.* München : TCW, 2000. S. 21-47.
- Krulis-Randa, J. S. 1977.** *Marketing-Logistik.* Bern : Haupt, 1977.

- Kuhn, Axel. 1995.** *Prozeßketten in der Logistik: Entwicklungstrends und Umsetzungsstrategien.* Praxiswissen. Dortmund. 1995
- Kuhn, A. und Kloth, M. 1999.** *Zukunftsstrategien und Veränderungstreiber der Logistik, in: Jahrbuch der Logistik, Hrsg.:R. Hossner.* 1999. S. 160.
- Kumar, A., Akella, R. und Cornuejols, G. 1990.** *Inventory/Production Decisions Under Uncertain But Bounded Demand Conditions with Implications For Supply Contracts, Working Paper, Graduate School of Industrial Administration, Carnegie Mellon, USA.* 1990.
- Kummer, Sebastian. 2009.** *Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik.* 2. s.l. : Pearson Studium, 2009. S. 266.
- Lambert, D. M., Emmelhainz, M. A. und Gardner, J. T. 1996.** *Developing and Implementing Supply Chain Partnership, in: The International Journal of Logistics Management 7, Heft 2.* 1996. S. 1.
- Lee, H. und Rosenblatt, M. 1986.** *A Generalized Quantity Discount Pricing Model to Increase Supplier's Profits, Management Science, 32(9).* 1986. S. 1177–1185.
- Liang, T.-F. 2008.** *Integrating production–transportation planning decision with fuzzy multiple goals in supply chains. International Journal of Production Research 46.* 2008. S. 1477–1494.
- Marbacher, A. 2001.** *Demand & Supply Chain Management.* Bern : s.n., 2001. S. 16-26.
- Melzer-Ridinger, Ruth. 2004.** *Materialwirtschaft und Einkauf: Beschaffung und Supply Chain Management, Band 1: Beschaffung und Supply Chain Management.* 4. s.l. : Oldenbourg, 2004. S. 292.
- Mentzer, J.T., et al. 2001.** *Defining Supply Chain Management, in: Journal of Business Logistics 22, Heft 2.* 2001. S. 18.
- Michel, Rudolf und Torspecken, Hans-Dieter. 1989.** *Grundlagen der Kostenrechnung, Kostenrechnung I.* 3. Auflage. Carl Hanser Verlag. München, 1989.
- Min, Hockey und Zhou, Gengui. 2002.** *Supply Chain Modeling: Past, Present and Future, Computers and Industrial Engineering, 43(-2).* 2002. S. 231-249.
- Monahan, J. P. 1984.** *A Quantity Discount Pricing Model to Increase Vendor Profits, Management Science, 30, 6.* 1984. S. 720–726.
- Nyhuis, Peter und Wiendahl, Hans-Peter. 2012.** *Logistische Kennlinien, Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen.* 3. Auflage. Springer. Berlin, Heidelberg. 2012
- Oboulhas, C., Xu, X. und Zhan, D. 2005.** *A Model for Multi-Plant Production Planning Coordination, The International Arab Journal of Information Technology, Vol. 2, No. 3.* 2005.

- Oliver, R. K. und Webber, M. D. 1982.** *Supply Chain Management: Logistics Catches up with Strategy*. Nachgedruckt in: Christopher, M. (Ed.): *Logistics: The Strategic Issues*, London 1992, pp. 63–75. 1982.
- Pfohl, Hans-Christian. 2004.** *Logistikmanagement, Konzeption und Funktionen*. 2. Berlin Heidelberg New York : Springer, 2004. S. 4-5.
- Pfohl, Hans-Christian. 2010.** *Logistiksysteme, Betriebswirtschaftliche Grundlage*. 8. s.l. : Springer, 2010. S. 4-6.
- Pfohl, Hans-Christian. 2000.** *Supply Chain Management: Konzept, Trends, Strategien*, in: *Supply Chain Management: Logistik plus? Logistikkette-Marketingkette-Finanzkette*, Hrsg: Pfohl, Unternehmensführung und Logistik. s.l. : Erich Schmidt Verlag, 2000. S. 1-42.
- Pfohl, Hans-Christian. 2004.** *Unternehmensführung und Logistik: Erfolgsfaktor Kooperation in der Logistik, Outsourcing-Beziehungsmanagement-Finanzielle Performance*. Berlin : Erich Schmidt Verlag, 2004. S. 13.
- Pundoor, G. 2002.** *Supply Chain Simulation Models for Evaluating the Impact of Rescheduling Frequencies*, MS 2002-9, Institute for Systems Research. University of Maryland : s.n., 2002.
- Qu, Wendy W., Bookbinder, James H. und Iyogun, Paul. 1999.** *An integrated inventory-transportation system with modified periodic policy for multiple products*, *European Journal of Operational Research* 115. 1999. S. 254-269.
- Roger, Philippe. 2010.** *Methoden des Logistikmanagements Controlling von Logistiksystemen*. Norderstedt Germany : GRIN, 2010.
- Roll, Thomas und Aldarrat, Hatem. 2007.** *Dosimis-3 User-Group*. SDZ GmbH, Dortmund, 2007.
- Romeijn, H.E., Shu, J. und Teo, C.P. 2007.** *Designing two-echelon supply networks*. *European Journal of Operational Research* 178. 2007. S. 449–462.
- Sarmiento, A. und Nagi, R. 1999.** *A Review of Integrated Analysis of Production Distribution Systems*, *IIE Transactions*,31(11). 1999. S. 1061-1074.
- Schmidt, G. und Wilhelm, E. Wilbert. 2000.** *Strategic, tactical and operational decisions in multinational logistics networks: a review and discussion of modelling issues*, *INT. J. PROD. RES.*, VOL. 38, NO. 7, 1501-1523. 2000.
- Schneeweiß, Ch. 1981.** *Modellierung industrieller Lagerhaltungssysteme*. Berlin : Springer, 1981. S. 3-6.
- Schönsleben, Paul. 2007.** *Integrales Logistikmanagement: Operations and Supply Chain Management in umfassenden Wertschöpfungsnetzwerken*. 5. s.l. : Springer, 2007. S. 57.

