

## Forschungsbericht

Univ.-Prof. Dr. Michael ten Hompel (Herausgeber, Fraunhofer IML)  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Willibald A. Günthner (Herausgeber, Lehrstuhl fml)  
Dipl.-Ing. Eric Venn (Fraunhofer IML)  
Dipl.-Inf. (Univ.) Alexander Ulbrich (Lehrstuhl fml)

## Simulationsgestützte Grobplanung von Kommissioniersystemen

Schaffung einer simulationsgestützten Planungsumgebung zur Dimensionierung und Bewertung von Kommissioniersystemen mit mehreren Bearbeitungsstufen und heterogener technischer Ausführung unter Berücksichtigung der Wirkung veränderlicher Absatzstruktur-, Auftragsstruktur- und Sortimentsdaten auf die Planungsergebnisse.

*Dieses Vorhaben (Projekt-Nr. 14601N) ist aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) gefördert und im Auftrag der Bundesvereinigung Logistik e.V., Bremen, durchgeführt worden.*

Fraunhofer IML  
Name der Forschungsstelle I

14601 N  
AiF-Vorhaben-Nr.

Lehrstuhl fml  
Name der Forschungsstelle II

01.10.2005 bis 31.07.2007  
Bewilligungszeitraum

## Schlussbericht

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWA über die



geförderten Forschungsvorhaben:

Forschungsthema :

Simulationsgestützte Grobplanung von Kommissioniersystemen

Dortmund, den 15.11.2007  
Ort, Datum



Unterschrift des Projektleiters  
(Forschungsstelle I)

Garching, den 15.11.2007  
Ort, Datum



Unterschrift des Projektleiters  
(Forschungsstelle II)

## Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens ist eine Planungsumgebung konzipiert worden, die es ermöglicht, die in einer Grobplanung entstehenden Kommissioniersystemvarianten zu bewerten und entsprechend der geforderten Leistung zu dimensionieren.

Die konzipierte Planungsumgebung für die Grobplanung von Kommissioniersystemen ist dabei in drei Bereiche unterteilt. Der erste Bereich umfasst die Werkzeuge für die Datenvorbereitung auf Basis der Artikel- und Auftragsstruktur. Den mittleren Bereich bildet der Bausteinkasten mit Simulationsbausteinen, aus denen die zu betrachtenden Kommissioniersysteme zusammengesetzt werden. Im dritten und letzten Bereich sind die Berechnungsformeln für die Kennzahlen hinterlegt, welche automatisiert über die in der Simulation ermittelten Zeitdaten Kennzahlen ermitteln. Bei der Vorgehensweise der Kommissioniersystemplanung wurde der Fokus auf den Planer gelegt. Diese wird in Kapitel 2.2.4 erläutert. Sämtliche erforderliche Mechanismen, die während der Planung benötigt werden, sind im Kapitel 5 konzeptionell transparent und nachvollziehbar dokumentiert.

Für die Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Artikel- und Auftragsstrukturen sowie damit verbundene Sensitivitäten wurden Systemlastszenarien definiert. Über ein Systemlastszenario lassen sich prozentuale Veränderungen der Artikel- und Auftragsstruktur über Zeitreihen definieren und entsprechende Entwicklungen untersuchen. Der Aufbau dieses Prognosewerkzeuges ist in Kapitel 4 beschrieben.

Bereits bei der Abbildung des Kommissioniersystems ergibt sich für jeden konzipierten Simulationsbaustein eine Vielzahl an Einflussgrößen, die über Parameter entsprechend variiert werden können. Diese Parameter gehen oft über die Grenzen der Grobplanung hinaus, sind jedoch notwendig um einen entsprechenden Informationsfluss sowie die entsprechenden Lager- und Bewegungsstrategien in der Simulation berücksichtigen zu können. Wird bei der simulationsgestützten Planung lediglich die Artikel- und Auftragsstruktur als Haupteingangswert für die Systemlast variiert ohne darauf zu achten, ob das Kommissioniersystem in Form eines Modells optimal konfiguriert ist, sind die resultierenden Kennzahlen in der Regel nicht vergleichbar. Bereits die Variierung der Seriengröße bei der Auftragszusammenfassung oder eine variierte Zonenanzahl kann die resultierenden Ergebniswerte massiv beeinflussen. Aus diesem Grund lassen sich auch keine allgemein gültigen Gestaltungsregeln ermitteln sondern nur in Abhängigkeit definierter Randbedingungen angeben.

Um einen hohen Praxisbezug sicherzustellen und die umgesetzten Algorithmen und Mechanismen der Datenverarbeitung zu validieren wurden insgesamt vier Referenzszenarien mit der geschaffenen Planungsumgebung untersucht und je nach definierter Planungsaufgabe bewertet. Damit möglichst viele der unterschiedlichen Mechanismen geprüft werden können, wurden neben zwei realen Kommissioniersystemen auch zwei fiktive Szenarien aufgestellt, die die Gesamtuntersuchung optimal ergänzen. Die Vorgehensweisen in den jeweiligen Szenarien und die unter den gegebenen Randbedingungen erzielten Ergebnisse sind in Kapitel 6 nachvollziehbar dargestellt.

Die für die jeweiligen Textabschnitte verantwortliche Forschungsstelle, Institut für Materialfluss und Logistik (IML) / Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss und Logistik (fml), ist in der Überschrift gekennzeichnet.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde damit erreicht.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>8</b>
1.1	Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung	8
1.2	Forschungsziel	9
1.3	Angestrebte Forschungsergebnisse	9
1.3.1	Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse	10
1.4	Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels	11
<b>2</b>	<b>GRUNDLAGEN</b>	<b>15</b>
2.1	Grundlagen für die Planung von Kommissioniersystemen (IML)	15
2.1.1	Definition und Grundbegriffe der Kommissionierung (IML)	15
2.1.2	Abgrenzung des Betrachtungsobjektes Kommissioniersystem (IML)	16
2.1.3	Gängige Kommissioniersysteme in der Praxis (IML)	18
2.1.4	Abgrenzung Grobplanung vs. Feinplanung (IML)	21
2.2	Softwaretechnische Grundlagen	23
2.2.1	Definition und Anwendungsfelder der Simulation (IML)	23
2.2.2	Vor- und Nachteile marktgängiger Simulationsumgebungen (IML)	24
2.2.3	Vorgehensweise bei der Bildung eines Simulationsbausteins (IML)	28
2.2.4	Konzipierung eines Datenbankschemas (fml)	29
2.2.4.1	Allgemeine Begriffsdefinitionen	30
2.2.4.2	Normalformen	30
2.2.4.3	Strukturregeln	30
2.2.4.4	Entity-Relationship Modellierung	31
2.2.4.5	Strukturierte Entity-Relationship Modellierung	31
2.3	Grundlagen der Bewertung (fml)	32
2.3.1	Kennzahlen	32
2.3.2	Kostenvergleichsmethode	32
2.3.3	Kapitalwertmethode	32
2.3.4	Nutzwertanalyse	33
2.3.5	Sensitivitätsanalyse	33
<b>3</b>	<b>VORGEHENSWEISE BEI DER SIMULATIONSGESTÜTZTEN PLANUNG VON KOMMISSIONIERSYSTEMEN (FML)</b>	<b>34</b>
3.1	Simulationsgerechte Datenvorbereitung (fml)	35
3.2	Spezifikation standardisierter Planungsbausteine (IML)	36
3.2.1	Typ 1 – konventionelles Kommissionieren	38
3.2.2	Typ 2 – Zone-Picking mit statischer Artikelbereitstellung	40
3.2.3	Typ 3 – Bedienstation mit dynamischer Artikelbereitstellung	41
3.2.4	Typ 4 – Inverses Kommissionieren	43
3.2.5	Typ 5 – mobiles Kommissionieren mit statischer Bereitstellung von Artikeln und Aufträgen	45
3.2.6	Typ 6 – zentrales Kommissionieren mit festen Abgabepätzen	46
3.3	Prozessmodell Simulationsbausteine (IML)	47
3.3.1	Prozess des Preprozessing	48
3.3.2	Prozess der Ressourcendimensionierung	48
3.3.3	Ablaufprozess der Aufträge und des Auftragsbehälters	49
3.3.4	Ablaufprozess der Kommissionierung	49
3.3.5	Ablaufprozess mit dynamischer Bereitstellung	50

3.3.6 Ablaufprozess des Splittens und Verteilens	50
3.3.7 Ablaufprozess des Zusammenführens	51
<b>3.4 Ermittlung von Kennzahlen (fml)</b>	<b>51</b>
3.4.1 Leistungskennzahlen	51
3.4.2 Qualitätskennzahlen	52
3.4.3 Investitionskennzahlen	52
3.4.4 Kostenkennzahlen	52
<b>4 DIMENSIONEN DER PLANUNGSAUFGABE (FML)</b>	<b>54</b>
<b>4.1 Planungsprojekt (fml)</b>	<b>54</b>
<b>4.2 Systemlastszenario (fml)</b>	<b>54</b>
<b>4.3 Experimentablauf (IML)</b>	<b>56</b>
<b>5 ARCHITEKTUR DER PLANUNGSUMGEBUNG (FML)</b>	<b>58</b>
<b>5.1 Datenhaltung (fml)</b>	<b>59</b>
<b>5.2 Datenvorbereitungsphase</b>	<b>59</b>
5.2.1 Modul Datenimport (fml)	59
5.2.1.1 Eingangsdaten	59
5.2.1.2 Prozess	59
5.2.1.3 Ergebnis	60
5.2.2 Modul Systemlastszenario (fml)	60
5.2.2.1 Eingangsdaten	60
5.2.2.2 Prozess	61
5.2.2.3 Ergebnis	61
5.2.3 Modul Artikelgenerator (fml)	62
5.2.3.1 Submodul ArtikelUnveränderlich	63
5.2.3.1.1 Eingangsdaten	63
5.2.3.1.2 Prozess	63
5.2.3.1.3 Ergebnis	64
5.2.3.2 Submodul ArtikelVeränderlichPeriode	64
5.2.3.2.1 Eingangsdaten	65
5.2.3.2.2 Prozess	65
5.2.3.2.3 Ergebnis	65
5.2.4 Modul Lieferauftragsgenerator (fml)	65
5.2.4.1 Eingangsdaten	67
5.2.4.2 Prozess	67
5.2.4.3 Ergebnis	69
5.2.5 Modul Artikelgruppenerzeugung (fml)	69
5.2.5.1 Eingangsdaten	70
5.2.5.2 Prozess	71
5.2.5.3 Ergebnis	71
5.2.6 Modul Modellierungs- und Dimensionierungsumgebung (IML)	71
5.2.6.1 Eingangsdaten	71
5.2.6.2 Prozess	72
5.2.6.3 Ergebnis	79
5.2.7 Modul Lagerspiegelerzeuger (fml)	79
5.2.7.1 Eingangsdaten	80
5.2.7.2 Prozess	80
5.2.7.3 Ergebnis	84
5.2.8 Modul Behälterauftragserzeuger (fml)	84
5.2.8.1 Eingangsdaten	84
5.2.8.2 Prozess	85
5.2.8.3 Ergebnis	86
5.2.9 Modul Batchbildung (fml)	86
5.2.9.1 Eingangsdaten	86

5.2.9.2	Prozess	86
5.2.9.3	Ergebnis	88
5.2.10	Modul Serienbildung (fml)	88
5.2.10.1	Eingangsdaten	88
5.2.10.2	Prozess	88
5.2.10.3	Ergebnis	91
5.2.11	Modul Reihenfolgebildung (fml)	91
5.2.11.1	Eingangsdaten	91
5.2.11.2	Prozess	91
5.2.11.3	Ergebnis	92
5.2.12	Modul Bearbeitungsaufträge (fml)	92
5.2.12.1	Eingangsdaten	92
5.2.12.2	Prozess	92
5.2.12.3	Ergebnis	93
5.2.13	Modul Zusammenführungsaufträge (fml)	93
5.2.13.1	Eingangsdaten	93
5.2.13.2	Prozess	93
5.2.13.3	Ergebnis	94
5.2.14	Ergebnis der Datenvorbereitung (fml)	94
<b>5.3</b>	<b>Simulationsphase (IML)</b>	<b>96</b>
5.3.1	Modul Preprozessing	96
5.3.1.1	Eingangsdaten	96
5.3.1.2	Prozess	96
5.3.1.2.1	Ermittlung der Basiszeiten	96
5.3.1.2.2	Ermittlung der Greifzeiten	96
5.3.1.2.3	Ermittlung der Wegzeiten	98
5.3.1.2.4	Ermittlung der laufenden Seriennummer	100
5.3.1.2.5	Ermittlung des Bereichs und des Simulationslaufs	100
5.3.1.3	Ergebnis	101
5.3.2	Modul Ressourcendimensionierung	101
5.3.2.1	Eingangsdaten	101
5.3.2.2	Prozess	101
5.3.2.3	Ergebnis	101
5.3.3	Simulationsmodul Ressourcenverwaltung	101
5.3.3.1	Baustein Ressourcen Quelle	101
5.3.3.2	Baustein Ressourcen Initialisierung	102
5.3.3.2.1	Eingangsdaten	102
5.3.3.2.2	Prozess	102
5.3.3.3	Baustein Ressource Disposition	102
5.3.3.4	Baustein Ressourcen Senke	103
5.3.3.4.1	Prozess	103
5.3.3.4.2	Ergebnis	103
5.3.3.5	Objekt Ressource	103
5.3.4	Modul Systemgenerierung	104
5.3.4.1	Baustein Kommissioniersysteminitialisierung	104
5.3.4.2	Globale Verhaltensfunktionalität im Simulationsmodell	105
5.3.4.2.1	Baustein freigabe	105
5.3.4.2.2	Auftragszuordnung	105
5.3.4.2.3	Bausteinannahme	106
5.3.4.2.4	Baustein Ausgang	106
5.3.4.2.5	Objektzustand	106
5.3.4.2.6	Zielsteuerung für Systeme mit Umlauf	107
5.3.4.2.7	Zielsteuerung für Systeme ohne Umlauf	109
5.3.4.2.8	Kommissionierungsbeginn	111
5.3.4.2.9	Baustein Zustand	111
5.3.4.2.10	Kommissionierungsende	111
5.3.4.2.11	Kommissionierplatzeingang	111
5.3.4.3	Globale Schnittstellenfunktionalität im Simulationsmodell	112
5.3.4.3.1	Funktion Datenbankreset	112
5.3.4.3.2	Funktion Datenbankupdate Bearbeitungsauftrag	112
5.3.4.3.3	Funktion Datenbankupdate Ressource	112

5.3.4.3.4	Funktion Datenbankupdate Bereichseingang	112
5.3.4.3.5	Funktion Datenbankupdate Bereichsausgang	112
5.3.5	Modul Kommissionierung	112
5.3.5.1	Bereichsquelle	112
5.3.5.2	Bypass	112
5.3.5.3	Ausgang	113
5.3.5.4	Umlauf	113
5.3.5.5	Verzweigung	113
5.3.5.6	Arbeitsplatz	113
5.3.6	Modul Zusatzfunktionalität für dynamische Bereitstellung	113
5.3.6.1	Eingangsdaten	113
5.3.6.2	Prozess	114
5.3.7	Modul Splitter und Verteiler	116
5.3.7.1	Eingangsdaten	116
5.3.7.2	Prozess	116
5.3.7.3	Ergebnis	116
5.3.8	Modul Zusammenführung	116
5.3.8.1	Eingangsdaten	116
5.3.8.2	Prozess	116
5.3.8.3	Ergebnis	116
<b>5.4</b>	<b>Phase der Kennzahlenermittlung (fml)</b>	<b>117</b>
5.4.1	Eingabe zusätzlich benötigter Invest- und Kostenparameter	117
5.4.2	Ermittlung der Kapitalwerte	120
5.4.2.1	Berechnung des Kapitalwertes für eine Entwicklung	120
5.4.2.2	Kostenkennzahlen	124
5.4.2.3	Zeiten für die Bewertung	126
<b>6</b>	<b>REFERENZSZENARIEN</b>	<b>134</b>
<b>6.1</b>	<b>Referenzszenario I: konventionelles vs. Kommissionieren in Zonen (Fa. Pöppelmann)</b>	<b>134</b>
6.1.1	Definitionen	135
6.1.1.1	Modellunabhängige Ausgangsdaten (fml)	135
6.1.1.2	Modell „konventionelle Kommissionierung“ (IML)	137
6.1.1.3	Modell „Kommissionieren in Zonen“ (IML)	138
6.1.2	Datenvorbereitung	138
6.1.2.1	Modellunabhängige Datengenerierung (fml)	138
6.1.2.2	Modellbildung „konventionelle Kommissionierung“ (IML)	141
6.1.2.3	Modellbildung „Kommissionieren in Zonen“ (IML)	145
6.1.2.4	Datenaufbereitung und –optimierung „konventionelle Kommissionierung“ (fml)	146
6.1.2.5	Datenaufbereitung und –optimierung „Kommissionieren in Zonen“ (fml)	147
6.1.3	Simulation (IML)	147
6.1.3.1	Ergebnisse des Preprozessings und Ressourceneinsatz	147
6.1.3.2	Simulationsmodell „konventionelle Kommissionierung“	149
6.1.3.3	Simulationsmodell „Kommissionieren in Zonen“	150
6.1.4	Ergebnis (fml)	151
6.1.4.1	Schlussfolgerungen (fml)	155
<b>6.2</b>	<b>Referenzszenario II: serielle vs. parallele Organisationsform (Fa. Ludwig Meister)</b>	<b>156</b>
<b>6.3</b>	<b>Definitionen</b>	<b>156</b>
6.3.1.1	Modellunabhängige Ausgangsdaten (fml)	156
6.3.1.2	Modell „serielle Organisation“ (IML)	160
6.3.1.3	Modell „parallele Organisation“ (IML)	160
6.3.2	Datenvorbereitung	160
6.3.2.1	Modellunabhängige Datengenerierung (fml)	160
6.3.2.2	Modellbildung „serielle Organisation“ (IML)	166
6.3.2.3	Modellbildung „parallele Organisation“ (IML)	168
6.3.2.4	Datenaufbereitung und –optimierung „serielle Organisation“ (fml)	168
6.3.2.5	Datenaufbereitung und –optimierung „parallele Organisation“ (fml)	169
6.3.3	Simulation (IML)	169
6.3.3.1	Ergebnisse des Preprozessings und Ressourceneinsatz	169

6.3.3.2	Simulationsmodell „serielle Organisation“ und „parallele Organisation“	174
6.3.4	Ergebnis (fml)	175
6.3.4.1	Schlussfolgerungen (fml)	178
<b>6.4</b>	<b>Referenzszenario III: optimale Zonenanzahl beim Kommissionieren in Zonen</b>	<b>178</b>
6.4.1	Definitionen (IML)	178
6.4.1.1	Modellunabhängige Ausgangsdaten	178
6.4.2	Datenvorbereitung	179
6.4.2.1	Modellunabhängige Datengenerierung (fml)	179
6.4.2.2	Modellbildung (IML)	181
6.4.2.3	Datenaufbereitung und –optimierung (fml)	182
6.4.3	Simulation (IML)	182
6.4.3.1	Modellierung Zone-Picking	182
6.4.3.2	Ergebnisse des Preprozessing und Ressourceneinsatz	183
6.4.3.3	Simulationsdurchführung	185
6.4.3.4	Erkenntnisse aus den Simulationen	186
6.4.4	Ergebnis (fml)	188
6.4.4.1	Schlussfolgerungen (fml)	190
<b>6.5</b>	<b>Referenzszenario IV: ein- vs. zweistufige Kommissionierung</b>	<b>191</b>
6.5.1	Definitionen	191
6.5.1.1	Modellunabhängige Ausgangsdaten (IML / fml)	191
6.5.1.2	Modell „einstufige Kommissionierung“ (IML)	192
6.5.1.3	Modell „zweistufige Kommissionierung“ (IML)	192
6.5.2	Datenvorbereitung	192
6.5.2.1	Modellunabhängige Datengenerierung (fml)	192
6.5.2.2	Modellbildung „einstufige Kommissionierung“ (IML)	195
6.5.2.3	Modellbildung „zweistufige Kommissionierung“ (IML)	195
6.5.2.4	Datenaufbereitung und –optimierung „einstufige Kommissionierung“ (fml)	196
6.5.2.5	Datenaufbereitung und –optimierung „zweistufige Kommissionierung“ (fml)	198
6.5.3	Simulation (IML)	201
6.5.3.1	Modell „einstufige Kommissionierung“	201
6.5.3.2	Modell „zweistufige Kommissionierung“	202
6.5.4	Ergebnis (IML)	202
6.5.4.1	Vergleich „einstufige Kommissionierung“ vs. „zweistufige Kommissionierung“	202
6.5.4.2	Schlussfolgerungen	206
<b>7</b>	<b>ABLEITUNG VON GESTALTUNGSREGELN (IML/FML)</b>	<b>208</b>
<b>8</b>	<b>ERKENNTNISSE ZUR SIMULATIONSGESTÜTZTEN GROBPLANUNG</b>	<b>209</b>
8.1	Ausgestaltung einer simulationsgestützten Planungsumgebung	209
8.2	Anwendung der Simulation in der Grobplanungsphase	209
8.3	Einblick in Detailprobleme	209
<b>9</b>	<b>AUSBLICK</b>	<b>211</b>
<b>I</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>213</b>
<b>II</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>214</b>
<b>III</b>	<b>ANHANG</b>	<b>218</b>



# 1 Einleitung

## 1.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Die Kommissionierung als Bestandteil des logistischen Gesamtsystems, ist in den letzten Jahren immer aufwendiger geworden. Kleiner werdende Bestellmengen bei gleichzeitig höherer Lieferfrequenz bestimmen das Umfeld verbunden mit steigenden Anforderungen an die Lieferqualität, wie z.B. der Wunsch nach kürzeren Lieferzeiten.

Darüber hinaus sind parallel die Anforderungen an deren Flexibilität gestiegen. Das Auslaufen oder der Neuabschluss von Lieferverträgen, Veränderungen im Sortiment oder die Umstellung von Großhandelsversand auf Direktbelieferung des Endkunden (z.B. im Pharmaversand) kann die Kommissionieraufgabe völlig verändern.

Diese Situation stellt besondere Anforderungen an die Planung von Lager-, Kommissionier- und Versandsystemen. Es zeigt sich, dass die genannten Anforderungen in „einfach“ strukturierten Systemen nicht umzusetzen sind. Moderne Kommissioniersysteme erfüllen die genannten Anforderungen dadurch, dass die eingesetzte Technik sowie die eingesetzte Organisation differenziert und somit in Kombination angewandt werden muss. Dadurch ergeben sich komplexe Kommissioniersysteme mit heterogenen Strukturen.

Für die Planung einzelner Funktionsbereiche steht eine Vielzahl von Informationsquellen zur Verfügung. Keine bekannte Veröffentlichung schildert hingegen ein Verfahren, in dem ein gegebenes Artikelsortiment mit den dazugehörigen Artikel- und Auftragsdaten, die die Systemlast bestimmen, auf Funktionsbereiche unterschiedlicher Art nach definierten Entscheidungskriterien und kostenoptimal aufgeteilt wird. Es wird immer nur ein Funktionsmodul beschrieben. Bei einem Kommissioniersystem, das verschiedene Kommissionierzonen mit unterschiedlichen Techniken und gegebenenfalls sogar unterschiedlichen Varianten im Auftragsdurchlauf aufweist, reichen die bekannten Auswahl- und Berechnungsverfahren nicht aus. Aktuellere Veröffentlichungen gehen unter dem Aspekt Kennzahlen auf die Thematik ein, beschäftigen sich allerdings ebenfalls nur mit Teilaspekten. Aufgrund der vorhandenen Kontakte u.a. zum Georgia-Institute of Technology in Atlanta / USA gehen die Antragssteller davon aus, dass niemand an einem ganzheitlich systemgestaltenden Ansatz arbeitet. Die in Japan und USA behandelten Problemstellungen sind an mathematischen Modellen (Operations Research) oder an technischen Einzelproblemen (Software für optimale Packmuster, Video Imaging) orientiert.

Die Auswirkung von veränderlichen Absatzstruktur-, Auftragsstruktur- und Sortimentsdaten auf die Planungsergebnisse sind ebenfalls noch nicht grundlegend untersucht.

Probleme bei der Umsetzung von Planungsergebnissen entstehen insbesondere dabei,

- die zu kommissionierenden Artikel anhand ihrer leistungsrelevanten Eigenschaften (Entnahmehäufigkeit, bereitzustellendes Volumen, Verteilung der Entnahmemenge auf Verpackungseinheiten) konkreten Lager- und Kommissionierbereichen zuzuordnen,
- geeignete Regeln zur Steuerung der Auftragsfreigabe und Reihenfolgebildung zu finden,
- Durchlaufzeiten der Aufträge zu bestimmen und die durch die Synchronisierung der Auftragsdurchläufe entstehenden Wartezeiten zu quantifizieren und deren Auswirkung auf die Gesamtsystemleistung zu ermitteln,
- die Nachschubmengen, Entnahmemengen und –zeiten aufeinander abzustimmen,
- und Varianten in der Auftragssteuerung und –zuordnung zu bewerten.

Die Erfahrung aus einer Vielzahl durchgeführter Projekte zeigt, dass die oben aufgeführten Varianten von Kommissioniersystemen im Verlauf einer Standard-Systemplanung nur grob untersucht werden können. Die genaue Überprüfung geschieht nur, wenn die Simulation zum Einsatz kommt, was in der Regel die Projektkosten für KMU in ein nicht vertretbares Maß erhöht.

Hierin ist einer der Hauptnutzen der Projektergebnisse zu sehen: es sollen zum einen gerade so viele unterschiedliche Kommissioniersysteme modellhaft abgebildet werden, das ein möglichst hoher Abdeckungsgrad der in der Praxis bei KMU vorkommenden Systemvarianten erreicht wird. Zum anderen können mit geringem Modellierungsaufwand unterschiedlichste Systemvarianten, wie in einem Planspiel untersucht und bewertet werden. Dadurch wird ein sehr komplexes Gebiet der Planung von Kommissioniersystemen im Rahmen der Konzeptplanung speziell für KMU greifbar und die in der Theorie z.T. schon vorhandenen Erkenntnisse nutzbar gemacht.

Gerade dadurch, dass bislang eine allgemeingültige Gestaltungsweise fehlte, war die Qualität des Planungsergebnisses im starken Maße von der Erfahrung der am Planungsprozess beteiligten Personen abhängig. Um bezüglich einer Gestaltung von heterogen strukturierten Lager- und Kommissioniersystemen eine Allgemeingültigkeit zu erreichen, ist die Integration der Erfahrungen beider Forschungsstellen zur Generierung von synergetischen Effekten durch eine differenzierte Betrachtungsweise erforderlich.

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens sind grundlagen- und verfahrensorientiert.

## 1.2 Forschungsziel

Das Forschungsziel ist die Schaffung einer simulationsgestützten Planungsumgebung zur Dimensionierung und Bewertung von heterogenen mehrstufigen Kommissioniersystemen in der Grobplanungsphase. Dabei soll eine Auswahl sowohl der einzusetzenden Techniken wie auch der Organisationsform der Kommissionierung erfolgen, die als Grundlage nicht nur die momentane Ist-Datenbasis der Planung betrachtet, sondern auch potentielle Veränderungen in Absatzstruktur-, Auftragsstruktur- und Sortimentsdaten in die Lösungsfindung mit einbezieht und bewertet.

## 1.3 Angestrebte Forschungsergebnisse

Im ersten Schritt werden die in der Praxis relevant vorkommenden Kommissioniersysteme ermittelt. Ergebnis hiervon ist eine Systematik aller Komponenten, aus denen heterogen Gesamtsysteme aufgebaut werden. Diese Teilkomponenten werden in allgemein gültige Referenzsysteme abgebildet.

Die gesamte Kommissionieraufgabe aller Aufträge ist in den meisten Fällen äußerst vielfältig und komplex. Deshalb kann eine Teilkomponente mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen immer nur einen bestimmten Bereich dieser Aufgabe technisch und wirtschaftlich sinnvoll erfüllen. Zur Bewältigung der Gesamtaufgabe ist somit immer ein Zusammenspiel mehrerer Teilkomponenten nötig. Hierbei entsteht eine enorme Menge an Kombinationsmöglichkeiten die aufgrund ihrer Komplexität und Wechselwirkungen untereinander sehr schwer vergleichbar sind. Das angestrebte Forschungsziel ist deshalb eine Planungsumgebung mit Simulationsunterstützung zu schaffen, die eine kapazitäts- und leistungsmäßige Auslegung eines Gesamtsystems in der Grobplanungsphase ermöglicht. Die auf den Referenzsystemen entwickelte Planungsumgebung beinhaltet:

- Integration Datenanalyse
- Blocklayout
- Simulation

Auf der Basis dieser Planungsumgebung werden Untersuchungen mit dem Ziel der Generierung allgemeiner Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen für heterogen strukturierte Kommissioniersysteme durchgeführt. Diese sollen es dem Anwender ermöglichen in der Grobplanungsphase eine Auswahl der Teilkomponenten ggf. auch ohne Simulationsunterstützung zu treffen.

Ein weiteres entscheidendes Kriterium bei der Auswahl der Teilkomponenten ist deren Flexibilität bei Veränderungen der Anforderungen an das Kommissioniersystem. Die Untersuchungen sollen hierbei Aufschluss über das Verhalten der Systeme bezüglich Wirtschaftlichkeit und logistischer Leistungsgrößen wie Kommissionierleistung, Durchlaufzeiten oder Termintreue bei Veränderung der

- Absatzstrukturdaten
- Auftragsstrukturdaten
- Sortimentsdaten

geben.

Durch die Nutzung der Forschungsergebnisse werden die Ergebnisse des Planungsprozesses transparent und reproduzierbar, der Planungsprozess an sich wird effektiver, schneller und damit kostengünstiger. Planungsfehler, die vor allem in der Konzeptfindungsphase schwerwiegende Auswirkungen haben, werden durch das Aufzeigen leistungshemmender Wechselwirkungen der unterschiedlichen Teilkomponenten vermieden.

Durch den Einsatz von Referenzszenarien soll die Anwendung der Simulation breiter nutzbar werden. Dies ergibt sich zum einen durch einen Standardisierungseffekt, zum anderen durch die beispielhafte Anwendung in Musterplanungen. Hierdurch wird der Nutzen der Simulation in für KMU typischen Problemfällen deutlich gemacht und das notwendige Vorgehen exemplarisch aufgezeigt. Gerade weil in KMU in der Regel nur begrenzte Ressourcen für die Planung von Kommissioniersystemen zur Verfügung stehen, kann durch die beispielhafte Formulierung von Aufgabenstellung, Vorgehen und Darstellung von möglichen Ergebnissen ein Nutzen für KMU entstehen. Eine konkrete Anwendung (Pilotprojekt) zur Validierung der Forschungsergebnisse wird seitens der beteiligten Forschungsstellen angestrebt.

Durch die Einbeziehung der Auswirkungen möglicher veränderter Anforderung und Rahmenbedingungen in die Lösungsfindung kann das geplante Kommissioniersystem ein breiteres Spektrum an Zukunftsszenarien abdecken und bleibt dadurch für den Anwender langfristig wirtschaftlich.

### **1.3.1 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse**

Die angestrebten Forschungsergebnisse beinhalten ein neues Verfahren zur Planung von Kommissioniersystemen. Außerdem wird ein Beitrag zur Weiterentwicklung von Simulationsverfahren der innerbetrieblichen Logistik geleistet.

#### **Neuigkeitsgrad:**

Dem Planungsprozess von Kommissioniersystemen liegen Planungsdaten aus der Auswertung Ist-Daten des aktuellen Anlagen- und Betriebszustands zugrunde. Hieraus kann mit Unterstützung vorhandener Planungshilfen (z.B. Richtlinien und darin enthaltener Kennzahlen) eine erste Systemauswahl getroffen werden. Aus mehreren Projekten beider beteiligter Forschungsstellen ist bekannt, dass Kapazität, Durchsatz und Durchlaufzeiten in gemischten Systemen nicht oder nur mit sehr großem Aufwand im Rahmen der Feinplanung ermittelt werden. Es soll die Grundlage geschaffen werden, bereits in der Phase des Systemdesigns auf der Basis der Datenanalyse und grober Layout-Restriktionen eine fundierte Systemplanung durchzuführen.

Potentiellen zukünftigen Veränderungen in den Randbedingungen wird momentan oft nur mit einer Überdimensionierung mancher Teilkomponenten begegnet. Das grundsätzliche Ge-

samtsystem verändert sich dadurch aber nicht. Die Betrachtung der Auswirkungen von veränderten Planungsrandbedingungen (Absatzstruktur-, Auftragsstruktur- und Sortimentsdaten) auf Ergebnisse des Planungsprozesses über Szenarienbildung und Sensitivitätsanalyse ermöglicht eine wirtschaftliche Flexibilisierung auch ohne Überdimensionierung.

### **Innovationsgehalt / Wissenschaftlicher Anspruch:**

Oft wird das verwendete Kommissioniersystem bereits durch nur eine Veränderung der Ausgangsdaten unwirtschaftlich. Dies zeigen Beispiele aus der Pharmaindustrie (Umstellung vom Versand über den Großhandel auf Apothekendirektversand, was zu einer Vervielfachung der Sendungen bei gleich bleibender Versandmenge führt).

Aktuelle Richtlinien geben keinen Aufschluss über die Sensibilität der Konzeptplanungsergebnisse auf die genannten Einflussfaktoren. Durch die gewonnenen Forschungsergebnisse können planungsunterstützende Kennzahlen bei Neu- und Umbauplanungen von Kommissioniersystemen generiert werden.

Das gleiche gilt für heterogen strukturierte Kommissioniersysteme. In neueren Veröffentlichungen (z.B. /Gudehus, 00b/) wird zwar auf die Problemstellung eingegangen, es werden aber bestenfalls Vorgehensweise rein deskriptiv dargestellt. Es sind keine Veröffentlichungen bekannt, die Methoden oder Berechnungsverfahren für die Systemleistung oder einen der oben dargestellten Teilaspekte beschreiben.

### **1.4 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels**

Das angestrebte Forschungsziel wird schrittweise – in Form von insgesamt 8 Arbeitspaketen (AP) - erarbeitet.

#### **AP1: Auswahl gängiger Kommissioniersysteme, Auswertung (2 Mannmonate)**

Am IML wie auch am fml sind bereits eine Vielzahl von Projekten zur Planung von Lager- und Kommissioniersystemen durchgeführt worden. Auf Basis dieser Projekte sowie einer bereits durchgeführten ausführlichen Literatur- und Marktrecherche (die zum Zeitpunkt des Beginns des Vorhabens aktualisiert werden muss) werden praxisrelevante Kommissioniersysteme festgelegt und hinsichtlich der enthaltenen Funktionsbereiche und implementierten Funktionalitäten und Systeme dargestellt. Hierbei kann ebenfalls auf die Ergebnisse von Benchmarkingstudien der Fraunhofer-Gesellschaft (AVK) und kooperierender Forschungseinrichtungen (Lehrstuhl für Fertigungsvorbereitung, Dortmund /Heinz 02/) zurückgegriffen werden. Ziel dieses Arbeitsschritts ist es, aus der Vielzahl der theoretisch denkbaren Kommissioniersysteme (vgl. VDI 3590) die in der industriellen Praxis gängigen und praxisrelevanten Systeme herauszufiltern, um diese zur Grundlage der weiteren Projektbearbeitung zu machen. Hiermit soll dem Umstand Rechnung getragen werden, dass die in der Praxis zur Anwendung kommende Anzahl strukturell unterschiedlicher Kommissioniersysteme relativ gering ist, und somit ohne den Anspruch auf Allgemeingültigkeit zu verlieren eine hohe Abdeckung erreicht werden soll.

**Ergebnis:** Auswahl praxisrelevanter Kommissioniersysteme

#### **AP2: Referenzszenarien (3 MM)**

Auf der Basis der Ergebnisse von AP 1 werden Referenzszenarien entwickelt. Diese Referenzszenarien sollen mit Hilfe der Prozesskettendarstellung die Topologie (Aufbauorganisation, eingesetzte Systeme, Verknüpfung der Funktionsbereiche) sowie die Ablauforganisation der untersuchten Kommissioniersysteme abbilden. Hierzu werden bereits durchgeführte Arbeiten (/Töpfer 97/, /Fang 96/, /Potyka 95/) herangezogen und weiterentwickelt, um eine möglichst allgemeingültige Form der Beschreibung der abgebildeten Systeme zu finden. Diese soll zum einen eine konkrete Beschreibung der Prozessschritte ermöglichen, zum anderen muss sie die Basis für die weiteren Projektbearbeitungsschritte darstellen.

Mit Hilfe der Referenzszenarien sollen die in AP1 ermittelten Varianten heterogener Kommissioniersysteme modellhaft abgebildet und für die weiteren Untersuchungen aufbereitet werden. Die für die Referenzszenarienbildung formulierten Annahmen werden anhand realer Systeme geprüft und validiert.

**Ergebnis:** Referenzszenarien als Grundlage für die Beschreibung, Modellierung und Bewertung der untersuchten Kommissioniersysteme

### **AP3: Bewertungskriterien (3 MM)**

Um unterschiedliche Kombinationen aus einzelnen Teilsystemen und Varianten der Ablauforganisation objektiv miteinander vergleichen und im Rahmen einer Grobplanung eine Systemauswahl treffen zu können, müssen Bewertungskriterien und -methoden festgelegt werden.

Das Problem besteht darin, dass, auch wenn die Anzahl der technischen Systemvarianten begrenzt ist, sich durch zusätzliche Berücksichtigung von Ablaufvarianten sowie Varianten in der Systemlast, die sich durch unterschiedliche Annahmen in der Entwicklung der zugrunde liegenden Daten ergeben, eine große Vielfalt an Variablen ergibt, durch die sich das Planungsergebnis verändern kann. Ziel dieses Arbeitsschrittes ist es, zum einen die Möglichkeiten, Planungsvarianten zu bilden, anschaulich und transparent zu machen, zum zweiten deutlich abzugrenzen, welche Form / Kombination von Variantenbildung sinnvoll sind. Es soll deutlich gemacht werden, welche Ergebniskennzahlen zur objektiven Bewertung des Planungsergebnisses herangezogen werden können (Kosten pro Pick, Kosten pro Zeiteinheit, Zeit pro Auftrag, Gesamtzeitbedarf pro ...).

Diese sollen vor allem aus Anwendersicht den sowohl technischen als auch wirtschaftlichen Nutzen eines heterogen strukturierten Kommissioniersystems wiedergeben.

**Ergebnis:** Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes ist ein Bewertungssystem zur sowohl technischen als auch wirtschaftlichen Einordnung von Kommissioniersystemen und die Festlegung der Planungsparameter und Randbedingungen.

### **AP4: Anforderungsprofil und Methoden(4 MM)**

Basierend auf dem in AP 3 definierten allgemeinen Planungsumfeld wird für die zu generierende Planungshilfsmittel ein Anforderungsprofil erstellt und die zu implementierenden Berechnungsmethoden ausgearbeitet.

Um eine möglichst hohe Praxisnähe zu erhalten, erfolgt die Ausarbeitung in enger Zusammenarbeit mit interessierten KMU. Vorgesehen ist es in diesem Zusammenhang, entweder bereits durchgeführte Planungen anhand der aufgezeigten Methodik und Hilfsmittel zu nachzuvollziehen und anhand der erzielten Ergebnisse das erarbeitete Instrumentarium zu validieren oder anhand neuer Aufgabenstellungen die Anwendbarkeit und Wirtschaftlichkeit der erarbeiteten Vorgehensweise aufzuzeigen. Sinnvollerweise wird das Projekt von Anfang an von einem größeren Kreis interessierter KMU begleitet, die im Rahmen von Workshops in die Erarbeitung von Zielsetzung, Anforderungsprofil, Vorgehensweise und erzielbaren Ergebnissen eingebunden werden und die industrielle Anwendbarkeit der Projektergebnisse sicherstellen.

**Ergebnis:** Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes ist ein detailliertes Anforderungsprofil der zu entwickelnden Planungsumgebung und der mit ihr zu generierenden Planungsmethoden und -ergebnisse.

### **AP5: Auswahl Software, Umsetzung (8 MM)**

Als Basis für die Szenarienmodellierung (vgl. AP 6) ist eine marktgängige Simulationsumgebung auszuwählen, dass den in AP 4 formulierten Anforderungen genügt, und mit entsprechenden Modifikationen an die projektspezifischen Bedarfe angepasst werden kann. Vor

diesem Hintergrund sind daher insbesondere Kriterien wie Offenheit, Skalierbarkeit, Erweiterbarkeit sowie Hardware-Unabhängigkeit zu nennen, um die notwendigen Anpassungen möglichst auf die Bereitstellung der kommissioniersystemspezifischen Modellelemente, Methoden und Auswertefunktionen zu begrenzen. Bei der Werkzeugauswahl spielt auch die Preis- und Supportpolitik des Herstellers eine Rolle.

Gegenstand des Arbeitspaketes ist ebenfalls die Detailspezifikation und Umsetzung der notwendigen Anpassungen, der Aufbau der Modellelementbibliothek als Basis für die Modellerstellung sowie die Bereitstellung notwendiger Auswertefunktionen auf der Basis spezifischer Kennzahlen.

**Ergebnis:** Checkliste mit Gewichtungskriterien zur Werkzeugauswahl, Klassifizierung marktgängiger Simulationswerkzeuge, Auswahl des einzusetzenden Werkzeugs, Pflichtenheft, Softwaremodule, Dokumentation

#### **AP6:** Szenarienmodellierung, Durchführung Testreihen (8 MM)

Ausgehend von AP 5 werden die unter AP 2 ausgewählten allgemein gültigen Referenzszenarien modelliert. Bei den Modellen wird vor allem auf einen modularen Aufbau und exakter Schnittstellendefinition geachtet. Dadurch wird eine flexible Kombination der Teilsysteme zu Szenarien aus heterogen strukturierten Kommissioniersystemen sichergestellt. Anhand dieser kombinierten Modelle werden Testreihen hinsichtlich der genannten Aufgabenstellungen durchgeführt.

Schwerpunkte:

- spezifische Dimensionierung der Teilsysteme
- Sensibilitätsanalysen hinsichtlich Veränderungen in Absatzstruktur-, Auftragsstruktur- und Sortimentsdaten

Die Modelle werden hinsichtlich ihres Verhaltens-, Zeit und Funktionalitätscharakteristik anhand der Referenzszenarien validiert.

Im Rahmen des Vorhabens werden konkrete Anwendungen im Modell abgebildet und untersucht. Es ist geplant, mit interessierten Firmen einen Projektbeirat zu bilden. Diese Partnerfirmen sollen aus ihrer Praxis die Anwendungsfälle beisteuern und durch die Bewertung der Untersuchungsergebnisse zur Validierung der verwendeten Modelle und Methoden beitragen.

**Ergebnis:** Repräsentative Teil- und ausgewählte Gesamtsysteme und Daten der damit durchgeführten Testreihen.

**AP7: Auswertung (6 MM)**

Die Ergebnisse der unter AP 7 durchgeführten Testreihen werden ausgewertet. AP 6 und AP 7 dürfen hierbei nicht als in sich abgeschlossen gesehen werden. Vielmehr muss zwischen der Modellierung der Testreihen und den damit gewonnenen Erkenntnissen ein iterativer Prozess stattfinden.

**Ergebnis:** Kennwerte und Regeln für die Systemgestaltung von Kommissioniersystemen

**AP8: Dokumentation (3 MM)**

Die einzelnen Schritte zur Erarbeitung der Projektergebnisse sowie die Ergebnisse an sich werden während der gesamten Projektlaufzeit dokumentiert und, soweit dafür geeignet, in Fachzeitschriften und auf Fachtagungen veröffentlicht.

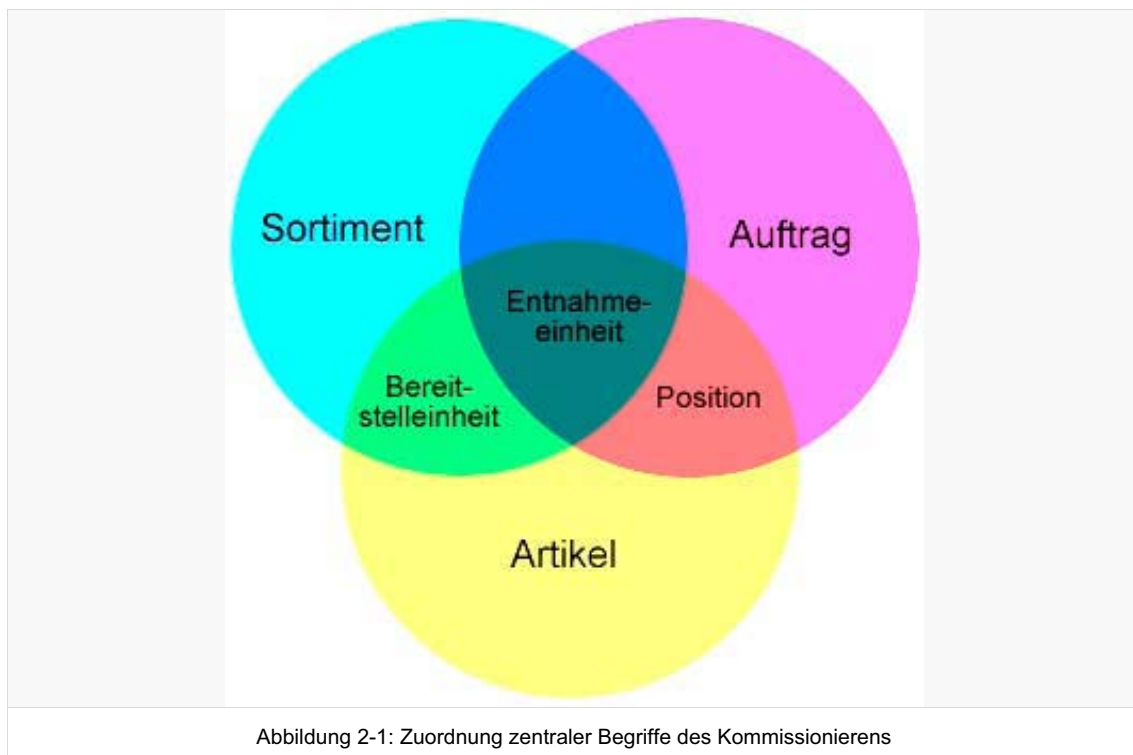
## 2 Grundlagen

### 2.1 Grundlagen für die Planung von Kommissioniersystemen (IML)

#### 2.1.1 Definition und Grundbegriffe der Kommissionierung (IML)

Die Kommissionierung ist als ein wesentlicher Teil der innerbetrieblichen Logistik anzusehen und stellt somit eine Hauptfunktion in Lagern und Warenverteilzentren dar. Hinter dem Prozess der Kommissionierung stecken arbeitsintensive, oft personalintensive und daraus resultierend kostenintensive Arbeitsabläufe. Begründet durch die Vielzahl an Gestaltungsmöglichkeiten liegt in diesem Bereich ein hohes Potenzial für innerbetriebliche Planung und Optimierung.

Gemäß der VDI-Richtlinie 3590 definiert sich der Begriff des Kommissionierens über das „Ziel, aus einer Gesamtmenge von Gütern (Sortiment) Teilmengen auf Grund von Anforderungen (Aufträge) zusammenzustellen“ (/VDI 3590/), das heißt, aufgrund eines Kundenauftrags bzw. den daraus generierten Kommissionieraufträgen werden Teilmengen größerer Einheiten eines Artikels entnommen, zusammengeführt und für die Versendung bereitgestellt. Abbildung 2-1 verdeutlicht diese Zusammenhänge.





In der Definition nach VDI 3590 finden sich die drei Grundbegriffe „Sortiment“, „Auftrag“ und „Artikel“, die, wie aus Abbildung 2-1 ersichtlich, einmal die Teilschnittmengen „Bereitstelleinheit“ und „Position“, sowie die Gesamtschnittmenge „Entnahmeeinheit“ bilden.

Die **Bereitstelleinheit** bezeichnet die Menge an Artikeln, die für den Kommissioniervorgang bereitsteht. Abhängig vom Kommissioniersystem kann es sich dabei um artikelreine Paletten oder Behälter, auf bzw. in denen die Articleinheiten für den Zugriff bereitgestellt werden, handeln. Es kommt aber ebenso vor, dass Anlieferkartons oder Einzelteile ohne Ladungsträger in einem Lagersystem wie z. B. einem Fachboden- oder Durchlaufregal angeboten werden.

Die **Position** stellt eine Zeile des Kommissionierauftrags dar. Es sind alle notwendigen Informationen (z.B. Entnahmemenge, Lagerort) zur Artikelentnahme enthalten. Hierbei entspricht der Kommissionierauftrag nicht unbedingt dem Kundenauftrag, sondern kann abhängig von der Organisationsform des Kommissioniersystems auch mehrere Kundenaufträge umfassen. Diese so genannte zweistufige Kommissionierung zieht allerdings eine dem Kunden zugeordnete Trennung der Positionen nach sich.

Im Forschungsprojekt wird unterschieden zwischen dem **Liefierauftrag**, der im Wesentlichen der Bestellung des Kunden entspricht, dem **Bearbeitungsauftrag**, der den Arbeitsauftrag des Kommissionierers enthält und dem **Behälterauftrag**, welcher die in einen spezifischen Kommissionierbehälter zu kommissionierenden Positionen enthält. Entsprechend dieser Unterscheidung erfolgt auch die Differenzierung des Begriffes Position nach **Lieferauftragsposition**, der **Bearbeitungsauftragsposition** und der **Behälterauftragsposition**.

Die **Entnahmeeinheit** entspricht der kleinstmöglichen artikelspezifischen Menge, die von der Bereitstelleinheit entnommen werden kann. Das kann je nach Anforderung eine Palette, ein Gebinde oder auch ein Einzelstück sein. Die Summe aller Entnahmeeinheiten eines Artikels im Rahmen eines Bearbeitungsauftrages entspricht der Bearbeitungsauftragsposition. Diese kann auch mehrere Behälterauftragspositionen eines gleichen Artikels beinhalten, wenn mehrere Behälteraufträge zusammen in einer Serie bearbeitet werden.

Die „**Greifeinheit**“ sowie die „**Pickeinheit**“ werden synonym zur Charakterisierung des gleichen Sachverhaltes hinzugezogen. Jedoch wird entweder unter den beiden Begriffen die kleinste zu pickende Einheit eines Artikels auf einem Kommissionierplatz, also die Entnahmeeinheit, oder aber die Menge an Artikeln bzw. Verpackungseinheiten verstanden, die ein Kommissionierer mit einem Griff aus dem Kommissionier-Regal entnimmt. Es kann sich im zweiten Falle bei der Pick- bzw. Greifeinheit also durchaus auch um mehrere Entnahmeeinheiten handeln, die in einem Zugriff aus dem Regal genommen werden. Inwiefern dies zutrifft, hängt u.a. von den Eigenschaften der Artikel, wie beispielsweise dem Volumen oder dem Gewicht, ab.

Die Ablage der Entnahmeeinheiten im Rahmen der Kommissionierung erfolgt in einen **Kommissionierbehälter**. Dieser Behälter kann sowohl einen Behälter als auch eine Palette oder einen Haufen auf einem Förderband entsprechen

Werden Systeme betrachtet in denen mehrere Kommissionieraufträge parallel von einem Kommissionierer bearbeitet werden, so werden die Kommissionierbehälter oft auf einer **Transporteinheit** mitgeführt. Beispiel hierfür ist z.B. ein Kommissionier-Wagen.

### 2.1.2 Abgrenzung des Betrachtungsobjektes Kommissioniersystem (IML)

Als Grundlage für die weiteren Ausarbeitungen im Rahmen des Forschungsprojektes erfolgte zunächst eine Fokussierung und Abgrenzung des eigentlichen Betrachtungsobjektes „Kommissioniersystem“. Folgende Abbildung verdeutlicht den Betrachtungsbereich „Kom-

missioniersystem“ auf der Informationsflussebene von der Kundenbestellung bis zum Versand:

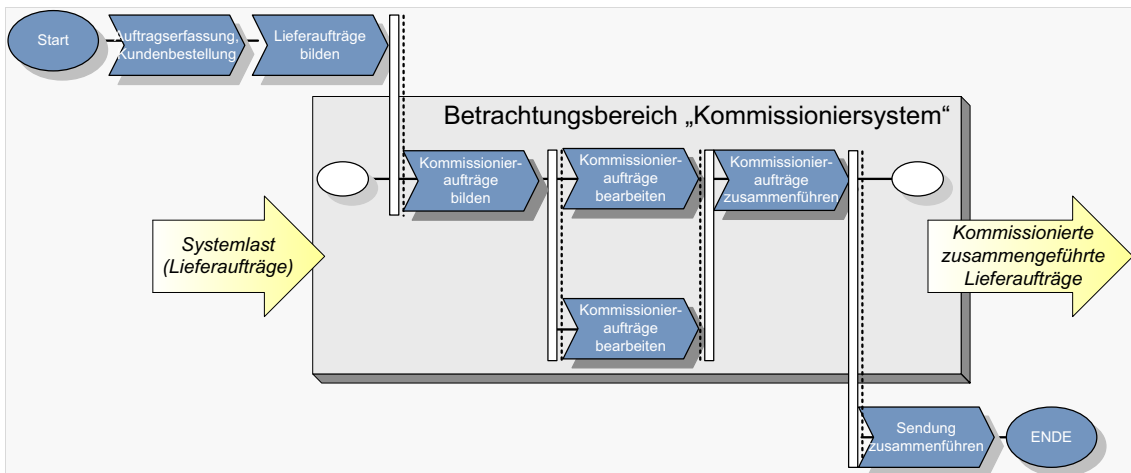


Abbildung 2-2: Abgrenzung Kommissioniersystem Informationsflussebene

Gemäß dieser Darstellung ist die Aufgabe des Kommissioniersystems das Erstellen zusammengeführter Lieferaufträge. Der Lieferauftrag geht hierbei aus der Kundenbestellung unter Berücksichtigung von Lieferfähigkeit und Sendungszusammenstellung hervor.

Eine Abgrenzung im Bereich des Materialflusses wird in folgender Abbildung ersichtlich:

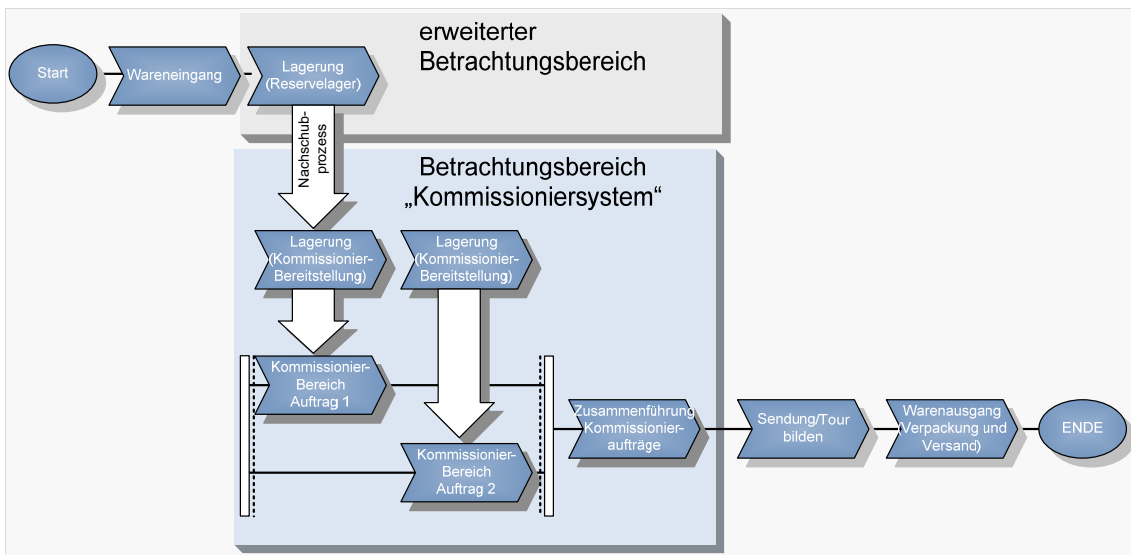


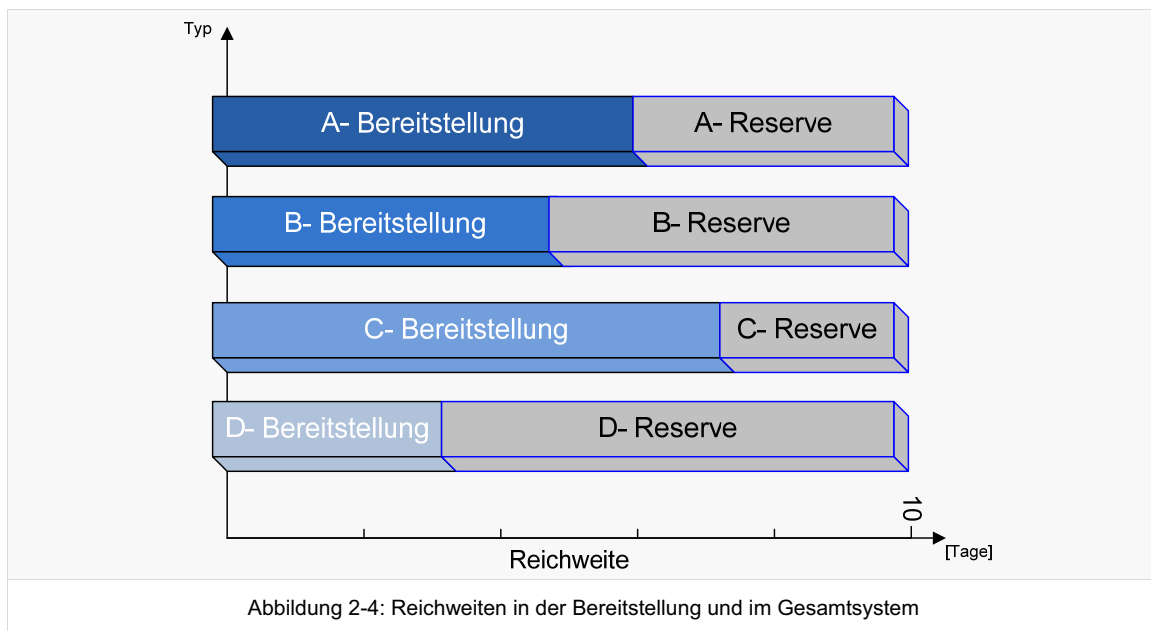
Abbildung 2-3: Abgrenzung Kommissioniersystem Materialflussebene

Besonderes Augenmerk ist bei der Abgrenzung des Kommissioniersystems im Bereich Materialfluss dem Bereich der Lagerung zu widmen. Bei der Lagerung sind die drei folgenden Typen von Lagerungen zu unterscheiden:

1. Lagerung der Zugriffseinheit, welche sich im Kommissionierbereich auf dem Bereitstellplatz im Zugriff befindet (Bereitstell-Lager)
2. Lagerung der Zugriffsrerveeinheit, aus welcher der Nachschub für den Bereitstellplatz gelagert wird; meist ein gemeinsames Lager für Zugriffseinheit und Zugriffsrerveeinheit (Bereitstell-Lager)
3. Lagerung der Reserveeinheit, aus welcher der Nachschub für das Bereitstelllager erfolgt (Reservelager)

Die ersten beiden Typen von Lagerungen sind unmittelbar mit dem Kommissioniersystem verbunden und somit Teil der Betrachtung. Bei der Lagerung im Reservelager spielen bzgl. der Dimensionierung des Lagers komplexe Zusammenhänge der Bestandsoptimierung, Lieferfrequenz der Lieferanten je Artikel und Bestell-Losgrößen eine Rolle, so dass dieser Bereich im Rahmen der Grobplanung von Kommissioniersystemen nicht konkret dimensioniert und abgebildet werden kann.

Eine Nicht-Betrachtung der Kosten die durch die Lagerung im Reservelager entstehen führt allerdings zu einer Ungleichbehandlung von verschiedenen Systemvarianten. Gelöst wird dies durch die Definition einer Gesamtreichweite, die von jedem Artikel im Gesamtsystem in der Summe gelagert wird.



### 2.1.3 Gängige Kommissioniersysteme in der Praxis (IML)

Zur Reduzierung der Komplexität wurde im Rahmen des Forschungsprojektes die Vielzahl der theoretisch denkbaren Kommissioniersysteme reduziert auf die in der industriellen Praxis gängigen und praxisrelevanten Systeme, um diese zur Grundlage der weiteren Projektbearbeitung zu machen. Hiermit wurde dem Umstand Rechnung getragen, dass die in der Praxis zur Anwendung kommende Anzahl strukturell unterschiedlicher Kommissioniersysteme relativ gering ist, und somit ohne den Anspruch auf Allgemeingültigkeit zu verlieren eine hohe Abdeckung erreicht wird.

Zunächst wurde hierfür im Rahmen des Forschungsprojektes eine Systematik zur Einordnung von Kommissioniersystemen gemäß ihrer Struktur und spezifischen Merkmalsausprägung entwickelt. Auf dieser Basis erfolgten die Zuordnung von Systemen zu bestimmten Gruppen und die anschließende Ermittlung von Häufungen bestimmter Merkmalsausprägungen.

Die entwickelte Systematik enthielt zum Zeitpunkt der Bearbeitung des AP 1 die hierarchisch verknüpften Beschreibungsebenen:

- Topologie (Anordnung und Verschaltung der Bausteine und Bereiche)
- Zonenlayout und
- Elementarbausteine

Auf Basis dieser Systematik erfolgte zum einen die Untersuchung von Kommissioniersystemen aus alten Planungsprojekten der beiden Forschungsstellen und zum anderen eine ausführliche Literatur- und Marktrecherche über Internetdatenbanken, Veröffentlichungen und Fachzeitschriften. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden, zusätzlich zu den primären

beschreibenden Informationen, ergänzende Daten über die praxisrelevanten Systeme gesammelt, welche für die spätere Entwicklung der Planungsumgebung nützlich und relevant sind. Dies waren z.B. Daten wie

- Branche
- Lastprofil (Artikelanforderungen , Leistungsanforderungen)
- Gründe für die Verteilung der Artikel auf verschiedene Zonen

Die Daten umfassten zum Zeitpunkt der Berichtserstellung 42 Unternehmen mit insgesamt 90 enthaltenen Elementarbausteinen, welche in Form von Datenblättern aufgenommen, strukturiert und dokumentiert wurden.

### **Baustein-Topologie**

Die Untersuchung auf der Betrachtungsebene der Systemtopologie zeigte im Wesentlichen einen Trend zu einfach strukturierten Systemen. So bestanden 98% der Kommissioniersysteme aus nicht mehr als vier Bausteinen, die Hälfte aller Kommissioniersysteme war aus nicht mehr als zwei Bausteinen zusammengesetzt (Sonderlagerorte wie z.B. Sperrigteilelager ausgeschlossen).

Die Bausteine innerhalb der Kommissioniersysteme waren in 50% der Fälle parallel zueinander angeordnet. Die Untersuchung bzgl. des Merkmals „einstufig/zweistufig“ ergab, dass mehr als 60% der Gesamtsysteme als einstufige Systeme ausgeführt wurden. Eine zweistufige Kommissionierung erfolgte in 21% der Fälle.

Die Untersuchung der Kriterien nach welchen die Aufteilung der Artikel auf verschiedene Bausteine erfolgte ergab folgende Verteilung:

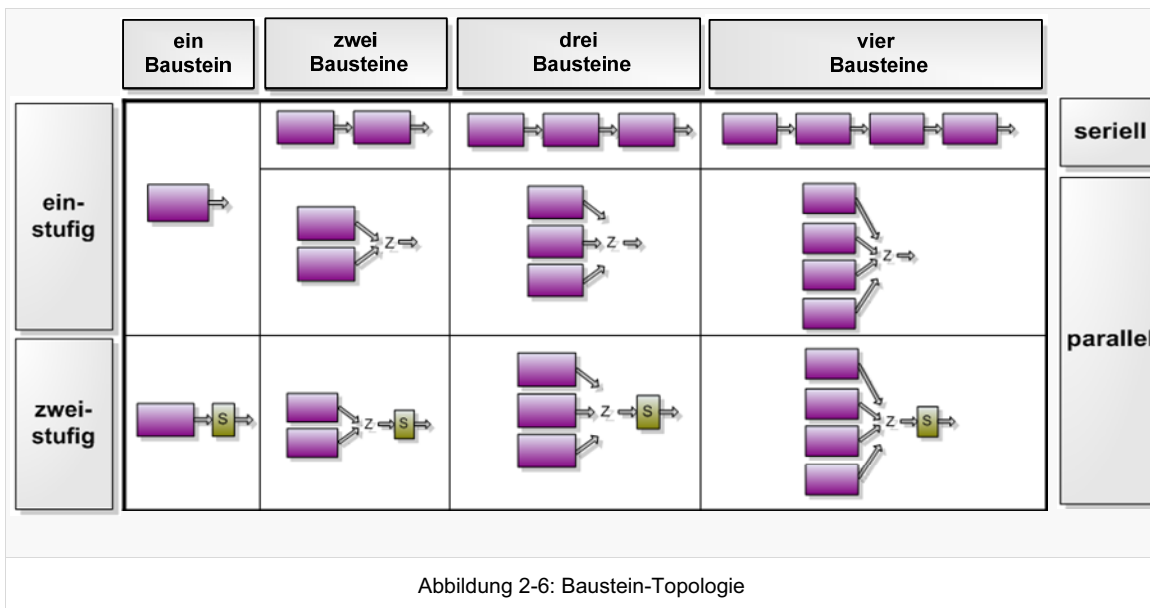
Kriterien für Bausteinbildung	
- Zugriffshäufigkeit	49%
- Volumenklassifizierung	27%
- Produktgruppe	12%
- Gewicht	7%
- Lagermenge	2%
- Durchlaufzeit	2%

Abbildung 2-5: Kriterien für Bausteinbildung

Man erkennt, dass die drei Kriterien Zugriffshäufigkeit, Artikelvolumen und Produktgruppe in 90% der Fälle als Kriterium für die Bausteinbildung verwendet wurde. Teilweise wurde noch eine Verteilung aus gewichtstechnischen Gründen vorgenommen. In seltenen Fällen wurden noch spezielle Kriterien wie Lagermenge und Anforderungen an die Durchlaufzeit als Kriterium verwendet.

Bezüglich der aufgenommen Branchen und Leistungsbereiche konnten keine signifikanten Häufungen bestimmter Merkmalsausprägungen in Abhängigkeit der Branche oder Leistungsanforderung festgestellt werden.

Folgendes Schaubild, mit dem 90% aller untersuchten Unternehmen abgebildet werden können, gibt einen Überblick über die Ergebnisse der Untersuchungen auf der Betrachtungsebene der Baustein-Topologie:



**Statische oder dynamische Bereitstellung**

Ein Baustein kann als Baustein mit statischer oder dynamischer Bereitstellung realisiert sein. In Abbildung 2-7 ist dies graphisch dargestellt. Der Kommissionierung mit statischer Bereitstellung kommt dabei der Hauptanteil von 64% der Fälle zu, während die dynamische Bereitstellung in 36% der Fälle zu finden war. Die Unterscheidung findet sich implizit in den später vorgestellten Bausteinen wieder. Die separate Analyse zeigt hier erneut, dass in der Realität eine Tendenz zur einfachen Konstruktion von Kommissioniersystemen besteht.

	Statisch	dynamisch
	autom. Palettenlager man. Palettenlager FBR AKL DLR Bodenlagerung Schachtkommissionierer	 autom. Palettenlager oder AKL mit Bedienstation oder Seitenzone
64%		36 %

Abbildung 2-7: Zonenlayout

**Bausteine**

Die Bausteine repräsentieren in der entwickelten Simulationsumgebung die kleinsten (Modellierungs-)Elemente aus denen heterogen strukturierte Kommissioniersysteme sich zusammensetzen. Es kann mehrere aber mindestens ein Baustein in einem Kommissionierbereich vorkommen. Wie sie prinzipiell angeordnet sind wird durch die Baustein-Topologie bestimmt. Insgesamt lassen sich die Bausteine nach sechs unterschiedlichen Typen kategorisieren, die sich grundsätzlich in der Anordnung von Bereitstellungseinheit, Auftragsablage und Kommissionierer zueinander unterscheiden.<sup>1</sup>

In Tabelle 3 sind die Verwirklichungsformen den sechs Typen zugeordnet und es ist angegeben wie oft diese in der durchgeführten Untersuchung aufgetreten sind. Einige Verwirklichungsformen wurden im Rahmen der Untersuchung nicht vorgefunden, sind aber dennoch

<sup>1</sup> angelehnt an:

- Gudehus, T.: „Logistik“, 2. Aufl., Springer, Heidelberg, 2004
- ten Homel, M.; Schmidt, T.: „Warehouse Management“, Berlin, Heidelberg, Springer, 2003

aufgeführt um auch solche System zu berücksichtigen die zwar nicht interessant genug sind, um sie in Literatur oder Fachzeitschriften zu erwähnen, sie aber aus der Erfahrung der Forschenden heraus dennoch häufig vorzufinden sind.

	Bereitstellungseinheit	Auftragsablagen	Kommissionierer	Beschreibung	Verwirklichungsform	Prinzipbild <sup>2</sup>
1.	statisch	dezentral	Dezentral	Konventionelles Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> <li>FBR 15x</li> <li>Palettenlager 16x</li> <li>DLR 3x</li> </ul>	
2.	statisch	dezentral	Zentral	Kommissionieren in Zonen mit statischer Artikelbereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> <li>aus DLR 16x</li> <li>im FBR 1x</li> </ul>	
3.	dynamisch	zentral	Zentral	Bedienstation bei dynamischer Artikelbereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bedienstation / Seitenzone 38x</li> <li>Depalletierplatz 1x</li> </ul>	
4.	dynamisch	zentral	Dezentral	Inverses Kommissionieren mit fest definierten Abgabeplätzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inverses Kommissionieren 0x</li> </ul>	
5.	statisch	zentral	Dezentral	Mobiles Kommissionieren mit statischen Regalzeilen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Automatisches Palettenlager 28x</li> <li>Manuelles Palettenlager 12x</li> <li>AKL 17x</li> </ul>	
6.	statisch	zentral	Zentral	Zentrales Kommissionieren mit fest definierten Abgabeplätzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schachtkommissionierer 2x</li> <li>Kommissioniernest 0x</li> </ul>	

Abbildung 2-8: Elementarbausteine

Für das Konzept der simulationsgestützten Planungsumgebung sind damit grundsätzlich die kleinsten Modellierungs-Bausteine aus denen sich heterogen strukturierte Kommissioniersysteme zusammensetzen beschrieben.

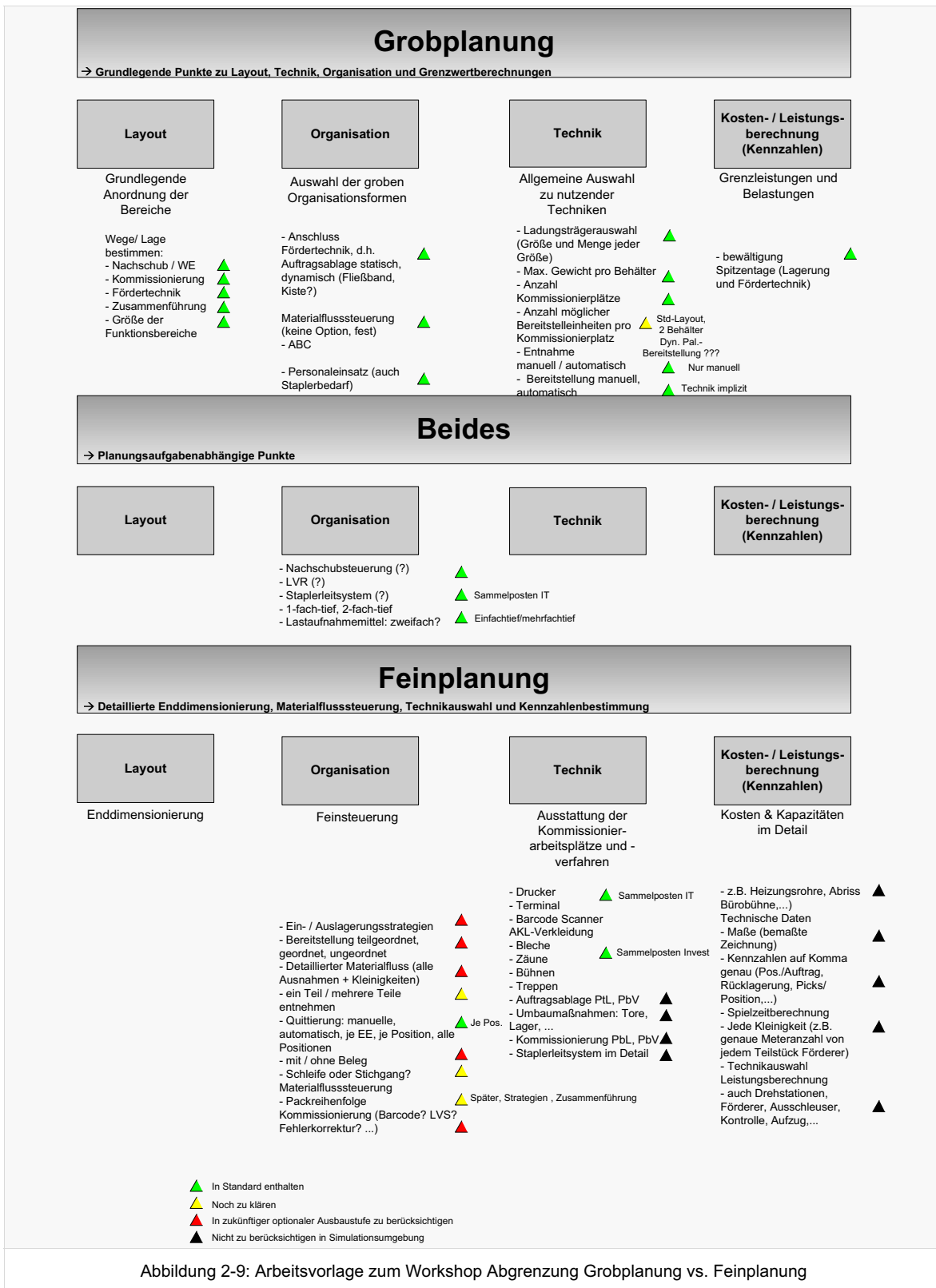
Bestimmte Kombinationen von Bausteinen können aufgrund der häufig in Kombination auftretenden Verwirklichungsform als kombiniertes Modellierungselement hinterlegt werden (Beispiel: Automatisches Kleinteilelager (Gruppe 5) in Verbindung mit einer nach geschalteten Bedienstation (Gruppe 3)).

Diesen Grundgedanken aufgreifend und auch befruchtet durch die Erkenntnisse aus der Entwicklungsarbeit an der Modellierungsumgebung wurde im Laufe des Jahres 2006 ein Katalog von Prototypen als Grundstein für die Modellierung von Kommissioniersystemen entwickelt. Dieser Katalog und das dahinter liegende Modellierungsparadigma werden im Kapitel 3 näher beschrieben.

### 2.1.4 Abgrenzung Grobplanung vs. Feinplanung (IML)

Eine weitere Vorüberlegung bzgl. der simulationsgestützten Planung von Kommissioniersystemen in der Konzeptphase bestand darin, eine Unterscheidung in grobplanungsrelevante und Feinplanungsrelevante Aspekte vorzunehmen. Die im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelte Planungsumgebung fokussiert auf die Konzeptplanungsphase mit dem Ziel der Systemfindung von einer oder mehreren Vorzugsvarianten, so dass die Anforderungen sich durch die Berücksichtigung der grobplanungsrelevanten Aspekte ergibt.

Im Rahmen eines Workshops wurden diverse Planungsaspekte und Gestaltungsmöglichkeiten von Kommissioniersystemen bezüglich ihrer Relevanz für die Grobplanungsphase bewertet.



ben, dass eine Nicht-Beachtung zu falschen Schlüssen bzgl. der Bewertung des Systems im Vergleich mit anderen Systemen haben kann.

Eine explizite Berücksichtigung aller Gestaltungsmöglichkeiten von Kommissioniersystemen würde jedoch zu einer sehr hohen Komplexität der gesamten Umgebung führen und entspricht nicht dem allgemeinen Verständnis einer Grobplanungsphase, in der mit angemessenem Aufwand und in absehbarer Zeit verschiedene Technikvarianten und Organisationsformen für eine konkrete Kommissionieraufgabe verglichen und bewertet werden sollen.

Zur Lösung dieser Problematik wurden in der Planungsumgebung die zwei folgenden Strategien umgesetzt:

1. Standardisierung: es wurde insbesondere im Bereich von Steuerungs- und Weg-Strategien mit Standard-Strategien gearbeitet, die bei den meisten Standard-Systemen zu einem hinreichend guten Ergebnis führen. So wurde z.B. für die Weg-Strategie in Fachbodenregalen Standard-mäßig von einer Combined-Strategie (Stichgang kombiniert mit smallest Gap) ausgegangen. Die Softwaretechnische Umsetzung erlaubt hier aber auch eine spätere Verfeinerung durch weitere Strategien.
2. Flexible Parameter: Die Parameter die dem Planer und Benutzer der Planungsumgebung zur Dimensionierung und Parametrisierung der Kommissioniersysteme zur Verfügung gestellt werden (Beschreibung erfolgt in späteren Kapiteln) sind flexibel nutzbar um auch spezielle Systemeigenschaften abzubilden. So kann z.B. die Ausstattung eines Kommissionierbereiches mit Pick-by-Light-Technologie durch eine Erhöhung des Kostensatzes pro Lagerplatz, im IT-Bereich und durch eine Anpassung der voreingestellten Werte für die Kommissionierprozesszeiten abgebildet werden.

Diese Lösung bietet zwei Vorteile: Dem erfahrenen Planer wird durch die flexibel nutzbaren Parameter die Möglichkeit gegeben auch speziellere Systeme abzubilden und zu planen. Andererseits kann mit den voreingestellten Standardstrategien und -Parametern eine schnelle und hinreichend genaue Grobplanung von Varianten zum Systemvergleich erfolgen ohne jeden Parameter im Detail zu hinterfragen.

## 2.2 Softwaretechnische Grundlagen

### 2.2.1 Definition und Anwendungsfelder der Simulation (IML)

Die Unternehmen stehen in der heutigen Zeit vor großen Herausforderungen: Einerseits bieten sich aufgrund der rasanten Entwicklung von Informations- und Kommunikationstechnik ungeahnte Chancen, innovative Produkte in hoher Qualität weitaus schneller als bislang zu entwickeln, zu produzieren und auf den Markt zu bringen. Auf der anderen Seite steigen die Investitionsrisiken in einem zunehmend globalen und dynamischen Wettbewerbsumfeld rapide. Zur Minimierung dieser Risiken und der Erhöhung der Planungssicherheit entwickelt die Industrie zurzeit mit Hochdruck an tragfähigen Konzepten zur Umsetzung der Digitalen Fabrik.

Obwohl die Digitale Fabrik, womit das Bestreben der Unternehmen jeden Prozessschritt innerhalb der Produktion mit seinen vielfältigen Abhängigkeiten rechnerintern dynamisch nachbilden zu können verstanden wird, vielfach noch eine Vision ist, hat sich vorwiegend die Großindustrie im Bereich Automobil-, Flugzeugbau und Raumfahrt diesem Thema verschrieben und nährt sich diesem Ziel mit großen Schritten. Die Digitale Fabrik bildet sämtliche, eine zukünftige reale Fabrik kennzeichnende Logistik- und Fertigungsprozesse ab. Die Basis dafür bilden elektronisch verfügbare Daten aus ERP- (Enterprise-Ressource-Planning), PDM- (Product-Data-Management), EDM- (Engineering-Data-Management) und CAD/CAM- (Computer-Aided-Design/Computer-Aided-Manufacturing) Systemen. Zu den Grundaufgaben der Digitalen Fabrik gehören Themen wie Datenmodellierung, Datendurchgängigkeit, Systemintegration, Kopplung von Simulationsanwendungen mit kaufmännischen und technischen IT-Systemen, verteilte Anwendungen, Prozessanalyse, Evaluierung, Konzeption und prototypische Umsetzung im Rahmen von praxisrelevanten Kundenprojekten. In diesem



Rahmen nimmt die Simulation eine besondere Rolle ein, da sie sich als integrative Planungsmethode und Kernkomponente innerhalb des virtuellen Produktionsprozesses darstellt und deren Interdisziplinarität, welche sich in aktuellen Produktmerkmalen wie 3D-Visualisierung, Hardware-In-The-Loop Konzepten, verteilte Simulation oder mathematische Optimierung zeigen, viele Komponenten zur Realisierung der Digitalen Fabrik beinhaltet.

Die Logistikbranche ist aufgrund der Anstrengungen von Industrie- und Handelsunternehmen zur Optimierung der Arbeits- und Geschäftsprozesse durch die Etablierung von E-Business-Technologien aufgefordert, hochwertige Logistiklösungen zu entwickeln und umzusetzen. Die Prozesse, die durch eine Bestellung im Internet ausgelöst werden, sind dabei sehr vielfältig und komplex und machen es erforderlich sowohl die internen als auch die externen Prozesse zu betrachten und zu verbessern. Insbesondere aufgrund der großen Vielfalt und hohen Komplexität der zu betrachtenden Prozesse stellt die Simulation eine Schlüsseltechnologie für die Lösung der bestehenden Aufgaben dar.

Die Auswahlkriterien waren bislang vielfach für den Erwerb und Einsatz eines bestimmten Simulationswerkzeuges innerhalb eines Unternehmens rein subjektive Kriterien wie der Einsatz des Werkzeugs in vergangenen Projekten im Haus oder bei einem beauftragten Dienstleister oder die persönliche Beziehung zum Softwarelieferanten. Diese Kriterien und die Unübersichtlichkeit des Marktes von Simulationswerkzeugen führten automatisch zur subjektiven Auswahl des für den beauftragten Mitarbeiter und nicht für das Gesamtunternehmen optimalen Werkzeugs.

Demgegenüber ist heute eine zunehmenden Verlagerung zu den unternehmensorientierten Kriterien der Anwendbarkeit und der Integrationsmöglichkeit des Werkzeugs in den Planungsprozess und die damit verbundene Systemlandschaft zu beobachten. Letzterer Punkt führt zumeist zu einer Vereinheitlichung und Ausdünnung der eingesetzten Simulationssysteme innerhalb eines Unternehmens. Andererseits kommt in einzelnen, hoch spezialisierten Anwendungsfeldern eine Vielzahl an für den entsprechenden Anwendungsfall zugeschnittenen Werkzeugen zum Einsatz.

Um die Entscheidungsfindung zur Auswahl eines für ein jeweiliges Unternehmen passenden Simulationswerkzeugs zu unterstützen, hat der Verein Deutscher Ingenieure Fördertechnik Materialfluss Logistik VDI-fml in seiner Richtlinienarbeit mit dem Richtlinienblatt 4 aus der VDI 3633<sup>3</sup> für den Entscheider eine Checkliste zur Werkzeugauswahl bereitgestellt.

### **2.2.2 Vor- und Nachteile marktgängiger Simulationsumgebungen (IML)**

Auf der Seite des Simulationsmarktes hat nach Jahren der fieberhaften Weiterentwicklung eine gewisse Konsolidierung stattgefunden, wodurch die Anzahl der Anbieter als auch der Simulationswerkzeuge überschaubarer wurde. Insbesondere hat der Entwicklungstrend bezüglich der Anwendbarkeit der Werkzeuge einerseits zur verstärkten Entwicklung von Spezialsimulatoren für eingeschränkte Aufgabengebiete, andererseits zu allgemeingültigen Simulatorkonzepten, die mit Hilfe von Anwendungsbibliotheken für den jeweiligen Einsatzzweck konfiguriert werden, geführt.

---

<sup>3</sup> (VDI, 1997)

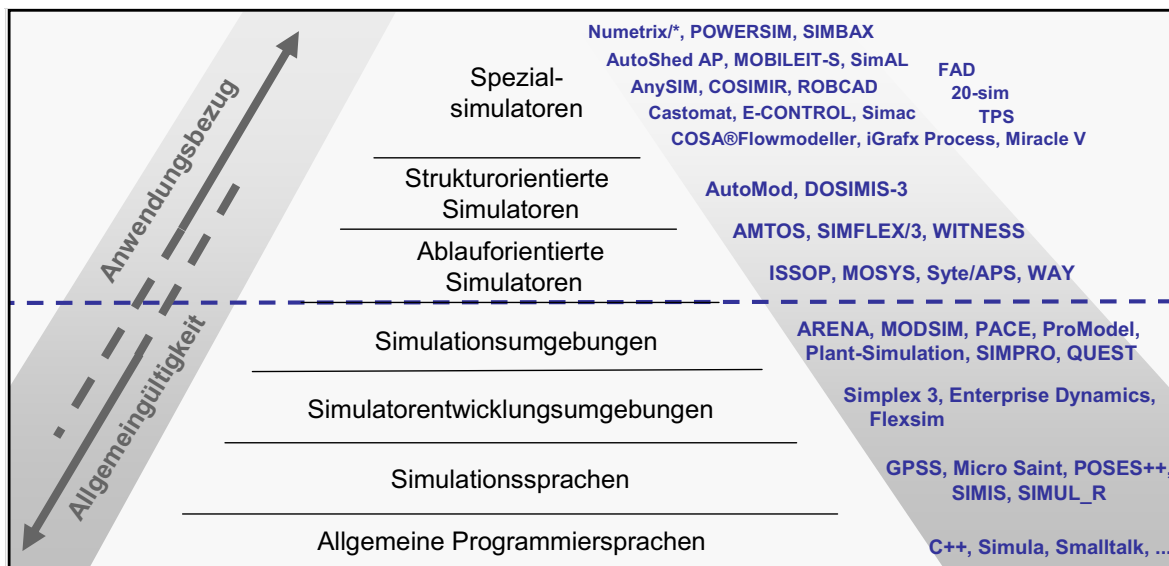


Abbildung 2-10: Klassifizierung von Simulationswerkzeugen (angelehnt an (Wenzel & Noche, 2000)<sup>4</sup>).

Die Klassifizierung der Werkzeuge nach der Anwendungsfunktionalität im Bereich der Produktion und Logistik führt zu einer Gruppierung in anwendungsübergreifende und allgemein einsetzbare Simulationssoftware, in primär den Anwendungsbereich Produktion und Logistik bedienende Instrumente und Werkzeuge, die spezielle Anwendungsgebiete abdecken. Anwendungsbezug einerseits und Allgemeingültigkeit der Werkzeuge andererseits verhalten sich bezüglich der Anwendungsfunktionalität zunächst umgekehrt proportional zueinander. Die vorgenommene Klassifizierung steht darüber hinaus in enger Beziehung zu dem jeweils verwendeten Modellierungskonzept. Theoretische Modellierungskonzepte z. B. auf der Basis mathematischer Modelle wie Petri-Netze und Automaten erlauben vielseitigere Anwendungen als bereits vorformulierte Anwenderbausteine. Demgegenüber ist die Verwendung von Modellierungskonzepten, denen eine abstrakte, anwendungsferne Begrifflichkeit zugrunde liegt, für Werkzeuge, die nur spezielle Aufgabengebiete bedienen, meist wenig effizient und effektiv. Diese grundsätzlichen Unterscheidungsmerkmale werden heute insbesondere im Bereich der allgemeingültigen Werkzeuge durch die Entwicklung von anwendungsbezogenen Zusatzmodulen, die dem Anwender High-Level Komponenten aus einem speziellen Anwendungsfeld auf Basis der allgemeinen Grundkomponenten des Werkzeugs zur Verfügung stellen, weitgehend aufgehoben.

Eine Kategorisierung der am Markt verfügbaren Werkzeuge für die Simulation in Produktion und Logistik nach deren Spezialisierung bzw. Allgemeingültigkeit ist in Abbildung 2-10 dargestellt. Ausgehend von den allgemeinen Programmier- und Simulationssprachen werden heute Simulatorentwicklungsumgebungen und Simulationsumgebungen angeboten. Während die Simulatorentwicklungsumgebungen eine Entwicklungsbasis darstellen, mit dem neue Simulatoren entwickelt und / oder konfiguriert werden können, handelt es sich bei Simulationsumgebungen um offene Simulatoren, die es ermöglichen, neue Bausteine und (in eingeschränkter Form) auch Funktionen anwendungsbezogen zu beschreiben und innerhalb des Werkzeuges zu ergänzen. In beiden Fällen richten sich die Instrumente an einen Simulationsspezialisten, der Lösungen erarbeitet, die für einen Endanwender (z. B. Planer) auf dessen Wissensdomäne zugeschnitten und damit einfacher handhabbar sind.

Oberhalb der Simulationsumgebungen (vgl. Abbildung 2-10) lassen sich weitere Ebenen differenzieren, die einen erheblich stärkeren Anwendungsbezug aufweisen. Hierzu zählen die ablauforientierten Simulatoren, die bei der Modellierung auf einer prozess- und ablaufbezogenen Weltansicht basieren, und die strukturorientierten Simulatoren, bei denen das System ausgehend von der Beschreibung der Topologie modelliert wird. Es hat sich gezeigt, dass eine Reihe von Werkzeugen eine Zwischenstellung einnimmt, die sich dadurch manifestiert,

<sup>4</sup> (Wenzel & Noche, 2000)

dass beide Sichtweisen der Modellierung gleichberechtigt nebeneinander zugelassen sind und ihre Projektion aufeinander über eine zusätzliche Programmierung realisiert wird.

Die Zunahme der Simulationsaktivitäten in den vergangenen Jahren drückt sich heute u. a. in der Bereitstellung einer Vielzahl an Spezialsimulatoren aus; hier zeigt sich, dass auch neue Anwendungsbereiche für die Simulation in dieser Aggregation erschlossen worden sind (z. B. Geschäftsprozesse, Stoffflüsse). Werkzeuge, die allerdings nur eine sehr eingeschränkte Aufgabenstellung unterstützen (wie z. B. für Lagersysteme oder flexible Fertigungssysteme), sind nahezu vollständig vom Markt verschwunden.

Für die Beurteilung der Marktdurchdringung könnten auch weitere Merkmale herangezogen werden, z. B. die Lizenzinstallationen in den letzten drei Jahren, die internationale Verteilung der Lizenzen oder auch die Anzahl der Simulationssoftwareentwickler für das jeweilige Produkt. Der Nachteil derartiger Kennzahlen liegt grundsätzlich darin begründet, dass die meisten Firmen keine Angaben machen oder aber durch die Heterogenität des Anbietermarktes keine Vergleichbarkeit herzustellen ist. Eine neuere Veröffentlichung bezieht sich auf die Anzahl von Verweisen in Artikeln, Publikationen, dem Internet, etc., was zwar eine quantitative Bewertung ermöglicht, aber eher aus dem Fokus der Ausbildung und Wissenschaft (siehe Abbildung 2-11).

Tool(s) - Vendor	Website	Tools in WSC		Tools+Vendors WSC		WWW links to site		Tools+Sim WWW		Tools+Sim+Vend WWW		Google page ranking		Total WSC + WWW		ORMS List	Survey Hupic	Brooks homepage	Evaluation Yelentin	SimServ white paper	PMC list	Papers Law,McComas	Spous. Sim.Sol.Conf.	Sponsors IEE Conf.	Sponsors WSC 2005	Total Sources		Price in KS Swain, 2000
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n											o	p	
Arena - Rockwell Software	WWW.ARENASIMULATION.COM	382	55	67	1M	45K	6	22.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	13	19	0,5	25
Promodel (MedModel) - ProModel Solutions	WWW.PROMODEL.COM	181	181	60	60K	50K	6	22.3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	11	19	1	19
Automod (Simul8) - Brooks Automation	WWW.AUTOSIM.COM	146	40	35	20K	0.7K	6	17.6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	11	18	24	24
SIMPROCESS, SIMSCRIPT CACI Products	WWW.SIMPROCESS.COM	79	26	96	50K	20K	5	10.0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	9	18	0,8	10
WITNESS - Lanner Group	WWW.LANNER.COM	108	36	106	900K	10K	6	20.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	7	18		
Extend - Imagine That, Inc.	WWW.IMAGINETHATINC.COM	150	38	68	1M	0.7K	6	19.0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	7	18	1	4
Simul8 (Automod) - Brooks Automation	WWW.SIMUL8.COM	48	6	96	30K	0.4K	6	14.8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	11	18	1,5	4
QUEST; DPM ROBOTIC - Delmia	WWW.DELMIA.COM	104	19	105	20K	10K	6	18.5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	5	17		
Crystal Ball - Decisioneering, Inc.	WWW.CRYSTALBALL.COM	30	8	300	100K	20K	6	17.8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	4	17	1,5	
Flexsim (TaylorII,até 2002) Flexsim Software	WWW.FLEXSIM.COM	12	3	47	20K	1K	6	12.5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	10	17	20	
GPSS/H + SLX - Wolverine Software	WWW.WOLVERINESOFTWARE.COM	103	44	16	15K	1.7K	5	17.0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	4	17	5	
ProcessModel - ProcessModel, Inc.	WWW.PROCESSMODEL.COM	11	11	44	10K	10K	6	14.9	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	4	16	2,5	
iGrafx (2005) - iGrafx	WWW.IGRAFX.COM	4	4	400	25K	25K	7	15.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	3	16		
Micro Saint - Micro Analysis & Design, Inc.	WWW.MAAD.COM	40	1	49	15K	0.6K	6	11.8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	7	16	9	
AnyLogic - XJ Technologies	WWW.XJTEK.COM	4	1	115	10K	0.5K	6	10.4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	7	15	4	13
Enterprise Dynamics (Taylor ED) - Incontrol	WWW.INCONTROL.NL	17	5	2	1k	0.4K	3	9.5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	7	15	3,5	
eM-Plant (SIMPLE++) - Tecnomatix / UGS	WWW.EMPLANT.DE	46	2	3	15K	0.1K	4	9.0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6	15	20	30
GPSS World - Minuteman Software	WWW.MINUTEMANSOFTWARE.COM	3	3	11	10K	0,3K	4	9.2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	6	15	4,5	
TaskResourceSIM - Simulation Dynamics	WWW.SIMULATIONDYNAMICS.COM	11	10	16	0.2K	0.2K	5	11.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	3	15	1,5	
Visual Simulation Env. - Orca Computer, Inc.	WWW.ORCACOMPUTER.COM	14	8	6	0.7K	0.2K	4	10.5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	3	14	2	

Abbildung 2-11: Popularität kommerzieller ereignisdiskreter Simulationswerkzeuge (Dias, Pereira, & Rodrigues, 2007)<sup>5</sup>.

Abschließend kann festgehalten werden, dass das Kriterium Marktdurchdringung vor allem kaum Aussagen über die Anwendbarkeit der Produkte im Einzelfall erlaubt. Einerseits können traditionell allgemeine Werkzeuge ohne Ausrichtung auf spezifische (produktions-) logistische Anwendungsgebiete prinzipiell einen größeren Markt bedienen als dezidierte Werkzeuge mit hohem Anwendungsbezug. Andererseits kommen Innovationen oft nur von Produkten, deren Marktdurchdringung (noch) nicht besonders hoch ist. Die Differenziertheit des Angebotes für Simulationswerkzeuge lässt daher die Marktposition eines Werkzeuges (im Hinblick auf seine Anteile am Simulationsmarkt) nur als Mosaikstein bei der Entscheidung zur Werkzeugauswahl gelten.

<sup>5</sup> (Dias, Pereira, & Rodrigues, 2007)

Je nach Anwendungsfeld, Aufgabenstellung und Anwendergruppe kann das Ergebnis der Auswahl eines Simulationswerkzeuges unterschiedlich ausfallen. Als wesentliche Auswahlkriterien sind Aspekte der Systementwicklung, des Produkteinsatzes und der Software-Funktionalität sowie Service- und Marketingaspekte zu nennen. Zur Systementwicklung zählen die Entwicklungsgeschichte des Produktes, der Produkthersteller und die aktuellen Vertriebspartner, aber auch Marktpräsenz und Referenzen. Die Aspekte zum Produkteinsatz umfassen die typischen Anwendungsbereiche des Produktes, aber auch Hard- und Software-restrictionen und Qualifikationsanforderungen an die Anwender. In Bezug auf die Software-Funktionalität sind besondere Charakteristika und Leistungsmerkmale des Produktes selbst, die zur Verfügung stehende Modellwelt, die Im- und Exportschnittstellen, die Bedienbarkeit, die funktionalen Möglichkeiten der Modellerstellung und Strategiedefinition, der Validierung, der Experimentplanung und der Ergebnisaufbereitung sowie restriktive Kriterien wie z. B. Begrenzung in der Modellgröße abzufragen. Unter den Service- und Marketingaspekten werden Anwendungsunterstützung und Systempflege, Preispolitik und Verbreitungsgrad des Produktes, Marktbedienung, Schulung und Serviceleistungen wie Hotline, User Groups, Internet-Präsenz u. ä. zusammengefasst. Der Stellenwert der einzelnen Auswahlkriterien orientiert sich an dem gewünschten Anforderungsprofil der Endanwender. Daher ist jeder Anwender gefordert, hier entsprechend seiner Präferenzen eigene Bewertungskriterien festzulegen und zu gewichten. Für die abschließende Produktauswahl müssen Erfüllungsgrad und Anforderungsprofil in Bezug auf die Auswahlkriterien in einem ausgewogenen Verhältnis liegen. Eine mögliche Checkliste ist (VDI, 1997)<sup>6</sup> zu entnehmen.

Für die Auswahl eines Simulationswerkzeuges zur simulationsgestützten Grobplanung von Kommissioniersystemen wurden die Kriterien Schnittstellen und Erweiterbarkeit, Modellierung und Strukturierung, Laufzeitverhalten sowie auch ökonomische Aspekte für die Beurteilung von marktgängigen Werkzeugen zugrunde gelegt. Bei der Werkzeugauswahl spielte außerdem die Preis- und Supportpolitik des Herstellers eine Rolle.

Insbesondere die Werkzeuge aus den Bereichen Simulationsumgebungen und Simulatorenentwicklungsumgebungen erschienen danach adäquat zur Umsetzung dieses Vorhabens. Unter den oben genannten Gesichtspunkten wurden im Detail die Werkzeuge emPlant (heute: Plant-Simulation), Enterprise Dynamics (ehemals Taylor ED), AutoMod und SimPro bewertet. Es wurde festgestellt, dass grundsätzlich die beiden Werkzeuge emPlant und Enterprise Dynamics für die beschriebene Aufgabenstellung geeignet sind. Aus fachinhaltlichen Aspekten und dem am IML fundiert vorhandenen Detail-Knowhow zum Werkzeug Enterprise Dynamics wurde letztendlich das Werkzeug Enterprise Dynamics der Firma Incontrol ausgewählt und verwendet. Folgende Abbildung zeigt die zur Werkzeugauswahl verwendete Vergleichstabelle:

---

<sup>6</sup> (VDI, 1997)

<b>Kriterien</b>	<b>eM-Plant</b>	<b>Enterprise Dynamics</b>	<b>SimPro</b>	<b>AutoMod</b>
<b>Schnittstellen</b>				
Parameterimport	ODBC-/Oracle-/ ASCII-Baustein, SimTalk	ODBC, ASCII Excel 4DScript 4DScript	ADO-, OLE-DB, ASCII Modula-2	ASCII, AutoMod-SL
Modellgenerierung per externer Modellierung	SimTalk		???	nicht möglich
externe Simulationssteuerung	SimTalk, COM	4DScript	Modula-2	AutoMod-SL
Ergebnisexport	ODBC, Oracle, ASCII, HTML, SimTalk,	ODBC, ASCII, Excel, (HTML) 4DScript	ADO-, OLE-DB, ASCII Modula-2	ASCII, AutoMod-SL
Anbindungstechnik	an SimTalk: FileIO, DDE (enthalten), ActiveX, C, Socket, COM, HTML (extra Baustein ca.1000 €)	an 4DScript FileIO, ActiveX, Socket, DDE, COM, (HTML)	an Modula-2: FileIO, COM, Java- Wrapper, ADO-, OLE-DB	an AutoMod-SL: FileIO, ActiveX
Programmiersprache	SimTalk, C-Baustein, über Anbindung: C, C++, VB, ...	4DScript, über Anbindung: C, C++, VB, ...	Modula-2, Java, über Anbindung: C, C++, VB, ...	AutoMod-SL über Anbindung: C, C++, VB, ...
Zugriff Scheduler	eingeschränkt	ja	ja	nein
<b>Modellierung</b>				
Modellierungskonzept (objektorientiert, hierarchisch, ..)	objektorientiert, hierarchisch	objektorientiert, hierarchisch	hierarchisch	eingeschränkt hierarchisch
Definition spezifischer Bausteine	gut möglich	sehr gut möglich	möglich	nicht möglich
Wiederverwendung v. Referenzsystemen	Möglich	Möglich	möglich	möglich
Weiterverwendung für Feinsimulation	sehr gut	sehr gut	???	eingeschränkt
Maßstäblichkeit	2D: Nicht gegeben (Icon) 3D: gegeben	2D: gegeben 3D: gegeben	2D: gegeben 3D: nicht vorhanden	2D: gegeben 3D: gegeben
<b>Laufzeitverhalten</b>	Mittel	Gut	???	mittel
<b>Entwicklungs-kooperation</b>	Schlecht	Gut (projektbegleitender Ausschuss)	sehr gut (SDZ)	schlecht
<b>Vertriebspolitik</b>	-	-	???	???
<b>Lizenzkosten</b>	Runtime: ca. 7.000 € Forschung: ca. 20.000 € Voll-Lizenz: ca. 45.000 €	Runtime: Demovers.frei Forschung: ca. 3.000 € Voll-Lizenz: ca. 20.000 €	???	2000 €

Abbildung 2-12: Vergleichstabelle zur Auswahl Simulationswerkzeug

### 2.2.3 Vorgehensweise bei der Bildung eines Simulationsbausteins (IML)

Die Basis zur Bildung von anwendungsspezifischen Simulationsbausteinen bildet das zugrunde liegende Modellierungskonzept eines Werkzeugs. Die Modellierungsparadigmen bzw. -konzepte für die ereignisdiskrete Simulation gehen über die rein deskriptive Präsentation eines Modells hinaus und zeichnen sich dadurch aus, dass sie nicht nur die Systemstruktur, sondern auch das Systemzeitverhalten formal beschreiben. Simulationsmethoden umfassen die Schedulingstrategien für die Zeitabarbeitung im Simulationswerkzeug und werden nach transaktions-, prozess- und aktivitätsorientierten Strategien unterschieden. Als Modellierungskonzepte in logistischen Anwendungen werden Sprachkonzepte, generische Konzepte wie z. B. das Objektorientierte Paradigma, theoretische, mathematische Konzepte wie Petri-Netze, Warteschlangen, Automaten aber auch anwendungsorientierte Konzepte wie das Prozesskettenparadigma oder auch bausteinorientierte Konzepte eingesetzt; häufig sind auch Kombinationen dieser Modellierungskonzepte zu finden. Häufig steht das in einem Simulationswerkzeug verwendete Modellierungskonzept in direkter Abhängigkeit zu der im Simulator verwendeten Simulationsmethode/Schedulingstrategie.