- Schönsleben, Paul. 2011.** *Integrales Logistikmanagement: Operations und Supply Chain Management, Operations und supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend.* 6. s.l. : Springer, 2011. S. 569.
- Schulte, Christof. 1999.** *Logistik-Wege zur Optimierung des Material- und Informationsflusses.* München : Vahlen, 1999. S. 371.
- Schulte, Gerd. 2001.** *Material- und Logistikmanagement.* 2. s.l. : Oldenbourg, 2001. S. 23-36/49-51/60-61/74/203-204/481.
- Schunk, Daniel und Plott, Beth. 2000.** *Using simulation to analyze supply chains, in: WSC'00 Proceedings of the 32nd Conference on Winter Simulation Conference, Hrsg.: Fishwick, Paul A.; Kang, Keeborn; Joines, Jeffrey A.; Barton, Russell R.* San Diego, CA, USA : Society for Computer Simulation International, 2000. S. 1095-1100.
- Schwarz, L., Ward, J. und Zhai, X. 2004.** *Joint Transportation-and-Inventory Problems in Supply Chains: A Review, Purdue university Working Papers.* 2004.
- SDZ GmbH. 2007.** *DOSIMIS-3 für MS-Windows, Version 4.3.* Dortmund : SimulationsDienstleistungsZentrum GmbH, 2007.
- Seeck, Stephan. 2010.** *Erfolgsfaktor Logistik: Klassische Fehler erkennen und vermeiden.* s.l. : Gabler, 2010. S. 80.
- Shen, Z.J. und Qi, L. 2007.** *Incorporating inventory and routing costs in strategic location models, European Journal of Operational Research* 179. 2007. S. 372–389.
- Shu, Jia, Teo, Chung-Piaw und Shen, Zuo-Jun Max. 2005.** *Stochastic Transportation-Inventory Network Design Problem, OPERATIONS RESEARCH, Vol. 53, No. 1.* 2005. S. 48–60.
- Silver, Edward A., Pyke, David F. und Peterson, Rein. 1998.** *Inventory Management and Production Planning and Scheduling.* 3. s.l. : Wiley, 1998. S. 30, 199.
- Simchi-Levi, David, Kaminsky, Philip und Simchi-Levi, Edith. 2003.** *Designing and managing the supply chain, concepts, strategies, and case studies.* 2. s.l. : McGraw-Hill, 2003. S. 32.
- Simchi-Levi, David, Kaminsky, Philip und Simchi-Levi, Edith. 2000.** *Designing and Managing the Supply Chain, concepts, strategies, and case studies.* 1. s.l. : McGraw-Hill, 2000.
- Simchi-Levi, David, Kaminsky, Philip und Simchi-Levi, Edith. 2004.** *Managing the Supply Chain: the definitive guide for the business professional.* s.l. : McGraw-Hill, 2004.
- Solyali, Oğuz, Cordeau, Jean-François und Laporte, Gilbert. 2012.** *Robust Inventory Routing Under Demand Uncertainty, Transportation Science* vol. 46 no. 3. 2012. S. 327-340.
- Song, Jin-Hwa und Savelsbergh, Martin. 2007.** *Performance Measurement for Inventory Routing, Transportation Science* vol. 41 no. 1. 2007. S. 44-54.

- Stevens, G. C. 1989.** *Integrating the Supply Chain, in: International Journal of Physical Distribution and Materials Management, 19.Jg., Nr. 8.* 1989. S. 3.
- Stölzle, W. 1999.** *Industrial Relationship.* München, Wien : Oldenbourg, 1999. S. 162-178.
- Tempelmeier, Horst. 2006.** *Bestandsmanagement in Supply Chains.* 2. s.l. : Books on Demand GmbH, Norderstedt, 2006. S. 101.
- ten Hompel, Michael und Schmidt, Thorsten. 2005.** *Warehouse Management, Automatisierung und Organisation von Lager- und Kommissioniersystemen.* 2. s.l. : Springer, 2005. S. 3-4.
- Thonemann, Ulrich. 2010.** *Operations Management: Konzepte, Methoden und Anwendungen.* 2. s.l. : Pearson Studium, 2010. S. 353.
- Tsiakis, P. und Papageorgiou, L.G. 2008.** *Optimal production allocation and distribution supply chain networks, International Journal of Production Economics 111(2).* 2008. S. 468–483.
- Vahrenkamp, Richard. 2011.** *Die Logistische Revolution, Der Aufstieg der Logistik in der Massenkongsumgesellschaft.* Frankfurt am Main : Campus, 2011.
- Vahrenkamp, Richard. 2005.** *Logistik: Management und Strategien.* 5. s.l. : Oldenbourg, 2005. S. 76-77.
- Vahrenkamp, Richard. 1999.** *Supply Chain Management, in:Handbuch Logistik. Management von MAterial- und Warenflussprozessen, Hrsg.v.J.Weber und H.Baumgarten.* Stuttgart : s.n., 1999. S. 308-321.
- Van der Vorst, J. G. A. J., Beulens, Adrie J. M. und van Beek, P. 1999.** *Modelling and simulating multi-echelon food systems, European Journal of Operational Research 122 (2000)* 354-366. 1999. S. 360.
- Van der Vorst, J. G. A. J., et al. 1998.** *Supply chain management in food chains: Improving performance by reducing uncertainty, International Transactions in Operational Research, Vol. 5, No. 6,.* 1998. S. 487-499.
- Vastag, A. und Schürholz, A. 2002.** *Distribution, in: Handbuch Logistik, Hrsg.: Arnold, Dieter; Isermann, Heinz ; Kuhn, Axel; Tempelmeier, Horst.* s.l. : Springer, 2002. S. B5-52.
- Viswanathan und Mathur, K. 1997.** *Integrating Routing and Inventory Decisions in One-Warehouse Multiretailer Multiproduct Distribution Systems, Management Science 43.* 1997. S. 294-312.
- Wannenwetsch, Helmut. 2004.** *Integrierte Materialwirtschaft und Logistik.* 2. s.l. : Springer, 2004. S. 1-20/259-261.
- Weber, J. 1990.** *Logistik-Controlling.* Stuttgart : s.n., 1990. S. 96.
- Weber, J. 1995.** *Logistik-Controlling.* 4. Stuttgart : Schäffer-Poeschel Verlag, 1995.

Werner, Hartmut. 2010. *Supply Chain Management, Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling*. 4. Wiesbaden : Gabler, 2010. S. 25.

Wildemann, Horst. 2010. *Logistik-Prozessmanagement*. 5. München : TCW, 2010.

Williams, J. 1981. *Heuristic Techniques for Simultaneous Scheduling of Production and Distribution in Multi-Echelon Structures: Theory and Empirical Comparisons*, *Management Science*, 27(3). 1981. S. 336-352.

Windt, K., et al. 2002. *Lenkung*, in: *Handbuch Logistik*, Hrsg.: Dieter Arnold, Heinz Isermann, Axel Kuhn, Horst Tempelmeiser. s.l. : Springer, 2002. S. B3-33.

Ziegenbein, Klaus. 2006. *Kompakt-Training Controlling*, Reihe: *Kompakt-Training Praktische Betriebswirtschaft*, Hrsg. Klaus Olfert. 3. s.l. : Kiehl, 2006. S. 137.

Zimmermann, W. 1989. *Operations Research*. 4. München : s.n., 1989. S. 393-397.

Zipkin, P. 1986. *Models For Design and Control of Stochastic, Multi-Item Batch Production Systems*, *Operations Research*, 34(1). 1986. S. 91–104.

Glossar

Exp**AohneDy%**: AX-, AY-, BX-Artikel als Residual-Stock, ohne Direktlieferung, y% LKW-Füllgrad ZL-RL

Exp**Ax%y%**: Entspricht Exp**AohneDy%**, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladepazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden

Exp**AlleohneDy%**: Alle Artikel stehen für den Residual-Stock zur Verfügung, y% LKW-Füllgrad ZL-RL, ohne Direktlieferung

Exp**Allex%y%**: Entspricht Exp**AlleohneDy%**, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladepazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden

Exp**ABohneDy%**: A- und B-Artikel Artikel als Residual-Stock, y% LKW-Füllgrad ZL-RL, ohne Direktlieferung

Exp**ABx%y%**: Entspricht Exp**ABohneDy%**, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladepazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden

Exp**BohneD**: Lieferung nach Bedarf, ohne Residual-Stock, ohne Direktlieferung

Exp**Bx%**: Entspricht Exp**BohneD**, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladepazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden

Exp**MohneDy%**: Gemischte Variante. Einige Regionalläger werden mit einer Residual-Stock-Strategie versorgt und andere ohne Residual-Stock-Strategie. AB-Artikel als Residual-Stock, ohne Direktlieferung, y% LKW-Füllgrad ZL-RL

Exp**Mx%y%**: Entspricht Exp**MohneDy%**, ab einer Bestellmenge von x% der LKW-Ladepazität erfolgt die Direktlieferung ZL-Kunden

DLL: Dynamic Link Library

LDL: Logistischer Dienstleister

LHK: Lagerhaltungskosten

NL: Niederlassung bzw. Regionallager

PLZ: Postleitzahl

PP: Palettenplatz oder Palettenplätze

RL: Regionallager oder Regionalläger

RL-Kunden: Lieferungen aus den Regionallägern an Kunden (Nachlauf)

WE, WA: Wareneingang, Warenausgang

ZL: Zentrallager oder Zentralläger

ZL-Kunden: Lieferungen aus den Zentrallägern an Kunden (Hauptlauf bei den Direktlieferungen)

ZL-RL: Lieferungen aus den Zentrallägern an die Regionalläger (Hauptlauf bei den Lieferungen über die Regionalläger)

Anhang

Anhang I Eingabedaten des Simulationsmodells

Eingabedaten des Simulationsmodells aus externen Dateien

Zuerst wurden Textdateien als Eingabedaten für das Simulationsmodell erstellt. Diese Textdateien unterstützen das Simulationsmodell mit wichtigen Informationen über die Standorte der ZL, der RL und der Kunden sowie über den Kundenbedarf, etc. Die Informationen werden vom Simulationsmodell gelesen und bearbeitet.