<b>Modellierungs- bzw. Strukturkonzepte</b>	<b>applikations- orientierte Konzepte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prozesskettenmodell    • Fabrikstrukturmodell    • Messstellenmodell</li> <li>• Structured Modeling    • Process Graph Method</li> <li>• bausteinorientierte Konzepte    • Listenkonzepte</li> </ul>		
	<b>theoretische Konzepte</b>	<i>Erweiterte theoretische Konzepte</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• System Theoretic Approach</li> <li>• Conical Methodology</li> <li>• Condition Specification</li> </ul>	
		<i>Mathematische Modelle</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Petri-Netze</li> <li>• Automaten</li> <li>• Warteschlangen</li> </ul>	
	<b>generische Konzepte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entity-Relationship-Attribute    • Object-Oriented Paradigm</li> <li>• Entity-Attribute-Set</li> </ul>		
	<b>Sprach- konzepte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programmiersprachen    • objektorientierte Programmiersprachen</li> <li>• Simulationssprachen    • erweiterte Sprachen auf der Basis von mathematischen Modellen</li> </ul>		
<b>Simulation- methoden / Scheduling- strategien</b>	<b>zeitabhängige Konzepte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Event Scheduling    • Activity Scanning    • The Three Phase Approach</li> <li>• Transaction Flow    • Process Interaction</li> </ul>		

Abbildung 2-13: Modellierungskonzepte und Simulationmethoden (Wenzel, 1998)<sup>7</sup>.

Im industriellen Alltag haben sich insbesondere Werkzeuge mit einem dem Anwender und dem Anwendungsfall angepassten Modellierungsparadigma durchgesetzt. Im Gegensatz zu den genannten Konzepten beinhalten diese anwendungsnahen Beschreibungsmittel und orientieren sich in ihrer Begrifflichkeit an den abzubildenden Systemen der Anwendung. Typische Vertreter sind sogenannte Bausteinkonzepte, die für ein bestimmtes Anwendungsfeld topologische, organisatorische und/oder informatorische Elemente — zweckmäßig aggregiert und vordefiniert sowie aus Anwendungssicht parametrisierbar — zur Verfügung stellen. Bausteinkonzepte können sowohl die ablauforientierte bzw. funktionsorientierte Sichtweise (Fertigen, Montieren, Prüfen, usw.) als auch die aufbauorientierte bzw. topologische Sichtweise (Weiche, Förderstrecke, Lager, usw.) berücksichtigen. Eine strukturierte Darstellung der Beschreibungsmittel und Vorgehensweisen zur Modellbildung wird zurzeit in der VDI-Richtlinie 4465 ausführlich systematisiert.

Neben den oben genannten Modellierungskonzepten zur Erstellung der Simulationsmodelle unterstützen häufig zusätzlich ergänzende Beschreibungsmethoden die Modellierung der dynamischen Sachzusammenhänge und Strategien. Hier sind z. B. Zustandsübergangsdigramme, Blockdiagramme, Programmablaufpläne oder auch Entscheidungstabellen für Strategien und Regelwerke zu nennen.

Grundlage für eine pragmatische Realisierung einer anwendungsspezifischen Modellbibliothek aus Simulationsbausteinen ist oft die hierarchische Modellierung. Dabei wird nach einer rein grafischen Hierarchisierung, einer hierarchisch strukturierten Modellierung, einer iterativen/wahlweisen Hierarchisierung und einer Hierarchisierung durch externe Simulation im Sinne einer verteilten Simulation unterschieden. Insbesondere die Möglichkeit der Ableitung und Gruppierung von Simulationsgrundelementen zu höher aggregierten, anwendungsnahen Bausteinen war eine Grundvoraussetzung zur Schaffung einer Bausteinbibliothek für die simulationsgestützte Grobplanung von Kommissioniersystemen.

### 2.2.4 Konzipierung eines Datenbankschemas (fml)

Bei den heute zu Tage eingesetzten Datenbanken handelt es sich in der Regel um relationale Datenbanken. Für die Umsetzung in ein Datenbankmodell stehen im Wesentlichen zwei verschiedene Modelle, das Netzwerkdatenmodell und das hierarchische Datenbankmodell /Lackes 03/ zur Verfügung. Die Umsetzung dieser Modelle wird durch die nachfolgend angeführten Strukturregeln (vgl. Abschnitt 2.2.4.3) erleichtert, die unter anderem das Einhalten

<sup>7</sup> (Wenzel, 1998)

der ersten drei Normalformen (vgl. Abschnitt 2.2.4.2) vorschreiben. Ein Netzwerkdatenmodell kann mit Hilfe der ER(Entity-Relationship)-Modellierung (vgl. Abschnitt 2.2.4.4) umgesetzt werden, ein hierarchisches Datenbankmodell dagegen mit der SER(Strukturierten Entity-Relationship)-Modellierung (vgl. Abschnitt 2.2.4.5).

### 2.2.4.1 Allgemeine Begriffsdefinitionen

Um im nächsten Abschnitt die Normalformen und Strukturregeln definieren zu können, werden im Folgenden kurz die benötigten Begriffe nach Lackes erläutert.

#### Identifikator

Ein Identifikator ist ein Attribut oder Attributkombination, der jedes einzelne Element einer Relation eindeutig identifiziert.

#### Schlüsselkandidat

Ein Schlüsselkandidat ist ein Identifikator, dessen Attributkombination minimal ist, d.h. keine Attributmenge des Schlüsselkandidaten ist ebenfalls ein Identifikator.

#### Primärschlüssel

Der Primärschlüssel einer Relation ist der Schlüsselkandidat, der zur Identifikation der Elemente einer Relation explizit herausgestellt wird.

#### Fremdschlüssel

Unter einem Fremdschlüssel versteht man den vererbten Primärschlüssel einer anderen Relation.

#### Funktionale Abhängigkeit

Seien  $X, Y, Z$  Attributkombinationen in einer Relation  $R$ .  $Y$  heißt funktional abhängig von  $X$  in  $R$  ( $X$  bestimmt  $Y$  funktional), wenn es in keiner Relation des Typs  $R$  zwei Tupel geben darf, die in ihrem Wert zu  $X$ , aber nicht in ihrem Wert zu  $Y$  übereinstimmen.

### 2.2.4.2 Normalformen

Um eine redundanzfreie und effiziente Datenhaltung zu ermöglichen, müssen die jeweiligen Relationen normalisiert werden. Dadurch werden sowohl unerwünschte Abhängigkeiten eliminiert, als auch Mutationsanomalien vermieden. Die Normalisierung geschieht über die Anwendung der folgenden Normalformen auf die entsprechenden Relationen.

Erste Normalform: Eine Relation  $R$  befindet sich in erster Normalform, genau dann, wenn alle Attributwerte atomar sind.

Zweite Normalform: Eine Relation  $R$  befindet sich in zweiter Normalform, genau dann, wenn  $R$  in erster Normalform vorliegt und alle Nichtschlüsselattribute vollfunktional vom Primärschlüssel abhängig sind.

Dritte Normalform: Eine Relation  $R$  befindet sich in dritter Normalform, genau dann, wenn  $R$  in zweiter Normalform vorliegt und kein Nichtschlüsselattribut transitiv vom Primärschlüssel abhängt.

Neben diesen drei Normalformen gibt es noch die Boyce-Codd Normalform und eine vierte Normalform. Da die ersten drei Normalformen aber die wesentlichen Kriterien abdecken, verzichtet man zumeist auf den Aufwand ihrer Anwendung.

### 2.2.4.3 Strukturregeln

Das konsequente Einhalten von Strukturregeln erleichtert das Bilden von Relationen, die den Anforderungen der Normalformen entsprechen. Deshalb ist bei der Neuerstellung von Datenbanktabellen nach folgenden Strukturregeln vorzugehen.

1. Strukturregel: Jede eine Entitätsmenge (Menge von Objekten, siehe Abschnitt 2.2.4.4) beschreibende Relation muss einen Identifikationsschlüssel haben.
2. Strukturregel: Eine Datenbasis muss aus Relationen in 3. Normalform bestehen, welche ausschließlich globale und lokale Attribute enthalten.
3. Strukturregel: Für jedes lokale Attribut ist ein statischer Wertebereich zu definieren. Zu jedem globalen Attribut darf nur in genau einer Relation ein statischer Wertebereich definiert werden. In dieser Relation muss das Attribut Teil des Schlüssels sein. In anderen Relationen darf das Attribut nur als Fremdschlüssel mit dynamischem Wertebereich auftreten.
4. Strukturregel: Rekursive Beziehungen zwischen Relationen sind unzulässig. In einer Relation R1 darf ein globales Attribut nur mit einem Fremdschlüssel gebildet werden, dessen Ursprungsrelation R2 unabhängig von R1 definiert werden kann.
5. Strukturregel: Vorhandene Ober- und Untermengenbeziehungen zwischen Relationen sind präzise darzustellen. Die Zuordnung einer Entität zu disjunkten spezialisierten Untermengen wird durch ein diskriminierendes Attribut in der generalisierten Relation ausgedrückt.
6. Strukturregel: Die globalen Attribute einer Relation, die nicht auf statischen Wertebereichen basieren, sind als Fremdschlüssel aus denjenigen Relationen einzuführen, welche die größtmögliche Einschränkung des zulässigen Wertebereiches bewirken.

#### 2.2.4.4 Entity-Relationship Modellierung

Mit Hilfe der ERM (Entity-Relationship Modellierung) kann die Datensicht einer Datenbank mit wenigen grafischen Elementen erzeugt werden. Die drei wesentlichen Konstruktionselemente werden in Abbildung 2-14 dargestellt.

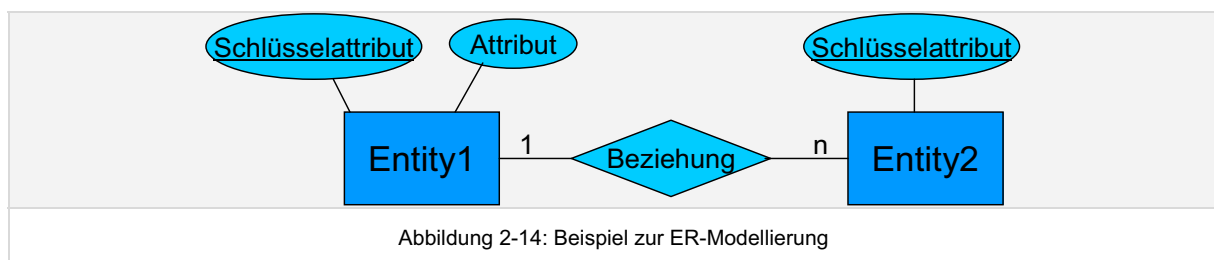


Abbildung 2-14: Beispiel zur ER-Modellierung

#### Entities

Entities sind reale abstrakte Dinge, die für eine Aufgabe von Interesse sind.

#### Relationships (Beziehungen)

Relationships sind logische Verknüpfungen zwischen Entities.

#### Attribute

Attribute sind Eigenschaften, die ein Entity beschreiben.

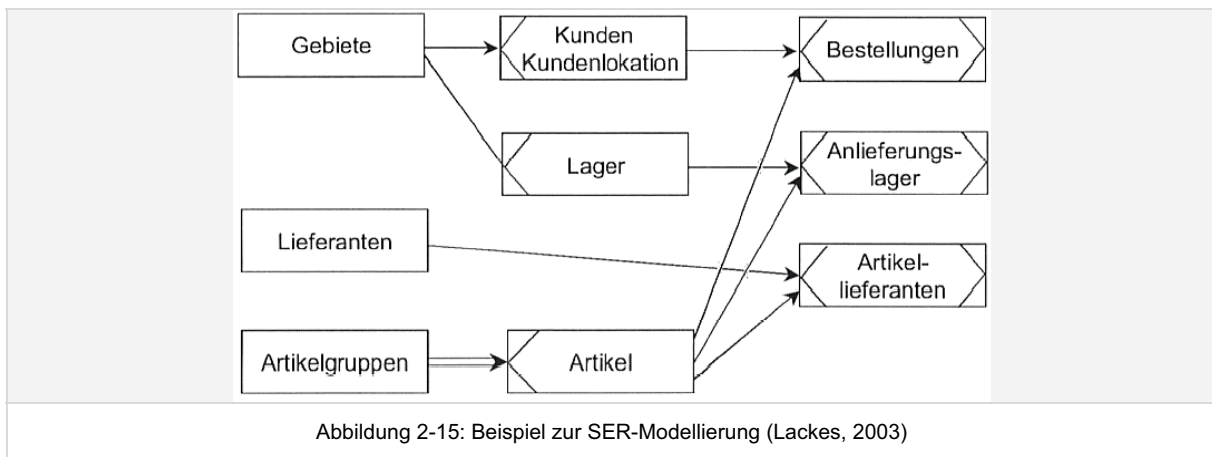
#### Kardinalitäten

Kardinalitäten von Entitäten geben an, zu wie vielen Entitäten einer anderen Entitätsmenge Beziehungen bestehen. Unterschieden werden 1:1, 1:n, n:1 und n:m. Die entsprechende Kardinalität wird auf die Verbindungslinie zwischen Entität und Beziehung aufgetragen. In Abbildung 2-14 wird eine 1:n Beziehung dargestellt.

#### 2.2.4.5 Strukturierte Entity-Relationship Modellierung

Die SERM (Strukturierte Entity-Relationship-Modellierung) ist eine um eine Hierarchie erweiterte Form der ER-Modellierung. Die Leserichtung des Diagramms ist generell von links nach rechts, so dass Fehler in der Modellierung wie z.B. rekursive Beziehungen weitestgehend vermieden werden. Ein Beispiel eines solchen Datenbankmodells wird in Abbildung 2-15 dargestellt.





## 2.3 Grundlagen der Bewertung (fml)

Die Bewertung von Kommissioniersystemvarianten hat das Ziel, die beste Variante im Vergleich zu den anderen auszuwählen. Als Vergleichsmaßstab können Kennzahlen oder entstehende Kosten gewählt werden. Ein Vergleich der entstehenden Kosten kann entweder statisch über die Kostenvergleichsmethode oder dynamisch mit Zeitbezug der anfallenden Kosten über die Kapitalwertmethode durchgeführt werden. Um zusätzlich zu den quantifizierbaren auch nicht-quantifizierbare Kriterien zu berücksichtigen, kann eine Nutzwertanalyse durchgeführt werden. Sensitivitätsanalysen werden durchgeführt um festzustellen wie stark sich Schwankungen einzelner Werte bzw. Kriterien auf das Gesamtsystem auswirken.

### 2.3.1 Kennzahlen

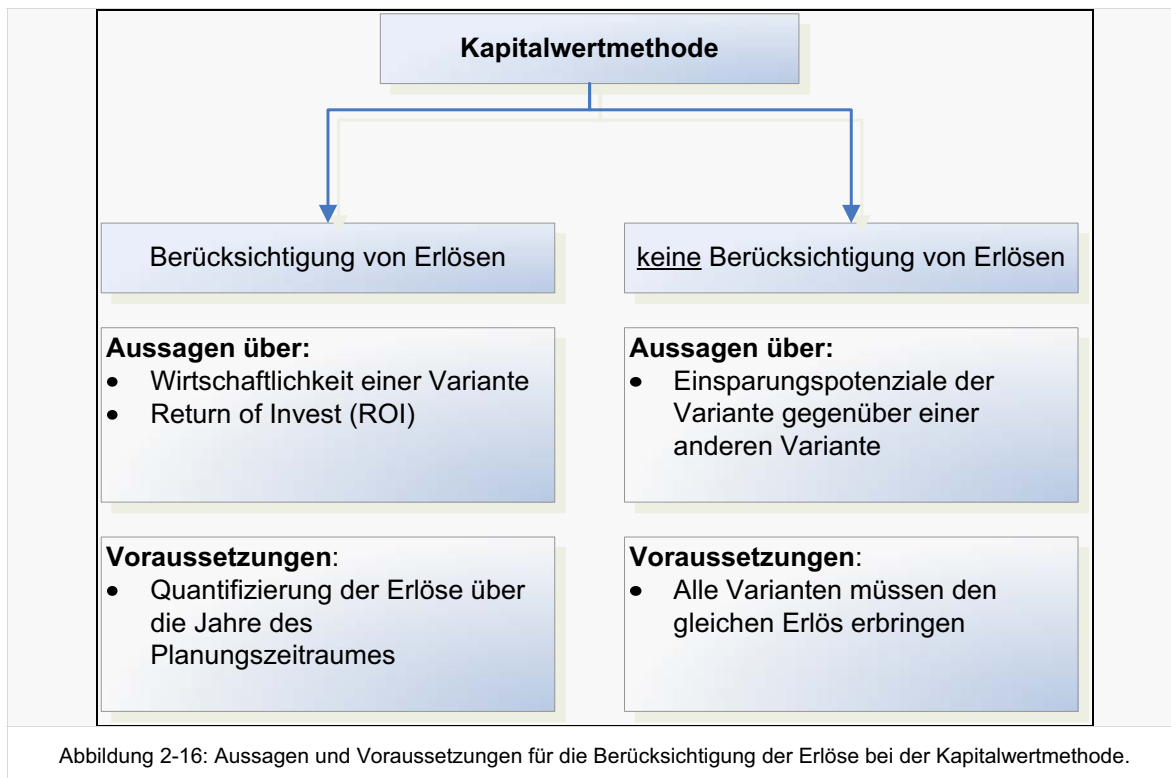
Kennzahlen dienen der Quantifizierung von Zuständen und lassen sich in zwei Gruppen unterteilen. Zum einen gibt es absolute Kennzahlen wie z.B. Kosten pro Position, zum anderen relative Kennzahlen welche einen prozentualen Anteil wie z.B. Anteil der Personalkosten an den Gesamtbetriebskosten wiedergeben. Kennzahlen enthalten in konzentrierter Form quantitative Informationen und unterscheiden sich von den Rohinformationen und Daten durch Verdichtung der entsprechenden Daten. Für Kommissioniersysteme können neben Leistungskennzahlen auch Qualitäts-, Investitions- und Kostenkennzahlen gebildet werden.

### 2.3.2 Kostenvergleichsmethode

Die Kostenvergleichsmethode ist eine statische Methode der Investitionsrechnung und ist rechnerisch sehr leicht anzuwenden. Nachteilig an diesem Verfahren ist, dass kein Zeitbezug bei den Ein- und Auszahlungsströmen berücksichtigt werden kann. Für die Berechnung einer Investition (Variante) werden drei Kostenarten summiert. Die Betriebskosten, kalkulatorische Abschreibungen und kalkulatorische Zinsen. Betriebskosten sind bei Kommissioniersystemen z.B. die Personal-, Energie-, Flächen-, Wartungs- und Instandhaltungskosten. Kalkulatorische Abschreibungen berücksichtigen den tatsächlichen Wertverlust einer Anlage. Bei Kommissioniersystemen werden hier insbesondere die Systemtechnik sowie mögliche Gebäudeinvestitionen linear abgeschrieben. Über die kalkulatorischen Zinsen wird zudem das durchschnittlich gebundene Kapital für das Investitionsobjekt berücksichtigt. Die Variante mit der geringsten Summe aus Betriebskosten, kalkulatorischen Abschreibungen und kalkulatorischen Zinsen ist die Kostengünstigste.

### 2.3.3 Kapitalwertmethode

Um den Kapitalwert von zwei Planungsvarianten zu vergleichen, muss sichergestellt werden, dass beide Modelle die gleichen Erlöse generieren. Der nur aus den Investitionen und Kosten berechnete Kapitalwert lässt keine Aussage über die Rentabilität der Investition zu. Der Kapitalwert ist dann nur ein Vergleichsmaß, um die Investitionen und die Kosten über die Zeit zu bewerten. In Abbildung 2-16 sind die Aussagen und Voraussetzungen für die beiden Ansätze dargestellt.



### 2.3.4 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist ein Verfahren, bei dem qualitative Kriterien durch die subjektive Einschätzung von Experten quantifiziert und so miteinander vergleichbar gemacht werden. Verschiedene Kommissioniersysteme können über die Berechnung ihrer jeweiligen Nutzwerte  $N$  verglichen werden. Ein Nutzwert errechnet sich als Summe der Teilnutzwerte  $N_i$ , die sich durch Multiplikation eines Erfüllungsgrades  $E_i$  eines Bewertungskriteriums mit einem Gewichtungsfaktor  $G_i$  berechnen lassen. Der Erfüllungsgrad drückt aus, in welchem Maß ein Bewertungskriterium von einem Kommissioniersystem erfüllt wird. Mit dem Gewichtungsfaktor wird dagegen die Bedeutung eines Bewertungskriteriums berücksichtigt.

Für die Durchführung der NWA werden demnach die drei folgenden Bestimmungsgrößen benötigt:

- Bewertungskriterien  $K_i$
- Gewichtungsfaktoren  $G_i$
- Erfüllungsgrade  $E_i$

Die Festlegung der Gewichtungsfaktoren und der Erfüllungsgrade erfolgt bei nicht quantifizierbaren Kriterien subjektiv auf der Grundlage von Erfahrungen.

### 2.3.5 Sensitivitätsanalyse

In der Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss der Eingangsdaten auf die Ergebnisgrößen untersucht. Eingangsdaten für ein Kommissioniersystem sind die Artikel- und Auftragsstruktur. Ergebnisgrößen sind die Kennzahlen, die zwischen mehreren alternativen Systemen verglichen werden. Über eine Sensitivitätsanalyse kann geprüft werden, wie stark sich die Zusammensetzung der Artikel- bzw. Auftragsstruktur ändern muss bzw. darf, damit sich beim Kennzahlenvergleich die Rangfolge der Kommissioniersystemvarianten ändert.

### 3 Vorgehensweise bei der simulationsgestützten Planung von Kommissioniersystemen

Der Planungsprozess von Kommissioniersystemen wird durch eine bestimmte Planungsaufgabe angestoßen. Die Aufgabe kann aus unterschiedlichsten Motivationen heraus entstehen. Typische Fragestellungen, die diesen Planungsprozess in Gang setzen sind z.B.

- welches Kommissioniersystem ist für ein bestimmtes Sortiment und einer definierten Lieferauftragsstruktur am Besten geeignet?
- ist das bestehende Kommissioniersystem effizient oder kann es durch Umgestaltung verbessert werden?
- wann entstehen bei einer prognostizierten Wachstumsrate Kapazitätsengpässe bei der Befriedigung von Lieferaufträgen oder reicht die Lagerkapazität nicht mehr aus?

Grundsätzlich resultieren diese Fragestellungen in Neu-, Erweiterungs- oder Restrukturierungsplanungen.

Die in diesem Forschungsprojekt definierte simulationsgestützte Planungsumgebung soll es dem Planer ermöglichen, seine Ideen zur Lösung einer bestimmten Planungsaufgabe virtuell umzusetzen und verschiedene Varianten miteinander zu vergleichen. Ziel ist es, dass der Planer selbst kein Simulationsexperte sein muss, sich aber dennoch die Vorteile der Simulation zu Nutzen machen kann. Hierzu wird der Planer zunächst von einem Windows-Applikationstool unterstützt, die Daten simulationsgerecht aufzubereiten. Welche Schritte dazu notwendig sind, wird im Abschnitt 3.1 erläutert.

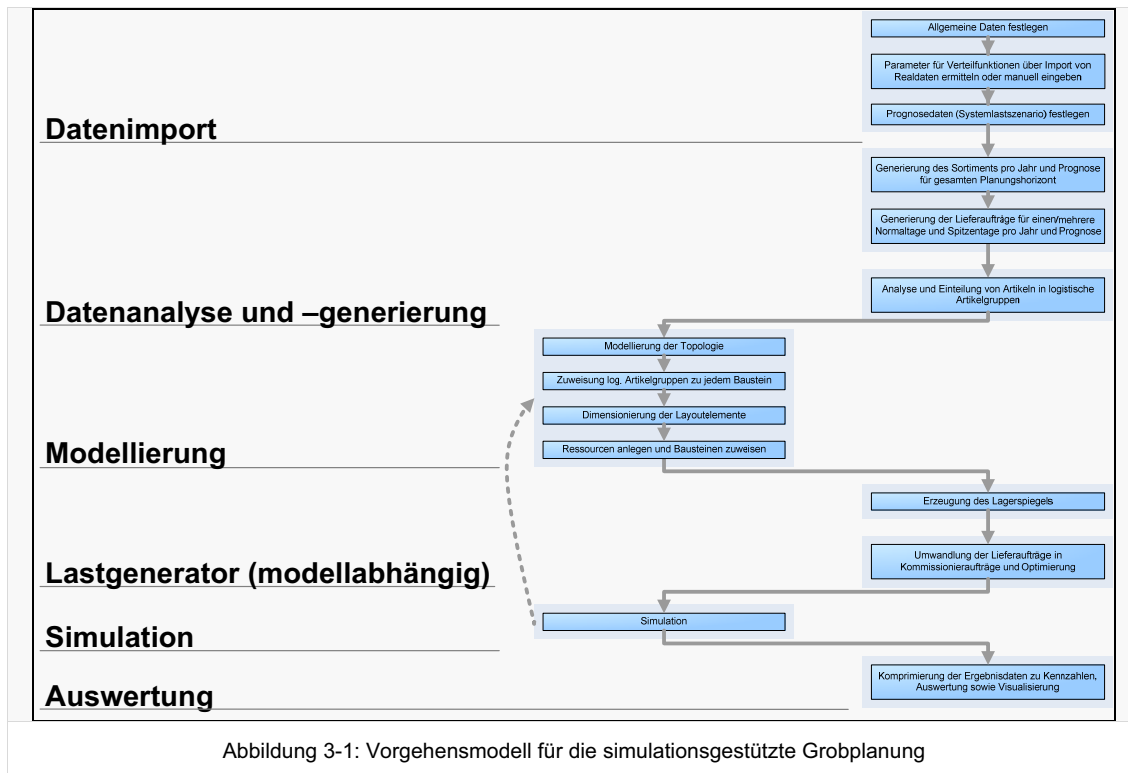
Die vom Planer definierte Kommissioniersystem-Variante wird dem System über eine Modellierungsumgebung bekannt gemacht. Für die Abbildung der Varianten stehen mehrere parametrisierbare Standardbausteine zur Verfügung, die der gewünschten Ablauforganisation entsprechend verbunden, ein heterogenes evtl. mehrstufiges Kommissioniersystem darstellen. Die zur Modellierung verfügbaren standardisierten Simulationsbausteine werden im Abschnitt 3.2 beschrieben.

Während der Simulation werden die für den Kommissionierprozess wesentlichen Zeitanteile der Basis-, Weg-, Greif- und evtl. Liegezeiten mit Start- und Endzeitpunkten ermittelt. Diese stehen nach der Durchführung des Simulationsexperiments zur Verfügung und werden über ein Windows-Applikationstool zu Kennzahlen weiterverarbeitet. Ein Überblick über die ermittelbaren Kennzahlen wird in Abschnitt 3.4 gegeben.

Selbstverständlich können diese Kennzahlen auch jederzeit direkt aus der hinterlegten Datenbank via Datenbankabfrage erstellt und weiter komprimiert werden. In dieser Datenbank werden sämtliche Daten, die während der einzelnen Planungsschritte generiert werden, gespeichert und stehen den nachfolgenden Planungsschritten als mögliche Eingangsdaten zur Verfügung. Der detaillierte Aufbau der Datenbank wird in Form eines Datenbankschemas im Abschnitt 5.1 dargestellt.

Durch die Variation der Eingangsdaten können Wechselwirkungen zu den Ausgangsdaten aufgezeigt werden, so dass sich z.B. die Rangfolge bei der Bewertung zweier Kommissioniersystemvarianten für die einen Eingangsdaten anders darstellt, als für die anderen. Die generierten Kennzahlen der verschiedenen Varianten werden über eine den Anforderungen entsprechende Gewichtung zur Entscheidungsfindung und Absicherung dieser herangezogen.

Für die Planung von Kommissioniersystemen mit Simulationsunterstützung wurde im Rahmen des Forschungsprojekts ein Vorgehensmodell entwickelt. Dieses regelt neben den notwendigen Schritten auch die Reihenfolge deren Ausführung. Im Wesentlichen werden eine Datenvorbereitungsphase, die Simulationsdurchführung und eine Phase der Auswertung benötigt. Da die Simulation über standardisierte Simulationsbausteine eine sehr aufwändige Datenvorbereitung bedarf, wird diese Phase zum Verständnis noch in den Datenimport, die Datenanalyse und –generierung, Modellierung und den Lastverteiler unterteilt (vgl. Abbildung 3-1).



### 3.1 Simulationsgerechte Datenvorbereitung (fml)

Um ein beliebiges Kommissioniersystem simulieren zu können, werden Auftragsinformationen für den eigentlichen Kommissionierprozess benötigt. Um Verwechslungen in den Begrifflichkeiten zu vermeiden, wurden wie teilweise bereits im einleitenden Kapitel des Endberichtes beschrieben die Begriffe Liefer-, Bearbeitungs-, Behälter-, Serien- und Zusammenführungsauftrag eingeführt. Diese werden nachfolgend zunächst definiert.

#### Lieferauftrag

Der Lieferauftrag ist im Rahmen des Forschungsprojekts als Kundenauftrag definiert worden. Dieser beinhaltet sämtliche Bestellinformationen in Form von Lieferauftragspositionen welche Ware der Kunde geliefert haben möchte. Ein Lieferauftrag kann bei der Definition mehrerer Zusammenführungsstellen in mehrere Lieferungen (Pakete) aufgeteilt werden.

#### Bearbeitungsauftrag

Ein Bearbeitungsauftrag umfasst sämtliche Positionen, die ein Kommissionierer in seinem Arbeitsbereich (aktuell aktiven Zone) zusammenstellen kann.

#### Behälterauftrag

Ein Behälterauftrag umfasst die Positionen, die innerhalb eines Bereichs kommissioniert werden können. Er beinhaltet genau so viele Bearbeitungsaufträge, wie er Zonen anfahren muss.

### Serienauftrag

Ein Serienauftrag ist die rein logische Zusammenfassung mehrerer Behälteraufträge. Die in einer Serie zusammengefassten Behälter durchlaufen einen Bereich gemeinsam. Die Anzahl der Behälteraufträge in einer Serie wird durch die Seriengröße bestimmt.

### Seriengröße

Die Seriengröße ist die Anzahl der Behälteraufträge, die eine Serie maximal enthalten kann.

### Zusammenführungsauftrag

Der Zusammenführungsauftrag entspricht im Wesentlichen dem Lieferauftrag, mit der Ausnahme, dass in dem Zusammenführungsauftrag die Information beinhaltet ist, welche Behälter zur Erfüllung des Auftrages benötigt werden. Werden alle Lieferaufträge über die gleiche Zusammenführung abgewickelt, so werden auch alle Behälter über diese gesteuert und gehen verlassen als eine Lieferung den Versand. Werden dagegen mehrere Zusammenführungen definiert, entstehen aus einem Lieferauftrag mehrere Lieferungen und damit auch entsprechend viele Zusammenführungsaufträge.

Ausgehend von einer genauen Definition, wie die Serien- und Zusammenführungsaufträge für die Simulationsbausteine zugänglich gemacht werden, müssen alle zuvor definierten Auftragsstypen angelegt werden. Um eine Simulation durchführen zu können werden zum einen diese Auftragsinformationen benötigt, darüber hinaus aber auch die materialflusstechnischen Verknüpfungen und Lagerorte der entsprechenden Artikel. Das impliziert, dass zunächst Sortimente für die jeweiligen Perioden angelegt werden müssen, bevor auf Grund einer Einlagerstrategie die Lagerorte bestimmt werden können. Da die Aufträge auch zunächst Artikel in ihren Positionen enthalten und noch keine Lagerortsinformationen werden für jeden zu betrachtenden Zeitpunkt ein Lagerspiegel benötigt.

Bilden Originaldaten die Planungsbasis, so müssen diese zunächst importiert werden (vgl. 5.2.1). Auf Basis dieser Originalverteilungen können nun die zu generierenden Artikel- und Lieferauftragsseigenschaften sowie deren Anzahl definiert werden. Je nach Zielstellung können Hochrechnungen bestimmter Eigenschaften gewünscht bzw. erforderlich sein. Beispielsweise wenn ein Planungshorizont von mehreren Jahren untersucht werden soll und eine Steigerung der Artikel- oder Auftragslast prognostiziert wird. Für diesen Fall können Systemlastszenarien (vgl. 4.2) definiert werden. Wie diese genau umgesetzt werden ist in 5.2.2 detailliert erklärt.

Auf Basis dieser Definitionen werden Artikel- und Lieferaufträge erzeugt. Artikel werden immer auf die Bezugsgröße eines Jahressortiments und Lieferauftragslisten auf einen Tag bezogen generiert (vgl. 5.2.3 und 5.2.4).

Der Planer wird daraufhin mit den Ideen bestimmter Planungsvarianten im Kopf Artikelgruppen nach Einteilungskriterien bilden. Diese müssen im Anschluss an die rechnergestützte Modellierung einer Planungsvariante den entsprechenden Simulationsbausteinen zugewiesen werden, in denen diese kommissioniert werden sollen.

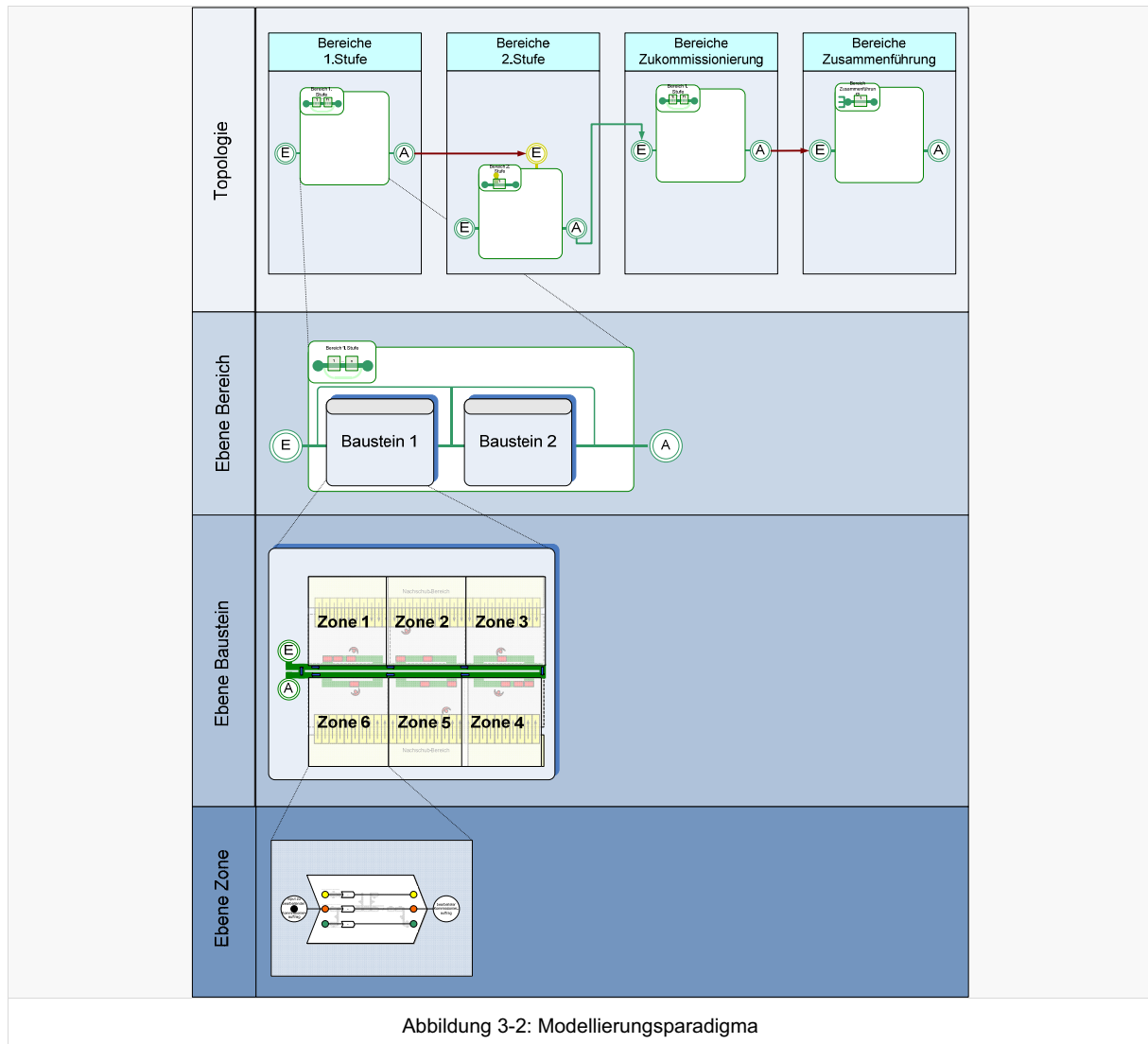
Daraufhin müssen zum einen die bereits angesprochenen Lagerspiegel erzeugt werden und zum anderen die Lieferaufträge auf die entsprechenden Simulationsbausteine in Form von Behälteraufträgen verteilt werden (vgl. 5.2.7 und 5.2.8).

Nach der Verteilung der Lieferaufträge und den feststehenden Behälteraufträgen können noch verschiedene Optimierungen vorgenommen werden. Von der Zusammenfassung der Behälteraufträgen zu Serien bis zur Reihenfolgebildung. Hierzu wird zusätzlich eine Einteilungen der Behälteraufträge in Batches erforderlich (vgl. 5.2.9, 5.2.10 und 5.2.11). Nach vollständigem Datenaufbereitungs- und optimierungsprozess kann die Simulation durchgeführt werden.

## **3.2 Spezifikation standardisierter Planungsbausteine (IML)**

Für die Entwicklung einer simulationsgestützten Planungsumgebung galt es im Forschungsprojekt zunächst die sogenannte Modellwelt des Planers zu definieren, also eine Sicht auf

die von einem Planer in der Regel zur Gestaltung von Kommissioniersystemen verwendeten Elemente und Bausteine. Diese Modellwelt findet sich wieder in einem im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelten Modellierungsparadigma welches in folgender Abbildung dargestellt ist:



Das entwickelte Modellierungsparadigma besteht zunächst aus einer Topologie-Ebene in der die vier Funktionsbereiche 1.Stufe, 2.Stufe, Zukommissionieren und Zusammenführung als Oberfunktionen in einem Kommissioniersystem abgebildet sind.

In jedem der Funktionsbereiche können vom Planer Bausteinbereiche angelegt werden. Diese Bereiche dienen folgendem Zweck:

- klare Strukturierung des Modells nach Bereichen der ersten Kommissionierstufe, der zweiten Kommissionierstufe und der Zusammenführung
- Definition von Bereichen für die Auftragseinlastung: ein Bereich hat immer genau einen Punkt der Auftragseinlastung.
- transparente Modellierung des Modellverhaltens bzgl. Serienbildung und Serienaflösung bei seriell verbundenen Bausteinen der ersten Kommissionierstufe.
  - Serie wird immer am Ende des Bausteins aufgelöst, das heißt einen Bereich verlassen immer einzelne Auftragsbehälter.
  - Innerhalb eines Bereiches bleibt die Seriengröße immer gleich. Der Bereich kann damit auch als Objekt mit gleichartigem Auftragsbehältertransportsystem angesehen werden.

In den Bausteinbereichen können je nach Funktionsbereich einer oder mehrere Bausteine seriell verknüpft enthalten sein. Ein Baustein kann aus einer oder mehreren Zonen bestehen, wobei die Zonen eines Bausteins immer eine exakt gleiche Technik und Organisation aufweisen. Der eigentliche Kern-Kommissionierprozess findet innerhalb einer Zone statt.

Die im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Vorarbeiten für die Definition und Strukturierung der Bausteine wurden bereits im Kapitel 2.1.3 beschrieben. Als wesentliches Unterscheidungsmerkmal der Bausteine untereinander wurden angelehnt an Gudehus die sechs möglichen Kombinationen bzgl. der Art und Weise wie sich Bereitstellereinheit, Kommissionierer und Auftragsablage für den Kommissioniervorgang zu einander verhalten zugrundegelegt:

1. konventionelles Kommissionieren mit statischer Bereitstellung
2. dezentrales Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung
3. stationäres Kommissionieren mit dynamischer Artikelbereitstellung
4. Inverses Kommissionieren mit statischer Auftragsbereitstellung
5. Mobiles Kommissionieren mit statischer Artikel- und Auftragsbereitstellung
6. Stationäres Kommissionieren mit dynamischer Artikel- und Auftragsbereitstellung

Davon abgeleitet wurden die folgenden Bausteintypen mit den für den Planer von Kommissioniersystemen anschaulichen Bezeichnungen:

Typ 1: konventionelles Kommissionieren mit statischer Artikelbereitstellung

Typ 2: Zone-Picking mit statischer Artikelbereitstellung

Typ 3: Bedienstation mit dynamischer Bereitstellung aus vorgeschaltetem Lager

Typ 4: Inverses Kommissionieren mit dynamischer Bereitstellung aus vorgeschaltetem Lager

Typ 5: mobiles Kommissionieren mit statischer Bereitstellung von Artikeln und Aufträgen

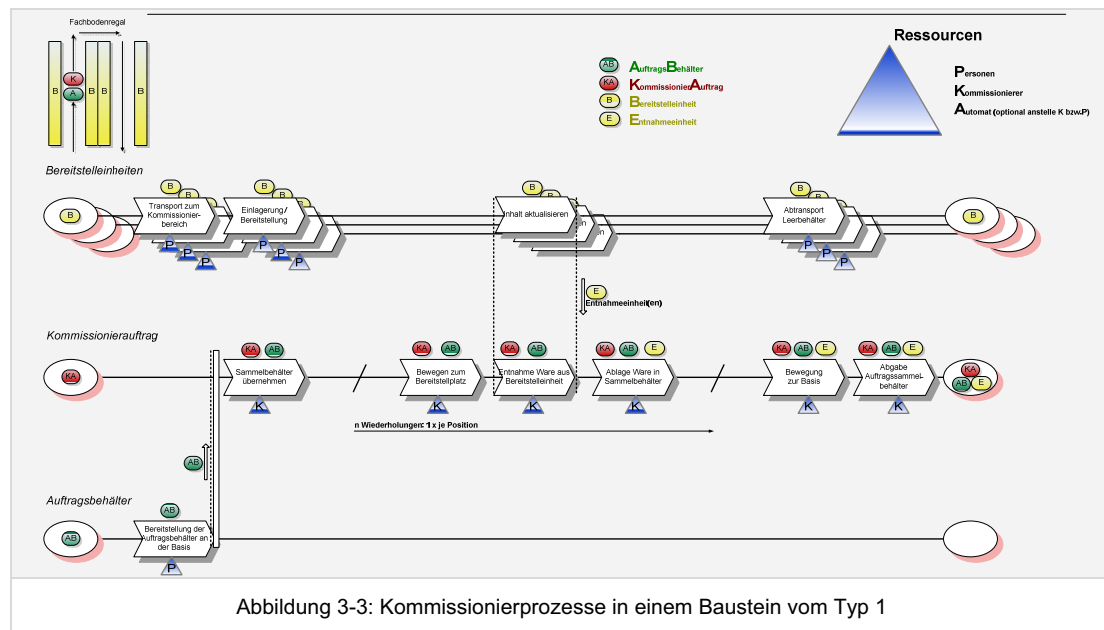
Typ 6: zentrales Kommissionieren mit festen Abgabeplätzen

Die 6 Typen werden in den folgenden Unterkapiteln näher beschrieben.

In Abhängigkeit des Funktionsbereiches (erste Kommissionierstufe, zweite Kommissionierstufe, Zukommissionieren, Zusammenführen) sind nicht alle Typen von Bausteinen in jedem Bereich zulässig. Zusätzlich zu den oben definierten 6 Typen wurde im Rahmen des Forschungsprojektes noch ein weiterer Typ definiert, der jedoch nur eine rein logische Zusammenführung von Teilaufträgen im Bereich „Zusammenführen“ vornimmt.

### **3.2.1 Typ 1 – konventionelles Kommissionieren**

Der Typ 1 entspricht dem konventionellen Kommissionieren aus einem Lager mit statischer Bereitstellung der Artikel und einem Mann-zu-Ware Prinzip bei der der Kommissionierer sich mit der Auftragsablage zu den Bereitstellereinheiten bewegt. Insbesondere wird hier in der Ausgangsparametrisierung von nur einer Zone für das gesamte Bereitstelllager ausgegangen und einer rein manuellen Arbeitsweise ohne Auftragsbehältertransportsystem. Der Prozess der bei diesem Typ innerhalb einer Zone stattfindet ist in folgender Abbildung in Form einer Prozesskette dargestellt:



Die Prozesskettendarstellung zeigt den Prozess der Bereitstellereinheiten in gelb, den Prozess des Kommissionierers in rot und den Prozess der Auftragsablage in grün. Typisches Beispiel für diese Art der Kommissionierung ist die Kommissionierung aus einem Fachbodenregal.

Aus Sicht des Kommissionierers stellt sich der Kommissionierprozess wie folgt dar:

- Übernahme des Auftrags-Sammelbehälters bzw. der Transporteinheit an der Basis  
Hier wird ein Zeitverbrauch entsprechend dem Baustein-Parameter BasiszeitZoneStart verbraucht)
- Bewegung zum ersten Bereitstellort  
Basierend auf den Lagerpegelinformationen wird hier ein berechneter Zeitverbrauch entsprechend der Entfernungen und Geschwindigkeiten in x- und y-Richtung gebucht
- Entnahme der Ware aus der Bereitstellung  
Die Zeit für eine Entnahme ist basierend auf dem MTM-Verfahren berechnet und in jedem Baustein als Standardwert hinterlegt. Die Anzahl der notwendigen Entnahmenvorgänge aus dem Fach ist abhängig von der Anzahl Stück die gleichzeitig entnommen werden können (Parameter AnzahlGreifen).
- Ablegen der Ware in den Sammelbehälter  
Die Zeit für eine Ablage in den Sammelbehälter wurde für einen Standardfall mittels MTM-Verfahren berechnet und je Baustein hinterlegt. Dient eine Entnahme der Bedienung von mehreren Auftrags-Positionen wie z.B. bei der Kommissionierung von Serien, so fällt je Auftragsposition einmal die Abgabezeit an.
- Bewegung zum nächsten Bereitstellort  
Entsprechend der Kommissionierauftrags-Informationen und der hinterlegten Wegstrategie wird die Entfernung zum nächsten Bereitstellort berechnet und basierend auf der Geh-Geschwindigkeit des Kommissionierers als Zeitverbrauch gebucht.
- Bewegung zur Basis  
Nach der Kommissionierung der letzten Kommissionierauftragsposition wird der Rückweg zur Basis als Zeitverbrauch gebucht
- Abgabe Auftrags-Sammelbehälter  
An der Basis angekommen wird der Auftrags-Sammelbehälter bzw. die Transporteinheit für die Sammelbehälter einer Serie an die nachfolgenden Zonen/Bausteine abgegeben. Hier wird der Zeitverbrauch entsprechend dem Parameter BasisZeitZoneEnde gebucht.



### 3.2.2 Typ 2 – Zone-Picking mit statischer Artikelbereitstellung

Dieser Baustein dient dem Planer als Vorlage für die Modellierung von Zone-Picking-Systemen. Hier wird das Bereitstelllager in technisch und organisatorisch gleichartige Zonen unterteilt. Die Zonen sind in der Standard-Parametrisierung des Bausteins durch ein Transportsystem für die Auftragsammelbehälter bzw. für die Transporteinheit der Sammelbehälter einer Serie verbunden. Der Prozess aus Sicht des Kommissionierers unterscheidet sich nicht von dem Prozess im Baustein vom Typ 1.

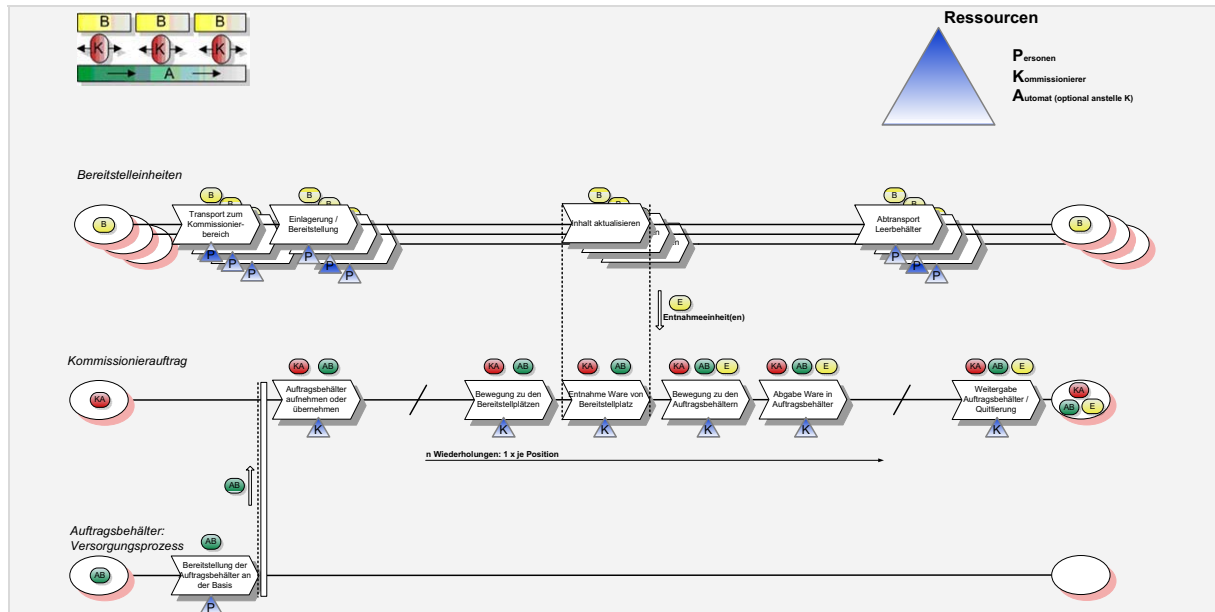


Abbildung 3-4: Kommissionierprozesse in einem Baustein vom Typ 2

Das Layout eines aus mehreren Zonen bestehenden Zone-Picking-Systems kann diverse Ausprägungen annehmen. Im Rahmen des Projektes wurde – ohne Einschränkung der Allgemeinheit - von einem Layout mit Umlaufmöglichkeit der Transporteinheiten entsprechend folgender Darstellung ausgegangen:

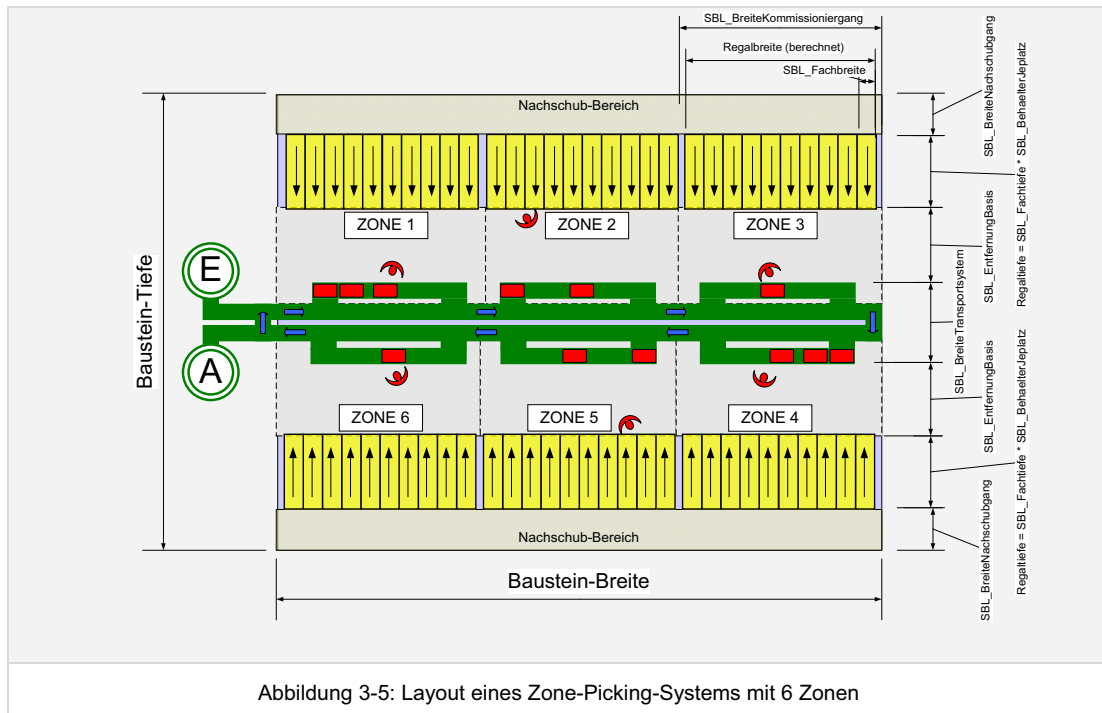


Abbildung 3-5: Layout eines Zone-Picking-Systems mit 6 Zonen

Andere Layout-Varianten können durch Anpassen der Gestaltungs- und Bemaßungs-Parameter ebenfalls abgebildet werden. Abbildung 2-1 zeigt ebenfalls die für alle Bausteine definierte Layout-Darstellung mit den enthaltenen Bemaßungs-Parametern am Beispiel des Bausteins vom Typ2.

Prinzipiell ist bei allen Bausteinen – mit Ausnahme von Bausteinen des Typ6 - die Definition und Parametrisierung von mehr als einer Zone möglich.

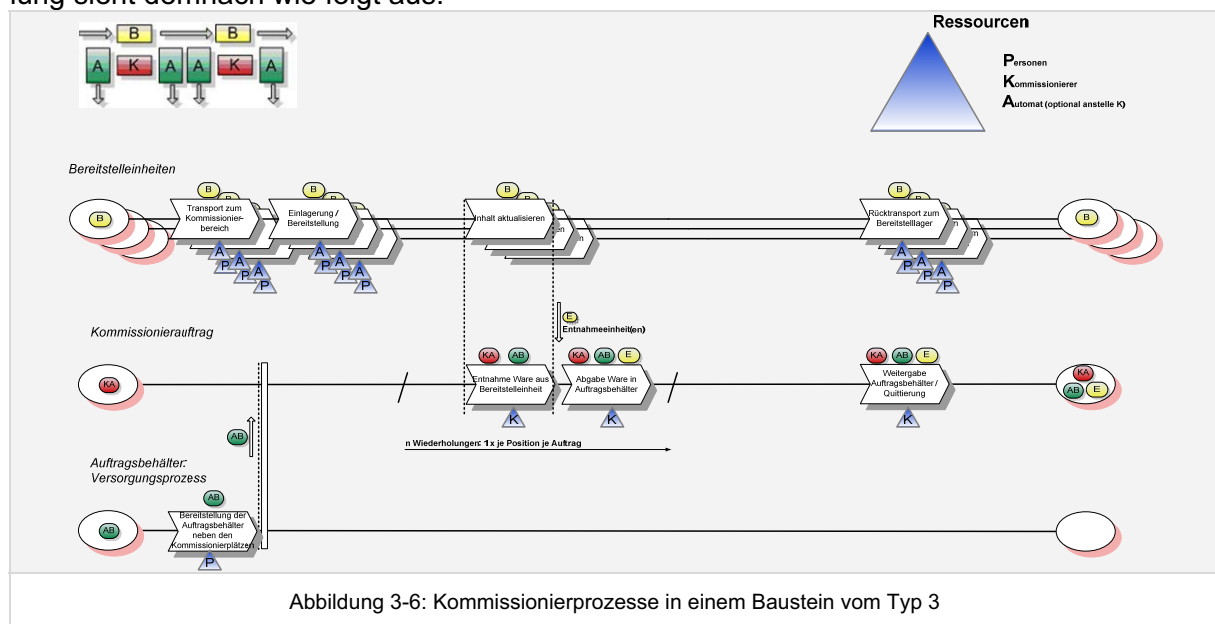
### 3.2.3 Typ 3 – Bedienstation mit dynamischer Artikelbereitstellung

In Bausteinen vom Typ 3 werden die Bereitstellereinheiten dynamisch im Kommissionierbereich bereitgestellt. Bausteine vom Typ 3 können in Bereichen der ersten und in Bereichen der zweiten Stufe modelliert werden.

In Bereichen der ersten Stufe erfolgt die Bereitstellung aus einem vorgeschalteten Lager wie z.B. einem automatischen Palettenlager oder einem automatischen Kleinteilelager. Oft wird diese Art der Kommissionierung auch als Ware-zu-Mann-Kommissionierung bezeichnet.

In Bereichen der zweiten Stufe erfolgt die Bereitstellung der Ware über die Anbindung eines versorgenden Bereichs der ersten Stufe. Dieser Bereich „produziert“ die Bereitstellereinheiten der zweiten Stufe durch artikelorientierte Kommissionierung der Auftragsmengen für die in einer Serie zusammengefassten Auftragsablagen in einer Zone der zweiten Stufe.

Durch die dynamische Bereitstellung entfällt die Fortbewegung des Kommissionierers zur Bereitstellung. Dies ist auch der wesentliche Unterschied zu dem im nächsten Unterkapitel vorgestellten Typ4 – inverses Kommissionieren. Der Prozess in der Prozesskettendarstellung sieht demnach wie folgt aus:



Oft wird wie oben erwähnt in solchen Systemen an einer Station parallel in mehrere Auftragsbehälter kommissioniert – also mit einer Seriengröße  $> 1$ . Der Prozess des Kommissionierers wie oben dargestellt läuft an einer Bedienstation wie folgt ab:

- Aufstellen der Auftragsbehälter einer Serie in der Zone  
Hier kann ein Zeitverbrauch für das Aufstellen der Auftragsablagen einer neuen Serie entsprechend dem Bereichsparameter `BasisZeitBereichStart` gebucht werden
- Übernahme des dynamische zugeführten Bereitstellbehälters an der Basis  
Hier wird ein Zeitverbrauch entsprechend dem Baustein-Parameter `BasiszeitZoneS`art verbraucht
- Entnahme der Ware aus der Bereitstellung  
Die Zeit für eine Entnahme ist basierend auf dem MTM-Verfahren berechnet und in

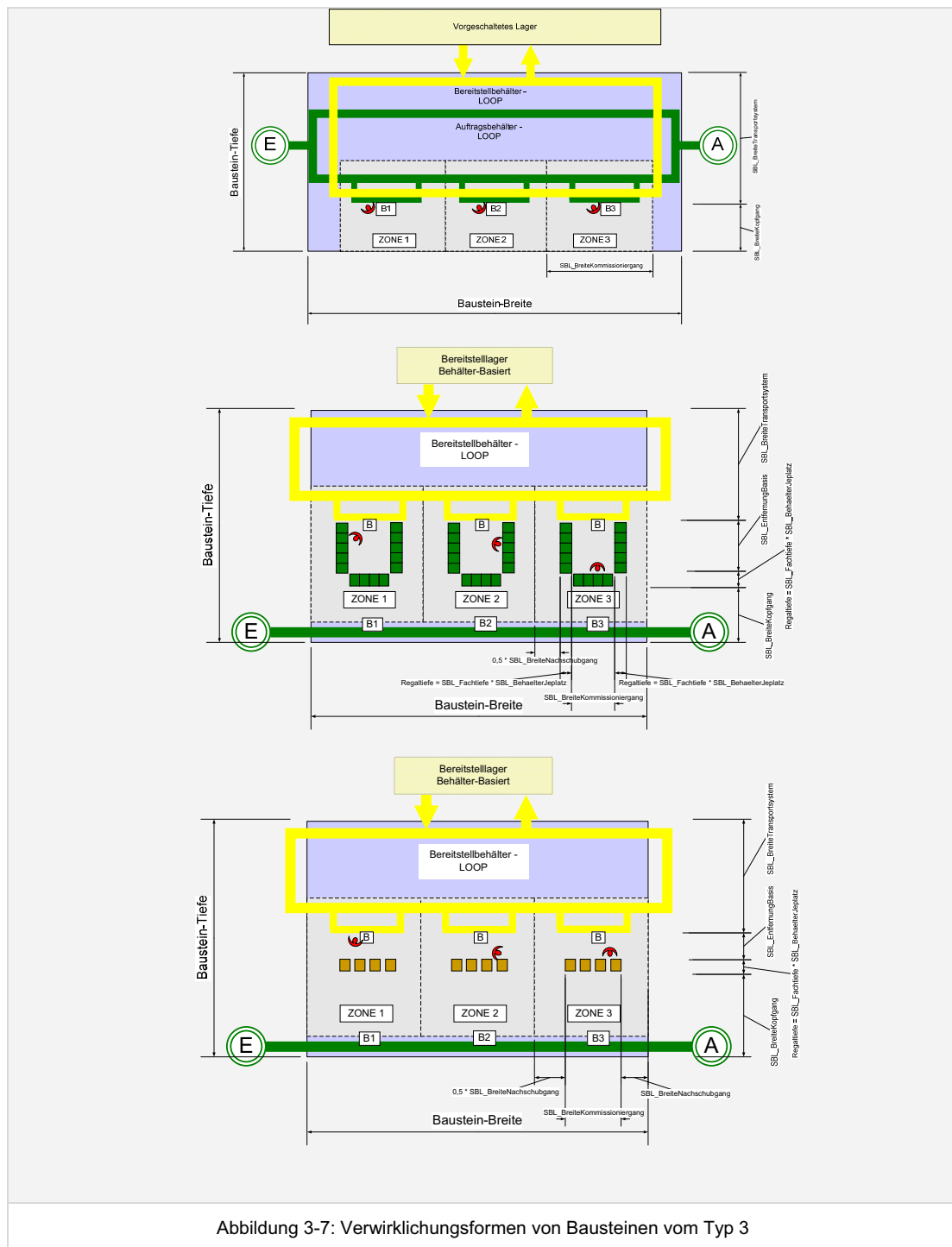
jedem Baustein als Standardwert hinterlegt. Die Anzahl der notwendigen Entnahmevorgänge aus dem Fach ist abhängig von der Anzahl Stück die gleichzeitig entnommen werden können (Parameter AnzahlGreifen). Wartezeiten an der Bedienstation die durch fehlende Bereitstellereinheiten verursacht werden, werden als Totzeit gebucht.

- **Ablegen der Ware in den Sammelbehälter**  
Die Zeit für eine Ablage in den Sammelbehälter wurde für einen Standardfall mittels MTM-Verfahren berechnet und je Baustein hinterlegt. Dient eine Entnahme der Bedienung von mehreren Auftrags-Positionen wie z.B. bei der Kommissionierung von Serien, so fällt je Auftragsposition einmal die Abgabezeit an.
- **Abgabe Bereitstellbehälter**  
Hier wird ein Zeitverbrauch für das Abgeben der dynamisch bereitgestellten Bereitstellereinheit entsprechend dem Parameter BasisZeitZoneEnde gebucht.

Diese Prozessabfolge wird für jede dynamisch bereitgestellte Bereitstellereinheit wiederholt bis alle Auftragspositionen der Serie aus diesem Baustein vollständig kommissioniert wurden.

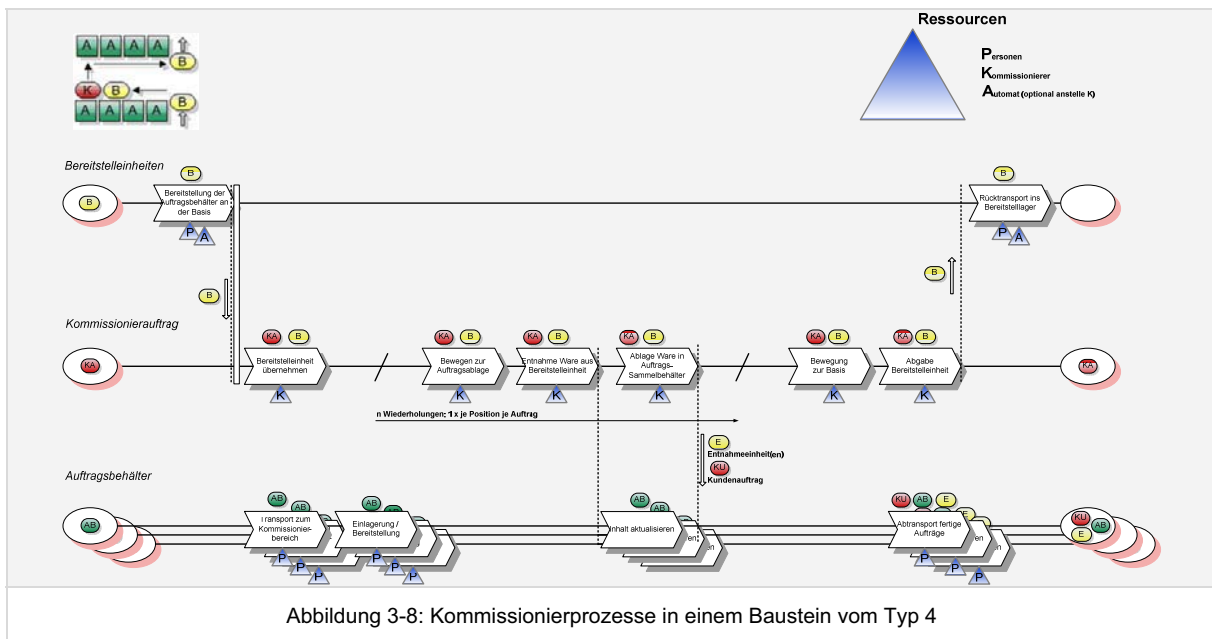
- **Fertigstellen der Serie**  
Nach Fertigstellung einer kompletten Serie kann noch ein Zeitverbrauch entsprechend dem Parameter BasisZeitBereichEnde gebucht werden.

Mögliche Verwirklichungsformen eines Bausteins vom Typ 3 können sich z.B. unterscheiden in der Art der Bereitstellereinheiten und Auftragsbehälter (von Palette auf Palette, von Behälter in Behälter, ...), der Art und Weise der Bereitstellung der Auftragsbehälter (statisch in Regalen, statisch auf dem Boden, dynamisch auf Fördertechnik) und dem Transportsystem für die Transporteinheiten bzw. Auftragsammelbehälter. Diese Verwirklichungsformen sind über die zur Verfügung stehenden Baustein-Parameter konfigurierbar. Folgende Übersicht zeigt einige Prinzipdarstellungen von Verwirklichungsformen des Bausteins vom Typ 3:



### 3.2.4 Typ 4 – Inverses Kommissionieren

Der Typ des inversen Kommissionierens ist analog zum Typ 3 dadurch gekennzeichnet, dass die Bereitstelleinheiten zu den Auftragsablagen transportiert werden – also wieder eine dynamische Bereitstellung. Jedoch wird hier davon ausgegangen, dass der Kommissionierer für die Kommissionierung einen Weg zurücklegt. Die Auftragsablagen sind hierbei statisch angeordnet (z.B. Behälter in Fachbodenregalen) oder auch Auftragspaletten auf dem Boden). Der Unterschied zum Typ3 wird ebenfalls im Vergleich der beiden Prozessmodelle deutlich:



Der Kommissionierzyklus bezieht sich bei diesem Baustein immer auf die Abarbeitung und Verteilung eines Artikels (und demnach einer Bereitstellereinheit) auf die Auftragsablagen die in der jeweiligen Zone statisch bereitgestellt werden. Die vom Planer einstellbare Seriengröße bestimmt in einem solchen Baustein die Anzahl Aufträge die gleichzeitig in einer Zone bereitgestellt werden und somit auch die zu dimensionierende Kapazität des Lagers für die Kommissionierbehälter. Nach dem alle Auftragsbehälter die entsprechenden Artikel erhalten haben, erfolgt ein kompletter Wechsel aller Behälter und die nächste Serie wird eingelastet. Die Serienzusammensetzung hat – ebenso wie im Baustein vom Typ 3 - einen großen Einfluss auf die Effizienz dieser Art der Kommissionierung, da idealerweise möglichst solche Serien gebildet werden die einen hohen Grad an Überschneidung in den zu kommissionierenden Positionen bieten.

Ein Baustein vom Typ 4 kann wie der Baustein vom Typ 3 sowohl in einem Bereich der ersten als auch in einem Bereich der zweiten Kommissionierstufe eingesetzt werden mit dem entsprechenden Einfluss auf die Herkunft der dynamisch bereitgestellten Bereitstellereinheiten.

Für den Typ 4 können durch Parametrisierung ebenfalls verschiedene Verwirklichungsformen modelliert werden. In folgender Darstellung ist eine Verwirklichungsform mit Auftragsablagen in Fachbodenregalen in U-Form dargestellt. Die Bereitstellereinheiten werden hierbei über eine Behälterfördertechnik auf einen dynamischen Bereitstelllager (AKL) zugeführt und nach der Entnahme wieder zurückgeführt.

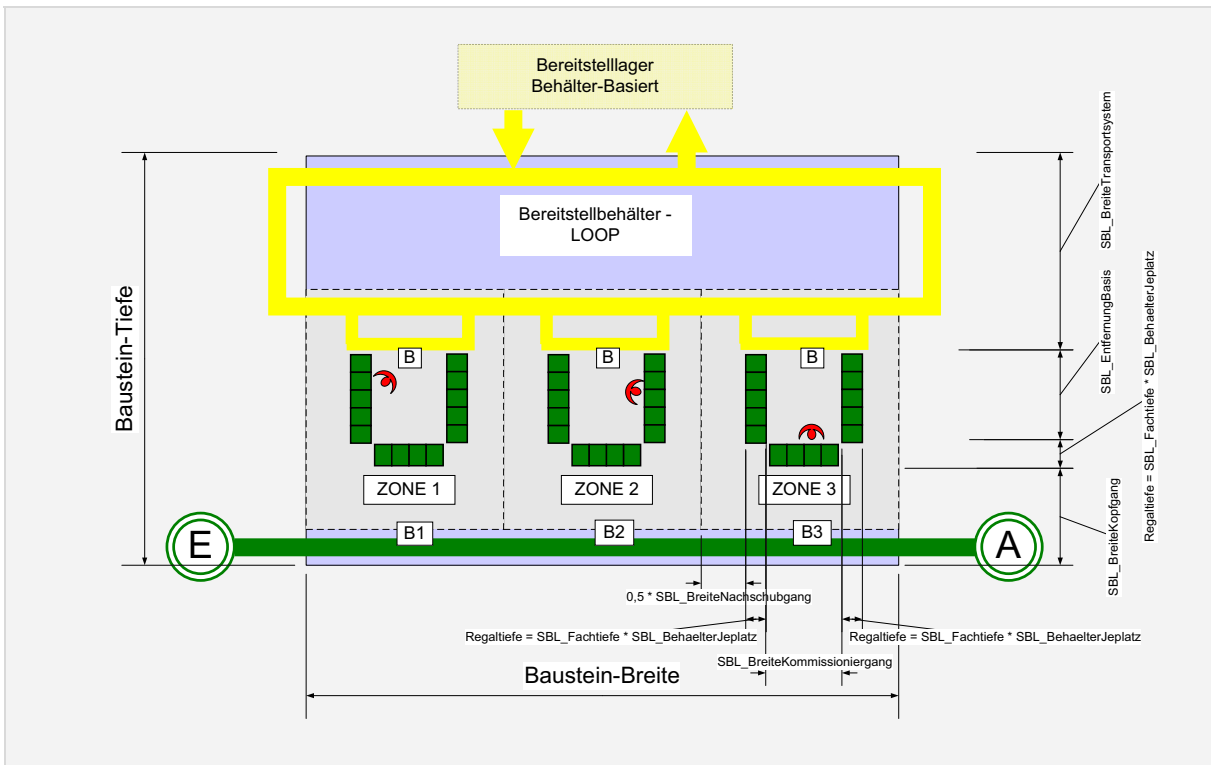


Abbildung 3-9: Verwirklichungsformen von Bausteinen vom Typ 4

### 3.2.5 Typ 5 – mobiles Kommissionieren mit statischer Bereitstellung von Artikeln und Aufträgen

Dieser Typ beschreibt Kommissioniersysteme, bei denen sowohl die Bereitstellereinheiten statisch bereitgestellt werden, als auch die Auftragsablagen statisch angeordnet sind. Die Prozessübersicht für diesen Baustein reduziert sich entsprechend der folgenden Abbildung:

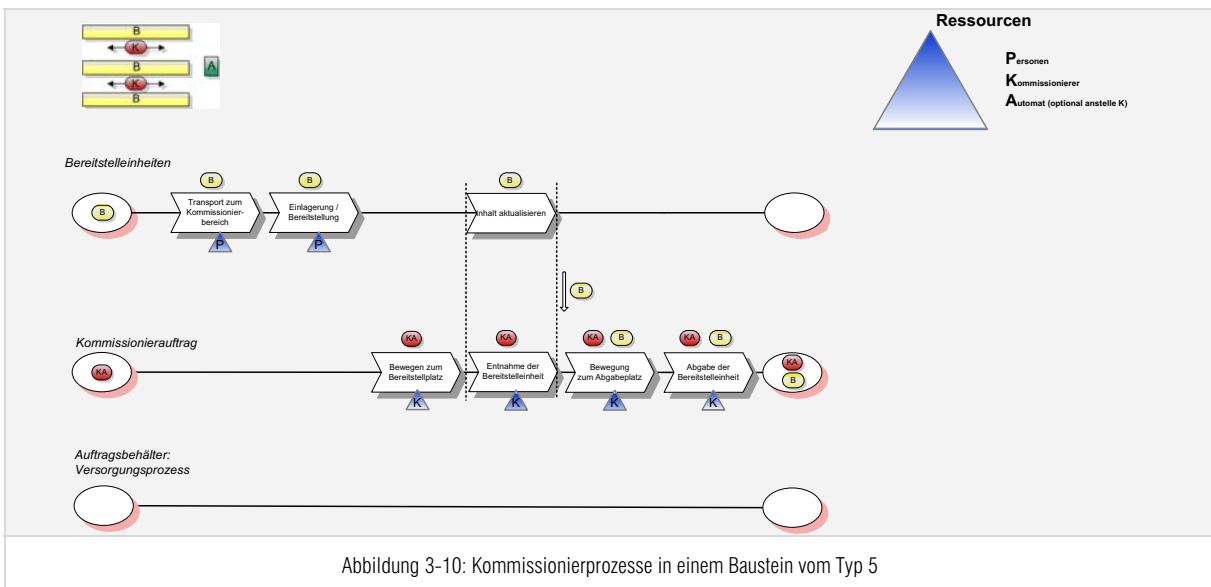


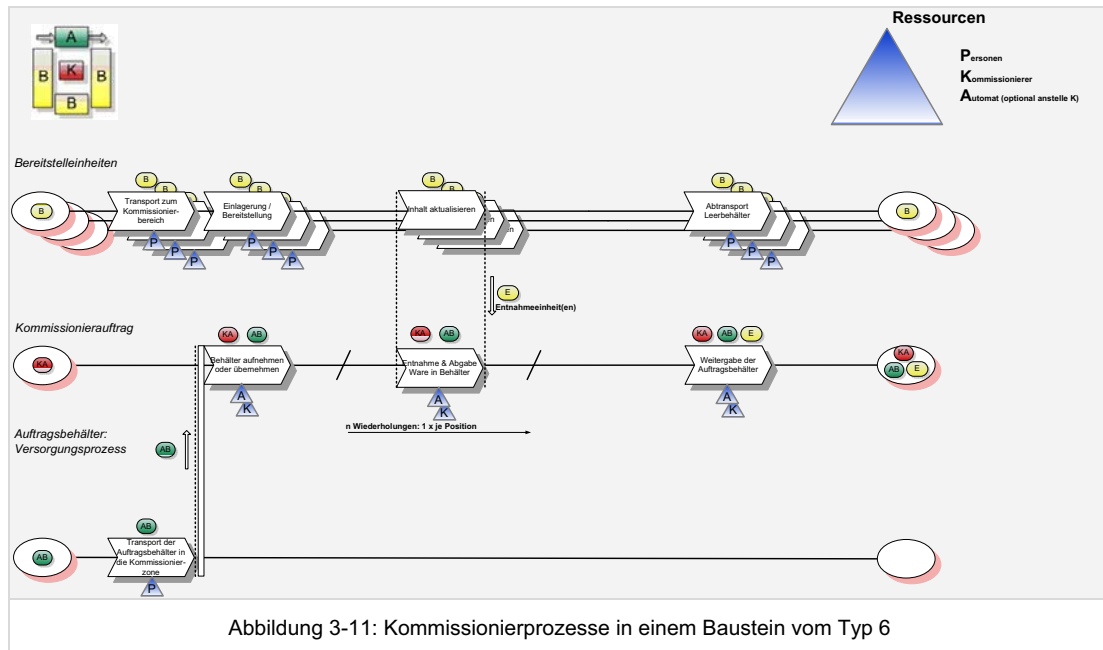
Abbildung 3-10: Kommissionierprozesse in einem Baustein vom Typ 5

Beispiel für einen Baustein vom Typ 5 ist z.B. ein verfahrbarer Palettierroboter der von aufgereihten Bereitstellpaletten auf gegen-überliegend angeordnete Auftragspaletten kommissioniert. Im weiteren Sinne findet sich auch ein dynamisches Bereitstelllager für die Versorgung von Ware-zu-Mann-Systemen in diesem Typ wieder. Ein automatisches Regalbediengerät entspricht ebenfalls einem Kommissionierer der aus einer statischen Bereitstellung Artikel entnimmt und an einem zentralen Ort abgibt. Die dynamischen Bereitstelllager werden jedoch wie bereits beschrieben im Rahmen der simulationsgestützten Konzeptplanung nicht explizit modelliert sondern als integriertes System bei Bausteinen von Typ 3 oder 4

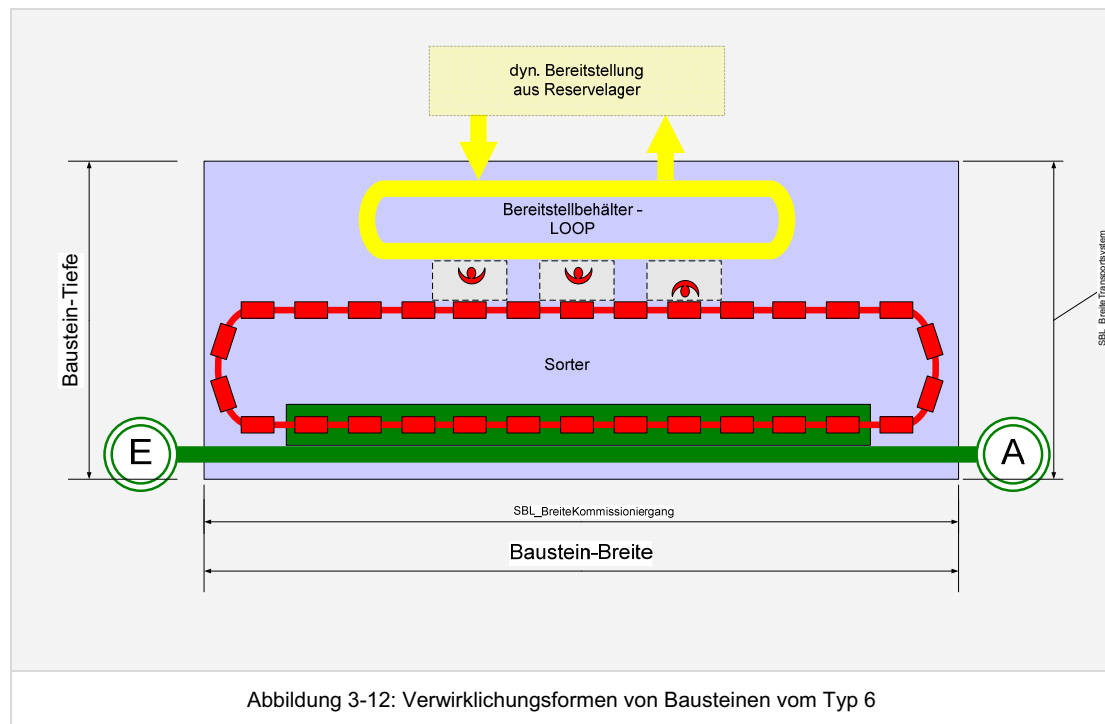
parametrisiert und abgebildet. Eigenständige Bausteine vom Typ 5 wie z.B. verfahrbare Palettierroboter sind in diesem Forschungsprojekt nicht abgebildet worden.

### 3.2.6 Typ 6 – zentrales Kommissionieren mit festen Abgabepätzen

Dieser Typ dient als Vorlage für Systeme, in denen innerhalb einer Art BlackBox sowohl die Bereitstellung der Artikel, die Bereitstellung der Auftragsbehälter als auch die Kommissionierung innerhalb eines integrierten Gesamtsystems erfolgt. Als Beispiele seien hier genannt ein Schachtkommissionierer oder auch ein Sorter. Die Prozesse, in einem solchen Baustein stellen sich wie folgt dar, wobei hier eine eindeutige Definition schwierig ist, da nicht klar definierbar ist welche Prozesse in welcher Art und Weise tatsächlich stattfinden:



Die Modellierung von solchen Systemen mittels des Bausteins vom Typ 6 erfolgt über den gleichen Parametersatz wie bei den Bausteinen 1 bis 5, jedoch auf einem größeren Level. In der folgenden Abbildung ist ein Sortersystem als Verwirklichungsform des Bausteins vom Typ 6 dargestellt:



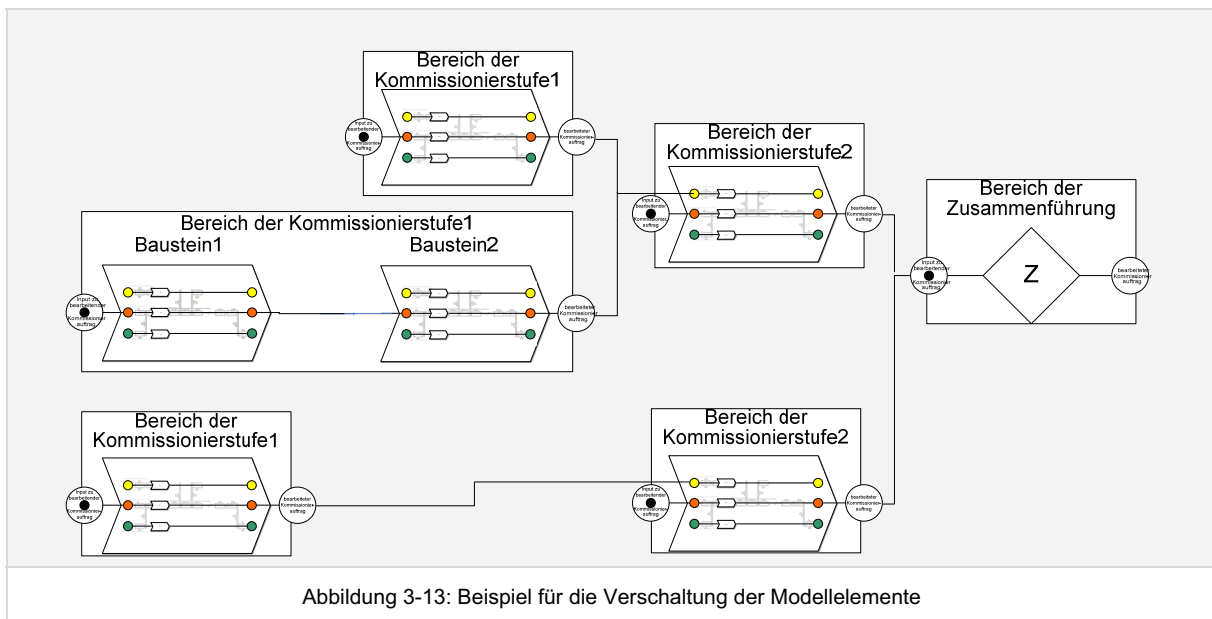
Durch eine gezielte Parametrisierung können im Bereich des Bausteins vom Typ 6 diverse integrierte Systeme und deren dynamisches Verhalten hinreichend genau abgebildet werden.

### 3.3 Prozessmodell Simulationsbausteine (IML)

Das Simulationsmodell wird aus den in der Modellierungsumgebung festgelegten Parametern maßstäblich aus konkreten Simulationselementen generiert. Dabei werden die einzelnen Komponenten des Modells nach dem Vorbild der Basisbausteine und deren Verwirklichungsformen unterschiedlich abgebildet (vgl. Kapitel 0). Die Bausteine werden dafür in drei zentrale Prozesse aufgetrennt (Prozess des Kommissionierens, Prozess des Kommissionierers, Prozess der dynamischen Bereitstellung), die in etwas abgewandelter Form in allen Bausteinen vorhanden sind (vgl. Prozessreferenzmodelle je Typ). Zusätzlich existieren weitere Prozesse des Splittens von Serien, der Auftragsverteilung auf nachfolgende Bereiche und der Zusammenführung, die explizit in je einem Baustein abgebildet werden.

Für die Layoutgestaltung stehen vordefinierte Elemente wie Kommissionierstufe1, Kommissionierstufe2, Verteilelement, Zusammenführelement, Quelle, Senke zur Verfügung, die in einem Layout angeordnet sowie entsprechend der Materialflüsse verknüpft werden. Weitere Details sind in Kapitel 6 beschrieben. Abbildung 3-13 veranschaulicht eine mögliche Zusammenschaltung der verschiedenen Layoutelemente:





Das Simulationsmodell besteht aus Quellen, Bereichen, Bausteinen, Verbindungen und Senken. Jeder Bereich besitzt eine Quelle über die die Kommissionieraufträge eingeschleust werden. In jedem Bereich können je nach Bereichstyp ein oder mehrere Bausteine enthalten sein welche eindeutig einer Produktgruppe zugeordnet sind. Alle Bausteine sind in Zonen aufgeteilt. Alle Zonen eines Bausteins enthalten die gleiche Anzahl Gassen, Spalten und Zeilen.

Der eigentliche Kommissioniervorgang kann von einem Mitarbeiter ohne und mit Hilfsmittel wie Stapler Kommissionierwagen, Kommissionierstapler erfolgen oder auch durch einen Roboter oder ein automatisches Regalbediengerät erfolgen. In allen Fällen wird im Folgenden vom Kommissionierer gesprochen. Die einzelnen Tätigkeiten des Kommissionierer sind je nach Typ sehr unterschiedliche und können den definierten Prozessmodellen je Bausteintyp entnommen werden. Siehe auch Kapitel 3.2.1.

### 3.3.1 Prozess des Preprozessing

Einige der Abläufe, die mit Hilfe der Simulation abgebildet werden, sind unabhängig von der Dynamik in der Simulation wie auch in der Realität und können daher vorberechnet werden, ohne dass ein Simulationslauf zunächst nötig ist. In der Simulation wurde daher darauf geachtet dass möglichst alle möglichen Berechnungsschritte im Vorfeld der Simulation durchgeführt werden können. Nach der Definition der Kommissionierungsabläufe konnten hiermit alle Nettoaufwände der Kommissionierer für einen Bearbeitungsauftrag mit den Basis- Weg- und Greifzeiten vorberechnet werden. Damit können diese verschiedenen Einzelprozesse in der Simulation als ein einzelner Prozess betrachtet werden. Die Berechnungsschritte werden mit dem Preprozessing durchgeführt und in die Datenbank eingetragen, so dass die Simulation später auf diese Ergebnisse zurückgreifen kann.

### 3.3.2 Prozess der Ressourcendimensionierung

Ein weiterer Vorteil der Methode des Preprozessing ist, dass insbesondere die Nettokommissionierzeiten im Vorfeld der Simulation bekannt sind und daher für die Planung des Ressourceneinsatzes verwendet werden können. Damit ist die Anzahl der Mitarbeiterstunden pro Simulationslauf je Bereich und Zone weitestgehend bekannt. Mit Hilfe der gewünschten Schichtmodelle mit eventuell eingeplanten Pausen und den obigen Informationen kann für die einzelnen Bereiche, Bausteine und Zonen eine ausreichende Anzahl Ressourcen (Mitarbeiter) eingesetzt werden. Eine Ressource kann entweder statisch einer Zone zugeordnet werden oder dynamisch zu mehreren Zonen zugeordnet sein.

### 3.3.3 Ablaufprozess der Aufträge und des Auftragsbehälters

Ein Bearbeitungsauftrag ist die Zusammenstellung aller Artikel der Lieferaufträge, die zu einer Serie gehören und in einer Zone durch einen Kommissionierer kommissioniert werden. Die einzelnen Artikel sind gemäß Lagerplatz im Lagerspiegel nach aufsteigender Fachnummer sortiert. Alle Bearbeitungsaufträge einer Serie für unterschiedliche Zonen sind nach Bausteinnummer und Zonennummer aufsteigend sortiert, damit dem Kommissionierer der Zugriff erleichtert wird.

Der so genannte Auftragsbehälter ist ein logisches oder auch konkretes physisches Element (KLT, Palette, Haufen Ware auf einem Förderband) welches die Positionen des Kommissionierauftrages aufnimmt. Die Auftragsbehälter entstehen an der Quelle eines Bereiches oder in der Zone eines Bausteins als leere Behälter oder sie kommen aus den vorgeschalteten Bereichen und Bausteinen. Sie durchlaufen entsprechend der Seriengröße des Bereiches die sequentiell zusammen geschalteten Bausteine nacheinander. Ein bausteinübergreifender Rundlauf innerhalb des Bereiches ist hierbei nicht möglich.

Am Ausgang des Bereiches wird die vorher gebildete Serie von Kommissionieraufträgen aufgelöst und die Auftragsbehälter verlassen einzeln den Bereich. Diese Vereinzelung erfolgt mit dem Baustein Splitter. Je nach Nachfolgeziel des Behälters, kann dieser in einer weiteren ersten Stufe weiter auftragsorientiert bearbeitet werden, als Versandeinheit über eine Senke das System verlassen, in einer Zusammenführung logisch gesammelt oder als Bereitstellungseinheit für eine Kommissionierstufe 2 dienen.

Der Auftragsbehälter benutzt das Auftragsbehältertransportsystem um sich innerhalb des Bausteins fortzubewegen. Er tritt in den Baustein als Serie oder Einzelbehälter ein. Von dort aus fährt er über das Auftragsbehältertransportsystem die einzelnen Zonen in denen eine Kommissionierung stattfinden soll, an.

Die Zonen welche angefahren werden sollen ergeben sich bei Bausteinen mit statischer Bereitstellung aus dem Lagerort (Zone) des zu kommissionierenden Artikels. In den Bausteinen mit dynamischer Bereitstellung existieren keine vorab fest zugeordneten Zonen. Die Kommissionieraufträge/Serien werden hier der nächsten freien Zone zugeordnet. Hier gilt jedoch: alle Aufträge einer Serie werden in derselben Zone kommissioniert.

Am Haltepunkt einer Zone verweilt die Serie solange bis alle Artikel aus dieser Zone kommissioniert sind. Vor diesem Haltepunkt kann eine definierte Anzahl Serien gepuffert werden, die dann entweder auf Bearbeitung warten (oder auch, in bestimmten Fällen, gleichzeitig kommissioniert werden können). Erst wenn alle Artikel des Bausteins welche in der aktuellen Serie benötigt werden kommissioniert sind, kann die Serie den Baustein verlassen.

### 3.3.4 Ablaufprozess der Kommissionierung

Zusammengehörige Aufträge einer Serie werden auf einer Quelle erzeugt und anschließend als Einheit in das System eingeschleust. Damit bestimmt der zuerst erzeugte Auftrag einer Serie den frühesten Startzeitpunkt dieser. Zusätzlich gibt es noch weitere Kriterien um diesen Startzeitpunkt zu verzögern, wie z.B. ein Rückstau aus dem zugehörigen Baustein oder die Überschreitung einer maximalen Kapazität an gleichzeitig im System befindlichen Serien/Bearbeitungsaufträgen zum Zweck einer Dead-Lock-Vermeidung.

Grundsätzlich wird bei der Kommissionierung vom Vorhandensein aller Artikel ausgegangen. Evtl. Fehlereinflüsse durch den Nachschubprozess können über prozentuale Störfaktoren aktiviert werden.

Für die Kommissionierung der Einzelpositionen gibt es fünf grundsätzliche Unterscheidungsfälle, die in der Simulation berücksichtigt werden:

1. Entnahme Einzelstück und Abgabe einzeln in einen oder mehrere Auftragsbehälter: Der Kommissionierer muss hier für die Entnahme von z. B. 10 Positionen aus einem Lagerfach oder Behälter 10 mal in das Lagerfach greifen, sich ggf. 10 mal zum Ablageort be-

wegen und 10 mal 1 Stück (Artikel) im Auftragsbehälter ablegen. Je nach physischen Eigenschaften des Artikels kann jedoch von einer bestimmten „GreifMenge“  $> 1$  ausgegangen werden welche pro Zugriff (Pick) entnommen werden kann. Diese Kennzahl kann pro Baustein über den Parameter Stück/Pick eingestellt werden

2. Entnahme mehrere Stück pro Pick und Abgabe in einen Auftragsbehälter. Hier kann der Kommissionierer mehrere Stück pro Pick entnehmen. Er gibt diese Menge in einen Auftragsbehälter ab. Dadurch muss er z. B. bei einer Entnahmemenge von 10 Stück nur 5 mal (2 Stück pro Pick) in das Lagerfach greifen, sich ggf. 5 Mal zum Ablage-Ort bewegen und 5 Mal 2 Stück in die Auftragablagen ablegen.
3. Entnahme mehrerer Stück pro Pick und Abgabe in mehrere Auftragsbehälter. Bei der parallelen Kommissionierung von Auftragsserien besteht neben der Entnahme noch die Abgabe in nicht nur einen Auftragsbehälter sondern eine Verteilung auf die Auftragsbehälter der Serie. Das heißt die entnommenen Anzahl Stück pro Pick muss nach der Entnahme auf die verschiedenen Auftragsbehälter verteilt werden.
4. Sammelgang: der Kommissionierer kann innerhalb eines Sammelgangs eine definierte Anzahl Stück mitnehmen. Dadurch kann er mit einem Sammelgang ggf. mehrere Positionen mitnehmen. Am Ende des Sammelgangs werden diese Artikel dann auf die Auftragsbehälter verteilt.
5. Schüttgut: der Kommissionierer kann für eine Position eine beliebige Anzahl Teile mitnehmen. Dafür muss die „GreifMenge“ auf 0 gesetzt werden.

Je nach Typ und Verwirklichungsform wird von unterschiedlichen Abläufen des Kommissioniervorgangs ausgegangen

### 3.3.5 Ablaufprozess mit dynamischer Bereitstellung

In der statischen Bereitstellung entspricht eine Position einer Anzahl gleicher Artikel, die auf die Aufträge verteilt werden. Der Kommissionierer bearbeitet in einem Zyklus immer nur eine Position genau des einen Artikels der dynamisch bereitgestellt wurde

- der Kommissionierer startet an Basis und hat eine definierte Tragekapazität an Stück die er transportieren kann
- der Kommissionierer hat kein Hilfsmittel, das heißt er trägt alle entnommenen Stück zu den Abgabepunkten bei den Auftragsbehältern
- der Kommissionierer entnimmt gemäß Menge der Position so viele wie er tragen kann aus dem Bereitstellbehälter. Der Verbrauch von Entnahmezeit richtet sich hier - wie beim konventionellen Kommissionieren im Typ 1 auch - nach der Angabe Stück/Pick. Es wird jedoch maximal die Menge einer Position bzw. benötigte Menge aus einem Bereitstellbehälter entnommen, da dynamische Bereitstellung ein nacheinander abarbeiten der Bereiteinheiten impliziert.
- Nach Erreichen der Tragekapazität bewegt er sich mit Ware zu den einzelnen Auftragsablagen und gibt die Ware jeweils ab
- Bei der Abgabe wird eine definierte Abgabezeit für die Gesamtmenge je Auftragsbehälter verbraucht

### 3.3.6 Ablaufprozess des Splittens und Verteilens

Um die Prozesse für das Splitten von Serien zu einzelnen Behältern und das Verteilen dieser Behälter auf die nachfolgenden Bereiche eindeutig im Sinne der Modellierung durchzuführen, wurde diese Funktionalität auf zwei entsprechende Bausteine, die am Ende eines jeden Bereichs angehängt werden, implementiert.

Entsprechend der Anzahl Behälter in der Serie werden neue Objekte erzeugt, die die Informationen für den Nachfolge Bereich erhalten und dann den Baustein in Richtung Verteiler verlassen. Das eingefahrene Objekt wird je nach System entweder vernichtet oder verlässt den Splitter durch den zweiten Ausgang wenn es sich um einen Transportbehälter für ein automatisches Transportsystem handelt.

### 3.3.7 Ablaufprozess des Zusammenführens

Im Baustein der Zusammenführung werden alle fertig kommissionierten Aufträge, für die hier ein Bearbeitungsauftrag vorliegt und damit hierher disponiert werden, gepuffert, bis der letzte Kommissionierbehälter mit der gleichen Seriennummer angekommen ist. Anschließend verlassen diese Behälter gemeinsam den Baustein, ohne dass eine weitere Kommissioniertätigkeit anfällt. Das Sammeln der Kommissionieraufträge zu einem Lieferauftrag dient insbesondere der Ermittlung von kapazitiven Kenngrößen für den Versand, sowie der exakten Ermittlung von Durchlaufzeiten und damit der Termintreue von Lieferaufträgen.

### 3.4 Ermittlung von Kennzahlen (fml)

Nach Durchführung der Simulationsläufe müssen die gewonnenen Daten zu Kennzahlen verdichtet werden. Diese können in drei Kategorien eingeteilt werden, den Leistungs-, Qualitäts-, Investitions- und Kostenkennzahlen. Welche Kennzahlen im Detail betrachtet und verglichen werden, hängt ganz von der Zielstellung der jeweiligen Planungsaufgabe ab. In den folgenden Abschnitten werden die möglichen Kennzahlen aufgelistet. Diese können je nach Aussagekraft auf unterschiedliche Hierarchieebenen bezogen werden. Diese sind die Zonen-, Baustein-, Bereichs- und Modellebene. Darüber hinaus gibt es Kennzahlen die sich auf Ressourcenebene (Kommissionierer, Regalbediengerät, etc.) bilden lassen.

#### 3.4.1 Leistungskennzahlen

Leistungskennzahlen sind zum einen Detaileigenschaften oder Zeitverbräuche bzw. –anteile der jeweiligen Auftragsebenen. Dabei können sowohl Kennzahlen für die Normaltage (NT), als auch für Spizentage (ST) gebildet werden. Eine Übersicht der Leistungskennzahlen ist im Folgenden aufgelistet.