Einige Tabellen aus den Eingabedaten sind als Beispiele wie folgt dargestellt:

Gruppe 1 „Kunden xxx.txt“:

Die Textdateien in dieser Gruppe fassen die Informationen über die PLZ der Kunden sowie die Entfernung der Standorte der ZL, der RL und der Kunden zusammen, d.h. die Entfernung zwischen den 3 ZL, die Entfernung der 19 RL zu ihren Kunden, und die Entfernung der 3 ZL zu den 19 RL oder zu allen Kunden ist hier dargestellt. (5 RL haben nur Selbstabholer als Kunden, und die Entfernungen zwischen diesen 5 RL und ihren Kunden sind für diese Arbeit unnötig.)

Im Folgenden sind einige Teile aus den Tabellen als Beispiele aufgeführt.

RL-Nr.	Kunden-Nr.	Standorte der Kunden	PLZ	Entfernung des RL zu seinen Kunden (in km)
200	5	Ort 1	89257	0
200	6	Ort 2	86161	99
200	311	Ort 3	86169	95
200	333	Ort 4	87527	93

Tabelle 10: Entfernung eines RL zu einigen Standorten seiner Kunden und Kundeninfo.

ZL-Nr.	Kunden-Nr.	Standorte der Kunden	PLZ	Entfernung des ZL zu den Kunden (in km)
2	5	Ort 1	89257	653
2	6	Ort 2	86161	686
2	77	Ort 3	45144	204

Tabelle 11: Entfernung eines ZL zu einigen Standorten seiner Kunden und Kundeninfo.

ZL-Nr.	ZL-Nr.	Standorte der ZL	PLZ	Entfernung des ZL zu den anderen ZL (in km)
2	1	Ort 1	41516	270
2	2	Ort 2	49661	0
2	3	Ort 3	68647	443

Tabelle 12: Entfernung des ZL zu den Standorten anderer ZL und ZL-Informationen

ZL-Nr.	RL-Nr.	Standorte der RL	PLZ	Entfernung des ZL zu den RL (in km)
2	200	Ort 1	89299	653
2	300	Ort 2	79331	647
2	400	Ort 3	24768	270

Tabelle 13: Entfernung eines ZL zu einigen Standorten der RL und RL-Informationen

Gruppe 2: „Artikel.txt“:

Diese Textdatei „Artikel.txt“ beinhaltet Informationen über alle Produkte des Herstellers, wie Gewicht, Volumen, Material-Nr., Materialbeschreibung und Werk-Nr. sowie Informationen über die Ladeinheit, wie Beutel, Karton und Palette.

Gruppe 3: „Lagerkosten NL / ZL.txt“:

In den Textdateien „Lagerkosten ZL.txt“ und „Lagerkosten NL.txt“ werden die Informationen über prozessorientierte Kosten in den RL (NL) und ZL dargestellt. Dies sind die Handhabungskosten von

WE, WA, Kommissionierung und Auftragsvorbereitung. Des Weiteren ist hier festzustellen, ob in den Lägern grundsätzlich abgepackt oder kommissioniert wird, und ob eine Teillieferung zulässig ist.

Gruppe 4: „Frachtkosten xxx.txt“:

In den Textdateien der Gruppe 4 werden die Transportmatrizen mit den entsprechenden Frachtsätzen (Kostenstrukturen) präsentiert, wie den Kostensätzen zwischen verschiedenen Regionen mit Liefermengenrabatt und den LKW-Kapazitäten. Einige Teile der Transportmatrizen sind in nachfolgender Tabelle abgebildet.

LagerNr	Pal min	Pal max	Ziel	kg min	kg max	Km min	Km max	PLZ min	PLZ max	Frachtsatz	Per	Spedition
2	1	1	-1	0	0	0	0	0	9999	42.5	PAL	C
2	1	1	-1	0	0	0	0	10000	19999	42.5	PAL	C
2	1	1	-1	0	0	0	0	20000	29999	45	PAL	D
2	1	1	-1	0	0	0	0	30000	39999	41.5	PAL	C
2	1	1	-1	0	0	0	0	40000	49999	50.1	PAL	D
2	1	1	-1	0	0	0	0	50000	59999	41.5	PAL	C
2	1	1	-1	0	0	0	0	60000	69999	42.5	PAL	C
2	1	1	-1	0	0	0	0	70000	79999	42.5	PAL	C
2	1	1	-1	0	0	0	0	80000	89999	43.5	PAL	C
2	1	1	-1	0	0	0	0	90000	99999	42.5	PAL	C

Tabelle 14: Frachtsätze eines ZL an Kunden mit verschiedenen PLZ, Liefermenge 1 PP