- Anzahl Lieferaufträge (NT / ST)
- Anzahl Lieferauftragspositionen (NT / ST)
- durch. Anzahl Positionen pro Lieferauftrag (NT / ST)
  
- Volumen pro Lieferauftrag (NT / ST)
- Gewicht pro Lieferauftrag (NT / ST)
  
- Menge pro Lieferauftragsposition (NT / ST)
  
- Anzahl Behälteraufträge (NT / ST)
- Anzahl Behälterauftragspositionen (NT / ST)
- Anzahl Serien (NT / ST)
- Anzahl Batches (NT / ST)
- durch. Anzahl Positionen pro Behälterauftrag
- durch Anzahl Behälteraufträge pro Serie
- Kommissionierzeit (ohne Zonenwechsel) (NT / ST)
- Kommissionierzeit (mit Zonenwechsel) (NT / ST)
- Zonenwechselzeit (NT / ST)
- Greifzeit (NT / ST)
- Wegzeit (NT / ST)
- Basiszeit (NT / ST)
- Liegezeit (NT / ST)
  
- Volumen pro Behälterauftrag (NT / ST)
- Gewicht pro Behälterauftrag (NT / ST)
  
- Volumen pro Behälterauftragsposition (NT / ST)
- Gewicht pro Behälterauftragsposition (NT / ST)
- Menge pro Behälterauftragsposition (NT / ST)

- Volumen pro Serie (NT / ST)
- Gewicht pro Serie (NT / ST)
  
- Zeit pro Lieferauftrag (NT / ST)
- Zeit pro Serie (NT / ST)
- Zeit pro Behälterauftrag (NT / ST)
- Zeit pro Behälterauftragsposition (NT / ST)
  
- Zeit pro Mengeneinheit (NT / ST)
- Zeit pro Volumeneinheit (NT / ST)
- Zeit pro Gewichtseinheit (NT / ST)
  
- Anzahl Ressourcen (NT / ST)
- Gesamte Arbeitszeit (NT / ST)
- produktive Arbeitszeit (NT / ST)
- nicht produktive Arbeitszeit (NT / ST)
- Anzahl Zonenwechsel (NT / ST)

### 3.4.2 Qualitätskennzahlen

Ermittelbare Qualitätskennzahlen aus der Simulation sind vor allem die Durchlaufzeiten der verschiedenen Auftragsebenen, diese werden nachfolgend in einer Übersicht dargestellt.

- Durchlaufzeit Lieferauftrag (NT / ST)
- Durchlaufzeit Serie (NT / ST)
- Durchlaufzeit Behälterauftrag (NT / ST)

### 3.4.3 Investitionskennzahlen

Bei der Bildung der Investitionskennzahlen werden zum einen die in der Modellierung gewonnenen Modellparameter benötigt, als auch zusätzliche Eingaben des Planers über bestimmte Kostensätze. Zwar können in der Planungsumgebung Standardkostensätze hinterlegt werden, diese sind aber stets kritisch zu betrachten und gegebenenfalls anzupassen. Wichtige Investitionskennzahlen, die mit der Planungsumgebung gebildet werden können werden nachfolgend aufgelistet.

- Invest Gebäude/Fläche
- Invest Regal
- Invest Fördertechnik Bereitstellbehälter
- Invest Fördertechnik Auftragsbehälter
- Invest Kommissionierhilfsmittel
- Invest Informationstechnik
- Invest Sonstiges

### 3.4.4 Kostenkennzahlen

Zur Berechnung der Kostenkennzahlen sind Eingaben wie kalkulatorischer Zinssatz, Kosten einer Mitarbeiterstunde und mögliche Abschreibungsdauer vom Planer festzulegen. Daraus resultierend können folgende Kennzahlen erzeugt werden.

- Abschreibung Gebäude/Fläche
- Abschreibung Invest Regal
- Abschreibung Fördertechnik Bereitstellbehälter
- Abschreibung Fördertechnik Auftragsbehälter
- Abschreibung Kommissionierhilfsmittel
- Abschreibung Informationstechnik
- Abschreibung Sonstiges

- kalk. Zins Gebäude/Fläche
- kalk. Zins Regal
- kalk. Zins Fördertechnik Bereitstellbehälter
- kalk. Zins Fördertechnik Auftragsbehälter
- kalk. Zins Kommissionierhilfsmittel
- kalk. Zins Informationstechnik
- kalk. Zins Sonstiges
- Energie
- Wartung / Instandhaltung
- Personalkosten
  
- Kosten pro Lieferauftrag
- Kosten pro Behälterauftrag
- Kosten pro Position

## 4 Dimensionen der Planungsaufgabe

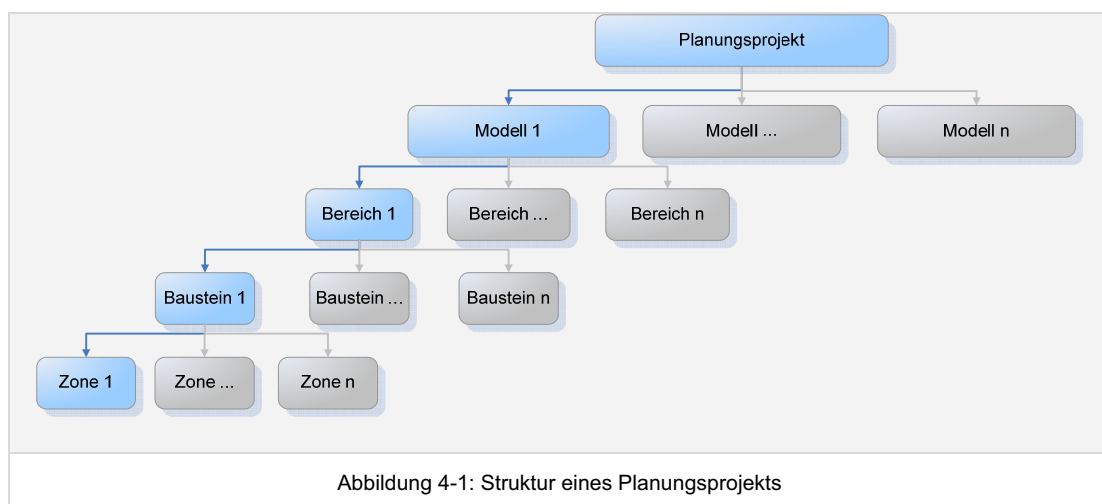
Die Aufgabe der Planung eines Kommissioniersystems resultiert in der Regel in einer Vielzahl von möglichen Varianten. In diesem Kapitel soll ein Überblick über die Zusammenhänge und den entstehenden Simulationsaufwand aufgezeigt werden.

Eine Kommissioniersystemvariante wird im weiteren Zusammenhang als Modell bezeichnet. Die Bestandteile eines Modells werden in Abschnitt 4.2 erläutert.

D.h. für jede Planungsaufgabe entsteht mindestens ein Modell, das hinsichtlich der Reaktion auf Veränderungen in der Artikel- und Lieferauftragsstruktur untersucht werden soll. Die Ausprägungen dieser Änderungen werden in Systemlastszenarien zusammengefasst. Was genau darunter zu verstehen ist, wird ebenfalls in Abschnitt 4.2 erläutert.

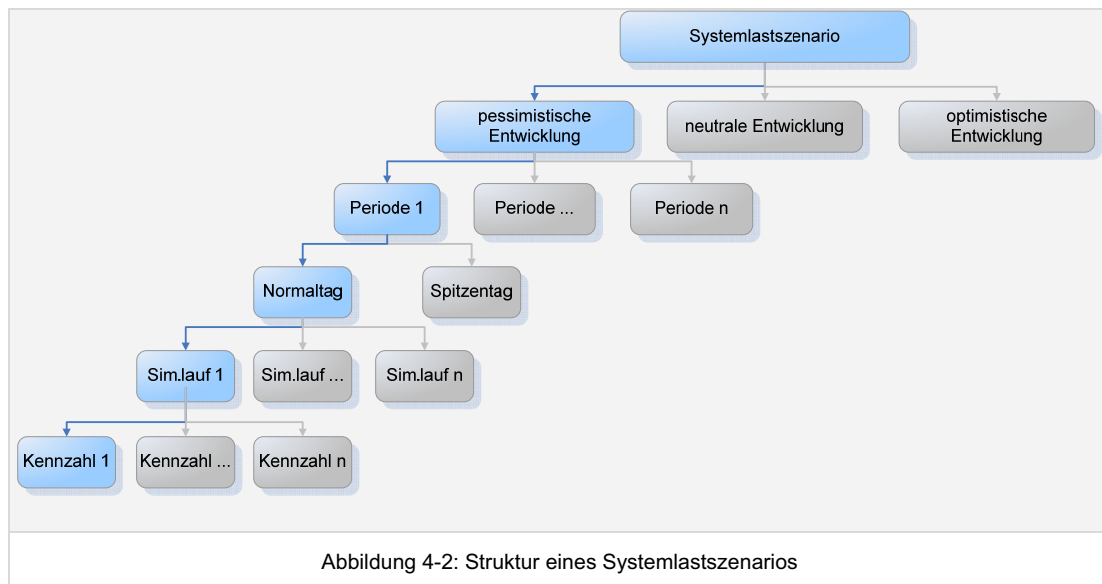
### 4.1 Planungsprojekt (fml)

Ein Planungsprojekt ist wie in Abbildung 4-1 dargestellt hierarchisch gegliedert. In einem Planungsprojekt können mehrere Modelle, welche die Kommissioniersystemvarianten darstellen erstellt werden. Jedes Modell kann mehrere Bereiche besitzen. In jedem Bereich wird mindestens ein Baustein angelegt und in jedem Baustein mindestens eine Zone.



### 4.2 Systemlastszenario (fml)

In einem Systemlastszenario werden die Veränderungen der Artikel- und Lieferauftragsstruktur über die Zeit und hinsichtlich verschiedenen unterstellten Entwicklungen definiert. Jedes Systemlastszenario setzt sich aus den in Systemlastszenario 4.2 dargestellten Elementen zusammen. Um die Übersicht zu wahren, wurde der Baum nur an einem Ast aufgegliedert. Die Unterteilung der anderen Äste verhält sich äquivalent..



### Entwicklungen

Eine Entwicklung beschreibt prognostizierte prozentuale Veränderungen der Artikel- und Lieferauftragsseigenschaften. Als Beispiel für eine solche Entwicklung könnte angenommen werden, dass sich die Artikelanzahl jedes Jahr um 10% erhöht (Artikeleigenschaften) und die Positionen je Lieferauftrag zwar um 30% fallen, die Anzahl der Lieferaufträge dagegen aber um 15% jährlich steigt (Lieferauftragsseigenschaften).

Prinzipiell sind beliebig viele Entwicklungen denkbar. Um die Anzahl der resultierenden Simulationsläufe beherrschbar zu halten, werden im Projekt drei Entwicklungen, eine pessimistische, eine neutrale und eine optimistische, mit einbezogen.

### Perioden

Da sich die Artikel- und Lieferauftragsstruktur bei verschiedenen Entwicklungen entsprechend ändert, müssen für jede Entwicklung alle Jahre innerhalb des Planungshorizonts gesondert betrachtet werden. Die Zuordnung eines bestimmten Jahres zu einer bestimmten Entwicklung wird als Periode definiert. Bei drei Entwicklungen und drei Jahren Planungshorizont ergeben sich demnach neun Perioden. Für jede Periode wird bei der Untersuchung genau ein Sortiment berücksichtigt.

### Tagesart

Um den Untersuchungsaufwand im Sinne der Grobplanung in Grenzen zu halten, werden nicht alle Tage einer Periode simuliert, jedoch mindestens ein Tag mit Spitzenlast und ein Tag mit Durchschnittslast. Die Spitzenlast wird definiert als die durchschnittliche Anzahl an Lieferaufträgen über alle Tage, deren Lieferauftragsanzahl größer ist als die Summe von Mittelwert und Standardabweichung über alle Tage der Originaldaten. Der Spitzentag ist für die Verifizierung der Dimensionierung erforderlich. Der Normaltag wird dagegen für die Kennzahlenbildung und Kostenbewertung benötigt, er steht für einen mit durchschnittlicher Anzahl an Lieferaufträgen belasteten Tag.

Werden die neun Perioden aus dem Beispiel zuvor angenommen, ergeben sich demnach bereits 18 zu untersuchende Tage.

### Simulationslauf

Für jeden der zuvor beschriebenen Tage entsteht mindestens ein Simulationslauf. Dieser enthält eine eigene Lieferauftragsliste deren Anzahl und Struktur auf die jeweilige Entwicklung und Tagesform angepasst ist. Da die Generierung der Lieferaufträge stochastischen Schwankungen unterliegt, wird die Ausführung mehrere Simulationsläufe empfohlen.



## Kennzahl

Nach Durchführung der Simulationläufe können für jeden einzelnen eine Menge an Kennzahlen gebildet werden. Die einzelnen Betrachtungspunkte werden in Abbildung 4-3 dargestellt. Jeder Schnittpunkt der grauen Linien stellt genau einen Punkt dar, für den eine Menge an Kennzahlen ermittelt wird.

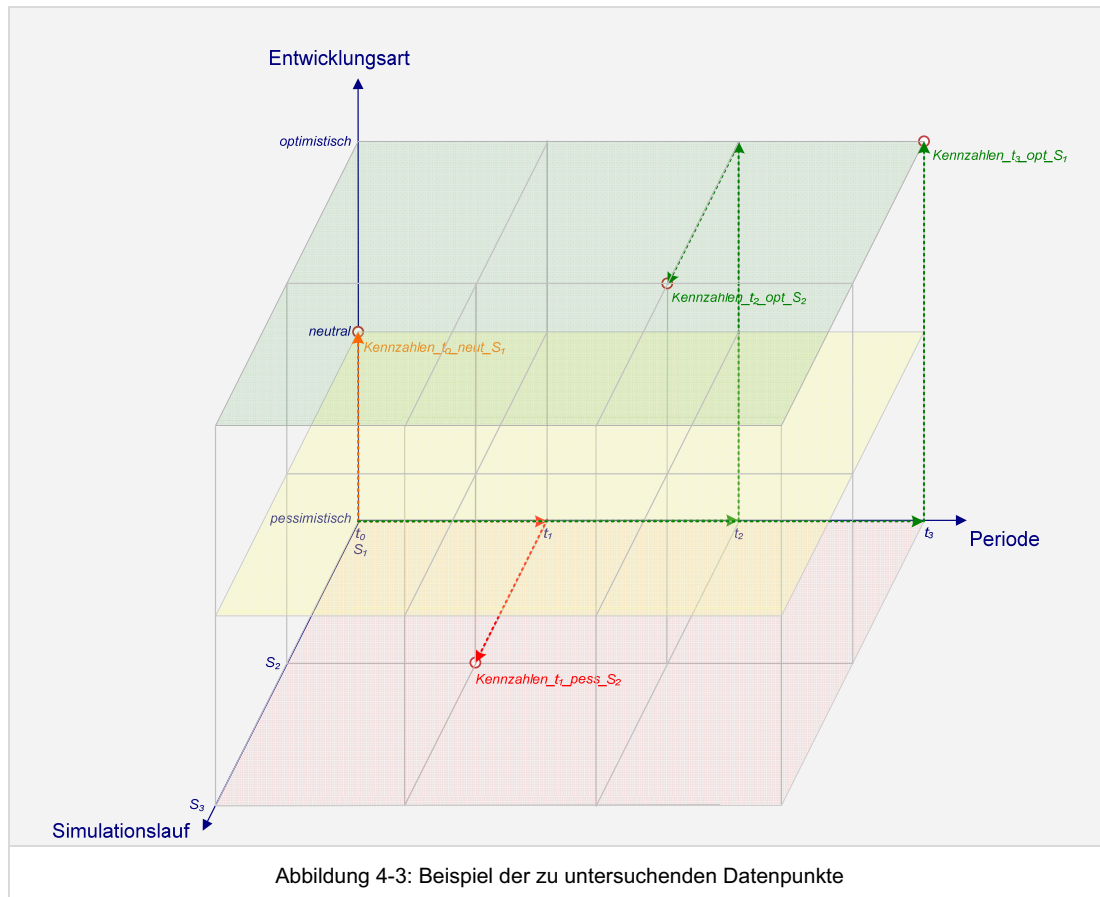


Abbildung 4-3: Beispiel der zu untersuchenden Datenpunkte

Zur komprimierten Ergebnisdarstellung können die ermittelten Kennzahlen über eine entsprechende Gewichtung zusammengefasst werden. Dies wird nicht generell vorgenommen, da durch die detaillierte Darstellung Auswirkungen potentieller Veränderungen in der Artikel- und Lieferauftragsstruktur sichtbar werden.

### 4.3 Experimentablauf (IML)

Für die Generierung der entsprechenden Ergebniskennzahlen wird jeder Simulationslauf als ein Tag mittels des Simulationswerkzeuges simuliert. Ein Simulationslauf auch als Experiment bezeichnet.

Hierfür wird - sofern dies nicht bereits im Rahmen der Modellierung passiert ist - zunächst der entsprechende Bezug zum Planungsprojekt und dem aktuell zu untersuchenden Modell über die Angabe einer Datenbank-Verknüpfung hergestellt. Für dieses Modell erfolgt nun die Durchführung der Simulationsexperimente in den Schritten:

1. Modell für Spitzentag jedes Jahres des Planungshorizonts und jede Entwicklung parametrisieren und simulieren zur Technikdimensionierung
2. Modell für den Normaltag jedes Jahres des Planungshorizonts und jede Entwicklung parametrisieren und simulieren zur Kennzahlenermittlung und als Grundlage für den Wirtschaftlichkeitsvergleich verschiedener Modelle (hier wird jedoch die im Rahmen der Simulation des Spitzentage ermittelte Technikdimensionierung für das gleiche Jahr des Planungszeitraumes und die gleiche Entwicklung beibehalten).

Für einen Simulationslauf – unabhängig ob für einen Normal- oder Spitzentag – wird im Rahmen der simulationsgestützten Planung wie folgt vorgegangen:

1. Modellinformationen bzgl. Bereiche, Bausteine, Technikdimensionierung und Parameter laden
2. Modell generieren (Bereiche, Bausteine, Zonen, Ressourcen, Verknüpfungen)
3. Lastdaten für das Modell laden und Durchführung von Vorberechnungen für die Simulation
4. Simulation eines Arbeitstages (vom Arbeitsbeginn der ersten Ressource (Mitarbeiter) bis zur Arbeitsende der letzten Ressource (Mitarbeiter)). Parallel zum Ablauf der Simulation werden die Zeiten für diverse Ereignisse in eine Datenbank zur späteren Kennzahlenermittlung geschrieben.

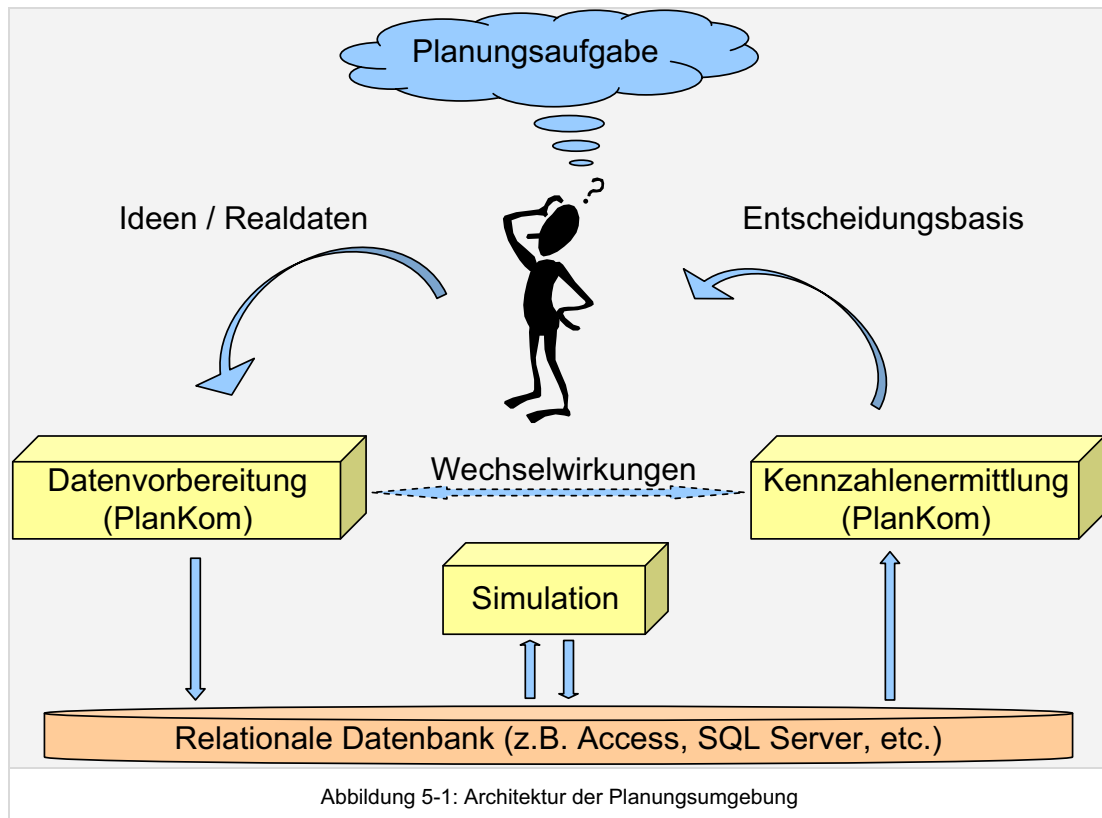
Die Erfahrung aus dem Forschungsprojekt hat gezeigt, dass im Rahmen einer simulationsgestützten Planung häufig die vom Planer eingestellten Parameter bzgl. Dimensionierung Technik, Personal und Strategien erst in mehreren iterativen Schritten an die modell-spezifischen Idealwerte angenähert werden müssen. In einem solchen Fall macht auch die Beobachtung des dynamischen Verhaltens der Simulation während der Laufzeit Sinn um die Ergebniskennzahlen besser interpretieren zu können und die Parameteranpassungen zielgerichtet vornehmen zu können.

Wird hingegen die Parametrisierung des Modells für alle Perioden vom Planer als valide eingeschätzt bietet sich aufgrund der oft relativ hohen Anzahl Simulationsläufe die zur Durchführung einer kompletten simulationsgestützten Grobplanung notwendig ist die Durchführung von Serienexperimenten an. In einem solchen Serienexperiment werden alle Perioden des Modells nacheinander gemäß den oben genannten Schritten ohne weiteres Zutun des Planers simuliert und die entsprechenden Kennzahlen dokumentiert.

Im Rahmen des Forschungsprojektes aus zeitlichen Gründen nicht implementiert, aber für die Anwendung der Planungsumgebung in der Praxis hilfreich, ist die Implementation einer Art Verwaltung die dem Planer einen Überblick gibt welche Simulationsläufe er bzgl. der Parametrisierung und Dimensionierung bereits abgeschlossen hat und welche nicht. Ebenso hilfreich ist in diesem Zusammenhang an dieser Stelle eine Funktion die dem Planer die Möglichkeit gibt eine Parameteränderung direkt für mehrere Perioden durchzuführen und zu übernehmen.

## 5 Architektur der Planungsumgebung

Die Architektur der Planungsumgebung besteht wie in Abbildung 5-1 dargestellt aus zwei Schichten. Dabei ist die untere Schicht für die Datenhaltung zuständig und die obere für die Datenverarbeitung.



Für die Datenhaltung kommt eine relationale Datenbank mit ODBC-Interface zum Einsatz. Dieser Informationsträger bildet die Schnittstelle zwischen den informationsverarbeitenden Modulen in der darüber liegenden anwendungsorientierten Schicht.

In der Datenvorbereitungsphase werden alle zur Planung erforderlichen Daten simulationsgerecht aufbereitet und zukunftsorientiert nach prognostizierten Entwicklungen hochgerechnet. Simulationsgerecht bedeutet, dass wechselnde Parameter und Auftragslisten in Form von genau spezifizierten Tabellen direkt aus der Datenbank geladen werden können und benötigte Identifikationsschlüssel für die Rückspeicherung der Ergebniswerte vorhanden sind. Darüber hinaus wird in der Datenvorbereitungsphase dafür Sorge getragen, dass lückenhafte Datensätze auf Grund mangelnder Datenpflege entsprechend vervollständigt werden und auf Basis der Zukunftsprognose für die Simulation der möglichen Zukunft angepasst werden.

Die Simulationsphase ermittelt für die verschiedenen Auftragspositionen die Kommissionierzeiten, Start- und Endzeitpunkt der jeweiligen Bearbeitung sowie die an der Bearbeitung beteiligten Ressourcen (Kommissionierer/RBG).

Abschließend werden in der Phase der Kennzahlenermittlung die über die Simulation und Datenvorbereitung gewonnenen Daten verdichtet und automatisiert zu Kennzahlen verarbeitet, welche die Entscheidung der Auswahl einer Planungsvariante absichern.

## 5.1 Datenhaltung (fml)

Die Datenhaltung erfolgt über den gesamten Planungsablauf in einer relationalen Datenbank, welche speziell für die Bedürfnisse einer Grobplanung entwickelt wurde. Das Datenbankschema kann dem Anhang entnommen werden. Darüber hinaus wurde die Datenbank in einem separaten Dokument ausführlich dokumentiert.

## 5.2 Datenvorbereitungsphase

### 5.2.1 Modul Datenimport (fml)

Sollen für den Planungsprozess reale Daten aus der Vergangenheit vollständig oder teilweise genutzt werden, so sorgt das Modul Datenimport für die Übernahme dieser Daten in die Datenhaltung der simulationsgestützten Planungsumgebung. Daten sind in diesem Fall die beschreibenden Eigenschaften von Artikeln und Lieferaufträgen.

#### 5.2.1.1 Eingangsdaten

Die notwendigen Eingangsdaten für den Import von Artikel- und Lieferauftragsdaten sind die

- Datenbank mit den Realdaten sowie die
- Zuordnung von Tabellenspalten (der zu importierenden Datenbank) zu den festgelegten Namensbezeichnungen (der Artikel- und Lieferauftragseigenschaften) in der Planungsumgebung



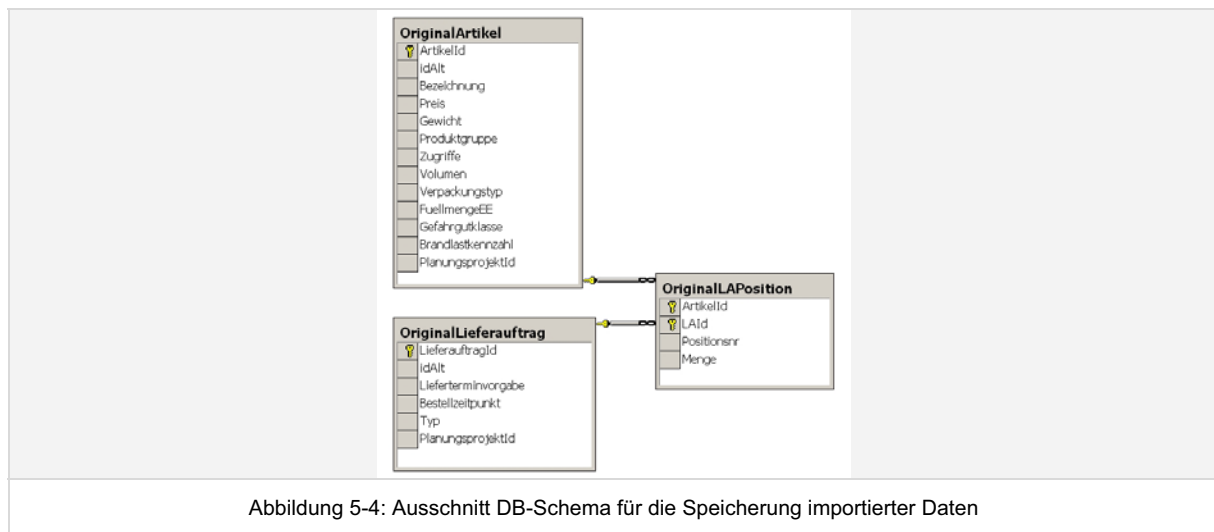
#### 5.2.1.2 Prozess

Zunächst werden die zugeordneten Artikelinformationen in den Datenbestand der Planungsumgebung übertragen. Eine mehrfach auftretende Artikelid bzw. Artikelnummer wird nur einmal in den Datenbestand übernommen. Dies kann vorkommen, wenn die Artikelinformationen einer Lieferauftragsliste an Stelle einer separat geführten Artikelstammdatenliste entnommen werden soll.

Im zweiten Schritt werden die Lieferauftragsinformationen übernommen. Eine mehrfach auftretende Lieferauftragsid bzw. Lieferscheinnummer bedeutet hierbei, dass der Auftrag aus mehreren Positionen besteht. Für jede Lieferauftragsid wird ein Lieferauftrag im Datenbestand der Planungsumgebung angelegt und für jede Position eine Mengenbeziehung zum enthaltenen Artikel eingetragen. In der Datenbank besteht hierfür eine n:m-Beziehung.

### 5.2.1.3 Ergebnis

Nach erfolgreicher Ausführung des Datenimports stehen die übernommenen Artikel und Lieferaufträge als Datensätze der Tabellen OriginalArtikel, OriginalLieferauftrag und OriginalLAPosition (vgl. Abbildung 5-4) für andere Module zur Verfügung.



## 5.2.2 Modul Systemlastszenario (fml)

Über das Modul Systemlastszenario werden zukünftige Veränderungen in der Artikel- und Auftragsstruktur berücksichtigt. Für jedes Jahr im Planungshorizont können bis zu drei Prognosen eingegeben werden. Dabei wird die optimistische, neutrale und pessimistische Entwicklung unterschieden.

Das Modul Systemlastszenarien kann für Sensitivitätsanalysen verwendet werden.

### 5.2.2.1 Eingangsdaten

Die Eingangsdaten für dieses Modul werden vom Planer über eine Benutzeroberfläche (vgl. Abbildung 5-5) eingegeben. Dabei kann für jede der definierten Artikel- und Lieferauftragseigenschaft eine prozentuale Veränderung gegenüber der Vorperiode eingetragen werden. Es besteht die Möglichkeit stetige Veränderungen einzugeben, die jedes Jahr in gleicher Höhe auftreten, aber auch einmalige Veränderungen, die nur in einer bestimmten Periode auftreten. Eine häufig auftretende einmalige Veränderung ist z.B. eine bereits bekannte Steigerung der auf Lager gehaltenen Artikel auf Grund einer Sortimentserweiterung, die zu einem bestimmten Termin bekannt ist.

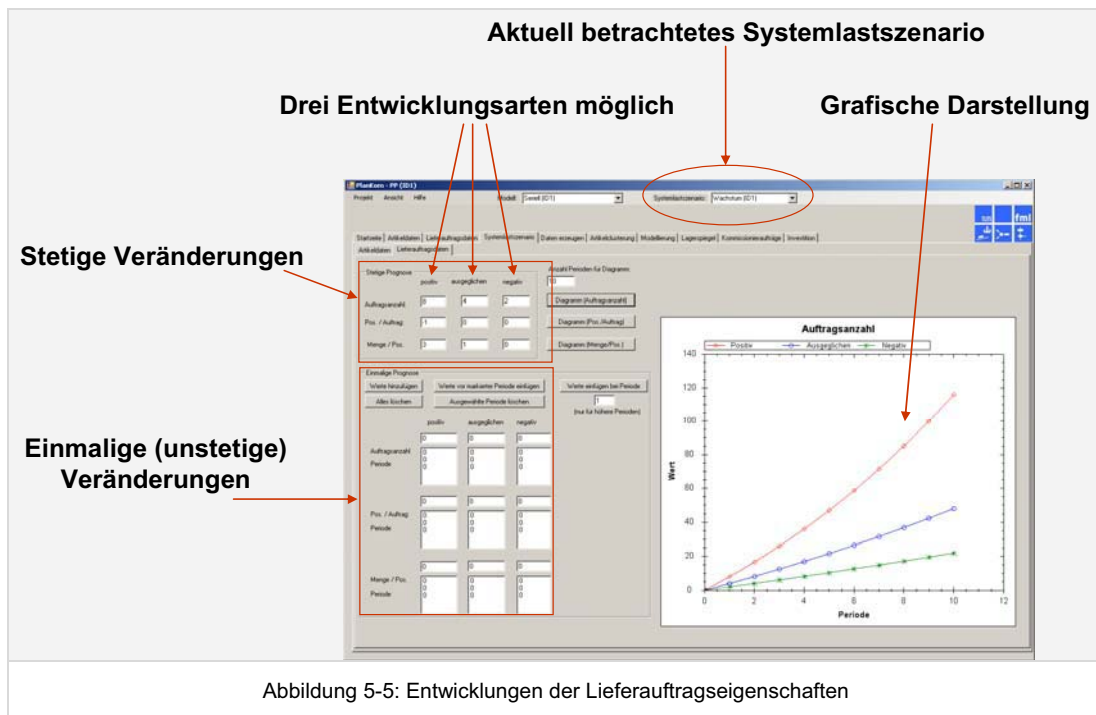


Abbildung 5-5: Entwicklungen der Lieferauftrags-eigenschaften

Um einen besseren Überblick über die eingegebenen prozentualen Veränderungen zu gewinnen, können diese in einem Diagramm angezeigt werden.

### 5.2.2.2 Prozess

Bei der Speicherung des Systemlastszenarios werden die eingegebenen Veränderungen in den Datenbestand der Planungsumgebung übernommen. Dabei werden für jede eingegebene Entwicklung ein Datensatz in der Datenbanktabelle *StetigePrognose* und für jede Periode jeder Entwicklung ein Datensatz in der Datenbanktabelle *EinmaligePrognose* angelegt. Die enthaltenen prozentualen Veränderungen einer Periode beziehen sich immer auf die Vorperiode und sind damit relative Veränderungen.

Aus diesen angelegten Datensätzen wird nun die Datenbanktabelle *GesamtPrognose* gefüllt. Hierzu wird für jede Periode jeder Entwicklung ein neuer Datensatz generiert, in dem die absoluten prozentualen Veränderungen bezogen auf die Ausgangsperiode mit  $t=0$  über die relativen stetigen und einmaligen Veränderungen berechnet werden.

### 5.2.2.3 Ergebnis

Ergebnis des Moduls Systemlastszenario sind die eingetragenen Datensätze in den Datenbanktabellen *Systemlastszenario*, *StetigePrognose*, *EinmaligePrognose* und *GesamtPrognose* (siehe Abbildung 5-6). Die Datensätze beschreiben die prognostizierten bzw. zu betrachtenden Veränderungen der Artikel- und Lieferauftragsstruktur.

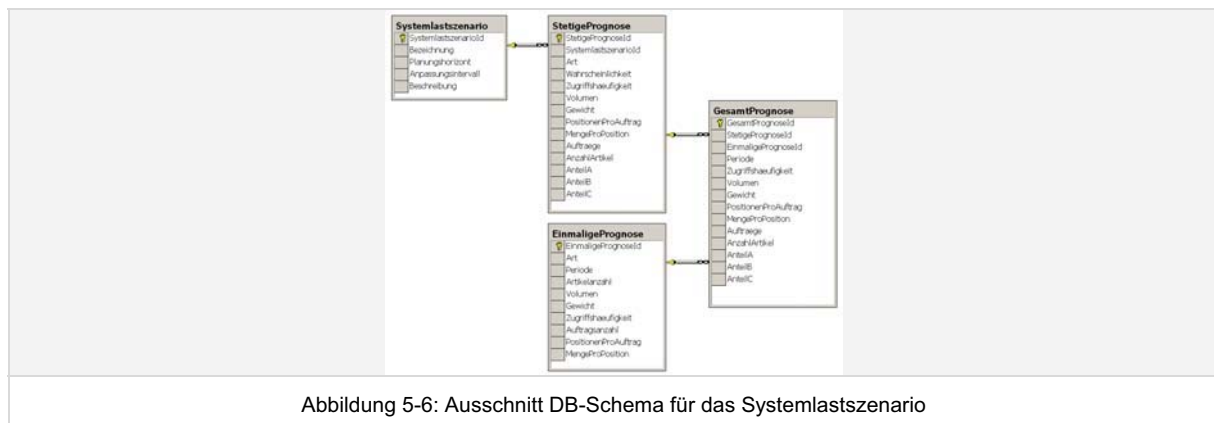
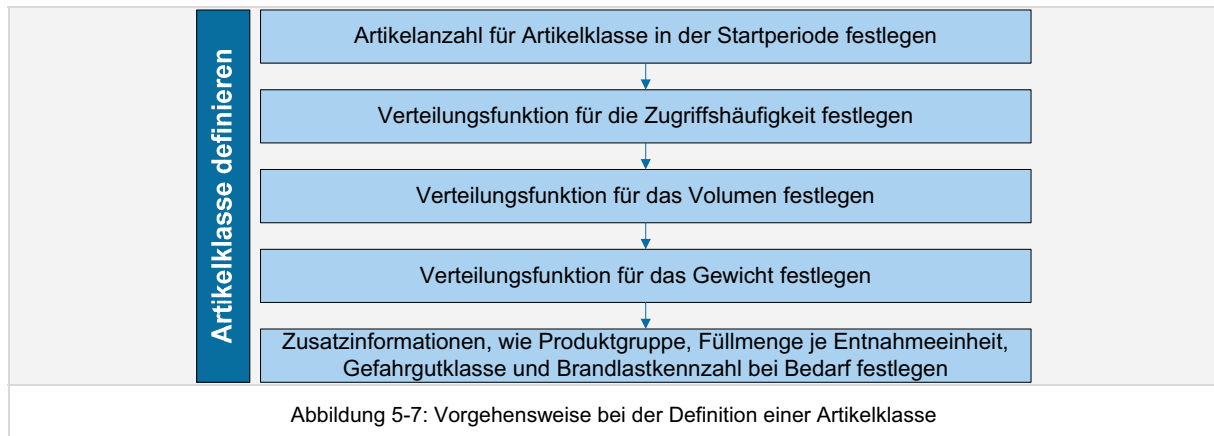


Abbildung 5-6: Ausschnitt DB-Schema für das Systemlastszenario

### 5.2.3 Modul Artikelgenerator (fml)

Für das Modul Artikelgenerator sind zunächst Festlegungen bzw. Eingaben des Planers erforderlich. Dabei hat der Planer die Möglichkeit über die Anzahl der eingegebenen Artikelklassen seinen Detaillierungsgrad der Sortimentsdefinition selbst zu wählen. Soll z.B. ein Sortiment über zwei Gruppen definiert werden, sind zwei Artikelklassen erforderlich. Für den weiteren Planungsablauf muss in jedem Fall mindestens eine Artikelklasse definiert werden. Die Definition einer solchen Klasse enthält die umfassende Artikelanzahl, Verteilungsfunktionen für die wesentlichen Artikeleigenschaften sowie evtl. benötigte Zusatzinformationen über deren Produktgruppenbezeichnung und Füllmenge je Entnahmeeinheit. (vgl. Abbildung 5-7).



Bei der Verteilungsfunktion kann bei zur Verfügung stehenden Realdaten, die entsprechende Realverteilung ausgewählt werden (sortimentsübergreifend oder produktgruppenspezifisch) oder eine der implementierten Standardverteilungen. Die zugehörige Benutzeroberfläche, über die auch die ausgewählten Verteilungsfunktionen visualisiert werden, wird in Abbildung 5-8 dargestellt.

Jede Zeile stellt eine Artikelklasse dar

Angelegte Anzahl Artikel bezogen auf  $t=0$

Grafische Ansicht der eingestellten Verteilung

Eingaben beziehen sich immer auf eine Artikelklasse

Abbildung 5-8: Benutzeroberfläche für die Definition des zu betrachtenden Sortiments

Nach Fertigstellung werden die definierten Artikelklassen in der Datenbanktabelle Artikelverteilung als Datensätze gespeichert und stehen den Submodulen für die Artikelgenerierung zur Verfügung. Die eigentliche Artikelgenerierung erfolgt in zwei Schritten. Zunächst werden so viele Artikel erzeugt, wie maximal in der Periode, in der das Sortiment nach prognostizierten Daten am größten ist, benötigt werden (vgl. Abschnitt 5.2.3.1). Diese

werden als ArtikelUnveränderlich bezeichnet, da bei der Generierung die prognostizierte Entwicklung der Artikeleigenschaften noch nicht berücksichtigt wird.

In einem zweiten Schritt werden dann die generierten ArtikelUnveränderlich den einzelnen Perioden zugewiesen und deren Eigenschaften auf die entsprechende Zukunftsentwicklung angepasst (vgl. Abschnitt 5.2.3.2). Nach erfolgreicher Ausführung dieses Moduls steht für jede zu betrachtende Periode entsprechend ihrer prognostizierten Entwicklung ein vollständiges Sortiment zur Verfügung.

### 5.2.3.1 Submodul ArtikelUnveränderlich

In diesem Submodul wird die über den gesamten Planungshorizont benötigte Anzahl an Artikeln ohne Hochrechnung der Artikeleigenschaften generiert.

#### 5.2.3.1.1 Eingangsdaten

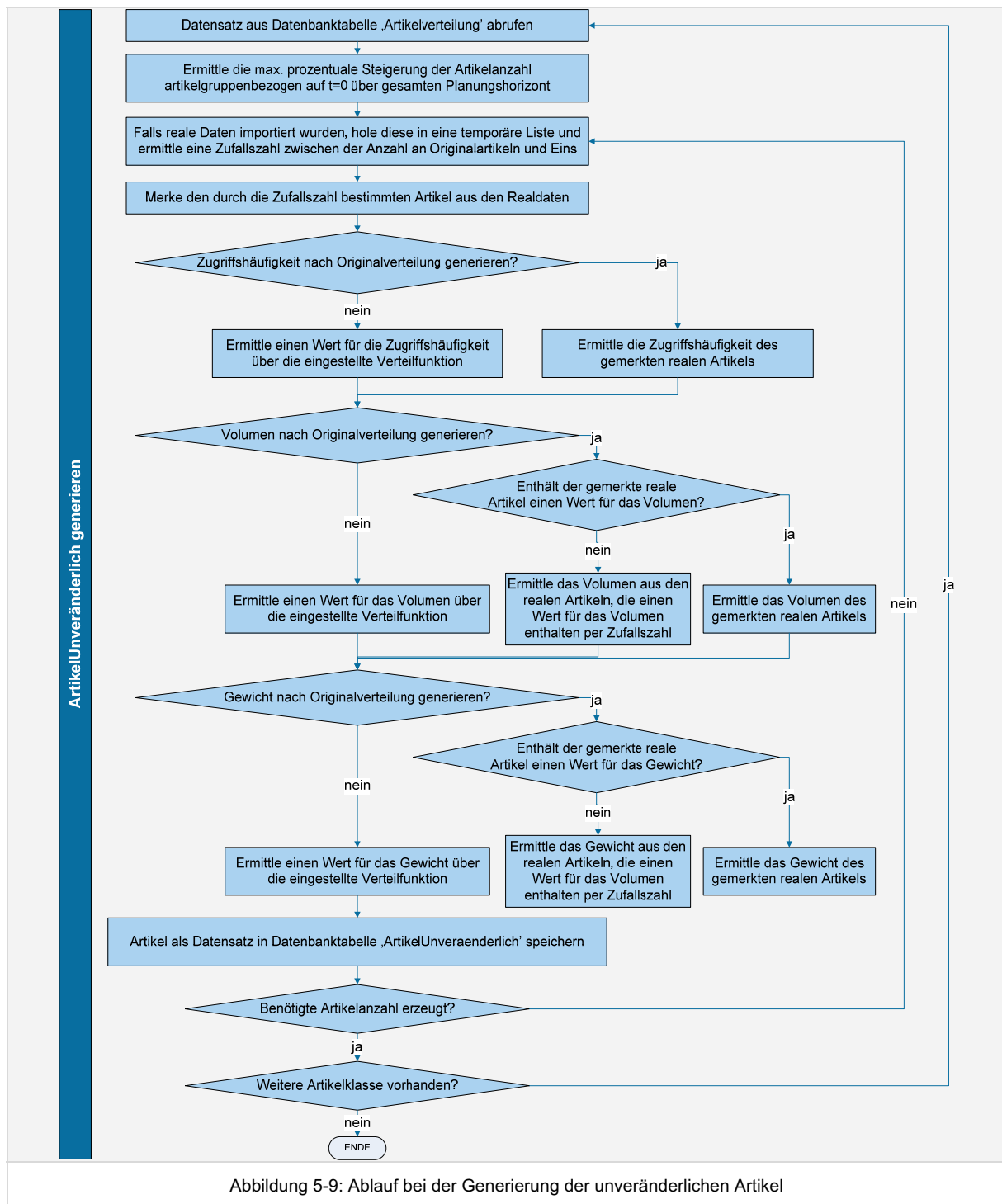
Eingangsdaten dieses Moduls sind zum einen die definierten Artikelklassen, die zuvor in der Datenbanktabelle ‚Artikelverteilung‘ gespeichert wurden und zum anderen, falls vorhanden, die importierten Realdaten aus der Datenbanktabelle ‚OriginalArtikel‘.

#### 5.2.3.1.2 Prozess

Da je nach Eingabe mehrere Artikelklassen definiert wurden, muss der in Abbildung 5-9 dargestellte Generierungsablauf für jede Artikelklasse durchgeführt werden.

Zunächst wird die über den gesamten Planungshorizont maximal benötigte Artikelanzahl über die prognostizierten Entwicklungen ermittelt. Für jeden zu erzeugenden Artikel werden die Artikeleigenschaften über die in der Artikelklasse festgelegten Verteilfunktionen ermittelt.





### 5.2.3.1.3 Ergebnis

Nach erfolgreichem Ablauf des beschriebenen Prozesses, stehen sämtliche während des Planungshorizonts benötigten Artikel mit ihren Artikeleigenschaften noch auf die Startperiode bezogen als Datensätze in der Datenbanktabelle ‚ArtikelUnveraenderlich‘.

### 5.2.3.2 Submodul ArtikelVeränderlichPeriode

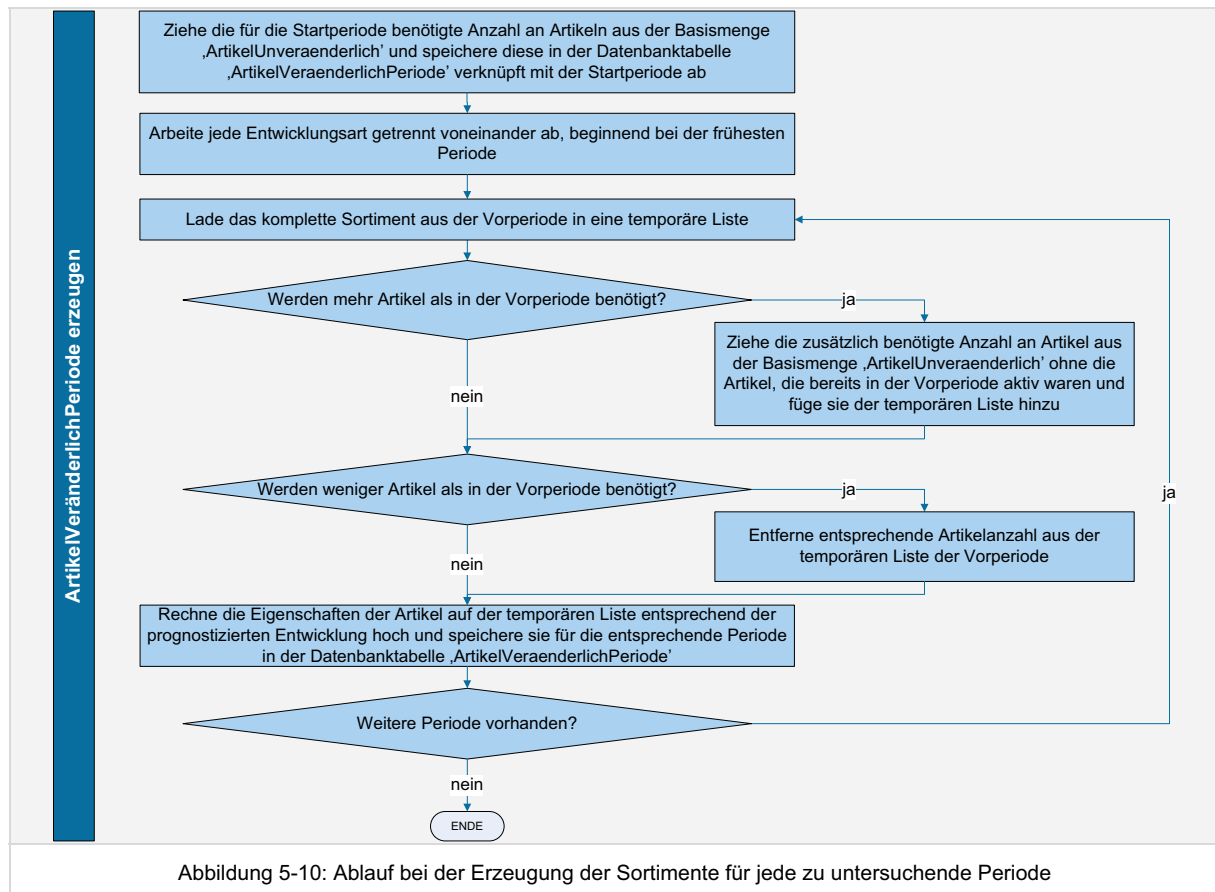
Im Submodul ArtikelVeränderlichPeriode werden die eigentlichen Sortimente für jede Periode einer jeden Entwicklungsart erzeugt. Dabei werden die im vorangegangenen Submodul generierten Artikel den jeweiligen Perioden zugeordnet und deren Artikeleigenschaften je nach prognostizierter Entwicklung entsprechend verändert.

### 5.2.3.2.1 Eingangsdaten

Die Eingangsdaten für dieses Submodul sind die zum Projekt gehörenden Datensätze der Datenbanktabelle ‚ArtikelUnveraenderlich‘ und ‚GesamtPrognose‘, die die Informationen über die prozentualen Veränderungen der Artikeleigenschaften beinhalten.

### 5.2.3.2.2 Prozess

Die Datenverarbeitung in diesem Submodul orientiert sich an dem Ablaufdiagramm in Abbildung 5-10.



Zunächst wird das aktuelle Sortiment für die Startperiode festgelegt, in dem die benötigte Anzahl an Artikeln aus der zuvor generierten Artikelmenge gezogen und mit der Startperiode verknüpft abgespeichert wird. Nachfolgend wird ausgehend von dem Sortiment der Startperiode jede Entwicklungsart separat abgearbeitet. Hierzu wird zunächst das Sortiment der Vorperiode in eine temporäre Liste geladen. Wächst ein Sortiment in der Artikelanzahl, so werden weitere Artikel aus der Basismenge der ArtikelUnveränderlich, die noch nicht in der Vorperiode enthalten waren, ermittelt. Schrumpft ein Sortiment hingegen von der einen Periode zur nächsten, so wird dieses um die entsprechende Artikelanzahl reduziert. Das Ausscheiden ist dabei für jeden Artikel gleich wahrscheinlich. Das so ergänzte bzw. reduzierte Sortiment der Vorperiode kann danach für die momentan aktive Periode gespeichert werden.

### 5.2.3.2.3 Ergebnis

Ergebnis sind Sortimente für jede Periode jeder Entwicklungsart, welche in der Datenbanktabelle ‚ArtikelVeraenderlichPeriode‘ mit Verknüpfung auf die Datenbanktabelle ‚GesamtPrognose‘ gespeichert sind.

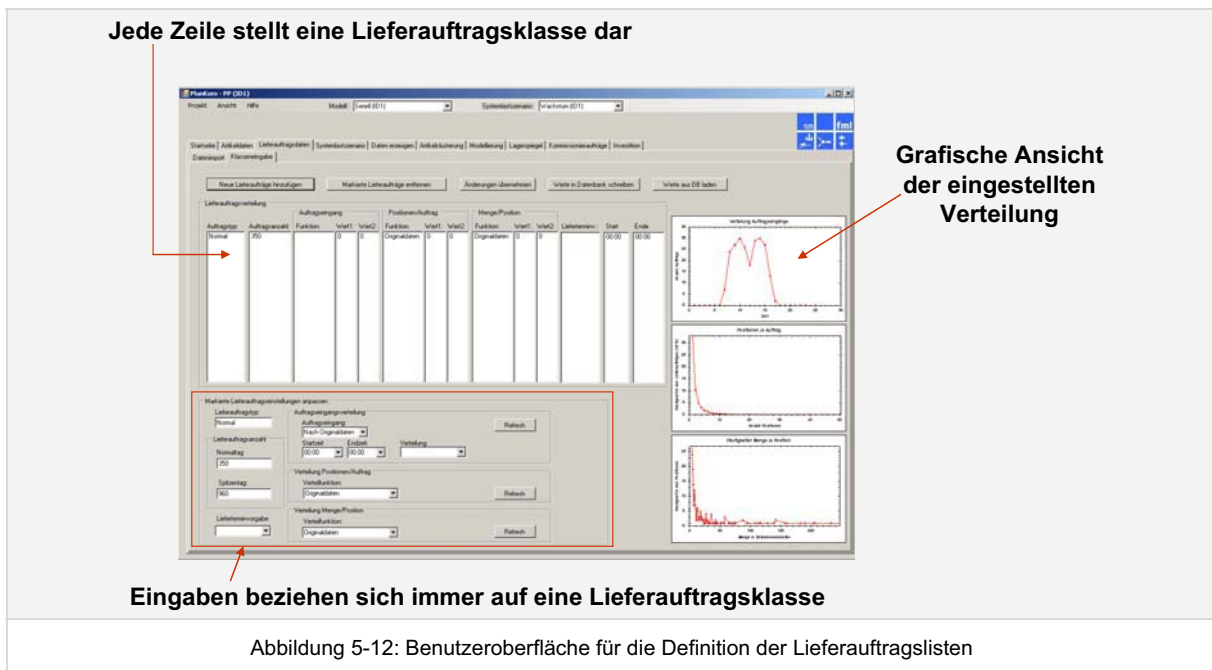
## 5.2.4 Modul Lieferauftragsgenerator (fml)

Für das Modul Lieferauftragsgenerator sind ähnlich wie beim Modul Artikelgenerator zunächst einige Festlegungen bzw. Eingaben des Planers erforderlich. Dabei hat der Planer die Möglichkeit über die Anzahl der eingegebenen Lieferauftragsklassen den Detaillierungs-

grad der unter Umständen verschieden ausgeprägten Lieferauftragsanforderungen zu wählen. Können die Lieferaufträge z.B. in zwei Kategorien Groß- und Kleinaufträge eingeordnet werden, so können zwei unterschiedliche Lieferauftragsklassen definiert werden. Ein weiterer Grund die Eingabe der Lieferauftragsanforderungen in mehrere Klassen zu unterteilen, wäre vorhanden, wenn ein Tagesprofil nachgebildet und in der Simulation berücksichtigt werden soll. Unter Tagesprofil wird eine schwankende Ankunftsrate der Lieferaufträge verstanden. Können die Lieferauftragsanforderungen auf Basis von Realdaten definiert werden, so reicht in der Regel eine Lieferauftragsklasse aus, deren Tagesprofil sich nach der Realverteilung richtet. Liegen aber keine Realdaten vor, kann es erforderlich sein, bestimmte Zeitabschnitte über den Tag verteilt separat zu definieren. Beispielsweise eine Lieferauftragsklasse mit 500 Lieferaufträgen zwischen 07:00 und 12:00 Uhr und eine Klasse mit 1000 Lieferaufträgen zwischen 12:00 und 16:00 Uhr. Für den weiteren Planungsverlauf muss in diesem Modul mindestens eine Lieferauftragsklasse angelegt werden. Die Definition einer solchen Klasse enthält eine Bezeichnung über den Lieferauftragstyp, die Lieferauftragsanzahl an einem durchschnittlichen Tag (Normaltag) sowie an einem Tag mit maximaler Auftragslast (Spitzentag) und eine Lieferterminvorgabe. Die Lieferterminvorgabe ist vor allem dann von Bedeutung, wenn bestimmte Lieferzeiten eingehalten werden müssen. Darüber hinaus müssen in dieser Definition die Verteilungsfunktionen für die Positionen je Auftrag, die Menge je Position und die Auftragseingangsverteilung (das bereits angesprochene Tagesprofil) mit Start- und Endzeit festgelegt werden (vgl. Abbildung 5-11).



Nach Fertigstellung werden die definierten Lieferauftragsklassen in der Datenbanktabelle Lieferauftragsverteilung als Datensätze gespeichert und stehen den Submodulen für die Artikelgenerierung zur Verfügung. Für die einfache und übersichtliche Eingabe mit visueller Darstellung der entsprechend eingestellten Verteilungsfunktionen steht die in Abbildung 5-12 dargestellte Benutzeroberfläche zur Verfügung.



### 5.2.4.1 Eingangsdaten

Eingangsdaten dieses Moduls sind zum einen die definierten Lieferauftragsklassen, die zuvor in der Datenbanktabelle ‚Lieferauftragsverteilung‘ gespeichert wurden und zum anderen, falls vorhanden, die importierten Realdaten aus der Datenbanktabelle ‚OriginalLieferauftrag‘, ‚OriginalLAPosition‘ und ‚OriginalArtikel‘. Zusätzlich werden die Daten über die prognostizierte Entwicklung aus der Datenbanktabelle ‚GesamtPrognose‘ benötigt. Da in der Datenbank unter Umständen mehrere Planungsprojekte abgelegt sein können, muss darauf geachtet werden, nur die Datensätze auszulesen, die eine entsprechende Verknüpfung auf den Datensatz des aktuellen Planungsprojekts besitzen.

### 5.2.4.2 Prozess

Der in Abbildung 5-13 dargestellte Ablauf wird für jede Tagesform und deren benötigte Anzahl an Simulationsläufen durchlaufen. Mindestens wird der Prozess einmal für den Normaltag und einmal für den Spitzentag ausgeführt, sollen z.B. drei Normaltage einer Periode einer Entwicklungsart simuliert werden, so werden auch drei Simulationsläufe benötigt und der dargestellte Prozess muss drei mal ausgeführt werden.

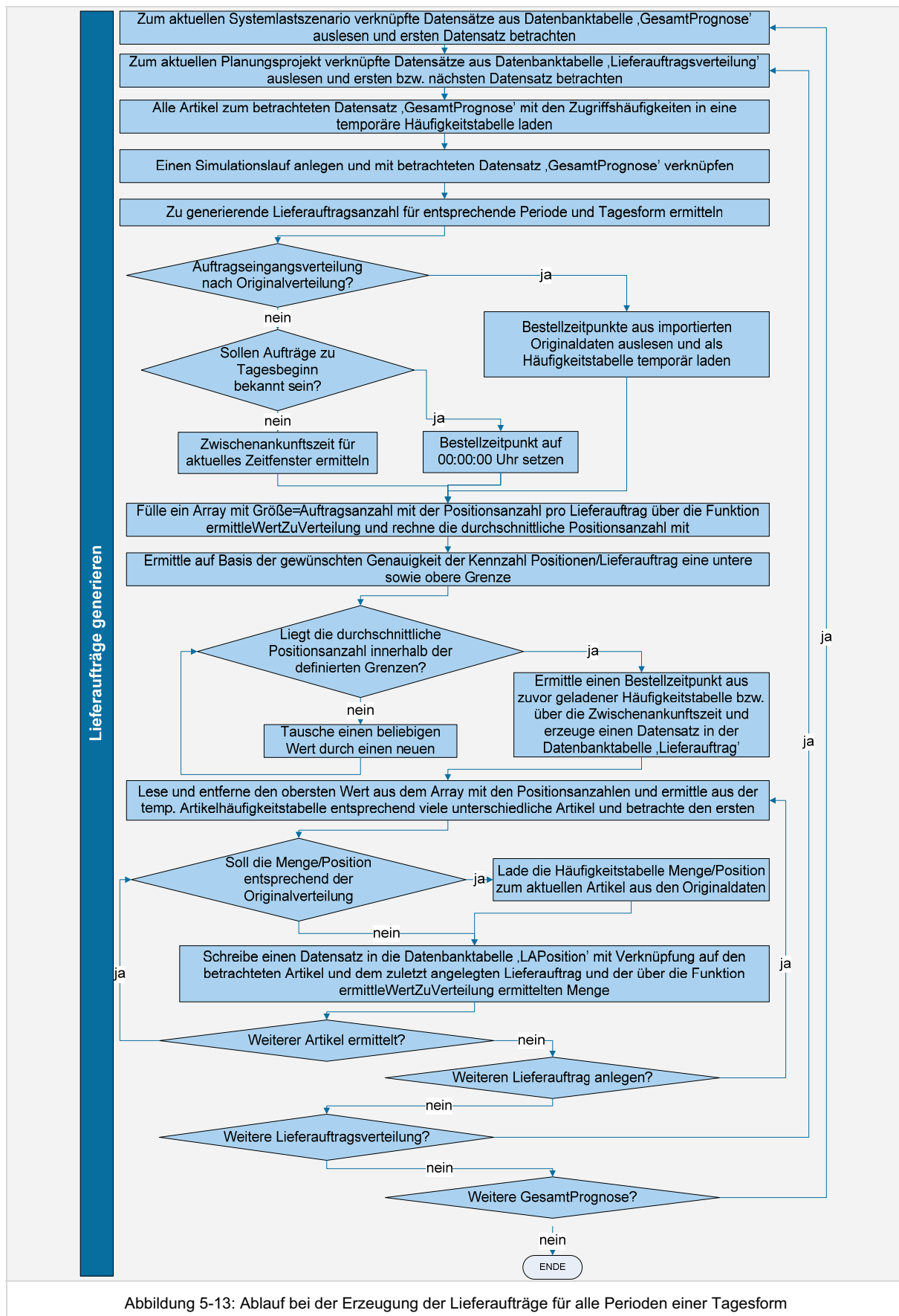
Zunächst werden für die Generierung der Lieferaufträge die prognostizierten Entwicklungsdaten aus der Datenbanktabelle ‚GesamtPrognose‘ benötigt. Die Datensätze wurden im Abschnitt 5.2.2 im Modul Systemlastszenario erzeugt und werden nun in eine temporäre Liste geladen. Jeder Datensatz stellt eine Periode einer bestimmten Entwicklungsart dar und der nachfolgende Ablauf muss für jeden einzelnen Datensatz entsprechend wiederholt werden. Zusätzlich werden die zum Planungsprojekt verknüpften Datensätze der Datenbanktabelle ‚Lieferauftragsverteilung‘ ausgelesen. Da je nach zuvor getätigter Eingabe mehrere Lieferauftragsklassen definiert sind, muss der nun folgende Ablauf für jede einzelne Klasse entsprechend wiederholt werden.

Als nächstes wird das komplette bereits im Abschnitt 5.2.3 generierte Sortiment zu dem aktuell betrachteten Datensatz ‚GesamtPrognose‘ als Häufigkeitstabelle geladen. Dabei stellt die Artikelld das Merkmal und die Zugriffshäufigkeit dessen Ausprägung dar.

Die Lieferauftragsliste, die nachfolgend generiert wird, ist genau für einen Simulationslauf gedacht. Entsprechend wird ein neuer Datensatz in der Datenbanktabelle ‚Simulationslauf‘ angelegt und mit der aktuell betrachteten ‚GesamtPrognose‘ verbunden. Die Anzahl der benötigten Lieferaufträge für diese Lieferauftragsliste wird dem aktuell betrachteten Datensatz ‚GesamtPrognose‘ entsprechend der Tagesform entnommen.

Soll sich die Auftragseingangverteilung nach Originalverteilung richten, d.h. nach den Bestellzeitpunkten wie sie in den importierten realen Lieferauftragsdaten vorliegen, so wird eine weitere Häufigkeitstabelle erzeugt deren Merkmal die Bestellzeitpunkte in den importierten

Originaldaten und Ausprägung die Anzahl der Vorkommnisse ist. Nach welcher Verteilung sich die Generierung richten soll, ist in dem bereits gelesenen Datensatz der Lieferauftragsverteilung verankert.



Weitere Möglichkeiten für die Auftragseingangsverteilung wären zum einen, dass die Lieferaufträge zu Tagesbeginn gänzlich bekannt sind und zum anderen, dass diese zuvor klassifiziert eingegeben wurde. Für ersteres wird der Bestellzeitpunkt generell auf „00:00:00 Uhr“ gesetzt, für den anderen Fall existiert für jede Lieferauftragsklasse ein eigener Datensatz in der Datenbanktabelle ‚Lieferauftragsverteilung‘, d.h. für den aktuellen Schleifendurchlauf können alle Aufträge gleichmäßig auf die definierte Zeitspanne (Start- und Endzeitpunkt) verteilt werden. Für diesen Fall wird eine Zwischenankunftszeit berechnet und für die weitere Lieferauftragsgenerierung zu Grunde gelegt.

Um ein hohes Maß an Übereinstimmung der Kennzahl Positionen je Lieferauftrag zu erhalten, wird die Positionsanzahl bereits vorab für sämtliche in diesem Durchgang zu generierende Lieferaufträge ermittelt und in einem Array zwischengespeichert. Die Ermittlung erfolgt über die Funktion `ermittleWertZuVerteilung`, in der die Berechnungsformeln für die Exponential-, Normal- und Gleichverteilung hinterlegt sind, sowie eine Funktion, die aus einer Häufigkeitstabelle Werte liefert. Über das Array kann somit bereits vorab die Kennzahl Positionen je Lieferauftrag ermittelt und beeinflusst werden. Liegt die Kennzahl in einem vorgegebenen Genauigkeitsbereich kann mit dem nächsten Schritt fortgefahren werden, ist dies nicht der Fall, werden so lange zufällig Werte durch neue Werte ersetzt, bis die Kennzahl den Anforderungen genügt.

Darauf aufbauend erfolgt für die Ermittlung eines Bestellzeitpunkts für den ersten bzw. nächsten Lieferauftrag, dessen Positionsanzahl bereits durch den ersten bzw. nächsten Arrayeintrag definiert ist. Der Bestellzeitpunkt wird entsprechend der zuvor geladenen Auftragseingangsverteilung bestimmt und ein Datensatz für den neuen Lieferauftrag wird in der Datenbanktabelle ‚Lieferauftrag‘ angelegt und mit dem zuvor erzeugten Datensatz für den Simulationslauf verknüpft. Entsprechend der Positionsanzahl werden daraufhin Artikel aus der temporär geladenen Artikelhäufigkeitstabelle ermittelt. Jeder Artikel darf maximal einmal pro Lieferauftrag ermittelt werden. Soll sich die Menge je Position an der Originalverteilung orientieren wird für jeden Artikel dessen Häufigkeitstabelle aus den Originaldaten geladen und entsprechend ein Wert ermittelt. Wurde hingegen eine Standardverteilung definiert, kann direkt über die Hilfsfunktion `ermittleWertZuVerteilung` ein Wert erzeugt werden. Damit ist eine Position vollständig ermittelt und wird als Datensatz in der Datenbanktabelle ‚LAPosition‘ gespeichert und mit dem entsprechenden Artikel und Lieferauftrag verknüpft.

#### 5.2.4.3 Ergebnis

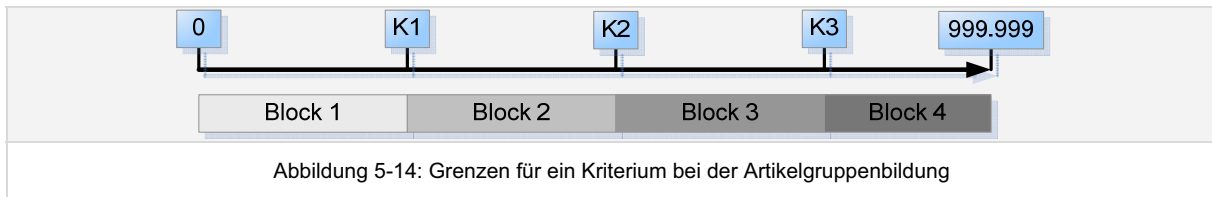
Das Ergebnis dieses Moduls sind Lieferaufträge, die über ihre Verknüpfung zu einem Simulationslauf zu Lieferauftragslisten zusammengefasst sind. Ein Simulationslauf bezieht sich immer auf einen Normal- oder Spitzentag einer Periode einer prognostizierten Entwicklung. Für jeden Simulationslauf wird im Laufe des Prozess ein Datensatz in der Datenbanktabelle „Simulationslauf“ erzeugt. Die Lieferaufträge werden in den Datenbanktabellen „Lieferauftrag“ und „LAPosition“ gespeichert und werden mit Datensätzen aus „ArtikelVeraenderlichPeriode“ sowie „Simulationslauf“ verknüpft.

#### 5.2.5 Modul Artikelgruppenerzeugung (fml)

Im Modul der Artikelgruppenerzeugung werden aus den in Abschnitt 5.2.3 generierten Artikeln Artikelgruppen gebildet. Die Artikelgruppen können auf Basis folgender Kriterien gebildet werden:

- Zugriffshäufigkeit
- Umschlagshäufigkeit
- Volumen
- Gewicht
- Produktgruppe (aus den Originaldaten bzw. je nach definierter Generierung)

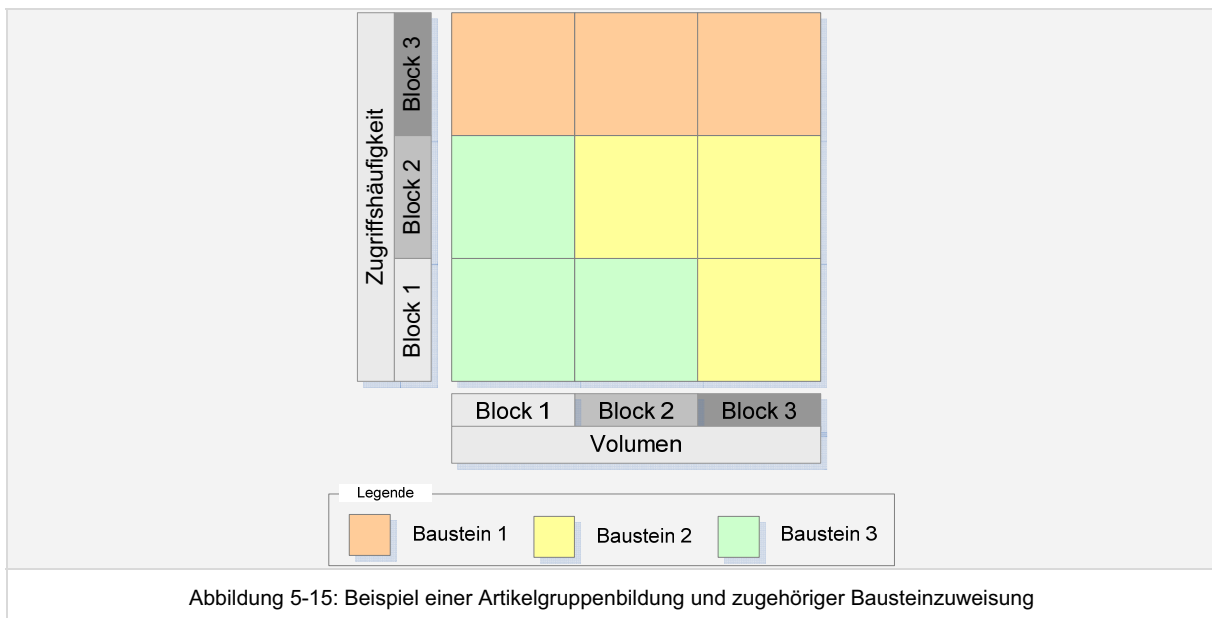
Für jedes dieser Kriterien können beliebig viele Grenzen  $K1 \dots Kn$  eingegeben werden, bei denen eine Artikelgruppe enden bzw. eine neue anfangen soll (vgl. Abbildung 5-14).



Je nach Anzahl der gewünschten Artikelgruppenbildungskriterien  $n$  und Anzahl der Grenzen  $k$  ergibt sich folgende Anzahl an Artikelgruppen:

$$\text{Anzahl}_{\text{Artikelgruppen}} = \prod_{i=1}^n (k_i + 1) \quad \text{Gl. 5.1}$$

In Abbildung 5-15 ist ein Beispiel für eine Artikelgruppenbildung nach den Kriterien Zugriffshäufigkeit und Volumen mit jeweils zwei Grenzen dargestellt. Eine mögliche Zuordnung zu den Bausteinen eines Modells wird über die Legende angedeutet.



### 5.2.5.1 Eingangsdaten

Eingangsdaten dieses Moduls sind neben der Datenbanktabelle „ArtikelVeraenderlichPeriode“, deren Datensätze die Artikel repräsentieren die ausgewählten Artikelgruppenbildungskriterien mit definierten Grenzen aus der in Abbildung 5-16 dargestellten Eingabemaske.



Abbildung 5-16 Eingabemaske für die Artikelgruppenbildungskriterien und Grenzen

Die Eingaben werden zusätzlich in der Datenbanktabelle „Kriterium“ gespeichert und der entsprechenden Artikelgruppe zugewiesen.

### 5.2.5.2 Prozess

Für die Artikelgruppenerzeugung wird für jede resultierende Artikelgruppe eine SQL-Abfrage dynamisch mit den entsprechenden Grenzen als Einschränkung generiert. Über diese SQL-Abfragen werden anschließend genau die Artikel mit den entsprechenden Eigenschaften ausgelesen. Diese Artikel werden einer zuvor entsprechend angelegten Artikelgruppe zugeordnet und die Zuordnung in der Datenbank gespeichert.

### 5.2.5.3 Ergebnis

Als Ergebnis dieses Moduls sind alle gewünschten Artikelgruppen angelegt und Datensätze der Datenbanktabelle „ArtikelVeraenderlichPeriode“ einem Datensatz aus „Artikelgruppe“ zugeordnet.

## 5.2.6 Modul Modellierungs- und Dimensionierungsumgebung (IML)

In diesem Modul wird das zu untersuchende Modell des Kommissioniersystems durch den Planer erzeugt und parametrisiert.

### 5.2.6.1 Eingangsdaten

Die Eingangsdaten dieses Moduls bestehen in dem vom Planer vorab vordefinierten Artikelgruppen und den zugehörigen Leistungs- und Kapazitätsanforderungen sowie den Restriktionen die sich aus dem Artikelspektrum ergeben. Hierfür wird auf die folgenden Tabellen zugegriffen:

- Tabelle BausteinTemplate
- Tabelle Gesamtprognose
- Tabelle Simulationslauf
- Tabelle Artikelgruppe
- Tabelle Modell
- Tabelle Ladungstraeger

Soll ein bestehendes Modell verändert werden so werden zusätzlich aus folgenden Tabellen die Modellinformationen des vorhandenen Modell ausgelesen:

- Tabelle Bereich
- Tabelle Baustein



- Tabelle Zone
- Tabelle Topologie
- Tabelle Artikelgruppe\_Baustein

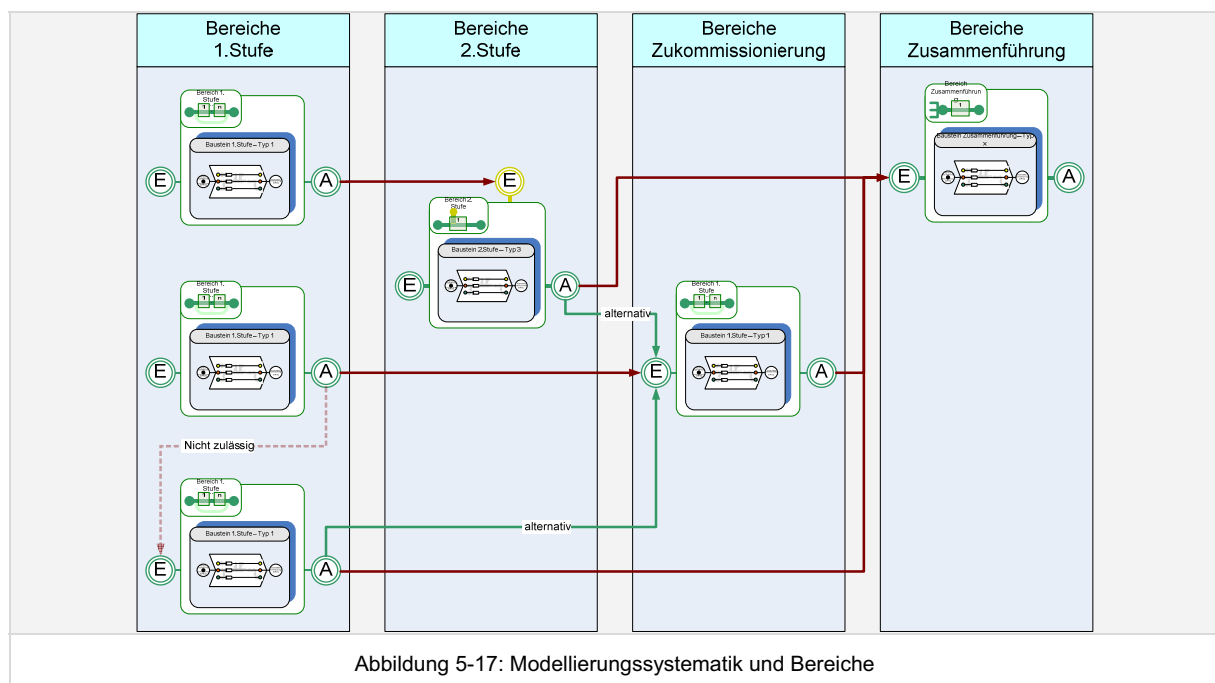
### 5.2.6.2 Prozess

Zur Modellierung verschiedener Modelle von Kommissioniersystemen wurde aufbauend auf der Analyse der praxisrelevanten Kommissioniersysteme (vgl. Arbeitspaket 1) ein Modellierungsparadigma entwickelt welches eine Grundstruktur für die Modellierung und Beschreibung von Kommissioniersystemen vorgibt. Das Paradigma beinhaltet die hierarchisch gegliederten Ebenen Bereich, Baustein und Zone.

Die Bereiche haben als zusätzliche Ebene oberhalb der Bausteine die folgende Funktion:

- Klare Strukturierung des Modells nach Bereichen der ersten Kommissionierstufe, der zweiten Kommissionierstufe, der Zukommissionierung und der Zusammenführung
- Definition von Bereichen für die Auftragseinlastung: ein Bereich hat immer genau einen Punkt der Auftragseinlastung.
- Transparente Modellierung des Modellverhaltens bzgl. Serienbildung und Serienauflösung bei seriell verbundenen Bausteinen der ersten Kommissionierstufe.
- Eine Serie wird immer am Ende des Bereiches aufgelöst, das heißt einen Bereich verlassen immer einzelne Auftragsbehälter.
- Innerhalb eines Bereiches ist die definierte Seriengröße in allen Bausteinen gleich. Das heißt die Anzahl maximal in einem Serienauftrag gleichzeitig zu bearbeitenden Behälteraufträge ist konstant. Der Bereich kann damit auch als Objekt mit gleichartigem Auftragsbehältertransportsystem angesehen werden.

Es gibt vier verschiedene Arten von Bereichen: den Bereich der 1.Stufe, den Bereich der zweiten Stufe (zweistufige Kommissionierung), den Bereich des Zukommissionierens und den Bereich der Zusammenführung.



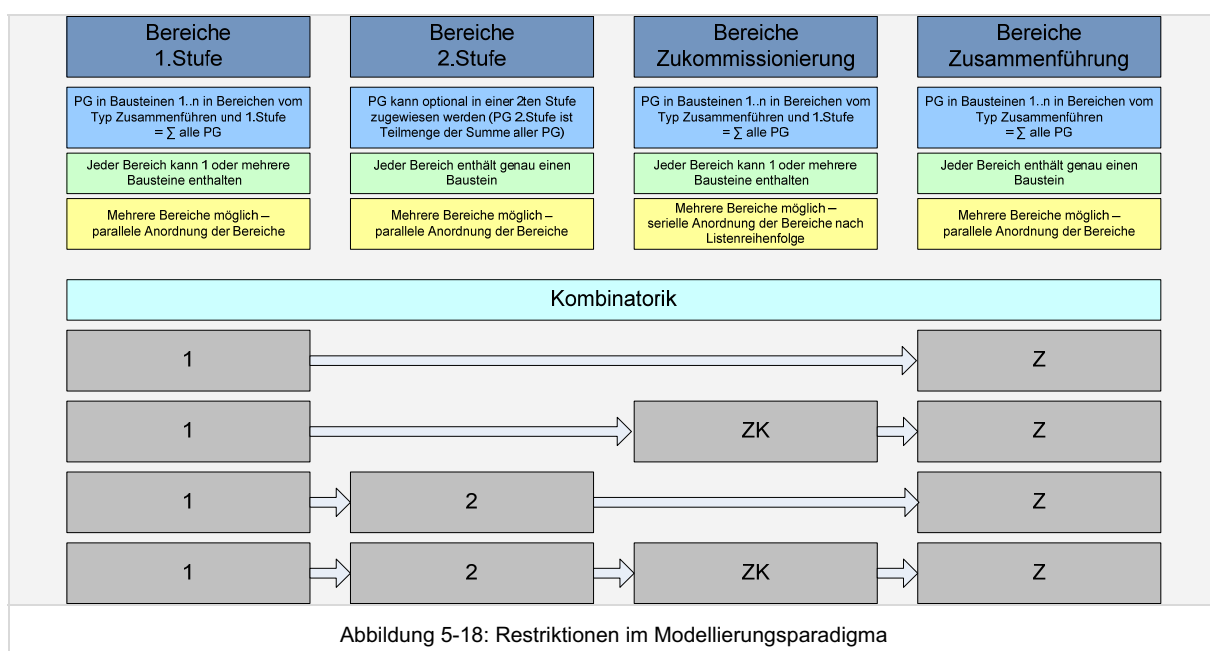
Ein Bereich kann je nach Art einen oder mehrere Bausteine enthalten. Bausteine stellen die grundsätzlich verschiedenen Arten der Kommissionierung basierend auf dem Elementarbausteinen dar.

Um zu gewährleisten, dass das vom Planer modellierte Kommissioniersystem auch ein logisch funktionierendes, eindeutiges und simulierbares System darstellt ist ein wesentlicher

Bestandteil des Modellierungsparadigmas die Definition von Restriktionen für die Bereiche und Bausteine. Restriktionen ergeben sich in folgenden Bereichen:

- Produktgruppenzuweisung zu den Bausteinen der Bereiche: z.B. kann eine Produktgruppe nur dann zweistufig kommissioniert werden, wenn diese sowohl einem Baustein der ersten Stufe als auch einem Baustein der zweiten Stufe als Produktgruppe zugewiesen wurde. Des weiteren existieren Restriktionen bzgl. der Zuweisung von Produktgruppen zu Bausteinen auf das Gesamtmodell bezogen. Wurde eine Produktgruppe bereits einem Baustein im Bereich der ersten Kommissionierstufe zugewiesen, so kann er nicht mehr einem Baustein im Bereich der Zusammenführung zugewiesen werden. Jede Produktgruppe muss für ein valides Modell entweder einem Baustein im Bereich der ersten Kommissionierstufe oder einem Baustein im Bereich der zweiten Kommissionierstufe zugewiesen werden.
- Anzahl Bausteine pro Bereich: je nach Funktionsbereich darf ein Bereich beliebig viele oder nur einen Baustein enthalten. Im Bereich der zweiten Kommissionierstufe kann z.B. nur jeweils ein Baustein pro Bereich modelliert werden, da eine serielle Verschaltung mehrerer zweiter Kommissionierstufen keinen Sinn ergeben würde.
- Anzahl Bereich je Funktionsbereich und deren topologische Anordnung: in jedem der Funktionsbereiche können beliebig viele Bereiche modelliert werden. In den Bereich der ersten Stufe und zweiten Stufe führt die Modellierung mehrerer Bereiche zu einer parallelen Bearbeitung in den Bereichen und der damit verbundene Verschaltung im Gesamtmodell. Im Bereich des Zukommissionierens werden alle Bereiche seriell verschaltet, da je nach Auftragszusammensetzung ein Auftrag für die Fertigstellung in allen Bereiche des Zukommissionierens bearbeitet werden muss.
- Im Bereich der Zusammenführung hat die Modellierung mehrerer Bereich folgenden Effekt. Da jede Produktgruppe einem Baustein im Bereich der Zusammenführung zugewiesen sein muss, kann mit einer Modellierung von mehreren Bereichen erreicht werden, dass nicht der gesamte Lieferauftrag zusammengeführt wird, sondern nur die Positionen die entsprechend den dem Baustein/Bereich zugewiesenen Produktgruppen zusammengeführt werden sollen. Dies wird bereits bei der Generierung der Behälteraufträge berücksichtigt, und die Lieferauftragspositionen entsprechend auf getrennte Behälter aufgeteilt.

Folgende Abbildung zeigt eine Übersicht über die je Funktionsbereich und modellweit definierten Regeln sowie die kombinatorischen Modellierungsoptionen unter Berücksichtigung der Funktionsbereiche:



Diese Modellierungsparadigma wurde im Rahmen des Forschungsprojektes in einer Windows-basierten Applikation umgesetzt welche sich in die Planungsumgebung integriert. Folgende Abbildung zeigt die Art der Umsetzung in der Planungsumgebung. Hier findet sich in der Baumstruktur das oben vorgestellte Modellierungsparadigma wieder:

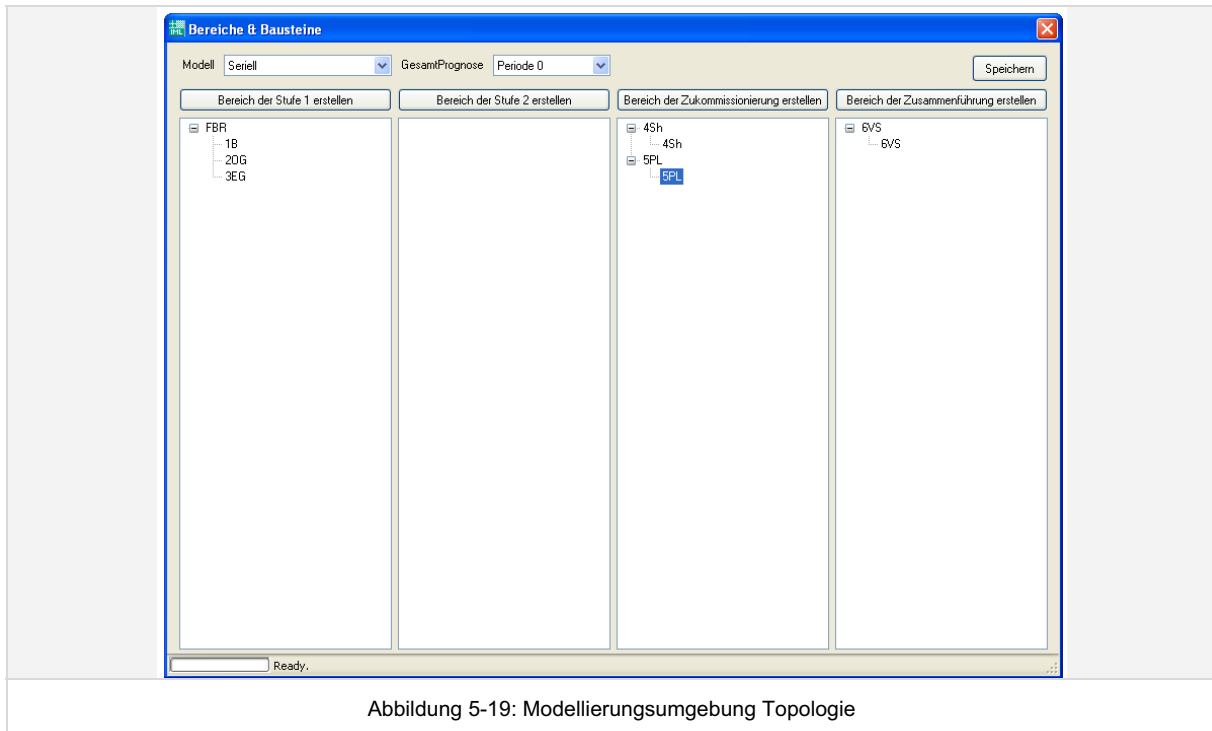


Abbildung 5-19: Modellierungsumgebung Topologie

Die jeweils in den Bereichen verfügbaren und zulässigen Bausteine wurden in Form eines Template-Kataloges ausgearbeitet und durch Prinzipdarstellungen veranschaulicht. Die Templates dienen in der Planungsumgebung als Vorlagen für die Modellierung und können vom Planer beim Anlegen eines Bausteins ausgewählt werden. Darüber hinaus wird die Möglichkeit vorgesehen benutzerdefinierte Templates anzulegen und so für eine nochmalige Verwendung zu hinterlegen.

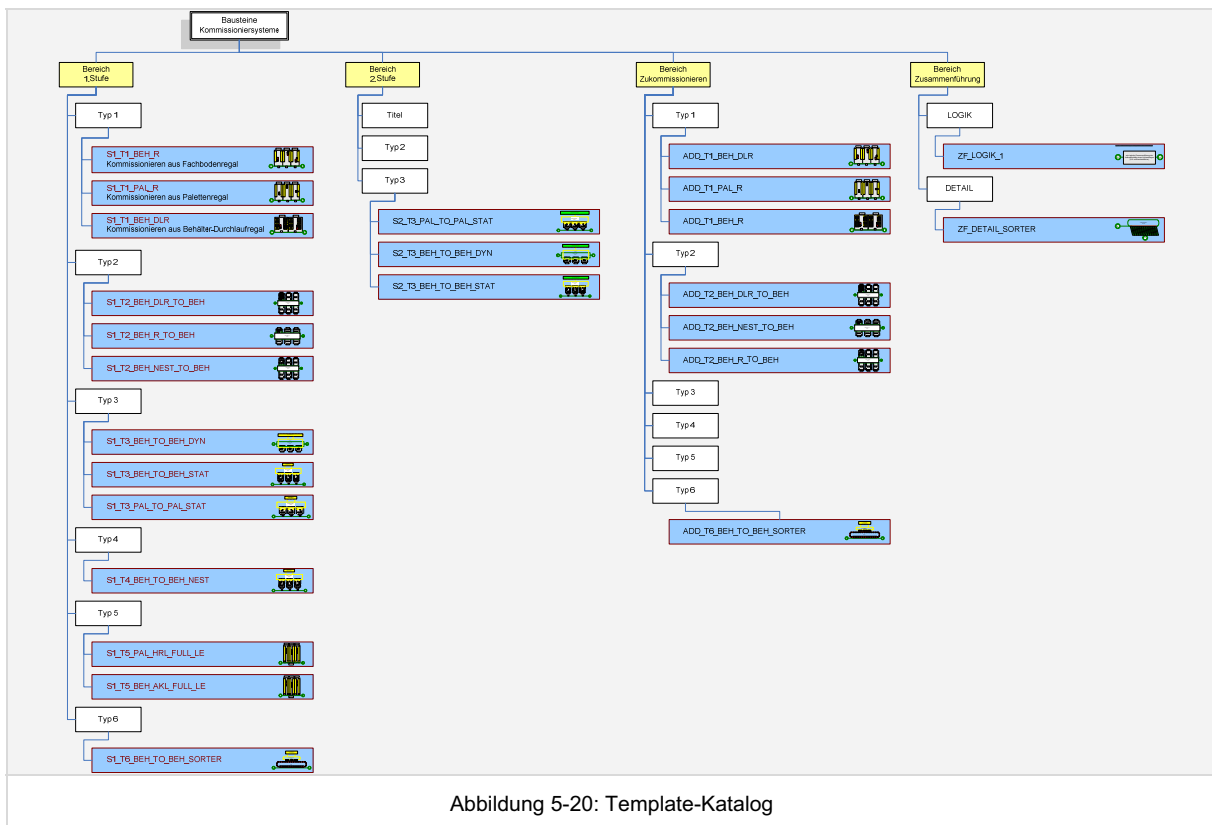


Abbildung 5-20: Template-Katalog

Im Rahmen der Modellierung und Dimensionierung der Bausteine erfolgt in der Planungsumgebung jeweils die Zuweisung der vorher definierten logistischen Produktgruppen zu den Bausteinen. Durch diese Zuweisung und den definierten Modellierungsrestriktionen ergeben sich implizit die notwendigen logischen, simulations- und ablauftechnischen Verknüpfungen, so dass diese vom Benutzer nicht mehr explizit vorgegeben werden müssen.

Neben der Modellierung der Topologie (Bereiche, Bausteine) erfolgt die Dimensionierung der jeweiligen Bereichs- und Bausteintechnik.

Die Dimensionierung der Bereiche beinhaltet je nach Bereichstyp

- Die Angabe der Seriengröße im Bereich
- Die Auswahl des im Bereich verwendeten Kommissionierbehälters und der Transporteinheit für die Kommissionierbehälter aus einer vordefinierten Menge an Ladungsträgern
- Die Festlegung von bereichsbezogenen Zeitanteilen in der Kommissionierung
  - Der Zeitverbrauch am Anfang einer Serie kann unter anderem die Zeit für die Serienzusammensetzung enthalten
  - Der Zeitverbrauch am Ende einer Serie beinhaltet alle Zeiten die nach der letzten Bearbeitung der Serie beim Verlassen des Bereichs auftreten (wie z.B. Serie vereinzeln)

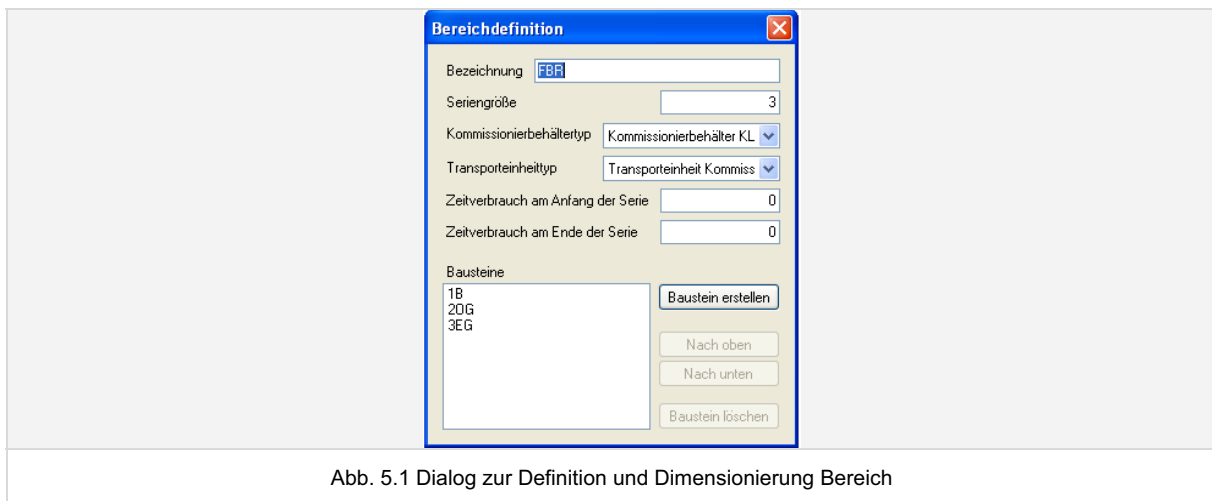


Abb. 5.1 Dialog zur Definition und Dimensionierung Bereich

Die Dimensionierung der Bausteine beinhaltet basierend auf den zugewiesenen Produktgruppen

- Die Auswahl eines Behältertyps für die Bereitstellung der Entnahmeeinheiten aus einer vordefinierten Anzahl möglicher Behälter
- die Dimensionierung des Transportsystems für Bereitstellereinheiten und/oder Auftragsbehälter bzgl.
- die Auslegung der statischen Lagerbereiche für Bereitstellereinheiten oder Auftragsbehälter. Bei der Dimensionierung des Bereitstellagers für Entnahmeeinheiten wird unterscheiden zwischen einer reichweitenorientierten Dimensionierung bei der von jedem Artikel eine definierbare Mindestreichweite in der Kommissionierbereitstellung gelagert wird und einer Dimensionierung auf Basis einer festen Anzahl Ladungsträger die je Artikel im Bereitstellagersystem gelagert wird. Die Dimensionierung eines statischen Bereitstellagers für Auftragsbehälter orientiert sich an der im Bereich verwendeten Seriengröße.
- die Parametrisierung der Zeitvorgaben, Geschwindigkeiten, Kostenkennwerte und Flächenangaben

Im Detail wird dem Planer die folgende Oberfläche zur Dimensionierung zur Verfügung gestellt. Auf dem hier aktivierten Reiter „Bereitstellereinheiten“ sind alle Parameter für die Dimensionierung des Transport- und Lagersystems für die Bereitstellbehälter zusammengefasst und einstellbar.

**Bausteindefinition**

Artikelspektrum  
Zugewiesene Produktgruppen  Produktgruppe\_1  
Anzahl Artikel

Bereitstellbehälter  
Typ Bereitstellbehälter

Lagersystem Bereitstellereinheiten

Bezeichnung   
Verwendetes Template   
Kommissionierbehälter und Transporteinheit  
Typ Kommissionierbehälter   
Typ Transporteinheit   
Seriengröße

Lagersystem Kommissionierbehälter

Bereitstellereinheiten  Layout, Nachschub & Kosten Bausteinparameter & -ressourcen

**Transportsystem Bereitstellbehälter**  
Typ BB-Transportsystem   
Layout BB-Transportsystem   
Anzahl Plätze in Zone

**Lagersystem Bereitstellereinheiten**  
Dimensionierung anhand...  
 ... Mindestreichweite  
 ... fester Anzahl Bereitstellladungsträger je Artikel  
Mindestreichweite (in Tagen)   
Anzahl Ladungsträger je Artikel

**Dimensionierung**  
Anzahl Ladungsträger je Platz  Anzahl Plätze SOLL   
Fachhöhe  Breite Kopfgang   
Fachbreite  Breite Kommissioniergang   
Fachtiefe  Breite Nachschubgang   
Anzahl Zonen  Breite Transportsystem   
Anzahl Gassen je Zone  Entfernung Basis   
Anzahl Spalten je Gasse  Gassenabstand   
Anzahl Zeilen  Anzahl Plätze IST

**Lagerbedienressource**  
Typ  Kosten  Anzahl

Abbildung 5-21: Dialog zur Definition und Dimensionierung Bausteine

Die folgende Abbildung zeigt die Dimensionierungsoberfläche mit aktiviertem Reiter „Kommissionierbehälter“. Hier werden alle Parameter zur Dimensionierung des Transport- und Lagersystems für die Kommissionierbehälter dimensioniert:

**Bausteindefinition**

Artikelspektrum  
Zugewiesene Produktgruppen  Produktgruppe\_1  
Anzahl Artikel

Bereitstellbehälter  
Typ Bereitstellbehälter

Lagersystem Bereitstellereinheiten

Bezeichnung   
Verwendetes Template   
Kommissionierbehälter und Transporteinheit  
Typ Kommissionierbehälter   
Typ Transporteinheit   
Seriengröße

Lagersystem Kommissionierbehälter

Bereitstellereinheiten  Layout, Nachschub & Kosten Bausteinparameter & -ressourcen

**Transportsystem Kommissionierbehälter**  
Typ KB-Transportsystem   
Layout KB-Transportsystem   
Anzahl Plätze in Zone   
Abkürzungsabstand in Zonen

**Lagersystem Kommissionierbehälter**  
Dimensionierung anhand...  
 ... Mindestreichweite  
 ... fester Anzahl Bereitstellladungsträger je Artikel  
Mindestreichweite (in Tagen)   
Anzahl Ladungsträger je Artikel

**Dimensionierung**  
Anzahl Ladungsträger je Platz  Anzahl Plätze SOLL   
Fachhöhe  Breite Kopfgang   
Fachbreite  Breite Kommissioniergang   
Fachtiefe  Breite Nachschubgang   
Anzahl Zonen  Breite Transportsystem   
Anzahl Gassen je Zone  Entfernung Basis   
Anzahl Spalten je Gasse  Gassenabstand   
Anzahl Zeilen  Anzahl Plätze IST

**Lagerbedienressource**  
Typ  Kosten  Anzahl

Abbildung 5-22: Dialog zur Definition und Dimensionierung Bausteine

Die nächste Abbildung zeigt den Dimensionierungsdialog mit aktiviertem Reiter „Layout, Nachschub & Kosten“:

**Bausteindeinition**

Artikelspektrum  
Zugewiesene Produktgruppen  Produktgruppe\_1

Anzahl Artikel

Bereitstellbehälter  
Typ Bereitstellbehälter

Lagersystem Bereitstellereinheiten  Lagersystem Kommissionierbehälter

Bereitstellereinheiten | Kommissionierbehälter | **Layout, Nachschub & Kosten** | Bausteinparameter & -ressourcen

**Layoutdaten**

Baustein Breite   
Baustein Tiefe   
Baustein Fläche

**Nachschub Lagersystem**

Volumenverbrauch der zugewiesenen Artikel   
Entfernung Nachschublager   
Anzahl Stellplätze im Nachschublager

**Kostenkennzahlen**

pro m² Fläche	<input type="text" value="250"/>	
Stellplatz manuell	<input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="25"/>
Stellplatz DLR	<input type="text" value="12"/>	<input type="text" value="70"/>
Stellplatz automatisch	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="100"/>
Fördertechnik	<input type="text" value="1000"/>	<input type="text" value="2500"/>
Umlauf	<input type="text" value="8000"/>	<input type="text" value="18000"/>
Zonentechnik	<input type="text" value="6000"/>	<input type="text" value="16000"/>

Abbildung 5-23: Dialog zur Definition und Dimensionierung Bausteine

Die nächste Abbildung zeigt den Dimensionierungsdialg mit aktiviertem Reiter „Bausteinparameter und Ressourcen“:

**Bausteindeinition**

Artikelspektrum  
Zugewiesene Produktgruppen  Produktgruppe\_1

Anzahl Artikel

Bereitstellbehälter  
Typ Bereitstellbehälter

Lagersystem Bereitstellereinheiten  Lagersystem Kommissionierbehälter

Bereitstellereinheiten | Kommissionierbehälter | Layout, Nachschub & Kosten | **Bausteinparameter & -ressourcen**

**Baustein Parameter**

Basiszeitzone Start  Ende   
Greifzeit   
Abgabezeit   
Zonenwechselzeit   
Gassenwechselzeit   
Behinderung   
Anzahl Greifen   
Anzahl Sammeln   
Geschwindigkeit X  Y   
Beschleunigung X  Y

**Baustein Ressourcen**

Anzahl Ressourcen   
Bezeichnung für Ressource   
Von   
Bis   
Zuordnungsart

Abbildung 5-24: Dialog zur Definition und Dimensionierung Bausteine

Zusätzlich notwendige Lagerbereiche wie z.B. dynamische Bereitstelllager oder Nachschublager werden nicht explizit im Simulationsmodell abgebildet. Die Parametrisierung und Dimensionierung erfolgt auf Basis von Reichweite und Volumenverbrauch des jeweiligen Artikelspektrums. Für das Gesamtprojekt wird wie bereits beschrieben hierbei immer mit einer einheitlichen Gesamtreichweite für alle Artikel gerechnet, um einen sinnvollen Systemvergleich vornehmen zu können.

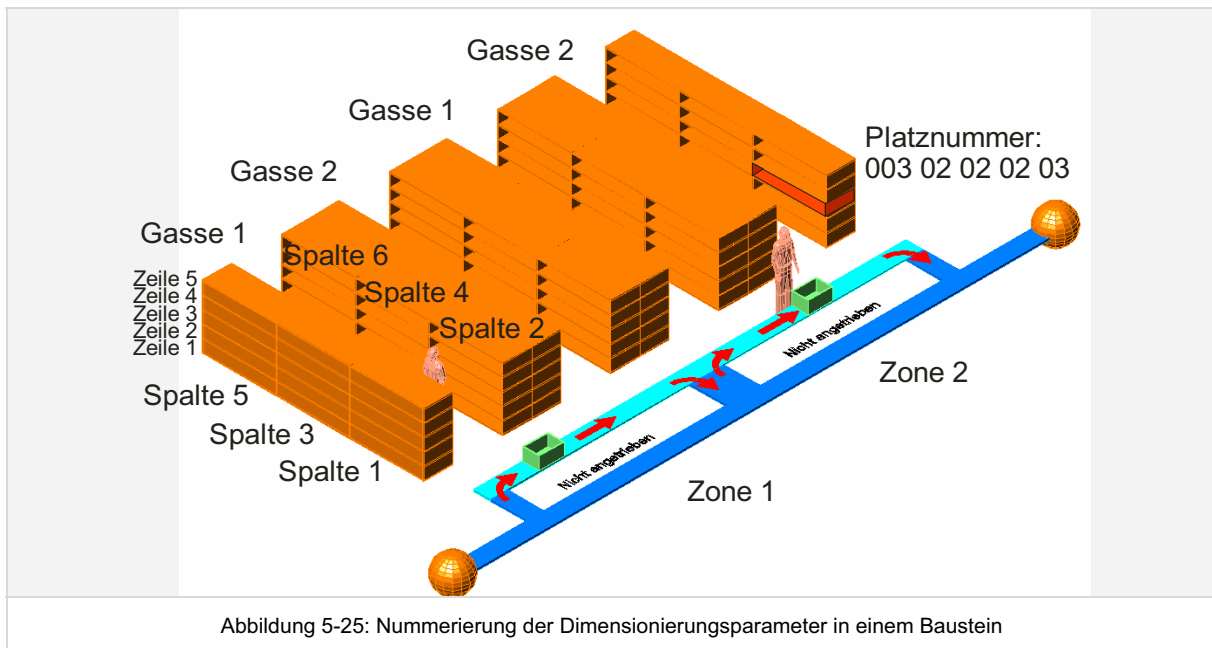
### 5.2.6.3 Ergebnis

Als Ergebnis der Modellierung und Dimensionierung werden in die Datenbank folgende Informationen zurückgeschrieben:

- Tabelle Modell
- Tabelle Bereich
- Tabelle Baustein
- Tabelle Zone
- Tabelle Topologie
- Tabelle Artikelgruppe\_Baustein
- Tabelle Ladungsträger

### 5.2.7 Modul Lagerspiegelerzeuger (fml)

Damit in der Simulation Wegezeiten ermittelt werden können, ist es erforderlich, dass für jedes in Abschnitt 5.2.3 erzeugte Sortiment ein Lagerspiegel existiert. Dieser wird über das Modul Lagerspiegelerzeuger gebildet. Die eindeutige Identifizierung eines Lagerplatzes innerhalb eines Bausteins orientiert sich an der Nummerierung, die in Abbildung 5-25 dargestellt ist.



Jeder Baustein kann in mehrere Zonen, jede Zone in mehrere Gassen, jede Gasse in mehrere Spalten und jede Spalte in mehrere Zeilen eingeteilt werden. Die entsprechenden Parameter werden im Schritt der Dimensionierung definiert und können der Datenbank entnommen werden. Die Nummerierung beginnt generell bei eins und endet bei der maximalen Anzahl.

Bei der Generierung des Lagerspiegels wird von einer Lagerplatzvergabe ausgegangen, bei der eine Schnelläuferkonzentration am Beginn der Gasse besteht (ABC-verteilt), so dass für die Artikel mit der höchsten Zugriffshäufigkeit (Wert auf das Jahr bezogen) auch die geringsten Wege entstehen. Zusätzlich wird auf Basis des Merkmals der Zugriffshäufigkeit versucht, die Zonen sowie Gassen möglichst gleichmäßig auszulasten. Dies wird sichergestellt, indem die Artikel nach Zugriffshäufigkeit absteigend sortiert im Zonendurchlauf 1-n, n-1, 1-n, ..., n-1 der Reihenfolge nach verteilt werden. Der Gassendurchlauf erfolgt nach gleichem Prinzip. Obwohl der Lagerspiegel idealisiert wird, orientiert dieser sich dennoch an der Realität. Voraussetzung für ein Unternehmen ist jedoch, dass mindestens einmal im Jahr nach den Zugriffshäufigkeiten der einzelnen Artikel des vergangenen Jahres eine Lagerplatzanpassung erfolgt.



### 5.2.7.1 Eingangsdaten

Eingangsdaten dieses Moduls können ohne weitere Benutzerinteraktion aus den Datenbanktabellen „Baustein“, „Zone“, „ArtikelVeraenderlichPeriode“ und „Artikelgruppe“ sowie deren Verknüpfungstabellen gewonnen werden.

Aus „Baustein“ wird eine Bausteinliste mit den Dimensionierungsparametern SBL\_AnzahlGassenJeZone, SBL\_AnzahlSpaltenJeGasse und SBL\_AnzahlZeilen benötigt. Aus „Zone“ wird die Zonenanzahl ermittelt. Über die verknüpften Datensätze der „Artikelgruppe“ werden die einem Baustein zugewiesenen Datensätze aus „ArtikelVeraenderlichPeriode“, für die ein Lagerspiegel erzeugt werden muss, ausgelesen.

### 5.2.7.2 Prozess

Die Idee bei der Erzeugung des Lagerspiegels liegt darin, die Lagerplätze in eine nach kürzesten Wegen sortierte Reihenfolge zu bringen, die zusätzlich der zuvor beschriebenen Gleichverteilung auf Zonen und Gassen Rechnung trägt. In diesem Fall hätte man nur noch zwei Listen, eine mit den Lagerplätzen von gut nach schlecht und eine mit den Artikeln von viel nach wenig drehend sortiert. Im letzten Schritt müssen dann nur noch die jeweils obersten Listeneinträge unter der Berücksichtigung der notwendigen Lagerplatzanzahl für den entsprechenden Artikel miteinander verknüpft werden.

Mit dem umgesetzten Prozess des Lagerspiegelerzeugers ist es gelungen diese Idee zu verwirklichen. Zunächst wurde eine Funktion `naechsterLagerplatz` umgesetzt, die gemäß einer zuvor beschriebenen Liste, die Lagerplätze von gut nach schlecht sortiert und einzeln zurückliefert. Bei Beginn der Erzeugung für einen Baustein wird diese Funktion mit den Startparametern `Zone=0`, `Gasse=1`, `Zeile=1`, `Spalte=1`, `Zonen-Durchgangszähler=0`, `Gassen-Durchgangszähler=0` und `Spaltenadditiv=0` initialisiert. Gemäß Abbildung 5-27 wird zunächst die Zone nach dem Prinzip  $1\dots n, n\dots 1, 1\dots n$  usw. durchlaufen und entsprechend gesetzt. Immer wenn die Zone den maximalen Wert plus eins oder null annimmt, wird auch der Wert für die Gasse neu ermittelt. Dies geschieht ebenfalls nach dem Prinzip  $1\dots n, n\dots 1, 1\dots n$  usw. Nur wenn der Gassenwert die Gassenanzahl plus eins oder null annimmt wird in einem weiteren Schritt auch die Zeile verändert. Da die Zeilenhöhe in diesem Projekt keine Auswirkung auf die Kommissionierzeit hat, wird die einfach von eins bis Zeilenanzahl hoch gezählt. Ist eine Spalte voll, also die Zeile auf dem Wert der Zeilenanzahl angekommen, so wird diese wieder auf eins zurückgesetzt und die Spalte weitergezählt. Beim Weiterzählen der Spalte werden zwei Fälle beachtet. Besteht die Zone nur aus einer Regalzeile und damit keiner echten Gasse, so wird in der Mitte begonnen und bei jeder Erhöhung abwechselnd links und rechts ausgegeben. Um die entsprechende Spalte zu berechnen wird ein `Spaltenadditiv` ermittelt, das abwechselnd positiv und negativ ist und in Summe mit dem vorangegangenen Spaltenwert, die neue Spalte ergibt. Im zweiten Fall besteht die Zone aus mindestens einer Gasse und die Spalten werden einfach von eins bis Spaltenanzahl hoch gezählt.

Führt man diese Funktion nun mehrere Male aus, erhält man bei `Zonenanzahl=3`, `Gassenanzahl=2`, `Spaltenanzahl=30` und `Zeilenanzahl=5` nachfolgende Reihenfolge der Lagerplätze:

Zone	Gasse	Spalte	Zeile
1	1	1	1
2	1	1	1
3	1	1	1
3	2	1	1
2	2	1	1
1	2	1	1
1	2	1	2
2	2	1	3
USW.			

Abbildung 5-26: Reihenfolge der Lagerplatzvergabe

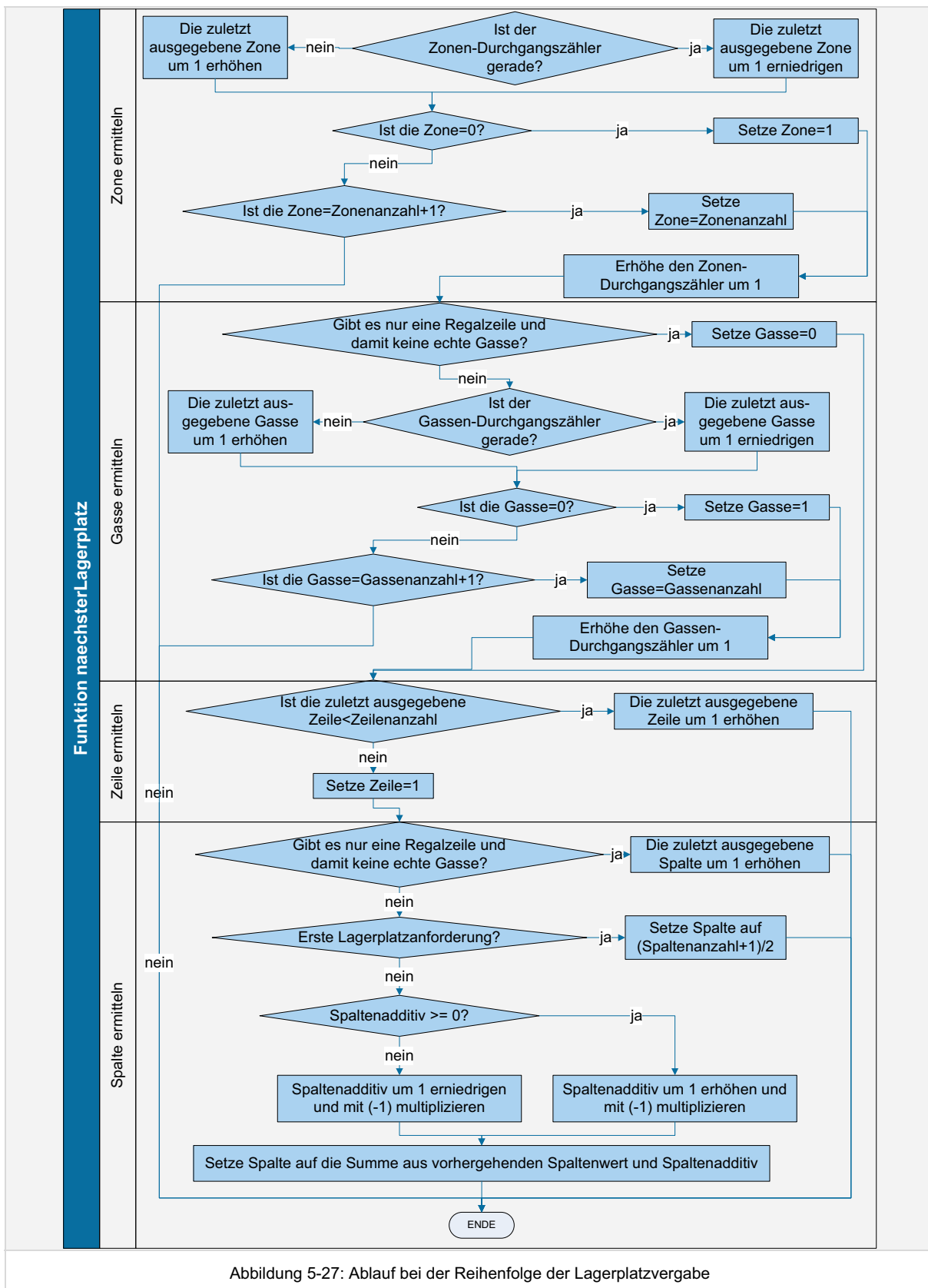
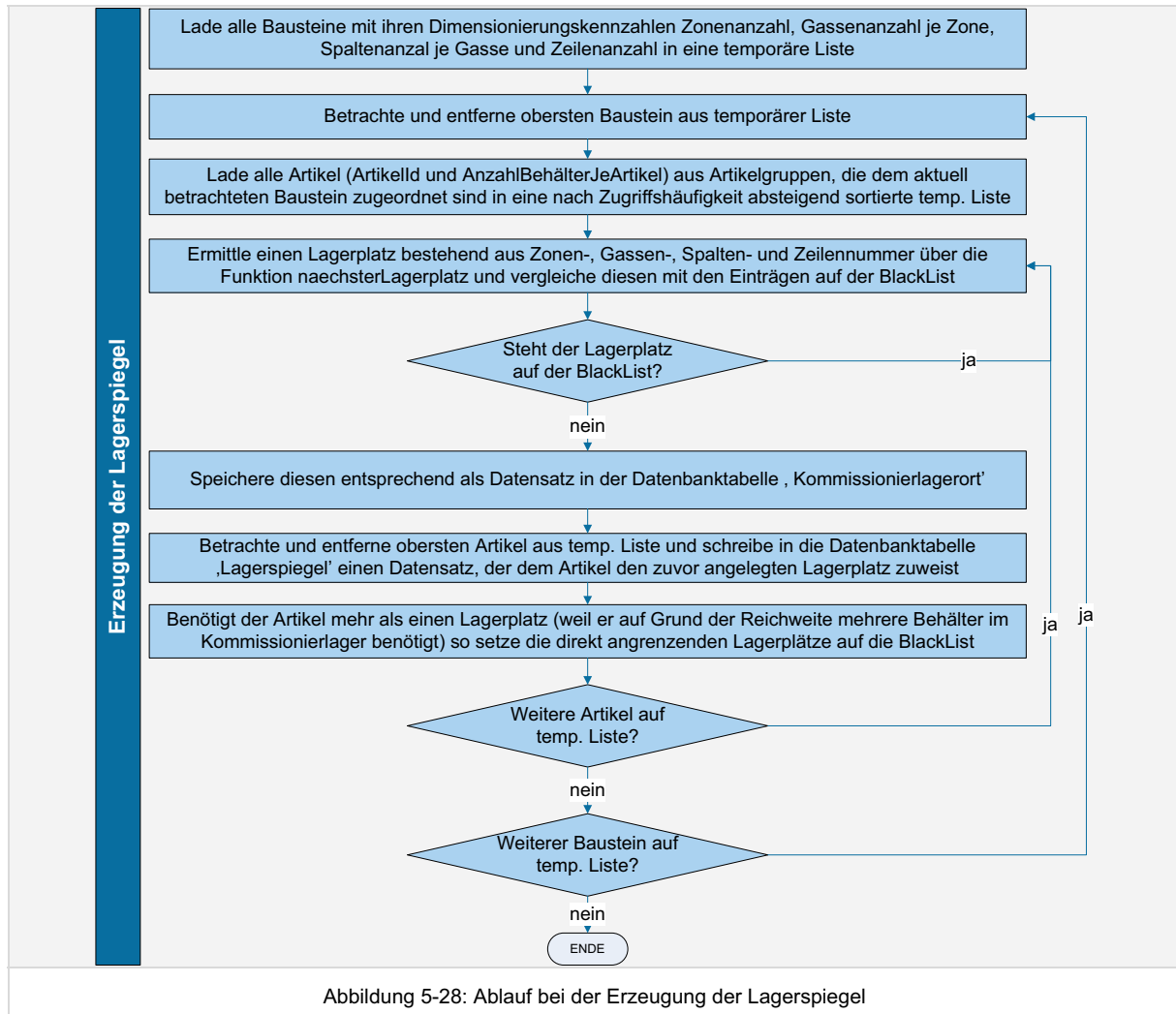


Abbildung 5-27: Ablauf bei der Reihenfolge der Lagerplatzvergabe

Bevor die zweite Liste, die nach Zugriffshäufigkeit absteigend sortierte Liste mit den Artikeln aus der Datenbank geladen werden kann, muss für jeden Artikel die benötigte Anzahl an Behältern im Kommissionierlager berechnet werden. Dies erfolgt über die Formel

definierte Mindestreichweite im Baustein \* Umschlagsmenge des Artikels p. a. / Arbeitstage p. a. / Füllmenge

Damit ist die Behälteranzahl, die jeder Artikel im Kommissionierlager benötigt ermittelt und kann dementsprechend bei der Lagerplatzvergabe berücksichtigt werden. Somit sind alle Vorarbeiten geleistet um mit der Verknüpfung der Anfangs erwähnten Listen zu beginnen. Generell muss dieser Prozess für jeden Baustein erfolgen, so dass zunächst gemäß Ablaufdiagramm in Abbildung 5-28 alle zum aktuell betrachteten Modell zugeordneten Bausteine samt der Dimensionierungsparameter Zonenanzahl, Gassenanzahl je Zone, Spaltenanzahl je Gasse und Zeilenanzahl in eine temporäre Liste geladen werden.



Im Anschluss wird für den ersten bzw. nächsten Baustein die erste Liste mit den Artikeln geladen. Diese wird wie bereits zuvor beschrieben nach der Zugriffshäufigkeit absteigend sortiert und beinhaltet die Attribute ArtikelId und AnzahlBehälterJeArtikel.

Für jeden dieser Artikel beginnend beim ersten Listeneintrag wird der Reihenfolge nach über die Funktion `naechsterLagerplatz` ein Lagerplatz ermittelt. Müssen für einen Artikel mehrere Lagerplätze belegt werden, da dieser entsprechend der definierten Mindestreichweite mehrere Behälter im Kommissionierlager benötigt, so werden die direkt angrenzenden Lagerplätze auf eine Art BlackList gesetzt. Die auf dieser BlackList verzeichneten Lagerplätze dürfen nicht belegt werden. Aus diesem Grund muss beim Aufruf der Funktion `naechsterLagerplatz` immer zuerst geprüft werden, ob der zurückgegebene Lagerplatz verwendet werden darf oder nicht. So lange Lagerplätze zurück geliefert werden, die auf der BlackList stehen, wird die Funktion einfach wiederholt ausgeführt. Ist ein freier Lagerplatz gefunden, wird dieser in der Datenbanktabelle „Kommissionierlagerort“ angelegt als Datensatz angelegt und direkt über die Zuordnungstabelle „Lagerspiegel“ mit dem entsprechend ArtikelVeraenderlichPeriode verknüpft.

### 5.2.7.3 Ergebnis

Das Ergebnis dieses Moduls ist die Lagerplatzzuordnung sämtlicher Artikel. Es werden Datensätze in die Datenbanktabellen „Kommissionierlagerort“ und „Lagerspiegel“ getätigt. Für jeden einzelnen Baustein besteht für jede Periode damit ein fester Lagerspiegel. Der Lagerspiegel kann sich nur von Periode zu Periode ändern, ist also für alle Simulationsläufe einer bestimmten Periode und Entwicklungsart fest.

### 5.2.8 Modul Behälterauftragserzeuger (fml)

Das Modul Behälterauftragserzeuger wird benötigt um die noch modellunabhängigen Lieferaufträge, die für alle Modelle (Kommissioniersystemvarianten) eines Planungsprojekts dieselben sind, auf modellspezifische Behälteraufträge umzuwandeln. Wenn ein Modell nur aus einem Bereich besteht, ist die Umwandlung sehr einfach, da die Behälteraufträge im Wesentlichen die Lieferaufträge sind. Es wird lediglich eine Gewichts- und Volumenprüfung vorgenommen, die bei Überschreitung der zulässigen Höchstwerte zu einer Aufteilung des Lieferauftrages auf mehrere Behälteraufträge führt. Darüber hinaus müssen aber auch bei Verzicht einer Gewichts- und Volumenbeschränkung des Kommissionierbehälters Behälteraufträge erzeugt werden, da die Lieferaufträge innerhalb eines Planungsprojekts nur einmal existieren und in den Aufträgen sowie Auftragspositionen aus der Simulation ermittelte modellspezifische Zeitverbräuche gespeichert werden sollen.

Begründet durch die zumeist heterogene Artikelstruktur besteht ein Modell heut zu Tage in der Regel aus mehr als einem Bereich, was auch die Bildung von Teilaufträgen bei einstufigen Systemen und die Zusammenfassung von Artikeln bei zweistufigen Systemen voraussetzt. Behälteraufträge sollen Bereichsweise angelegt werden und Informationen über den nachfolgenden Bereich und evtl. anschließendem Behälterauftrag des nächsten Bereiches beinhalten. Die Information, welcher Vorgängerbehälterauftrag bereits ausgeführt sein muss, bevor ein entsprechender Nachfolgebehälterauftrag ausgeführt werden kann, ergibt sich dann implizit.

Die Idee für dieses Modul, ist die Verteilung der Lieferauftragspositionen über die rückwärtsorientierte Topologie eines Modells unter Kenntnis der gelagerten Artikel in den einzelnen Bausteinen der jeweiligen Bereiche. Bei der Umsetzung des Prozess wurde von folgenden getroffenen Einschränkungen ausgegangen:

- am Ende jedes möglichen Materialflusses existiert immer ein Zusammenführungsbereich
- jede Artikelgruppe ist genau einem Zusammenführungsbereich zugeordnet, einem Zusammenführungsbereich können mehrere Artikelgruppen zugeordnet werden
- die zugeordneten Artikelgruppen eines Zusammenführungsbereichs sind durch Materialflussbeziehungen verknüpfte Vorgängerbereiche des entsprechenden Zusammenführungsbereichs

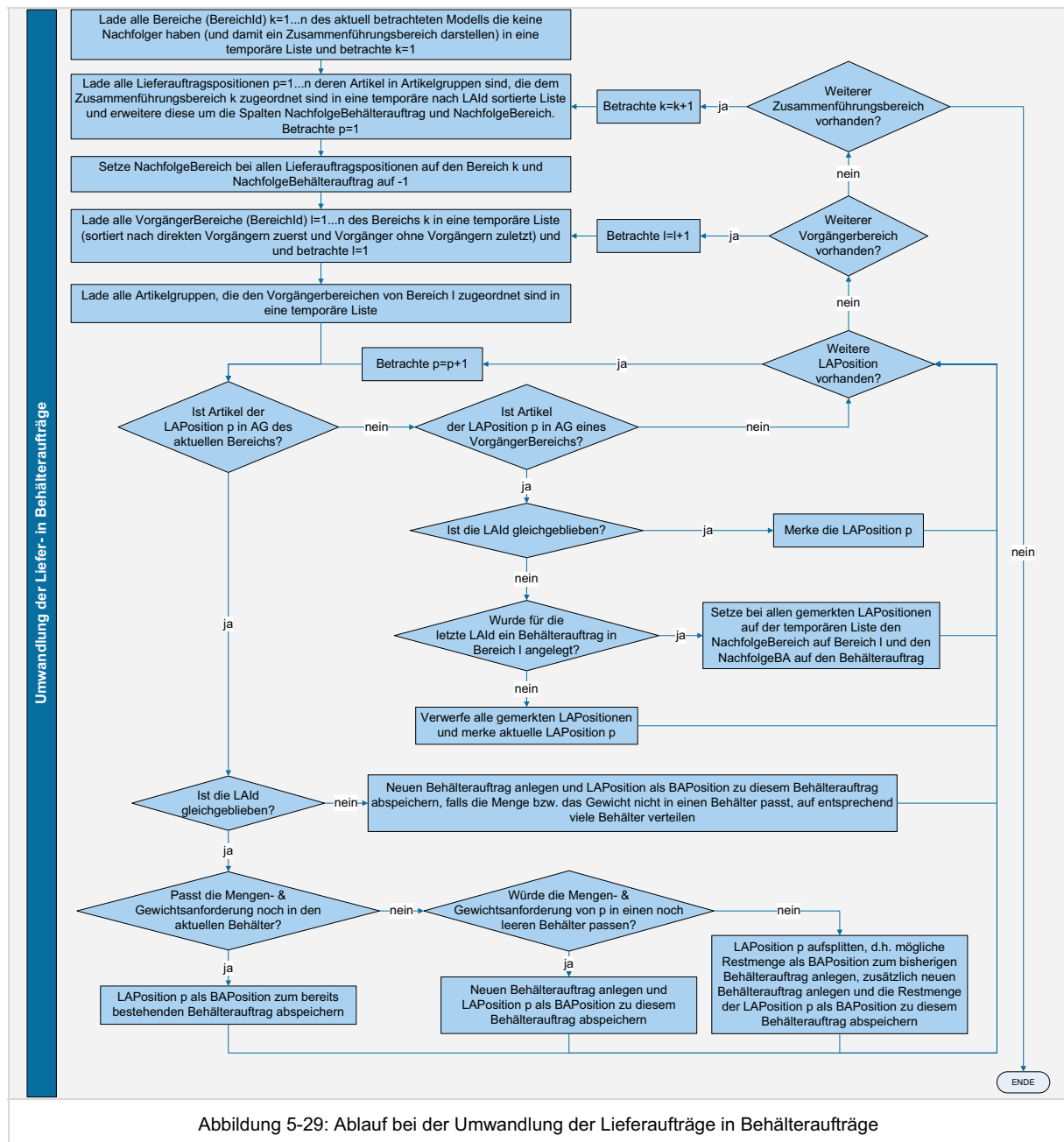
#### 5.2.8.1 Eingangsdaten

Für den Prozess dieses Moduls werden die Datensätze der Datenbanktabelle „Bereich“, „Baustein“, „Topologie“, „Artikelgruppe“, „Ladungsträger“, „Lieferauftrag“ und „LAPosition“ sowie die Verknüpfungstabellen „Artikelgruppe\_Baustein“ und „Artikelgruppe\_ArtikelVeraenderlich“ benötigt. Die benötigten temporären Listen werden mit folgenden Attributen geladen:

- Lieferauftragsliste (LAId, LAPositionId, Artikelgruppeld, Volumen, Gewicht, Menge, Bestellzeitpunkt)
- Zusammenführungsbereichsliste (BereichId)
- Vorgängerbereichsliste (BereichId)
- Artikelgruppenliste (ArtikelgruppenId)

### 5.2.8.2 Prozess

Der in der Abbildung 5-29 dargestellte Ablauf für die Umwandlung der noch modellunabhängigen Lieferaufträge in modellspezifische Behälteraufträge bezieht sich auf ein Modell. D.h. wenn mehrere Modelle für ein Planungsprojekt simuliert werden sollen, muss dieser Prozess für jedes Modell angewendet werden.



Zunächst werden alle Zusammenführungsbereiche in eine temporäre Liste geladen. Damit sind die Bereiche gemeint, die mit keinem nachfolgenden Bereich verbunden sind. Über die dem Zusammenführungsbereich zugewiesenen Artikelgruppen werden alle Lieferauftragspositionen in eine temporäre Liste geladen, welche Artikel aus diesen Artikelgruppen beinhalten. Da alle diese Lieferauftragspositionen über genau diesen Zusammenführungsbereich abgewickelt werden sollen, wird für jede Position temporär als NachfolgeBereich die Id des Zusammenführungsbereichs gesetzt. Anschließend wird diese temporäre Liste abgearbeitet beginnend bei den ersten Vorgängerbereichen des Zusammenführungsbereichs bis zu den Vorgängerbereichen die selbst keine Vorgänger mehr haben. Immer wenn eine Lieferauftragsposition einem Bereich zugeordnet werden kann, wird für diese eine Behälterauftragsposition angelegt und ein Behälterauftrag mit dem aktuell gesetztem temporären Attribut NachfolgeBereich als auch NachfolgeBehälterauftrag geschrieben. Bei gleichbleibender Lie-

ferauftragld wird kein neuer Behälterauftrag angelegt, sondern die neue Behälterauftragsposition dem bereits angelegten Behälterauftrag zugewiesen. Für alle noch nicht zuweisbaren Lieferauftragspositionen eines Lieferauftrages von dem mindestens eine Lieferauftragsposition im betrachteten Bereich bedient werden konnte wird das temporäre Attribut NachfolgeBereich auf den Bereich gesetzt und NachfolgeBehälterauftrag auf den Behälterauftrag der für die bediente Lieferauftragsposition angelegt wurde.

Nach vollständigem Durchlauf aller Vorgängerbereiche bis zu den Wurzeln, ist bei korrekter Zuweisung der Artikelgruppen zu den Bereichen die komplette Lieferauftragsliste in Behälteraufträge umgewandelt.

Bei zweistufigen Systemen sind jedoch noch keine Behälteraufträge für die erste Stufe entstanden. Diese können erst nach erfolgter Serienbildung gebildet werden und werden im Modul der Serienbildung erläutert.

### 5.2.8.3 Ergebnis

Als Ergebnis dieses Moduls sind alle Lieferaufträge auf die verschiedenen Kommissionierbereiche verteilt und in Form von Behälteraufträgen in der Datenbank abgespeichert.

## 5.2.9 Modul Batchbildung (fml)

Das Modul Batchbildung ist erforderlich um Optimierungsblöcke zu bilden. Generell werden zwei Möglichkeiten der Blockbildung abgedeckt. Zum einen eine Batchbildung nach einer Anzahl an Behälteraufträgen und zum anderen nach einer definierten Zeitspanne.

Um Batches nach dem ersten Fall zu bilden, wird lediglich ein Zähler benötigt, der nach Erreichen der gewünschten Anzahl an Behältereraufträgen die Batchld erhöht und selbst wieder zurückgesetzt wird. Ist z.B. eine Anzahl von 20 definiert worden, so werden die 20 Behälteraufträge mit frühestem Startzeitpunkt (welcher sich aus dem Bestellzeitpunkt des Lieferauftrages implizit ergibt), die noch keine Batchld zugewiesen bekommen haben, zu einem Batch zusammengefasst.

Im Fall einer Batchbildung nach Zeitspanne, werden die Behälteraufträge auch in der Reihenfolge ihres frühesten Startzeitpunkts nach der Strategie First Come First Serve abgearbeitet. Die Anzahl der zusammengefassten Behälteraufträge ist dabei jedoch variabel und erfolgt nach Zeitfenstern. Wird z.B. definiert, dass dieses Zeitfenster 1800 Sekunden (30 Minuten) groß sein soll, so erhalten alle Behälteraufträge deren Bestellzeitpunkt innerhalb einer halben Stunde (Zeitfenster hoch gezählt von 00:00:00 Uhr an) liegt, die gleiche Batchld.

Die gebildeten Batches werden für die Bildung von Serien im Modul Serienbildung als Optimierungsblöcke verwendet.

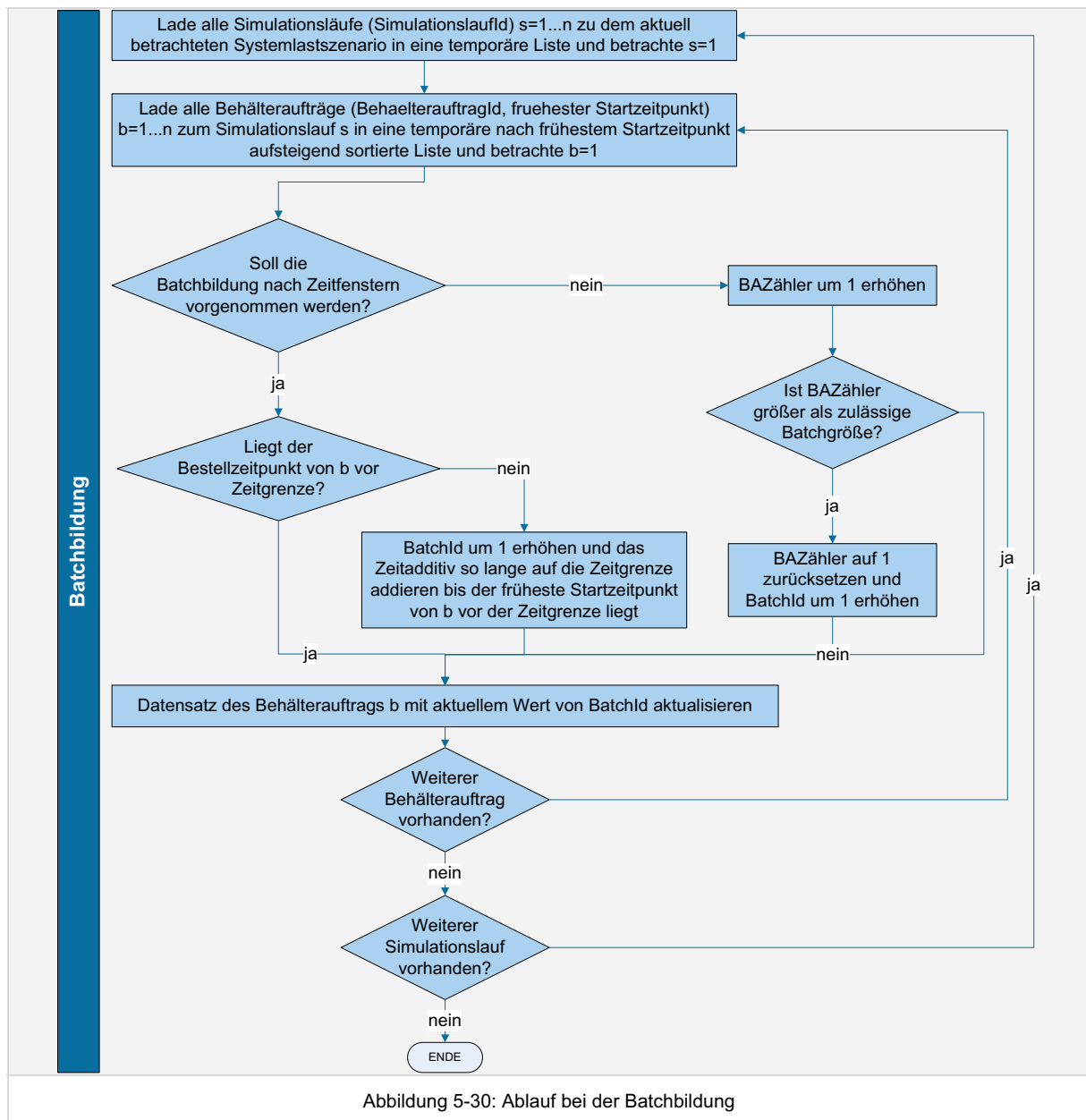
### 5.2.9.1 Eingangsdaten

Für die Batchbildung werden zum einen, die Einstellungen benötigt, wie die Einteilung der Batches erfolgen soll und zum anderen die Behälteraufträge sortiert nach den Simulationsläufen. Hierzu werden die Datensätze aus folgenden Datenbanktabellen benötigt:

- Modell (Batchgroesse, Batchtyp)
- Simulationslauf (Simulationslaufld)
- Behälterauftrag (Behälterauftragld, fruehesterStartzeitpunkt)

### 5.2.9.2 Prozess

Die Bildung der Batches erfolgt immer für das aktuell in der Planungsumgebung ausgewählte Modell und richtet sich nach dem in Abbildung 5-30 dargestelltem Ablaufdiagramm.



Bevor der Prozess startet werden die Werte für die benötigten Variablen Zeitgrenze (Startwert 00:00:00 Uhr), Zeitadditiv (Startwert abhängig von Batchgröße) und BAZähler (Startwert 1) initialisiert. Das Zeitadditiv ist ein konstanter Wert, der die Größe des Zeitfensters beim Typ der Batchbildung nach Zeit annimmt und auf die Zeitgrenze addiert wird wenn ein neues Batch gebildet wird.

Zunächst werden die Simulationsläufe in eine temporäre Liste geladen um nacheinander abgearbeitet werden zu können. Für den aktuell betrachteten Simulationslauf werden dann sämtliche Behälteraufträge in eine weitere temporäre Liste geladen und entsprechend ihres frühesten Startzeitpunkts, der sich aus dem Bestellzeitpunkt des Lieferauftrags ergibt, aufsteigend sortiert. Diese Liste wird dann top-down abgearbeitet.

Soll die Batchbildung nach Zeitfenstern erfolgen so wird für jeden Behälterauftrag geprüft ob der früheste Startzeitpunkt noch vor der aktuellen Zeitgrenze liegt. Ist dies der Fall, so kann dem Behälterauftrag die aktuelle Batchld zugeordnet werden und mit dem nächsten Behälterauftrag fortgefahren werden. Liegt der früheste Startzeitpunkt jedoch bereits nach der aktuellen Zeitgrenze wird ein neues Batch begonnen indem die Batchld um eins erhöht wird und die Zeitgrenze so lange um das Zeitadditiv erhöht wird, bis der früheste Startzeitpunkt des Behälterauftrags wieder vor der Zeitgrenze liegt. Da die Liste der Behälteraufträge nach frühesten Startzeitpunkten sortiert ist, kann es auch nicht vorkommen, dass Behälteraufträge folgen, die in einem früheren Zeitfenster liegen. Der früheste Startzeitpunkt wird jeweils mit der aktuellen Zeitgrenze aktualisiert.



Soll die Batchbildung nach Anzahl erfolgen, wird je Behälterauftrag eine Variable BAZähler um eins erhöht und geprüft ob dieser größer als die zulässige Batchgröße ist. Ist dies nicht der Fall, kann der Behälterauftrag die aktuelle BatchId zugewiesen werden, im anderen Fall wird ein neues Batch begonnen und die Variable BAZähler auf 1 zurückgesetzt.

Ist die temporäre Liste der Behälteraufträge abgearbeitet wird bei noch vorhandenen weiteren Simulationsläufen mit dem nächsten fortgefahren.

### 5.2.9.3 Ergebnis

Nach Ausführung dieses Moduls ist jeder Behälterauftrag einem Batch zugewiesen.

### 5.2.10 Modul Serienbildung (fml)

Bei der Serienbildung wird eine bestimmte Anzahl an Behälteraufträgen zusammengefasst, die ein Kommissionierer gleichzeitig bearbeiten soll. Als Beispiel kann hier ein Kommissionierwagen angesehen werden, auf dem 6 Behälter Platz finden. Dementsprechend könnte der Kommissionierer bis zu 6 Behälter gleichzeitig bearbeiten. Die Zusammensetzung der Serie soll einen möglichst kleinen Weg zu den Bereitstelleneinheiten erfordern. Demnach würde die optimale Zusammensetzung einer Serie mit 6 Behältern genau einen Artikel mit der Stückzahl 6 oder mehr erfordern. Dies ist natürlich nur im seltensten Fall möglich, da zum einen die Optimierungsmöglichkeit von dem Zeitpunkt des Auftragseingangs abhängt und zum anderen eine große Breite des Artikelsortiments zu den unterschiedlichsten Aufträgen führt. Um dennoch eine möglichst gute Zusammensetzung solcher Serien zu erhalten, können diese nach verschiedenen Zielkriterien optimiert werden. Mögliche Zielkriterien sortiert nach ihrer möglichen Zeitersparnis sind

- Anzahl gleicher Artikel,
- Anzahl gleicher Spalten,
- Anzahl gleicher Gassen,
- Anzahl gleicher Zonen,
- Anzahl gleicher Bausteine.

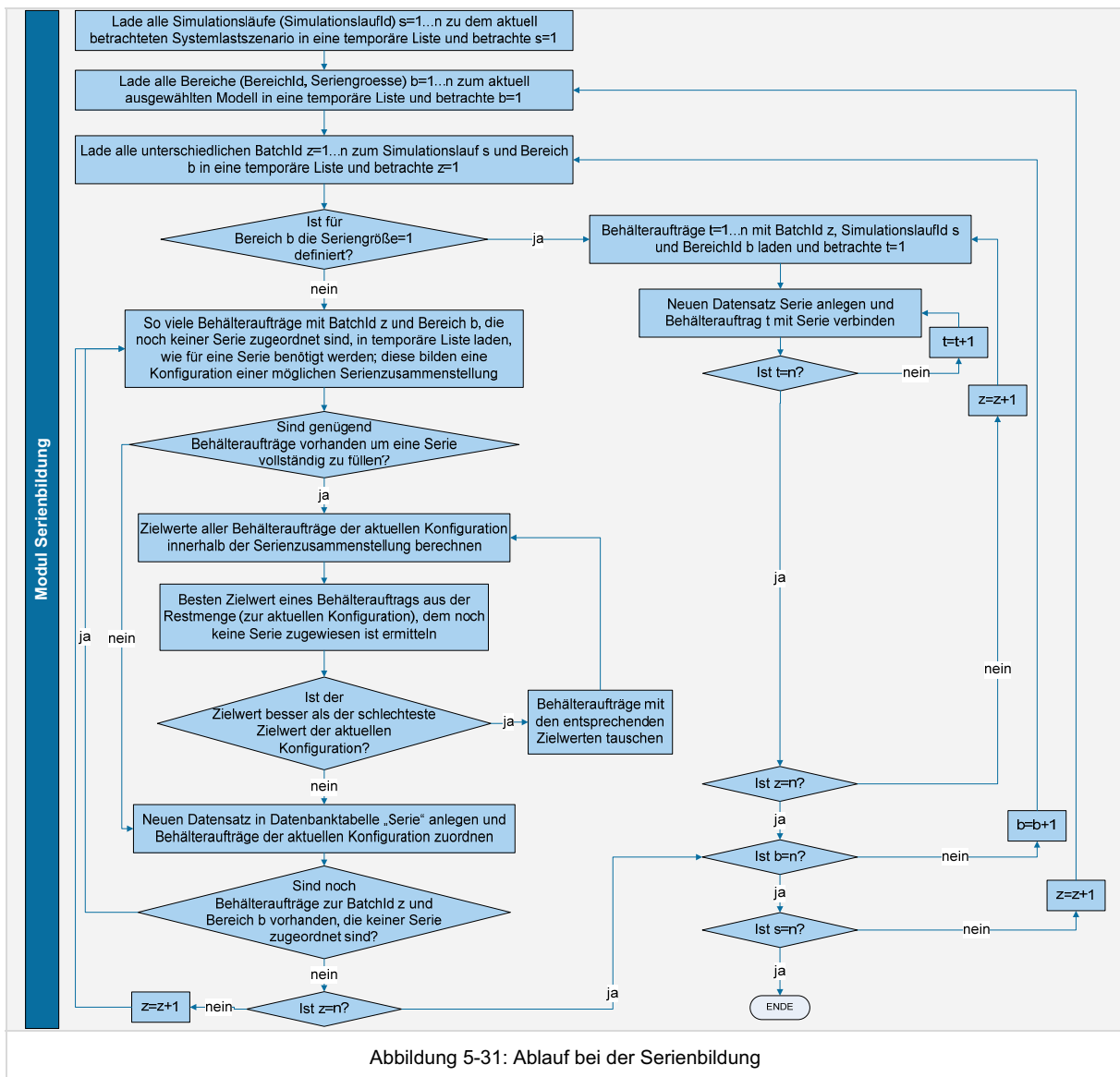
Für die Serienbildung wird nachfolgend ein Zielkriterienalgorithmus vorgestellt, welcher über die Optimierungsblöcke, die durch das Modul der Batchbildung festgelegt wurden, Serien zusammenstellt. D.h. eine Serie kann nur Behälteraufträge des gleichen Batches beinhalten.

#### 5.2.10.1 Eingangsdaten

Eingangsdaten dieses Moduls sind die Datensätze aus den Datenbanktabellen „Simulationslauf“, „Behälterauftrag“ und „Bereich“.

#### 5.2.10.2 Prozess

Der Prozess der Serienbildung orientiert sich an dem Ablaufdiagramm in Abbildung 5-31 und muss zunächst die Behälterauftragslisten nach Simulationsläufen, Bereichen und Batches, welche die Optimierungsblöcke bilden, trennen.



Dazu werden alle Simulationsläufe zu dem ausgewählten Systemlastszenario geladen und nacheinander betrachtet. Zu einem Simulationslauf werden die Bereiche zu dem ausgewählten Modell durchlaufen und für einen Bereich die verschiedenen BatchIds, welche ein Batch identifizieren, in eine temporäre Liste geladen. Somit können die Optimierungsblöcke nun der Reihe nach abgearbeitet werden, beginnend beim ersten.

Wird in dem entsprechenden Bereich die Seriengröße gleich eins gefordert, so wird für jeden Behälterauftrag genau eine Serie angelegt mit der dieser dann verknüpft wird.

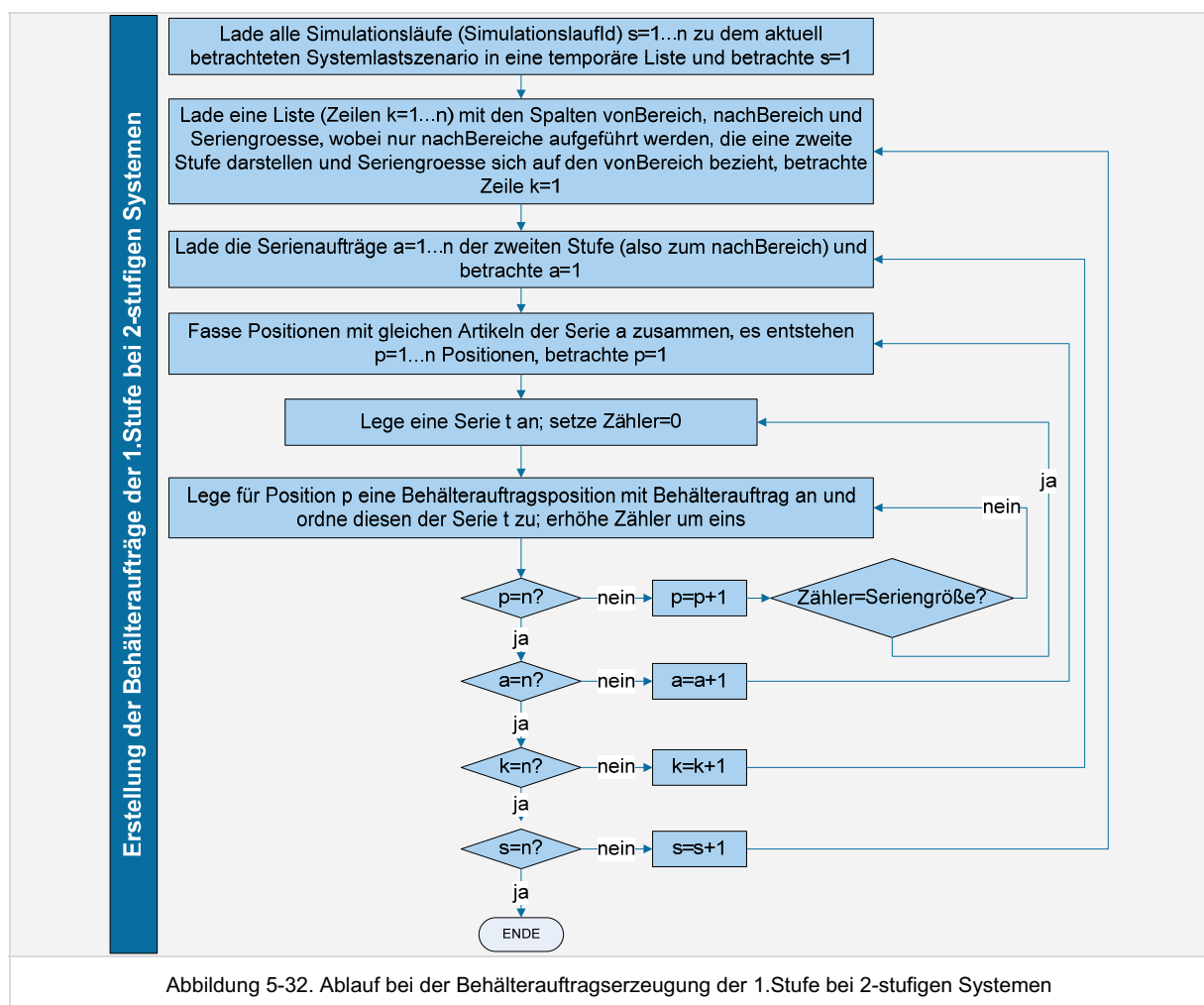
Bei echten Serien, als Seriengröße des Bereichs größer eins, wird zunächst eine Startkonfiguration für eine Serie gebildet. Diese besteht aus so vielen Behälteraufträgen, wie die Seriengröße groß ist. Es werden nur Behälteraufträge berücksichtigt, welcher noch keine Serie zugewiesen wurde. Werden weniger Behälteraufträge gefunden als in eine Serie passen, kann diese Serie direkt gespeichert werden. Dazu wird ein Datensatz in der Datenbanktabelle „Serie“ angelegt und die bestimmten Behälteraufträge entsprechend verknüpft.

Sind genügend Behälteraufträge im Optimierungsblock vorhanden um eine echte Optimierung vorzunehmen, werden für die Behälteraufträge der Startkonfiguration zunächst Zielwerte innerhalb der Serie berechnet. Diese prüft für den Fall des Zielkriteriums „Anzahl gleicher Artikel“ jede Position eines Behälterauftrages auf Übereinstimmung in den anderen Behälteraufträgen der aktuellen Serienkonfiguration. Wird für eine Behälterauftragsposition z.B. der Artikel 4711 benötigt und kommt dieser in zwei weiteren Behälterauftragspositionen der Serienkonfiguration vor, so erhält die Behälterauftragsposition den Zielwert zwei. Summiert man die Zielwerte der Positionen eines Behälterauftrages zusammen, so erhält man den Zielwert des Behälterauftrages. Da die Serienzusammenstellung dieser Startkonfiguration rein

zufällig erfolgt ist, wird nun in der Restmenge der Behälteraufträge des Optimierungsblocks geprüft, ob ein Behälterauftrag vorhanden ist, der einen besseren Zielwert vorzuweisen hat. Um dies zu prüfen müssen die Zielwerte aller in Frage kommender Behälteraufträge bezüglich der aktuellen Serienkonfiguration ermittelt werden. Da diese Berechnung einen hohen Zeitbedarf erfordert, wird diese Zielwertberechnung von der Datenbank über eine komplexe SQL-Abfrage übernommen. Dies hat auch den Vorteil, dass die Zielwertberechnung durch Austausch der SQL-Abfrage angepasst werden kann.

Wird ein Behälterauftrag gefunden, der einen besseren Zielwert vorweisen kann, als der Behälterauftrag mit dem schlechtesten Zielwert der aktuellen Serienzusammenstellung, so wird dieser ausgetauscht und die Zielwerte werden neu berechnet. Ist dies nicht der Fall, ist eine weitere Serie berechnet, welche in die Datenbank eingetragen werden kann und es wird geprüft ob weitere Behälteraufträge vorhanden sind, für die noch Serien gebildet werden müssen.

Im Anschluss an die Serienbildung werden bei einem zweistufigen Modell noch die Behälteraufträge der ersten Stufe erzeugt. Die Erzeugung orientiert sich an dem Ablaufdiagramm in Abbildung 5-32.



Dabei wird zunächst eine Tabelle erzeugt, welche die Materialflussbeziehungen zwischen erster und zweiter Stufe mit vonBereich und nachBereich beinhaltet. Zusätzlich wird die benötigte Seriengröße für die erste Stufe (vonBereich) mit ausgelesen. Anschließend werden die Serienaufträge der zweiten Stufe (nachBereich) geladen und die beinhalteten Behälterauftragspositionen mengenmäßig zusammengefasst. Die sich ergebenden Positionen sind die Behälterauftragspositionen der ersten Stufe und auf Grund der Vereinbarung, dass die Behälteraufträge der ersten Stufe artikelrein sind, auch gleichzeitig die Behälteraufträge. Diese werden dann direkt der Reihenfolge nach entsprechend der Seriengröße zu Serien zusammengefasst.

### 5.2.10.3 Ergebnis

Als Ergebnis des Moduls Serienbildung sind alle Behälteraufträge genau einer Serie zugewiesen. Die Serien sind in der Datenbanktabelle „Serie“ gespeichert und entsprechende Verknüpfungen zu den Behälteraufträgen sind aktualisiert. Auch bei Seriengröße gleich eins erhält jeder Behälterauftrag eine Serie, in diesem Fall ist der Arbeitsinhalt einer Serie gleich dem eines Behälterauftrags.

Darüber hinaus sind sämtliche bei zweistufigen Systemen benötigte Behälteraufträge für die erste Stufe inklusive der Serienbildung in den Datenbanktabellen „Serie“, „Behälterauftrag“ und „Behälterauftragsposition“ gespeichert.

### 5.2.11 Modul Reihenfolgebildung (fml)

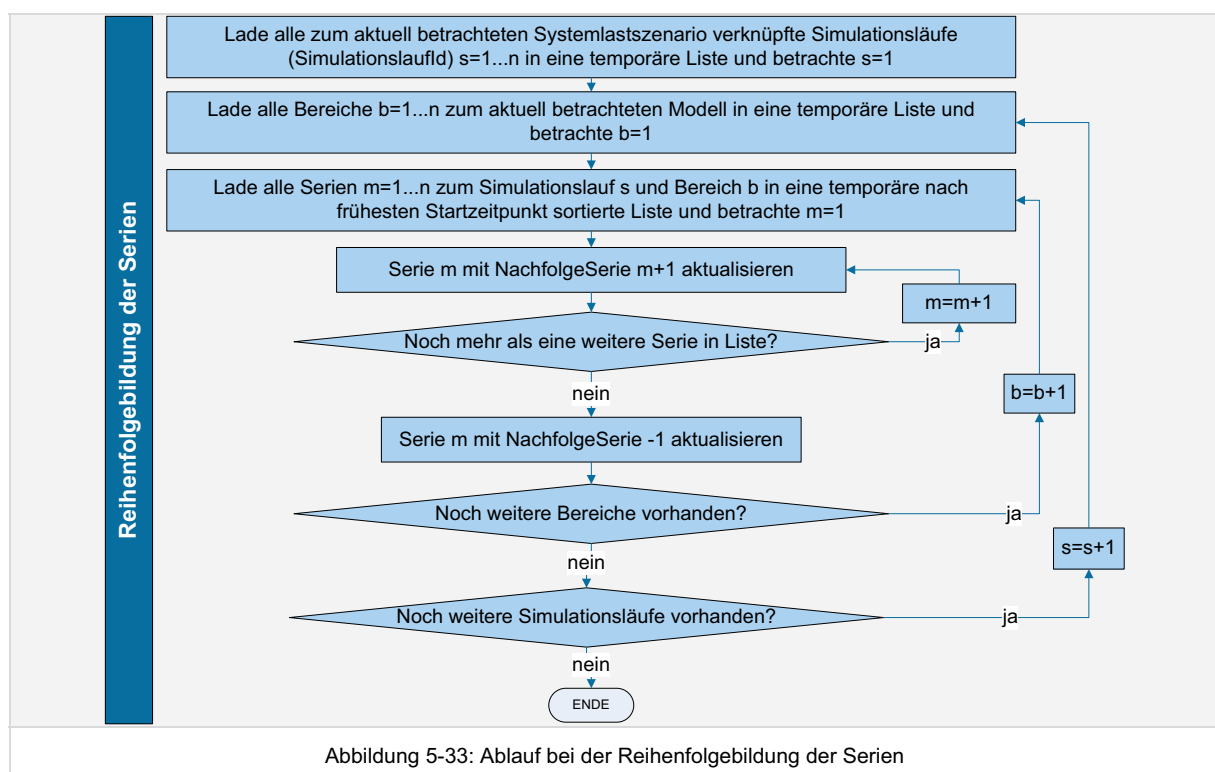
Dieses Modul wurde geschaffen um die gebildeten Serien in eine feste Reihenfolge zu bringen, wie diese eingesteuert werden sollen. Da bereits eine Gleichverteilung der Zugriffshäufigkeiten über die Zonen bei den Artikeln vorgenommen wurde, wird an dieser Stelle auf einen zeitaufwändigen Algorithmus verzichtet und die Serien lediglich durchnummeriert, so dass Simulationsläufe reproduzierbar sind. In diesem Modul wären zusätzliche Potentiale über Algorithmen wie beispielsweise einer Zielkriteriensuche die Gleichauslastung der einzelnen Zonen zu optimieren. Es sei jedoch angemerkt, dass eine solche Optimierung einen weiteren zusätzlichen Zeitbedarf erfordert und den Planungsablauf verlangsamt. Aus diesem Grund wurde auf eine weitere Optimierung verzichtet. Eine Alternative mit der am ehesten eine optimale Gleichauslastung erreicht werden würde, ist eine entsprechende Freigabesteuerung in der Laufzeit einer Simulation. Diese Steuerung könnte die Belastungen mit protokollieren und nach dem PULL-Prinzip die Aufträge ziehen, für die noch Bearbeitungskapazitäten vorhanden sind.

#### 5.2.11.1 Eingangsdaten

Für dieses Modul werden die Datensätze der Datenbanktabelle „Simulationslauf“, „Bereich“ und „Serie“ benötigt.

#### 5.2.11.2 Prozess

Der Prozess der Serienreihenfolgebildung wird von dem Ablaufdiagramm in Abbildung 5-33 bestimmt.



Zunächst werden alle Simulationsläufe, die mit dem aktuell betrachteten Systemlastszenario verknüpft sind in eine temporäre Liste geladen. Für einen Simulationslauf werden alle im Modell vorhandenen Bereiche in eine temporäre Liste geladen. Anschließend werden die Datensätze aus der Datenbanktabelle „Serie“ geladen, die dem aktuell betrachteten Simulationslauf und Bereich zugewiesen sind. Diese Liste wird nach frühestem Startzeitpunkt aufsteigend sortiert, der für jeden Behälterauftrag innerhalb der Serie der gleiche ist, weil diese nur innerhalb des Optimierungsblocks aus der Batchbildung vereint werden können. Die Liste wird top-down abgearbeitet und jeweils die aktuell betrachtete Serie mit der danach folgenden Serie reihenfolgeverknüpft. Bei der letzten Serie in der Liste wird die NachfolgeSerie auf -1 gesetzt um das Ende zu signalisieren.

### 5.2.11.3 Ergebnis

Das Ergebnis dieses Prozesses ist das gesetzte Attribut „NachfolgeSerie“ in der Datenbanktabelle „Serie“. Damit ist eine feste Reihenfolge, wie diese Serien in die Simulation eingesteuert werden sollen, vorgegeben.

## 5.2.12 Modul Bearbeitungsaufträge (fml)

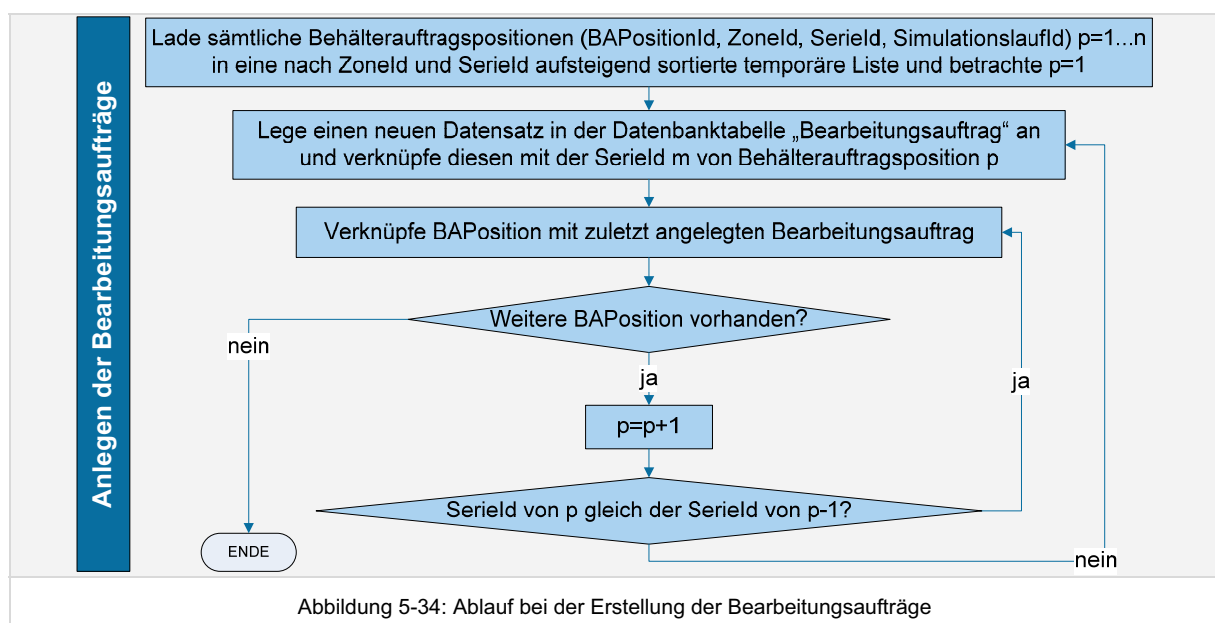
Das Modul Bearbeitungsaufträge stellt die vorhandenen Behälterauftragspositionen einer Serie genau so zusammen, dass Sie die Arbeit eines Kommissionierers innerhalb einer Zone beinhalten, die dieser bei Annahme eines Serienauftrages bis zur Abgabe erbringen muss. Prinzipiell werden in diesem Modul keine neuen Daten generiert, sondern lediglich die über mehrere Datenbanktabellen verteilten benötigten Daten zusammengefasst und an einem Ort, in der Datenbanktabelle „Bearbeitungsauftrag“ bereitgestellt. Die Daten werden redundant gespeichert, da durch die gewählte Umsetzung der Simulationsmodule sonst Probleme beim Rückspeichern der ermittelten Zeitaufwände entstanden wären.

### 5.2.12.1 Eingangsdaten

Als Eingangsdaten werden die Behälterauftragspositionen benötigt, die über eine SQL-Abfrage zusätzlich mit den verknüpften Attributen „Zoneld“, „Serield und „Simulationslaufld“ geladen werden.

### 5.2.12.2 Prozess

Der Prozess zur Erstellung der Bearbeitungsaufträge richtet sich nach dem Ablaufdiagramm in Abbildung 5-34.



Gestartet wird der Prozess mit einer komplexen SQL-Abfrage, die die benötigten Daten aus mehreren Datenbanktabellen zusammen- und als Liste bereitstellt. Da die Abfrage das Herzstück dieses Moduls darstellt, wird diese ausnahmsweise nachfolgend angeführt:

```
SELECT Y.BAPositionId, X.Zoneld, Y.Seriell, Y.Simulationslaufld
FROM
(
SELECT A.BAPositionId, AA.BereichId, AA.Seriell, D.Simulationslaufld, C.ArtikelVeraenderlichPeriodeld
FROM Behaelterauftrag AA, BAPosition A, BAPos_LAPos B, LAPosition C, Lieferauftrag D
WHERE AA.BehaelterauftragId=A.BehaelterauftragId
AND A.BAPositionId=B.BAPositionId
AND B.LAPositionId=C.LAPositionId
AND C.LAId=D.Lieferauftragld
) Y
INNER JOIN
(
SELECT J.BereichId, K.Zoneld, M.ArtikelVeraenderlichPeriodeld
FROM Bereich J, Baustein V, [Zone] K, Kommissionierlagerort L, Lagerspiegel M
WHERE J.BereichId=V.BereichId
AND V.BausteinId=K.BausteinId
AND K.Zoneld=L.Zoneld
AND L.KommissionierlagerortId=M.Kommissionierlagerortld
AND J.ModellId=1
) X
ON Y.ArtikelVeraenderlichPeriodeld=X.ArtikelVeraenderlichPeriodeld
ORDER BY X.Zoneld, Y.Seriell ASC;
```

Die mit dieser Abfrage erzeugte Liste ist nach Zone und Serie aufsteigend sortiert, d.h. immer wenn sich die Seriell ändert, muss ein neuer Bearbeitungsauftrag angelegt werden, mit dem entsprechenden Datensatz der Serie verknüpft werden und alle Behälterauftragspositionen als Bearbeitungspositionen zugeordnet bekommen bis sich die Seriell wieder ändert.

### 5.2.12.3 Ergebnis

Als Ergebnis dieses Arbeitsschritts ist die vollständig gefüllte Datenbanktabelle „Bearbeitungsauftrag“.

## 5.2.13 Modul Zusammenführungsaufträge (fml)

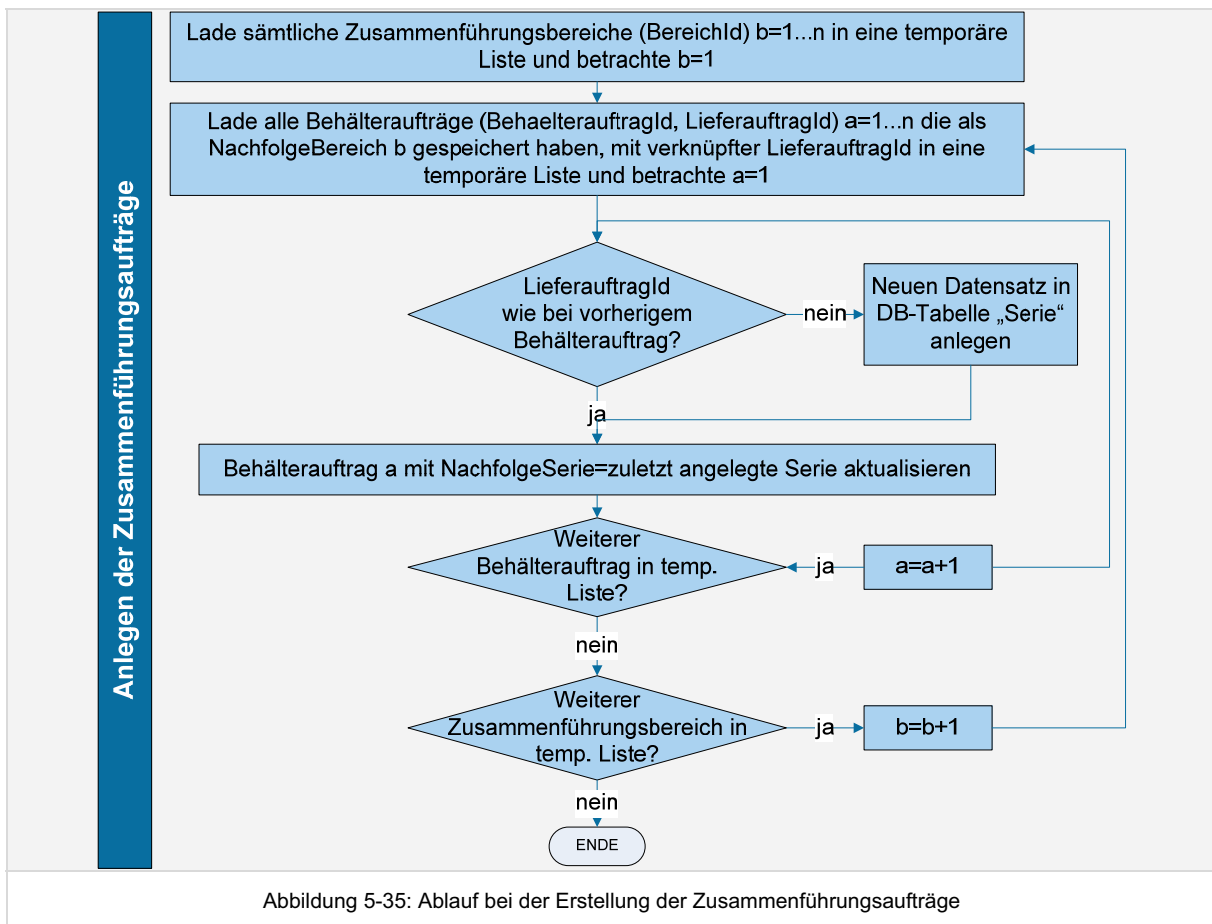
Die in diesem Modul zu erstellenden Zusammenführungsaufträge stellen im wesentlichen Sinne die Lieferaufträge dar, die zusätzlich mit den dafür benötigten Behälteraufträgen verknüpft sind und zum anderen Attribute enthalten, in denen die aus der Simulation zu ermittelnden Zeitwerte über Startzeitpunkt und Dauer der Konsolidierung abgespeichert werden können.

### 5.2.13.1 Eingangsdaten

Die Eingangsdaten für dieses Modul sind zum einen die Zusammenführungsbereiche aus der Datenbanktabelle „Bereich“ sowie eine über eine SQL-Abfrage gewonnene Tabelle mit den Attributen „BehaelterauftragId“, „LieferauftragId“ über die für die Zuordnung angelegten Datenbanktabellen „Lieferauftrag“, „LAPosition“, „BAPos\_LAPos“, „BAPosition“ und „Behaelterauftrag“.

### 5.2.13.2 Prozess

Der Prozess bei der Erstellung der Lieferaufträge richtet sich nach dem in Abbildung 5-35 angegebenen Ablauf.



Zunächst werden alle Zusammenführungsbereiche in eine temporäre Liste geladen um sie nacheinander zu durchlaufen. Für einen zu betrachtenden Bereich werden alle Lieferaufträge mit allen zugeordneten Behälteraufträgen (die Behälteraufträge, die als NachfolgeBereich auf den entsprechenden Zusammenführungsbereich verweisen) geladen, die auf Grund der Artikelgruppenzuweisung über diese Zusammenführung laufen müssen. Für jeden Lieferauftrag, der über den Zusammenführungsbereich läuft, wird ein Datensatz in der Datenbanktabelle „Serie“ angelegt, wengleich die Serie in diesem Zusammenhang eine andere Bedeutung erlangt. Die Serie steht hier für einen Zusammenführungsauftrag, auf den alle Behälteraufträge (mit entsprechendem NachfolgeBereich) des gleichen Lieferauftrages verweisen.

### 5.2.13.3 Ergebnis

Das Ergebnis sind gespeicherte Datensätze in der Datenbanktabelle „Serie“ auf die Behälteraufträge verweisen, aber selbst auf keinen Behälterauftrag verweisen. Diese werden als Zusammenführungsauftrag verwendet. Während der Simulation werden diese Datensätze dann um die entsprechenden Zeitverbräuche ergänzt.

### 5.2.14 Ergebnis der Datenvorbereitung (fml)

Das Ergebnis der Datenvorbereitungsphase sind lückenlose Datensätze, die sämtliche Informationen beinhalten, welche für die dynamischen Daten während der Simulation benötigt werden. Auf Grund dessen, dass diese Daten über SQL-Abfragen in beliebige Form gebracht werden können, kann jede Eingangstabelle damit spielend leicht gefüllt werden. Ein Beispiel ist in Abbildung 5-36 in Form einer Tabelle wiedergegeben.

FruehesterStartzeitpunkt	SerialId	BehaelterauftragId	NachfolgeBAId	NachfolgeBereichId	BausteinId	Zone	BAPositionId	Gasse	Spalte	Zeile	Menge
7:00:00	55	2325	-1	10	9	3	2866	1	2	2	1
7:00:00	55	2325	-1	10	9	4	2867	1	2	1	1
7:00:00	55	2227	-1	10	9	6	2686	1	1	2	1
7:00:00	55	2325	-1	10	9	8	2869	1	36	6	1
7:00:00	55	2227	-1	10	9	11	2685	1	1	7	2
7:00:00	55	2325	-1	10	9	16	2868	1	1	8	1
8:00:00	56	2322	-1	10	9	1	2860	1	17	6	1
8:00:00	56	2266	-1	10	9	3	2761	1	1	4	1
8:00:00	56	2322	-1	10	9	3	2859	1	1	4	1
8:00:00	56	2200	-1	10	9	6	2638	1	11	5	1
8:00:00	56	2266	-1	10	9	7	2762	1	1	1	1
8:00:00	56	2322	-1	10	9	7	2861	1	3	3	4
8:00:00	57	2182	-1	10	9	6	2606	1	1	1	1
8:00:00	57	2366	-1	10	9	6	2964	1	10	4	4
8:00:00	57	2312	-1	10	9	12	2841	1	14	5	1

Abbildung 5-36: Beispiel einer Behälterauftragsliste für einen Bereich

Da jede Id in der Datenbank eindeutig ist und genau auf einen Datensatz verweist, kann für jede Positionszeile in obiger Eingangstabelle über die BehaelterauftragId und BAPositionId direkt auf die entsprechenden Datensätze der Datenbanktabellen „Behaelterauftrag“ und „BAPosition“ zugegriffen werden. Somit können die in der Simulation ermittelten Zeitverbräuche ohne Umwege in der Datenbank gespeichert werden.



## 5.3 Simulationsphase (IML)

### 5.3.1 Modul Preprozessing

#### 5.3.1.1 Eingangsdaten

Für die Ermittlung der Kommissionierzeiten innerhalb des Preprozessings müssen Daten aus den folgenden Tabellen der Datenbank gelesen werden:

- Tabelle Modell
- Tabelle Bereich
- Tabelle Baustein
- Tabelle Zone
- Tabelle Kommissionierlagerort
- Tabelle Lagerspiegel
- Tabelle BAPos\_LAPos
- Tabelle LAPosition
- Tabelle BearbeitungsAuftrag
- Tabelle Serie
- Tabelle BAPosition
- Tabelle Behaelterauftrag

#### 5.3.1.2 Prozess

Im Modul Preprozessing werden alle Kommissionierzeiten berechnet, die von der Dynamik in der Simulation unabhängig sind. Bereits bekannt sind die einzelnen Bearbeitungsaufträge in der Tabelle „BearbeitungsAuftrag“ und die Reihenfolge der Abarbeitung innerhalb eines Auftrags die durch einfaches Sortieren nach Gasse, Spalte Zeile erstellt wird. Daher können bereits hier die Basiszeiten, die Greifzeiten sowie die Wegzeiten für einen ganzen Bearbeitungsauftrag ermittelt werden. Die einzigen Zeiten die noch von der Dynamik in der Simulation abhängig sind und damit hier nicht ermittelt werden können sind:

- Zonenwechselzeiten und Totzeiten, von denen die Anzahl der Ressourcen zusätzlich zu den oben ermittelten Zeiten, abhängig sind.
- Startzeiten im Bereich und die Startzeiten der einzelnen Aufträge, die von der Reihenfolge der Abarbeitung und von der Einsatzplanung der Ressourcen abhängig sind.

##### 5.3.1.2.1 Ermittlung der Basiszeiten

Basiszeiten sind die Vorbereitungszeiten und Abschlussarbeiten für eine Serie von Bearbeitungsaufträgen und für die Bearbeitungsaufträge. Das sind z.B. Zeiten für Karton aufstellen, Bearbeitungsauftrag greifen Auftrag kontrollieren oder Auftrag quittieren.

Die Basiszeiten einer Serie werden gleichmäßig den einzelnen Positionen der Aufträge in der Serie zugeordnet. Die Basiszeiten eines Kommissioniervorgangs werden gleichmäßig den einzelnen Positionen des Bearbeitungsauftrags zugeordnet.

##### 5.3.1.2.2 Ermittlung der Greifzeiten

Die Greifzeiten setzen sich aus den Zeiten für das Greifen einer Position und aus den Zeiten für die Ablage der Position zusammen. Dabei können maximal „AnzahlGreifen“ an Stück einer oder mehrerer Positionen gleichzeitig bearbeitet werden. Bis zur Menge „AnzahlSammeln“ können sogar verschiedene Positionen gesammelt werden. Wenn die Stückzahl einer Position größer als fünf Mal „AnzahlGreifen“ ist, wird die Position als Schüttgut betrachtet und die gesamte Greifzeit beträgt dann  $5 \cdot \text{AnzahlGreifen} \cdot (\text{Greifzeit} + \text{Ablagezeit})$ . Die so ermittelten Ablagezeiten werden genau den Positionen zugeordnet, die diese Ablage verursachen. Wenn also 6 Stück einer Position abgelegt werden muss und die Greifmenge 5 beträgt wird zweimal die Ablagezeit angerechnet. Bei den Greifzeiten ist es etwas komplizierter, wenn Serien mit mehreren gleichen Positionen zusammengestellt wurden. Hier wird die ge-

samte Greifzeit proportional zur Stückzahl der einzelnen Positionen auf die einzelnen Positionen verteilt.

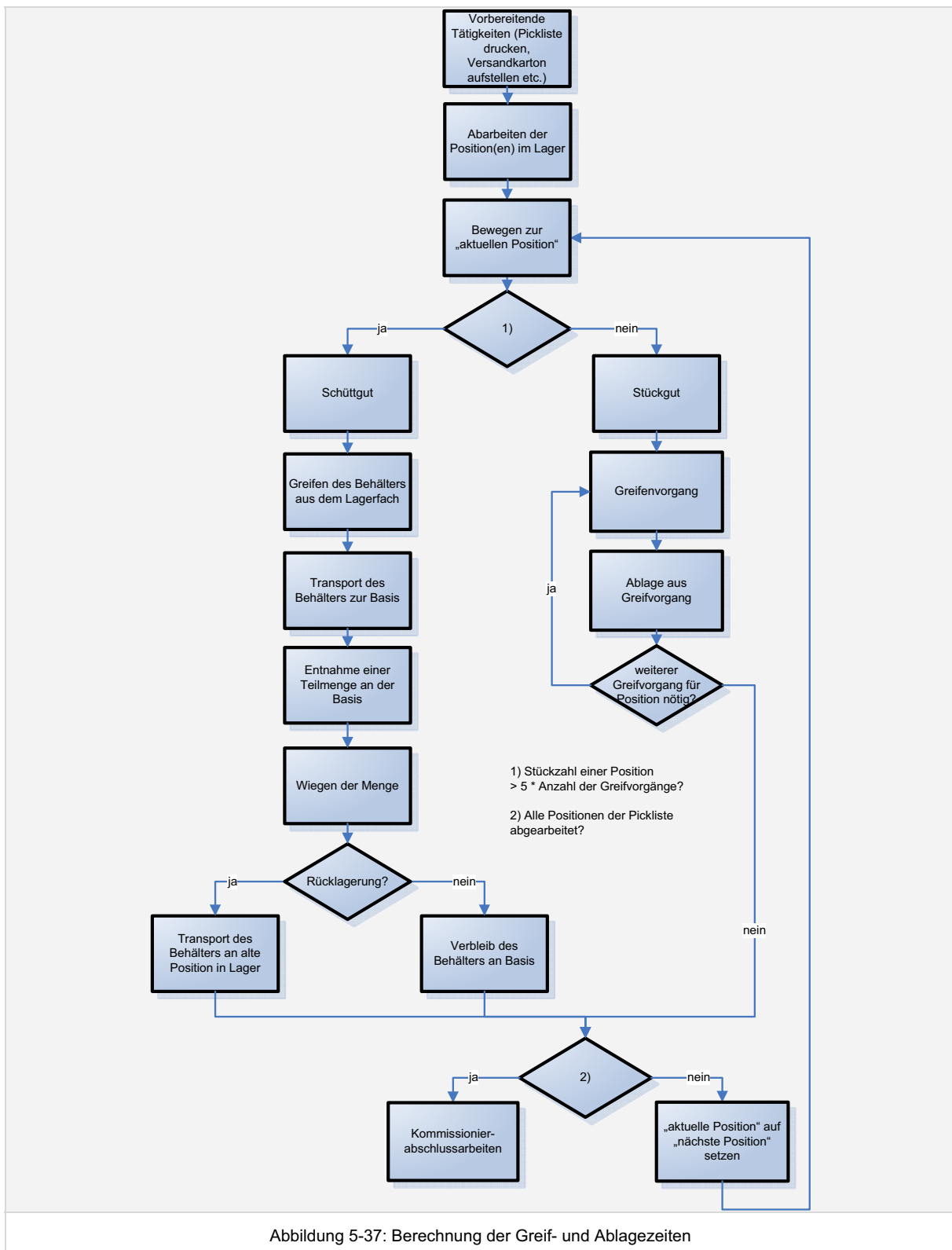


Abbildung 5-37: Berechnung der Greif- und Ablagezeiten

Die Vorgabezeiten die in den Templates der Bausteine Standardmäßig hinterlegt sind, wurden im Rahmen des Forschungsprojektes mittels des MTM-Verfahrens ermittelt bei dem der Prozess des Greifens und Ablegens unter Verwendung vorbestimmter Zeiten für die einzel-

nen menschlichen Bewegungsabläufe und Aktionen in seiner Dauer berechnet werden kann. Das MTM-Verfahren bezieht in die Berechnung der Zeiten detaillierte Informationen über Abstände, Abmessungen und Gewichte des zu handhabenden Gutes mit ein. Da diese Informationen in diesem Detaillierungsgrad im Template noch nicht bekannt sind wurden die Zeiten unter Verwendung eines Standard-Falles (mittlere Abstände, mittlere Gewichte, mittlere Abmessungen) berechnet.

Die folgende Abbildung zeigt die Grundlage für die Basisberechnung der Greif- und Ablagezeiten je Baustein-Template bestehend aus den Teilprozessen den zugehörigen TMUs (Time Measurement Units) und den daraus resultierenden Gesamt-Zeiten für einen Vorgang:

MTM-Betrachtungen					
<b>Greifzeit 1</b>					
Beginn: Kommissionierer steht vor Regalzeile					
Ende: Pick in der Hand halten					
	Code	TMU	Häufigkeit	Gesamt TMU	in Sek.
Pickliste Aufnehmen und Platzieren	AA2	35	0,5	17,5	0,63
Lesen was gepickt wird (Monitor oder Pickliste, max 6 Zeichen)	VA	15	2	30	1,08
Platzieren der Pickliste	PA2	20	0,5	10	0,36
Fach suchen: 2 mal lesen von max 6 Zeichen	VA	15	4	60	2,16
Aufnehmen (<=1 daN, ungefähr, Hand voll (Stapelgriff), Entf)	AH2	65	0,6	39	1,404
Aufnehmen (<=1 daN, ungefähr, Hand voll (Stapelgriff), Entf)	AH3	80	0,4	32	1,152
<b>Summe</b>				<b>188,5</b>	<b>6,786</b>
<b>Abgabezeit 1</b>					
Beginn: Kommissionierer hat Pick in der Hand					
Ende: Pick quittiert					
	Code	TMU	Häufigkeit	Gesamt TMU	in Sek.
Auswahlgriff und Ablegen	AD3	60	1	60	2,16
Kontrolle des Ablagefachs	VA	15	1	15	0,54
Quittieren an Terminal	BA2	25	0,5	12,5	0,45
Stift nehmen, ansetzen und Ablegen zum Quittieren	HB2	60	0,5	30	1,08
Quittierung schreiben	ZB1	10	1	10	0,36
				<b>127,5</b>	<b>4,59</b>
Bei Palette: Beugen und Aufrichten	KB	60	1	60	2,16
Bei Abgabe auf Förderband (kurze Entfernung)	AD2	45	1	45	1,62
Bei Automatisch: keine Zettel					
Bei 2ter Stufe: kein Fach suchen					

Abbildung 5-38: MTM-Basisberechnungen für die Greif- und Ablagezeiten

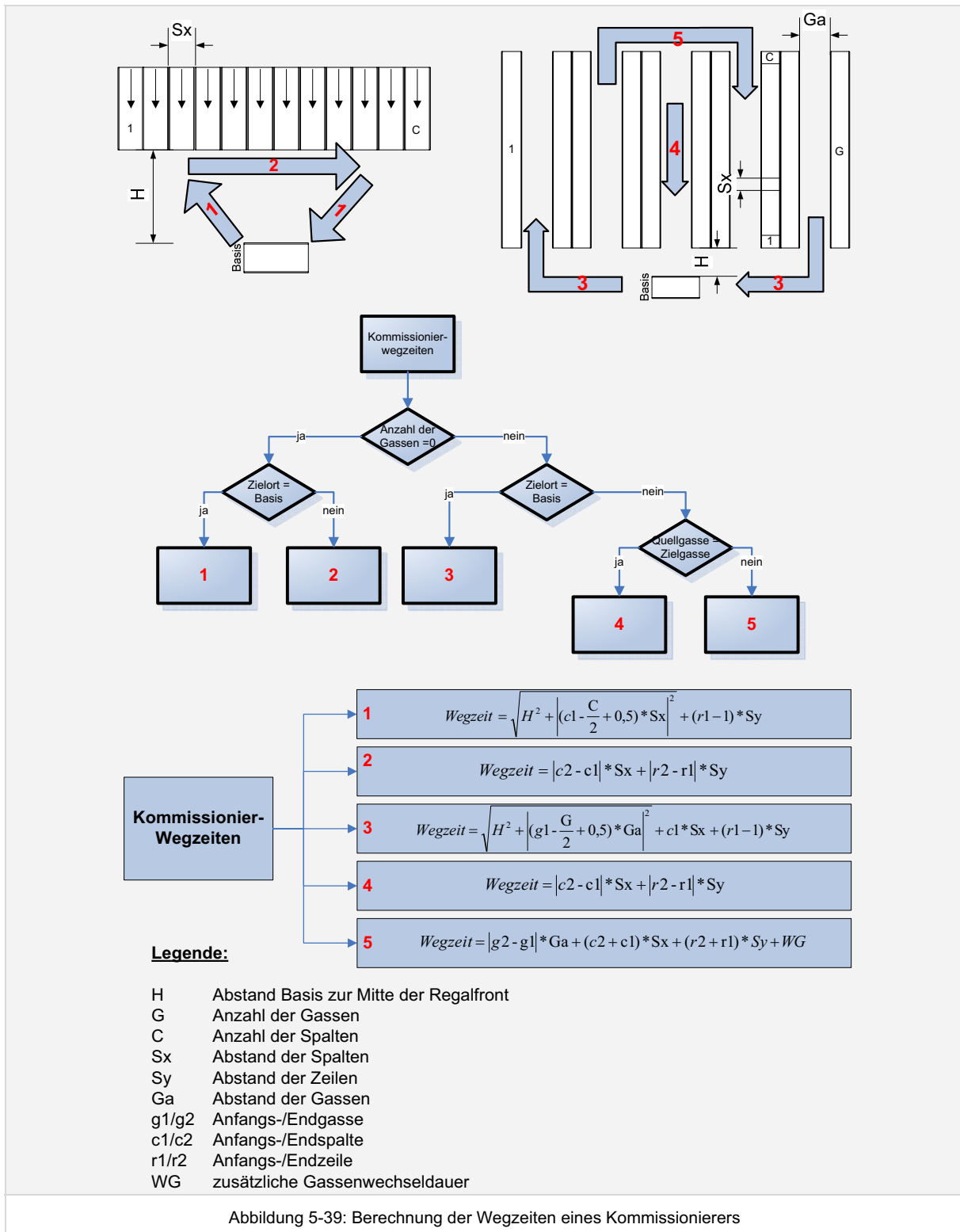
Auf diesen Berechnungen basieren die im Template hinterlegten Greif- und Ablagezeiten. Bei einigen Bausteinen wird beispielsweise für einen Greifvorgang jeder der in der Abbildung dargestellten Prozesse ausgeführt was zu einer Greifzeit von 6,786 Sekunden führt (Beispiel Typ1 „konventionelles Kommissionieren im Fachbodenregal“). Bei Anderen Bausteinen entfallen Technikbedingt einige Teilprozesse so dass die Greifzeit insgesamt kürzer wird wie z.B. bei einem Baustein Typ 3 „Bedienstation mit dynamischer Bereitstellung aus vorgeschalteten Lager“ bei dem die Greifzeit für einen Zugriff mit 4,41 Sekunden berechnet und hinterlegt wurde.

Für Standard-Fälle können die Greif- und Abgabezeiten entsprechend den im Template hinterlegten werten übernommen werden. Bei Besonderheiten im Kommissionierprozess müssen diese jedoch kritisch hinterfragt werden und ggf., mittels MTM-Verfahren individuell für den speziellen Greif- und Abgabeprozess in dem Baustein des Planungsprojekt ermittelt werden.

### 5.3.1.2.3 Ermittlung der Wegzeiten

Die Wegzeiten werden entsprechend der Länge des Weges die der Kommissionierer zurücklegt um die Positionen eines Bearbeitungsauftrags zu greifen auf alle Positionen des Auftrages gleichmäßig verteilt. Dabei gibt es zwei Fälle für die Wege des Kommissionierers:

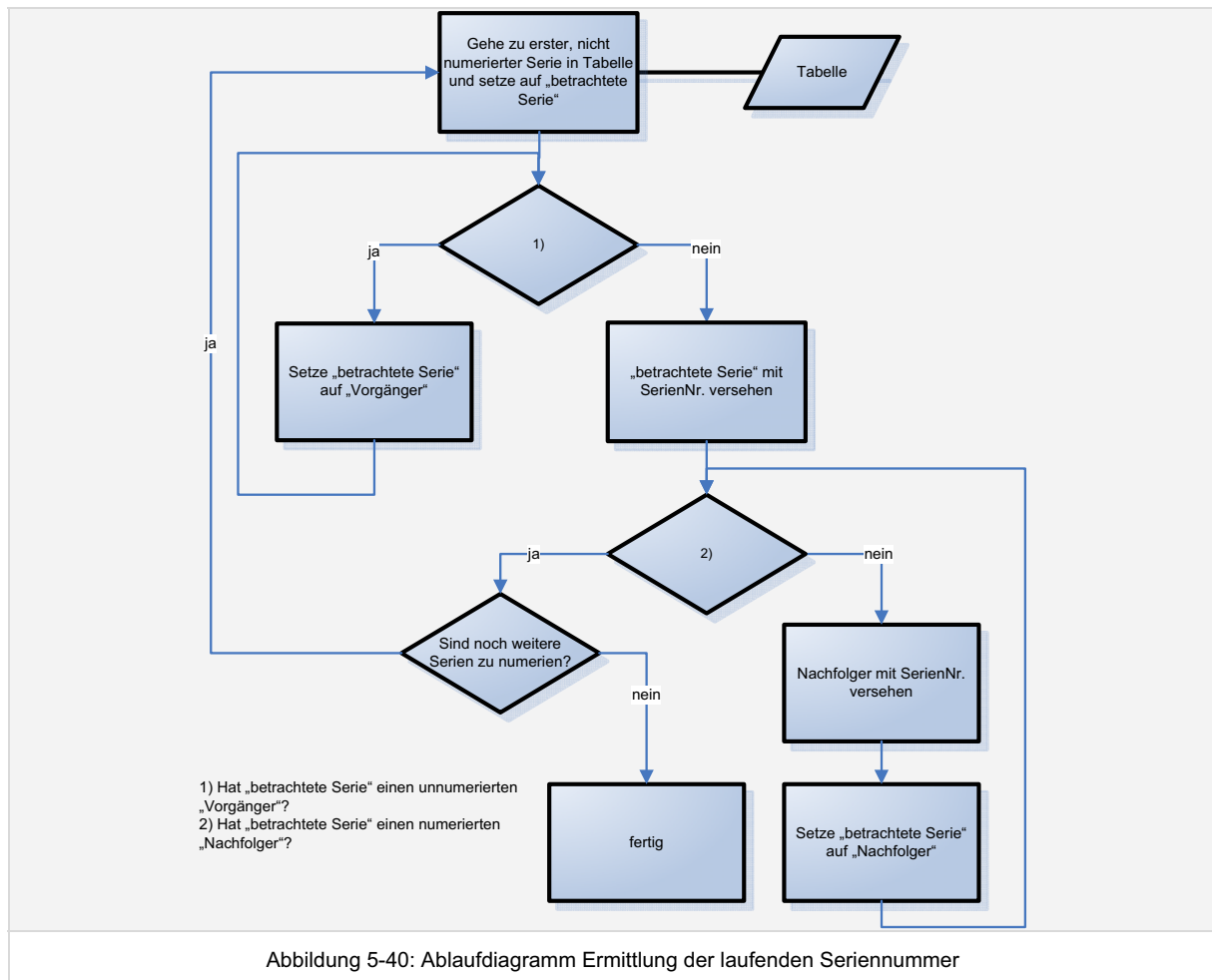
- Sammelgang an einer Kommissionierfront (Gassenanzahl = 0)
- Sammelgang in einem Lager mit mehreren Gassen



Der Kommissioniergang wird immer von der Basis aus nach aufsteigender Gassennummer, nach aufsteigender Spaltennummer und nach aufsteigender Zeilennummer und zurück zur Basis abgearbeitet. In manchen Fällen, insbesondere bei Schüttgut, wird ein Karton einer oder mehrere Positionen von der Basis ausgehend, aus dem Lager geholt. Dann wird an der Basis eine Teilmenge entnommen und abgewogen. Der Rest wird wieder zurück an die alte Position gebracht um von dort aus weitere Positionen abgeholt zu werden. Für diesen Fall gibt der Bausteinparameter „Rüchlagerung“ in Prozent an, wie häufig die Positionen zurückgebracht werden müssen.

#### 5.3.1.2.4 Ermittlung der laufenden Seriennummer

Für manche Bausteine der Simulation ist es notwendig, dass alle Serien eines Simulationslaufs in der richtigen Reihenfolge in einem Schritt abgerufen werden können. Der Aufwand wäre zu groß, wenn zunächst die Serie ohne Vorgänger als erste Serie ermittelt werden müsste, um dann jede einzelne Nachfolgeserie einzeln abzurufen. Daher wird an dieser Stelle die laufende SerienNr einer Serie ermittelt und in die Tabelle eingetragen. Dieses geschieht wie folgt:



Die erste nicht nummerierte Serie in der Tabelle wird ermittelt. Ausgehend von dieser Serie wird solange die Vorgängerserie der Serie gesucht, bis eine Serie gefunden wurde, die keinen Vorgänger mehr hat oder dessen Vorgänger bereits nummeriert ist. Ausgehend von dieser Serie werden diese Serie und alle Nachfolgeserien weiter durchnummeriert bis entweder keine Nachfolgeserie gefunden wird oder bis eine Serie gefunden wird, die bereits nummeriert ist. Im letzten Fall liegt ein Zyklus vor. Dieser Vorgang wird solange wiederholt bis keine Serie mehr vorhanden ist die keine SerienNr hat.

#### 5.3.1.2.5 Ermittlung des Bereichs und des Simulationslaufs

Die BereichID und die SimulationslaufID wird in der Simulation benötigt um die Serien für einen Bereich und für einen Simulationslauf abrufen zu können. Die BereichID kann während der Simulation nicht eindeutig aufgelöst werden, ist aber für die Ermittlung der Zeiten aufgrund des Lagerortes, des Nachfolgebereichs und des Bausteintyps bekannt, daher wird diese BereichID mit der SimulationslaufID in die Tabelle Serie eingetragen. Da alle Aufträge zuletzt in einer Zusammenführung bearbeitet werden müssen, ohne dass hierfür Behälter oder Aufträge vorgesehen sind, muss die letzte NachfolgerBereichID in einem Behälterauftrag eine Zusammenführung sein. Über diesen Umweg kann auch die BereichID einer Zusammenführung ermittelt werden.

### 5.3.1.3 Ergebnis

Als Ergebnis des Preprozessings werden in die Datenbank folgende Spalten geschrieben:

- Tabelle BAPosition: Basisdauer, Greifdauer und Wegdauer
- Tabelle Bearbeitungsauftrag: Dauer
- Tabelle Serie: SerienNr, BereichID und SimulationslaufID

## 5.3.2 Modul Ressourcendimensionierung

### 5.3.2.1 Eingangsdaten

Die Eingangsdaten dieses Moduls bestehen aus den im Preprocessing berechneten Arbeitszeiten in den Bereichen. Hierfür wird auf die folgenden Tabellen zugegriffen:

- Tabelle Serie
- Tabelle Bearbeitungsauftrag

### 5.3.2.2 Prozess

Durch die Berechnung der Nettoarbeitszeiten sind bereits alle Arbeitsaufwände in der Kommissionierung bekannt und können daher für die Planung des Ressourceneinsatzes verwendet werden. Aus den Tabellen „Serie“ und „Bearbeitungsauftrag“ können die Anzahl der Mitarbeiterstunden pro Simulationslauf und dort je Bereich und Zone berechnet werden, indem die Dauer für die einzelnen Kategorien summiert wird.

Zunächst werden die gewünschten Schichtmodelle mit eventuell eingeplanten Pausen in die Tabelle „Arbeitszeit“ eingetragen. Eine Ressource (Mitarbeiter) beginnt mit seiner Arbeit exakt zum Zeitpunkt „Arbeitszeit.Von“ und beendet die Arbeit zum Zeitpunkt „Bis“ indem er nach vollständigem Abschluss des letzten Arbeitspakets das System verlässt. Das bedeutet dass die Ressource ein Bearbeitungsauftrag komplett beendet bevor er das System verlässt. Daher kann die Einsatzzeit einer Ressource etwas größer sein als die Arbeitszeit „Bis“ – „Von“.

Eine Ressource kann entweder statisch einer Zone zugeordnet sein oder dynamisch zu mehreren Zonen zugeordnet sein. Daher wird in der Tabelle „Ressource\_Zone“ eine Verknüpfung zwischen den eingesetzten Ressourcen und den Zonen in denen diese Ressource arbeiten kann.

### 5.3.2.3 Ergebnis

Als Ergebnis der Ressourceneinsatzplanung werden in die Datenbank folgende Informationen geschrieben:

- Tabelle Arbeitszeit
- Tabelle Ressource
- Tabelle Arbeitszeit\_ Ressource
- Tabelle Ressource\_Zone

## 5.3.3 Simulationsmodul Ressourcenverwaltung

Das Modul stellt für alle Planungsbausteine die Ressourcen für alle Kommissionieraufgaben zur Verfügung und verwaltet die Ressourcen zwischen und in den Arbeitsplätzen.

### 5.3.3.1 Baustein Ressourcen Quelle

Die Ressourcenquelle erzeugt nach Bedarf neue Ressourcen und gibt sie am Baustein Ressourcen Initialisierung weiter.

### 5.3.3.2 Baustein Ressourcen Initialisierung

#### 5.3.3.2.1 Eingangsdaten

Die Eingangsdaten dieses Bausteins bestehen aus den in der Ressourcendimensionierung eingegebenen Werten. Hierfür wird auf die folgenden Tabellen zugegriffen:

- Tabelle Arbeitszeit
- Tabelle Ressource
- Tabelle Arbeitszeit\_ Ressource
- Tabelle Ressource\_Zone

Diese Werte werden mit der Abfrage „Sim\_Res“ zusammengefasst.

#### 5.3.3.2.2 Prozess

Der Baustein Ressourcen Initialisierung bildet die Schnittstelle zwischen der Datenbank und der Ressourceneinsatzverwaltung (Disposition).

Beim ersten Eintreffen einer Ressource, wird die Tabelle „Sim\_Res“ aus der Datenbank eingelesen, aufsteigend nach dem Arbeitsbeginn der einzelnen Ressourcen. Dieses geschieht für jeden Simulationslauf erneut. Diese Tabelle enthält alle Informationen, die während der Simulation benötigt werden um die Ressourcen verwalten zu können.