LagerNr	Pal min	Pal max	Ziel	kg min	kg max	Km min	Km max	PLZ min	PLZ max	Frachtsatz	Per	Spedition
2	2	2	-1	0	0	0	0	0	9999	40	PAL	C
2	2	2	-1	0	0	0	0	10000	19999	40	PAL	C
2	2	2	-1	0	0	0	0	20000	29999	31	PAL	D
2	2	2	-1	0	0	0	0	30000	39999	39	PAL	C
2	2	2	-1	0	0	0	0	40000	49999	31	PAL	D
2	2	2	-1	0	0	0	0	50000	59999	39	PAL	C
2	2	2	-1	0	0	0	0	60000	69999	40	PAL	C
2	2	2	-1	0	0	0	0	70000	79999	41	PAL	C
2	2	2	-1	0	0	0	0	80000	89999	41	PAL	C
2	2	2	-1	0	0	0	0	90000	99999	41	PAL	C

Tabelle 15: Frachtsätze eines ZL an Kunden mit verschiedenen PLZ, Liefermenge 2 PP

LagerNr	Pal min	Pal max	Ziel	kg min	kg max	Km min	Km max	PLZ min	PLZ max	Frachtsatz	Per	Spedition
2	1	1	200	0	0	0	0	0	0	44	PAL	C
2	2	2	200	0	0	0	0	0	0	41,5	PAL	C
2	3	3	200	0	0	0	0	0	0	39	PAL	C
2	4	4	200	0	0	0	0	0	0	34,5	PAL	C
2	5	5	200	0	0	0	0	0	0	27,5	PAL	C
2	6	6	200	0	0	0	0	0	0	26,35	PAL	C
2	7	7	200	0	0	0	0	0	0	25,5	PAL	C
2	8	8	200	0	0	0	0	0	0	24,55	PAL	C
2	9	9	200	0	0	0	0	0	0	23,9	PAL	C
2	10	10	200	0	0	0	0	0	0	23,7	PAL	C
2	11	11	200	0	0	0	0	0	0	23,25	PAL	C
2	12	12	200	0	0	0	0	0	0	22,6	PAL	C
2	13	13	200	0	0	0	0	0	0	21,7	PAL	C
2	14	14	200	0	0	0	0	0	0	21,05	PAL	C
2	15	15	200	0	0	0	0	0	0	20,21	PAL	C
2	16	16	200	0	0	0	0	0	0	19,85	PAL	C
2	17	17	200	0	0	0	0	0	0	19,3	PAL	C
2	18	18	200	0	0	0	0	0	0	19,1	PAL	C
2	19	19	200	0	0	0	0	0	0	19,1	PAL	C
2	20	20	200	0	0	0	0	0	0	19	PAL	C
2	21	21	200	0	0	0	0	0	0	18,9	PAL	C
2	22	22	200	0	0	0	0	0	0	18,85	PAL	C
2	23	23	200	0	0	0	0	0	0	18,8	PAL	C
2	24	24	200	0	0	0	0	0	0	18,75	PAL	C
2	25	25	200	0	0	0	0	0	0	18,75	PAL	C
2	26	26	200	0	0	0	0	0	0	18,7	PAL	C
2	27	27	200	0	0	0	0	0	0	18,7	PAL	C
2	28	28	200	0	0	0	0	0	0	18,7	PAL	C
2	29	29	200	0	0	0	0	0	0	18,65	PAL	C
2	30	30	200	0	0	0	0	0	0	18,65	PAL	C
2	31	31	200	0	0	0	0	0	0	18,6	PAL	C
2	32	32	200	0	0	0	0	0	0	18,55	PAL	C
2	33	33	200	0	0	0	0	0	0	18,5	PAL	C
2	34	34	200	0	0	0	0	0	0	18,2	PAL	C
2	35	35	200	0	0	0	0	0	0	18	PAL	C
2	36	36	200	0	0	0	0	0	0	17,8	PAL	C
2	37	37	200	0	0	0	0	0	0	17,7	PAL	C
2	38	40	200	0	0	0	0	0	0	17,5	PAL	C

Tabelle 16: Frachtsätze eines ZL an ein RL, Liefermenge 1-40 PP

LagerNr	Pal min	Pal max	Ziel	kg min	kg max	km min	km max	Plz min	Plz max	Frachtsatz	Per
200	1	5	-1	0	0	0	0	0	0	19	PAL
200	6	6	-1	0	0	0	0	0	0	16,74	PAL
200	7	7	-1	0	0	0	0	0	0	15,57	PAL
200	8	8	-1	0	0	0	0	0	0	14,35	PAL
200	9	9	-1	0	0	0	0	0	0	13,63	PAL

Tabelle 17: Frachtsätze eines RL an Kunden, Liefermenge 1-9 PP

Gruppe 5: „Lagerspiegel xxx.txt“:

Dargestellt sind hier die Informationen über Artikel-Nr., Anfangsbestand (in Beutelanzahl), Bestellpunkt s (min. Beutelanzahl) und Bestellniveau S (max. Beutelanzahl) sowie der Zeitraum, wann diese Artikel in den 3 ZL und den 19 RL vorhanden sind.

Gruppe 6: „Bedarf xxx.txt“:

Die Informationen über den Kundenbedarf sind hier enthalten, wie Kunden-Nr., Artikel-Nr., Bestellmenge, Bestelldatum, Auftragstyp, die entsprechende Werk-Nr. sowie die Palettenvollmenge und -höhe.

Gruppe 7: „ABC xxx.txt“:

In diesen Textdateien sind die Informationen über die ABC-Klassifizierung der Artikel in den 19 RL zusammengestellt. Der Inhalt der Klasse A-Artikel kann nach Bedarf verändert werden, um die Experimente mit unterschiedlichem Residual-Stock zu realisieren. Mehr siehe Kapitel 10.

Eingabedaten des Simulationsmodells in den Parametermasken

Auf der Plattform Dosimis-3 für Supply-Chain-Modelle wurden zwei Schnittstellen mittels DLL (C++) entwickelt; dies sind die Parametermasken der Lagersteuerung und der globalen Einstellungen.

In der folgenden Abbildung ist eine Parametermaske der Lagersteuerung eines ZL dargestellt.

Abbildung 101: Parametermaske der Lagersteuerung eines ZL

Die in der **Lagersteuerung** der Zentralläger dargestellten Parameter sind wie folgt:

- Informationen über den ZL-Standort: Lager-Nr., -Typ und -Bezeichnung
- Stammdaten: Liste der Artikel, Lagerspiegel im ZL (min. und max. Bestand sowie Anfangsbestand), Kundeninformationen
- Informationen über Kosten: Frachtsätze, Auftrags- und Handhabungskostensätze im ZL
- Bestandsführung: mit oder ohne Bestandsführung

In den ZL existiert diese Option im Fallbeispiel nicht, da die ZL direkt an die Produktionsstätten angeschlossen sind und dort nach Bedarf produziert wird.

- Nachschub bzw. Befüllungspolitik: diese Option existiert in den ZL nicht

Die nachstehenden beiden Abbildungen zeigen die Parametermasken der Lagersteuerung eines RL ohne Residual-Stock und eines RL mit Residual-Stock.

Lager-Steuerung [X]

Lager-Nr: Lager-Typ: Bezeichnung:

Stammdaten

Lagerbestand:

Artikel:

ABC-Klasse:

Kunden:

Lagerbestand

maximale Produktionsmenge berücksichtigen

Bewegungsdaten

Produktion:

max. Prodmenge:

Aufträge:

Nachschub

Kosten

Lagerkosten:

Frachtkosten:

Sub-Niederlassung

Ist dem Lager-Nr. zugeordnet.

Version 2.4.2 vom 04.12.2009 14:42:08

Abbildung 102: Parametermaske der Lagersteuerung eines RL, ohne Residual-Stock

Lager-Steuerung [X]

Lager-Nr: Lager-Typ: Bezeichnung:

Stammdaten

Lagerbestand:

Artikel:

ABC-Klasse:

Kunden:

Lagerbestand

maximale Produktionsmenge berücksichtigen

Bewegungsdaten

Produktion:

max. Prodmenge:

Aufträge:

Nachschub

Kosten

Lagerkosten:

Frachtkosten:

Sub-Niederlassung

Ist dem Lager-Nr. zugeordnet.

Version 2.4.2 vom 04.12.2009 14:43:27

Abbildung 103: Parametermaske der Lagersteuerung eines RL, mit Residual-Stock

Die Parameter in der **Lagersteuerung** von Regionallägern sind wie folgt:

- Informationen über RL-Standort: Lager-Nr., -Typ und -Bezeichnung
- Stammdaten: Liste der Artikel, Lagerspiegel im RL (min. und max. Bestand sowie Anfangsbestand), Kundeninformationen, ABC-XYZ-Klassifizierung
- Bewegungsdaten: Kundenaufträge bzw. Kundenbedarf
- Informationen über Kosten: Frachtsätze, Auftrags- und Handhabungskostensätze im RL
- Bestandsführung: mit oder ohne Bestandsführung

Im RL wird die Option mit oder ohne Bestandsführung im Model vorgegeben.

- mit Bestandsführung: In der Simulation wird die Ware automatisch nachbestellt, wenn der Mindestbestand im Lager unterschritten wird. Das ist die traditionelle Weise.
- ohne Bestandsführung: Die Waren werden im RL nach Kundenbestellungen kommissioniert und dann direkt zu den Kunden ausgeliefert. Das nennt man auch Güterverteilzentrum oder Umschlagstelle.

- Nachschub bzw. Befüllungspolitik ZL-RL

Im RL sind zwei Nachschubstrategien vorgesehen:

- nur Bedarf: Pull-Konzept, ohne Residual-Stock
- x% volle LKW (A-Artikel): Nachschub mit Residual-Stock

Sortimentsentscheidung des Residual-Stocks:

Diese „A-Artikel“ können beliebig definiert werden, d.h. in den Eingabedateien „ABC xxx.txt“ werden die geplanten Artikel (Residual-Stock) als A-Artikel bezeichnet. Diese so genannten „A-Artikel“ werden dann als Residual-Stock in LKW (ZL-RL) aufgefüllt. Auf diese Weise lassen sich Transportaktivitäten mit unterschiedlichem Residual-Stock simulieren. Der Parameter x% ist in der Parametermaske „globale Einstellungen“ einstellbar.