### 5.3.3.3 Baustein Ressource Disposition

Die Disposition verwaltet die Ressourcen, die zurzeit im Einsatz sind und disponiert sie auf die einzelnen Arbeitsplätze. Hierfür werden die folgenden Funktionen verwendet:

- Res\_Call(Zone, Obj) Meldet ein Objekt zur Bearbeitung an. Wenn eine Ressource frei ist, wird die sich am nächsten am Ort befindet dem Auftrag zugeordnet.
- Res\_Dist(Sto, Des) berechnet den Abstand zwischen Standort(Sto) und Destination(Des). Zwei nebeneinander liegende Zonen haben dabei einen Abstand von 1 und die gegenüber liegenden Zonen einen Abstand von 0.5.
- Res\_Free(Zone,Res) Meldet die Ressource(Res) als arbeitslos in der Zone.
- Res\_Next(Sto, Res) Eine Ressource(Res) am Standort(Sto) fragt nach einem neuen Auftrag. Dabei wird nach der folgenden Priorität gearbeitet:
  - Wenn ein Auftrag am Standort (gleiche Zone) vorhanden ist, wird der Auftrag vergeben, der sich als nächstes angemeldet hat und noch an keiner Ressource vergeben ist
  - Wenn kein Auftrag am Standort vorhanden ist, wird eine neue Zone gesucht unter Berücksichtigung der folgenden Prioritäten:
    - Auftragspriorität: der am längsten wartende hat die höchste Priorität
    - Anzahl unbearbeiteter Aufträge in der Zone
    - Anzahl unbearbeitete Aufträge im Baustein, die sich auf dem Weg zur Zone befinden
    - Anzahl unbearbeitete Aufträge im Baustein, die sich auf dem Weg zur Zone befinden und zu einem alten Batch gehören
    - Die oben genannten Werte werden zu „Prio“ addiert und wie folgt modifiziert:
      - „Prio“ wird durch die Anzahl der Ressourcen, die sich bereits in der Zone befinden, erhöht um 1, dividiert
      - Danach wird „Prio“ noch mit  $0.8^{\text{Res\_Dist}(\text{Sto}, \text{Zone})}$  multipliziert, so dass die Ressourcen nicht zwischen beliebig weit entfernten Zonen wechseln.
  - Der Auftrag mit der so ermittelten höchsten Priorität wird der Ressource zugeordnet.
  - Wenn aber auch in keiner anderen Zone ein Auftrag vorhanden ist, meldet sich die Ressource als arbeitslos in der Zone.
- Res\_Ok(Res,Zone) Vergleicht ob die Ressource(Res) in der Zone arbeiten darf.

- Res\_Out(Res) Meldet die Ressource(Res) ab. Das ist dann der Fall, wenn die vorgesehene Arbeitszeit nach der letzten Tätigkeit überschritten ist.

### 5.3.3.4 Baustein Ressourcen Senke

#### 5.3.3.4.1 Prozess

Die Senke nimmt alle Ressourcen auf, deren Arbeitszeit beendet ist. Wenn die letzte Ressource die Senke erreicht hat wird die Simulation beendet und wenn noch Simulationsläufe vorhanden sind, wird der nächste Simulationslauf automatisch gestartet.

#### 5.3.3.4.2 Ergebnis

Wenn eine Ressource das System verlässt, werden noch Informationen zu den Zonen Wechsel protokolliert. Wenn die letzte Ressource das System verlässt, werden noch zusätzliche Informationen in die Datenbanktabelle Simulationslauf geschrieben. Das sind neben SimulationsZeitEnde und EchtZeitEnde noch die PrognoseZeit, die das voraussichtliche Ende der Simulation protokolliert, sowie die Auslastung der Ressourcen während der Simulation:

- Tabelle Ressource: += AnzahlZonenWechsel, ZonenWechselZeit
- Tabelle SimulationsLauf: SimulationsZeitEnde, EchtZeitEnde, PrognoseZeit, Auslastung

### 5.3.3.5 Objekt Ressource

Die Eingangsdaten der Ressource werden beim Eintreffen in ResRead gesetzt und sind:

ResID RessourceID aus der Tabelle Ressource

Von Arbeitszeitanfang aus der Tabelle Arbeitszeit

Bis Arbeitszeitende aus der Tabelle Arbeitszeit

STO Aktuelle Standort der Ressource (Entspricht der internen Zonennummer und 0 für die Basis)

DES Standort des nächsten Auftrags

ZWA Anzahl Zonenwechsel

ZWZ Summe der Zonenwechselzeiten

OBJ Pointer auf das aktuelle (Transport-)Objekt das gerade in Arbeit ist oder als nächstes bearbeitet werden soll

ZOK Die Liste der Zonen in denen die Ressource arbeiten darf

Die Ressource arbeitet selbständig und erhält die Arbeitsinformationen von der Disposition und die Aufträge indirekt vom Arbeitsplatz, der diese bei der Disposition anmeldet. Fertige Aufträge werden dem Arbeitsplatz gemeldet und im Objekt eingetragen. Die Ressource befindet sich immer am Standort STO. Die Ressource kann sechs Zustände annehmen:

1. Zonenwechsel: Die Ressource befindet sich auf dem Weg von STO zu der Zone (DES) wo sich der nächste zu bearbeitende Auftrag befindet. Dieser Auftrag ist in diesem Fall von der Disposition dieser Ressource fest zugeordnet und kann daher nicht mehr von einer anderen Ressource bearbeitet werden.
2. Arbeitsvorbereitung: Jeder Bearbeitungsauftrag kann in mehreren Arbeitsschritten aufgeteilt werden. Z.B. Bearbeitung von mehreren Behältern in einem Auftrag oder mehrere Kommissioniergänge für einen Auftrag. Jeder dieser Arbeitsschritte besteht aus einer Arbeitsvorbereitung und der Bearbeitung. Zum Abschluss folgt dann noch die Nacharbeit. Beim ersten Arbeitsschritt wird die Arbeitszeit für die Bearbeitung des Bearbeitungsauftrags aus der Bearbeitungsliste, die vom Objekt mitgeführt wird gelesen.
3. Bearbeiten: Das Bearbeiten folgt immer nach der Arbeitsvorbereitung. Wenn noch weitere Arbeitsschritte folgen, geht dieser Zustand erneut über in die Arbeitsvorbereitung. Ansonsten folgt der Arbeitsschritt Nacharbeit.
4. Nacharbeit: Unter Nacharbeit werden die Tätigkeiten verstanden, die im Anschluss nach der Kommissionierung erfolgen und ohne Kommissionierbehälter erfolgen können. Solche Tätigkeiten sind: Quittierung des Auftrages oder Ablage der Auftragsan-



weisung. Dazu wird zunächst simulationstechnisch der Kommissionierbehälter freigegeben, wenn der Kommissionierbehälter fördertechnisch weitergeleitet wird, sonst hat der Kommissionierer den Kommissionierbehälter an einem definierten Ort (z.B. Versand oder Aufzug) abgegeben. Der letzte Fall wird dadurch abgebildet, dass der fertige Kommissionierbehälter auf dem vordersten Platz des Arbeitsplatzes einsortiert wird. Er überholt damit alle anderen Aufträge, die entweder noch bearbeitet werden oder noch auf Bearbeitung warten.

5. Freigabe: Mit dem Zustand Freigabe sind alle Arbeiten an dem Bearbeitungsauftrag durch die Ressource beendet. Wenn nun das Arbeitsende des Kommissionierers erreicht oder überschritten ist, verlässt der Kommissionierer den Arbeitsplatz und verlässt das Simulationsmodell direkt über die Senke. Anderenfalls fragt er bei der Disposition nach dem nächsten Bearbeitungsauftrag. Wenn noch ein Auftrag vorhanden ist, wird dieser mit oder ohne Zonenwechsel direkt begonnen. Ansonsten verbleibt die Ressource bis zu 15 Minuten in der aktuellen Zone um auf weitere Aufgaben hier zu warten.
6. Zurück zur Basis: Wenn eine Ressource mehr als 15 Minuten keine Aufträge erhalten hat geht sie zurück zur Basis und kann hier noch bis zum Arbeitsende der Ressource Aufgaben entgegen nehmen. Ein möglicher Zonenwechsel findet dann aber auf jeden Fall von der Basis aus statt. Wenn das Arbeitsende des Kommissionierers erreicht ist, verlässt der Kommissionierer das Simulationsmodell direkt über die Senke.

Die Ressource schreibt als Ergebnis die Anzahl der Zonenwechsel und die Summe der Zonenwechselzeiten in die Tabelle Ressource.

### 5.3.4 Modul Systemgenerierung

In dem Modul zur Generierung des Simulationsmodells werden die Bausteine beschrieben, die für alle Modellierungsbausteine benötigt werden und entsprechend für den reibungslosen Ablauf in der Simulation verantwortlich sind.

#### 5.3.4.1 Baustein Kommissioniersysteminitialisierung

Die Bausteine der Simulation zur Abbildung des Kommissioniersystems werden hauptsächlich durch eine Funktion, den Reset-Event im Baustein Picking, initialisiert und bzgl. ihrer Verhaltens und ihrer Funktionalität parametrisiert. Mit dem Reset-Event werden die Verbindungen der Kommissionierbausteine, also die Vorgänger- Nachfolgerbeziehungen im Simulationsmodell, festgelegt. Aufgrund der Modellierung werden folgende Initialisierungsoptionen unterschieden:

- Automatisches Transportsystem ohne Umlauf  
Hierbei müssen alle Serien alle Zonen, in denen sie bearbeitet werden müssen, nacheinander in aufsteigender Reihenfolge anfahren. Dabei können nur an den Zonen vorbeigefahren werden, in denen keine Bearbeitung stattfindet.
- Automatisches Transportsystem mit Umlauf  
Auch in diesem Fall werden die Zonen nacheinander angefahren. Nur hier können auch Zonen ausgelassen werden, die momentan zu stark belastet sind, denn durch den Rundlauf können alle Zonen auch später noch erreicht werden.

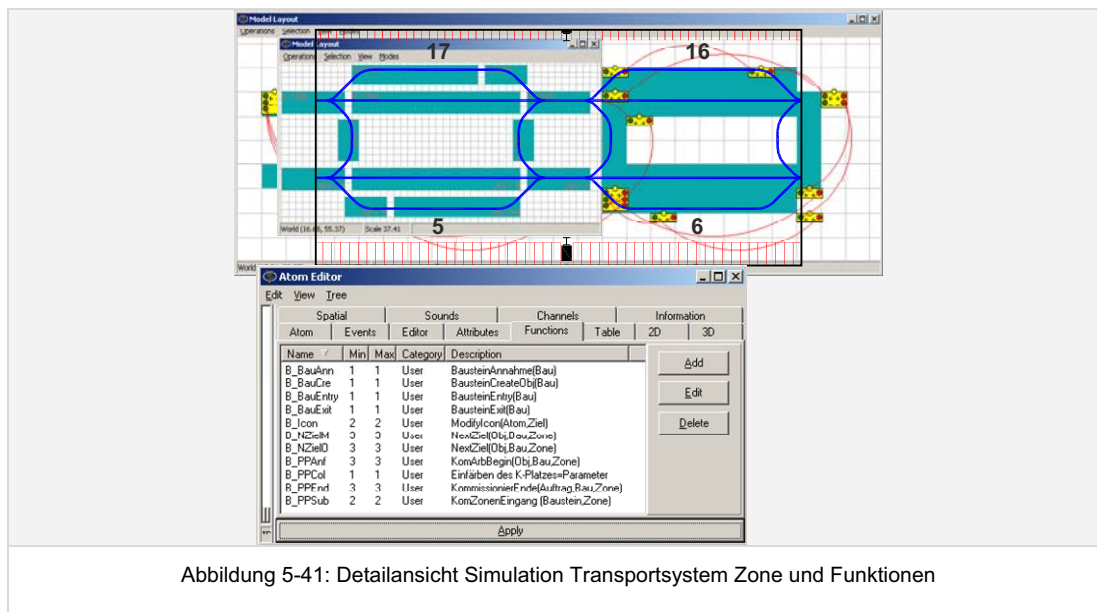


Abbildung 5-41: Detailsicht Simulation Transportsystem Zone und Funktionen

- Manuelle Kommissionierzone**  
 Mit diesem Kommissionierplatztyp werden alle Zonen abgebildet, in denen der Kommissionierer oder das Regalbediengerät die Kommissionieraufträge von einem definierten Punkt abholt und nach der Kommissionierung an einem definierten Punkt abgibt. Diese Punkte können Übergabepunkte wie automatischer Förderer oder Aufzug oder aber auch direkt als Abholpunkt das Auftragsbüro und als Abgabepunkt ein Versandstellplatz sein. Dieser Kommissionierplatztyp zeichnet sich dadurch aus, dass sich die Aufträge bei mehreren Kommissionierern überholen können. Dieses wird dadurch abgebildet, dass sich eine fertige Serie unmittelbar hinter den anderen fertigen Serien und vor der ersten nicht fertigen Serie platziert wird.
- Kommissionierzone für die Bereitstellung von Kommissionieraufträgen aus zweistufiger Kommissionierung**  
 Dieser Arbeitsplatztyp kommt nur in Kombination mit dem nächsten Arbeitsplatztyp, dem inversen Kommissionieren vor. Hier werden die Bereitstellbehälter aus der ersten Stufe nacheinander abgearbeitet und die Inhalte auf die Bereitstellbehälter auf dem Arbeitsplatz der inversen Kommissionierung verteilt.
- Inverse Kommissionierung**  
 Dieser Typ steht in Verbindung mit einem Bereitstellkommissionierarbeitsplatz. Hier werden die zu bearbeiteten Serien einzeln bereitgestellt und dann werden aus einer Zentrale die Bereitstellbehälter für diese Serie abgerufen. Sobald eine Serie fertig bearbeitet ist, wird sie freigegeben und eine neue Serie abgerufen. Da hier immer nur eine Serie bearbeitet werden kann, kann hier auch immer nur ein oder kein Kommissionierer arbeiten.

#### 5.3.4.2 Globale Verhaltensfunktionalität im Simulationsmodell

Die hier beschriebenen globalen Funktionen stehen grundsätzlich allen Simulationsbausteinen zur Verfügung. Über die Initialisierung werden dieser Funktionen einzelnen Bausteinen explizit zugeordnet und charakterisieren damit dessen Verhalten und Funktionalität bzgl. des Simulationsablaufs.

##### 5.3.4.2.1 Bausteinfreigabe

Regelt die Verteilung der Serien auf die einzelnen Bereiche und bewertet die Aufnahmebereitschaft und Möglichkeiten der einzelnen Bausteine der Simulation zwecks Deadlockvermeidung.

##### 5.3.4.2.2 Auftragszuordnung

Die Eingangsdaten dieses Bausteins werden in zwei Stufen eingelesen:

1. Serierdaten am Anfang jeder Simulation
  - Tabelle Serie und Bearbeitungsauftrag mit der Abfrage Sim\_Serie
  - Tabelle Zonen für Informationen über kleinste ZonenID und Anzahl Zonen
2. Für jeden neuen Kommissionierauftrag die Auftragsinformationen für alle Zonen
  - Tabelle Bearbeitungsauftrag

Der Prozess gliedert sich in folgende Schritte:

- Am Anfang jeder Simulation werden die Serien des Simulationslaufs eingelesen. Außerdem werden die Simulationszeit und die Echtzeit protokolliert.
- An jedem Bereichseingang werden der Kommissioniertransporteinheit die nächste Serie zugeordnet und die folgenden Informationen dem Objekt zugeordnet:
  - Serie laufende Seriennummer im Simulationslauf
  - SerID Die SerienID der Serie
  - Batch Die Batchnummer der Serie
  - FSZ Der früheste Startzeitpunkt der Serie
  - AnzBh Die Anzahl der Behälter, die zur Serie gehören
- Beim Eingang eines Bausteins wird dem Objekt noch das „Ziel“ zugeordnet. Das Ziel besteht aus einer Bitverschlüsselung aller Zonen im Baustein, die angefahren werden müssen.

Als Ausgabe werden durch diese Funktion beim Einlesen der Serien am Anfang jeder Simulation die Information Simulationsstartzeit und die aktuelle Zeit geschrieben:

- Tabelle Simulationslauf: Echtzeitstart und Simulationszeitstart

#### 5.3.4.2.3 Bausteinannahme

Diese Funktion wird immer am Ausgang der Quelle eines Bausteins aufgerufen. Mit ihr werden die Zustandsvariablen des Bausteins aktualisiert:

- AnfAnz zählt für jede Zone die Anzahl der Objekte, die zur Zone unterwegs sind
- AnfOld zählt für jede Zone die Anzahl der Objekte, die zur Zone unterwegs sind und zu einem älteren Batch gehören. Diese Objekte werden bevorzugt bearbeitet
- Anfarten Zählt die Anzahl der Zonen, die das Objekt noch anfahren muss
- Inhalt Zählt die Anzahl der Objekte in einen Baustein
- UmBerBereichseintrittszeit zur Berechnung der Umlaufzeit im Bereich
- UmBau Bausteineintrittszeit zur Berechnung der Umlaufzeit im Baustein

#### 5.3.4.2.4 Bausteinausgang

Diese Funktion wird immer am Ausgang des Bausteins aufgerufen. Mit ihr werden die Zustandsvariablen des Bausteins aktualisiert. Das sind hier neben dem Inhalt im Baustein die Umlaufzeiten, die für statistische Zwecke aktualisiert werden. Für UmBer gilt das natürlich nur, wenn es sich um den letzten Baustein eines Bereichs handelt.

Als Ausgabe wird durch diese Funktion die Aufenthaltsdauer der Serie im Bereich protokolliert.

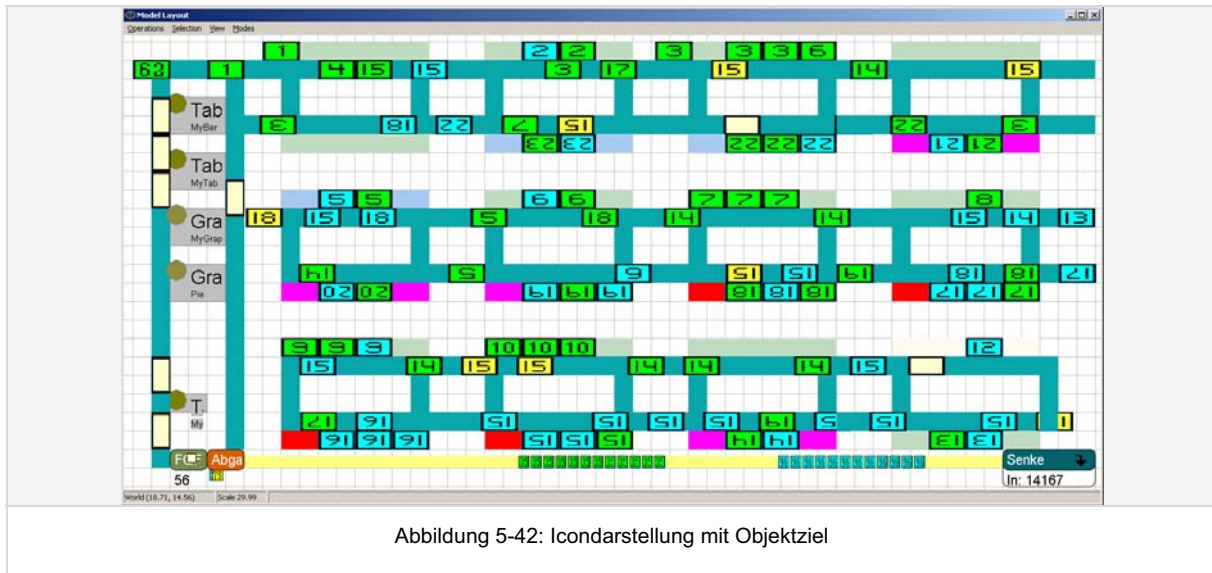
- Tabelle Serie: Dauer

#### 5.3.4.2.5 Objektzustand

Mit der Funktion B\_Icon wird das Icon des Kommissionierbehälters modifiziert. Dabei sind die folgenden Darstellungsarten möglich:

- 0. Das Icon wird nicht verändert, es behält die Darstellung, die es am Eingang eines Bereiches erhalten hat. Das ist je nach Bereich entweder die Seriennummer oder die Behälternummer. Es werden immer nur die letzten beiden Ziffern dargestellt und sofern sinnvoll, werden die hunderter und zweihunderter farbig unterschieden.
- 1. Das Icon erhält die letzten beiden Ziffern der Seriennummer.
- 2. Das Icon erhält die letzten beiden Ziffern des Ziels des Objekts modulo 512. Diese Darstellungsform ist nur sinnvoll wenn maximal bis zu 9 Ziele angefahren werden.

- 3. Das Icon zeigt die Anzahl der Anfahrten des Objekts.
- 4. Das Icon zeigt das nächste Ziel des Objektes, das auf geraden Weg angefahren wird. (Siehe Bild) In diesem Fall wird das Icon nicht nur nach einer Kommissionierung und am Eingang eines Bausteins, sondern auch bei einer Vorbeifahrt an einer überbelasteten Zone modifiziert, da auch in diesem Fall das nächste Ziel des Objektes wechseln kann.

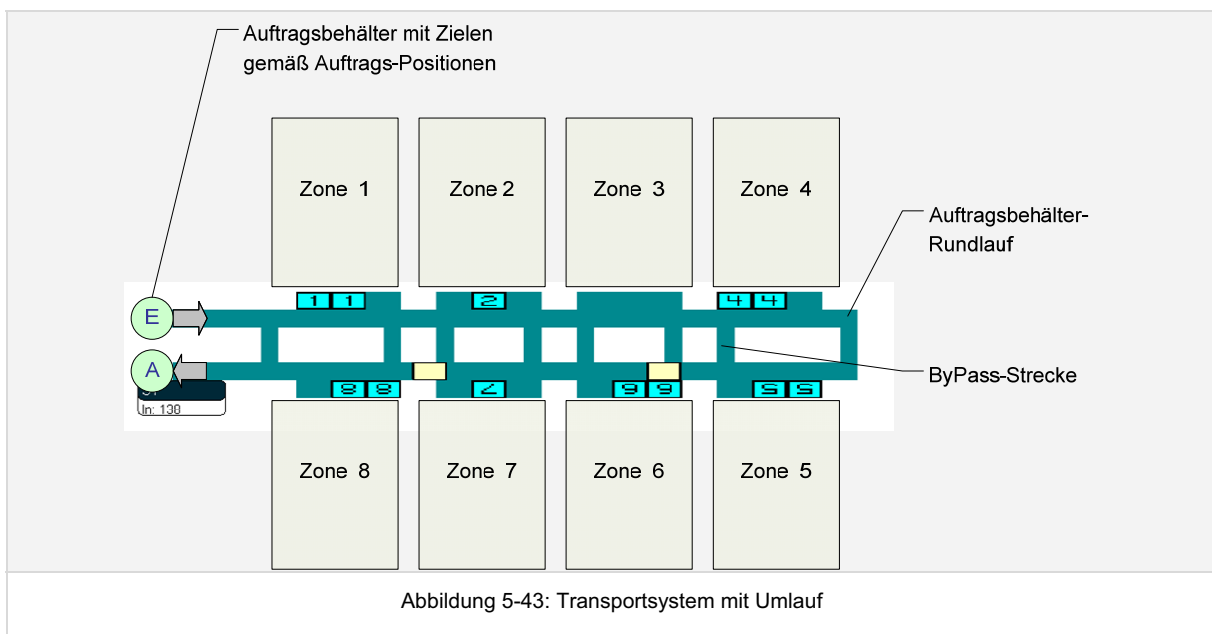


Die gewünschte Darstellungsform kann mit dem Parameter View in der Tabelle MyBer angepasst werden.

#### 5.3.4.2.6 Zielsteuerung für Systeme mit Umlauf

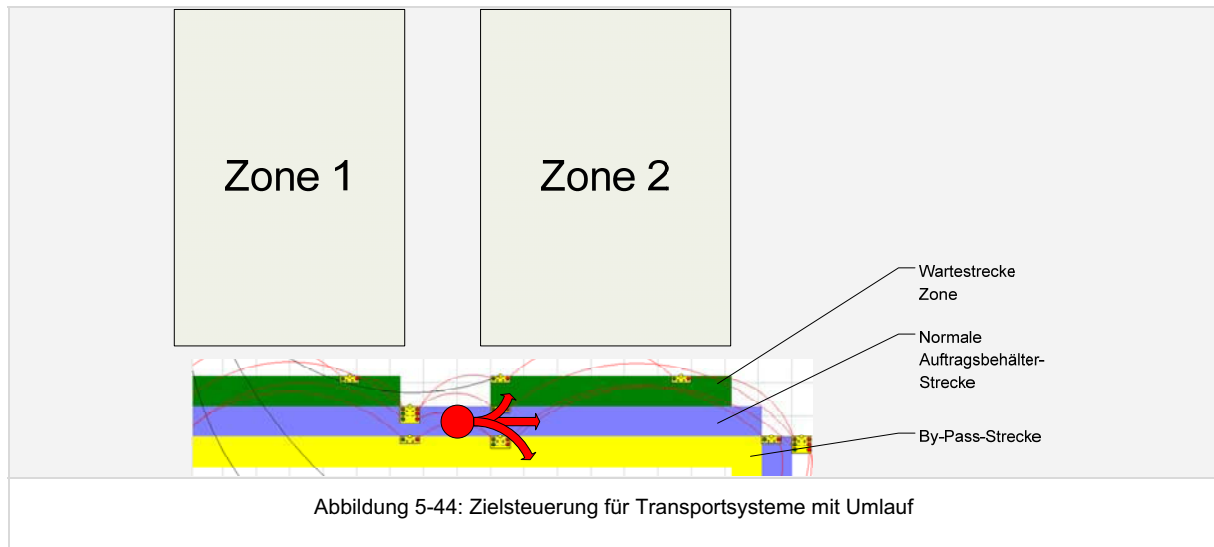
Mit der Funktion B\_ZielM wird der Kommissionierbehälter zu den einzelnen Zonen eines Bausteins gesteuert.

Hier hat der Kommissionierbehälter/Serie die Möglichkeit überlastete oder nicht verfügbare Zonen zunächst auszulassen und in einem Rundlauf zu einem späteren Zeitpunkt erneut anzufahren. Für den Rundlauf sind sog. ByPass-Strecken vorgesehen, bei denen die Kommissionierbehälter den Weg zur nächsten Zone abkürzen können um nicht den gesamten Rundlauf durchlaufen zu müssen. Diese Form entspricht z.B. der Abbildung von Zone-Picking-Systemen mit hinterlagertem fördertechnischem Kommissionierbehälterkreislauf.



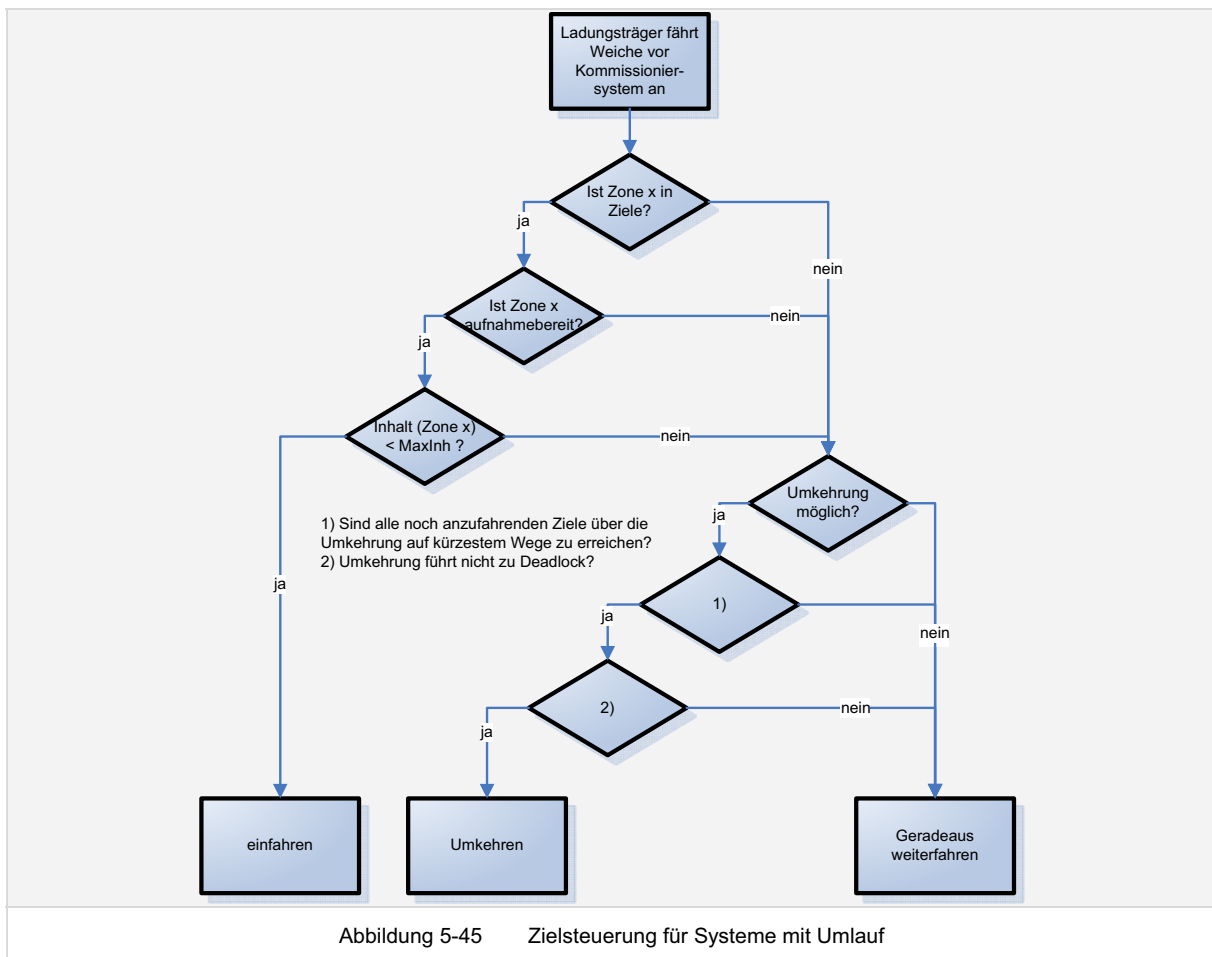
Für die Beschreibung der Ablauflogik dient folgender Pseudo-Code:

- Entscheidungslogik an einer Weiche (roter Punkt) vor einer Kommissionierzone mit Transport im Umlauf mit Umkehrmöglichkeiten:



Wenn	Zone x In Ziele UND Zone x ist Aufnahmebereit UND Inhalt(Zone x) < MaxInh	Dann einfahren, sonst Dann geradeaus, sonst
Wenn	keine Umkehrung möglich	
Wenn	Alle noch anzufahrenden Ziele über die Umkehrung auf kürzerem Weg erreichbar sind UND die Umkehrung nicht zum Deadlock führt	Dann umkehren, sonst Geradeaus fahren

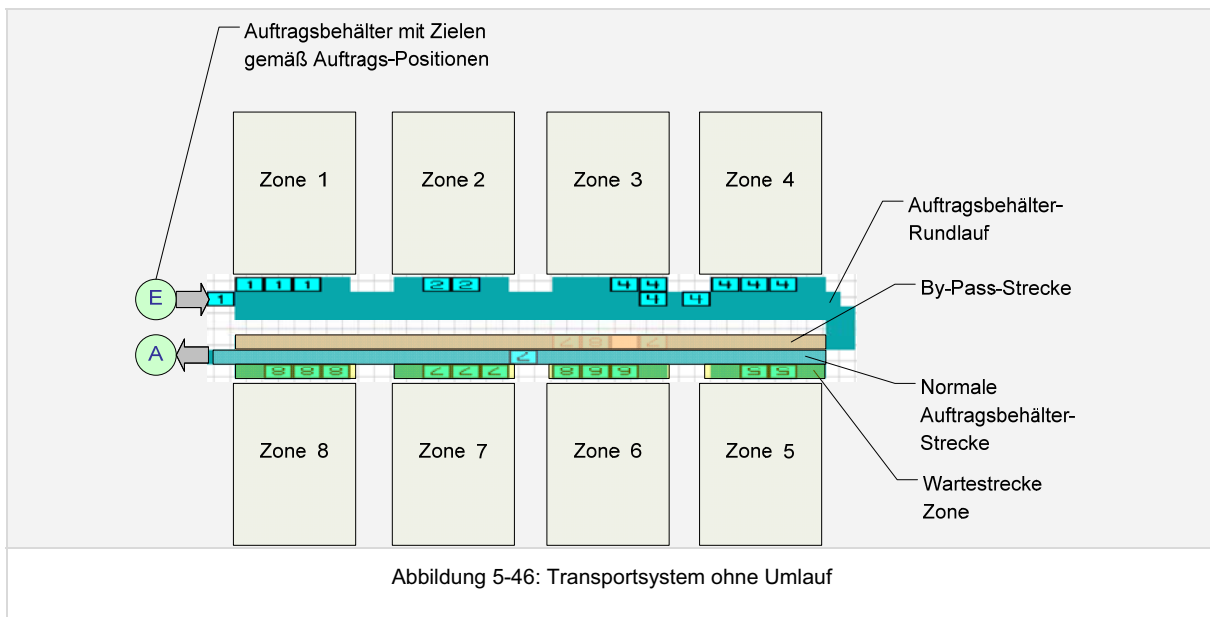
Dabei ist *MaxInh* zunächst ein Parameter des Bausteins, dessen Wert sich aber um eins vermindert, wenn sich noch Kommissionierbehälter eines alten Batches auf dem Weg zur Zone befinden und wenn der Kommissionierbehälter, der einzufahren wünscht zu einem neuen Batch gehört.



#### 5.3.4.2.7 Zielsteuerung für Systeme ohne Umlauf

Mit der Funktion B\_ZielO wird der Kommissionierbehälter zu den einzelnen Zonen eines Bausteins gesteuert. Dafür muss die Kommissionierbehälter/Serie jede anzusteuernde Zone nacheinander anlaufen. Ein Überholen oder auslassen und späteres Anfahren ist nicht möglich. Das kann dazu führen, dass eine Stausituation innerhalb des Bausteins entsteht, da Zone 1 überlastet ist. Dies entspricht z.B. oft der Realität in manuell bedienten Fachbodenregal-Lagern in denen die Kommissionierbehälter von einer Zone zur nächsten weitergeben werden.

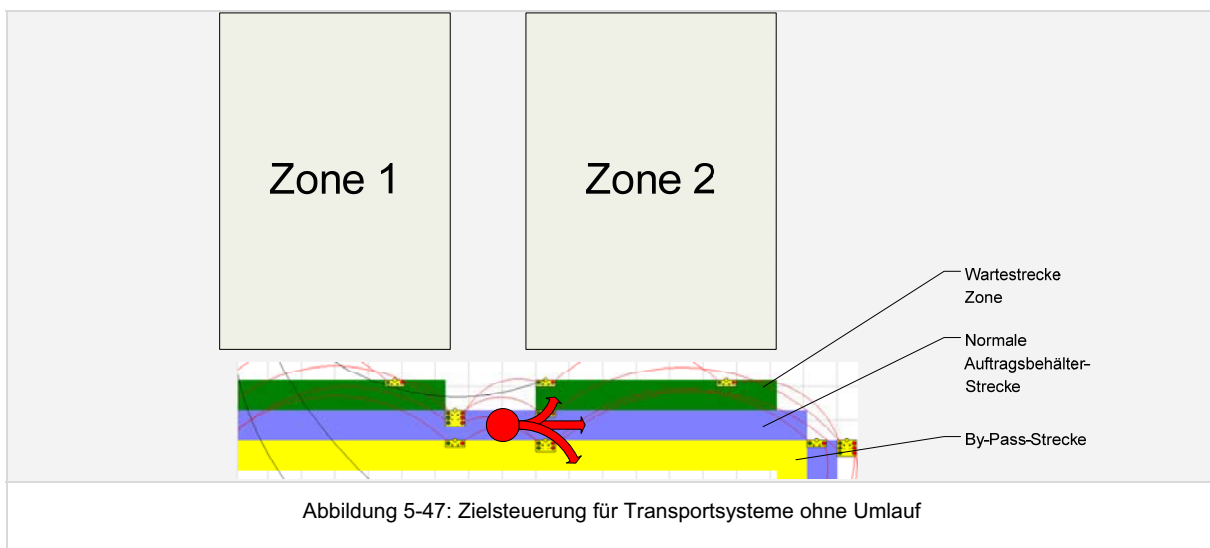
Bei einem Kommissionierbehälterdurchlauf ohne Rundlauf mit zusätzlicher Bypass-Strecke gibt es darüber hinaus noch eine weitere parallele Strecke auf der die Kommissionierbehälter/Serien vorbeifahren können.



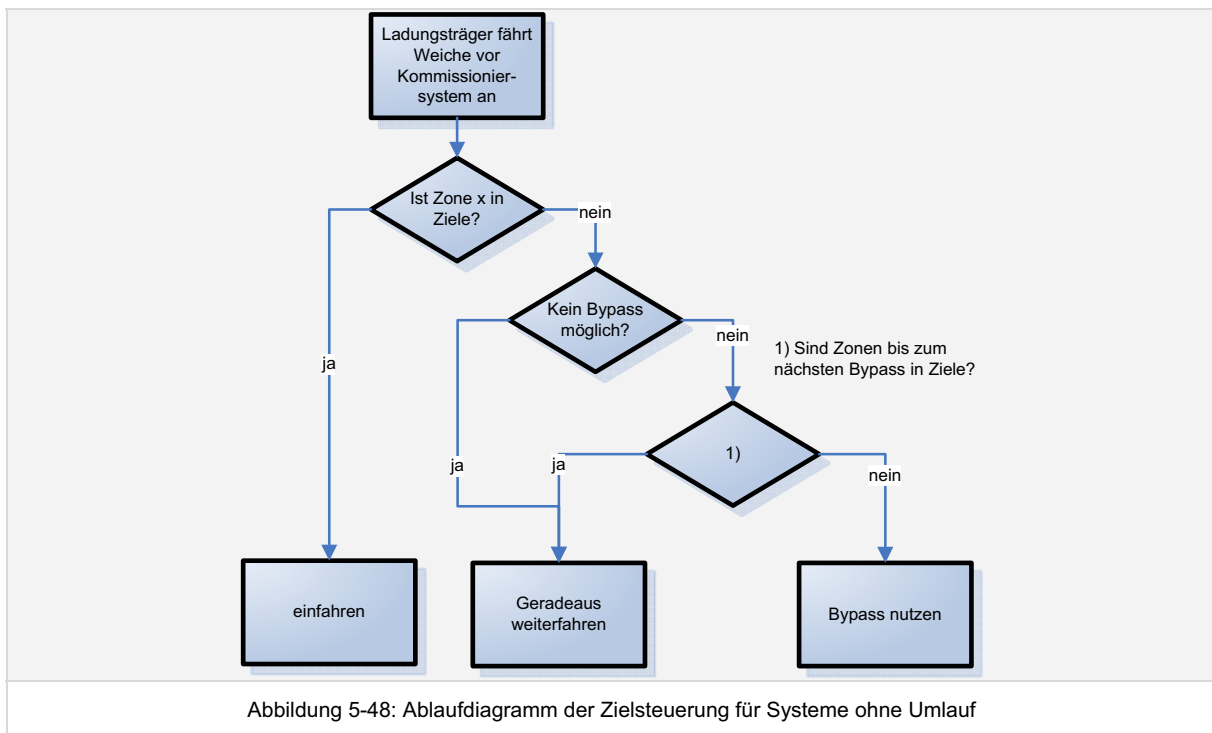
Diese Variante bringt leistungstechnisch keinen signifikanten Vorteil gegenüber der Variante ohne zusätzliche ByPass-Strecke, da sich die Rückstaus sehr schnell auch auf die parallele Strecke ausweiten.

Für die Beschreibung der Ablauflogik dient folgender Pseudo-Code:

- Entscheidungslogik an einer Weiche (roter Punkt) vor einer Kommissionierzone mit Transport ohne Umlauf:



Wenn Zone x In Ziele	Dann einfahren, sonst
Wenn kein Bypass möglich	Dann geradeaus, sonst
Wenn Zonen bis zum nächsten Bypass In Ziele	Dann geradeaus, sonst
	Bypass benutzen



#### 5.3.4.2.8 Kommissionierungsbeginn

Die Funktion B\_PPAnf wird bei jedem Beginn eines Kommissionierauftrags aufgerufen. Mit dieser Funktion wird die Kommissionierzeit ermittelt und die Startzeit der Kommissionierung wird mit DB\_UD\_KAuf an die Datenbank übermittelt.

#### 5.3.4.2.9 Bausteinzustand

Mit der Funktion B\_PPCol wird der Zustand des Kommissionierarbeitsplatzes farbig dargestellt. Aufgerufen wird diese Funktion beim Eintritt eines neuen Kommissionierauftrags im Baustein B\_BauEntry und beim Eintritt des Auftrages im Kommissionierarbeitsplatz B\_PPSub. Das heißt als Zustand wird die Menge an Aufträgen für eine Zone im Verhältnis zur durchschnittlichen Menge an Aufträgen zu allen Zonen dargestellt und nicht die Anzahl der Aufträge in einer Zone. Damit kann erkannt werden für welche Zone besonders viele Aufträge unterwegs sind.

- Verhältnis > 2.0: Die Zone wird rot eingefärbt
- Verhältnis > 1.5: Die Zone wird violett eingefärbt
- Verhältnis > 0.5: Die Zone wird blau eingefärbt
- Verhältnis > 0.0: Die Zone wird grün eingefärbt
- Verhältnis = 0.0: Die Zone wird creme eingefärbt. Das heißt, dass für diese Zone keine Aufträge mehr unterwegs sind, also nur noch die Aufträge, die sich in der Zone befinden, bearbeitet werden müssen.

Ein Kommissionierauftrag der zu einer Zone unterwegs ist muss sich nicht unbedingt im Umlauf befinden, sondern kann sich auch in einer weiteren Zone aufhalten und dort auf Bearbeitung warten oder gerade bearbeitet werden.

#### 5.3.4.2.10 Kommissionierungsende

Die Funktion B\_PPEnd wird mit jedem Ende einer Bearbeitung eines Kommissionierauftrags aufgerufen. Mit dieser Funktion wird die Bearbeitung quittiert und einige Variablen, wie das nächste Ziel und die Anzahl der Anfahrten werden angepasst. Entsprechend wird B\_Icon aufgerufen.

#### 5.3.4.2.11 Kommissionierplatzeingang

Diese Funktion wird immer am Eingang einer Kommissionierzone aufgerufen. Mit ihr werden die Zustandsvariablen des Bausteins aktualisiert:

- AnfAnz Anzahl der Objekte, die zur Zone unterwegs sind



- AnfOld Anzahl der Objekte, die zu einem älteren Batch gehören  
Diese Funktion meldet den Kommissionierauftrag bei der Ressourcendisposition mit Res\_Call an.

### 5.3.4.3 Globale Schnittstellenfunktionalität im Simulationsmodell

Die hier beschriebenen Funktionen stehen wiederum grundsätzlich allen Simulationsbausteinen zur Verfügung. Hierbei handelt es sich um Schnittstellen zur Kommunikation mit der Datenbank, beispielsweise für das Einlesen von Parametern oder das Abspeichern von Simulationsergebnissen.

#### 5.3.4.3.1 Funktion Datenbankreset

Diese Funktion wird immer am Anfang des ersten Simulationslaufs aufgerufen. Mit ihr wird die Anzahl der Simulationsläufe ermittelt und auf Wunsch werden alte Simulationsergebnisse in der Datenbank gelöscht. Folgende Tabellen und Werte werden dafür verwendet:

- Tabelle Serie SZP\_Bereich=NULL, Dauer\_Bereich=NULL
- Tabelle Ressource AnzahlZonenwechsel=0, Zonenwechselzeit=0
- Tabelle Bearbeitungsauftrag SZP\_Zone=NULL, RessourcenID=NULL

#### 5.3.4.3.2 Funktion Datenbankupdate Bearbeitungsauftrag

Diese Funktion wird immer am Anfang der Bearbeitung eines Kommissionierauftrages aufgerufen. Mit ihr werden der Startzeitpunkt und die RessourcenID in die Datenbank eingetragen:

- Tabelle Bearbeitungsauftrag: SZP\_Zone, RessourcenID

#### 5.3.4.3.3 Funktion Datenbankupdate Ressource

Diese Funktion wird immer nach dem Verlassen einer Ressource aus der Disposition aufgerufen. Mit ihr werden die summierten Zonenwechsel und Zonenwechselzeiten in der Datenbank zu den bisherigen Werten addiert:

- Tabelle Ressource: Anzahlzonenwechsel, Zonenwechselzeit

#### 5.3.4.3.4 Funktion Datenbankupdate Bereichseingang

Diese Funktion wird am Ausgang der Quelle eines Bereichs aufgerufen um den Eintrittszeitpunkt der Serie im Bereich in die Datenbank zu protokollieren:

- Tabelle Serie: SZP\_Bereich

#### 5.3.4.3.5 Funktion Datenbankupdate Bereichsausgang

Diese Funktion wird beim Verlassen der Serie aus einem Bereich aufgerufen um die Aufenthaltsdauer im Bereich in die Datenbank zu protokollieren:

- Tabelle Serie: Dauer\_Bereich

## 5.3.5 Modul Kommissionierung

Das Modul Kommissionierung bildet alle Bereiche der ersten Stufe und der Zukommissionierung ab. Je nach Bausteintyp werden ein oder mehrere der folgenden Bausteine verwendet.

### 5.3.5.1 Bereichsquelle

Hier werden alle Kommissionieraufträge/Serien, die in keinem Vorgängerbereich bearbeitet werden müssen, eingeschleust.

### 5.3.5.2 Bypass

Der Bypass ermöglicht das Vorbeifahren an einer Zone, in der die Serie nicht bearbeitet werden muss (automatischer Kommissionierbehältertransport) oder das Vorbeifahren an einer überbelasteten Zone (automatischer Kommissionierbehältertransport mit Umlauf).

### 5.3.5.3 Ausgang

Für automatische Kommissionierbehältertransportsysteme ist nach jedem Kommissionierplatz noch ein Ausgangsplatz vorgesehen um das Einschleusen im Hauptkreislauf zu ermöglichen, ohne dass der Kommissionierplatz blockiert wird.

### 5.3.5.4 Umlauf

Für automatische Kommissionierbehältertransportsysteme mit Umlauf ist nach jedem Kommissionierplatz physikalisch eine Umkehrmöglichkeit vorgesehen. Ob diese Umkehrmöglichkeit genutzt werden kann, hängt ab von:

- Es ist logisch eine Umkehrmöglichkeit vorgesehen (Bausteinparameter KB\_AbkuerzungsAbstandInZonen) und
- Die Umkehrung ist frei und
- Der Abstand zum letzten Objekt an dieser Umkehrung beträgt mehr als 5 Sekunden.

Die letzten beiden Punkte vermeiden mögliche Deadlock-Situationen, die ansonsten häufig vorkommen.

### 5.3.5.5 Verzweigung

Eine Verzweigung ist ein normales fördertechnisches Element mit bis zu drei Eingängen und bis zu drei Ausgängen. Sie kommt nur in automatischen Transportsystemen vor. Dabei verbindet immer der Eingang 1 und der Ausgang 1 den Hauptkreislauf also die Bypass-Bausteine. Der Eingang 2 und der Ausgang 2 verbindet die Vorgängerzone mit der aktuellen Zone. Der Ausgang 3 wird bei Bedarf mit der nachfolgenden Umkehrung verbunden, während der Eingang 3 mit der Vorgängerumkehrung verbunden wird. Die Steuerung der Objekte erfolgt mit Hilfe der unter 5.3.4.2.6 und 5.3.4.2.7 beschriebenen Funktionen.

### 5.3.5.6 Arbeitsplatz

Der Arbeitsplatz ist ebenfalls ein fördertechnisches Element. Die Länge des Bausteins repräsentiert den Arbeitsvorrat für den Kommissionierer. Bei automatischen Transportsystemen ist dieser Baustein gleichzeitig ein Transportelement an dessen Ende dennoch mehrere Kommissionierer arbeiten können aber maximal ein Kommissionierer an einem Objekt. Bei manuellen Kommissioniersystemen dient dieses Element nur der Bevorratung von Kommissionieraufträgen mit oder ohne Kommissionierbehälter. Die Steuerung der Objekte erfolgt mit Hilfe der unter 5.3.3.5 und 5.3.4.1 beschriebenen Funktionen.

## 5.3.6 Modul Zusatzfunktionalität für dynamische Bereitstellung

Die Zusatzfunktionalität für einen Bereich mit dynamischer Bereitstellung regelt die Abläufe der dynamischen Zuführung von Bereitstellereinheiten in einem Kommissioniersystem. Hierbei wird sowohl eine zweiten Kommissionierstufe, mit der dynamischen Zuführung aus einer oder mehreren ersten Stufen, sowie die eigentliche dynamische Bereitstellung aus einem automatisierten Materialflusssystem, z. B. durch den Abruf und die Anlieferung aus einem Hochregallager, verstanden.

### 5.3.6.1 Eingangsdaten

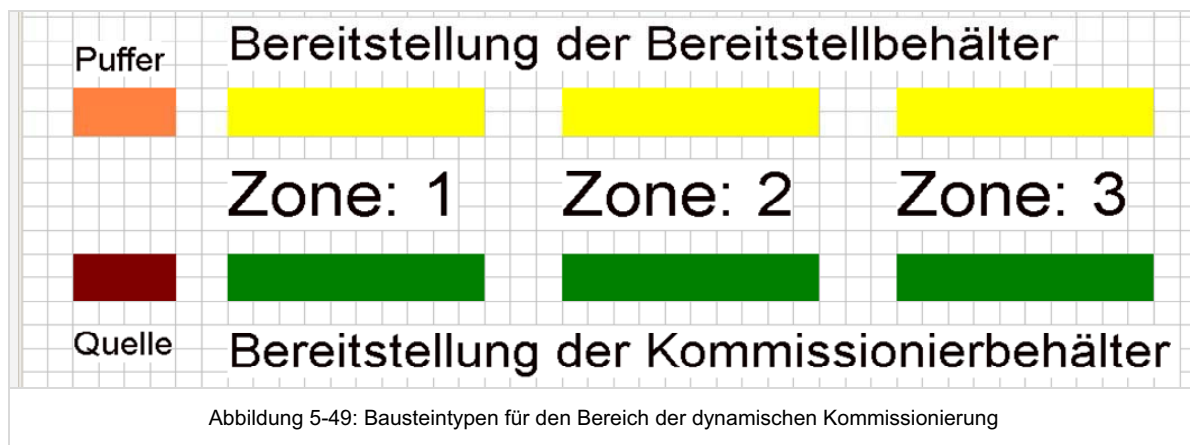
Die Eingangsdaten dieses Bausteins mit dynamischer Bereitstellung werden auch hier in zwei Stufen eingelesen:

1. Die Seriidaten werden vom Baustein für die Auftragsverteilung am Anfang jeder Simulation in die interne Tabelle des Bausteins eingelesen
  - Tabelle Serie und Bearbeitungsauftrag mit der Abfrage Sim\_Serie
  - Tabelle Zonen für Informationen über kleinste ZonenID und Anzahl Zonen
2. Für jeden neu angekommenen Bereitstellbehälter wird der Kommissionierauftrag, also die Auftragsinformationen zur Serie eingelesen
  - Tabelle Bearbeitungsauftrag

### 5.3.6.2 Prozess

Im Fall einer zweiten Stufe wird die benötigte Menge an Teilen eines Artikels für alle Positionen einer Serie der zweiten Kommissionierstufe aus einer ersten Kommissionierstufe bereitgestellt, die auf die Kommissionierbehälter einer Serie verteilt werden. Anschließend verlässt der leere Bereitstellbehälter den Bereich in einer Senke.

Im zweiten Fall einer dynamischen Bereitstellung wird eine Bereitstellungseinheit (meistens Palette) aus dem Bereitstelllager ausgelagert. In der Regel ist das eine Anbruchpalette, sie enthält aber ausreichend viele Teile, die für alle Positionen eines Artikels in der Serie ausreichend sind. Das bedeutet es wird genau als eine Palette für jeden Artikel einer Serie ausgelagert. Weiterhin wird hier davon ausgegangen, dass die Palette mit den verbleibenden Teilen des Artikels nach der Kommissionierung wieder eingelagert wird, um eventuell dann wieder für eine andere Serie ausgelagert zu werden. Auch die eventuell leer werdenden Paletten werden genauso behandelt. Eine Entsorgung geschieht also erst am oder im Bereitstelllager. Genauso wird davon ausgegangen, dass für alle Artikel, die während der Simulation angefordert werden auch vorhanden sind.

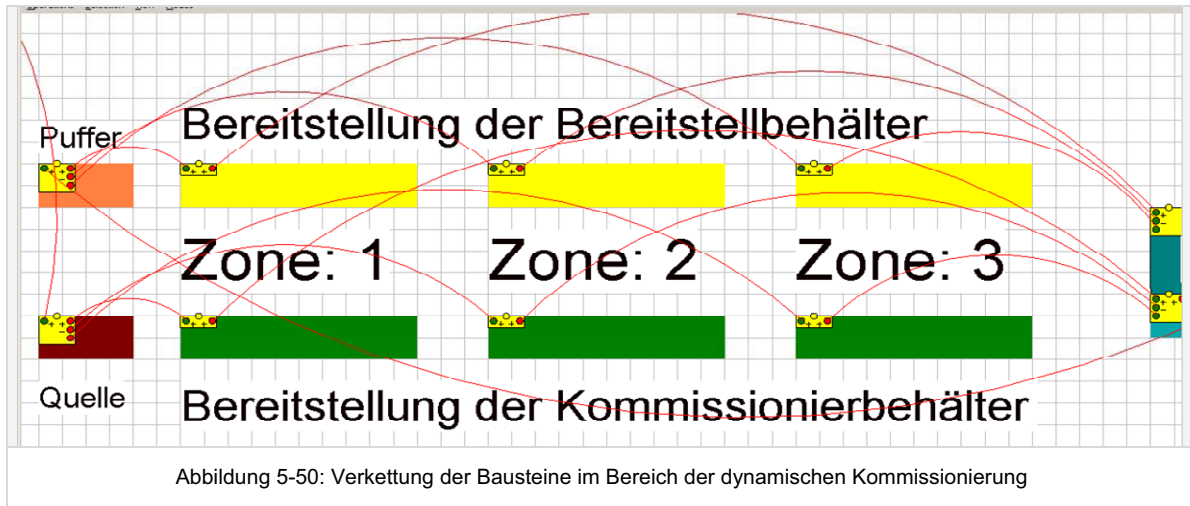


Der Bereich der dynamischen Kommissionierung wird aus sechs Bausteintypen zusammengestellt:

- **Puffer für Bereitstellungseinheiten**  
Zu diesem Puffer werden die Bereitstellungseinheiten aus einer Kommissionierstufe 1 geleitet. Hier werden diese Bereitstellungseinheiten solange angehalten bis sie nach einer Freigabe einer Serie in der Auftragsquelle abgerufen werden. Sobald die Quelle für Kommissionierbehälter eine Serie freigibt, wird dieses hier gemeldet, was dazu führt, dass die zugehörigen Bereitstellungseinheiten freigegeben werden.
- **Quelle für Kommissionierbehälter**  
An dieser Quelle werden die Serien für diesen Bereich auf die einzelnen Zonen verteilt. Dabei wird jede neue Serie in die erste freie Zone gesteuert. Gleichzeitig werden die zugehörigen Bereitstellungseinheiten im Puffer für Bereitstellungseinheiten freigegeben.
- **Bereitstellplatz für Bereitstellungseinheiten**  
Hier warten die Bereitstellungseinheiten bis die Artikel auf die Kommissionierbehälter verteilt wurden. Danach verlässt die Bereitstellungseinheit den Baustein. Auf diesem Bereitstellplatz muss mindestens eine Bereitstellungseinheit Platz finden, da immer nur eine Bereitstellungseinheit in einer Zone gleichzeitig bearbeitet wird.
- **Bereitstellplatz für Kommissionierbehälter**  
Hier warten alle Behälter einer Serie bis alle Artikel aus den zugehörigen Bereitstellbehälter kommissioniert wurden. Danach verlassen alle Behälter der Serie den Baustein. Gleichzeitig wird eine neue Serie angefordert. Auf diesem Kommissionierplatz müssen mindestens die Seriengröße an Kommissionierbehälter Platz finden, da alle diese Behälter gleichzeitig bearbeitet werden.
- **Senke für Bereitstellungseinheiten**  
Hier kommen alle fertigen Bereitstellungseinheiten von den Bereitstellplätzen für Bereitstellungseinheiten an und verlassen hier das System. Eine Weiterleitung für leere

Bereitstellbehälter oder eine Rückführung für Anbruchpaletten aus einem internen Lager ist noch nicht definiert und somit nicht implementiert worden.

- Ausgang für Kommissionierbehälter  
In diesem Ausgang werden die fertigen Kommissionierbehälter aus den einzelnen Zonen gesammelt und zum Verteilerbaustein weitergeleitet. Der Baustein für das Splitten einer Serie wird hiernach nicht benötigt, da die Behälter hier einzeln ausgeschleust werden. Über den Verteilerbaustein werden die Kommissionierbehälter zum nachfolgenden Bereich weitergeleitet.



Der Transport der Bereitstellbehälter kann in drei Varianten abgebildet werden.

- Statische Bereitstellung  
Bei der statischen Bereitstellung (siehe Abbildung) werden die Behälter vom Puffer aus direkt der Zone zugeordnet und von dort aus nach der Kommissionierung direkt der Senke zugeordnet
- Automatischer Transport mit Umlauf  
Hierbei werden die Bereitstellbehälter entsprechend der Beschreibung in 5.3.4.2.6 vom Puffer über die Zone zur Senke transportiert. Dabei wird maximal eine Zone angefahren.
- Automatischer Transport ohne Umlauf  
Hierbei werden die Bereitstellbehälter entsprechend der Beschreibung in 5.3.4.2.7 vom Puffer über die Zone zur Senke transportiert. Ein Transport ohne Umlauf ist immer dann sinnvoll, wenn ausreichend viele Bereitstellereinheiten auf dem Bereitstellplatz untergebracht werden können.

Der Transport der Kommissionierbehälter kann ebenso in drei Varianten abgebildet werden.

- Statische Bereitstellung  
Bei der statischen Bereitstellung (siehe Abbildung) werden die Behälter von der Quelle aus direkt der Zone zugeordnet und von dort aus nach der Kommissionierung direkt dem nachfolgenden Verteiler zugeordnet
- Automatischer Transport mit Umlauf  
Hierbei werden die Kommissionierbehälter entsprechend der Beschreibung in 5.3.4.2.6 von der Quelle aus über die Zone zum Verteiler transportiert. Ein Transport mit Umlauf ist in der Regel nicht sinnvoll, da alle Behälter einer Serie auf dem Kommissionierplatz Platz finden müssen und weil immer nur eine Serie bearbeitet werden kann.
- Automatischer Transport ohne Umlauf  
Hierbei werden die Kommissionierbehälter entsprechend der Beschreibung in 5.3.4.2.7 vom von der Quelle aus über die Zone zum Verteiler transportiert.

### 5.3.7 Modul Splitter und Verteiler

#### 5.3.7.1 Eingangsdaten

Zur ankommenden Serie werden die Behälter aus der Tabelle „Sim\_Beh“ gelesen. Hier sind die Daten Nachfolge Bereich und Nachfolge Serie von Bedeutung.

- Tabelle Behaelterauftrag

Für jeden Behälter werden die Bearbeitungsaufträge aus der Tabelle „Sim\_Kom“ gelesen, analog zur Bereichsquelle s.o.

- Tabelle BearbeitungsAuftrag

#### 5.3.7.2 Prozess

Am Bausteineingang werden die Behälterdaten zur Serie gelesen. Entsprechend der Anzahl Behälter in der Serie werden neue Objekte erzeugt, die die Informationen für den Nachfolge Bereich erhalten und dann den Baustein in Richtung Verteiler verlassen. Das eingefahrene Objekt wird je nach System entweder vernichtet oder verlässt den Splitter durch den zweiten Ausgang. Letzteres ist der Fall wenn es sich um ein automatisches Transportsystem handelt wo das Objekt den Transportbehälter repräsentiert und entsprechend wieder verwendet wird.

#### 5.3.7.3 Ergebnis

Die neuen Serien (Behälter, denn ab hier werden nur noch Serien mit der Größe = 1 gebildet) werden auf die Nachfolgebereiche verteilt. Der letzte mögliche Nachfolgebereich ist die Zusammenführung, die auf jeden Fall angesteuert wird.

### 5.3.8 Modul Zusammenführung

#### 5.3.8.1 Eingangsdaten

Für jeden Simulationslauf wird beim Reset die Tabelle „Sim\_ZuF“ eingelesen. Damit ist bekannt, welche Behälter zu Serien zusammengeführt werden sollen.

- Tabelle Serie
- Tabelle Behaelterauftrag

#### 5.3.8.2 Prozess

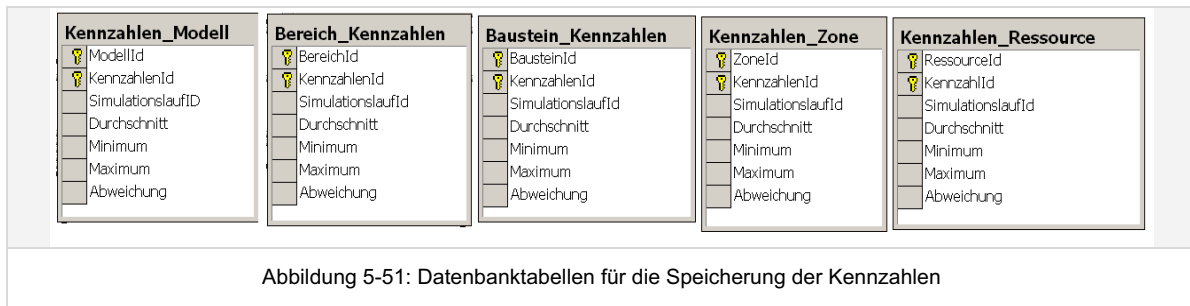
- Identifikation des Behälters in der Tabelle „Sim\_ZuF“
- Wenn der Behälter der erste der Serie ist, wird die Zeit in die Tabelle „Sim\_ZuF“ eingetragen und das Objekt dient als Container für weitere Behälter der Serie.
- Wenn der Behälter der letzte der Serie ist, wird die Aufenthaltsdauer der Serie in der Zusammenführung eingetragen und der Container verlässt die Zusammenführung zur Senke

#### 5.3.8.3 Ergebnis

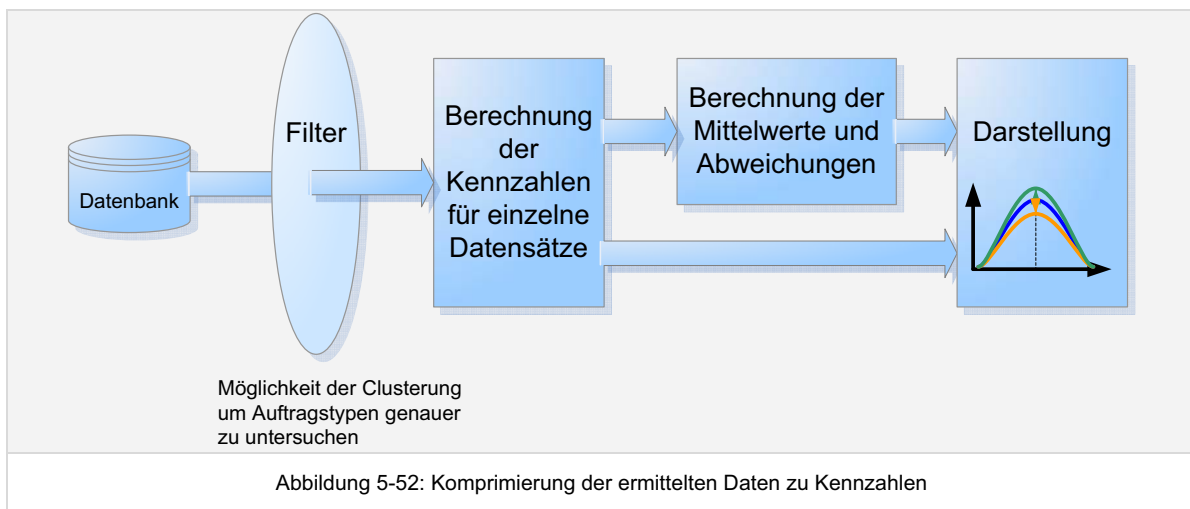
Das Ergebnis wird in die Tabelle „Serie“ eingetragen. Das sind der Zeitpunkt der Ankunft des ersten Behälters einer Serie und die Dauer bis zur Ankunft des letzten Behälters der Serie..

## 5.4 Phase der Kennzahlenermittlung (fml)

Nach Durchführung der Simulationsläufe werden die Daten zu Kennzahlen komprimiert. Die Kennzahlen werden in der Datenbanktabelle „Kennzahlen“ verwaltet. Die zur Berechnung notwendigen Formeln sind über SQL-Abfragen in der Windows-Applikation PlanKom hinterlegt. Über eine Hauptroutine werden alle implementierten Kennzahlen berechnet und je nach Kennzahlenebene in den Datenbanktabellen „Kennzahlen\_Modell“, „Bereich\_Kennzahlen“, „Baustein\_Kennzahlen“, „Kennzahlen\_Zone“ und „Kennzahlen\_Ressource“ gespeichert (vgl. Abbildung 5-51). Zur Darstellung können diese leicht aus der Datenbank entnommen werden und in Excel als Diagramm dargestellt werden.



Zusätzlich zur automatischen Kennzahlenermittlung können über die gewonnenen Ergebniswerte auch Kennzahlen für bestimmte Auftragstypen gebildet werden (vgl. Abbildung 5-52). Es ist z.B. möglich für bestimmte Auftragstypen Kennzahlen zu bilden um diese im Detail zu betrachten. Mögliche Clusterkriterien könnten neben dem Auftragstyp auch die Positionsanzahl pro Auftrag oder der Zeitpunkt der Bearbeitung sein.



### 5.4.1 Eingabe zusätzlich benötigter Invest- und Kostenparameter

In den Abbildung 5-53 und Abbildung 5-54 sind die Benutzereingabemasken der Planungsumgebung für die Modellierung der anfallenden Investitionen in den Bausteinen sowie den Bereichen dargestellt.

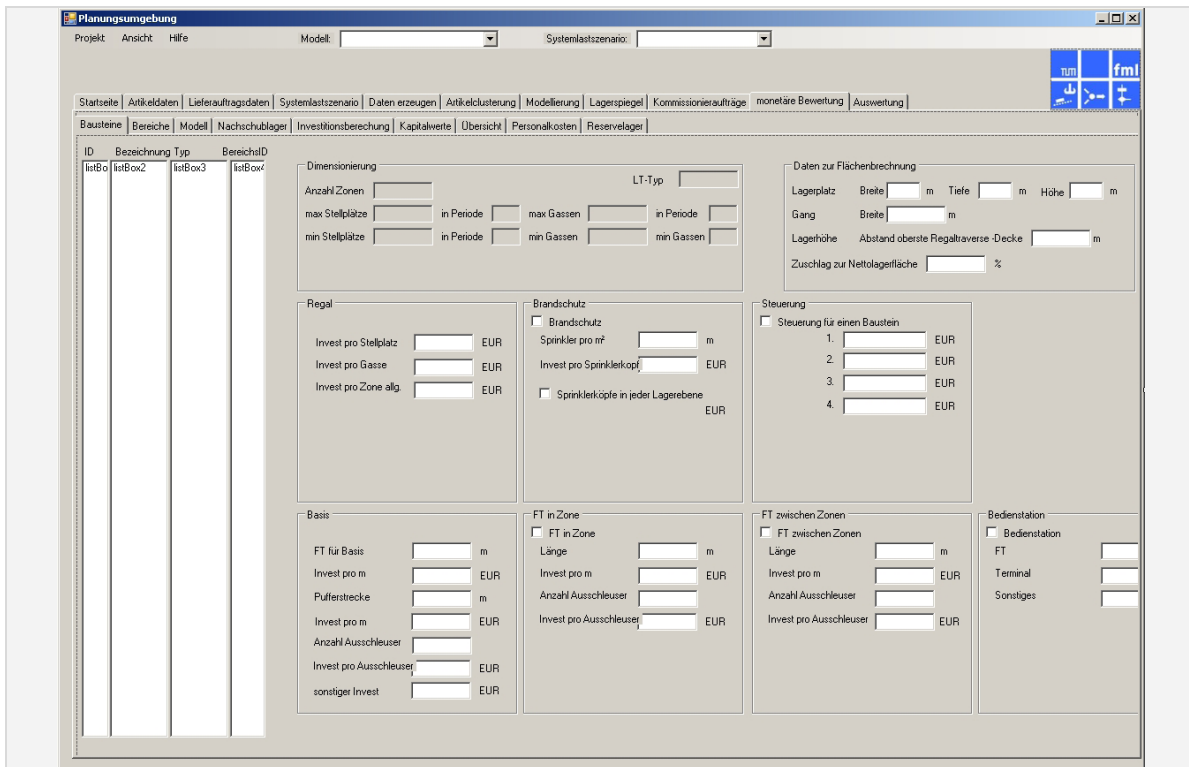


Abbildung 5-53: Parameter für den Invest eines Bausteins

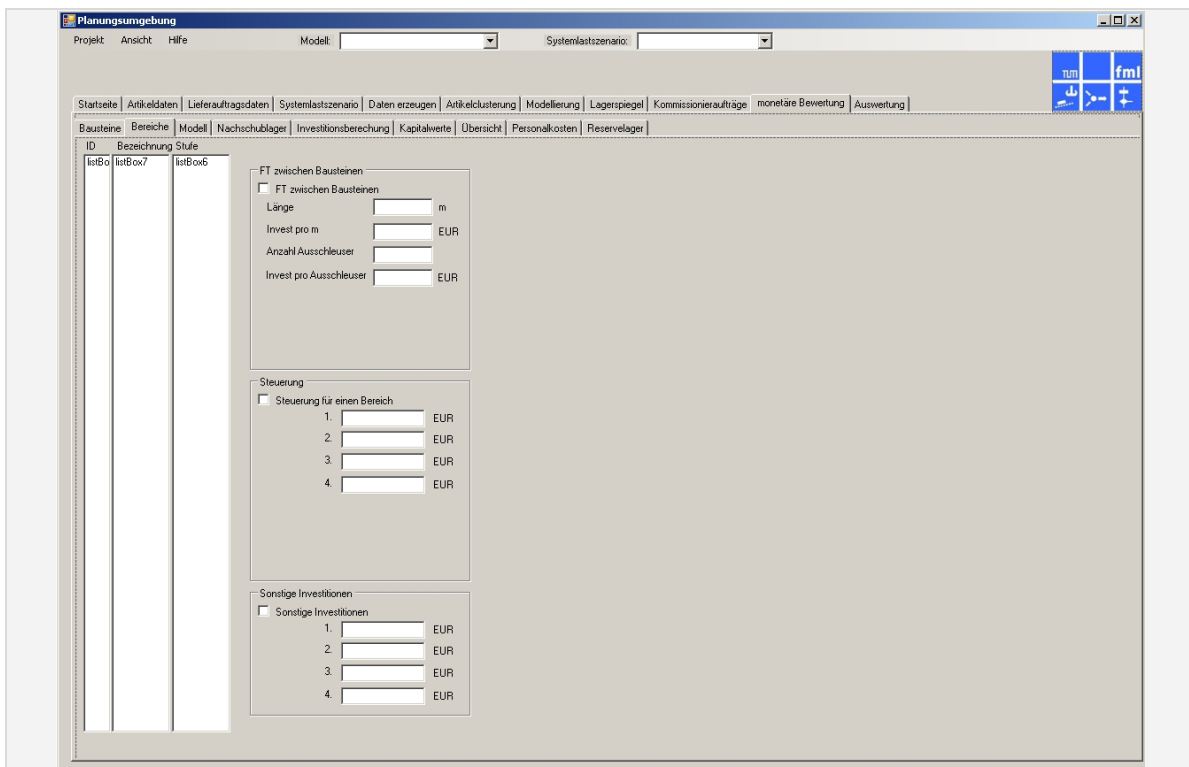


Abbildung 5-54: Parameter für den Invest eines Bereichs

Da die Personalkosten von Betrieb zu Betrieb und von Periode zu Periode variieren können, wurde eine Benutzereingabemaske entwickelt, mit deren Hilfe sich die entsprechenden Personalkosten individuell einstellen lassen (vgl. Abbildung 5-55).

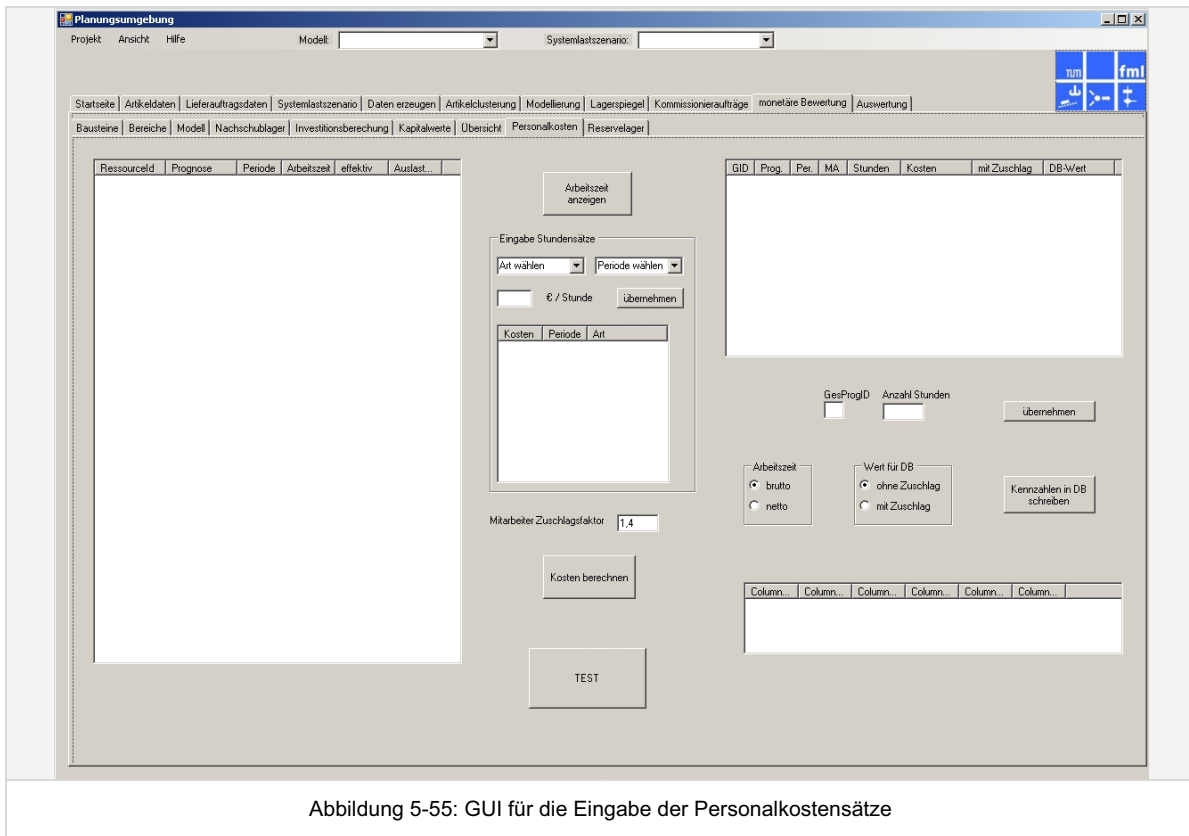


Abbildung 5-55: GUI für die Eingabe der Personalkostensätze

Darüber sind noch die Kostenparameter für das Reservelager zu erfassen, da wie bereits erwähnt nur dann ein tatsächlicher Modellvergleich stattfinden kann. Ein Kommissionierlager das auf Grund seiner Systemtechnik ohne Reservelager auskommt darf nicht schlechter in der Bewertung abschneiden als ein Kommissionierlager das auf ein Reservelager angewiesen ist. Hierzu wurde die in Abbildung 5-56 dargestellte Benutzereingabemaske entwickelt.

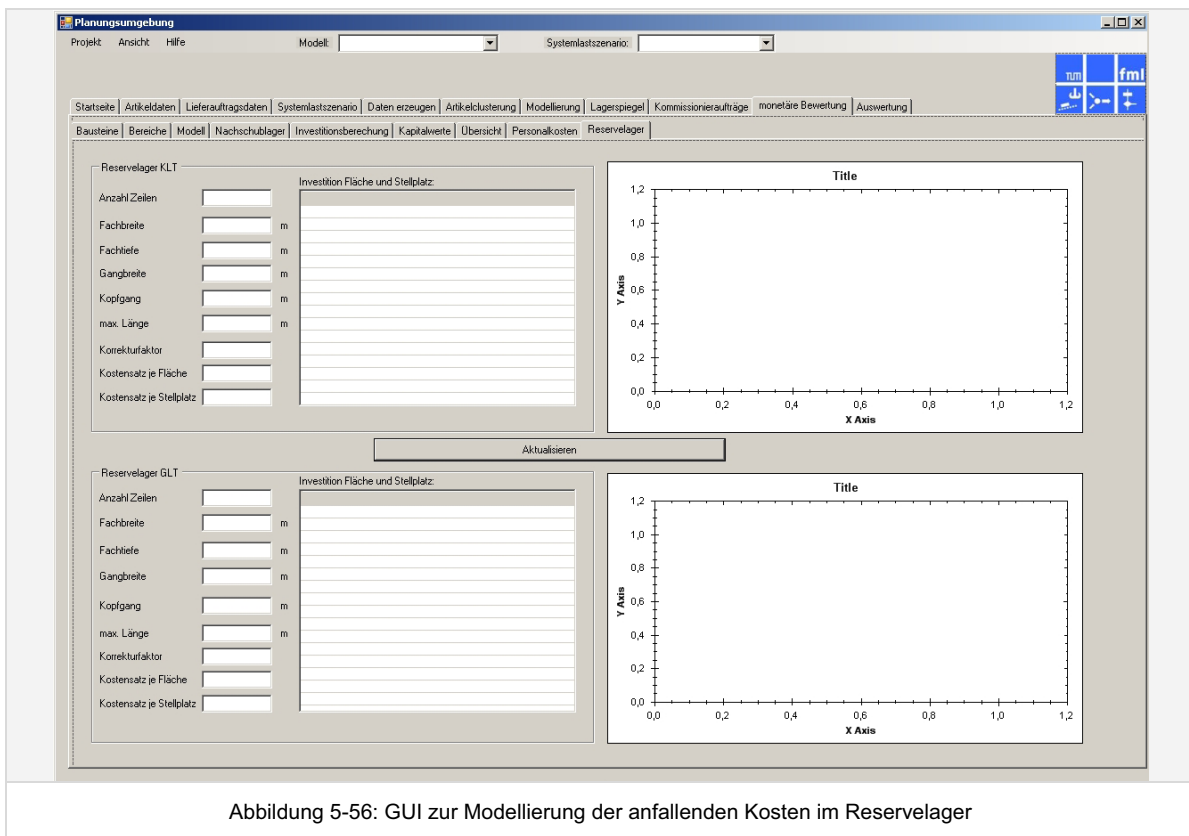
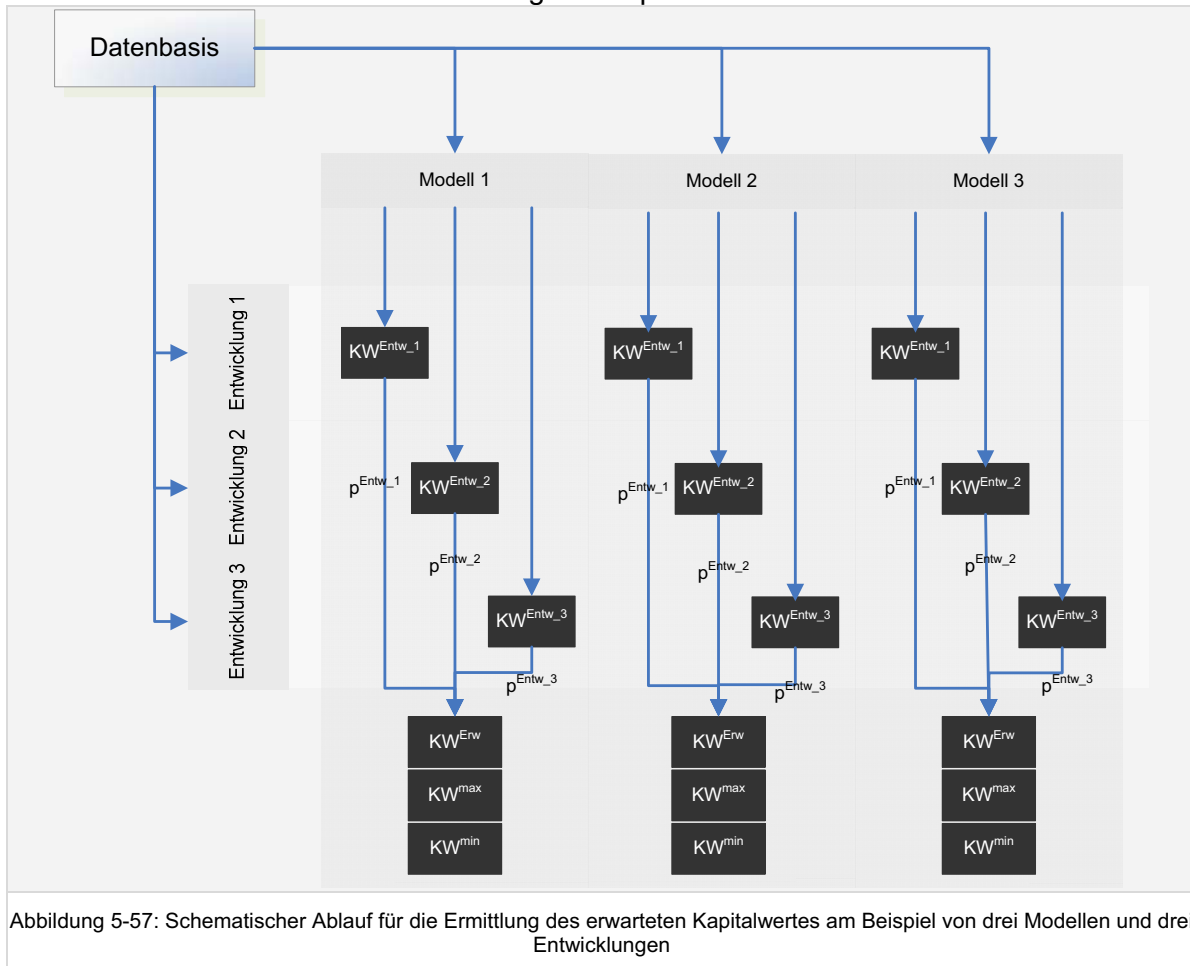


Abbildung 5-56: GUI zur Modellierung der anfallenden Kosten im Reservelager



## 5.4.2 Ermittlung der Kapitalwerte

Die Entwicklung der Erlöse, der Kosten und der Investitionen ist abhängig von der unterstellten Entwicklung der Planzahlen. Die Planzahlen basieren auf Prognosen, die vom Planer erstellt werden. Diese Prognosen unterliegen einer Unsicherheit. Um unterschiedliche Verläufe der Planzahlen zu berücksichtigen, kann der Planer bis zu 3 verschiedene Entwicklungen definieren und zu jeder Entwicklung eine Eintrittswahrscheinlichkeit festlegen. Für jede Entwicklung wird separat eine Kapitalwertberechnung durchgeführt und auf Grundlage der Eintrittswahrscheinlichkeiten ein erwarteter Kapitalwert berechnet. Die Abbildung 5-57 zeigt den schematischen Ablauf bei der Anwendung der Kapitalwertmethode.



### 5.4.2.1 Berechnung des Kapitalwertes für eine Entwicklung

Der Planer kann durch Eingaben festlegen, welche Investitionen und Kosten bei der Berechnung des Kapitalwertes berücksichtigt werden. Des Weiteren kann er für jede berücksichtigte Größe festlegen, ob die Eingabe der Werte für jeden Baustein separat oder zusammengefasst für das ganze Modell erfolgt.

Für die Berechnung des Kapitalwertes können folgende Daten berücksichtigt werden:

- Investitionen

Investitionen zum Zeitpunkt  $t=0$

$$I_{m0}$$

Unter Investitionen werden hier allgemein Sachinvestitionen verstanden. Die Sachinvestitionen beziehen sich auf das zu planende Kommissioniersystem und umfassen Investitionen in Immobilien, Gebäude, Systemtechnik und Informationstechnologie. Eine Erweiterung ist möglich.

Erweiterungsinvestitionen zu einem späteren Zeitpunkt  $I_{mt}^{Erw}$

Erweiterungsinvestitionen sind ebenfalls Sachinvestitionen, die nicht im Zeitpunkt  $t=0$  getätigt werden. Grund für solche Investitionen kann eine steigende Leistungsanforderung sein.

Ersatzinvestitionen  $I_{mt}^{Ers}$

Ersatzinvestitionen werden dann notwendig, wenn im Planungszeitraum Sachinvestitionen ( $I_{m0}$  oder  $I_{mt}^{Erw}$ ) ersetzt werden müssen. Gründe hierfür können eine begrenzte Nutzungsdauern der Anlagegüter sein. Ersatzinvestitionen werden nur notwendig, wenn die technische Nutzungsdauer überschritten wird. Diese ist nicht zwingend gleich mit der Abschreibungsdauer.

- Kosten

Personalkosten  $K_{mt}^P$

Personalkosten sind Kosten, die durch den Einsatz von Mitarbeitern im Kommissioniersystem entstehen. Die Kosten enthalten alle Lohnnebenkosten. Indirekte Personalkosten werden über die Position Gemeinkosten verrechnet (Mitarbeiter Lohnhaltung,...).

Wartungskosten  $K_{mt}^W$

sind Kosten die notwendig sind, um die Gebäude und technischen Einrichtungen betriebsbereit zu halten. Wartungskosten können als Wert vom Planer eingegeben werden. Es ist aber auch möglich, über eine Prozentangabe, die sich auf die Investition bezieht, die Wartungskosten pro Jahr anzugeben.

Betriebskosten  $K_{mt}^B$

Betriebskosten beinhalten die Aufwendungen für Energie und andere Betriebsmittel. Betriebskosten können als Wert vom Planer eingegeben werden. Es ist aber auch möglich, über eine Prozentangabe, die sich auf die Investition bezieht, die Betriebskosten pro Jahr anzugeben.

Gemeinkosten  $K_{mt}^G$

Unter Gemeinkosten werden die Aufwendungen zusammengefasst, die dem Kommissioniersystem nicht direkt zugerechnet werden können. Typischerweise sind Verwaltungskosten Gemeinkosten. Sind die Gemeinkosten für alle untersuchten Varianten gleich, so kann auf die Quantifizierung der Gemeinkosten verzichtet werden. Es ist zu beachten, dass die Gemeinkosten häufig proportional zu den Personalkosten sind.

Kosten für gemietete Systemtechnik  $K_t^{MS}$

Wird aus betriebswirtschaftlichen Gründen auf die Investition in die Systemtechnik (auch teilweise) verzichtet und stattdessen die für die Leistungserbringung notwendige Technik gemietet oder geleast, so müssen die dafür anfallenden Kosten berücksichtigt werden.

Kosten für gemietete Gebäude  $K_{mt}^{MG}$

Wird aus betriebswirtschaftlichen Gründen auf die Investition in ein eigenes Gebäude verzichtet und stattdessen Lagerfläche (-gebäude) gemietet oder geleast, so müssen die dafür anfallenden Kosten berücksichtigt werden.

Verdrängungskosten  $K_{mt}^V$

Verdrängungskosten sind als kalkulatorische Kosten zu verstehen. Somit werden Sie nur angesetzt, wenn die im Betrieb zur Verfügung stehende Fläche einen Engpass darstellt und auch andere Funktionsbereiche auf der für die Kommissionierung verwendeten Fläche installiert werden könnten. Die Verdrängungskosten helfen, den unterschiedlichen Flächenbedarf der Varianten monetär zu bewerten und in die Investitionsrechnung einfließen zu lassen.

sonstige Kosten  $K_{mt}^S$

Unter dem Punkt sonstige Kosten können vom Planer weitere Kosten berücksichtigt werden.

- Erlöse

Erlöse  $E_{mt}$

Die Kommissionierung generiert nur dann direkt Erlöse, wenn es sich um eine Dienstleistung für Dritte handelt. In einigen Unternehmen finden sich Ansätze der internen Leistungsverrechnung. Die Zahlungsströme von anderen Bereichen können auch als Erlöse aufgefasst werden.

Liquidationserlöse am Endes des  $L_{mT}$

Unter Liquidationserlöse wird der Wert der Sachinvestitionen am Ende des Planungshorizontes verstanden. Liquidationserlöse sind eher kalkulatorischer Art, da nur ein fiktiver Verkauf unterstellt wird. Dies ist notwendig, um die Vergleichbarkeit der Varianten sicherzustellen. Durch unterschiedliche Investitionen und Nutzungsdauern ist der Buchwert der Anlageobjekte zwischen den Varianten unterschiedlich. Dieser Unterschied wird über den Liquidationserlös in der monetären Bewertung be-

rücksichtigt. Für den Liquidationserlös wird eine lineare Abschreibung unterstellt.

Planungszeitraumes:  $T$

Die unteren Indizes sind wie folgt definiert:

- $m$  – Index für einen Baustein
- $t$  – Index für eine Periode im Planungszeitraum, der  $T$  Perioden umfasst.

Die Berechnung des Kapitalwertes (KW) eines Modells erfolgt laut der Gl. 5.2. Die Zusammensetzung der Investitionen, der Kosten und der Liquidationserlöse ist in den Gl. 5.3 bis Gl. 5.5 definiert. Die unterschiedlichen Investitionen sind im Folgenden zu  $I$  zusammengefasst. Bei der Implementierung sind die unterschiedlichen Investitionen separat aufzuführen und die unterschiedliche lange Nutzungsdauer zu berücksichtigen.

$$KW = \sum_{m=1}^M -I_{m0} + \sum_{t=1}^T \frac{E_{mt} - (I_{mt} + K_{mt})}{(1+i)^t} + \frac{L_{mT}}{(1+i)^t}$$

$m \in (1, \dots, M)$   
 $t \in (0, \dots, T)$

Gl. 5.2

$$I_{mt} = I_{mt}^{Erw} + I_{mt}^{Ers} \quad \forall m \in (1, \dots, M)$$

Gl. 5.3

$$K_{mt} = K_{mt}^P + K_{mt}^W + K_{mt}^B + K_{mt}^G + K_{mt}^{MS} + K_{mt}^{MG} + K_{mt}^V + K_{mt}^S \quad \forall m \in (1, \dots, M)$$

Gl. 5.4

$$L_{mT} = I_{m0} - \left( T \times \frac{I_{m0}}{T^N} \right) + \sum_{t=1}^T \left\{ I_{mt}^{Erw} - \left[ (T-t) \times \frac{I_{mt}^{Erw}}{T^N} \right] \right\} +$$

$$+ \sum_{t=1}^T \left\{ I_{mt}^{Ers} - \left[ (T-t) \times \frac{I_{mt}^{Ers}}{T^N} \right] \right\}$$

$\forall m \in (1, \dots, M)$   
 $m \in (1, \dots, M)$   
 $t \in (0, \dots, T)$

Gl. 5.5

#### Berechnung des Kapitalwertes für ein Modell

Die für jede Entwicklung berechneten Kapitalwerte werden zu einem erwarteten Kapitalwert zusammengefasst. Dies erfolgt durch die Gewichtung mit den Eintrittswahrscheinlichkeiten. Die Berechnung ist in Gl. 5.6 beschrieben.

$$KW^{Erw} = p^{Entw\_1} \times KW^{Entw\_1} + p^{Entw\_2} \times KW^{Entw\_2} + p^{Entw\_3} \times KW^{Entw\_3}$$

*Nebenbedingungen :*  
 $p^{Entw\_1} + p^{Entw\_2} + p^{Entw\_2} = 1$

Gl. 5.6

Zusätzlich zum erwarteten Kapitalwert werden noch der maximal erzielbare Kapitalwert und der minimal erzielbare Kapitalwert berechnet und dem Planer als Ergebnis zur Verfügung gestellt. Die Berechnung ist in Gl. 5.7 und Gl. 5.8 dargestellt.

$$KW^{\max} = \max\{KW^{\text{Entw\_1}}, KW^{\text{Entw\_2}}, KW^{\text{Entw\_3}}\}$$

Gl. 5.7

$$KW^{\min} = \min\{KW^{\text{Entw\_1}}, KW^{\text{Entw\_2}}, KW^{\text{Entw\_3}}\}$$

Gl. 5.8

#### 5.4.2.2 Kostenkennzahlen

Neben der Betrachtung des gesamten Planungshorizontes lassen sich mit Kostenkennzahlen einzelne Modelle oder Teile eines Modells monetär bewerten und vergleichen. Da sich die Kosten über die Zeit ändern können, müssen die folgenden Kennzahlen jeweils für jede Periode neu bestimmt werden. Gründe für die Änderung der Kostenkennzahlen sind z.B. sich ändernde Lohnkosten oder Abschreibungen.

Für die Bewertung wird die Kennzahl „Kosten pro Position“ als wichtigste Kennzahl herangezogen. Aufbauend auf dieser Kennzahl werden die Kosten pro Auftrag bestimmt.

##### Kosten pro Position

Die Kosten pro Position können für das gesamte System oder für einen bestimmten Bereich (Baustein) ausgewiesen werden. Wenn der Planer die Investitionen für jeden Baustein separat angegeben hat, werden die Kosten pro Position für jeden Baustein und für das gesamte Kommissioniersystem berechnet.

##### Kosten pro Position und Baustein

Die Kosten pro Position in Periode  $t$  ergeben sich aus den Abschreibungen in der Periode  $t$  summiert mit den Kosten in Periode  $t$ . Werden diese Kosten durch die Anzahl der Positionen in der Periode  $t$  dividiert, so ergibt sich ein Kostensatz pro Position. Die Gl. 5.9 zeigt die Formel zur Berechnung der Kosten pro Position eines Bausteines.

$$k_{mt}^{\text{Pos}} = \frac{A_{mt} + K_{mt}}{n_{mt}^{\text{Pos}}}$$

Gl. 5.9

$$m \in (1, \dots, M)$$

$$t \in (0, \dots, T)$$

##### Kosten pro Position für das gesamte Kommissioniersystem

Aufbauend auf der Berechnung der Kosten pro Position und Baustein können die Kosten pro Position für das Gesamtsystem ermittelt werden. Die Berechnung ist in der Gl. 5.10 dargestellt.

$$k_t^{Pos} = \frac{\sum_{m=1}^M n_{mt}^{Pos} \cdot \left( \frac{A_{mt} + K_{mt}}{n_{mt}^{Pos}} \right)}{\sum_{m=1}^M n_{mt}^{Pos}}$$

$$\forall t \in (1, \dots, T)$$

$$t \in (0, \dots, T)$$

Gl. 5.10

oder, wenn keine separaten Daten für jede Zone vorliegen

$$k_t^{Pos} = \frac{A_t + K_t}{n_t^{Pos}}$$

$$\forall t \in (1, \dots, T)$$

$$t \in (0, \dots, T)$$

$$k_t^{Pos} = \frac{\sum_{m=1}^M n_{mt}^{Pos} \cdot \left( \frac{\sum_{k=1}^K A_{mt}^k(t) + K_{mt}}{n_{mt}^{Pos}} \right)}{\sum_{m=1}^M n_{mt}^{Pos}}$$

$$A_{mt}^k(t) = \begin{cases} 0 & , \text{wenn } t^* > t \\ I_{mt}^k & , \text{wenn } t \leq t^* + T^{Nk} \\ 0 & , \text{wenn } t^* + T^{Nk} < t \end{cases}$$

Gl. 5.11

$t^*$  Zeitpunkt an dem die Investition durchgeführt wird

$$\forall t \in (1, \dots, T)$$

$$t \in (0, \dots, T)$$

oder, wenn keine separaten Daten für jede Baustein vorliegen

$$k_t^{Pos} = \frac{A_t + K_t}{n_t^{Pos}}$$

$$\forall t \in (1, \dots, T)$$

$$t \in (0, \dots, T)$$

### Kosten pro Auftrag / Auftragstyp

Auf Basis der Kennzahl-Kosten pro Position können die Kosten pro Auftrag ermittelt werden. Im einfachsten Fall wird die durchschnittliche Anzahl von Positionen pro Lieferauftrag ermittelt und mit der Kennzahl-Kosten pro Position multipliziert (siehe Gl. 5.12).

$k_t^{Auf} = n_{Durch}^{Pos} \cdot k_t^{Pos}$ $\forall t \in (1, \dots, T)$ $t \in (0, \dots, T)$	Gl. 5.12
---------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

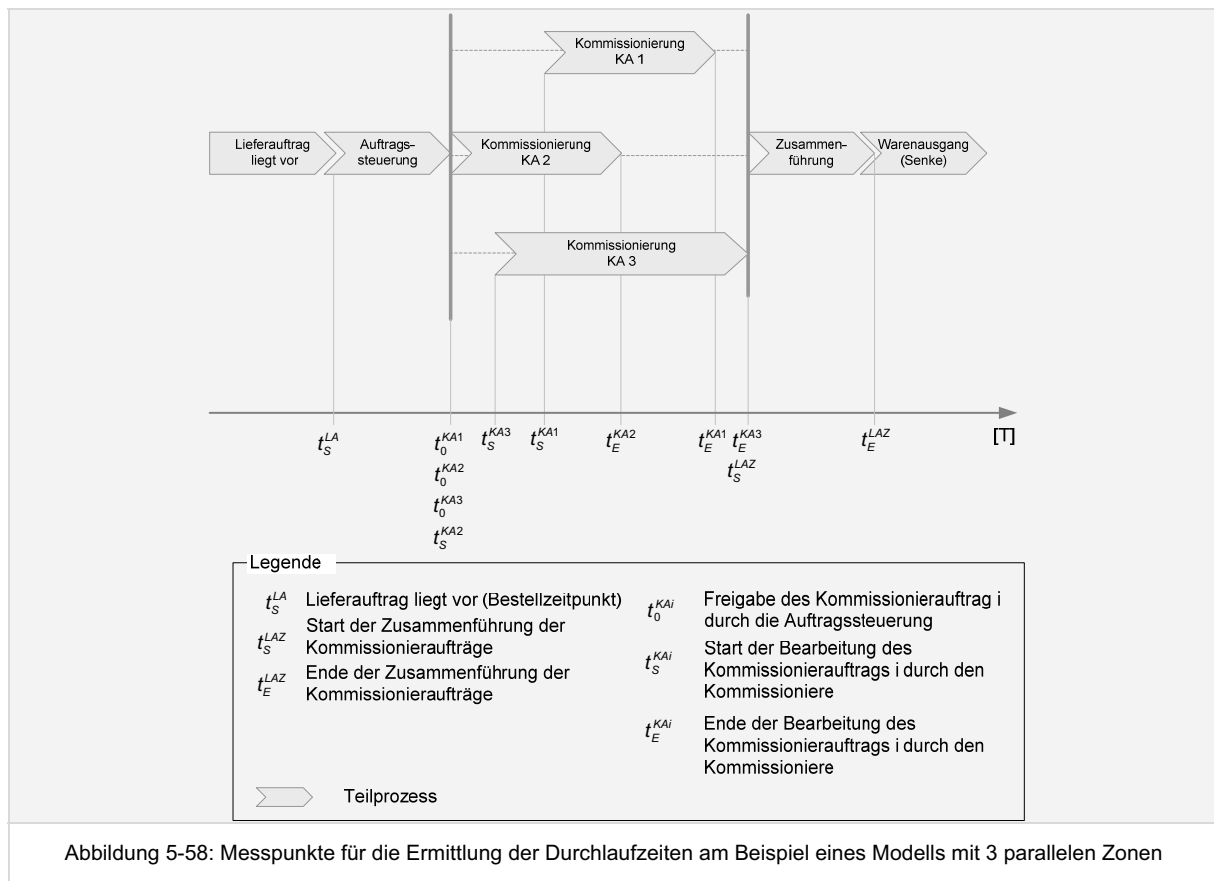
Bei unterschiedlichen Lieferaufträgen ist diese Kennzahl nur von geringer Aussagekraft. Für diesen Fall kann der Planer Auftragstypen bestimmen, so z.B. einen Kleinauftrag mit 3 Positionen oder einen Großauftrag mit 20 Positionen. Die Kosten für jeden Auftragstyp (Index z) ergeben sich wie in Gl. 5.13 dargestellt.

$k_t^{Auf-z} = n_{Typ-z}^{Pos} \cdot k_t^{Pos}$ $\forall z \in (1, \dots, Z)$ $\forall t \in (1, \dots, T)$ $t \in (0, \dots, T)$ $z \in (1, \dots, Z)$	Gl. 5.13
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

#### 5.4.2.3 Zeiten für die Bewertung

Für die Bewertung werden unterschiedliche Zeiten herangezogen. Bei den Zeiten handelt es sich um Durchschnittswerte. Um auch die Dynamik eines Kommissioniersystems ersichtlich zu machen, werden zu dem Durchschnittswert auch die maximalen und minimalen Werte angegeben.

In der Abbildung 5-58 ist der Kommissionierprozess beispielhaft dargestellt. Im Beispiel wird ein Lieferauftrag in 3 Kommissionieraufträge zerlegt, die parallel in 3 Bausteinen bearbeitet werden. Die Nomenklatur kann nach demselben Prinzip auch erweitert werden.