Die Parametermaske der globalen Einstellungen wird in der folgenden Abbildung gezeigt.

globale Einstellungen

Batch-Modus Trace-Modus

Simulationsstartdatum: 25.10.2012

Mischpalette

Länge: 1200 mm Breite: 800 mm

Höhe: 2000 mm Nutzung: 90 %

Versandpalette

Palette abpacken > 50 % Vollpalette

Versand

max. Stellplatzhöhe: 2400 mm

max. Stapelhöhe: 2 Pal

Direktlieferung ab 4 Stellplätze

Auftragstypen

Volumen je Lademeter: 6 m³

Kapazität volle LKW: 100 %

Arbeitstage

Mo Di Mi Do Fr

Sa So

Ausgabeverzeichnis (muss existieren):

C:\SupplyChainSim\modell\Modell16.12\exp4

Speichern Abbrechen

Abbildung 104: Parametermaske der globalen Einstellungen

Die in der Parametermaske „**globale Einstellungen**“ dargestellten Parameter bestehen aus Informationen über Dimensionen der Mischpaletten (Länge, Höhe, Breite), Nutzungsgrad der Mischpalette, Abpacken bei der Versandpalette, Arbeitstage pro Woche, max. Stapelhöhe und max. Stellplatzhöhe im Versand und enthalten auch die Entscheidung über den Anteil an Direktlieferung und die Mengenentscheidung des Residual-Stocks (Kapazität volle LKW in %).

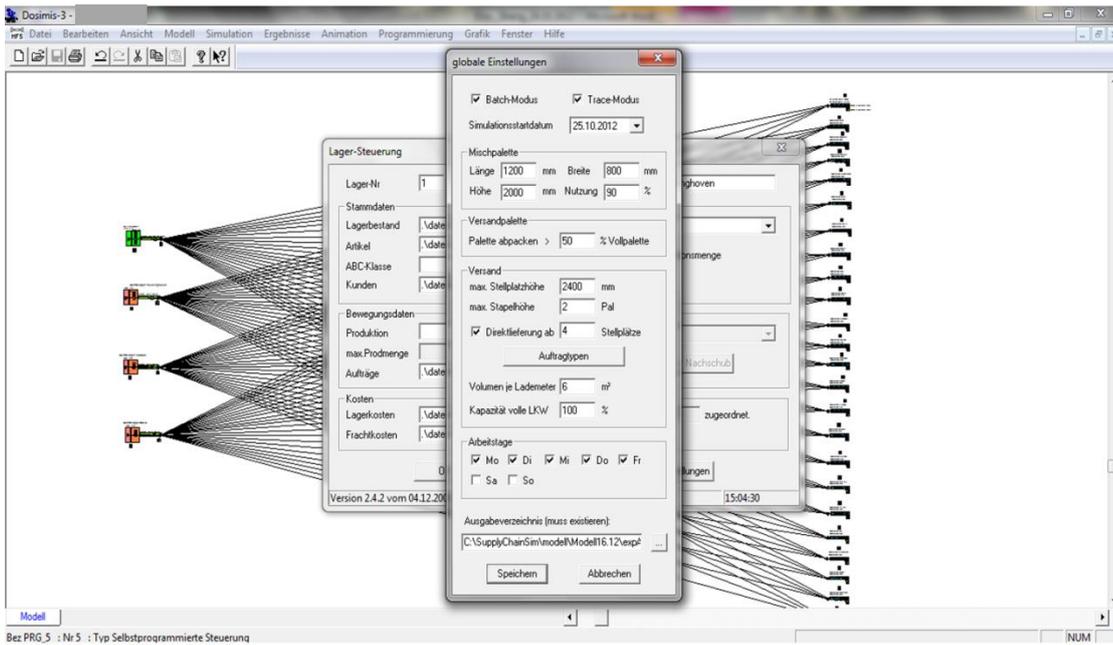


Abbildung 105: Schnittstellen des Simulationsmodells

Die zwei Schnittstellen bzw. die Parametermasken der Lagersteuerung und der globalen Einstellungen werden auf der Plattform Dosimis-3 in der obigen Abbildung aufgezeigt. Die Eingabe der oben beschriebenen Parameter bzw. Informationen erfolgt über diese beiden Parametermasken.

Anhang II Ausgabedaten des Simulationsmodells

Die Output-Dateien des Simulationsmodells sind im Folgenden aufgelistet (Roll, et al., 2007):

Touren: die durchgeführten Touren mit Startpunkt und Zielpunkt

Die Anzahl der Paletten und der Palettenplätze, Gewicht und Volumen der Produkte, die Transportkosten und die ausgewählte Spedition jeder Lieferung werden angegeben.

Kosten: die detaillierte Auflistung der Transport-, Auftrags- und Handhabungskosten nach Artikel in jedem Lager

Direktauftrag: Auflistung der Artikel, die direkt an Kunden geliefert wurden

Mengenfluss: Statistik des WEs und WAs für die Palettenbewegungen

Die aufgerundete Anzahl der Paletten jeder Lieferung wird angegeben.

Servicegrad: Servicegrad jedes Auftrags im Lager

In dieser Arbeit wird keine Fehlmenge in der Simulation zugelassen, daher beträgt der Servicegrad stets 100%.

Lagerspiegel: täglicher Lagerbestand (Palettenanzahl) während der Simulationszeit in jedem Lager

Tourtrace: detaillierte Auflistung der Artikel pro LKW-Tour

Zusätzlich zu den Daten der Touren-Datei werden noch der Palettentyp (Voll-, Misch- oder Anbruchpalette) und der auf der Palette belegte Platz mit ausgegeben.