Die in der Abbildung 5-58 angegebenen Zeitpunkte werden für jeden Lieferauftrag, Kommissionierauftrag bzw. Position eines Kommissionierauftrages gespeichert. Für die Auswertung werden die folgenden Zeitpunkte herangezogen:

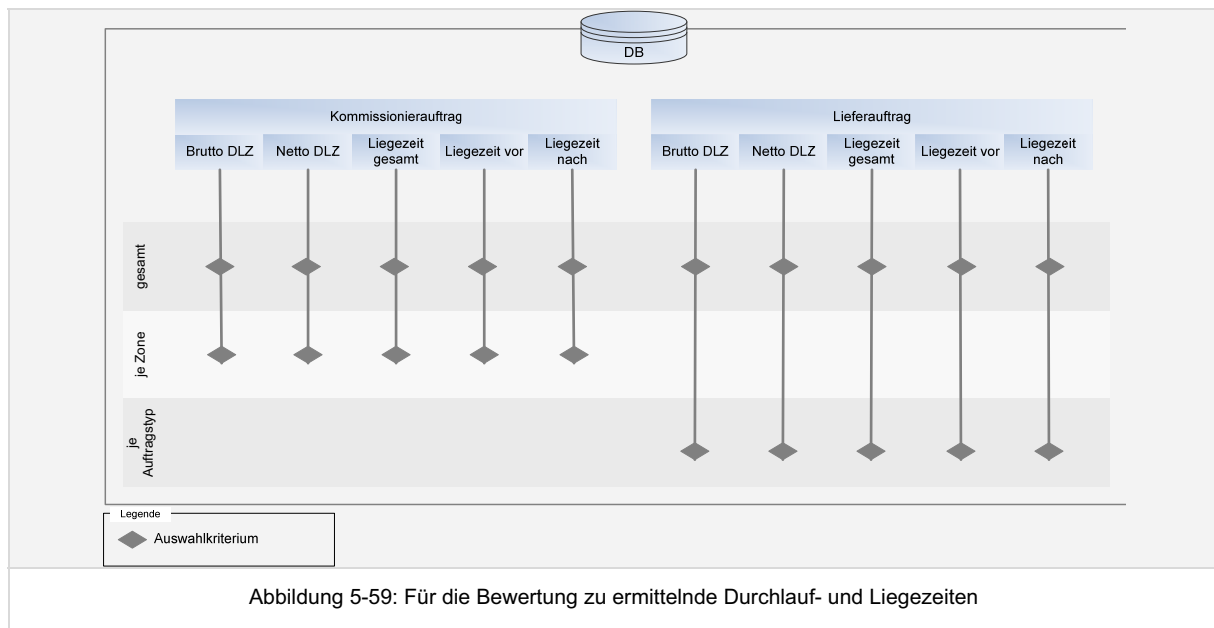
- Bestellzeitpunkt eines Lieferauftrages
- Freigabe des Kommissionierauftrages
- Start der Bearbeitung eines Kommissionierauftrages (Startzeitpunkt der ersten Position eines Kommissionierauftrages)
- Ende der Bearbeitung eines Kommissionierauftrages (Endzeitpunkt der letzten Position eines Kommissionierauftrages)
- Startzeitpunkt der Zusammenführung eines Lieferauftrages
- Endzeitpunkt der Zusammenführung eines Lieferauftrages

Die Auswertungssoftware bekommt über die Schnittstelle nur die hier aufgeführten Zeitpunkte übermittelt. Die entsprechende Zusammenfassung der Daten erfolgt direkt in der Datenbank. Neben den Zeitpunkten werden in der Datenbank noch weitere Werte berechnet und an die Auswertungssoftware übergeben. Folgende Werte werden berechnet::

- Bearbeitungszeit einer Position eines Kommissionierauftrages bezogen auf:
  - Auftragstyp (Großauftrag, Kleinauftrag, Eilauftrag,...)
  - Baustein
- Bearbeitungszeit des Kommissionierauftrages bezogen auf:
  - Auftragstyp (Großauftrag, Kleinauftrag, Eilauftrag,...)
  - Baustein
- Bearbeitungszeit des Lieferauftrages bezogen auf:
  - Auftragstyp (Großauftrag, Kleinauftrag, Eilauftrag,...)



In der Übersicht in Abbildung 5-58 sind die in der Auswertung berücksichtigten Kombinationen dargestellt. Im Folgenden wird die Bestimmung der einzelnen Kennzahlen beschrieben.



### Durchlaufzeit (DLZ)

Die Durchlaufzeit gibt an, wie lange ein Objekt benötigt, um von einer definierten Eintrittsstelle in das System bis zur definierten Austrittsstelle im System zu gelangen.

Für die Bewertung werden folgende Durchlaufzeiten unterschieden, die sich durch unterschiedliche Systemgrenzen unterscheiden.

- Durchlaufzeit eines Lieferauftrages (A\_DLZ) brutto/netto
- Durchlaufzeit eines Kommissionierauftrages (K\_DLZ) brutto/netto

#### Bruttodurchlaufzeit Kommissionierauftrag (K\_DLZ)

$$t_i^{bDLZ-K} = t_S^{LAZ} - t_0^{KA-i} \quad \text{Gl. 5.14}$$

#### Nettodurchlaufzeit Kommissionierauftrag (K\_DLZ)

$$t_i^{DLZ-K} = t_E^{KA-i} - t_S^{KA-i} \quad \text{Gl. 5.15}$$

### Liegezeit/ Wartezeit

Aufbauend auf den Durchlaufzeiten kann auch die Liegezeit eines Auftrages bestimmt werden. Liegezeiten können vor der Bearbeitung in einem Kommissionierbaustein und nach der Bearbeitung in einem Kommissionierbaustein auftreten, da z.B. auf einen anderen Kommissionierauftrag vor der Zusammenführung des Lieferauftrages gewartet werden muss.

Die Gl. 5.16 beschreibt die Berechnung der gesamten Liegezeit. Die Liegezeit, die vor der Bearbeitung eines Kommissionierauftrages vergeht, wird mit der Gl. 5.17 berechnet. Die Gl. 5.18 zeigt die Berechnung der Liegezeit bis zum Start der Zusammenführung.

$$t_i^L = t_i^{bDLZ-K} - t_i^{nDLZ-K} \quad \text{Gl. 5.16}$$

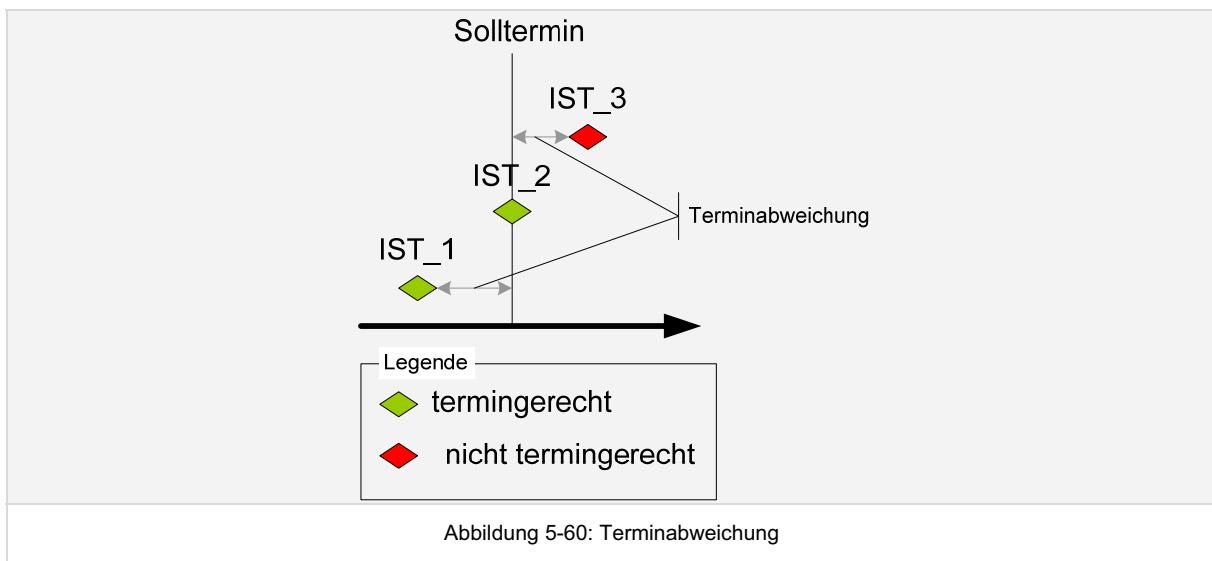
$$t_i^{vL} = t_S^{KA-i} - t_0^{KA-i} \quad \text{Gl. 5.17}$$

$$t_i^{nL} = t_S^{LAZ} - t_E^{KA-i} \quad \text{Gl. 5.18}$$

### Termintreue

Die Kennzahl Termintreue zeigt auf, ob die geforderte Durchlaufzeit erreicht wird und somit die Aufträge rechtzeitig für den Versand bereitgestellt werden.

Bei der Erzeugung der Aufträge wird ein Bereitstellungstermin  $(t_{E\_Soll}^{LAZ})$  bestimmt. Dieser gilt als Solltermin und wird mit dem in der Simulation bestimmten IST-Termin  $(t_E^{LAZ})$  verglichen. Die Abbildung 5-60 stellt den Sachverhalt graphisch dar.



Die folgenden Kennzahlen können nur für die Lieferaufträge ausgewertet werden, da nur für sie eine Soll-Bereitstellungszeit bekannt ist.

### Termintreue (qualitativ)

Die qualitative Termintreue gibt an, wie viele der Lieferaufträge fristgerecht bereitgestellt wurden.

$$\eta^q = \frac{\sum_{i=1}^N \eta_i^q(f)}{N} \quad \text{Gl. 5.19}$$

$$\eta_i^q(f) = \begin{cases} 1, & \text{wenn } t_E^{LAZ} \geq t_{E\_SOLL}^{LAZ} \\ 0 & \text{wenn } t_E^{LAZ} < t_{E\_SOLL}^{LAZ} \end{cases}$$

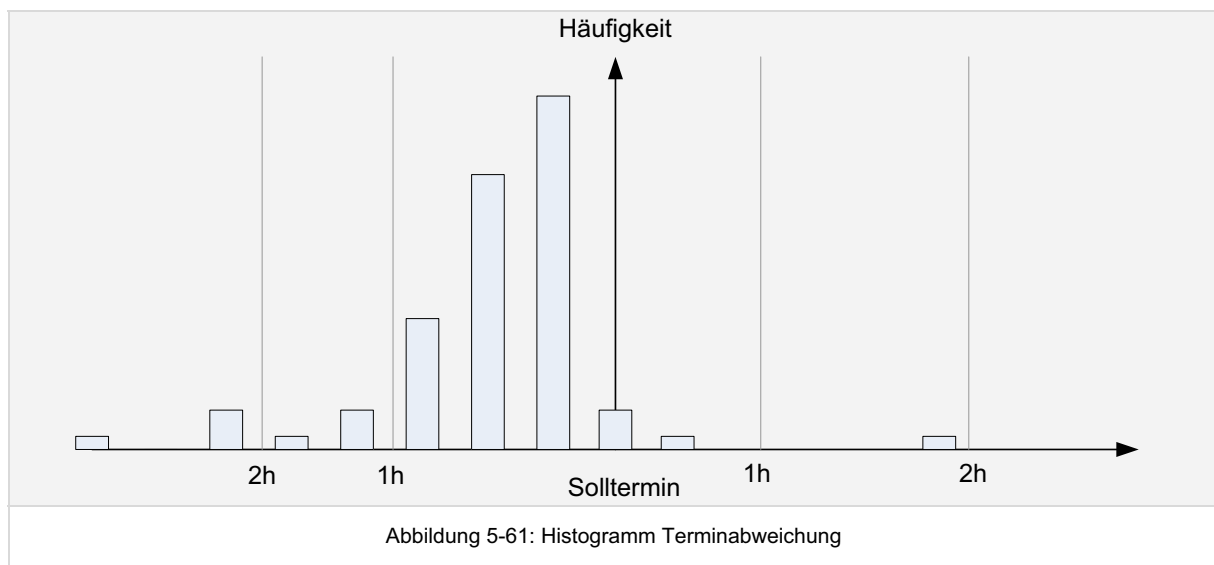
### Termintreue (quantitativ)

Die quantitative Termintreue eines Auftrages ergibt sich aus der in Gl. 5.20 dargestellten Formel. Bei einem negativen Ergebnis wurde der Termin eingehalten bzw. vielmehr wurde der Auftrag früher fertig gestellt. Ist das Ergebnis positiv, so wurde der Solltermin überschritten.

$$\eta^{quan} = t_E^{LAZ} - t_{E\_SOLL}^{LAZ}$$

Gl. 5.20

Für die Auswertung werden die Ergebnisse für in einem Histogramm zusammengefasst. Ein Beispiel für ein solches Histogramm ist in der Abbildung 5-61 dargestellt.



Die Auswertung kann für alle Lieferaufträge, für bestimmte Lieferauftragstypen oder für bestimmte Zeitabschnitte durchgeführt werden.

#### Bearbeitete Kommissionieraufträge/ Positionen pro Zeiteinheit

Diese Kennlinie gibt an, wie viele Kommissionieraufträge/ -positionen pro Zeiteinheit (im Allgemeinen 1h Zyklus) bearbeitet wurden. Die Ergebnisse werden mit Hilfe eines Diagramms dargestellt. Es werden für einen Zyklus nur Aufträge gezählt, deren Bearbeitung auch im Zyklus abgeschlossen wurde. Die Gl. 5.19 gibt an, wie die Anzahl der Kommissionieraufträge pro Zyklus bestimmt werden kann.

$$n_{ln\_m}^K = \sum_{i=1}^N z_i(t)$$

$$z(t) = \begin{cases} 1 & , \text{wenn } t_S^{ln\_m} \leq t_E^{KA\_i} < t_S^{ln\_m+1} \\ 0 & , \text{sonst} \end{cases}$$

Gl. 5.21

$i = (1, \dots, N)$  alle Kommissionieraufträge

$m = (1, \dots, M)$  alle Intervalle

Intervall  $m \equiv t_S^{ln\_m}$  bis  $t_S^{ln\_m+1}$

Um die Anzahl der auszuwertenden Datensätze zu verringern, wird für die Bestimmung der Anzahl von Positionen pro Zeiteinheit basierend auf der Gl. 5.19 bestimmt. Da nur Positionen berücksichtigt werden, die zu einem abgeschlossenen Kommissionierauftrag gehören, kann ein Fehler auftreten, da bei einem angefangenen Kommissionierauftrag einzelne Positionen bereits abgearbeitet wurden. Die Gl. 5.20 stellt die Berechnungsvorschrift dar.

$$n_{ln\_m}^K = \sum_{i=1}^N z_i(t) \cdot a_i$$

$$z(t) = \begin{cases} 1 & , \text{wenn } t_S^{ln\_m} \leq t_E^{KA\_i} < t_S^{ln\_m+1} \\ 0 & , \text{sonst} \end{cases}$$

Gl. 5.22

$i = (1, \dots, N)$  alle Kommissionieraufträge

$m = (1, \dots, M)$  alle Intervalle

Intervall  $m \equiv t_S^{ln\_m}$  bis  $t_S^{ln\_m+1}$

$a_i \equiv$  Anzahl Positionen des Kommissionierauftrages  $i$

### Bearbeitete Lieferaufträge pro Zeiteinheit

Diese Kennlinie gibt an, wie viele Lieferaufträge pro Zeiteinheit (im Allgemeinen 1h Zyklus) bearbeitet wurden. Die Ergebnisse werden mit Hilfe eines Diagramms dargestellt. Es werden für einen Zyklus nur Aufträge gezählt, deren Bearbeitung auch im Zyklus abgeschlossen wurde. Die Gl. 5.23 gibt an, wie die Anzahl der Lieferaufträge pro Zyklus bestimmt werden kann.

$$n_{ln\_m}^L = \sum_{i=1}^N z_i(t)$$

$$z(t) = \begin{cases} 1 & , \text{wenn } t_S^{ln\_m} \leq t_E^{LAZ\_i} < t_S^{ln\_m+1} \\ 0 & , \text{sonst} \end{cases}$$

Gl. 5.23

$i = (1, \dots, N)$  alle Lieferaufträge

$m = (1, \dots, M)$  alle Intervalle

Intervall  $m \equiv t_S^{ln\_m}$  bis  $t_S^{ln\_m+1}$

### Positionen/ Picks pro Mitarbeiter und Zeiteinheit

Um die Leistung einzelner Ressourcen zu beurteilen ist es notwendig, die von der Ressource bearbeiteten Aufträge zu messen. In der Datenbank wird zu jeder Position eines Kommissionierauftrages die ausführende Ressource gespeichert. Die Gl. 5.24 stellt den Algorithmus für die Auswertung dar.

$$n_{In\_m}^{R\_k^*} = \sum_{i=1}^N z_i(t, k) \quad \forall k \text{ von } 1, \dots, K$$

$$z_i(t) = \begin{cases} 1 & , \text{wenn } t_S^{In\_m} \leq t_E^{KA\_i} < t_S^{In\_m+1} \text{ und } k^* = k \\ 0 & , \text{sonst} \end{cases}$$

$i = (1, \dots, N)$  alle Kommissionieraufträge

$m = (1, \dots, M)$  alle Intervalle

Intervall  $m \equiv t_S^{In\_m}$  bis  $t_S^{In\_m+1}$

$a_i \equiv$  Anzahl Positionen des Kommissionierauftrages  $i$

$k^* \equiv$  Auszuwertende Ressource

$k \equiv$  Ressource

Gl. 5.24

Für Planungen, bei denen eine unterschiedliche Anzahl von Picks simuliert wird, kann auf Basis dieser Auswertung auch die Anzahl der Picks pro Zeiteinheit und Ressource bestimmt werden. Dazu wird  $z(t)$  mit der entsprechenden Anzahl von Picks der entsprechenden Position multipliziert.

Um das Ergebnis übersichtlicher zu gestalten, können die Ressourcen eines Bausteins zusammengefasst werden. Die entsprechenden Informationen finden sich in der Datenbank.

### Auslastung

Die Kennzahl Positionen pro Mitarbeiter und Zeit lässt eine Aussage über die Leistung des Systems nur zu, wenn in diesem Kontext auch die Auslastung der Ressource betrachtet wird. Ist die Ressource nicht voll ausgelastet so liegt die theoretische Leistung der Ressource höher. Ist hingegen die Ressource voll ausgelastet und kommt es zu einem Anstieg der Bruttodurchlaufzeit, so kann davon ausgegangen werden, dass die Ressource überlastet ist. Die Auslastung lässt sich als eine Kennzahl (in %) oder als Kennlinie (beschäftigt ja/nein über der Zeit) angeben.

Eine Ressource ist dann beschäftigt, wenn sie eine Position eines Kommissionierauftrages bearbeitet. Die für die Auswertung notwendigen Informationen enthält die Datenbank. Für die Auswertung müssen alle Positionen der Kommissionieraufträge herausgefiltert werden, die von der auszuwertenden Ressource bearbeitet wurden.

Folgende Auslastungen können berechnet werden:

- Gesamtauslastung (für einen Tag)
- Auslastung pro Schicht
- Auslastung für einen Zyklus (Standard 1 Stunden, kann aber angepasst werden)

Die Gl. 5.25 stellt die Berechnung der Auslastung dar. Es wird unterstellt, dass nur die für die Auswertung relevanten Daten herangezogen werden. Somit wurde vorab in der Datenbank die entsprechende Filterung vorgenommen. Somit unterscheiden sich die oben genannten drei Arten nur durch die Filterung der Daten in der Datenbank.

$i$  = Index der Position  
 $k$  = Index der Ressource  
 $t_{nutz}^k$  = Dauer in der die Ressource  
 $t_{gesamt}$  = Dauer des Auswertungszeitraumes  
 $\rho^k$  = Auslastung der Ressource k

Auslastung einer Ressource

$$\rho^k = \frac{t_{nutz}^k}{t_{gesamt}}$$

Gl. 5.25

$$t_{nutz}^k = \sum_{i=1}^N t_E^i - t_S^i \quad \forall k \in (1, \dots, K)$$

$$i \in (1, \dots, N)$$

Auslastung eines Bausteins

$$\rho^B = \sum_{k=1}^K \rho^k \cdot y(k)$$

$$y(k) = \begin{cases} 1 & , \text{wenn } k \in \text{Baustein L ist} \\ 0 & \text{wenn } k \notin \text{Baustein L ist} \end{cases}$$

Die Erzeugung der Kennlinie wird hier nicht erörtert.

### Zeitanteile

Der Kommissioniervorgang setzt sich zusammen aus der Greifzeit, der Wegzeit und fixen Zeitanteilen für die Auftragsannahme und den Auftragsabschluss.

Anhand der Anteile für die einzelnen Zeitanteile kann der Planer die Lagerstruktur im Baustein bewerten und unterschiedliche Modelle für das gleiche Artikelspektrum beurteilen.

Für diesen Zweck muss die Simulation die unterschiedlichen Zeitanteile für jede Ressource protokollieren.

Die einzelnen Zeiten können separat ausgewiesen werden oder als Diagramm (Kuchendiagramm). Dabei werden die einzelnen Zeiten in ihrem Verhältnis zur aktiven Zeit der Ressource dargestellt (Wartezeiten wegen fehlender Aufträge werden dabei nicht berücksichtigt).

## 6 Referenzszenarien

Zur Validierung der konstruierten simulationsgestützten Planungsumgebung und zur Generierung von allgemeingültigen Kennzahlen und Gestaltungsregeln wurden vier Referenzszenarien aufgestellt. Das Spektrum an möglichen Untersuchungsfeldern ist durch die entwickelte Planungsumgebung sehr umfangreich. Untersuchungsmöglichkeiten bestehen z.B. in:

- Lastvariationen IST- und Prognosedaten
  - Artikelspektrum (Anzahl, Grössenverteilung, Gewichtsverteilung, ...)
  - Lieferauftragspektrum (Aufträge, Positionen, Positionen/Auftrag)
- Systemvariationen
  - Bereiche, Bausteine
  - 1-stufig, 2-stufig
- Topologievariationen
  - Seriell, Parallel, Kombinationen
- Strategievariationen Kommissionierauftragsgenerierung
  - Serienbildung, Seriengrösse, Grenzen Produktgruppen ABC, I/II/III, ...
- Parametrisierungsvariationen in den Bereichen und Bausteinen
  - Anzahl Zonen, Gassen, Ebenen, ...
  - Typ des Bereitstellbehälters, Typ des Kommissionierbehälters
- Strategievariationen Bereitstellung und Kommissionierung
  - Artikel-Platz-Zuordnung (Lagerspiegel, Verteilungsfunktionen, ...)

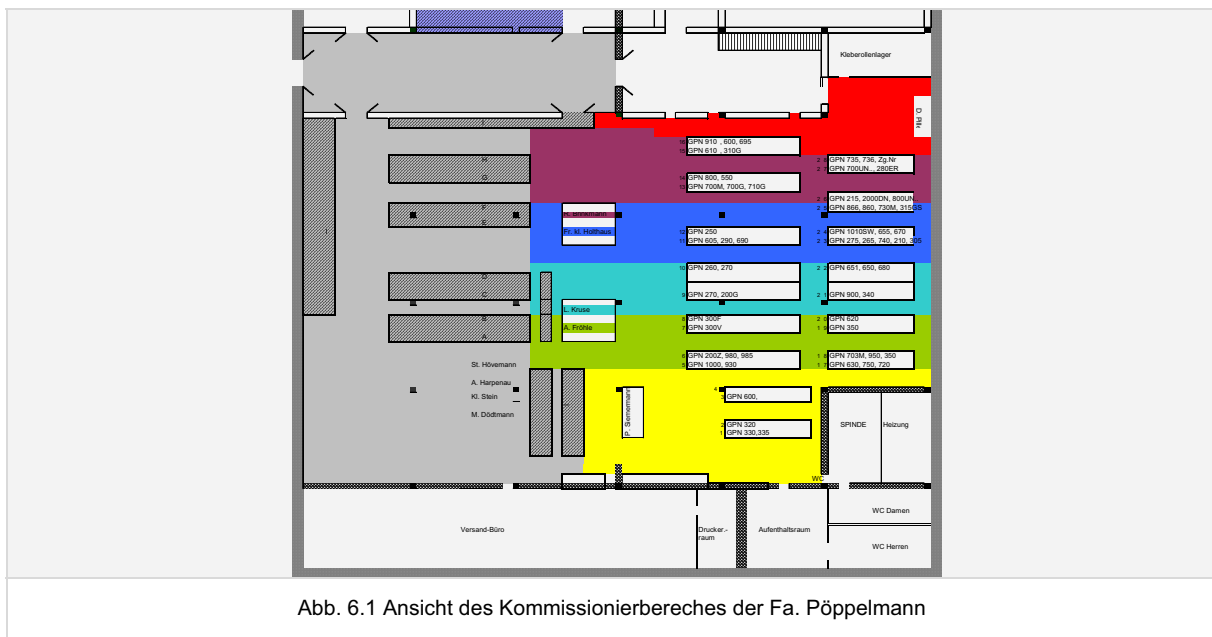
Die Auswahl und Ausformulierung der Referenzszenarien erfolgte insbesondere so, dass möglichst viele verschiedene Simulationsbausteine und verschiedene Konfigurationen der Datengenerierung zur Anwendung kommen. Die Auswahl Zwei der Referenzszenarien basieren dabei auf realen Systemen der Firmen Pöppelmann und Ludwig Meister. Die anderen beiden sind frei definiert mit Fokussierung auf die Ableitung von Gestaltungsrichtlinien.

### 6.1 Referenzszenario I: konventionelles vs. Kommissionieren in Zonen (Fa. Pöppelmann)

Das Szenario der Pöppelmann GmbH stellt ein Referenzszenario für ein Unternehmen mit mittelgroßem Sortiment bei sehr kleinen Artikelgrößen (überwiegend Schüttgut) und überwiegend manueller Abwicklung dar.

Die Kommissionierung ist heute getrennt in Ganzkarton- und Anbruchkommissionierung. Der Ganzkarton-Bereich ist durch Boden- oder Regallagerung von artikelreinen Paletten gekennzeichnet. Die Anbruchkommissionierung erfolgt aus einem Fachbodenregal in dem die Anbruchkartons bereitgestellt, durch die Kommissionierer entnommen und an einem stationären Arbeitsplatz durch einen Zählwiege-Prozess kommissioniert werden. Anschließend erfolgt die Rücklagerung des Anbruchkartons in das Bereitstelllager. Beide genannten Kommissionierbereiche werden im Versandbereich durch Bereitstellen auf Bodenstellplätzen zusammengeführt.

Insgesamt umfasst das aktive Sortiment – also Artikel mit Bewegung innerhalb des letzten Jahres - ca. 4000 Artikel. Im Anbruchlager, auf dem der Hauptfokus der Betrachtungen liegt, befinden sich ca. 1200 Artikel. Am Tag werden in den Kommissionierbereichen ca. 550 Lieferaufträge bearbeitet. Hierbei besteht die Auftragsstruktur überwiegend aus kleinen Aufträgen mit 1 oder 2 Positionen.



Der Fokus der Untersuchungen in diesem Szenario liegt in der Betrachtung der verschiedenen zukünftigen Entwicklungen und der Untersuchung und Bewertung von verschiedenen Abwicklungsvarianten bzgl. Kosten, Zeitanteile und Durchlaufzeiten, wobei die Möglichkeiten der Gestaltung alternativer Technik- und Organisationsvarianten durch eine beengte Raumsituation und relativ geringe Leistungsanforderungen eingeschränkt war.

## 6.1.1 Definitionen

### 6.1.1.1 Modellunabhängige Ausgangsdaten (fml)

Im Bereich der Modellunabhängigen Daten werden im Folgenden die Daten beschrieben die die generellen Anforderungen an das Kommissioniersystem bzgl. Leistung und Kapazität definieren.

#### Sortiment

Im Anbruchlager werden ca. 4.000 unterschiedliche Artikel kommissioniert, jedoch werden nur maximal 1.360 Artikel an einem Arbeitstag bereitgestellt. D.h. durch die bekannte Arbeitslast zum Beginn des Arbeitstages, werden nur die Artikel im Anbruchlager bereitgestellt, für die auch Lieferaufträge vorliegen. Das reale Sortiment wechselt dementsprechend täglich. Für die Durchführung der Simulationsstudie werden diese Artikelwechsel vernachlässigt. Es wird davon ausgegangen, dass die Kurve der Zugriffshäufigkeiten auf die Bereitstellplätze durch die Artikelwechsel keine wesentliche Änderung aufweist.

Die Verteilung der Zugriffshäufigkeiten der Artikel für das betrachtete Sortiment von 1360 Artikeln (Anbruchlager) ist in Abbildung 6-1 dargestellt.



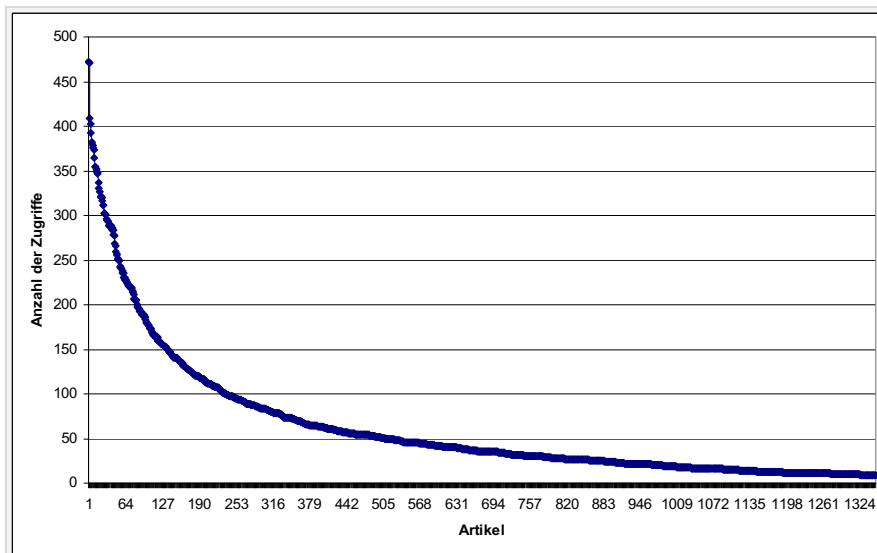


Abbildung 6-1: Zugriffshäufigkeit der Artikel im aktuellen Sortiment bzgl. des vergangenen Jahres

### Lieferauftragsstruktur

Die für dieses Szenario importierten Lieferaufträge wurden über 248 Arbeitstage erfasst. Darunter waren nach der Definition in Abschnitt 4.2 insgesamt 41 Spitzentage und 207 Normaltage. Die erfasste Lieferauftragsanzahl an einem Spitzentag beträgt 200 und einem Normaltag 145.

Die Häufigkeiten der Positionsanzahl je Lieferauftrag bezogen auf einen Normaltag ist in Abbildung 6-2 dargestellt.

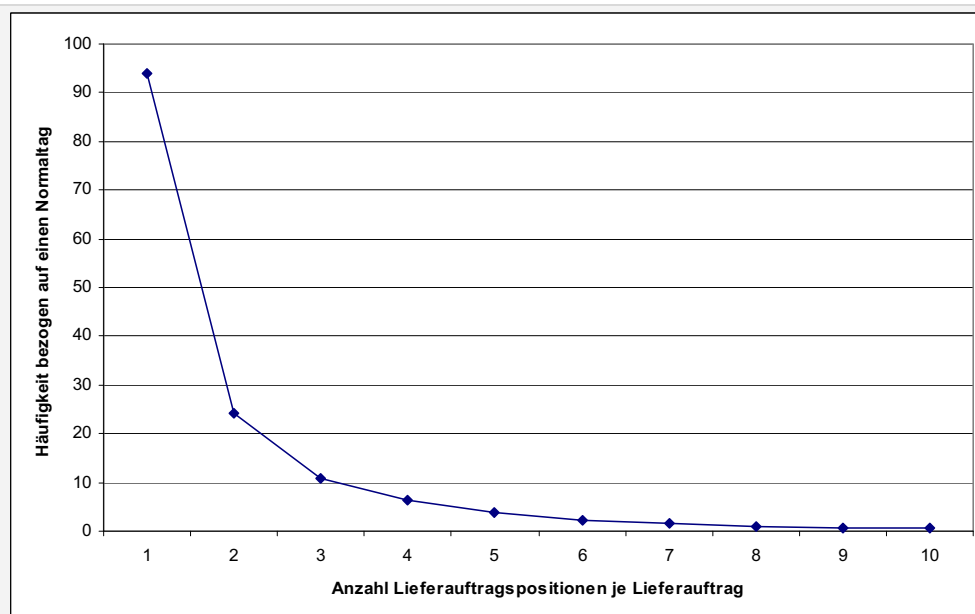


Abbildung 6-2: Häufigkeitsverteilung der Lieferauftragspositionen je Lieferauftrag in den Originaldaten

Um in der Simulation die Pickzeit pro Position berücksichtigen zu können wird des Weiteren auch die Verteilung der Menge pro Lieferauftragsposition benötigt. Bei dieser ist zu erkennen, dass überwiegend 10er Potenzen als Mengen bestellt werden (vgl. Abbildung 6-3). Schwerpunkt dabei bilden die Bestellmengen 50, 100, 200, 300, 500, 1.000, 2.000 und 5.000. Es handelt sich überwiegend um Schüttgutpositionen.

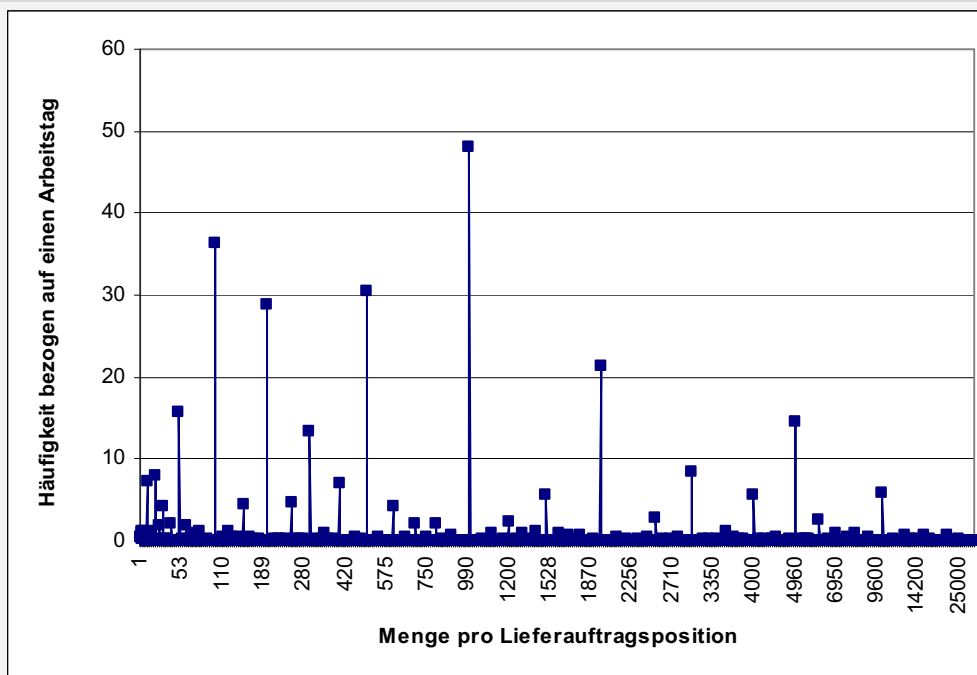


Abbildung 6-3: Häufigkeitsverteilung der Menge pro Lieferauftragsposition in den Originaldaten

### Prognostizierte Entwicklungen

Die Prognose der zukünftigen Entwicklung wurde über das vorangehend dargestellte Prognoseformular definiert und enthielt Daten bzgl. der 3 Prognoseformen

- positiv
- ausgeglichen
- negativ

Hierbei wurde in Abhängigkeit der Prognoseform von einem mehr oder weniger starken Wachstum der Anzahl der Lieferaufträge und Anzahl Auftragspositionen ausgegangen.

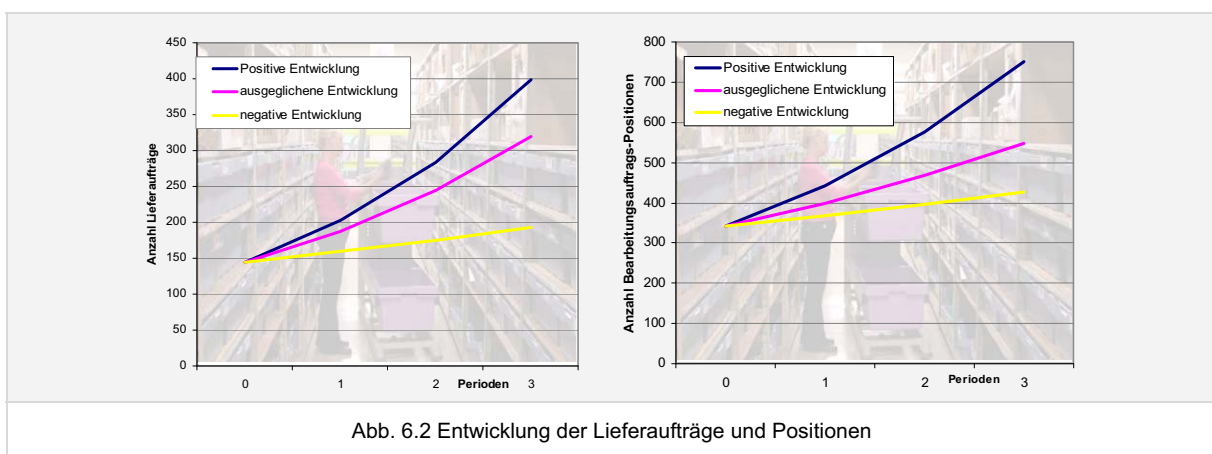
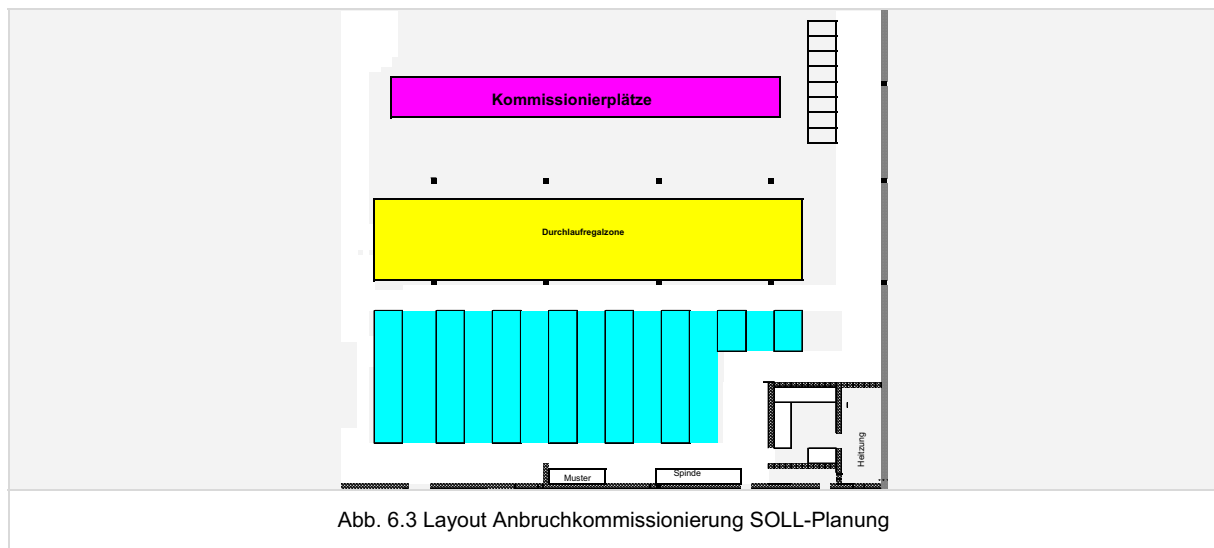


Abb. 6.2 Entwicklung der Lieferaufträge und Positionen

#### 6.1.1.2 Modell „konventionelle Kommissionierung“ (IML)

Das Modell „konventionelle Kommissionierung“ stellt eine SOLL-Planung dar, die kurzfristig bei der Fa. Pöppelmann umgesetzt werden sollte und somit als Basisvariante betrachtet wurde. In diesem Modell existiert weiterhin eine Ganzkartonkommissionierung und eine Anbruchkommissionierung. In der Anbruchkommissionierung kommen jedoch zusätzlich zu den

Fachbodenregalen noch Durchlaufregale in Form von doppelt-tiefen Fachbodenplätzen für die Bereitstellung der Anbruchkartons zum Einsatz. Eine Übersicht über das Layout des Anbruchkommissionier-Bereiches gibt folgende Abbildung:



Details zur Modellierung, Technikdimensionierung und Abbildung in der Simulation werden im folgenden Kapitel zur Modellbildung vorgestellt.

#### 6.1.1.3 Modell „Kommissionieren in Zonen“ (IML)

Wie bereits erwähnt sind die Möglichkeiten für die Gestaltung alternativer Technik- und Organisationsvarianten durch eine beengte Raumsituation und relativ geringe Leistungsanforderungen hier stark eingeschränkt. So kamen Automatisierungs-Konzepte wie z.B. automatische Kleinteilelager oder massiver Fördertechnikeinsatz hier nicht in Frage.

Als sinnvolle und interessante Modellvariante wurde hier das Anbruchlager in zunächst 4 Zonen unterteilt, wobei in jeder Zone maximal ein Mitarbeiter arbeitet und die Lieferaufträge die Zonen nacheinander bis zur Fertigstellung durchlaufen – also ein Zone-Picking-System entsprechend dem beschriebenen Baustein-Typ 2. Die genaue Dimensionierung wird ebenfalls im folgenden Kapitel zur Modellbildung beschrieben.

### 6.1.2 Datenvorbereitung

#### 6.1.2.1 Modellunabhängige Datengenerierung (fml)

Die modellunabhängigen Ausgangsdaten für die Systemlast sind zum einen das Sortiment, zum anderen die Lieferauftragsdaten. Beides bleibt für alle zu untersuchenden Modelle identisch und wird einmal für jede betrachtete Periode und Entwicklungsart (bzgl. des Sortiments) bzw. Simulationslauf (bzgl. der Lieferaufträge) generiert.

#### Generierung der Sortimente

In der Simulation werden 10 verschiedene Perioden betrachtet, für die es jeweils ein Sortiment entsprechend der prognostizierten Entwicklungen zu generieren gilt. Zunächst werden in Abbildung 6-4 die Zugriffshäufigkeiten der Originalartikel mit denen des generierten Sortiments für die Periode 0 dargestellt. Die entstandenen Abweichungen sind dabei marginal.

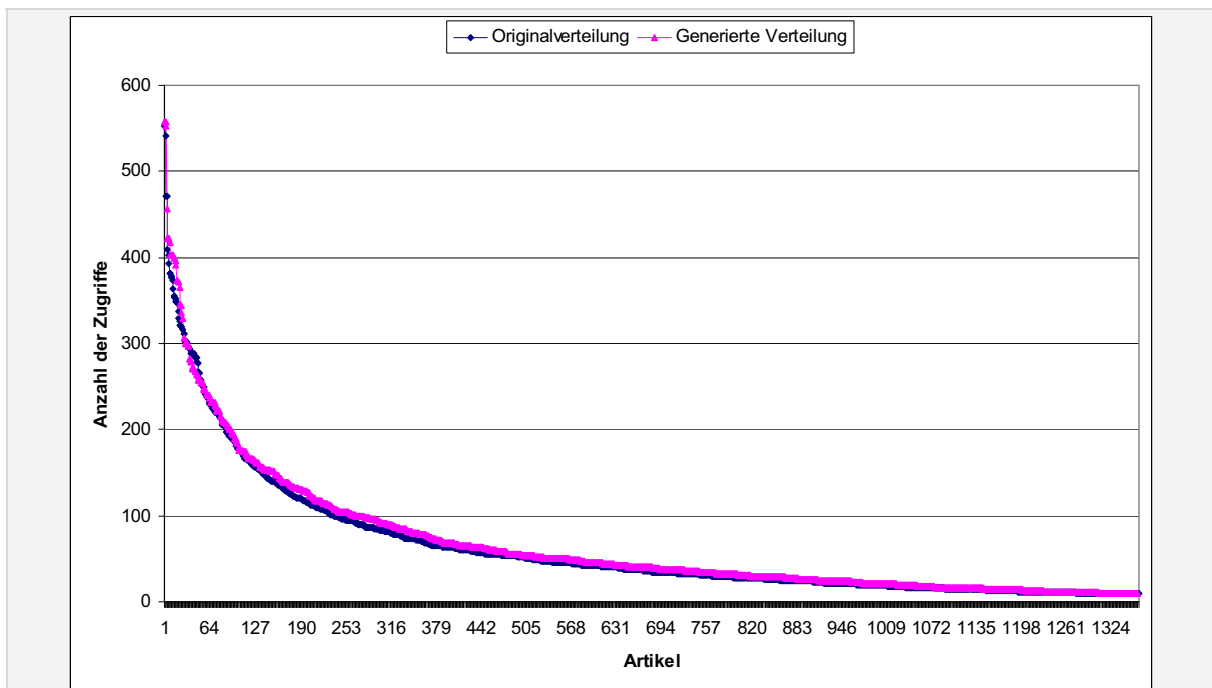


Abbildung 6-4: Vergleich der Zugriffshäufigkeit des Originalsortiments mit generiertem Sortiment für Periode 0

Die Zugriffshäufigkeiten in den zukünftigen Perioden wird gemäß den prognostizierten Entwicklungen verändert. Für die optimistische Entwicklung wird dabei durch die Steigerung der Auftragsanzahl die Zugriffshäufigkeit durchgehend steigend beeinflusst. Zum Zwecke der Validierung wird die optimistische Entwicklung in Abbildung 6-5 dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass mit steigender Periode die Kurve der Zugriffshäufigkeit höher verläuft als die der Vorperiode und damit das gewünschte Ergebnis generiert wurde.

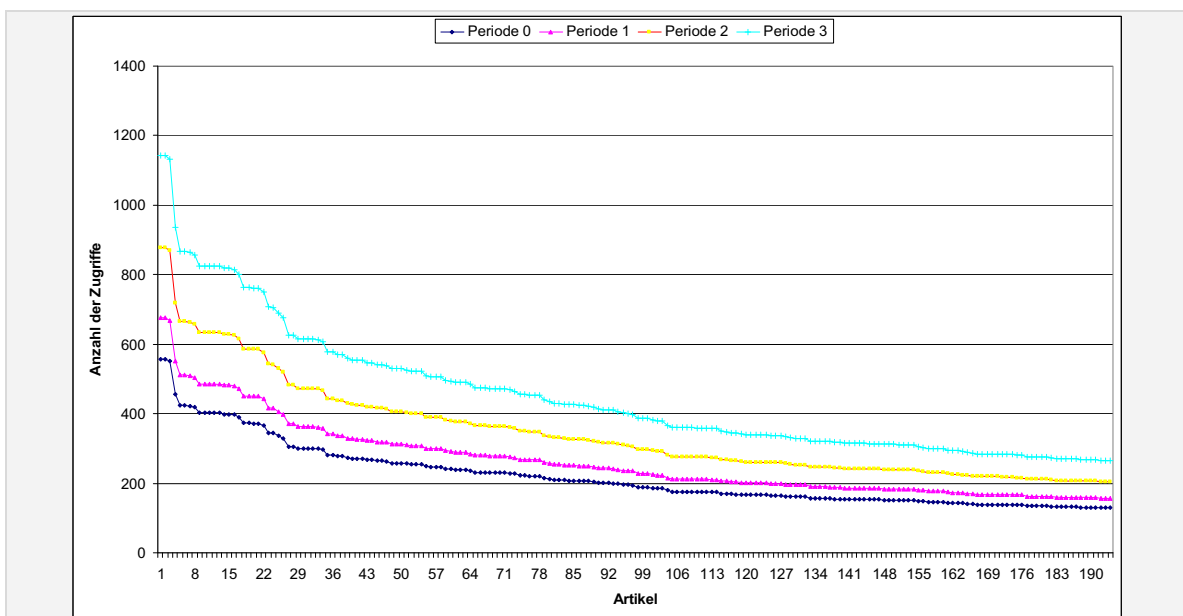
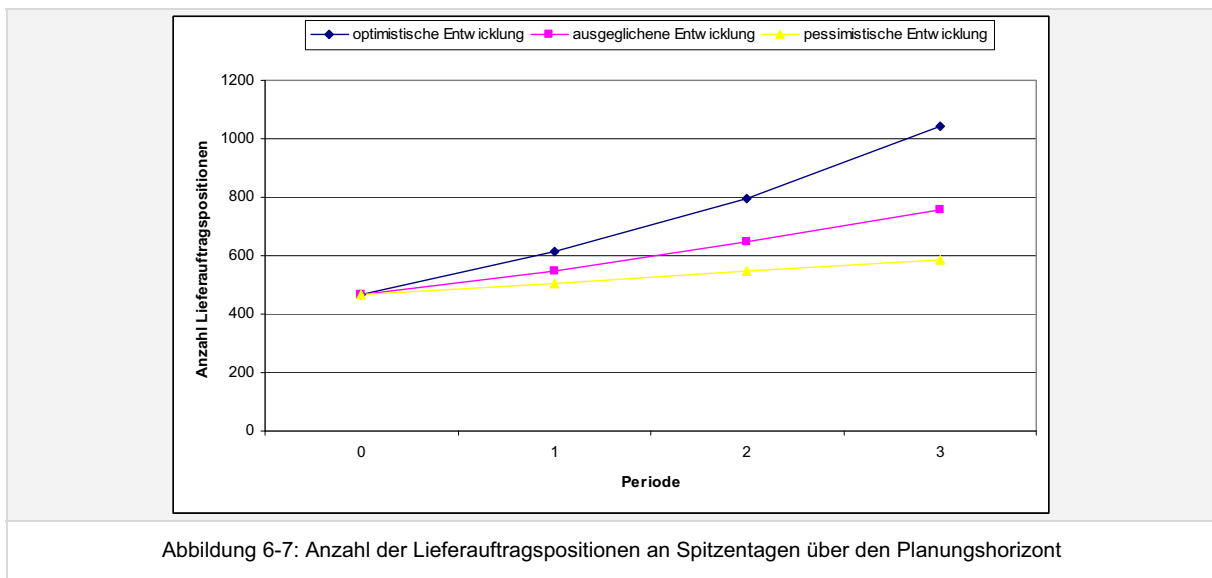
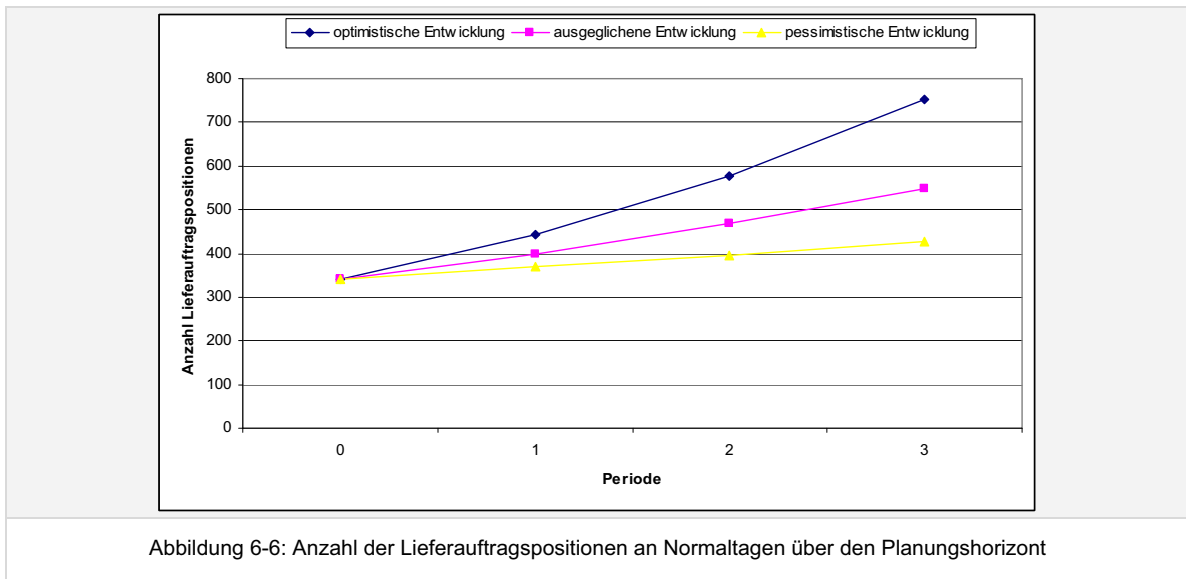


Abbildung 6-5: Zugriffshäufigkeiten des Sortiments über den Planungshorizont bezogen auf die optimistische Entwicklung

### Generierung der Lieferaufträge

Als wesentliche Leistungsanforderung an ein Kommissioniersystem gelten vor allem die Anzahl der Lieferauftragspositionen, die es zu erfüllen gilt. Um deren Verlauf entsprechend der

definierten prognostizierten Entwicklungen aufzuzeigen, werden diese für die Normaltage in Abbildung 6-6 und für die Spitzentage in Abbildung 6-7 dargestellt.



Im Weiteren wird die Positionsanzahl in den generierten Lieferaufträgen für die Startperiode (Periode 0) mit denen der Originaldaten bzgl. eines Normaltages verglichen (vgl. Abbildung 6-8).

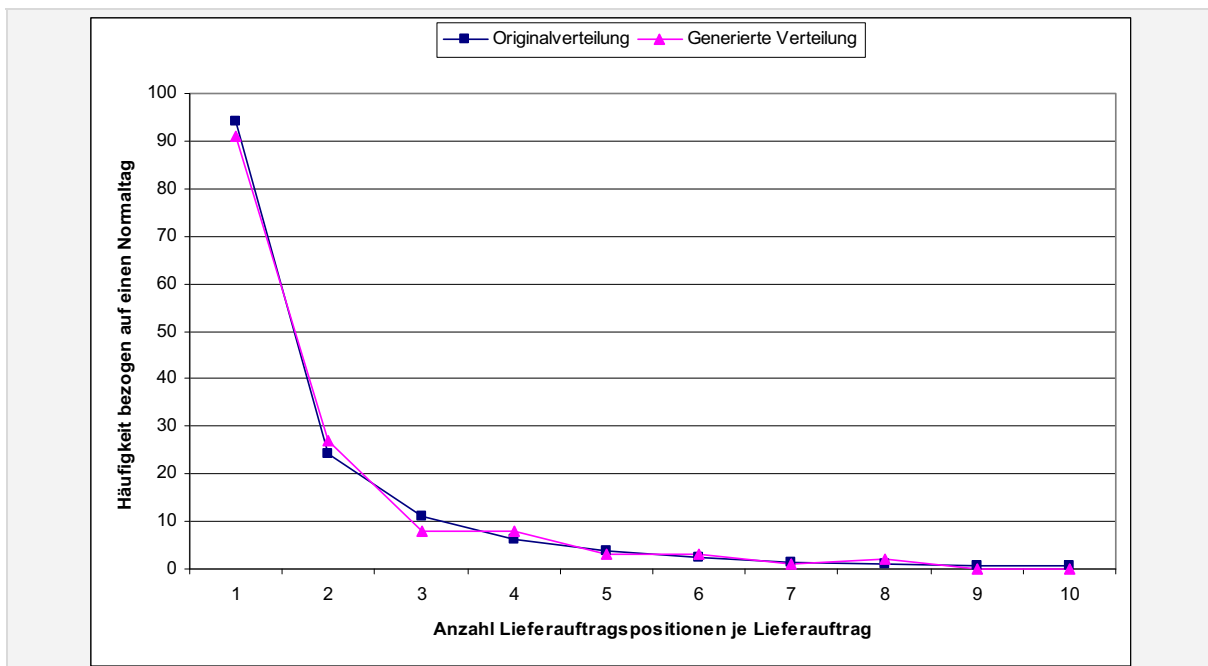


Abbildung 6-8: Vergleich der generierten mit der Originalverteilung für die Lieferauftragspositionen je Lieferauftrag

### 6.1.2.2 Modellbildung „konventionelle Kommissionierung“ (IML)

Unter Verwendung des im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelten Modellierungspadigmas wurde das Kommissioniersystem entsprechend der SOLL-Planung modelliert und parametrisiert. Folgende Darstellung veranschaulicht die Topologie dieses Modells:

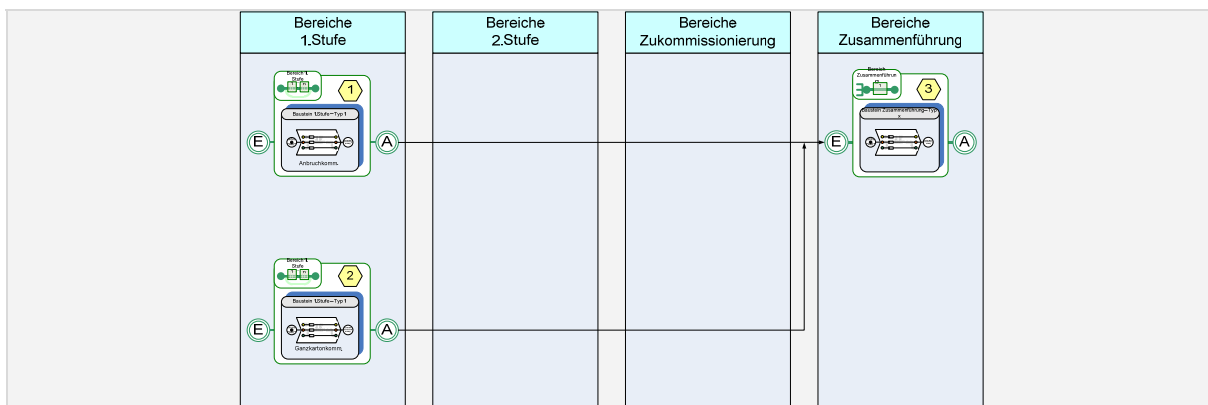
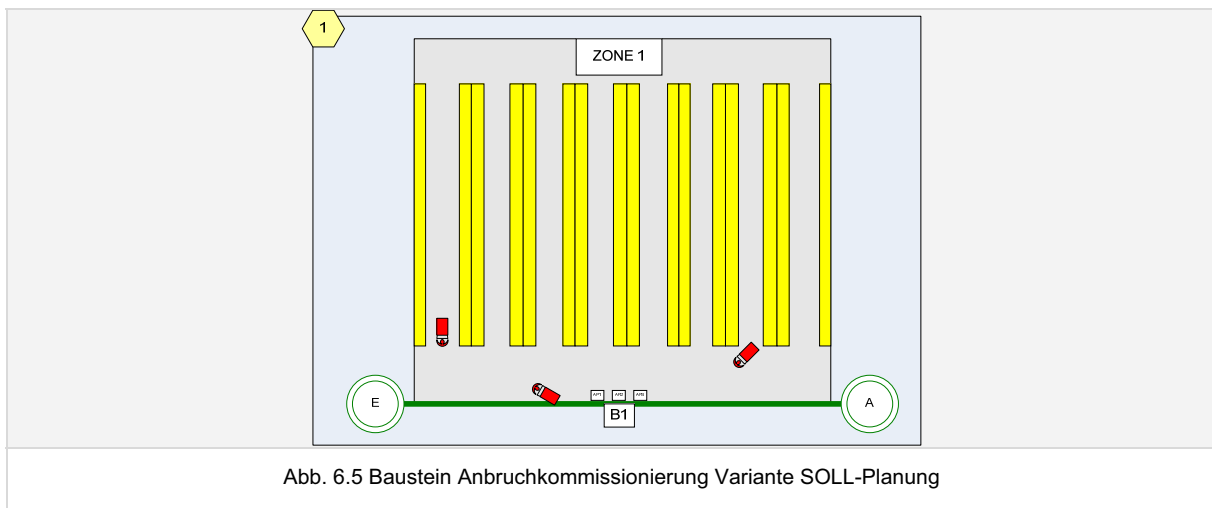


Abb. 6.4 Topologie Variante SOLL-Planung

Die Topologie zeigt 3 Bausteine. Der Baustein 1 stellt die Anbruchkommissionierung dar, auf welcher der Fokus der Untersuchungen lag. Hierbei handelt es sich um einen Baustein vom Typ 1. Die Bereitstellung der Artikel erfolgt im Originalkarton in Fachbodenregalen (1000 Artikel in Periode 0) oder Durchlaufregalen mit 2-fach-tiefer Bereitstellung (360 Artikel in Periode 0) in insgesamt 8 Gassen. Ein Prinzipbild des Bausteins zeigt folgende Abbildung:



Der gesamte Baustein enthält eine Zone in der drei Mitarbeiter parallel arbeiten. Die Kommissionierung erfolgt aufgrund der Besonderheit des Schüttgut-Kommissionierens hier an stationären Arbeitsplätzen (Basis B1) an denen das Wiegen, Kommissionieren und Verpacken erfolgt. Das heißt der Kommissionierer holt sich eine komplette Bereitstellungseinheit eines Artikels zum Arbeitsplatz, entnimmt die entsprechende Menge und bringt die Anbruchmenge wieder zurück zum Lagerplatz.

In der Topologie-Darstellung ist zusätzlich noch ein Baustein 2 im Bereich der ersten Stufe dargestellt. Dieser stellt einen Bereich dar, aus dem Ganzkartonmengen kommissioniert werden. Da dieser jedoch mengenmäßig und auch bzgl. des zu erwartenden Optimierungspotenzials eine untergeordnete Rolle spielt wurde er in den weiteren Betrachtungen vernachlässigt.

Als dritter Baustein ist in der Topologie-Darstellung ein Baustein im Bereich Zusammenführung dargestellt. Er stellt die rein logische Zusammenführung von Teilaufträgen dar. In der Praxis werden Teilaufträge in Regalen oder auf Bodenstellplätzen zusammengeführt.

Die Lagerdimensionierung des Bereitstellagers für die Anbruchkommissionierung erfolgte entsprechend den Vorgaben der SOLL-Planung über den Parametersatz des Bausteins vom Typ 1. Parametereinstellung waren hier z.B.

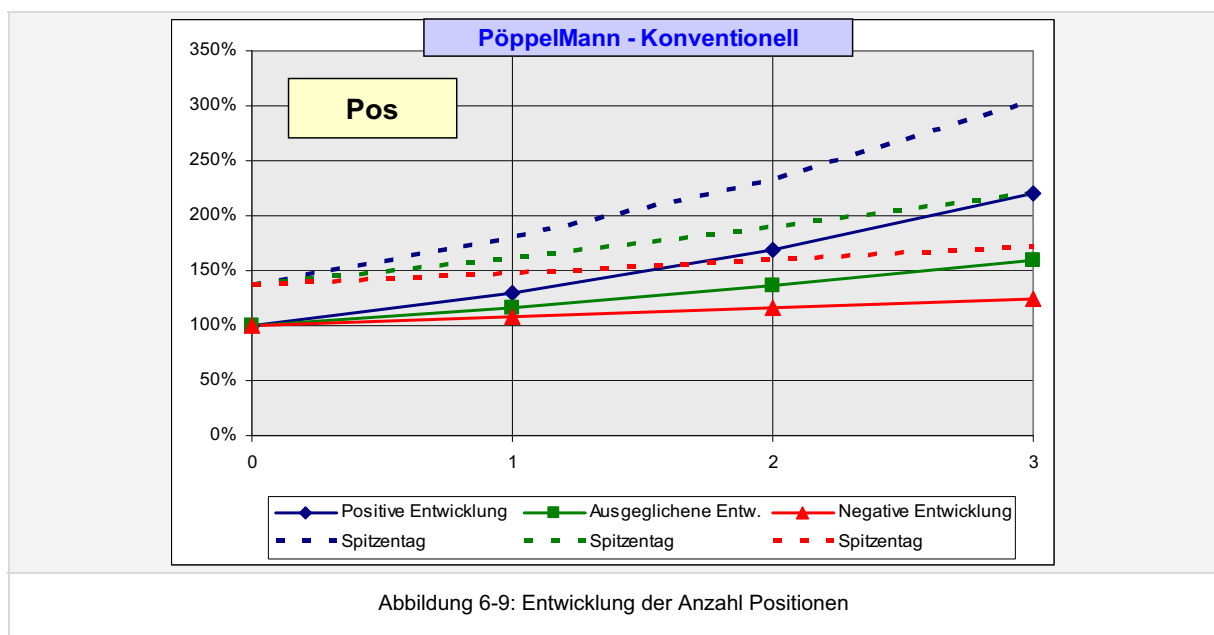
- $KB\_Transportsystemtyp = 0$  (das heißt es existiert keine Transportsystem)
- $KB\_AnzahlPlaetzelInZone = 30$  (beschreibt die Anzahl Serien/Transporteinheiten die in einer Zone gepuffert werden können)
- $SBL\_FachHoehe = 0,35$  (bezeichnet die Höhe die für die Bereitstellung eines Bereitstellbehälters im Fach benötigt wird in Meter)
- $SBL\_FachBreite = 0,45$
- $SBL\_FachTiefe = 0,65$
- $SBL\_BreiteKopfgang = 1,1$  (bezeichnet entsprechend den bemasteten Prinzipbildern die Breite des Kopfgangs des Bereitstellagers in Meter)
- $SBL\_BreiteKommissioniergang = 1,1$  (bezeichnet die Breite des Kommissioniergangs im Fachbodenregal)
- $SBL\_AnzahlGassenJeZone = 8$  (bezeichnet die Anzahl Gassen je Zone)
- $SBL\_AnzahlSpaltenJeGasse = 22$  (bezeichnet die Anzahl der Lagerplätze in horizontaler Richtung hintereinander in einer Gasse)
- $SBL\_AnzahlZeilen = 6$  (bezeichnet die Anzahl Plätze in vertikaler Richtung übereinander, also hier die Anzahl der Ebenen im Fachbodenregal/Durchlaufregal))

Des Weiteren wurde die Kostenparameter pro Lagerplatz, je Zone, je  $m^2$  Fläche definiert.

Die Parameter für die Basiszeiten, Greifzeiten und die Abgabezeiten wurden mit Bezug zum IST-Zustand bei der Fa. Pöppelmann bzgl. Personal, Leistung und Arbeitszeit parametrisiert. Hier war die Anbruchkommissionierung mit drei Mitarbeitern in acht Stunden zu bewältigen.

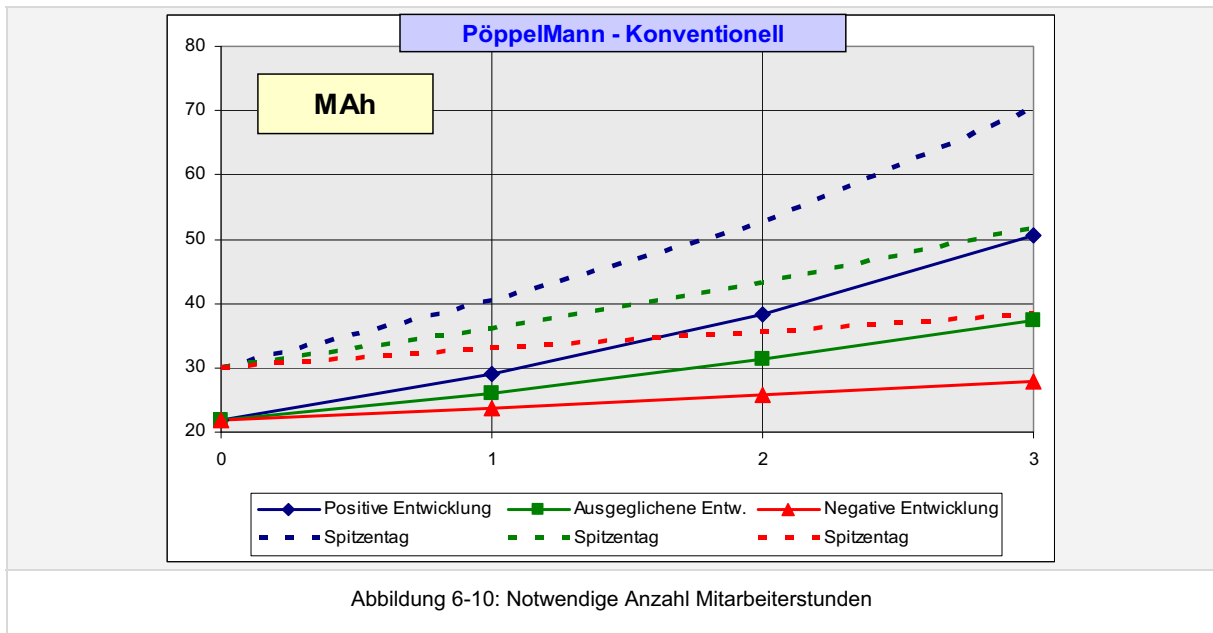
Eine Verwendung von MTM-Vorgabezeiten für die Greif- und Abgabezeiten schied hier aufgrund der Problematik der Schüttgutkommissionierung durch Zählwiegen aus, da keine klare Relation zwischen der zu kommissionierenden Menge und der notwendigen Anzahl Entnahme- und Abgabevorgänge definiert werden kann. Der Kommissionieraufwand wurde demnach unabhängig von der zu kommissionierenden Stückzahl über eine Vorgabezeit für eine Position berechnet.

Die Anzahl der in der Anbruchkommissionierung notwendigen Kommissionierer ergibt sich in diesem einfachen Baustein durch Hochrechnung der Mitarbeiterbedarfe. Bei einer Steigerung der Positionsanzahl von 30.2% je Periode und einen um 40% höheren Spitzentag gegenüber einem Normaltag steigt der zu bewältigende Kommissionieraufwand dabei in Stufen auf das dreifache (vgl. Abbildung 6-9).



Zur Bestimmung der Anzahl der Kommissionierer wurde davon ausgegangen, dass für die konventionelle Kommissionierung in der Basissimulation, also in der Periode 0, nur drei Arbeitsplätze zur Verfügung stehen, wie das in der Praxis auch der Fall war. In der Periode 1 stehen 4 Arbeitsplätze und in den Perioden 2 und 3 stehen 5 Arbeitsplätze zur Verfügung.





Daraus ergeben sich die Anzahl der Mitarbeiter, die in den jeweiligen Simulationsläufen vorzusehen sind, sowie deren maximale Arbeitszeit (vgl. Abbildung 6-11)

Periode	0		1				2				3									
	1		2		3		1		2		3		1		2		3			
StetigePrognoseID	0		1		2		3		4		5		6		7		8		9	
GesamtPrognoseID	/		+		=		-		+		=		-		+		=		-	
StetigePrognoseBezeichnung	N		S		N		S		N		S		N		S		N		S	
Normal/Spizentag	1		11		2		12		3		13		4		14		5		15	
SimulationslaufID	3		3		4		4		3		4		3		4		5		5	
Anzahl Mitarbeiter	3		3		4		4		3		4		3		4		5		5	

Simulationslauf	Konventionell	
	Mitarbeiter	Arbeitszeit
1	3	8:00
2	4	7:45
3	3	9:15
4	3	8:30
5	5	8:00
6	4	8:15
7	3	9:15
8	5	10:30
9	4	9:30
10	3	10:00
11	3	11:00
12	4	10:45
13	4	9:45
14	4	9:00
15	5	11:15
16	5	9:00
17	4	9:45
18	5	14:30
19	5	10:30
20	5	8:15

Abbildung 6-11: Anzahl Mitarbeiter, und maximale Arbeitszeit für die Simulationsläufe

### 6.1.2.3 Modellbildung „Kommissionieren in Zonen“ (IML)

Der Unterschied zum Modell „konventionelles Kommissionieren“ besteht wie bereits erwähnt darin, dass das Bereitstellager in Zonen unterteilt wird und der Auftrag die Zonen nacheinander durchläuft.

*Anmerkung: Hier ist auch eine Variante denkbar in denen die Zonen parallel angeordnet sind und die Teilaufträge in einer Zusammenführung zusammengeführt werden. Die Modellierung der Anbruchkommissionierung würde über 4 Bereiche mit je einem Baustein mit je einer Zone erfolgen*

Aus Topologie-Sicht stellt sich diese Variante unverändert gegenüber der SOLL-Planung dar. Das Prinzipbild des Bausteins „Anbruchkommissionierung“ ist in folgender Abbildung dargestellt und basiert auf dem definierten Baustein vom Typ 2:

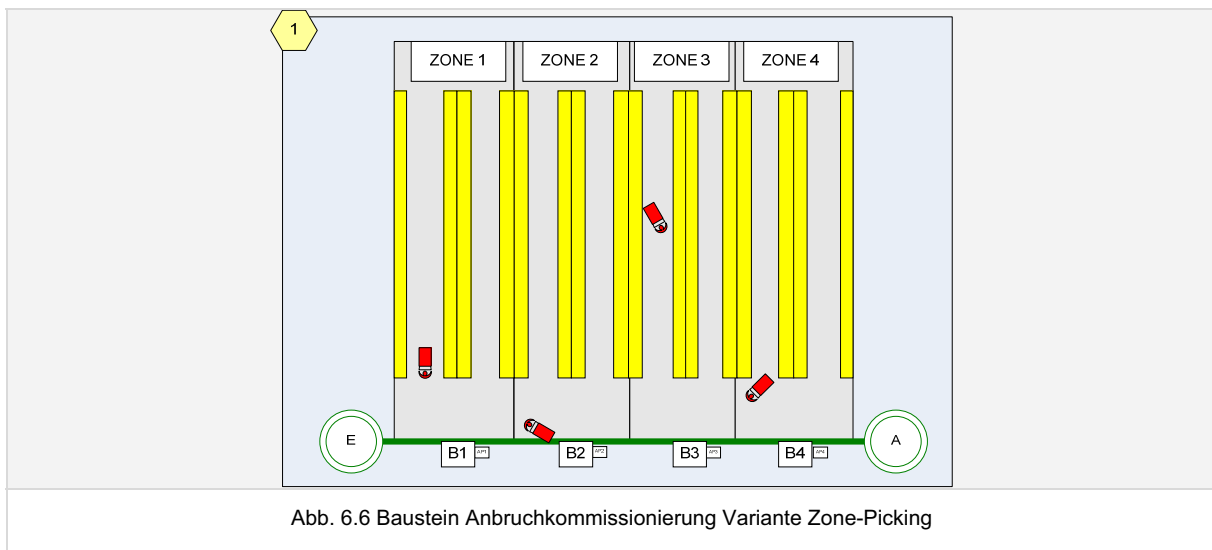


Abb. 6.6 Baustein Anbruchkommissionierung Variante Zone-Picking

Die Dimensionierung des Lagers entspricht in Summe der Dimensionierung im Modell „konventionelles Kommissionieren“, jedoch mit einer entsprechend geringeren Anzahl Gassen je Zone. Beim Kommissionieren in Zonen wurden für die Perioden 0 und 1 vier Zonen mit zwei Gassen vorgesehen und in den Perioden 2 und 3 wurden fünf Zonen mit je zwei Gassen vorgesehen.

Die benötigten Kommissionier-Stunden ergeben sich wieder analog zur Steigerung der Positionen. Die absoluten Mitarbeiterstunden sind hier etwas geringer als beim „konventionellen Kommissionieren“, da die Wege zwischen Basis und Kommissioniergasse etwas kürzer werden.

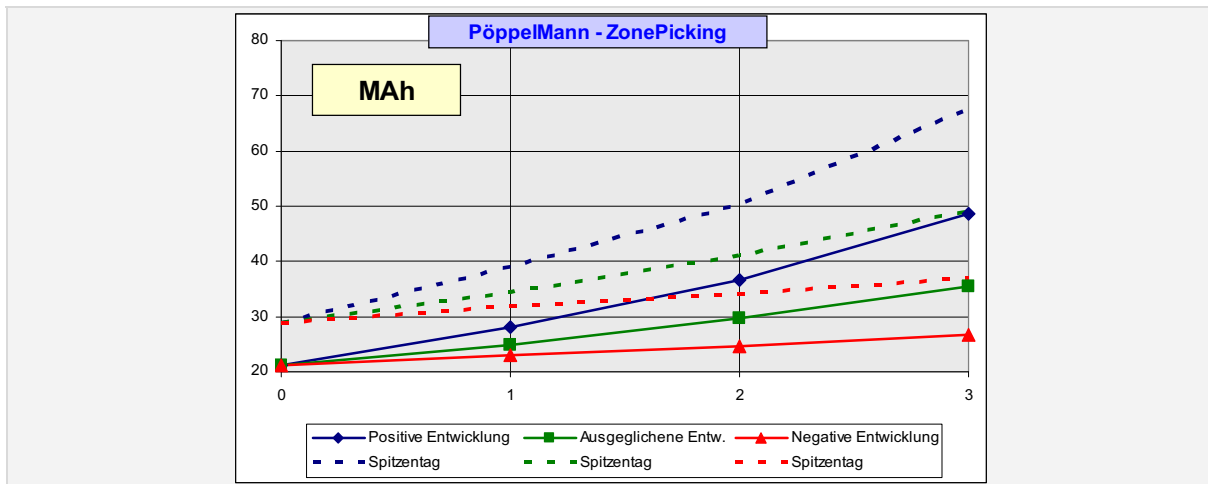


Abbildung 6-12: Notwendige Anzahl Mitarbeiterstunden

Daraus ergeben sich die Anzahl der Mitarbeiter, die in der Simulation vorzusehen sind, sowie deren maximale Arbeitszeit (Siehe Tabelle)

Simulationslauf	Konventionell		Zone-Picking	
	Mitarbeiter	Arbeitszeit	Mitarbeiter	Arbeitszeit
1	3	8:00	3	7:45
2	4	7:45	3	10:00
3	3	9:15	3	9:00
4	3	8:30	3	8:15
5	5	8:00	4	9:45
6	4	8:15	3	10:30
7	3	9:15	3	9:00
8	5	10:30	5	10:15
9	4	9:30	4	9:15
10	3	10:00	3	9:45
11	3	11:00	4	8:00
12	4	10:45	4	10:30
13	4	9:45	4	9:30
14	4	9:00	4	8:45
15	5	11:15	5	11:00
16	5	9:00	5	8:45
17	4	9:45	4	9:30
18	5	14:30	5	14:15
19	5	10:30	5	10:15
20	5	8:15	4	10:00

Abb. 6.7 Anzahl Mitarbeiter, und maximale Arbeitszeit für die Simulationsläufe

#### 6.1.2.4 Datenaufbereitung und –optimierung „konventionelle Kommissionierung“ (fml)

Nach erfolgreicher Erzeugung der Lagerspiegel werden die Lieferaufträge auf die angelegten Bereiche des Modells aufgeteilt. Dabei entstehen aus den insgesamt über alle Simulationsläufe angelegten 5.496 Lieferaufträgen, 5.496 Behälteraufträge, da es sich bei diesem Modell um nur einen Bereich handelt und der Lieferauftrag somit dem Behälterauftrag entspricht. Die Behälteraufträge eines Arbeitstages werden zu einem Batch zusammengefasst, da mit definierter Seriengröße eins keine echten Serien gebildet werden. Somit werden auch genau 5.496 Serienaufträge erzeugt.

Darüber hinaus werden 5.496 Bearbeitungsaufträge und 5.496 Zusammenführungsaufträge erzeugt. Auch diese entsprechen jeweils den Lieferaufträgen.

### 6.1.2.5 Datenaufbereitung und –optimierung „Kommissionieren in Zonen“ (fml)

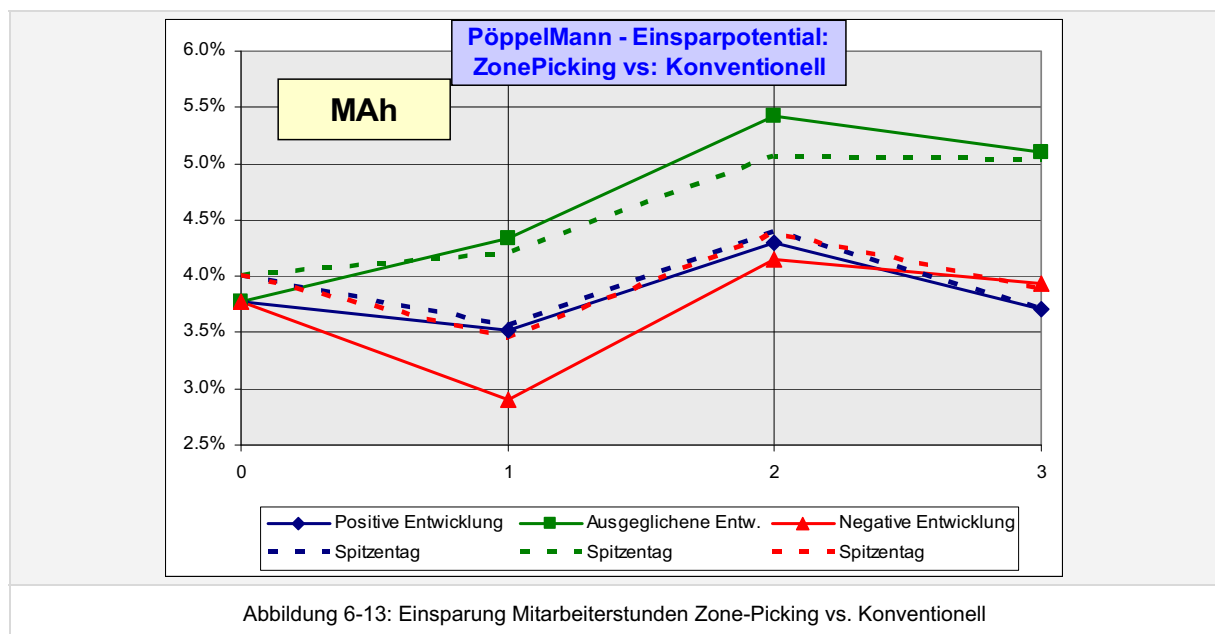
Die Vorgehensweise bei der Datenaufbereitung für das Modell „Kommissionieren in Zonen“ verläuft äquivalent zu Abschnitt 6.1.2.4. Einzige Ausnahme bildet die höhere Anzahl an zu generierenden Bearbeitungsaufträgen. Auf Grund der Aufteilung in mehrere Zonen, sind an einem Behälterauftrag auch mehrere Kommissionierer beteiligt und es entstehen 8.219 Bearbeitungsaufträge.

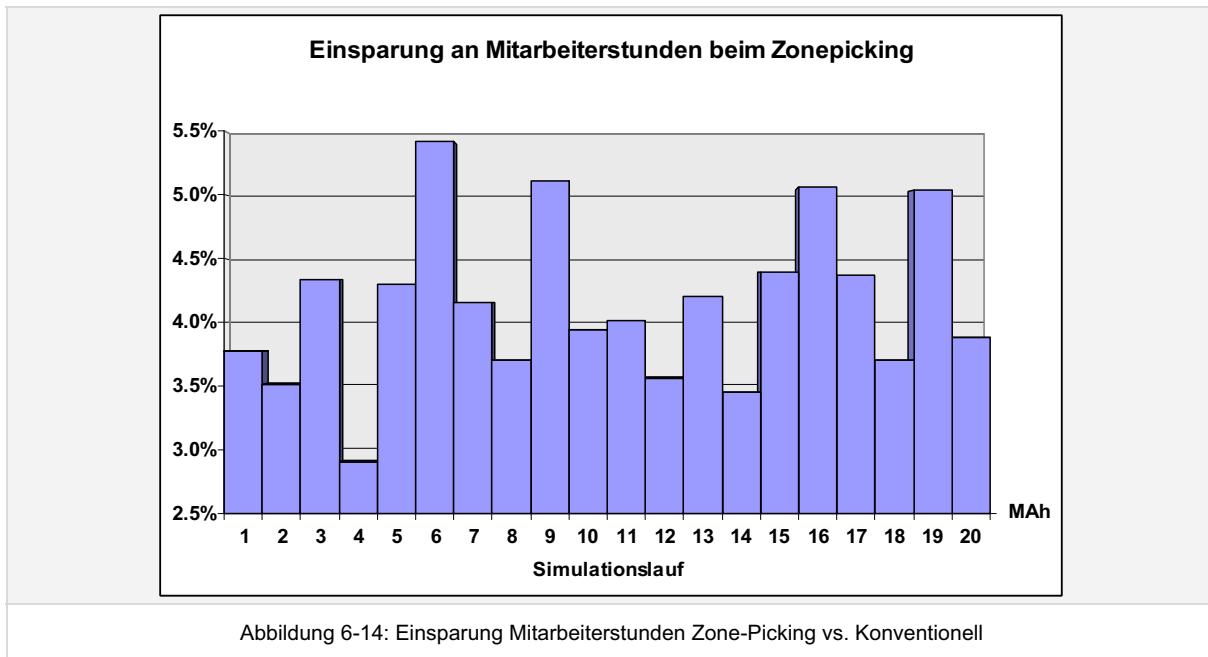
## 6.1.3 Simulation (IML)

### 6.1.3.1 Ergebnisse des Preprozessings und Ressourceneinsatz

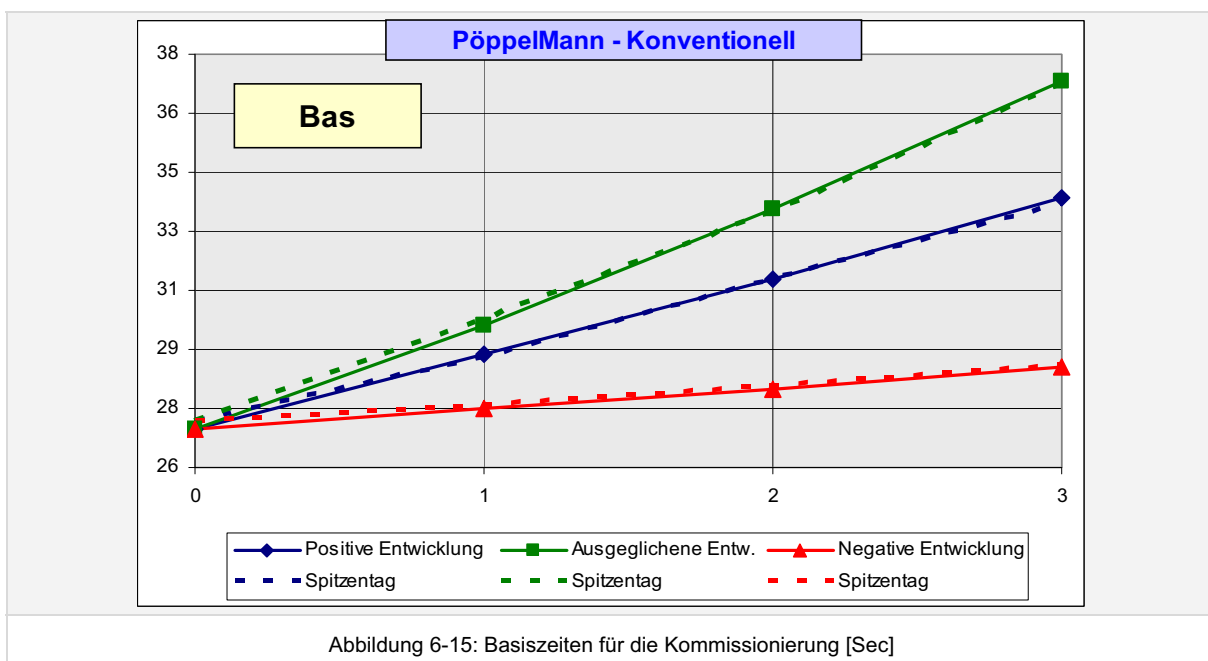
Ergebnis des Preprocessing ist zum Einen die schon beschriebene Ermittlung der notwendigen Anzahl Kommissionierer und daraus abgeleitet die im Modell „Kommissionieren in Zonen“ benötigte Anzahl Zonen für die jeweiligen Perioden und Prognosen. Bei komplexeren Systemen muss die im Preprocessing ermittelte Anzahl Mitarbeiter in den Bereichen nicht immer genau der optimalen Konfiguration entsprechen, aber es können zumindest sinnvolle Startwerte generiert werden, um den Aufwand für die Simulationsexperimente gering zu halten.

Schon im Rahmen des Preprocessings können einige Erkenntnisse allein aus vorberechneten Daten gewonnen werden. So ergibt hier z.B. ein Vergleich der Nettoarbeitszeiten der beiden Szenarien, dass die Anzahl der Mitarbeiterstunden in der Variante ZonePicking um 3% bis 5.5% sinkt (Siehe Abbildung 6-13 und Abbildung 6-14).



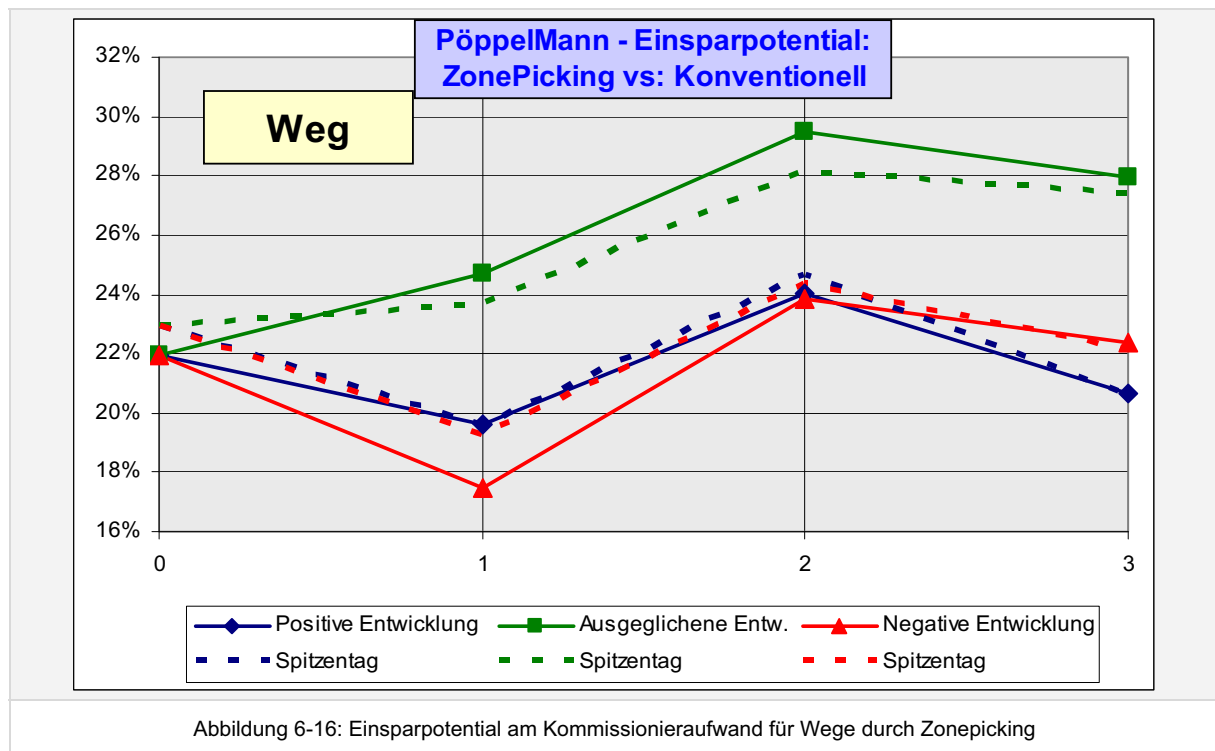


Die Greif- und Ablagezeiten sind für beide Varianten unverändert bei 160 Sec je Position, da es sich in beiden Fällen auch um dieselben Tätigkeiten handelt. Die Basiszeiten steigen beim Zone-Picking gegenüber dem konventionellen Kommissionieren leicht um 2.3% bis 3.9%, weil beim Zone-Picking ein Bearbeitungsauftrag u. U. mehrfach gelesen und bearbeitet werden muss. In Abbildung 6-15 ist zu erkennen, dass die Basiszeiten erheblich stärker zwischen den einzelnen Perioden steigen. Dies erklärt sich durch den in den Prognoseformularen von der Fa. Pöppelmann prognostizierten Rückgang der Positionen pro Auftrag über die Jahre des Planungshorizonts. Kleiner werdende Aufträge führen zu einem steigenden Anteil von Basiszeiten an der gesamten Kommissionierzeit.



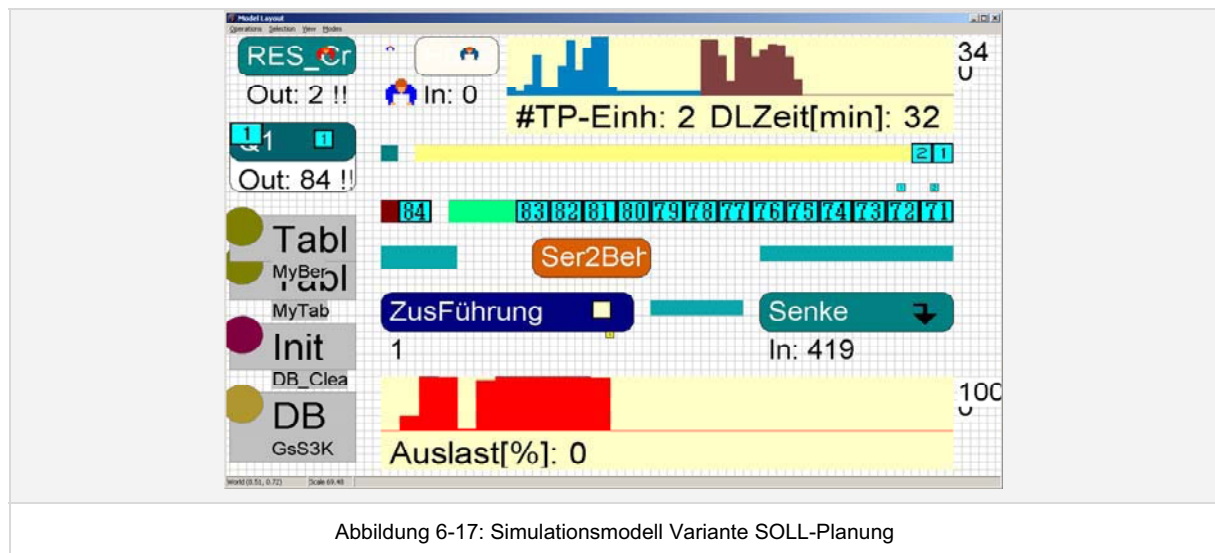
Das größte Einsparpotential an Mitarbeiterstunden ist in dem erheblich kürzeren Weg für die Kommissionierer zu finden. Hier beträgt die Einsparung je nach Simulationslauf zwischen 17% und 29%, denn jeder Kommissionierer muss sich nur noch zwischen zwei Gassen bewegen um die Kommissionieraufträge zu erledigen statt wie beim konventionellen Kommissionieren zwischen acht Gassen. Dafür kommen aber beim Zone-Picking noch die Zonenwechselzeiten zwischen den einzelnen Zonen hinzu, die je nach Einsatz der Kommissionierer und je nach Simulationslauf mehr oder weniger aufwendig sein können. Das Ergebnis zu

den Zonenwechselzeiten kann aber erst nach einer Simulation ermittelt werden weil diese von der Dynamik in der Simulation und von der Einsatzstrategie der Kommissionierer abhängig sind.



### 6.1.3.2 Simulationsmodell „konventionelle Kommissionierung“

Das Simulationsmodell der Variante „konventionelles Kommissionieren“ ist in folgender Abbildung dargestellt.

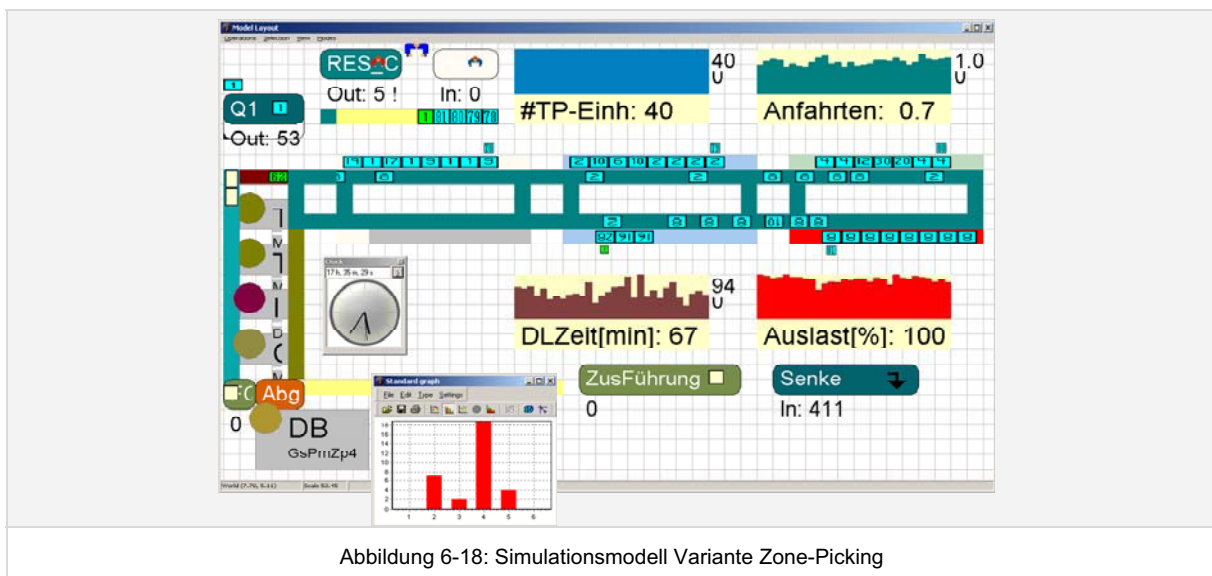


Die Abbildung in der Simulation enthält einen Splitter- (Ser2Beh) und einen Verteilerbaustein zwischen der ersten Kommissionierstufe und der Zusammenführung. Diese Bausteinelemente werden immer benötigt, wenn entweder Serien in Behälter aufgelöst werden oder wenn mehrere alternative Nachfolgebereiche folgen können. Als dritter Simulationsbaustein ist ein Baustein im Bereich Zusammenführung dargestellt. Er stellt eine rein logische Zusammenführung von Teilaufträgen dar. Hier werden die Teilaufträge auf Bodenstellplätzen zusammengeführt.

Die wichtigsten Ergebnisse eines Simulationslaufs werden durch die Simulation in die Tabelle „Simulationslauf“ gespeichert und können daher an dieser Stelle bereits ausgewertet werden. Zu diesen Ergebnissen gehören die realen und voraussichtlichen Arbeitszeiten und die Auslastungen der Kommissionierer neben den Realzeiten der Simulation. Für weitere detailliertere Auswertungen sei hier auf das Kapitel 6.1.3.1 verwiesen. Aus den Zeiten in der Tabelle Simulationslauf lassen sich die Totzeiten der Kommissionierer aus deren Auslastung errechnen. Wenn die Kommissionierer nicht alle Aufträge bis zum Arbeitsende erledigen konnten handelt es sich bei der realen Simulationszeit um eine Hochrechnung dieser Zeit. Diese Zeit ist nur dann einigermaßen genau, wenn die Aufwände für die nicht erledigten Aufträge im Verhältnis zu den bereits erledigten Aufträgen, in der gleichen Höhe liegen. Die Totzeiten setzen sich aus den Zonenwechselzeiten der Kommissionierer als eine besondere Art der Totzeit und aus sonstigen Wartezeiten auf andere Kommissionierer zusammen. In diesem Modell mit konventioneller Kommissionierung existiert nur eine Zone, daher treten hier keine Zonenwechselzeiten auf. Die Totzeiten sind hier also reine Warte- und Behinderungszeiten der Kommissionierer.

### 6.1.3.3 Simulationsmodell „Kommissionieren in Zonen“

Das Simulationsmodell „Kommissionieren in Zonen“ ist in folgender Abbildung dargestellt:



In der Abbildung ist ein Splitter (Abg) und einen Verteilerbaustein zwischen der ersten Kommissionierstufe und der Zusammenführung modelliert worden. Als dritter Simulationsbaustein ist in Abbildung 6-18 ein Baustein vom Typ Zusammenführung dargestellt. Er stellt eine rein logische Zusammenführung von Teilaufträgen dar. Desweiteren erkennt man in dieser Abbildung gut die Zonen des Bausteins Anbruchkommissionierung.

Aus den Zeiten in der Tabelle Simulationslauf lassen sich auch hier die Totzeiten der Kommissionierer berechnen. Da es sich bei diesem Modell um ein Zone-Picking mit 4 bis 5 Zonen handelt und nicht in allen Simulationsläufen genau ein Kommissionierer für genau eine Zone eingesetzt wird, enthalten die Totzeiten hier auch Zonenwechselzeiten der Mitarbeiter. Daher sind in dieser Variante die Totzeiten höher als bei der konventionellen Kommissionierung aber die Spitzen der Totzeiten sind kleiner als bei der konventionellen Kommissionierung weil hier die Großaufträge in 4 bis 5 Teilaufträge für die einzelnen Zonen gesplittet werden, die von mehreren Kommissionierern bearbeitet werden können. In der Abbildung 6-19 werden im ersten Diagramm die Totzeiten der einzelnen Simulationsläufe im Vergleich zur Basisimulation dargestellt und im zweiten Diagramm im Vergleich zu den anderen Kommissionierzeiten.