Lagertrace: detaillierte artikelmäßige Auflistung des Lagerbestands in jedem Lager

Anhang III Füllgrad des Transportmittels

In dieser Arbeit beträgt die Kapazität des LKW 40 PP, d.h.

90% Füllgrad entspricht 36 PP

80% Füllgrad entspricht 32 PP

70% Füllgrad entspricht 28 PP

60% Füllgrad entspricht 24 PP

50% Füllgrad entspricht 20 PP

40% Füllgrad entspricht 16 PP

30% Füllgrad entspricht 12 PP

20% Füllgrad entspricht 8 PP

10% Füllgrad entspricht 4 PP

5% Füllgrad entspricht 2 PP

Kapazität und Füllgrad des LKWs sind durch die Eingabedatei und durch die Einstellung auf der Parametermaske des Simulationsmodells veränderbar.

Anhang IV Parametereinstellungen für das Simulationsmodell

Transportkosten:

Die Transportmatrizen ergeben sich aus der betrieblichen Praxis und sind in der Eingabedatengruppe „Frachtkosten xx.txt“ zu finden. Die Höhe der Frachtsätze kann man im Simulationsmodell jeder Zeit wie gewünscht ändern. Durch das Simulationsmodell ist es möglich, effizient herauszufinden, welche Auswirkungen veränderte Rahmenbedingungen haben, wie z.B. die Auswirkungen einer bestimmten Erhöhung der Frachtsätze.

Handhabungskosten:

In dieser Arbeit sind die Handhabungskosten im ZL und RL wie folgt festgestellt:

- Wareneingang im RL sowie Warenausgang im RL und ZL:
1,00€ pro Palette
- Kommissionierung im ZL bei der Direktlieferung (ZL-Kunden) und im RL:
Kosten der Kommissionierung (auch bei der Umpackung von Standard- auf Kundenpalette und Abpacken): 0,05€ pro Karton
- Kosten der Auslagerung der Vollpalette (keine Kommissionierung):
2,00€ pro Palette

In dieser Arbeit wird grundsätzlich nicht kommissioniert, sondern abgepackt und der Auftrag wird nur komplett ausgeliefert, es gibt also keine Teillieferung.

Die o.g. Angaben über Kostensätze und Bedingungen sind gemäß den Marktänderungen im Simulationsmodell schnell anpassbar, sodass die Handhabungskosten immer nach den neuesten Tarifinformationen kalkuliert werden.

Mit oder ohne Teillieferungen:

In der Eingabedateigruppe „Lagerkosten RL / ZL.txt“ müssen die beiden Liefervarianten festgelegt werden.

AuftragKompl 0: Teillieferungen zulässig, Kundenauftrag braucht nicht unbedingt vollständig sein, um ausgeliefert zu werden.

AuftragKompl 1: Kundenauftrag darf nur komplett ausgeliefert werden.

In dieser Arbeit wird „AuftragKompl 1“ festgestellt, bzw. eine Teillieferung ist hier nicht zulässig. Dies wird nach Kundenbedarf im Vertrag bestimmt. Dieser Parameter ist bei verändertem Kundenbedarf in der Eingabedatei jeder Zeit veränderbar.

Auftragskosten:

Der Auftragsbearbeitungskostensatz beträgt in dieser Arbeit 1,00 € pro Kundenauftrag und lässt sich nach Bedarf im Simulationsmodell verändern.

Bündelungsgrad / Anteil der Direktlieferung:

Die Angabe des Bündelungsgrads oder des Anteils der Direktlieferung ist im Simulationsmodell interpretiert und ist nach Bedarf einstellbar.

Residual-Stock:

Sortiment und Menge des Residual-Stocks ist durch die Eingabedatei und durch die Einstellung auf der Parametermaske des Simulationsmodells anpassbar.

Abmessungen und Stapelregel der Paletten:

Bei der Direktlieferung (ZL-Kunden) werden die kundenspezifischen Paletten im ZL bereitgestellt, und bei der Lieferung durch das RL werden solche kundenspezifischen Paletten erst im RL

zusammengestellt. Die Transportströme zwischen ZL und RL werden mit 2,4 m hohen Paletten realisiert.

Mischpaletten (RL-Kunden) besitzen folgende Dimensionen:

- Länge: 1,2 m
- Breite: 0,8 m
- Max. Höhe: 2.0 m
- Füllgrad: 90%

Alle Vollpaletten mit einer Höhe von weniger als 1,2 m und Mischpaletten mit einem Volumen < 50% können zweifach gestapelt werden. Die Anzahl der Paletten entspricht dann also nicht mehr der Anzahl der Palettenplätze (PP). Auf einem PP kann entweder eine Vollpalette (bis zu einer Höhe von 2,4 m), eine Mischpalette (bis zu einer Höhe von 2,0 m) oder zwei Paletten, die jeweils die Höhe von 1,2 m nicht überschreiten, transportiert werden.

Die Abmessungen und die Stapelregel der Paletten sind in den Parametermasken des Simulationsmodells einstellbar.

Artikelanzahl und Losgröße des Transportmittels:

Die Artikelanzahl kann durch die Inputdatei „artikel.txt“ und die Losgröße des Transportmittels durch die Inputdatei „Frachtkosten xx.txt“ verändert werden.