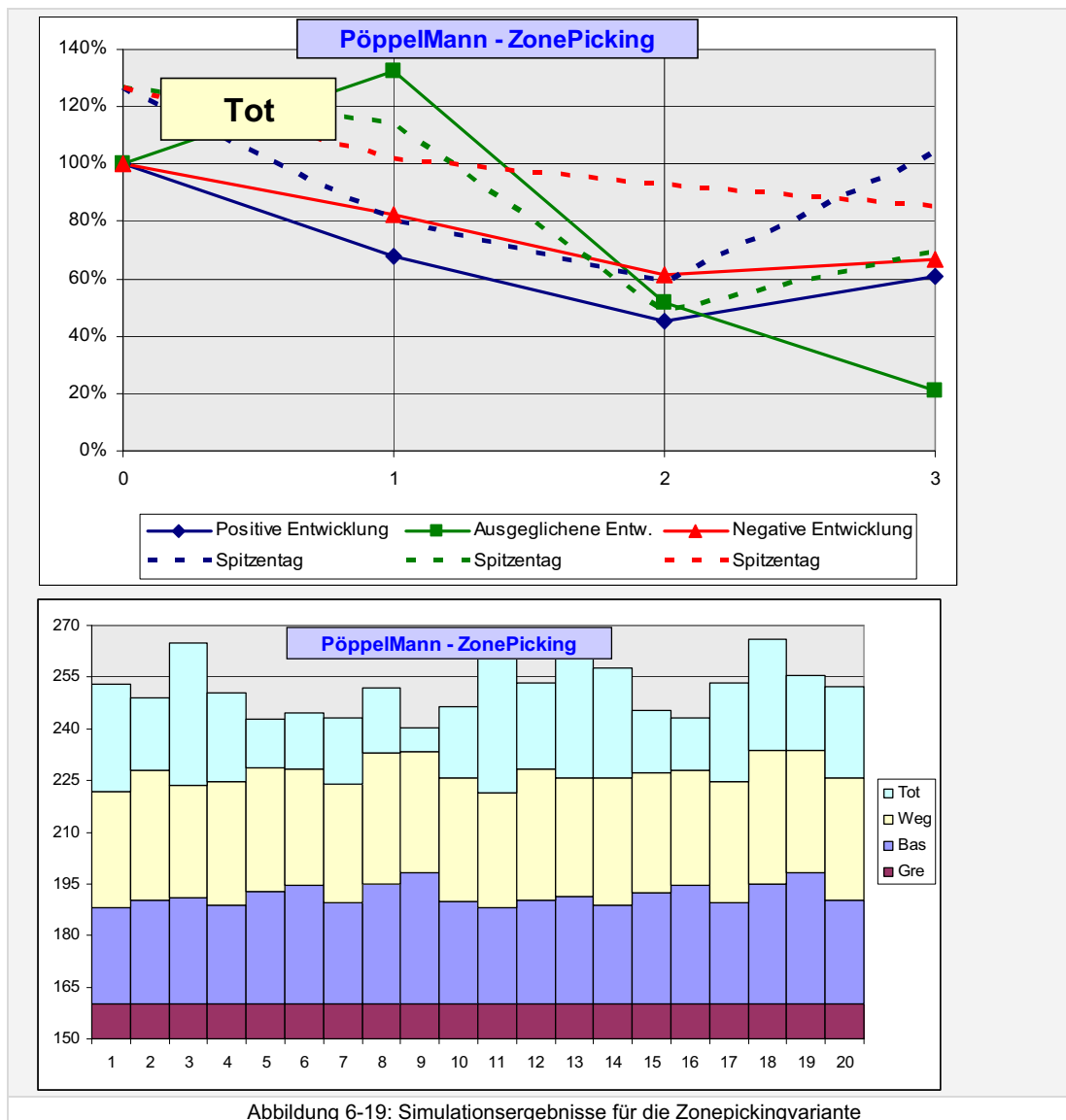


Abbildung 6-19: Simulationsergebnisse für die Zonepickingvariante

### 6.1.4 Ergebnis (fml)

Bei der Auswertung dieses Szenarios liegt der Fokus auf dem Vergleich der beiden Modelle hinsichtlich der Kosten pro Position und Durchlaufzeiten. Diese beiden Kennzahlen sollen letztlich zur Empfehlung einer Variante (Modell) führen.

#### Kosten pro Lieferauftragsposition

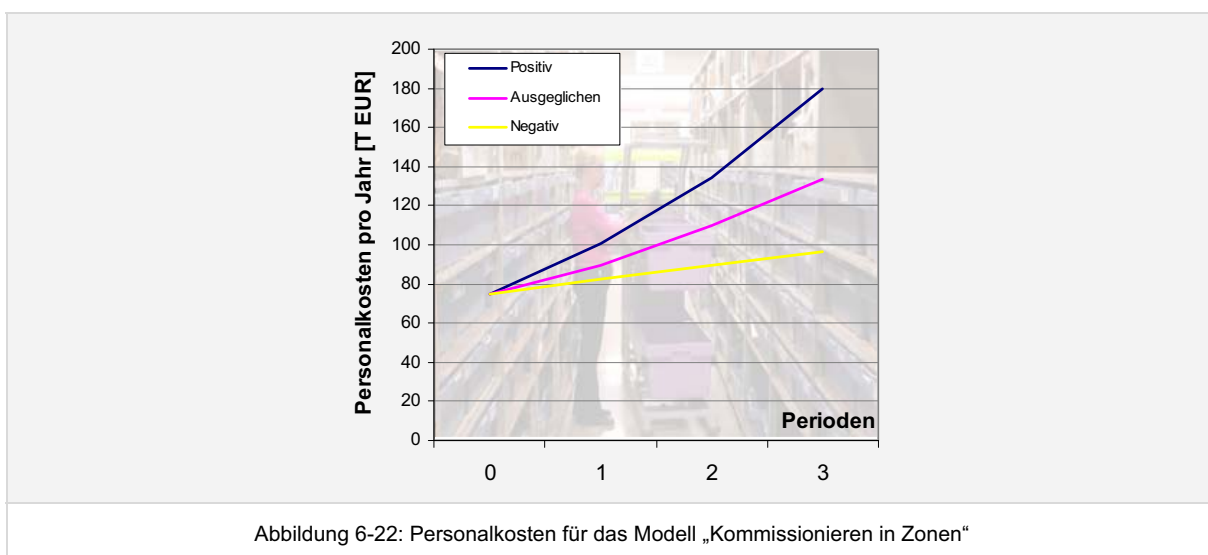
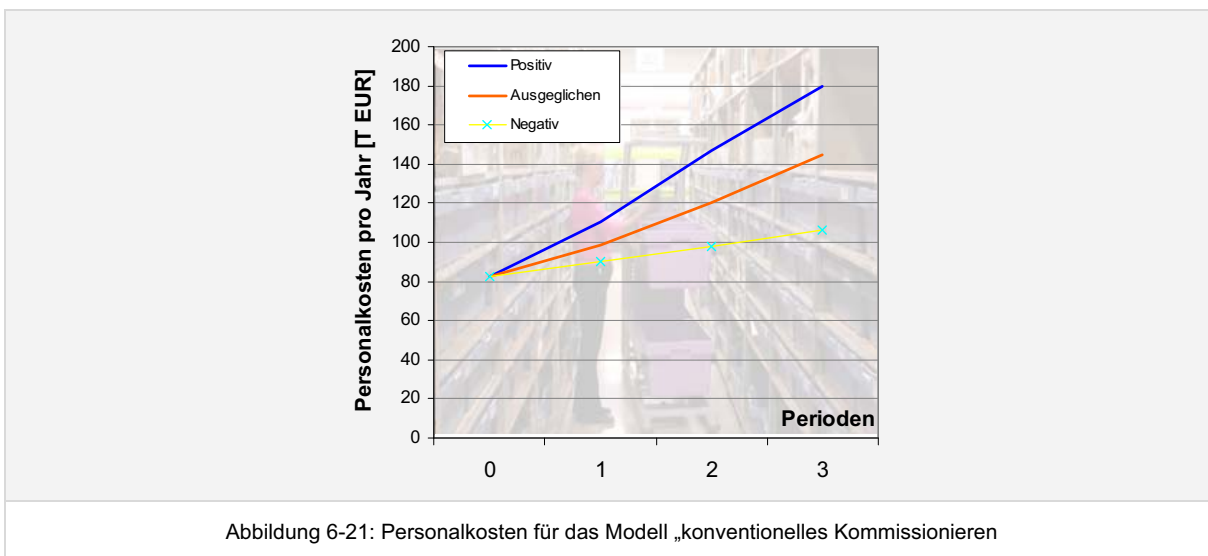
Für die Berechnung der Kosten pro Position wurden die in Abbildung 6-20 angegebenen Kosten und Invest je Modell ermittelt und zu Grunde gelegt.



Soll-Modell		Zone-Picking	
<b>Invest</b>		<b>Invest</b>	
Regal	12.320 EUR	Regal	12.320 EUR
Gebäude	144.000 EUR	Gebäude	144.000 EUR
<u>Sonstiges</u>	<u>600 EUR</u>	<u>Sonstiges</u>	<u>1.000 EUR</u>
$\Sigma$	156.920 EUR	$\Sigma$	157.320 EUR
<b>Kosten</b>		<b>Kosten</b>	
kalk. Kosten	8.376 EUR	kalk. Kosten	8.431 EUR
Wartung	4.578 EUR	Wartung	4.586 EUR
Energie	3.138 EUR	Energie	3.146 EUR

Abbildung 6-20: Berechneter Invest und Kosten beider Modelle

Darüber hinaus werden die Personalkosten dem Simulationsmodell entsprechend nach Abbildung 6-21 und Abbildung 6-22 kalkuliert.



Werden nun die Kosten auf die kommissionierten Positionen umgelegt ergeben sich über den Planungszeitraum die in Abbildung 6-23 und Abbildung 6-24 angegebenen Kosten pro Position.

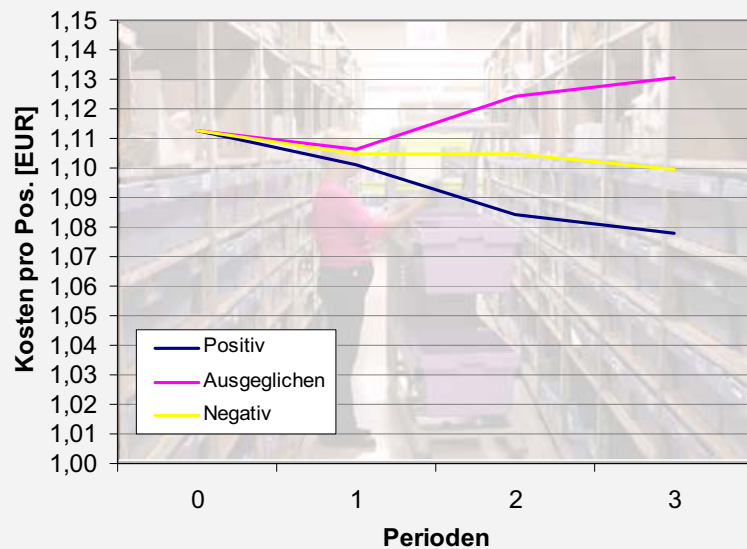


Abbildung 6-23: Kosten pro Lieferauftragsposition

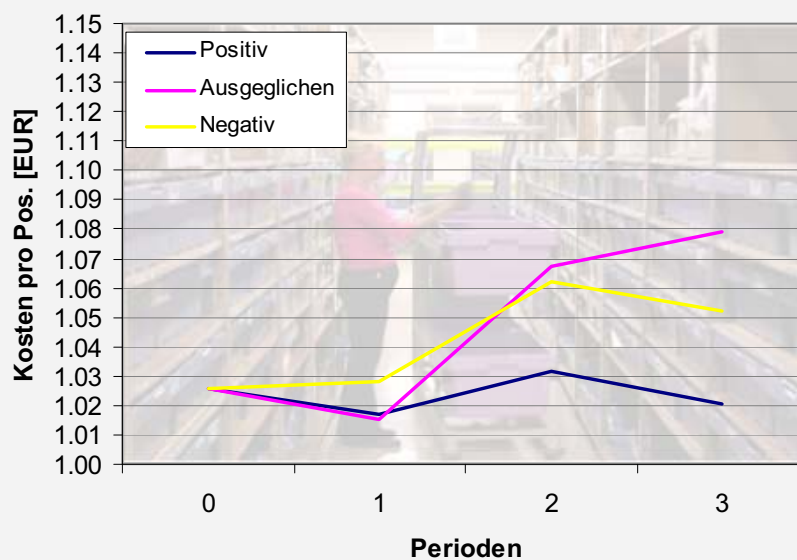


Abbildung 6-24: Kosten pro Lieferauftragsposition

Entsprechend den Eintrittswahrscheinlichkeiten lässt sich auch eine Gesamtkurve für jedes Modell darstellen. Bei den in diesem Szenario definierten Randbedingungen ist das „Kommissionieren in Zonen“ günstiger als das „konventionelle Kommissionieren“.

### Vergleich der Kapitalwerte

Ein Vergleich der untersuchten Modelle über die Kapitalwertmethode weist die gleiche Tendenz auf wie die Kosten pro Lieferauftragsposition (vgl. Abbildung 6-25).

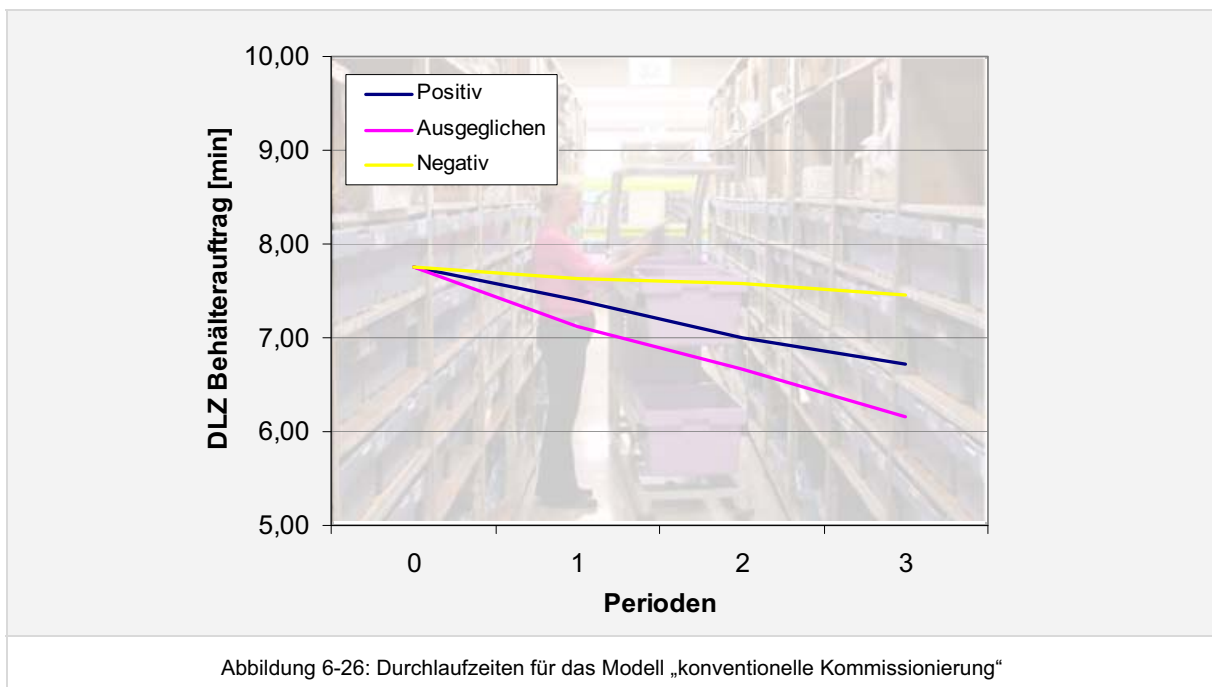
Soll-Modell		Zone-Picking	
Kapitalwerte		Kapitalwerte	
positive Entw.	-1.062.180,65 EUR	positive Entw.	-939.656,85 EUR
ausgeglichene Entw.	-1.214.581,63 EUR	ausgeglichene Entw.	-1.054.737,40 EUR
negative Entw.	-1.328.262,23 EUR	negative Entw.	-1.140.304,60 EUR
<b>erwarteter Kapitalwert</b>	<b>-1.187.725,42 EUR</b>	<b>erwarteter Kapitalwert</b>	<b>-1.034.375,34 EUR</b>

Abbildung 6-25: Gegenüberstellung der Kapitalwerte der untersuchten Modelle

Bei der Berechnung der Kapitalwerte wurde ein kalkulatorischer Zinssatz von 7,5% angesetzt über einen Planungszeitraum von 4 Jahren (Periode 0, 1, 2, 3). Darüber hinaus sind die Eintrittswahrscheinlichkeiten der prognostizierten Entwicklungen mit den vereinbarten Gewichtungen 40% optimistische, 30% ausgeglichene und 30% pessimistische Entwicklung einbezogen worden. Da bei den berechneten Kapitalwerten nur die Auszahlungs- und keine Einzahlungsströme berücksichtigt wurden, werden beide Kapitalwerte negativ. Der geringere negative Kapitalwert bedeutet somit die geringeren Gesamtkosten über den Planungszeitraum. Somit würde nach dieser Kennzahl das Modell „Kommissionieren in Zonen“ bevorzugt werden.

### Durchlaufzeiten

Beim Vergleich der Durchlaufzeiten schneidet das „konventionelle Kommissionieren“ wesentlich besser ab als das „Kommissionieren in Zonen“. Dies liegt überwiegend an den hohen Liegezeiten, die durch das Bearbeiten mehrerer Kommissionierer im Modell „Kommissionieren in Zonen“ entsteht (vgl. Abbildung 6-26 und Abbildung 6-27).





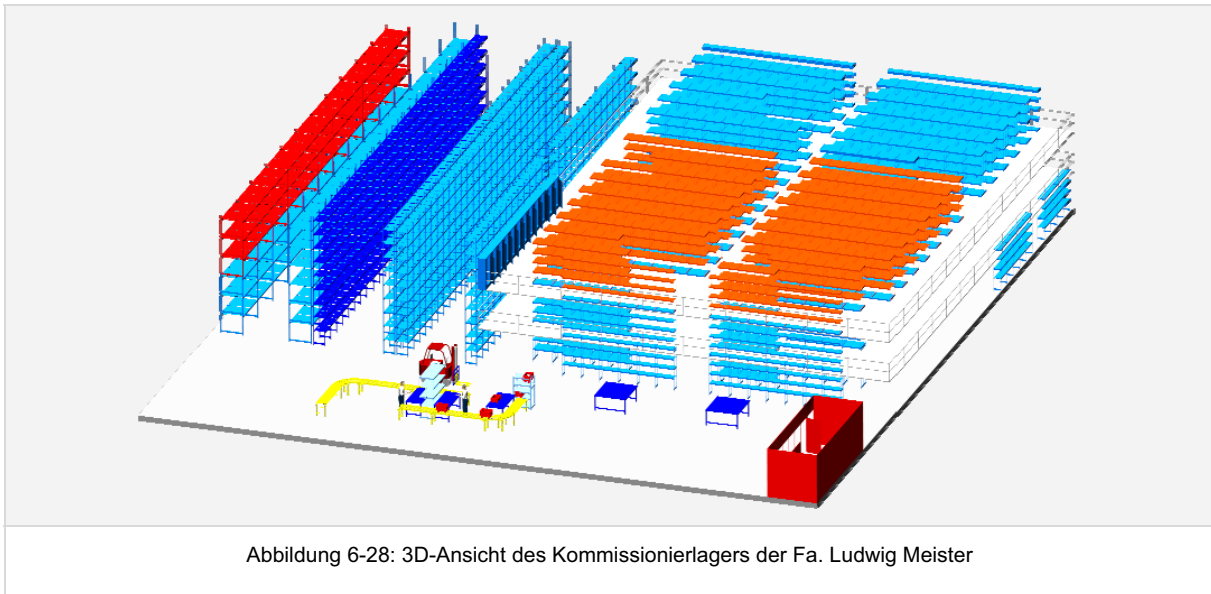
Bei hohen Anforderungen an die Durchlaufzeit ist das Bearbeiten in Zonen, also eine Bearbeitung durch mehrere Kommissionierer, nicht sinnvoll. In diesem Fall empfiehlt sich das Modell „konventionelles Kommissionieren“ mit der auftragsorientierten Bearbeitung durch einen Kommissionierer.

#### 6.1.4.1 Schlussfolgerungen (fml)

Das Modell „Kommissionieren in Zonen“ bringt im Vergleich zum Modell „konventionelles Kommissionieren“ einen leichten Vorteil bzgl. Kosten / Kapitalwert, jedoch einen Nachteil im Bereich der Durchlaufzeiten. Durch die Simulation wurde ermittelt, dass das geplante Mengenwachstum bis zum Jahre 2009 mit den vorhandenen drei stationären Arbeitsplätzen nicht bewältigt werden kann. Für die Simulationsexperimente wurden vier Kommissionierer eingesetzt. Theoretisch müssten weitere Arbeitsplätze installiert werden, hierfür ist jedoch nicht ausreichend Platz in dem vorhandenen Layout.

## 6.2 Referenzszenario II: serielle vs. parallele Organisationsform (Fa. Ludwig Meister)

Das Szenario der Fa. Ludwig Meister ist ein realer Anwendungsfall aus der Maschinenbaubranche im Bereich der kmU. Bei diesem Szenario wird die Kommissionierung im Ausgangszustand über Fachboden-, Palettenregalanlagen und Shuttleln durchgeführt. Das Sortiment besteht aus ca. 39.800 Artikeln von absoluten Kleinteilen bis hin zu schweren großen Artikeln. Die Auftragsstruktur liegt bei ca. 350 Lieferaufträgen pro Tag mit durchschnittlich 2,5 Positionen je Auftrag. Eine zusätzliche Anforderung während der Kommissionierung ergibt sich aus dem notwendigen Wiegen für einen Teil des Sortiments. Eine grobe Übersicht über das Lager ist in Abbildung 6-28 dargestellt.



Ausgangsbasis für dieses Referenzszenario bildet die Artikel- und Lieferauftragsstruktur des vergangenen Jahres 2006. Diese Daten werden hinsichtlich ihrer Verteilung analysiert und auf einen Planungshorizont von 3 Jahren auf Basis der prognostizierten Entwicklung der Fa. Ludwig Meister hochgerechnet. Somit entstehen für drei Prognosearten über 3 Jahre mit der Abbildung des Ausgangszustands 10 verschiedene Perioden, die in den Bewertungsprozess einfließen. Daraus ergeben sich 20 Simulationläufe (10 x Normaltag, 10 x Spitzentag), die für jedes Modell durchgeführt werden müssen.

In diesem Szenario wird neben dem Ist-Zustand der Topologie, die aus einer seriellen Organisationsstruktur der Systemtechniken besteht, auch die parallele Anordnung in einem weiteren Modell untersucht.

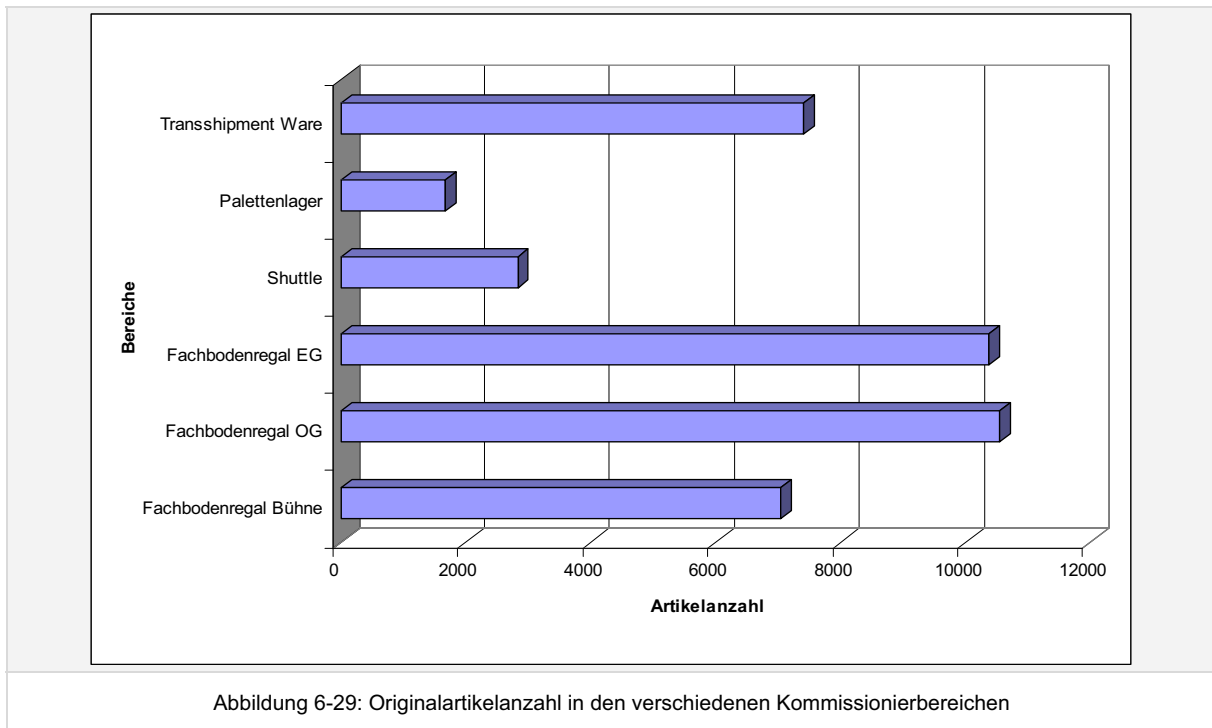
## 6.3 Definitionen

### 6.3.1.1 Modellunabhängige Ausgangsdaten (fml)

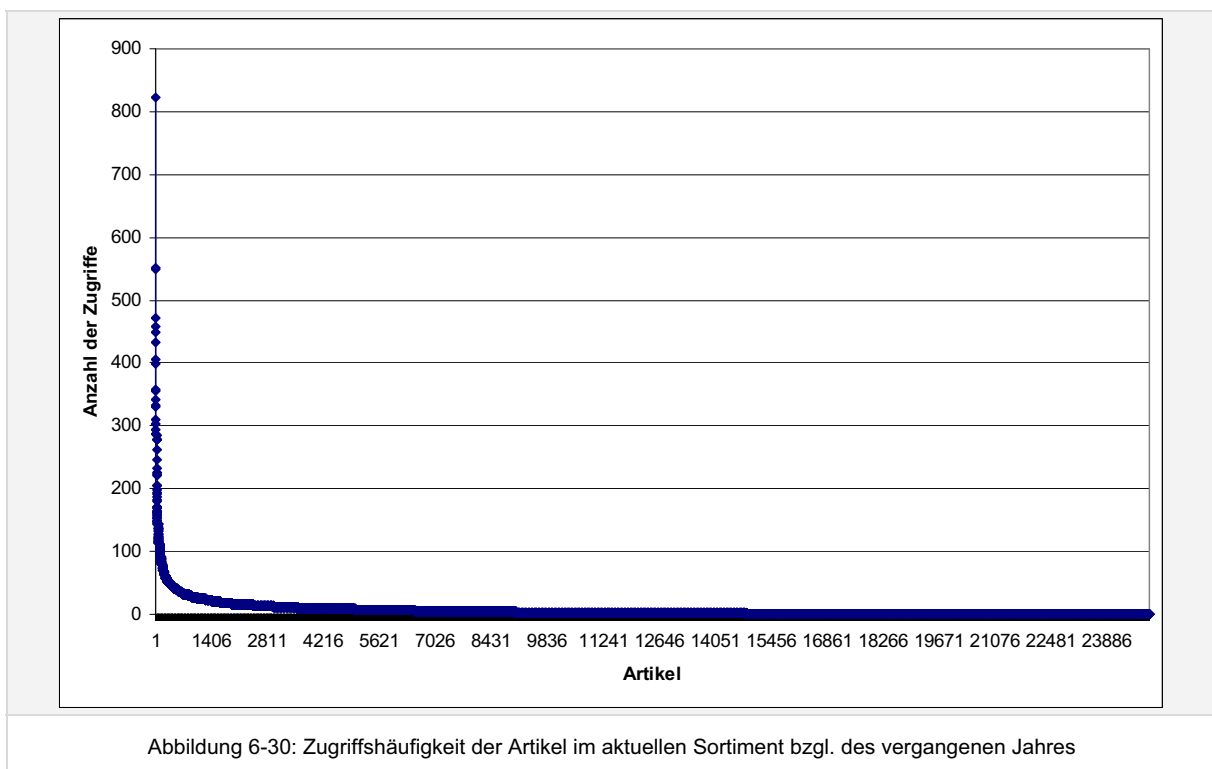
Die modellunabhängigen Ausgangsdaten sind die zu Grunde liegenden statischen und dynamischen Planungsdaten in Form der Artikel- und Lieferauftragsstruktur. In diesem Szenario kann für die Erzeugung der Systemlast auf Originaldaten zurückgegriffen werden, welche im Folgenden über Diagramme visualisiert werden.

#### Sortiment

Das Sortiment besteht aus ca. 39.800 Artikeln, deren Aufteilung auf die Kommissionierbereiche Fachbodenregalanlage (drei Etagen), Palettenlager und Shuttle wie in Abbildung 6-29 dargestellt, vorgenommen wurde.



Einen Spezialfall stellen ca. 7.000 Artikel dar, die ohne Einlagerung direkt vom Wareneingang aus kommissioniert werden. Diese wurden mit der Bezeichnung „Transshipment Ware“, belegt und müssen in der Simulation mit betrachtet werden, da Sie einen wesentlichen Anteil an den Lieferauftragspositionen ausmachen. In Abbildung 6-30 ist darüber hinaus die Anzahl der Zugriffe (bezogen auf das vergangene Jahr) für jeden einzelnen Artikel mit absteigender Sortierung dargestellt.

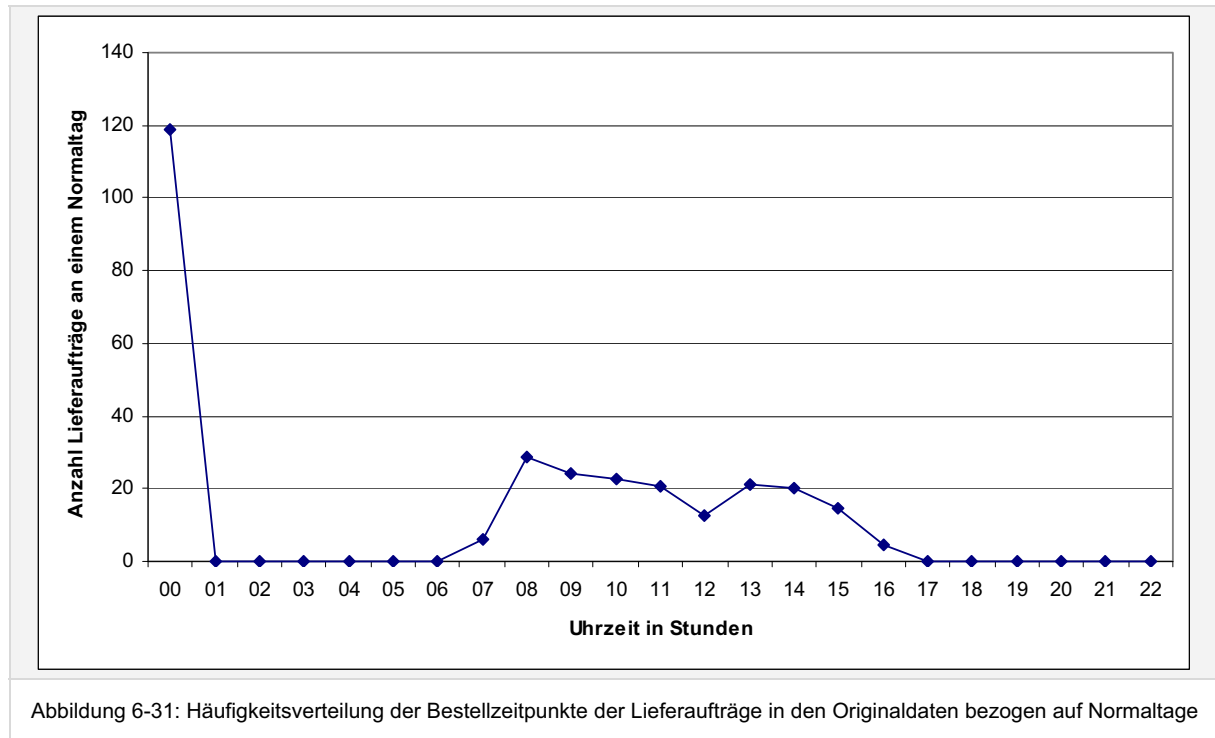


Wie man in der Abbildung 6-30 sehr gut erkennen kann, bestimmen ca. 10% der Artikel die Hauptlast auf das Kommissioniersystem. Entsprechend dieser Verteilung müssen die zu generierenden Artikel den zu generierenden Lieferauftragspositionen zugewiesen werden.

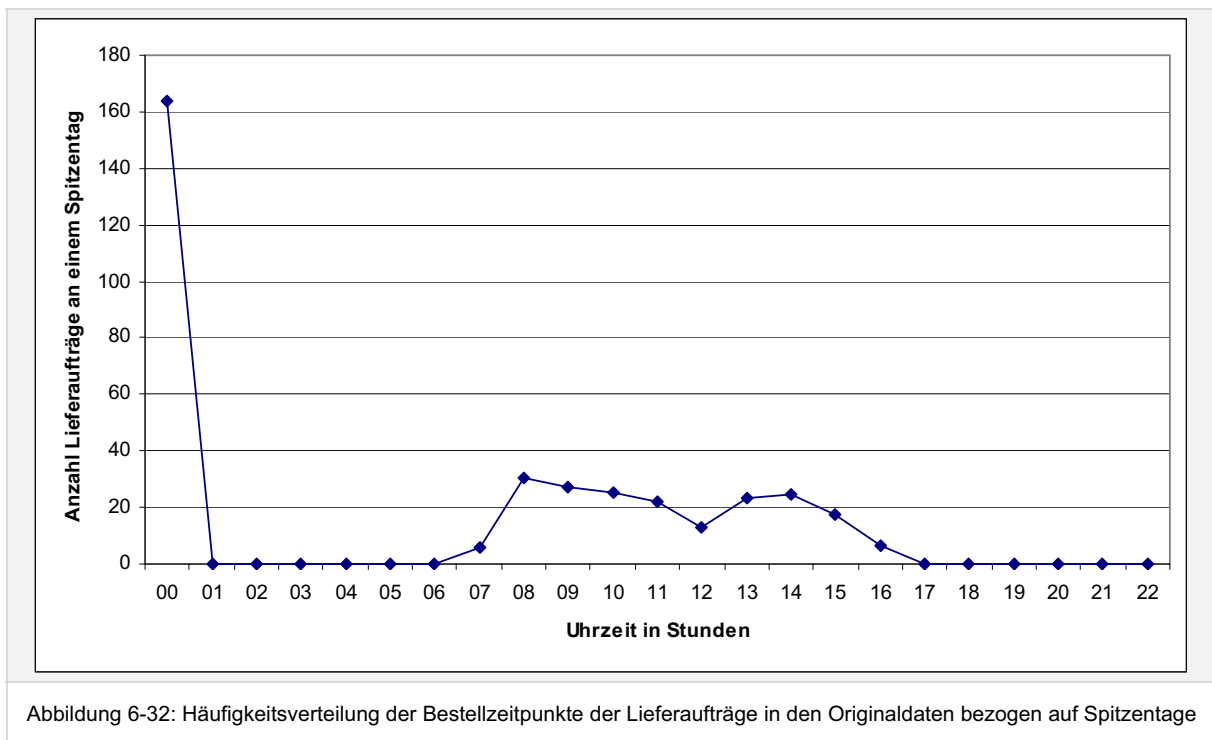
## Lieferauftragsstruktur

Die für dieses Szenario importierten Lieferaufträge wurden über 244 Arbeitstage erfasst. Darunter waren nach der Definition in Abschnitt 4.2 insgesamt 40 Spitzentage und 204 Normaltage. Die erfasste Lieferauftragsanzahl an einem Spitzentag beträgt 359 und einem Normaltag 291.

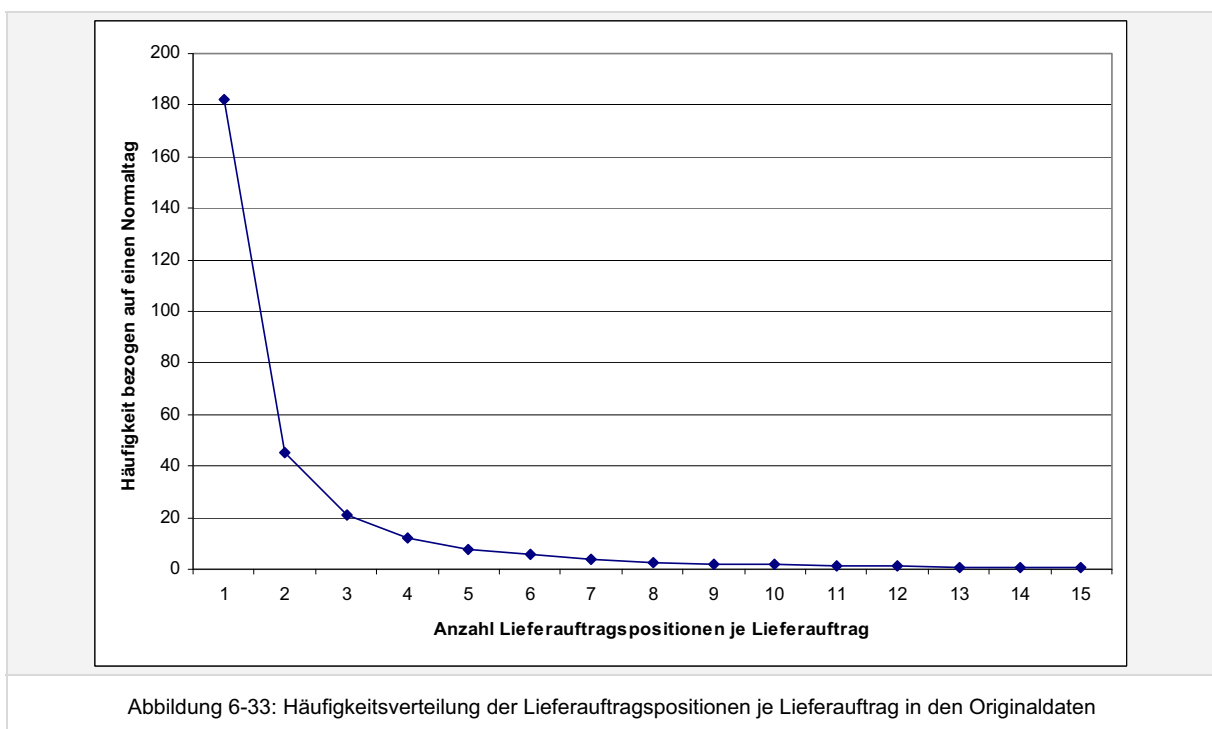
Bei der Fa. Ludwig Meister sind zu Beginn eines Normaltages ca. 40% der zur Kommissionierung anstehenden Lieferaufträge bekannt. Die Bestellzeitpunkte der restlichen 60% sind gemäß einem Tagesprofil, das in Abbildung 6-31 dargestellt wird, über den Tag verteilt.



An einem Spitzentag verläuft das Tagesprofil der Bestellzeitpunkte ähnlich. An diesem sind ca. 45% der Lieferaufträge zu Beginn des Arbeitstages bekannt. Der Verlauf ist in Abbildung 6-32 dargestellt.



Eine weitere wichtige Verteilung der Originalauftragsstruktur, die für die spätere Generierung der Lieferaufträge benötigt wird, ist die Häufigkeit der Lieferauftragspositionsanzahl je Lieferauftrag. Die Verteilung entspricht einer ausgeprägten Dichtefunktion einer Exponentialverteilung und wird für den Normaltag in Abbildung 6-33 dargestellt.



Um in der Simulation die Picks pro Position berücksichtigen zu können wird des Weiteren auch die Verteilung der Menge pro Lieferauftragsposition benötigt. Bei dieser ist ebenfalls eine Dichtefunktion einer Exponentialverteilung zu erkennen, mit der Besonderheit, dass häufig 10er, 20er und 30er Mengen bestellt werden (vgl. Abbildung 6-34). Dies setzt sich auch bei den größeren bestellten Mengeneinheiten weiter fort, mit exponentiell fallender Häufigkeit.



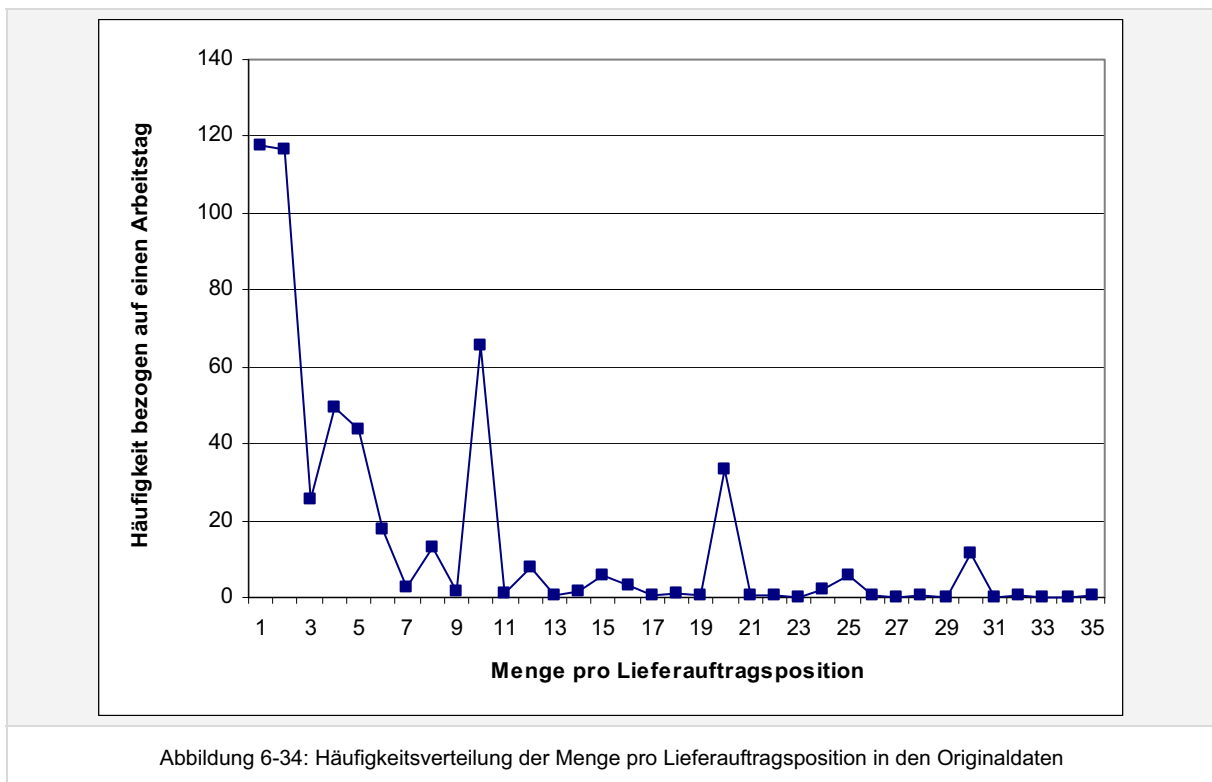


Abbildung 6-34: Häufigkeitsverteilung der Menge pro Lieferauftragsposition in den Originaldaten

### 6.3.1.2 Modell „serielle Organisation“ (IML)

Das Modell „serielle Organisation“ bildet die IST-Situation bei der Fa. Ludwig Meister ab. Hierbei ist eine dreigeschossige Fachbodenregalanlage seriell mit den weiteren Kommissionierbereichen Shuttle und Palettenregal verbunden.

### 6.3.1.3 Modell „parallele Organisation“ (IML)

Bei dem Modell „parallele Organisation“ wurde das bestehende System in der Art abgewandelt, dass alle Kommissionierbereiche parallel arbeiten. Hierbei wurde auch jede Ebene der Fachbodenregalanlage als separat arbeitender Kommissionierbereich modelliert. Die Auftragszusammenführung erfolgt hierbei in einer nachgeschalteten Zusammenführung mit Pufferfunktion, die in der Praxis z.B. in Form eines Durchlaufregals vor der Verpackung realisiert sein kann.

## 6.3.2 Datenvorbereitung

### 6.3.2.1 Modellunabhängige Datengenerierung (fml)

Die modellunabhängigen Ausgangsdaten für die Systemlast sind zum einen das Sortiment, zum anderen die Lieferauftragsdaten. Beides bleibt für alle zu untersuchenden Modelle identisch und wird einmal für jede betrachtete Periode und Entwicklungsart (bzgl. des Sortiments) bzw. Simulationslauf (bzgl. der Lieferaufträge) generiert.

#### Generierung der Sortimente

Wie bereits zu Beginn des Szenarios erwähnt, werden in der Simulation 10 verschiedene Perioden betrachtet, für die es jeweils ein Sortiment entsprechend der prognostizierten Entwicklung zu generieren gilt. Die generierte Artikelanzahl für die einzelnen Perioden der optimistischen Entwicklung sind in Abbildung 6-35 bereits mit der Zuordnung der entsprechenden Artikelgruppe dargestellt. Dabei entspricht die Periode 0 der vorgefundenen Artikelanzahl in den Originaldaten.

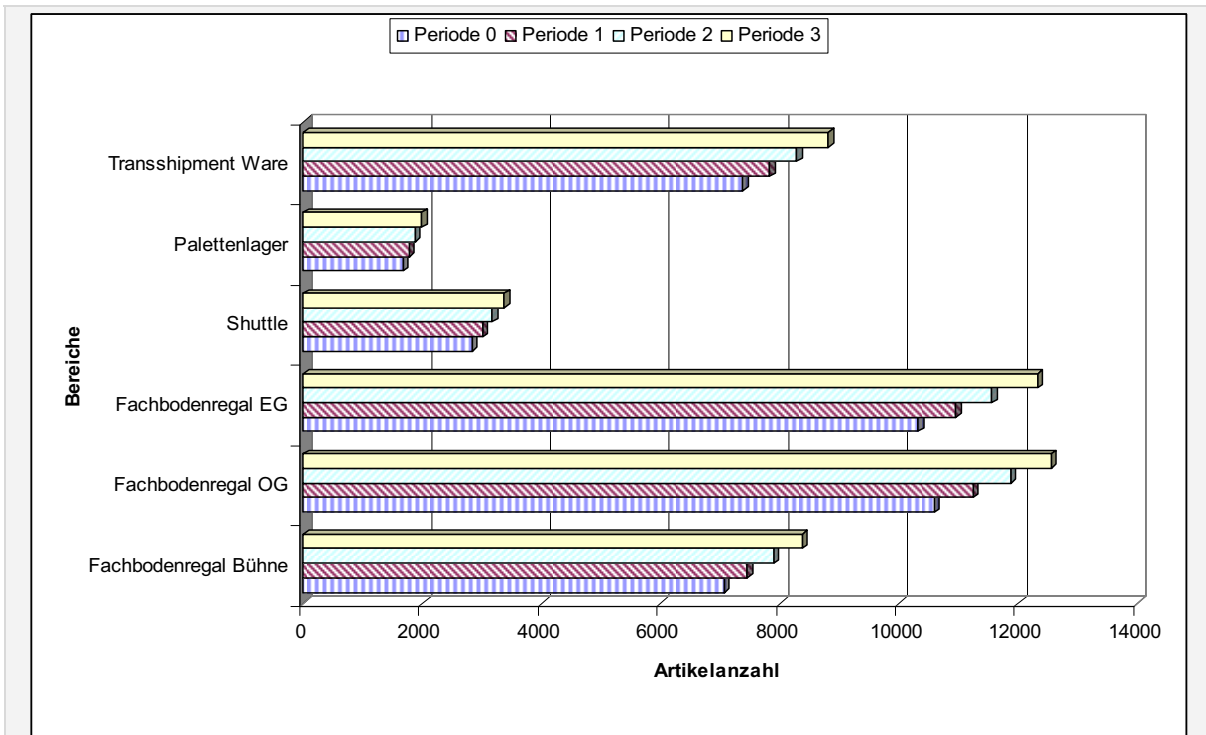


Abbildung 6-35: Artikelanzahl in den Kommissionierbereichen über den Planungshorizont bezogen auf die opt. Entwicklung

Des Weiteren werden die Zugriffshäufigkeiten der generierten Artikel für die Periode 0 mit den Zugriffshäufigkeiten der Originalartikel zur Validierung verglichen (vgl. Abbildung 6-36).

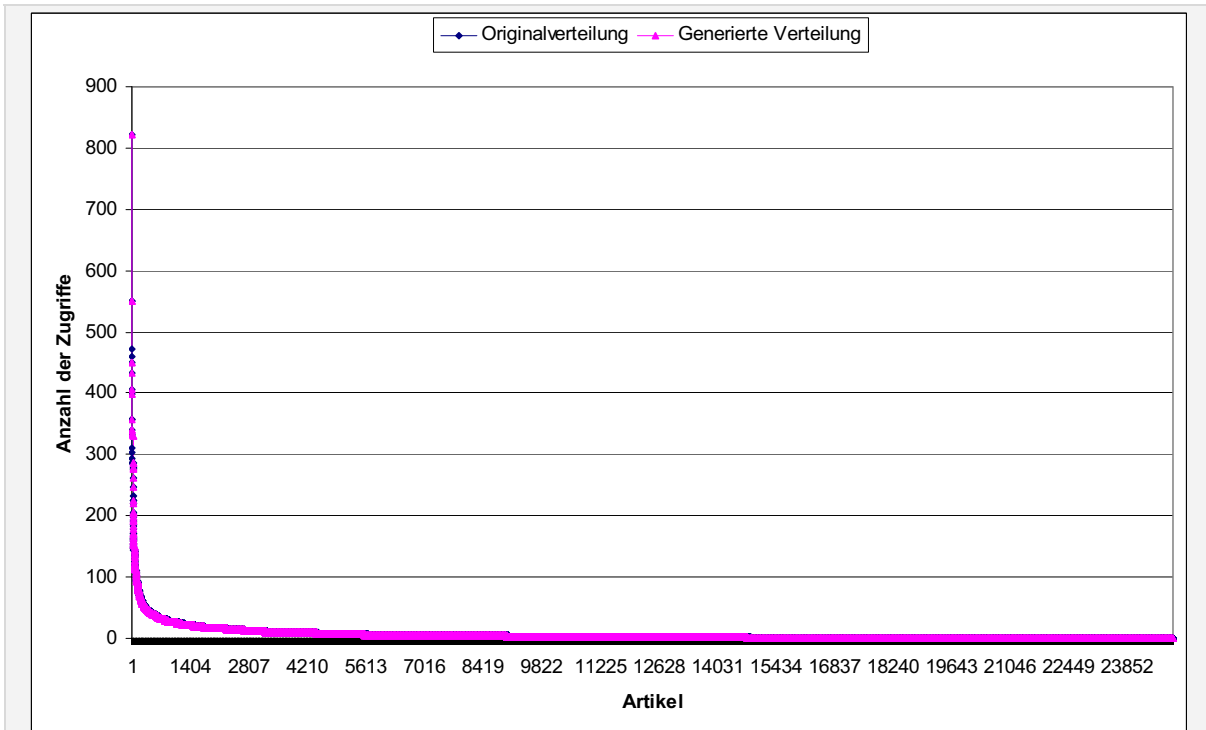


Abbildung 6-36: Vergleich der Zugriffshäufigkeit des Originalsortiments mit generiertem Sortiment für Periode 0

Die Zugriffshäufigkeiten in den zukünftigen Perioden werden gemäß den prognostizierten Entwicklungen verändert. Für die optimistische Entwicklung wird dabei durch die Steigerung der Auftragsanzahl die Zugriffshäufigkeit durchgehend steigend beeinflusst. Zum Zwecke der

Validierung wird die optimistische Entwicklung in Abbildung 6-37 dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass mit steigender Periode die Kurve der Zugriffshäufigkeit höher verläuft als die der Vorperiode und damit das gewünschte Ergebnis generiert wurde.

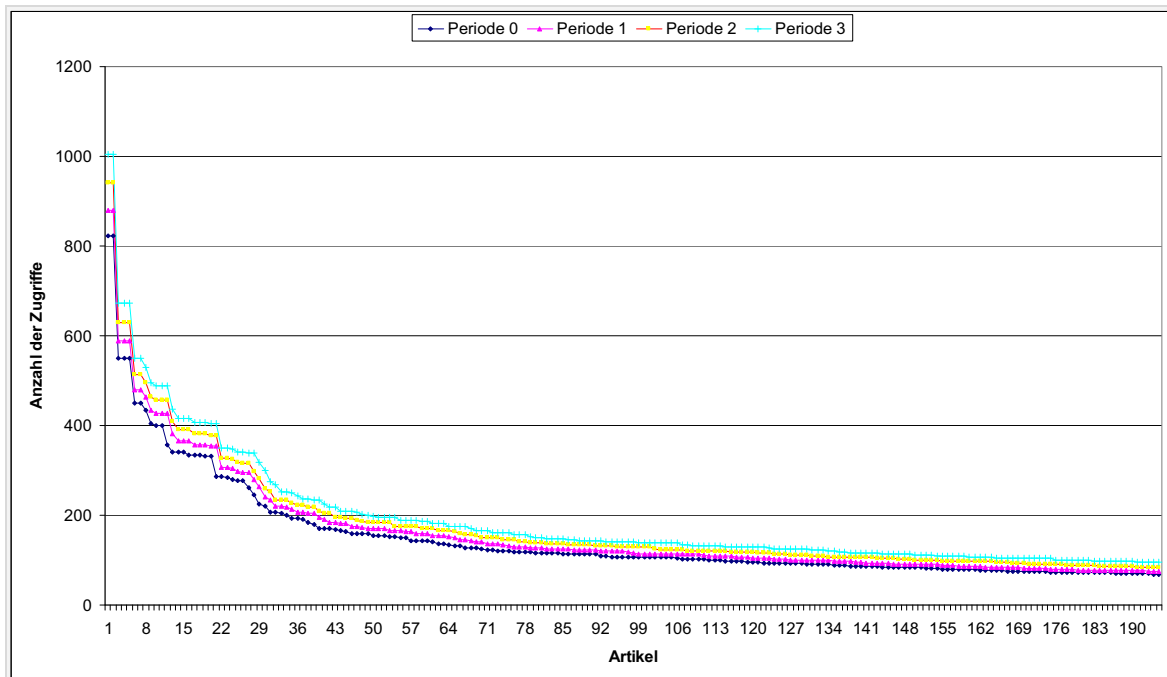


Abbildung 6-37: Zugriffshäufigkeiten des Sortiments über den Planungshorizont bezogen auf die optimistische Entwicklung

### Generierung der Lieferaufträge

Betrachtet man nun die Bestellzeitpunkte der generierten Lieferaufträge für einen Normaltag bezogen auf die Periode 0 und vergleicht diese mit den Bestellzeitpunkten in den Originallieferaufträgen an Normaltagen, so wird auch eine hohe Übereinstimmung beider Kurven erzielt. Beide Verteilungen sind in Abbildung 6-38 dargestellt.

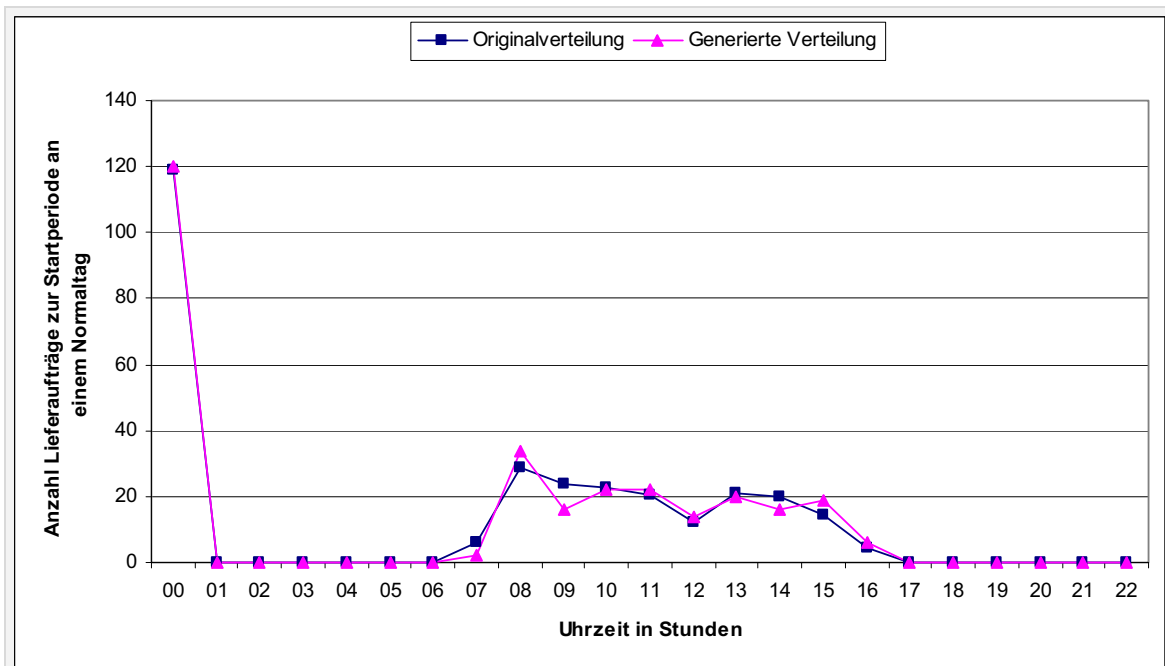


Abbildung 6-38: Gegenüberstellung der generierten und Originalverteilung des Tagesprofils bezogen auf Normaltage

Ein ähnlich gutes Ergebnis wird für die Verteilung der Bestellzeitpunkte der generierten Lieferaufträge für den Spitzentag erreicht (vgl. Abbildung 6-39).

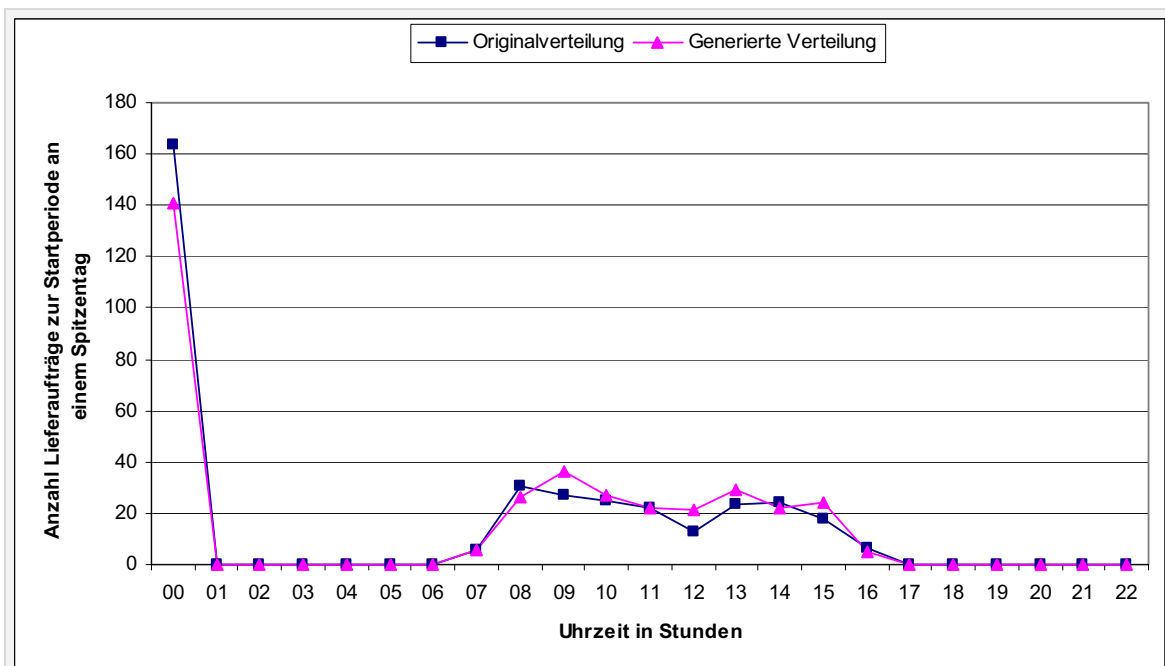


Abbildung 6-39: Gegenüberstellung der generierten und Originalverteilung des Tagesprofils bezogen auf Spitzentage

Als wesentliche Leistungsanforderung an ein Kommissioniersystem gelten vor allem die Anzahl der Lieferauftragspositionen, die es zu erfüllen gilt. Um deren Verlauf entsprechend der definierten prognostizierten Entwicklungen aufzuzeigen, werden diese für die Normaltage in Abbildung 6-40 und für die Spitzentage in Abbildung 6-41 dargestellt.

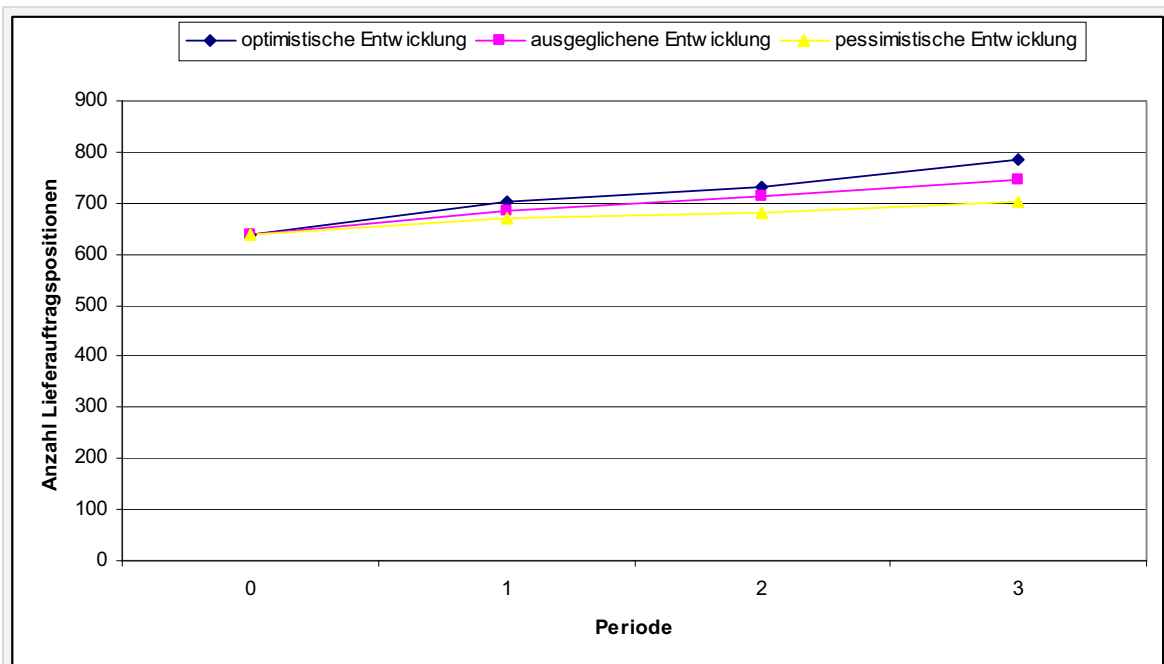


Abbildung 6-40: Anzahl der Lieferauftragspositionen an Normaltagen über den Planungshorizont

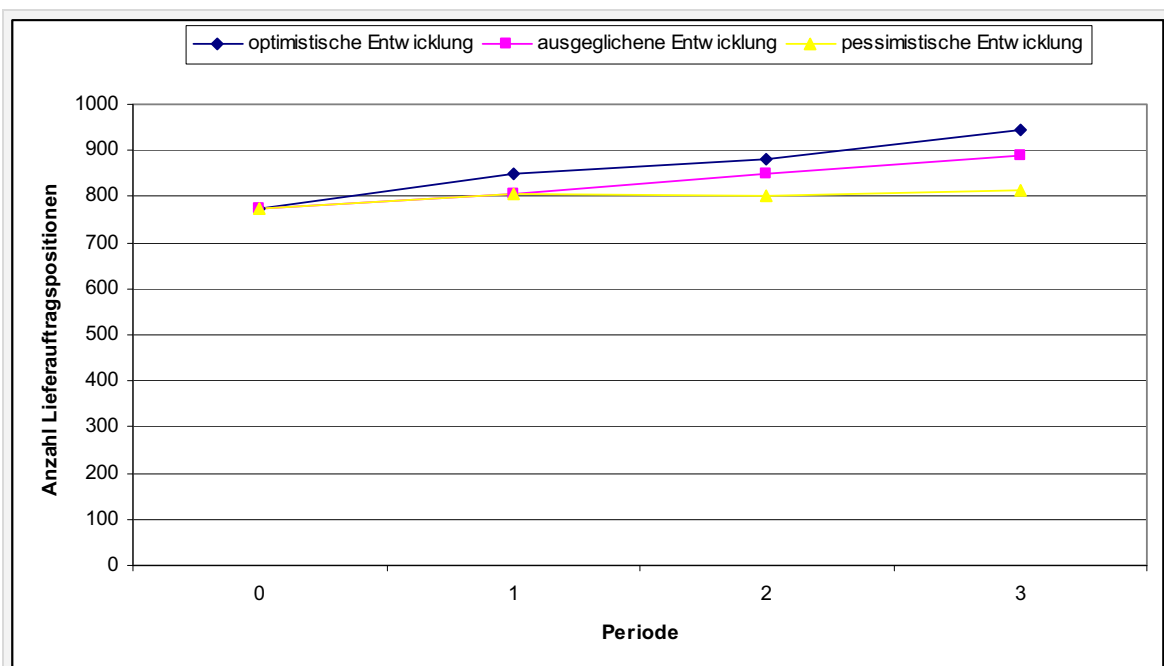


Abbildung 6-41: Anzahl der Lieferauftragspositionen an Spitzentagen über den Planungshorizont

Im Weiteren wird die Positionsanzahl in den generierten Lieferaufträgen für die Startperiode (Periode 0) mit denen der Originaldaten bzgl. eines Normaltages verglichen (vgl. Abbildung 6-42).

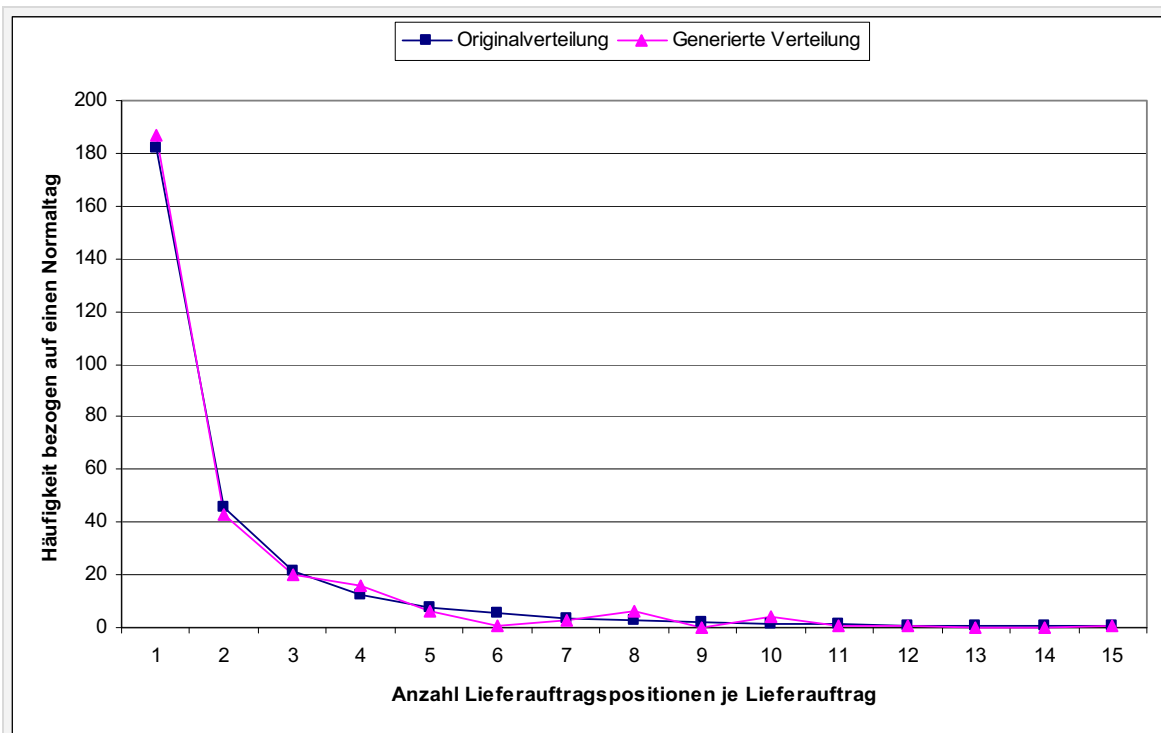


Abbildung 6-42: Vergleich der generierten mit der Originalverteilung für die Lieferauftragspositionen je Lieferauftrag

Zuletzt werden die Bestellmengen (Stück) je Lieferauftragsposition in den generierten Lieferaufträgen für die Startperiode mit denen der Originaldaten bezogen auf einen Arbeitstag verglichen (vgl. Abbildung 6-43).

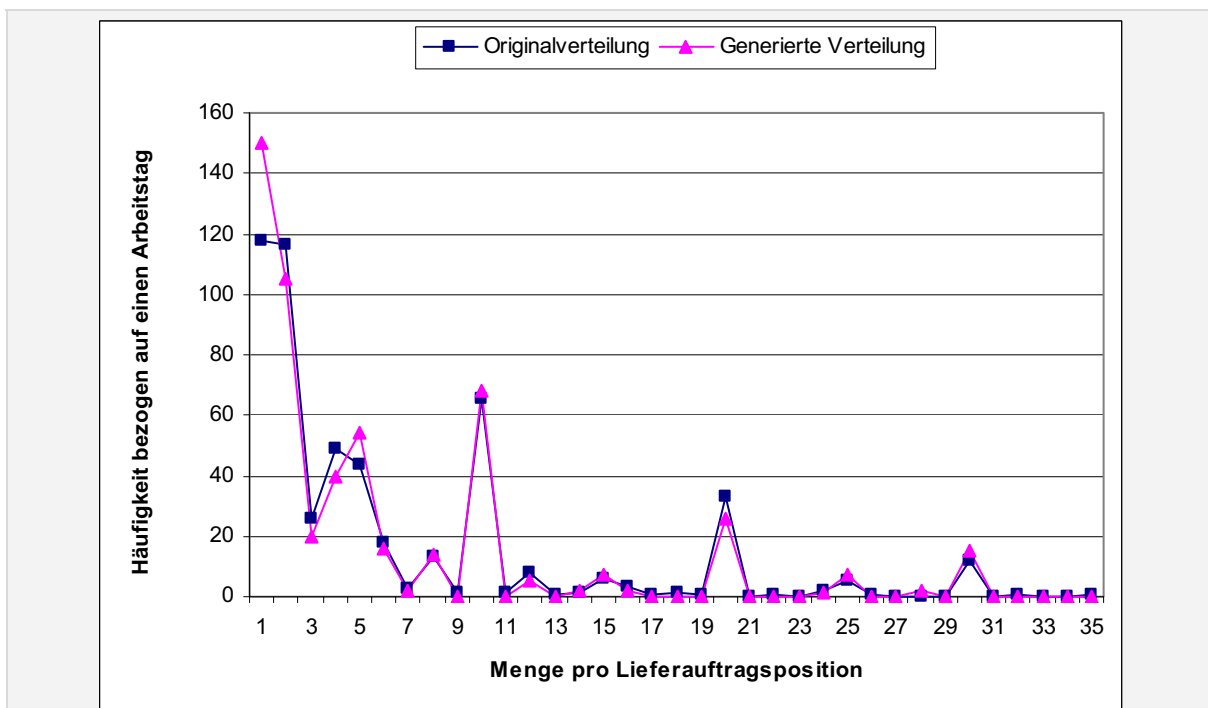
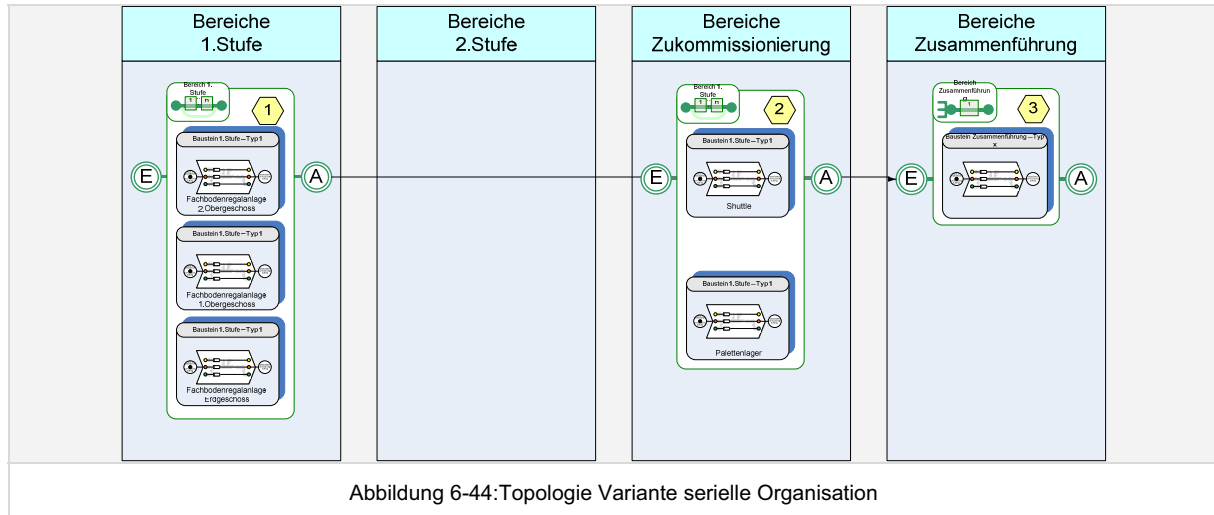


Abbildung 6-43: Vergleich der generierten mit der Originalverteilung für die Menge pro Lieferauftragsposition für die Startperiode

### 6.3.2.2 Modellbildung „serielle Organisation“ (IML)

Das Modell „seriellen Organisation“ stellt sich bzgl. der Gesamtopologie entsprechend folgender Abbildung dar:



Im Funktionsbereich der ersten Kommissionierstufe findet sich die 3-geschossige Fachbodenregalanlage als ein Bereich mit 3 Bausteinen wieder. Die drei Bausteine sind jeweils vom Typ1 "konventionelles Kommissionieren". Die Modellierung von drei Bausteinen innerhalb eines Bereiches wurde hier gewählt, da im Ist-Zustand für die Kommissionierung ein Kommissionierwagen mit bis zu drei Kommissionierbehältern in derselben Zusammenstellung als Serie alle Ebenen der Fachbodenregalanlage von oben nach unten durchläuft. Da eine Serie innerhalb eines Bereiches immer gleich bleibt entspricht diese Abbildung gemäß dem Modellierungsparadigma hinreichend genau der Realität. Die Verbindung der Fachbodenebenen erfolgt über einen Aufzug.

Außerdem für diese Art der Modellierung spricht die Tatsache, dass die Verteilung der Artikel auf die Ebenen in der Realität entsprechend der Zugriffshäufigkeit der Artikel vorgenommen wurde um die aufwändige Nutzung des Aufzugs möglichst gering zu halten (A-Artikel auf der untersten Ebene, D-Artikel auf der obersten Ebene). Eine Modellierung der Fachbodenregalanlage mittels einem Baustein der aus drei Zonen besteht hätte zwar auch eine gleichbleibende Serie zur Folge gehabt, es wäre aber hier entsprechend dem Modellierungsparadigma eine Gleichverteilung aller Artikel auf die drei Ebenen (Zonen) bzgl. ihrer Zugriffshäufigkeit vorgenommen worden, was nicht der Realität entspricht.

Das Layout der Fachbodenregalanlage in einer Ebene ist in folgender Abbildung dargestellt:



Abbildung 6-45: Layout einer Ebene in der Fachbodenregalanlage

Man erkennt, dass das Layout hier nicht exakt dem definierten Layout eines Typ 1 – Bausteins entspricht, da mehrere Gassen zu beiden Seiten eines Hauptganges angeordnet sind. Außerdem wurden noch Artikel in Gassen im Bereich des Kopfganges bereitgestellt. Desweiteren war hier – wie in Fachbodenregalen üblich – die Fachabmessungen die ein Artikel belegte sehr unterschiedlich. Hier wurde in dem jeweiligen die Ebene repräsentierenden Baustein die Anzahl Regalzeilen (Fachbodenebenen übereinander) im Fachbodenregal gemittelt und dieser Wert modelliert. Daraus ergab sich zum einen der Parameter Fachhöhe und durch Berücksichtigung der nun zur Verfügung stehenden Gesamtregallänge ein Mittelwert für den Parameter Fachbreite.

Hier zeigt sich auch die Notwendigkeit der Abstraktion bei der Modellierung und Abbildung von realen System in der simulationsgestützten Planungsumgebung. Das zu modellierende Lagerlayout wurde durch geschickte Parametrisierung der im Baustein zur Verfügung gestellten Layout-Parameter auf ein dem Standard entsprechendes und das dynamische Verhalten in der Realität hinreichend genau abbildendes Layout abstrahiert.

Zusätzlich zur Fachbodenregalanlage wurde im Funktionsbereich des Zukommissionierens die Kommissionierbereiche „Palettenregal“ und „Shuttle“ abgebildet. Für beide wurde jeweils ein Baustein in einem gemeinsamen Bereich modelliert, wobei es in diesem Fall keinen Unterschied gemacht hätte, wenn die Bausteine in je einem Bereich modelliert worden wären, da hier mit einer Seriengröße von 1 gearbeitet wurde. Seriengröße von 1 deshalb, weil die Kommissionieraufträge einer Serie im Fachbodenregal nach Fertigstellung im Fachbodenregal am Ausgang dieses Bereiches vereinzelt werden und dann nur die Auftragsbehälter, die noch eine Zukommissionierung aus dem Bereich Palettenregal oder Shuttle erwarten als einzelne Behälter (Seriengröße 1) dort bedient werden.

Das Palettenregal besteht aus drei Gassen. Als Lagerhilfsmittel kommen Europaletten und Düsseldorfer Paletten in verschiedenen Höhen vor. Auch hier wurde bei der Dimensionierung mit gemittelten Fachbreiten, -höhen- und -tiefen gearbeitet

Das Shuttle ist in dieser Form ein nicht dem Standard entsprechender Typ von Kommissionierung. Abgebildet wurde dieses Element durch das vergleichbare Kommissionieren an einer Regalfrent unter Berücksichtigung der spezifischen Layoutparameter.

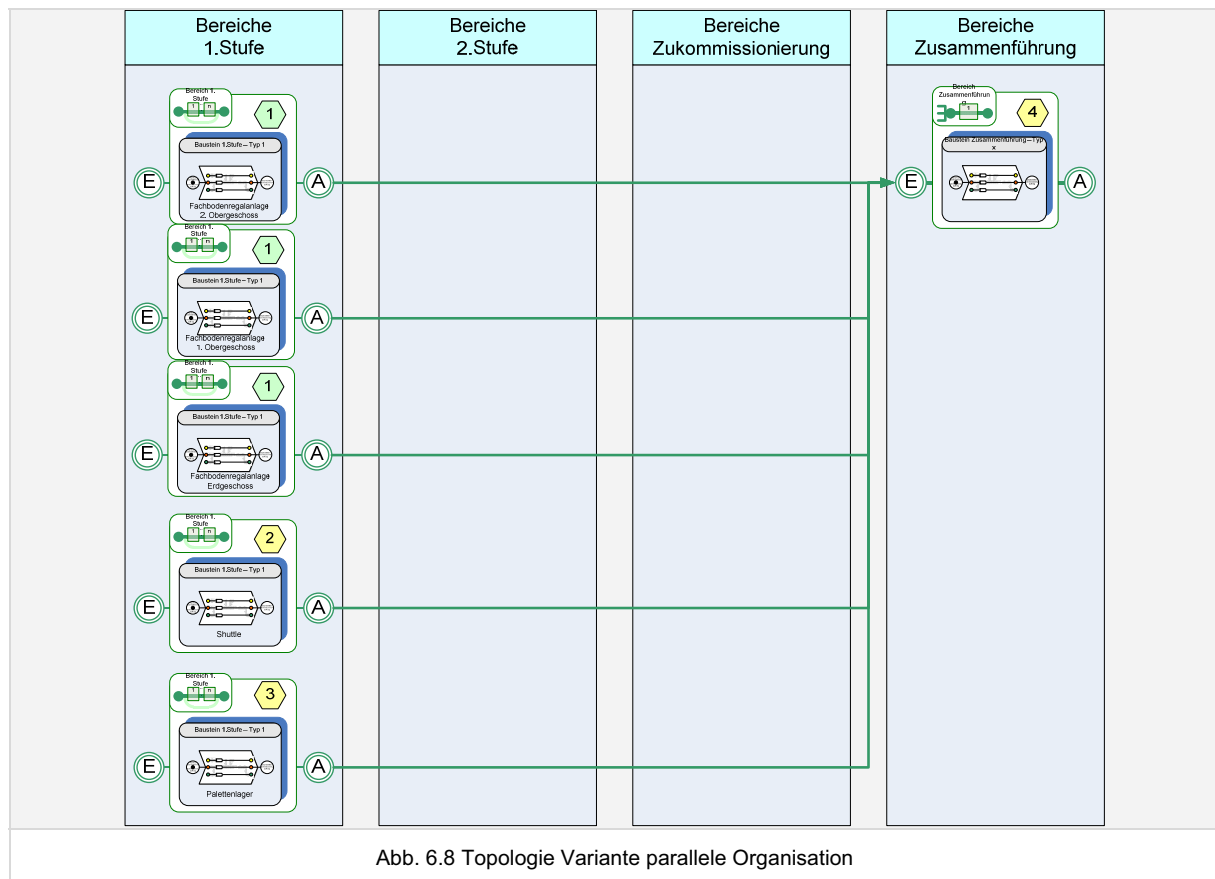
Die Parameter für die Basiszeiten, Greifzeiten und die Abgabezeiten wurden so eingestellt, dass nach dem Ist-Zustand bei der Fa. Ludwig Meister alle Kommissionen an einem Normaltag mit 55 Mitarbeiterstunden abgearbeitet werden können. Das entspricht einem Einsatz von acht Mitarbeitern über 8 Stunden mit einer Auslastung von 85%. Da auch in diesem Szenario für einige Positionen mit Hilfe von Zählwiegen kommissioniert werden muss, wurde hier die Greifzeit auf maximal die 5-fache Greifmenge also auf durchschnittlich 25 Stück je



Position begrenzt. Das bedeutet dass alle Positionen mit mehr als 25 Stück je Position als Positionen zum Zählwiegen betrachtet wurden und damit beim Kommissionieren eine einheitliche Greifzeit je Position unabhängig von der Menge erhalten haben.

### 6.3.2.3 Modellbildung „parallele Organisation“ (IML)

Das Modell „seriellen Organisation“ stellt sich bzgl. der Gesamtopologie entsprechend folgender Abbildung dar:



Man erkennt hier die Modellierung der drei Ebenen der Fachbodenregalanlage als eigenständige Bausteine und Bereiche genauso wie das Palettenregal und das Shuttle als eigenständige Bausteine und Bereiche. Mit dieser Art der Modellierung wird erreicht, dass alle Bereiche jeweils Ihre Lieferteilaufräge parallel bearbeiten und in eine gemeinsame Zusammenführung abgeben. Bzgl. der technischen Parametrisierung ergibt sich aufgrund der unveränderten Lager- und Transporttechnik ein unverändertes Bild gegenüber dem Modell „serielle Organisation“

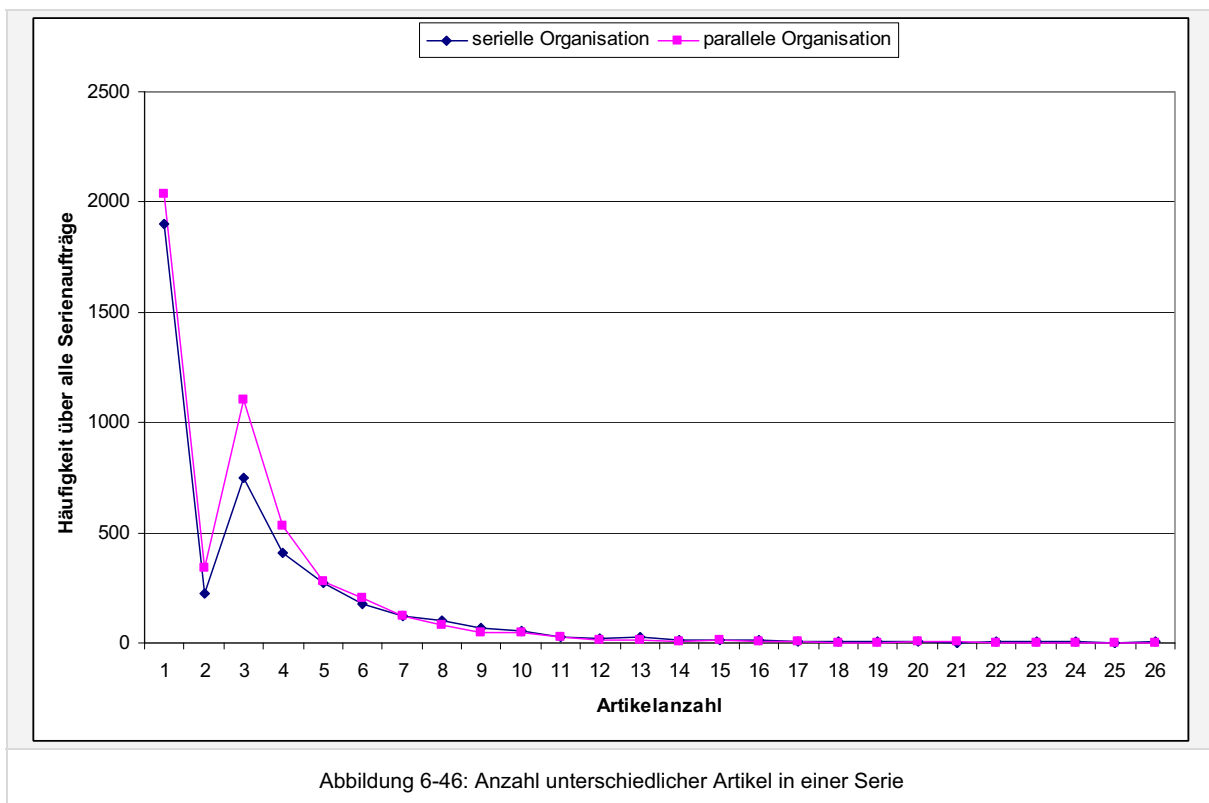
### 6.3.2.4 Datenaufbereitung und –optimierung „serielle Organisation“ (fml)

Nach erfolgreicher Erzeugung der Lagerspiegel werden die Lieferaufträge auf die angelegten Bereiche des Modells aufgeteilt. Dabei entstehen aus den insgesamt über alle Simulationsläufe angelegten 7.069 Lieferaufträgen, 8.350 Behälteraufträge. Diese Behälteraufträge werden dann in die entsprechenden Batches mit Zeitfenstern von einer Stunde eingeteilt. Da die meisten Artikel im Fachbodenregal lagern, werden die 8.350 Behälteraufträge bei der Serienbildung mit Seriengröße 3 zu 4.270 Serien zusammengefasst.

Es werden 6.352 Bearbeitungsaufträge und 7.069 Zusammenführungsaufträge erzeugt.

### 6.3.2.5 Datenaufbereitung und –optimierung „parallele Organisation“ (fml)

Nach erfolgreicher Erzeugung der Lagerspiegel werden die Lieferaufträge auf die angelegten Bereiche des Modells aufgeteilt. Dabei entstehen aus den insgesamt über alle Simulationen angelegten 7.069 Lieferaufträgen, 9.838 Behälteraufträge. Die Anzahl der Behälteraufträge ist höher im Vergleich zu der im Modell der seriellen Organisation, weil die Fachbodenregalanlage nun mehr nicht mehr insgesamt als ein Bereich sondern jede Ebene der Fachbodenregalanlage einen eigenen Bereich darstellt. Da die meisten Artikel im Fachbodenregal lagern, werden die 9.838 Behälteraufträge bei der Serienbildung mit Seriengröße 3 zu 4.913 Serien zusammengefasst. Die Zahl der Serien ist entsprechend der Behälterauftragszahl auch höher als bei der seriellen Organisation. Durch die höhere Behälterauftragszahl und der damit verbundenen geringerer Artikelanzahl je Behälter, ist das Ergebnis der Serienoptimierung wie in Abbildung 6-46 ersichtlich, etwas besser. Besser heißt in diesem Fall, dass höhere Überdeckungsgrade bei den Behälteraufträgen erreicht werden und die Serien durchschnittlich weniger unterschiedliche Artikel enthalten.



Abschließend werden für die parallele Organisation 4.913 Bearbeitungsaufträge und 7.069 Zusammenführungsaufträge erzeugt.

## 6.3.3 Simulation (IML)

### 6.3.3.1 Ergebnisse des Preprozessing und Ressourceneinsatz

Nach den Ergebnissen des Preprozessing ergeben sich die Anzahl der Mitarbeiterstunden über die 20 Simulationenläufe und der seriellen wie auch der parallelen Organisation für alle sechs Zonen, wie in der Abbildung 6-47 dargestellt.

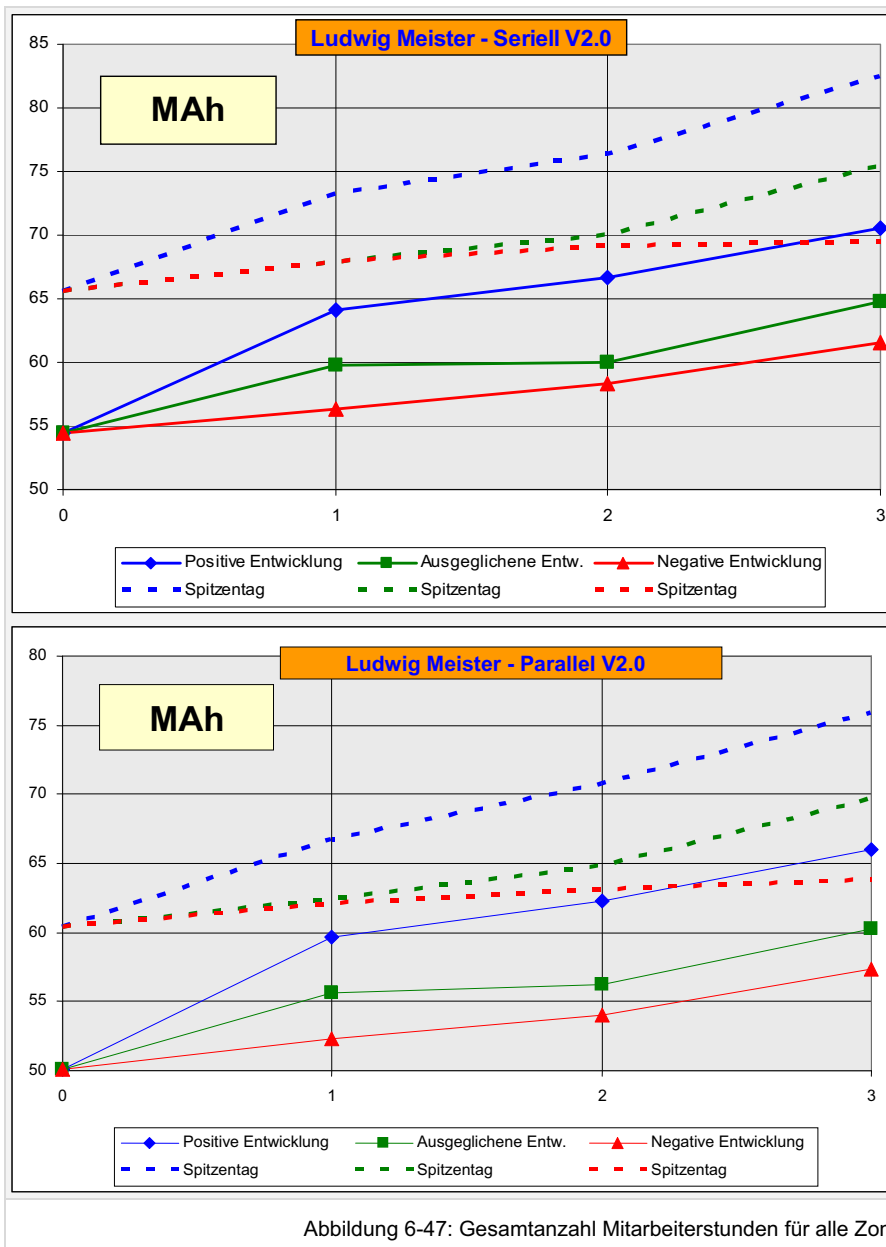


Abbildung 6-47: Gesamtanzahl Mitarbeiterstunden für alle Zonen

Für den Einsatz der Kommissionierer wurde davon ausgegangen, dass alle Mitarbeiter genau acht Stunden arbeiten. Da aber die meisten Aufträge von 8:00 bis 17:00 generiert wurden und zusätzlich einige wenige um 18:00 wurde für dieses Szenario ein Schicht- und Pausenmodell verwendet, welches sicherstellt, dass bis kurz nach 18:00 noch einige Mitarbeiter anwesend sind um noch einige Kommissionen erledigen zu können. Dieses konnte durch eine Integration von zwei Stunden Pause innerhalb der Arbeitszeit und durch um 5 Minuten verschobenen Arbeitsanfängen und Arbeitsenden erreicht werden.

Hierfür wurden acht verschiedene Pausenmodelle in der Tabelle Arbeitszeit angelegt, die den einzelnen Mitarbeitern abwechselnd zugeordnet wurden. Abbildung 6-48 zeigt die Arbeitszeiten mit den jeweils drei integrierten Pausen.

Bezeichnung	AZ11	AZ21	AZ31	AZ41	AZ51	AZ61	AZ71	AZ81
Von	8:00	8:20	7:50	8:10	8:05	7:45	7:55	8:15
Bis	9:30	9:50	9:20	9:40	9:35	9:15	9:25	9:45
Bezeichnung	AZ12	AZ22	AZ32	AZ42	AZ52	AZ62	AZ72	AZ82
Von	10:00	10:20	9:50	10:10	10:05	9:45	9:55	10:15
Bis	12:30	13:10	12:10	12:50	12:40	12:00	12:20	13:00
Bezeichnung	AZ13	AZ23	AZ33	AZ43	AZ53	AZ63	AZ73	AZ83
Von	13:30	14:10	13:10	13:50	13:40	13:00	13:20	14:00
Bis	16:30	16:50	16:20	16:40	16:35	16:15	16:25	16:45
Bezeichnung	AZ14	AZ24	AZ34	AZ44	AZ54	AZ64	AZ74	AZ84
Von	17:00	17:20	16:50	17:10	17:05	16:45	16:55	17:15
Bis	18:00	18:20	17:50	18:10	18:05	17:45	17:55	18:15

Abbildung 6-48: Pausenmodell für die eingesetzten Mitarbeiter

Aus der Abbildung 6-49 ist ersichtlich, wie die Mitarbeiter in den 20 Simulationläufen für den Normal- und Spitzentag und für die serielle und die parallele Organisation eingesetzt wurden. Dabei hat jeder Mitarbeiter eine spezielle Zuständigkeit für Zonen, in denen er arbeiten kann. Dabei bedeutet die Zuständigkeit für Zone 1 bis 3, dass die angegebenen Mitarbeiter in allen drei Zonen arbeiten dürfen. Da für die Zone 2 und für die Zone 3 Mitarbeiter vorgesehen sind, die nur dort arbeiten dürfen, bedeutet die Zuständigkeit für Zone 1 bis 3, dass diese Mitarbeiter für die Zone 1 zuständig sind und wenn keine Arbeit mehr vorliegt, in den Zonen 2 und 3 aushelfen können und müssen.

	Normaltag										Spitzentag									
Periode:	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3
Entwicklung:	°	+	°	-	+	°	-	+	°	-	°	+	°	-	+	°	-	+	°	-
Simulationslauf:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Zuständigkeit																				
Organisation																				
Zone 1 bis 3 Alle	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Zone 2 Alle	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2
Zone 3 Alle	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2
Zone 2 bis 6 Seriell	1	2	2	2	3	2	2	3	2	2	3	2	2	2	3	2	2	3	3	2
Zone 4 bis 6 Alle	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Zone 2 bis 6 Parallel	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1
Gesamt Seriell	8	9	9	9	10	9	9	11	9	9	10	10	10	10	11	10	10	12	11	10
Gesamt Parallel	8	8	8	8	9	8	8	10	9	8	9	10	9	9	10	10	9	11	10	9

Abbildung 6-49: Die Anzahl Mitarbeiter und deren Zuständigkeit für die Simulationläufe

Wie bereits an der Abbildung 6-47 erkennbar zeigt der Vergleich der Nettoarbeitszeiten der beiden Organisationsformen zeigt, dass die Anzahl der Mitarbeiterstunden in der Variante parallele Organisation um 6% bis 9% sinkt (Siehe Abbildung 6-50). Dieses ist auch an der Anzahl Mitarbeiter in der Abbildung 6-49 erkennbar.

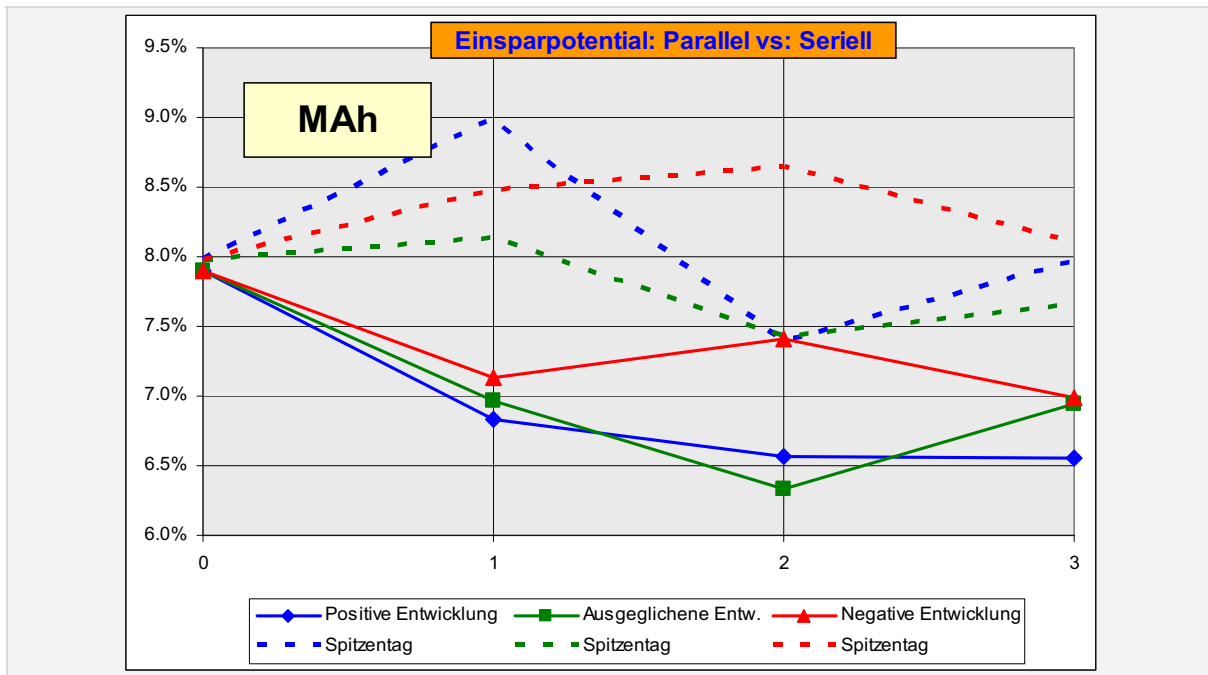


Abbildung 6-50: Einsparung an Mitarbeiterstunden bei paralleler Organisation

Die Greif- und Ablagezeiten sind für beide Organisationsformen gleich weil es sich hier auch um gleiche Tätigkeiten handelt. Die Abbildung 6-51 zeigt, dass diese Zeiten durchaus unterschiedlich für die verschiedenen Simulationläufe sind.

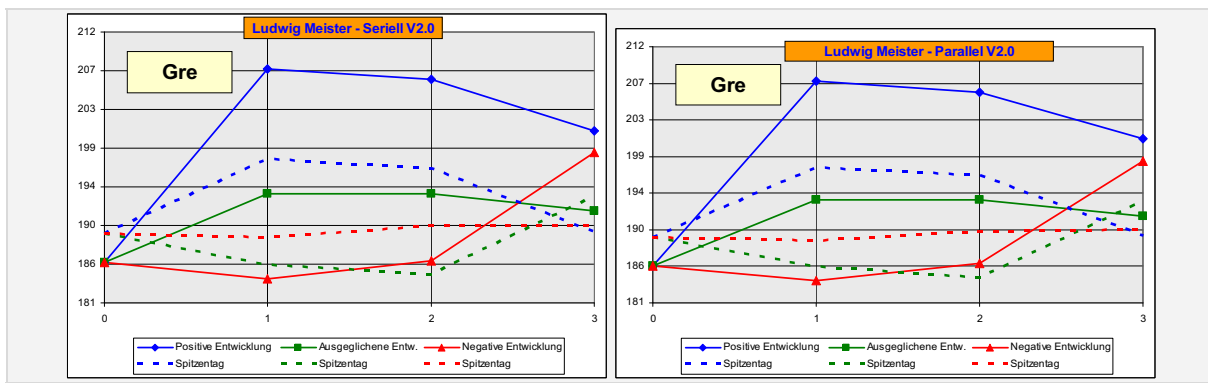


Abbildung 6-51: Greif- und Ablagezeiten für serielle und parallele Organisation

Die Wegzeiten, die zwischen 24 Sec und 30 Sec je Position liegen können bei der parallelen Organisation um 2% bis 11% gesenkt werden. (Siehe Abbildung 6-52 )

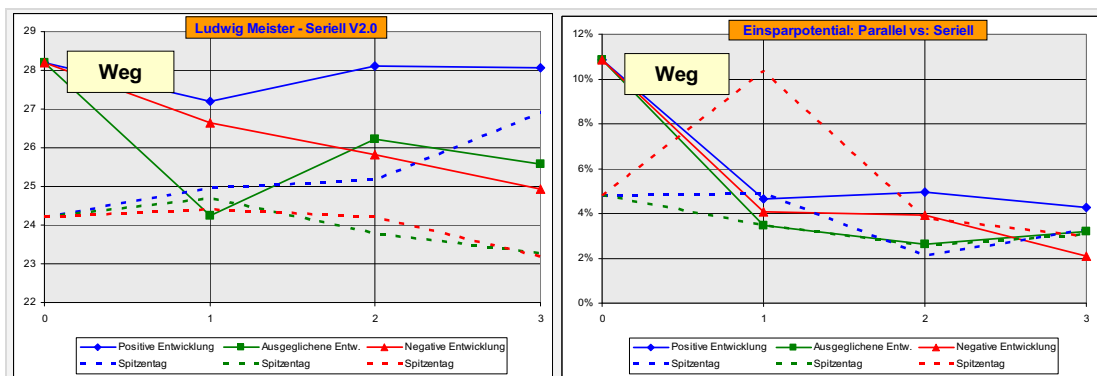


Abbildung 6-52: Wegzeiten[Sec] beim Kommissionieren und Sparpotential[%]

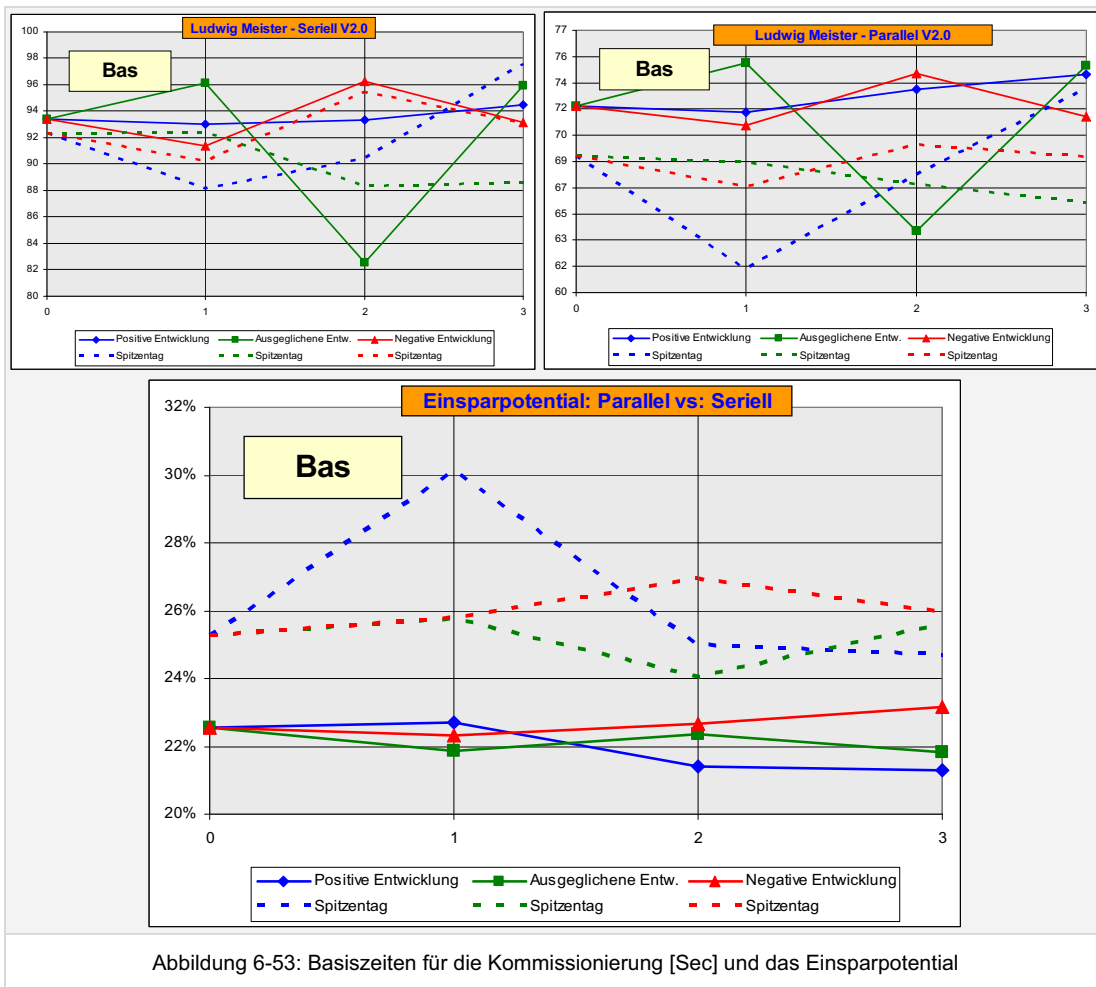


Abbildung 6-53: Basiszeiten für die Kommissionierung [Sec] und das Einsparpotential

Das größte Einsparpotential an Mitarbeiterstunden bei der parallelen Organisation gegenüber der seriellen Organisation kann mit durchweg etwa 20 Sec bei allen Simulationläufen bei den Basiszeiten erreicht werden. (Siehe Abbildung 6-53 ) Die Aufwandseinsparungen betragen hier zwischen 20% und 30%. Der Grund liegt in der erheblich geringeren Anzahl an Bearbeitungsaufträgen bei der parallelen Organisation gegenüber der seriellen Organisation. Hier beträgt die Reduzierung ebenfalls zwischen 20% und 30%. (Siehe Abbildung 6-54 ) Der Grund kann nur in einer besseren Optimierungsmöglichkeit bei der parallelen Organisation vermutet werden.

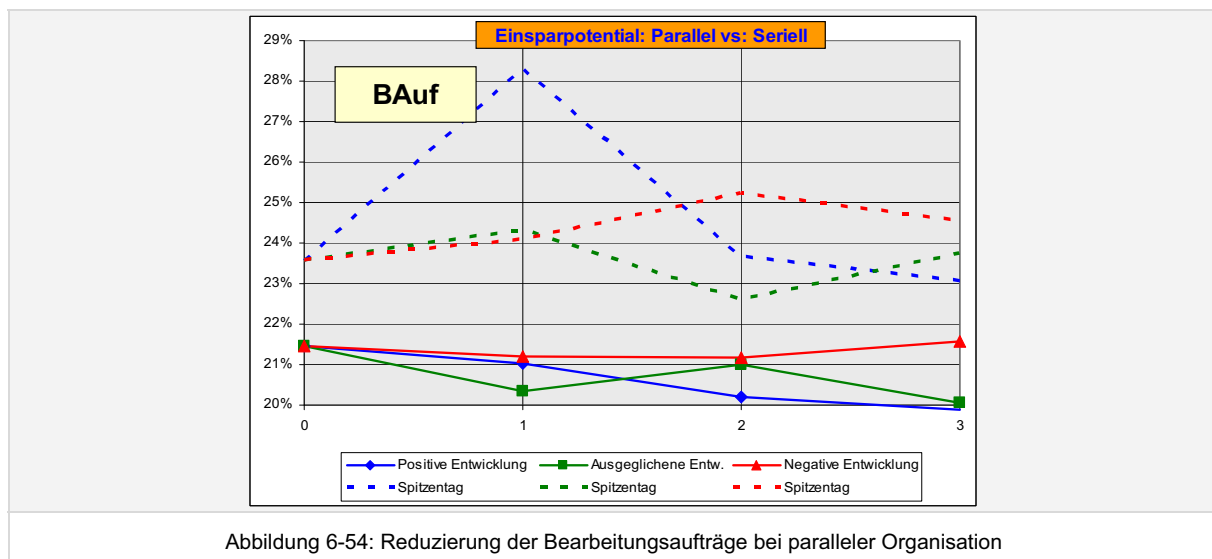
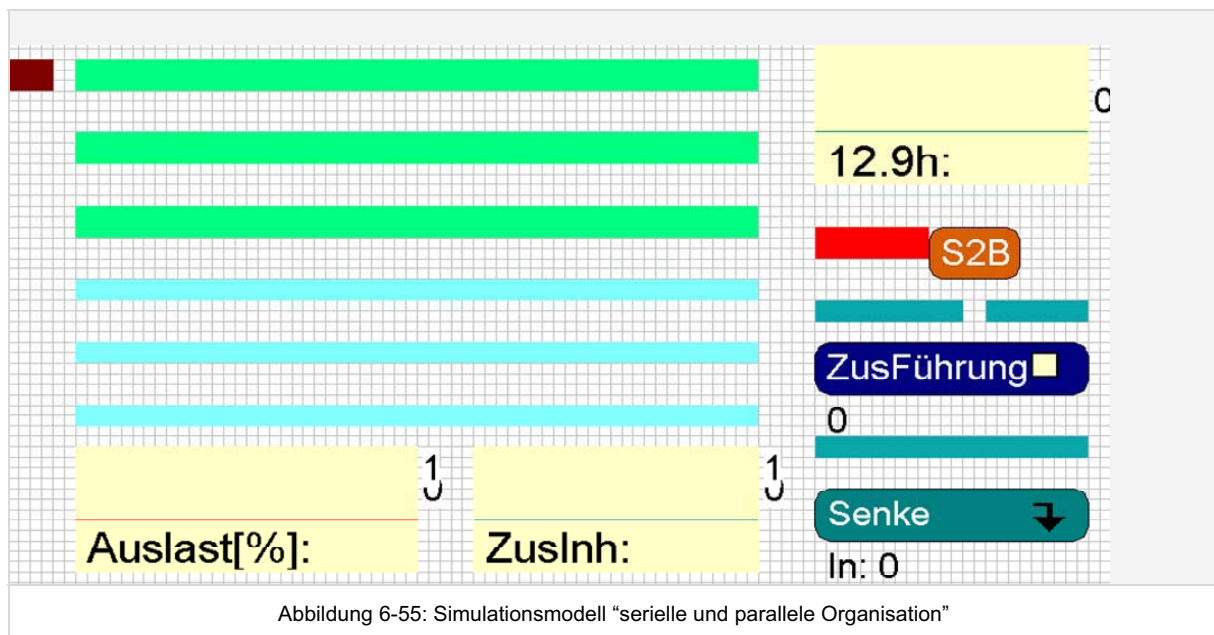


Abbildung 6-54: Reduzierung der Bearbeitungsaufträge bei paralleler Organisation

### 6.3.3.2 Simulationsmodell „serielle Organisation“ und „parallele Organisation“

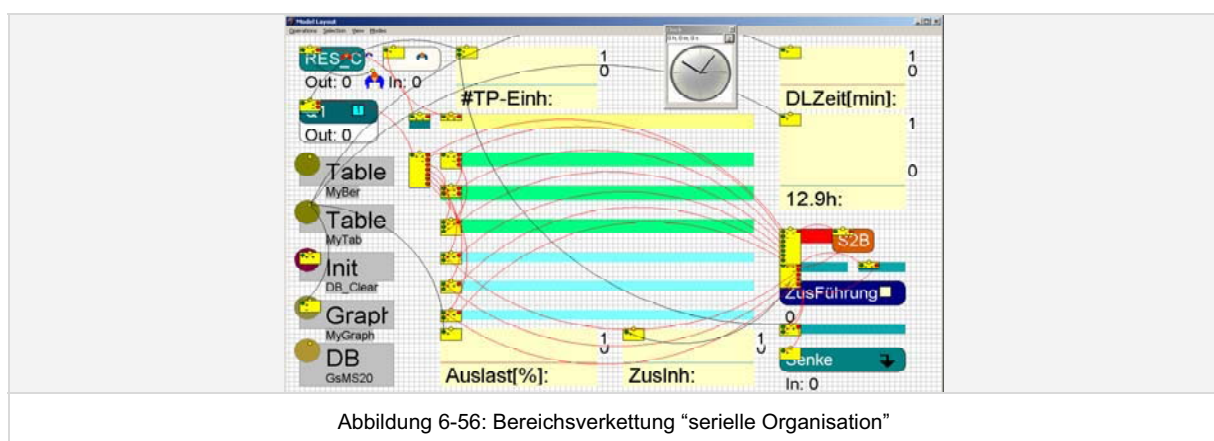
Die Simulationsmodelle für die serielle und parallele Organisation sehen im Kernbereich sehr ähnlich aus, da sie aus denselben Zonen bestehen, die verschiedenen Bereichen und/oder Bausteinen zugeordnet sind (vgl. Abbildung 6-55).



In dieser Abbildung erkennt man die insgesamt sechs Zonen als horizontale Balken. Diese repräsentieren von oben nach unten dargestellt die folgenden Zonen des realen Systems:

- Zone 1: Fachbodenregal Bühne
- Zone 2: Fachbodenregal OG
- Zone 3: Fachbodenregal EG
- Zone 4: Shuttle
- Zone 5: Palettenlager
- Zone 6: Transshipment Kommissionierung

Weiterhin enthalten beide Modelle einen Splitter (S2B) zur Vereinzelung der Behälter aus den Serien, einen Baustein zur Verteilung der Behälter auf die Nachfolgenden Bereiche, eine Zusammenführung und eine Senke. Lediglich die Quellen unterscheiden sich bei den beiden Modellen und die Verkettung der Bausteine/Bereiche ist unterschiedlich (siehe Abbildung 6-56 und Abbildung 6-57).



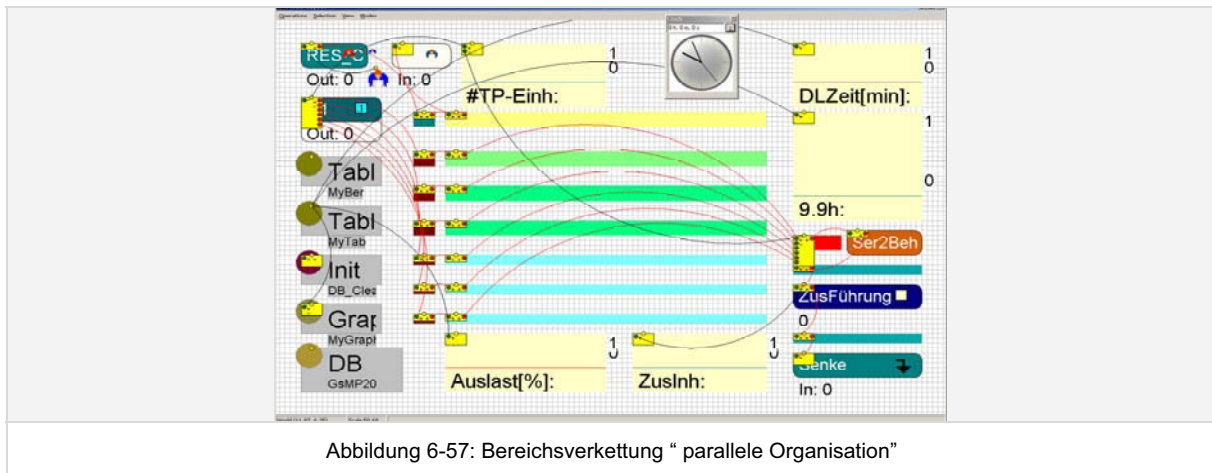


Abbildung 6-57: Bereichsverkettung "parallele Organisation"

Die Simulationen für die serielle und für die parallele Organisation wurden wie bereits beschrieben mit dem Ressourceneinsatz nach 6.3.3.1 durchgeführt, wobei alle Simulationsergebnisse für die Auswertung in die Datenbank geschrieben wurden. Folgende Abbildung zeigt das Simulationsmodell während eines Simulationslaufes:

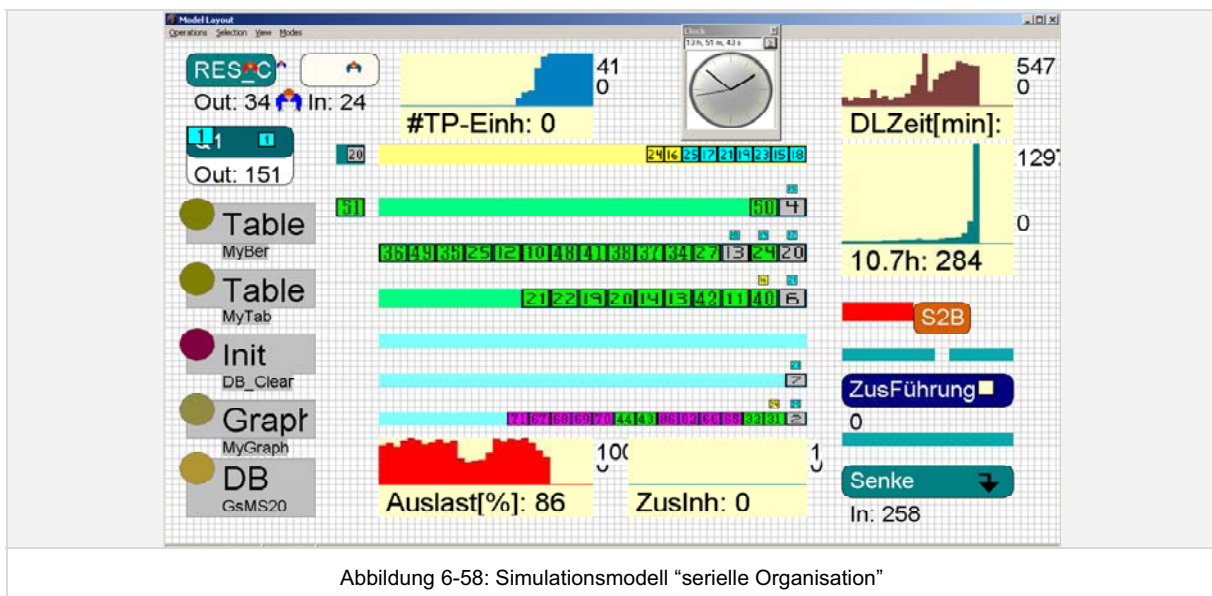


Abbildung 6-58: Simulationsmodell "serielle Organisation"

Die nummerierten Elemente auf den horizontalen Balken in Abbildung 6-58 repräsentieren die in der jeweiligen Zone wartenden Serien.

### 6.3.4 Ergebnis (fml)

Bei der Auswertung der durch die Simulation ermittelten Zeiten und gewonnenen Daten wird in diesem Szenario der Fokus auf den Vergleich der beiden unterschiedlichen Organisationsstrukturen gelegt. Die Frage nach der Durchlaufzeit kommt dabei die wichtigste Bedeutung zu.

#### Betrachtung der Durchlaufzeiten der Lieferaufträge

Betrachtet man die Durchlaufzeiten der beiden Modelle und vergleicht dabei die Werte zur gleichen Zeit (Periode) in der gleichen Entwicklung, stellt man fest, dass diese in der parallelen Organisationsstruktur generell etwas länger ist, als die einer seriellen Anordnung. Der Vergleich für die ausgeglichene Entwicklung ist in Abbildung 6-59, für die optimistische Entwicklung in Abbildung 6-60 und für die pessimistische Entwicklung in Abbildung 6-61 dargestellt.



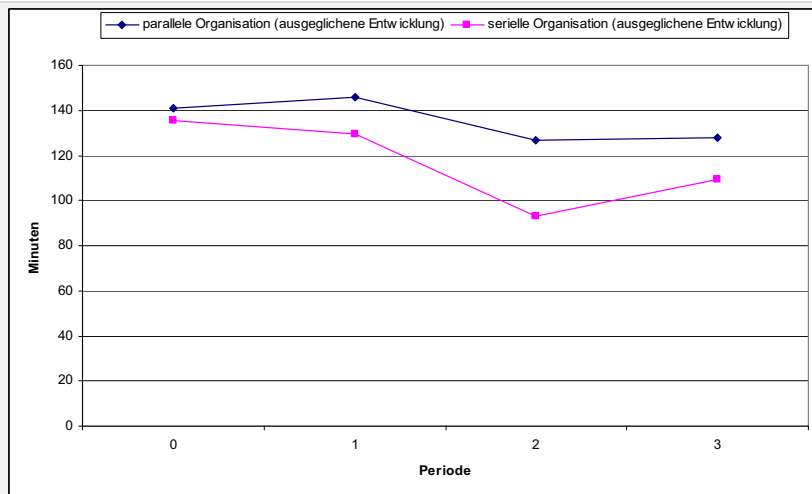


Abbildung 6-59: Vergleich der Durchlaufzeiten bezogen auf die ausgeglichene Entwicklung

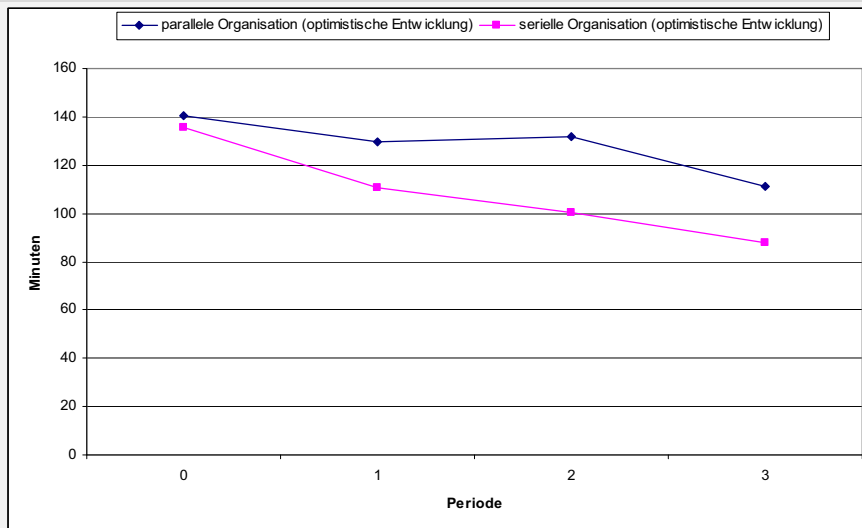


Abbildung 6-60: Vergleich der Durchlaufzeiten bezogen auf die optimistische Entwicklung

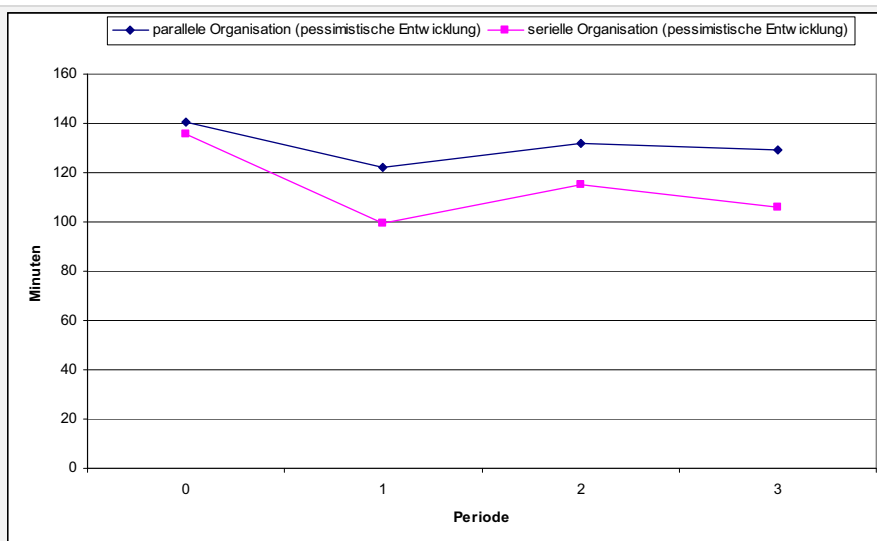


Abbildung 6-61: Vergleich der Durchlaufzeiten bezogen auf die pessimistische Entwicklung

Bezieht man nun noch die Eintrittswahrscheinlichkeiten der drei verschiedenen Entwicklungsarten mit ein, so ergibt sich nach entsprechender Gewichtung der Durchlaufzeiten das in Abbildung 6-62 dargestellte Diagramm.

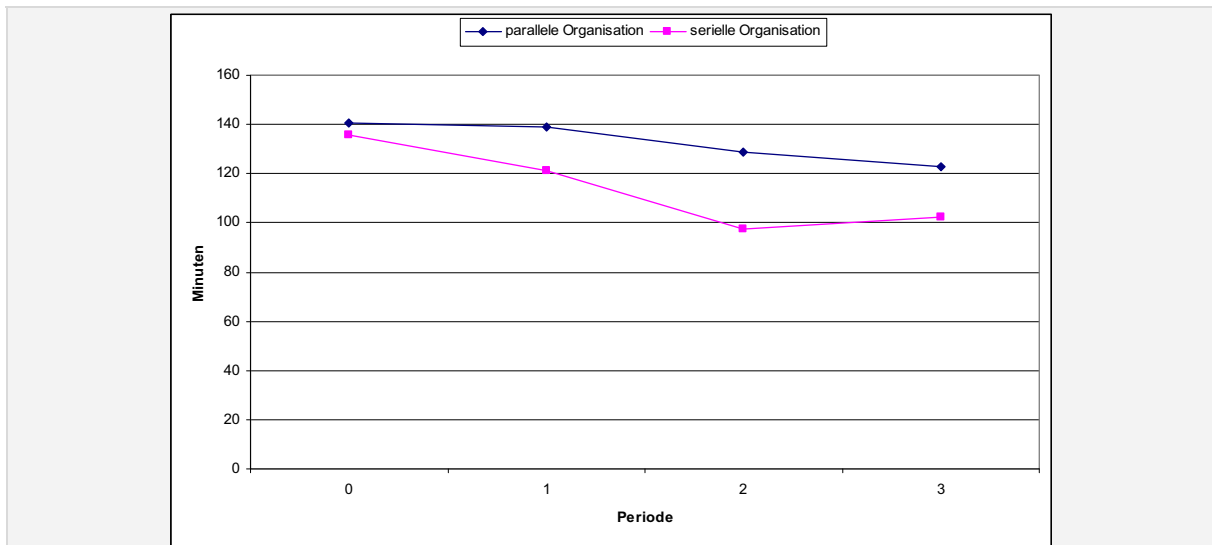


Abbildung 6-62: Vergleich der Durchlaufzeiten nach Gewichtung der prognostizierten Entwicklungen

### Zeitanteile

Wie aus den Abbildungen Abbildung 6-63 und Abbildung 6-64 ersichtlich ist, unterscheiden sich die Zeitanteile der Weg-, Basis-, Greif- und Zonenwechselzeiten zwischen den beiden Organisationsstrukturen nur marginal.

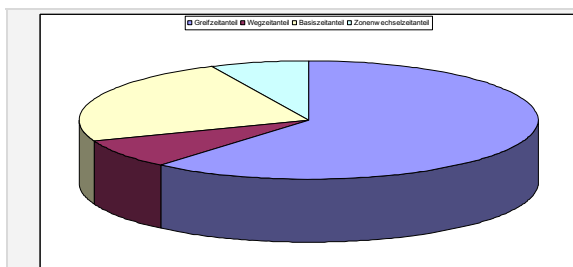


Abbildung 6-63: Zeitanteile bei paralleler Organisation

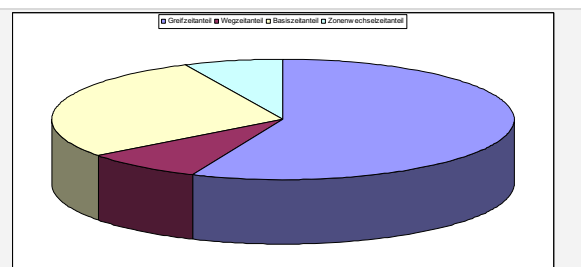
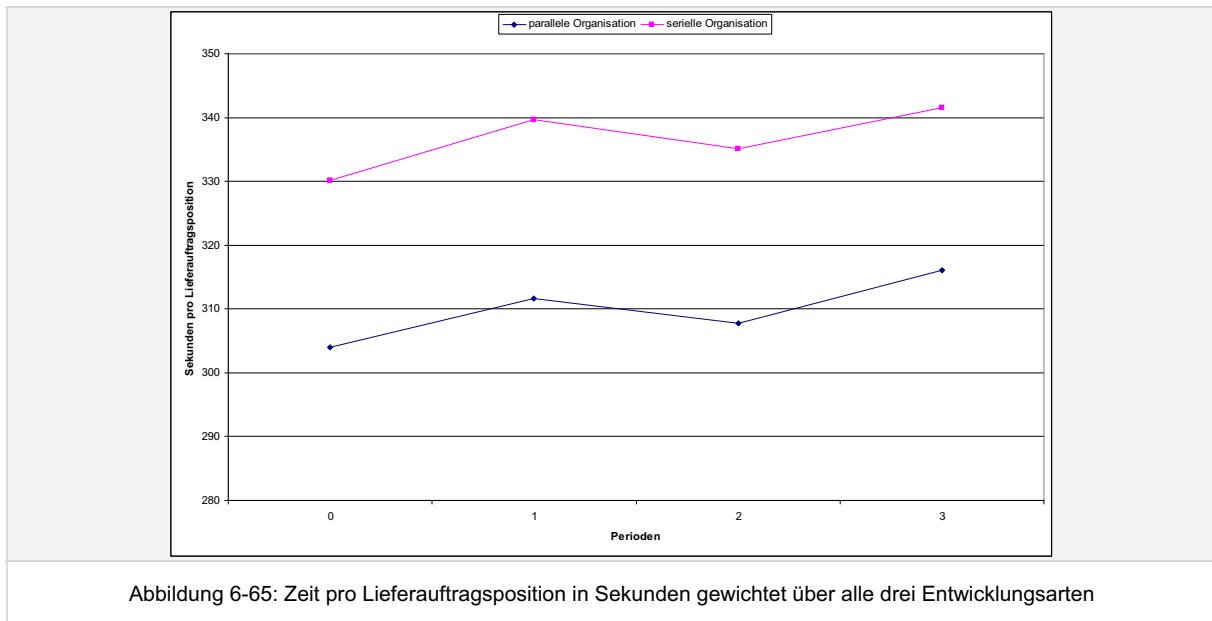


Abbildung 6-64: Zeitanteile bei serieller Organisation

Bei der benötigten Arbeitszeit je Lieferauftragsposition schneidet hingegen die parallele Organisation etwas besser ab als die serielle (vgl. Abbildung 6-65). Dies kann zum einen durch die unterschiedliche Serienauftragsoptimierung begründet sein, da die parallele Organisation wie bereits aufgezeigt, etwas besser optimiert werden kann, zum anderen wurde kein Zeitaufwand für die Zusammenführung, der bei einer parallelen Organisation mit anfällt, berücksichtigt.



### Kosten pro Lieferauftragsposition

Zwischen den beiden Modellen konnten bei den Kosten pro Lieferauftragsposition keine gravierenden Unterschiede ermittelt werden. Darum wird an dieser Stelle auch darauf verzichtet, diese im Detail darzustellen.

#### 6.3.4.1 Schlussfolgerungen (fml)

Eine wesentliche Aussage die sich aus den in der Simulation ermittelten Zeitwerten schlussfolgern lässt, ist die Erkenntnis, dass eine parallele Organisationsstruktur sich nicht unbedingt positiv auf die Durchlaufzeit auswirken muss. Jedoch sei dabei angemerkt, dass die dargestellten Durchlaufzeiten mit dem frühesten Startzeitpunkt und dem spätesten Fertigstellungszeitpunkt der zu einem Lieferauftrag entsprechenden Behälteraufträge definiert wurde. Dementsprechend könnte die Durchlaufzeit bei einer parallelen Struktur vermutlich deutlich sinken, wenn sichergestellt wird, dass die Behälteraufträge in den einzelnen Bereichen in etwa zur gleichen Zeit eingelastet werden. Dabei wird auch eine gleichmäßige Auslastung pro Mitarbeiter der verschiedenen parallelisierten Bereiche vorausgesetzt. Zudem würde durch eine gleichzeitige Einlastung der entsprechenden Behälteraufträge auch die Wartezeit in der Zusammenführung der schnelleren Behälteraufträge eines Lieferauftrages sinken.

## 6.4 Referenzszenario III: optimale Zonenanzahl beim Kommissionieren in Zonen

Das Referenzszenario III beschäftigt sich mit einer Detailuntersuchung von Zone-Picking-Systemen. Ziel der Untersuchungen ist die Beantwortung der Frage: Bei welcher Zonenlänge ergibt sich in klassischen Zone-Picking-Systemen mit Kommissionierung an einer Regalfront ein Optimum bzgl. der Kosten pro Position?

### 6.4.1 Definitionen (IML)

#### 6.4.1.1 Modellunabhängige Ausgangsdaten

Da es sich bei Referenzszenario III um ein von den Forschenden frei definierbares Szenario handelt, wurde darauf geachtet, möglichst übliche Anforderungen bzgl. Artikelspektrum und Leistung zu definieren.

#### Arbeitszeit:

8:00 Uhr bis 16:00 Uhr

Artikelspektrum:

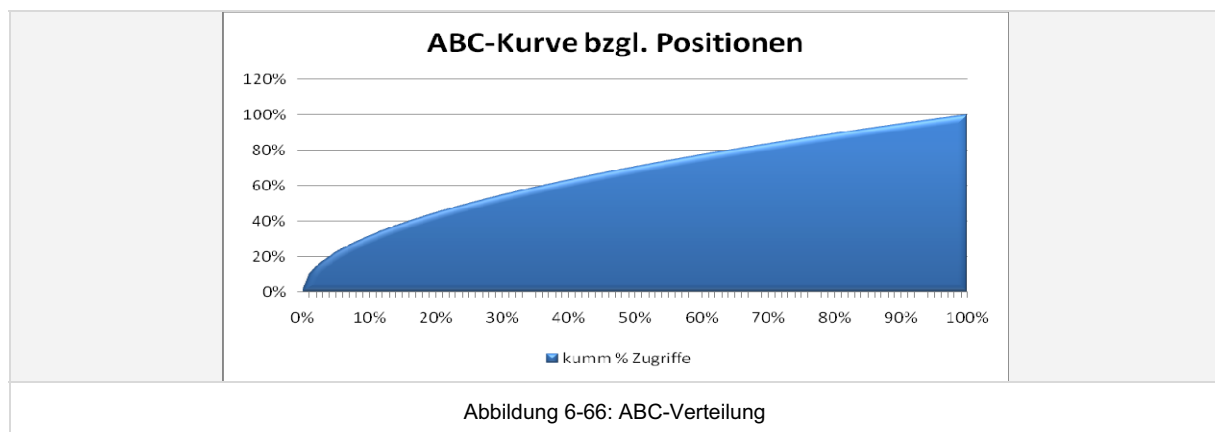
Sortimentsgrösse	1000 Artikel,
Artikelvolumen	Annahme: passt in Behälter 400mm x 300mm x 280mm unbegrenzte Menge Bereitstellung unbegrenzte Menge Artikel in Kommissionierbehälter

Auftragsanforderungen

Lieferaufträge pro Tag	1250
Auftragseingangsprofil	Aufträge liegen morgens komplett vor – kein Profil
Auftragsgrösse	durchschnittlich 4 Positionen pro Auftrag
Stück pro Position	1, d.h. eine Position entspricht immer einem Zugriff

ABC-Verteilung

Für das dynamische Verhalten von Zone-Picking-Systemen spielt auch die ABC-Verteilung der Artikel eine wichtige Rolle. Es wurde angenommen, dass das Sortiment welches in einem solchen Zone-Picking-System abgewickelt wird, eher eine gemäßigte ABC-Verteilung aufweist:



## 6.4.2 Datenvorbereitung

### 6.4.2.1 Modellunabhängige Datengenerierung (fml)

Die modellunabhängigen Ausgangsdaten sind die zu Grunde liegenden statischen und dynamischen Planungsdaten in Form der Artikel- und Lieferauftragsstruktur. In diesem Szenario wurden für die Erzeugung der Systemlast Verteilfunktionen definiert, welche im Folgenden über Diagramme visualisiert werden.

Sortiment

Ingesamt sollen in diesem Referenzszenario 24 unterschiedliche Zonenkonfigurationen simuliert werden. Dies wird über das Anlegen von 24 Perioden erreicht. Da für jede Periode ein Sortiment erzeugt werden muss, werden insgesamt 24 Sortimente a 1.000 Artikel (ArtikelVeraenderlichPeriode) generiert. Die Sortimente sind dennoch für jede Periode identisch, da jedes Sortiment aus den zuvor angelegten 1.000 ArtikelUnveraenderlich entsteht. Die Generierung der Zugriffshäufigkeiten des Sortiments erfolgte über die Dichtefunktion der Exponentialverteilung mit dem Erwartungswert  $\mu=1,66$ . Diese sind in Abbildung 6-67 dargestellt.

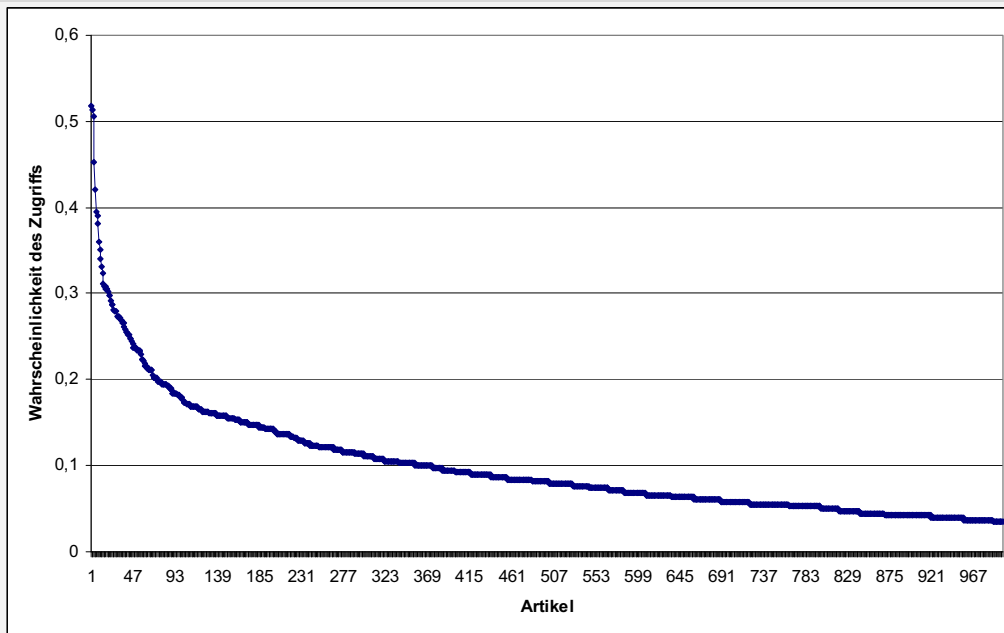


Abbildung 6-67: Zugriffshäufigkeit des generierten Sortiments

Die restlichen Arteikeigenschaften wurden mit Gleichverteilungen generiert, hatten auf dieses Simulationsexperiment jedoch auf Grund der Zielstellung keinen Einfluss.

### Generierung der Lieferaufträge

Die Generierung der Positionsanzahl je Lieferauftrag erfolgte über eine Normalverteilung mit dem Erwartungswert  $\mu=4$  und Standardabweichung  $\sigma=3$ . Es wurden für jeden Simulationslauf (hier 24) 1.250 Lieferaufträge erzeugt deren Positionsanzahl je Lieferauftrag wie in Abbildung 6-68 dargestellt generiert wurde.

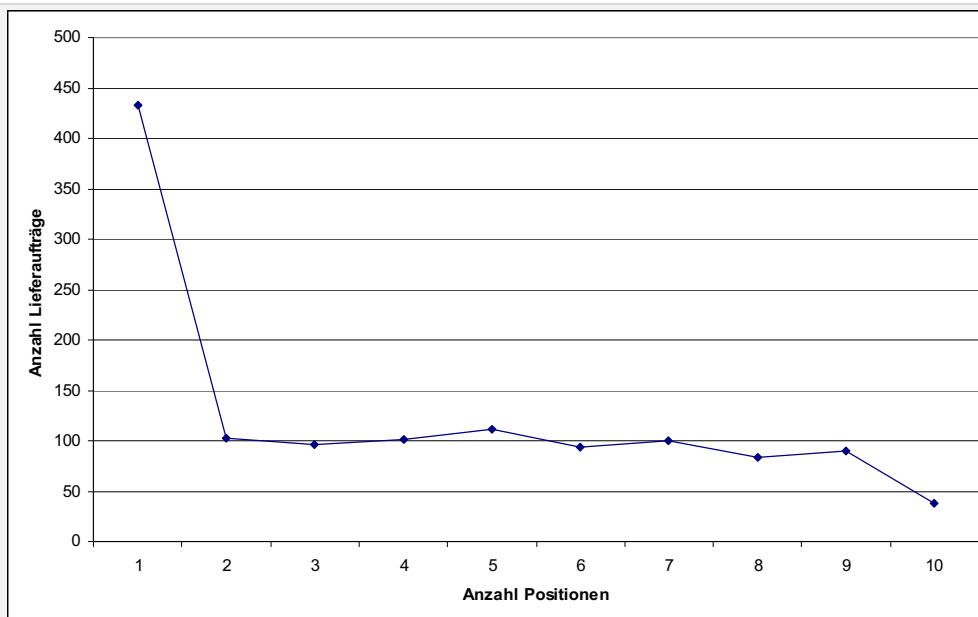
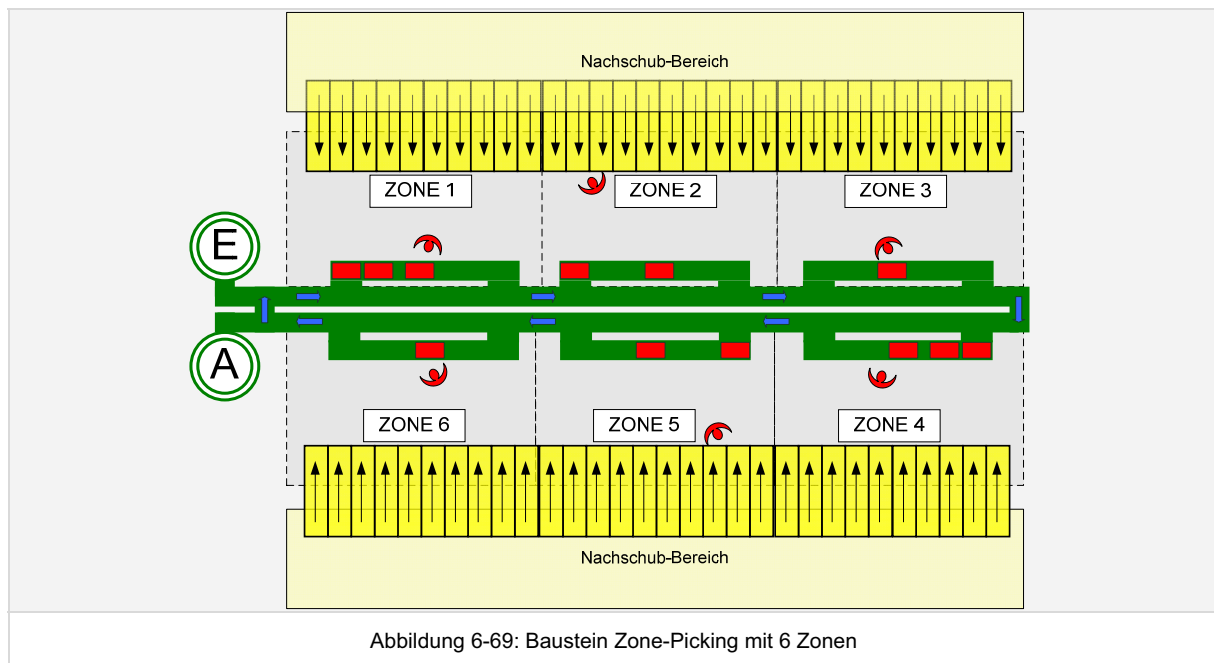


Abbildung 6-68: Anzahl Positionen der generierten Lieferaufträge

### 6.4.2.2 Modellbildung (IML)

Das beim Referenzszenario zugrunde liegende Modell besteht topologisch aus einem Baustein vom Typ 2 im Bereich der ersten Kommissionierstufe sowie dem obligatorischen Baustein der logischen Zusammenführung im Bereich der Zusammenführung.

Der hier näher betrachtete Baustein vom Typ 2 – Zone-Picking besteht zunächst aus einer Kommissionierfront von ca. 90 Metern Länge mit Bereitstellung der Artikel in Behältern in Durchlaufregalen auf fünf Ebenen (vgl. folgende Abbildung).



Die Anzahl Zonen wird in Modellvarianten variiert von 1 bis 28 wodurch sich die Zonenlänge zwischen 87,50 m und 3,15 m verändert. Die Anzahl der Spalten in den Zonen verringert sich dabei von 250 in einer Zone über 125 in zwei Zonen über 50 in 5 Zonen bis zu 9 Spalten in 28 Zonen. Jede Spalte hat eine Breite von 0,35 m wodurch sich die Zonengrößen von 87,5 m auf 3,15 m reduzieren.

Die Zonen sind über einen Auftragsbehälterkreislauf mit Umlaufmöglichkeit untereinander verbunden. Der Kommissionierprozess wurde hier durch die Parametrisierung von Parametern wie

- Anzahl Greifen (beschreibt die Anzahl Artikel (Stück) die mit einem Zugriff entnommen werden) und
- Anzahl Sammeln (beschreibt die Anzahl Stück die durch den Kommissionierer gesammelt werden können bevor er zur Auftragsablage zurückkehren muss) sowie
- SBL\_EntfernungBasis (beschreibt die Entfernung zwischen Bereitstelllager und Basis)

abgebildet. Die Einstellungen erfolgten in der Art, dass ein Kommissionierer einen kompletten Behälterauftrag mit einem Zyklus bearbeitet. Ein solcher Zyklus besteht aus den bereits im Kapitel 3 dargestellten Prozessen.

Es wurden in diesem Referenzszenario immer so viele Kommissionierer eingesetzt, wie notwendig waren um die definierte Last innerhalb der Arbeitszeit zu schaffen. Das hatte zur Folge, dass abweichend von der Beschränkung auf einen Mitarbeiter je Zone, bei einigen Varianten mehrere Kommissionierer parallel in einer Zone zugelassen wurden.

### 6.4.2.3 Datenaufbereitung und –optimierung (fml)

Bei diesem Referenzszenario liegt der Schwerpunkt bei der Aufbereitung der Daten und weniger bei deren Optimierung. Auf Grund dessen, dass das Sortiment für alle 24 untersuchten Zonenkonfigurationen als gleich angenommen wird, wird dieses 24 mal gespiegelt und jeweils ein Lagerspiegel erzeugt. Der generierte Lagerspiegel unterscheidet sich hingegen für jede Zonenkonfiguration.

Die Umwandlung der Lieferaufträge in Behälteraufträge ist in diesem Fall trivial, da nur ein Baustein vorliegt und keine Gewichts- oder Volumenprüfung durchgeführt wird. Das heißt aus den Lieferaufträgen werden exakte Kopien als Behälteraufträge gespeichert. Da alle Lieferaufträge zu Tagesbeginn bekannt sind und die Seriengröße eins betragen soll, muss die Serienoptimierung für jeden Behälterauftrag genau eine Serie anlegen und kann somit auch keine Optimierung durchführen. Die Batchgröße ist aus diesem Grund für die Serienerzeugung bedeutungslos und kann beliebig gesetzt werden. In diesem Fall wurde die Batchgröße auf 30 Behälteraufträge festgelegt. Die Anzahl der erzeugten Bearbeitungsaufträge nähert sich mit zunehmender Zonenanzahl der 5000 an. Dies ist darin begründet, dass die Wahrscheinlichkeit, dass jede Position eines Behälterauftrages in einer anderen Zone liegt, mit der Zonenanzahl zunimmt. Da jeder Lieferauftrag durchschnittlich vier Positionen enthält und insgesamt 1.250 Lieferaufträge zu bearbeiten sind, könnten insgesamt pro Behälterauftrag (der in diesem Modell dem Lieferauftrag entspricht) durchschnittlich vier Zonen angefahren werden (vgl. Abbildung 6-70).

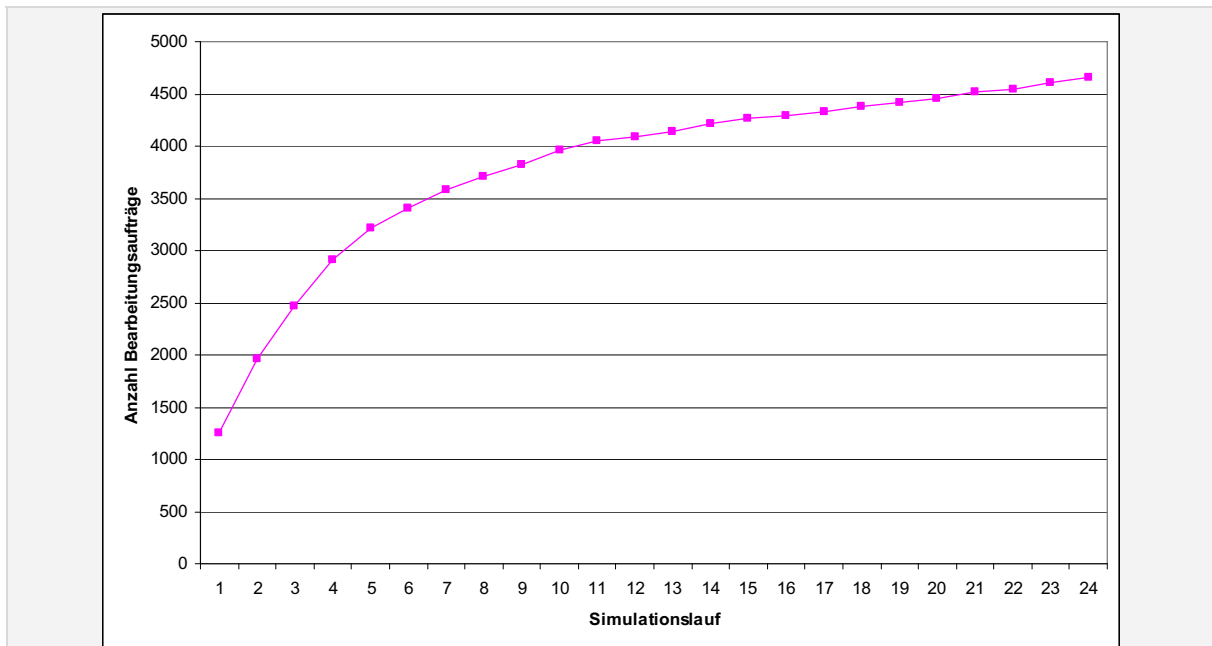


Abbildung 6-70: Zunahme der Anzahl an Bearbeitungsaufträge bei wachsender Zonenanzahl

## 6.4.3 Simulation (IML)

### 6.4.3.1 Modellierung Zone-Picking

Das Simulationsmodell für das Szenario III ist in folgenden Abbildungen dargestellt:

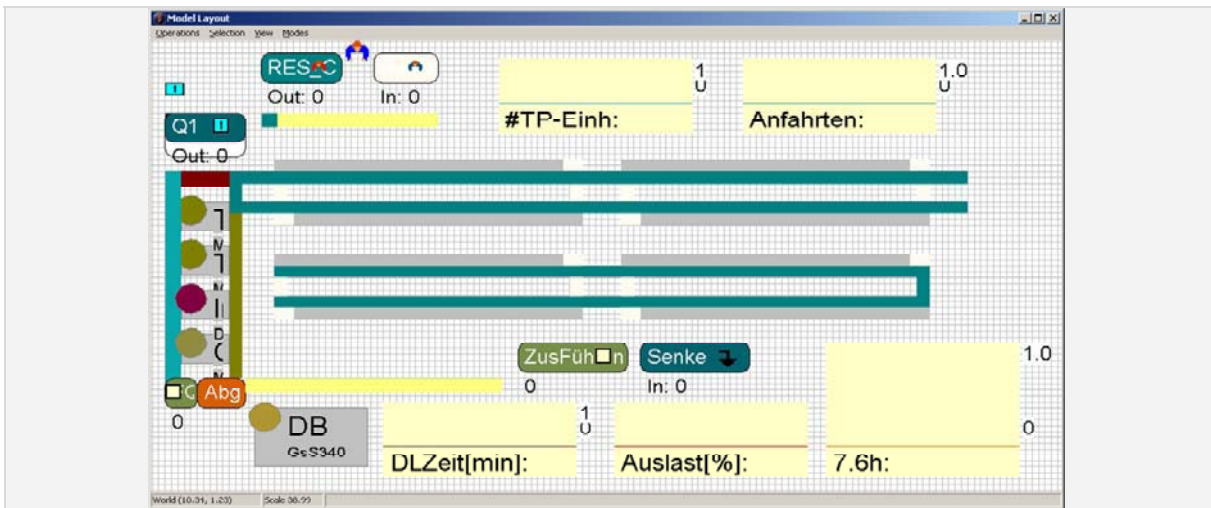


Abbildung 6-71: Simulationsmodell mit acht Zonen

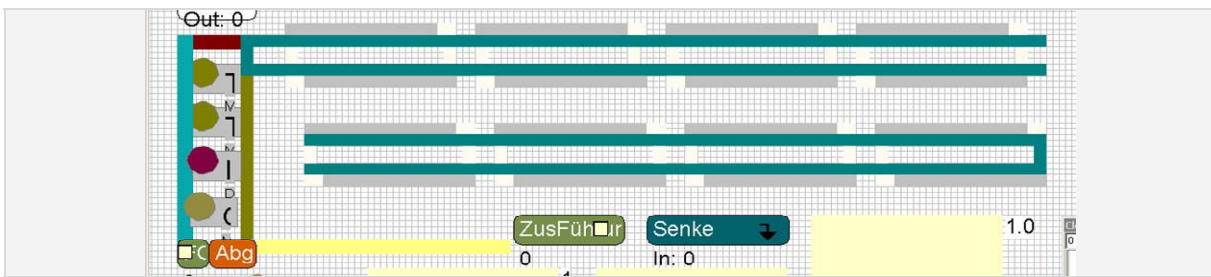


Abbildung 6-72: Simulationsmodell mit 16 Zonen

Entsprechend der Anzahl Zonen und der sich daraus ergebenden Länge der Bahnhöfe und Pufferstrecken wurde auch die Fördertechnik und die Anzahl der Pufferplätze im Simulationsmodell an die Zonenlänge angepasst. Die Basiszeiten, Greifzeiten und die Abgabezeiten wurden nach den im Baustein-Template vom Typ 2 hinterlegten MTM-Zeiten angenommen und parametrisiert.

### 6.4.3.2 Ergebnisse des Preprozessing und Ressourceneinsatz

Nach den Ergebnissen des Preprozessing sind die Nettoarbeitszeiten der Ressourcen bekannt und die Gesamtanzahl der Mitarbeiterstunden über die 24 Simulationsläufe, wie in der Abbildung 6-47 dargestellt.

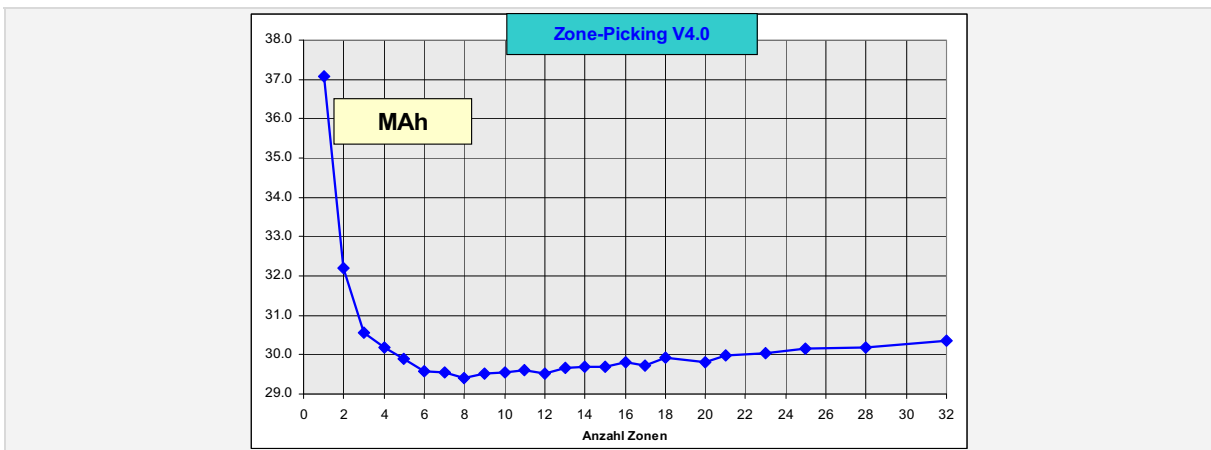
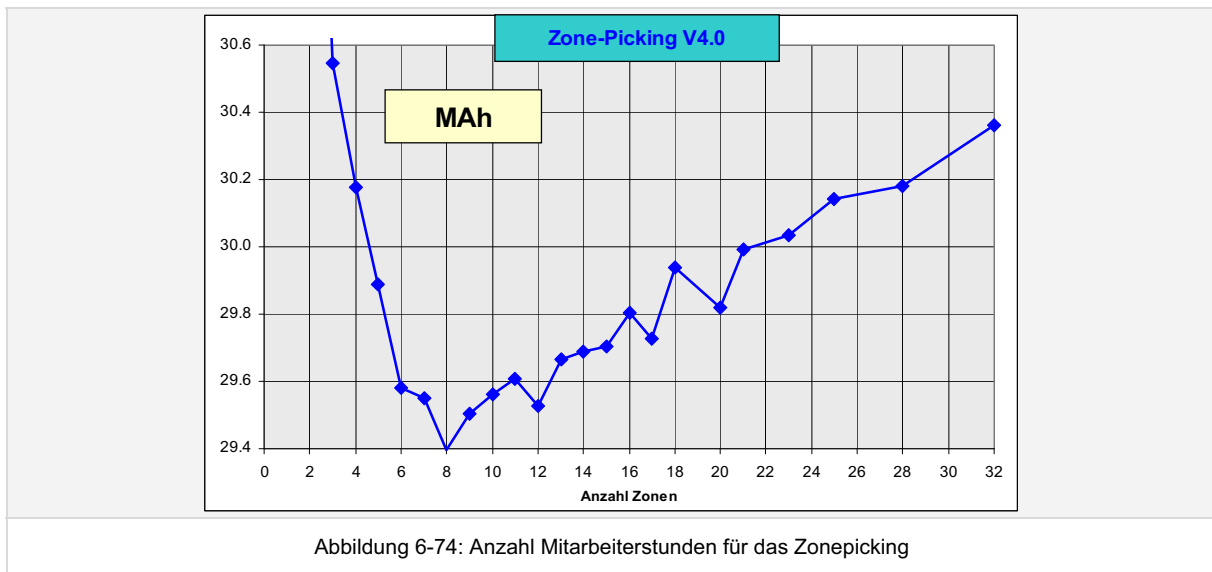


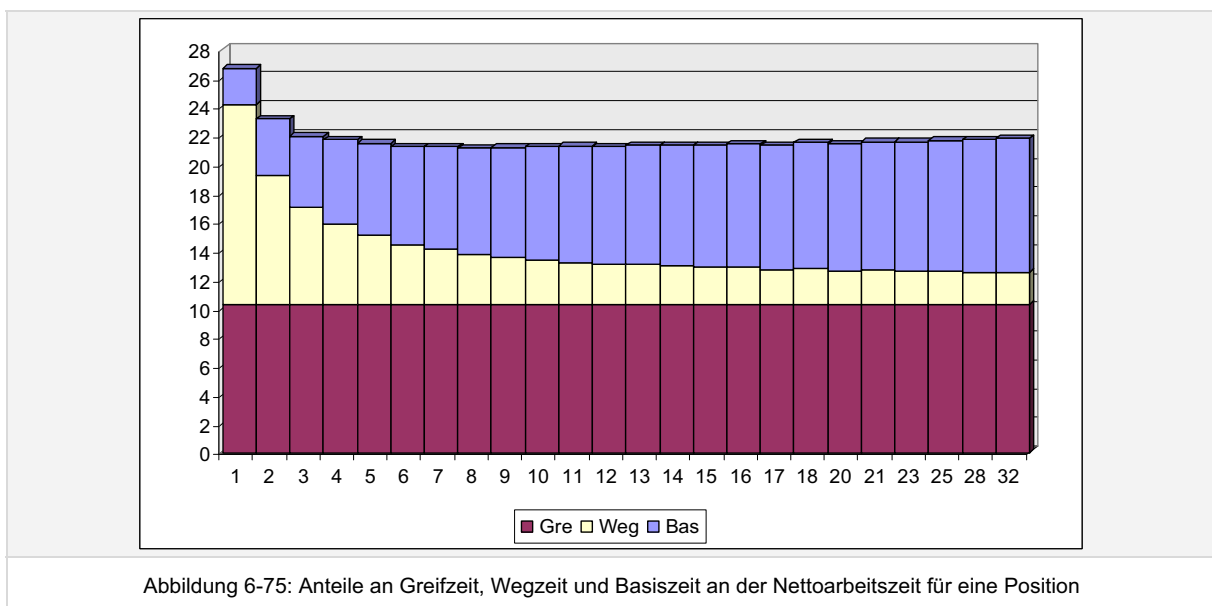
Abbildung 6-73: Anzahl Mitarbeiterstunden für das Zonepicking



Eine Vergrößerung der Darstellung im Bereich des Minimums zeigt in Abbildung 6-74 einen genaueren Verlauf.



Die Abbildung 6-75 gibt die Abhängigkeiten der Kommissionierzeiten von der Basiszeit, der Greifzeit und der Wegzeit, in Sekunden je Position, wieder.



Es wurden für alle Simulationläufe vier Kommissionierer modelliert, die bis zu 10 Stunden arbeiten können. Als Kommissionierereinsatzregel sind alle Kommissionierer für alle Zonen eingeplant. In den verschiedenen Simulationläufen wurden allerdings die maximale Anzahl Kommissionierer je Zone in manchen Fällen auf 1 oder 2 Kommissionierer begrenzt, weil sie sich, insbesondere bei der Simulation mit zwei Zonen, häufig alle gemeinsam in einer der Zonen aufhielten. Wenn alle Aufträge abgearbeitet waren hatten danach alle in etwa gleichzeitig keine Arbeit mehr und wechselten dann gemeinsam zur anderen Zone. Beim Simulationsmodell mit drei Zonen wechselten sich häufig die beiden folgenden Zustände ab:

- Vier Kommissionierer in einer Zone
- Je Zwei Kommissionierer in den anderen beiden Zonen.

Da einige Simulationen Regelmäßigkeiten in den Zonenwechselzeiten zeigten, wenn die Zonenzahl ein vielfaches der Anzahl Kommissionierer war, wurden auch Simulationen mit 2 Kommissionierern, mit 8 Kommissionierern und mit 12 Kommissionierern mit entsprechend

angepasster Arbeitszeit durchgeführt. Diese Simulationen bestätigten eine Abhängigkeit zwischen der Anzahl Zonen und der Anzahl Kommissionierer in Bezug der Totzeiten und der Zonenwechselzeiten.

### 6.4.3.3 Simulationsdurchführung

Die Bilder Abbildung 6-76, Abbildung 6-77 und Abbildung 6-78 zeigen einige Simulationszustände aus den Simulationen mit acht und mit 16 Zonen. Die orangene Graphik zeigt die voraussichtliche Simulationsdauer in Stunden und die entsprechend verbleibende Simulationszeit in Minuten. Diese Graphik zeigt, dass die Simulationen sehr gleichmäßig während der gesamten Simulationszeit ablaufen. Das ist auch an der recht gleichmäßig wirkende Graphik für die Auslastung der Kommissionierer (Monitor mit rotem Zustandsbalken) zu erkennen. Die Auslastung liegt bei der Simulation mit 8 Zonen recht stabil bei etwa 99%, bei der Simulation mit 16 Zonen liegt sie bedingt durch höhere Zonenwechselzeiten niedriger .

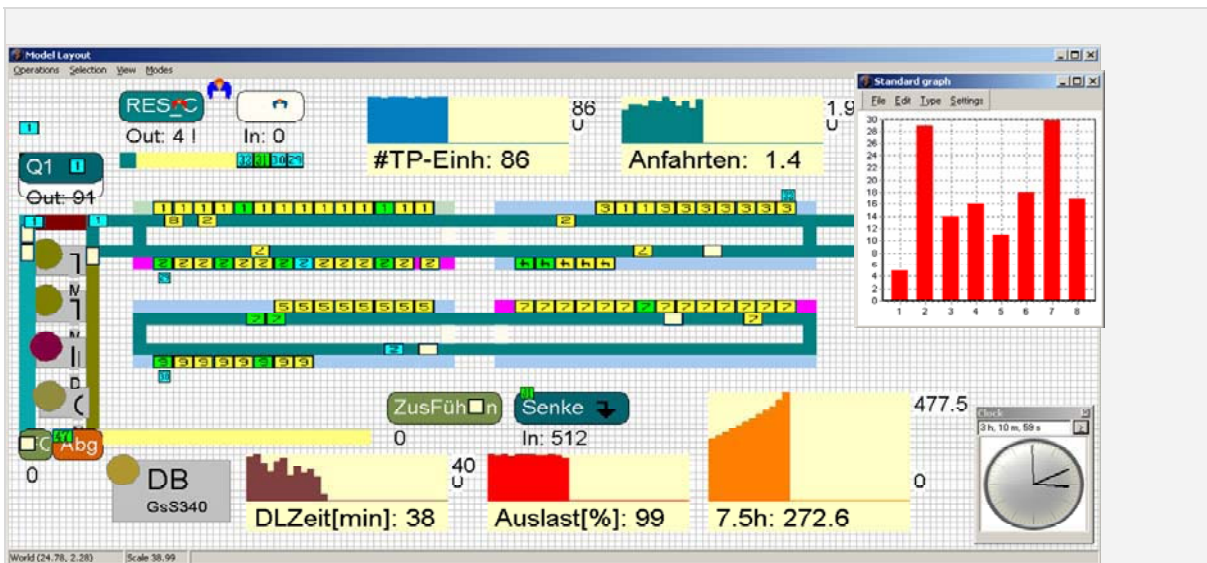


Abbildung 6-76: Simulationszustand nach vier Stunden für 8 Zonen

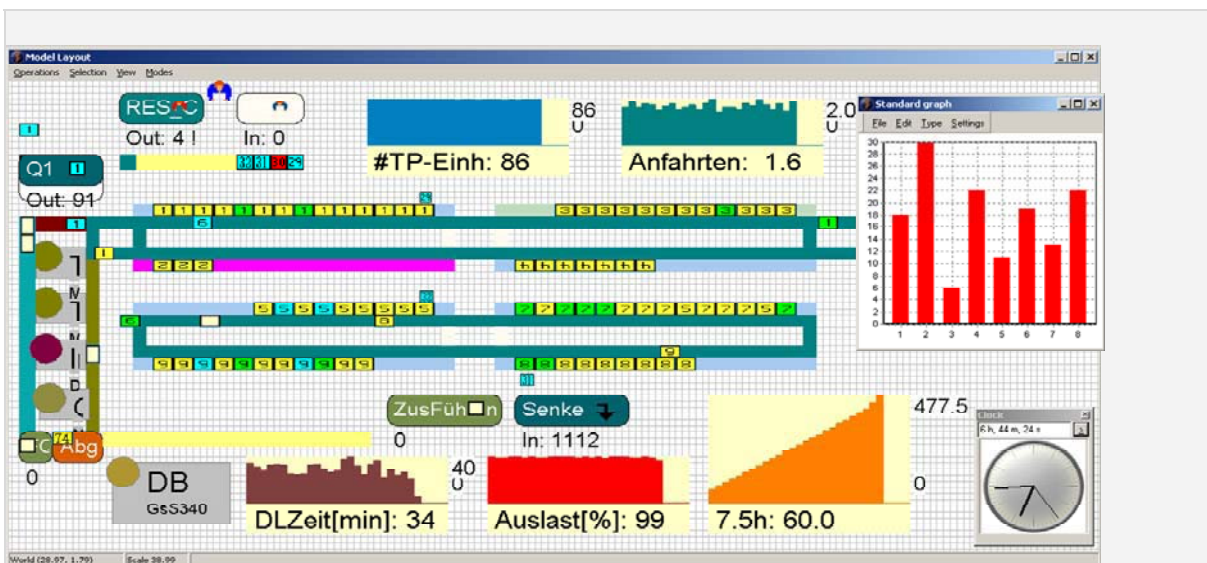


Abbildung 6-77: Simulationszustand eine Stunde vor Simulationsende für 8 Zonen "

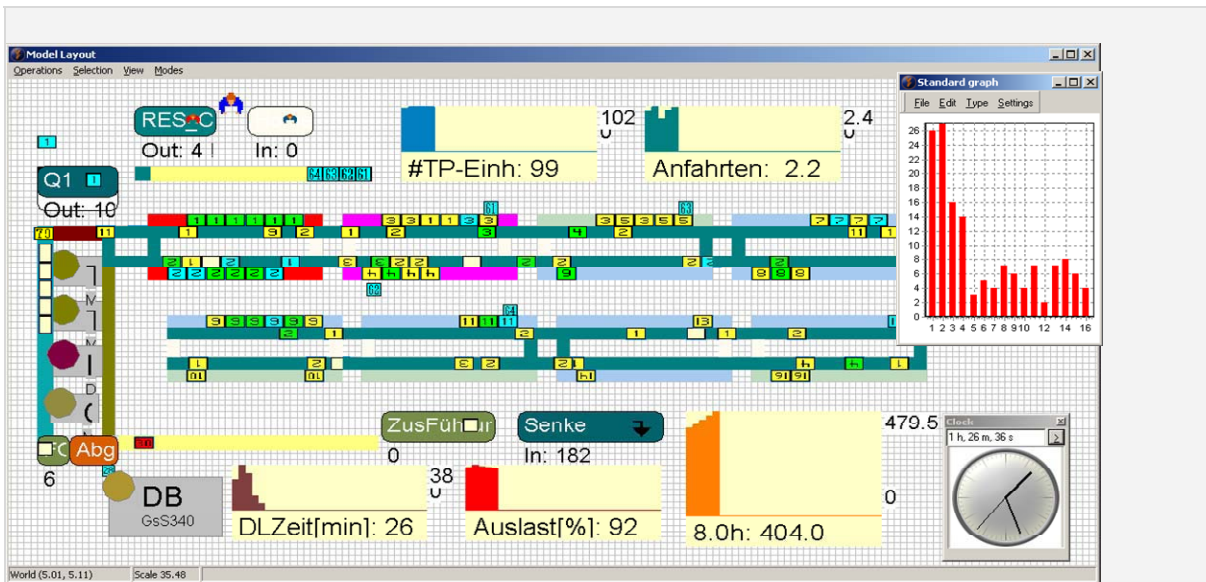


Abbildung 6-78: Simulationszustand nach 95 Minuten für 16 Zonen

### 6.4.3.4 Erkenntnisse aus den Simulationen

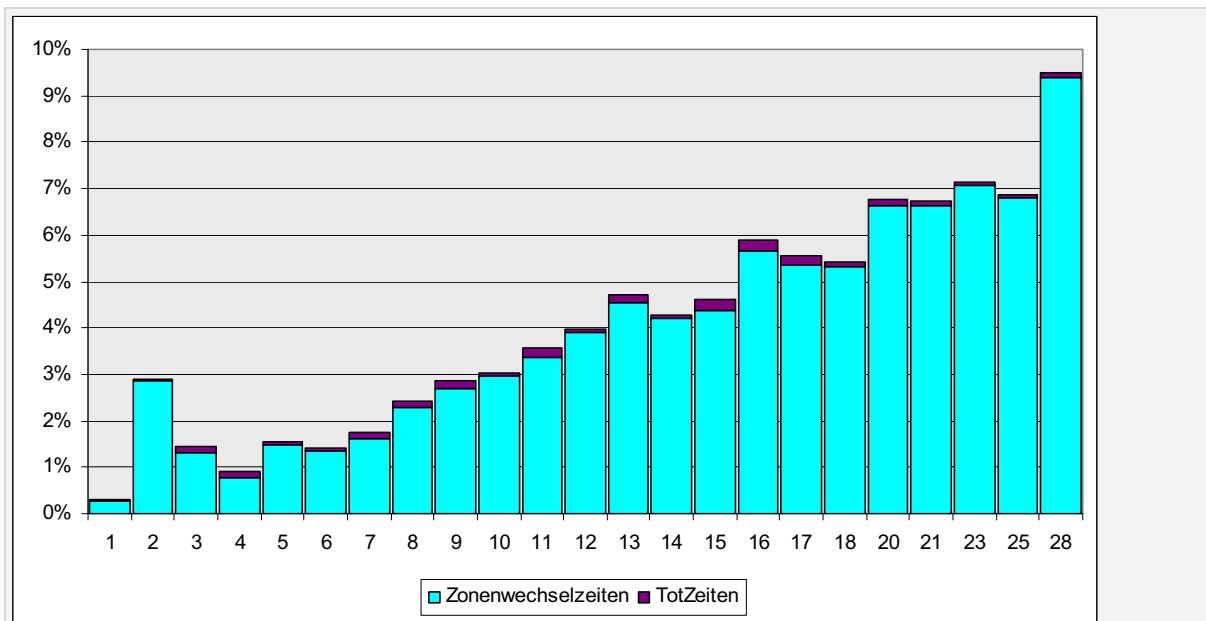


Abbildung 6-79: Zonenwechselzeiten und sonstige Totzeiten für das Zonepicking

Aus der Tabelle Simulationslauf kann man auch hier direkt die Totzeiten ermitteln. Die Zonenwechselzeiten die den Totzeiten in der Abbildung 6-79 gegenübergestellt wurden erhält man aus der Tabelle Ressource. Diese Zeiten wurden relativ zu den gesamten Arbeitszeiten dargestellt. An diesen Zeiten ist zu erkennen, dass die Totzeiten fast ausschließlich aus Zonenwechselzeiten bestehen und vom ersten Eindruck etwa linear mit der Anzahl der Zonen ansteigt. Die Abbildung 6-80 bestätigt diesen Eindruck. Allerdings Berechnungsversuche zeigen, dass dieses nur gilt wenn noch ausreichend Pufferplatz in den einzelnen Zonen vorhanden ist. Wenn der Pufferplatz sehr klein wird steigen die Zonenwechselzeiten extrem an. Die Ausnahmen für die Simulationen mit zwei oder drei Zonen wurden bereits oben erläutert. Sie hängen auch wesentlich von der Mitarbeiteranzahl ab. Am besten wären in etwa so viele Kommissionierer wie auch Zonen vorhanden sind. Das die Simulation mit einer Zone auch Zonenwechselzeiten aufweist, liegt daran, dass die Kommissionierer einmal zu Simula-

tionsbeginn von der Basis zur Zone wechseln müssen. Daher kann dieser Wert auch als Referenzwert für die anderen Werte betrachtet werden.

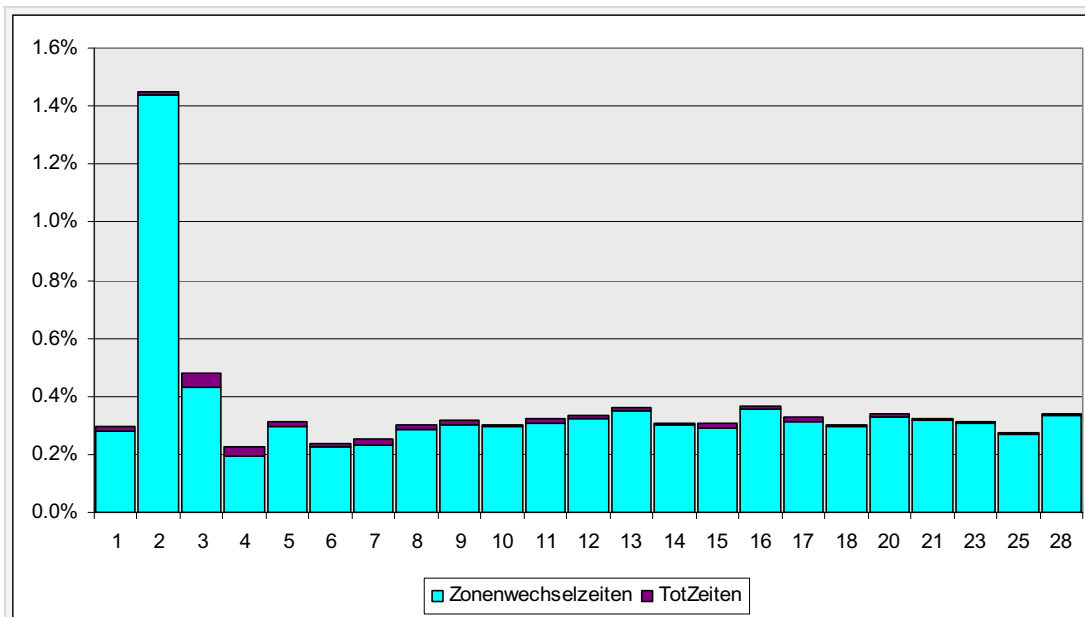


Abbildung 6-80: Zonenwechselzeiten und Totzeiten relativ zur Arbeitszeit und Zonenanzahl

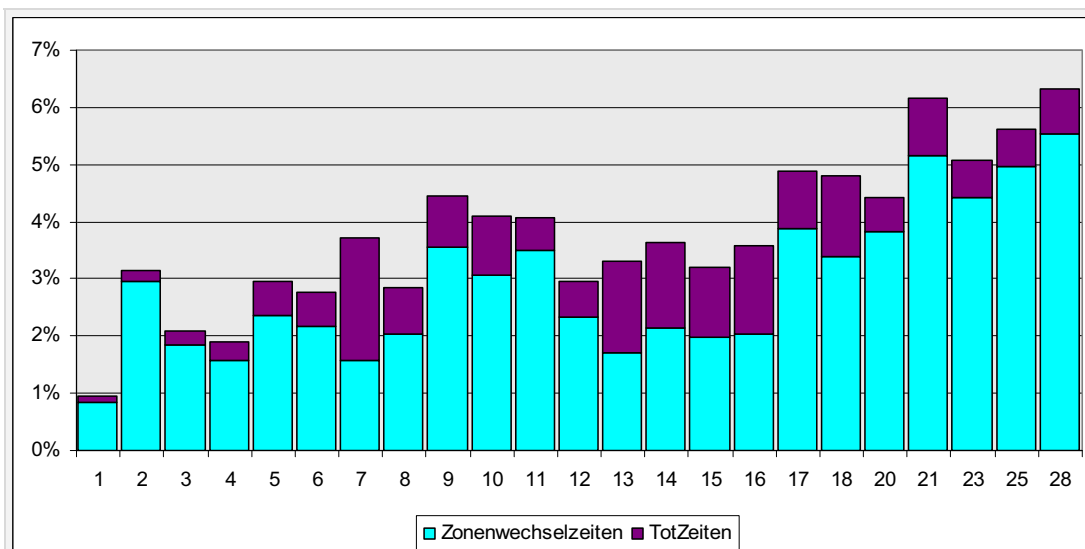


Abbildung 6-81: Zonenwechselzeiten und Totzeiten beim Einsatz von 12 Kommissionierern

In der Abbildung 6-81 sind die Zonenwechselzeiten und Totzeiten aus einer Simulationsserie mit 12 Kommissionierern und der alten Zonennummerierung ausgewertet. Hier fallen einerseits die niedrigeren Totzeiten auf, die durch die niedrigeren Zonenwechselzeiten bedingt sind weil mehr Kommissionierer eingesetzt wurden. Andererseits sind die verbleibenden Totzeiten höher, was nicht alleine aufgrund des höheren Behinderungsgrades zurückzuführen ist. Ein Grund liegt in dem Effekt der oben bereits für zwei Zonen und vier Kommissionierer beschrieben wurde. Da die Kommissionierer keine feste und eingegrenzte Zonenzuordnung hatten wechselten sie auch hier von den Zonen mit kleinen Nummern zu den Zonen mit den höheren Nummern und versperrten dabei zunächst den Rückweg, weil dort bereits alles abgearbeitet war und später weil der Weg dorthin zu groß war. Dieses Spiel ist häufig von links nach rechts und danach zurück zu beobachten. Die Unregelmäßigkeiten bei den aufsteigenden Zonennummern konnte im Wesentlichen auf die Nummerierung in den Zonen zurückgeführt werden und wurde mit der neuen Nummerierung auch erheblich reduziert (siehe Abbil-

dung 6-79). Es verbleiben dennoch die Unregelmäßigkeiten die sich bei der Zonenzahl, die ein Vielfaches der Ressourcenzahl ist, wiederholen.

Mit der Abbildung 6-82 wurde versucht die günstigste Zonenzahl auf mathematischen Weg zu berechnen. Dabei wurden die einzelnen Werte in Abhängigkeit von der Basiszeit, der Greifzeit, der Zonenlänge der Geschwindigkeit, der Anzahl Positionen je Auftrag, der Seriengröße, einem Optimierungsfaktor und dem Abstand zur Basis berechnet. Eine genaue Ermittlung erfolgte jedoch mittels Auswertung der Simulationsergebnisse (vgl. Kapitel 6.4.4).

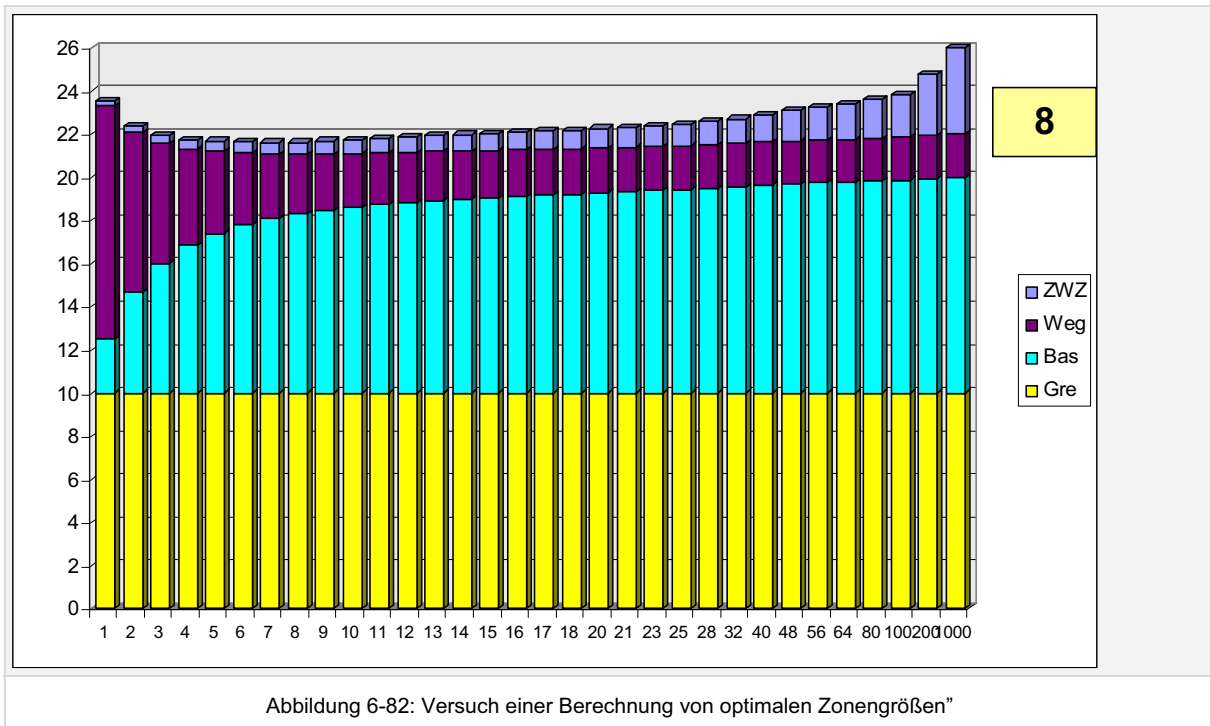


Abbildung 6-82: Versuch einer Berechnung von optimalen Zonengrößen"

#### 6.4.4 Ergebnis (fml)

Um die Frage nach der optimalen Zonenanzahl zu beantworten, werden im Folgenden die Bearbeitungszeit und die Kosten pro Lieferauftragsposition betrachtet.

##### Bearbeitungszeit

Die für die Bearbeitung einer Lieferauftragsposition durchschnittlich benötigte Zeit setzt sich zusammen aus den entstandenen Weg-, Basis-, Greif- und Zonenwechselzeitanteilen. Summiert man diese Zeitanteile auf, so erhält man die Bearbeitungszeit für eine Lieferauftragsposition. Alle Zeitanteile sowie die Summe aus diesen werden in der Abbildung 6-83 für alle Zonenkonfigurationen dargestellt.

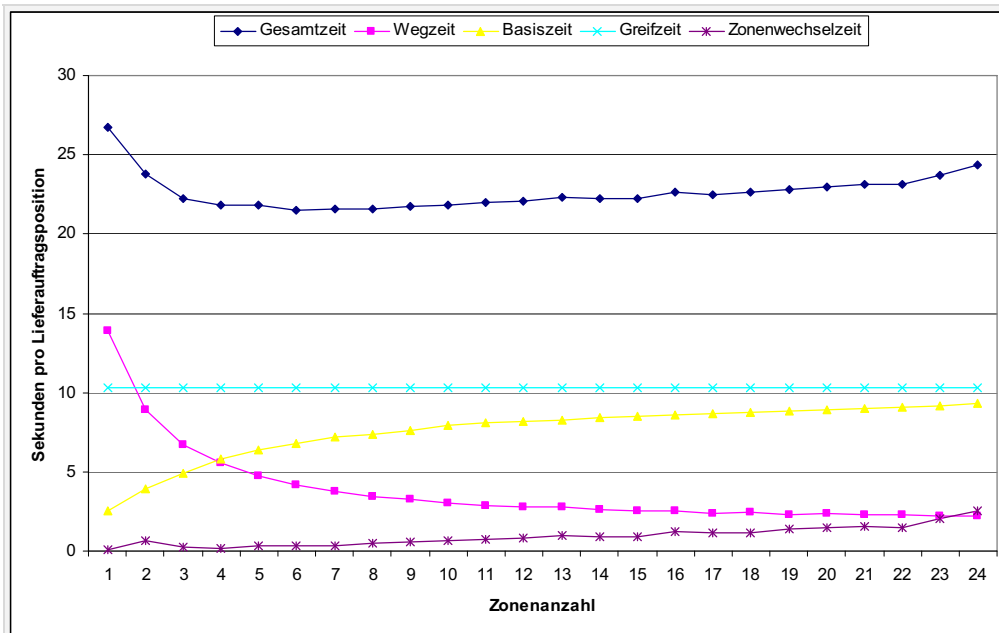


Abbildung 6-83: Zeitverbräuche bezogen auf eine Lieferauftragsposition

Es ist gut erkennbar, dass die Wegzeit mit steigender Zonenanzahl sinkt, die Basiszeit dagegen ansteigt. Die Zonenwechselzeiten schwanken mit steigender Zonenanzahl zunächst und steigen anschließend annähernd linear. Die Gesamtzeitkurve besitzt bei sechs Zonen ihr Minimum.

Kosten pro Lieferauftragsposition

Betrachtet man des Weiteren die Kosten pro Lieferauftragsposition, die sich aus den Investitionen und den Betriebskosten zusammensetzen, so erhält man ein Kostenminimum bei sechs Zonen. Die entsprechenden Kurvenverläufe sind in Abbildung 6-84 dargestellt.

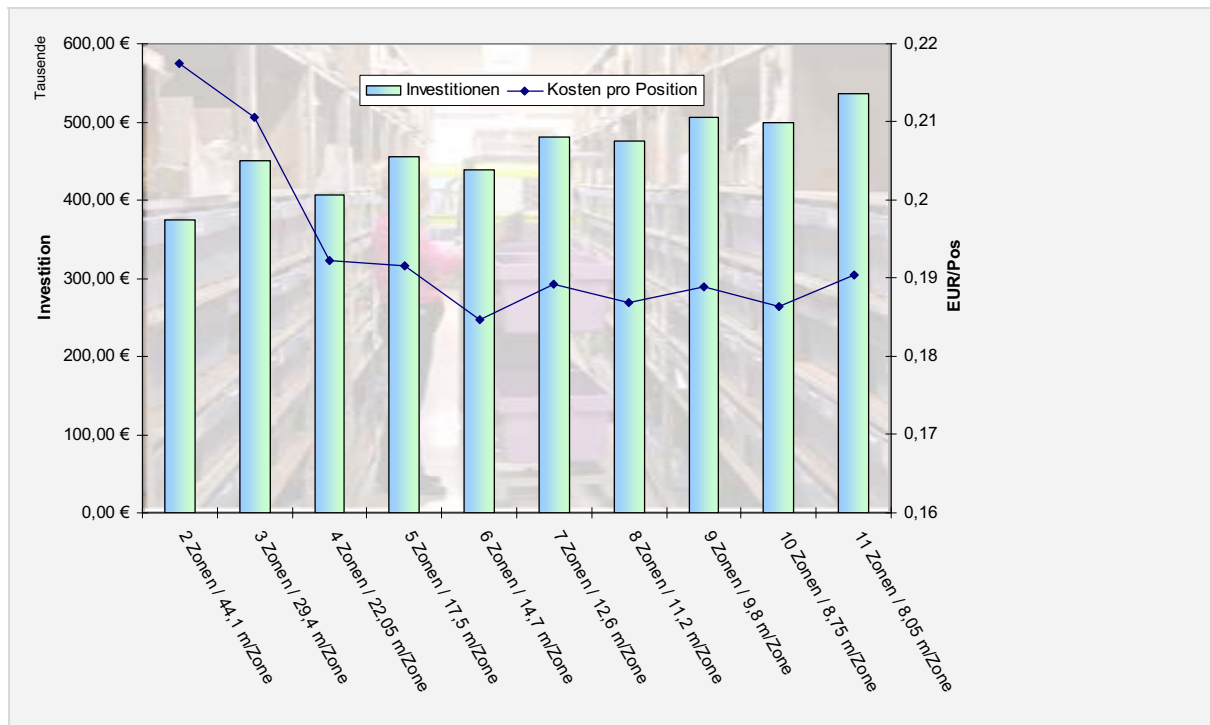


Abbildung 6-84: Kosten pro Lieferauftragsposition

#### 6.4.4.1 Schlussfolgerungen (fml)

Die Zonenanzahl ist ein wichtiger Parameter, der die Leistungsfähigkeit eines Kommissioniersystems beeinflusst. Mit steigender Zonenanzahl sinkt die Wegzeit pro Lieferauftragsposition, da die Regalfront auf Grund der geringeren Artikelanzahl je Zone verkürzt wird. Damit verbunden sind jedoch steigende Basiszeiten auf Grund der größeren Anzahl an Auftragsannahmen und –abgaben sowie die Zeitverbräuche für die verbundenen Zonenwechsel der Kommissionierer. Es hat sich herausgestellt, dass für die durchschnittliche Bearbeitungszeit pro Lieferauftragsposition ein Optimum für die Zonenanzahl gefunden werden kann. Dieses Optimum ist von mehreren Einflussfaktoren abhängig.

- Die durchschnittliche Positionsanzahl je Lieferauftrag bestimmt die durchschnittlich anzufahrenden Zonen (Anzahl der Bearbeitungsaufträge) bei steigender Zonenanzahl (mehr Zonen als durchschnittliche Positionsanzahl je Lieferauftrag).
- Die Artikelanzahl im Sortiment bestimmt den Einsparungsgrad der Wegzeiten mit steigender Zonenanzahl durch die Möglichkeit der Regallängenverkürzung in einer Zone.
- Die Tagesanforderung an zur Bearbeitung anstehenden Lieferauftragspositionen beeinflusst den Personalbedarf, der wiederum wenn weniger Kommissionierer als Zonen zur Verfügung stehen, die Zonenwechselzeiten in die Höhe treibt.

Des Weiteren führt eine steigende Zonenanzahl bei der Fördertechnik durch die steigende Anzahl benötigter Umsetzer und Puffer zu höheren Investitionen. Die optimale Zonenanzahl wird über das Minimum aus den Investitionen und Betriebskosten je Position identifiziert.

Um eine allgemeingültige Aussage über die Zonenanzahl bei gegebener Lieferauftrags- und Artikelstruktur zu fällen, muss die Experimentreihe für jede identifizierte Einflussgröße mit jeweils entsprechenden Zahlenreihen wiederholt werden und die sich ergebenden Leistungskennzahlen gegenüberstellen.

## 6.5 Referenzszenario IV: ein- vs. zweistufige Kommissionierung

Das Referenzszenario IV beschäftigt sich mit einer Detailuntersuchung von 2-stufigen Kommissionier-Systemen. Ziel der Untersuchungen ist die Beantwortung der beiden Fragen:

1. Welchen Artikelumfang sollte ein Artikelsortiment idealerweise nicht unter- oder überschreiten, damit eine Zwei-stufige Kommissionierung wirtschaftlicher ist im Vergleich zur 1-stufigen Kommissionierung?
2. Bis zu welcher Auftragsgrößen ist eine 2-stufige Kommissionierung wirtschaftlich sinnvoller im Vergleich zur 1-stufigen Kommissionierung?

Hierfür wurden zwei Untersuchungsreihen gefahren und die Ergebnisse kennzahlen in einem konventionellen einstufigen System mit denen in einem zweistufigen System verglichen.

### 6.5.1 Definitionen

#### 6.5.1.1 Modellunabhängige Ausgangsdaten (IML / fml)

Auch bei Referenzszenario IV wurde darauf geachtet, möglichst übliche Anforderungen bzgl. Artikelspektrum und Leistung zu definieren. Es werden zwei Untersuchungsreihen simuliert, die über zwei Entwicklungsarten im Systemlastszenario abgebildet werden. In der ersten Untersuchungsreihe werden die Positionen je Lieferauftrag variiert, in der zweiten Untersuchungsreihe die Artikelanzahl im Sortiment.

#### Arbeitszeit für beide Untersuchungsreihen:

8:00 Uhr bis 16:00 Uhr

#### Untersuchungsreihe 1:

##### Artikelspektrum:

Sortimentsgröße	1000 Artikel,
Artikelvolumen	Annahme: passt in Behälter 400mm x 300mm x 280mm unbegrenzte Menge Bereitstellung unbegrenzte Menge Artikel in Kommissionierbehälter

##### Auftragsanforderungen

Lieferaufträge pro Tag	1200
Auftragseingangsprofil	nicht vorhanden, alle Aufträge liegen zu Beginn des Tages vor
Auftragsgröße	Positionen je Lieferauftrag wachsen über die Untersuchungsperioden von durchschnittlich 1 Position je Lieferauftrag in 0,3er Schritten auf durchschnittlich 3,7 Positionen je Lieferauftrag

#### Untersuchungsreihe 2:

##### Artikelspektrum:

Sortimentsgröße	Startperiode mit 1000 Artikel; Sortiment wächst über die Untersuchungsperioden konstant jede Periode um 500 Artikeln
Artikelvolumen	Annahme: passt in Behälter 400mm x 300mm x 280mm unbegrenzte Menge Bereitstellung unbegrenzte Menge Artikel in Kommissionierbehälter

##### Auftragsanforderungen

Lieferaufträge pro Tag	1200
------------------------	------



Auftragseingangsprofil	nicht vorhanden, alle Aufträge liegen zu Beginn des Tages vor
Auftragsgröße	durchschnittlich 4 Positionen je Lieferauftrag

### 6.5.1.2 Modell „einstufige Kommissionierung“ (IML)

Das Modell der einstufigen Kommissionierung wurde einem Standardfall nachempfunden in dem Artikel auftragsorientiert aus einem Fachbodenregal in einen mitgeführten Kommissionierwagen kommissioniert werden.

### 6.5.1.3 Modell „zweistufige Kommissionierung“ (IML)

Das Modell der zweistufigen Kommissionierung wurde vom Modell der einstufigen Kommissionierung abgeleitet. Das Fachbodenregal welches im Modell der 2-stufigen Kommissionierung die erste Stufe repräsentiert dient hier jedoch der artikelorientierten Kommissionierung für die Versorgung der zweiten Stufe. Als Seriengröße wurde hier ebenfalls 6 gewählt. Das heißt, dass bis zu 6 Artikel in einem Kommissionierzyklus artikelorientiert für die zweite Kommissionierstufe kommissioniert werden. Die zweite Kommissionierstufe wurde als Bedienstation angenommen, an der bis zu 4 Aufträge gleichzeitig als Serie kommissioniert werden. Zu diesen Bedienstationen werden die in der ersten Kommissionierstufe artikelorientiert vorkommissionierten Behälter über eine Fördertechnik transportiert und dann dort in die Auftragsbehälter kommissioniert.

## 6.5.2 Datenvorbereitung

### 6.5.2.1 Modellunabhängige Datengenerierung (fml)

Um beide Untersuchungsreihen im Simulationsmodell experimentieren zu können, werden die Prognosefunktionen als Sensitivitätswerkzeug eingesetzt. Dabei wird über die optimistische Entwicklung die Untersuchungsreihe 1 betrachtet und über die ausgeglichene Entwicklung die Untersuchungsreihe 2. Entsprechend werden bei der Auswertung auch nur die jeweiligen Modelle in den gleichen Perioden verglichen und keine Gesamtwerte die sich über die Perioden ermitteln. Für jede angelegte Periode werden wieder jeweils ein Sortiment angelegt und entsprechende tageweise Simulationsläufe.

#### Sortiment

Das Sortiment für die Untersuchungsreihe 1 wird für alle Simulationsläufe konstant auf 500 Artikel gehalten und wird nicht verändert sondern lediglich gespiegelt. In der Untersuchungsreihe 2 sollen die Auswirkungen bei steigender Artikelzahl im Sortiment betrachtet werden. Dieses wurde als linear über die Perioden um jeweils 500 Artikel erzeugt (vgl. Abbildung 6-85).

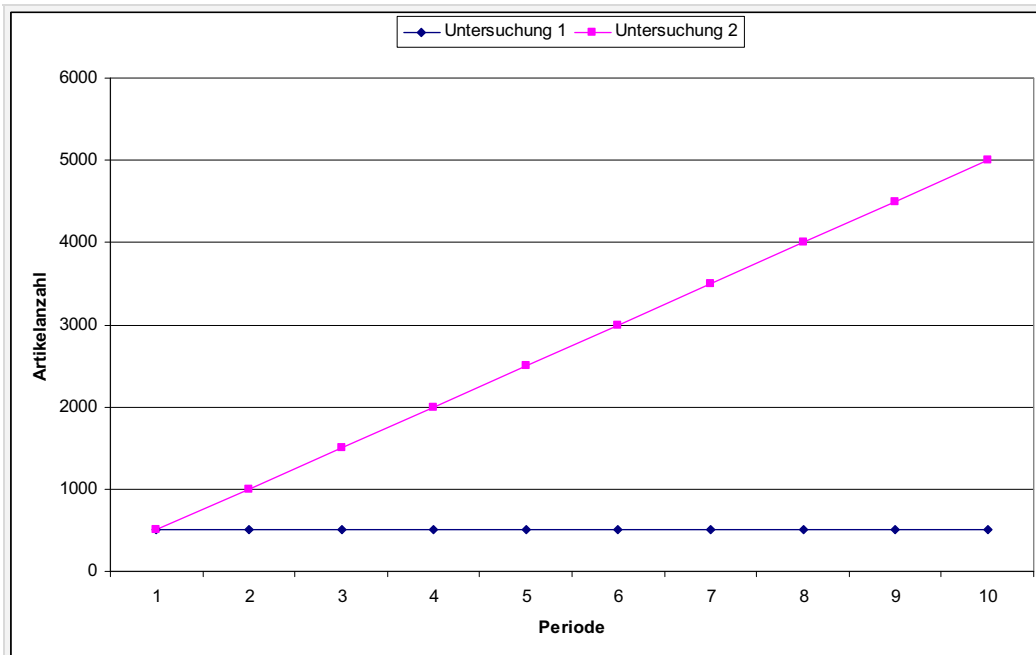


Abbildung 6-85: Generierte Artikelanzahl in den Perioden

Die Häufigkeitsverteilung der Zugriffshäufigkeit bzgl. der Artikel im Sortiment wurde mit einer gemäßigten ABC-Verteilung belegt und für die Periode 0 stellvertretend für die restlichen Perioden in Abbildung 6-86 dargestellt.

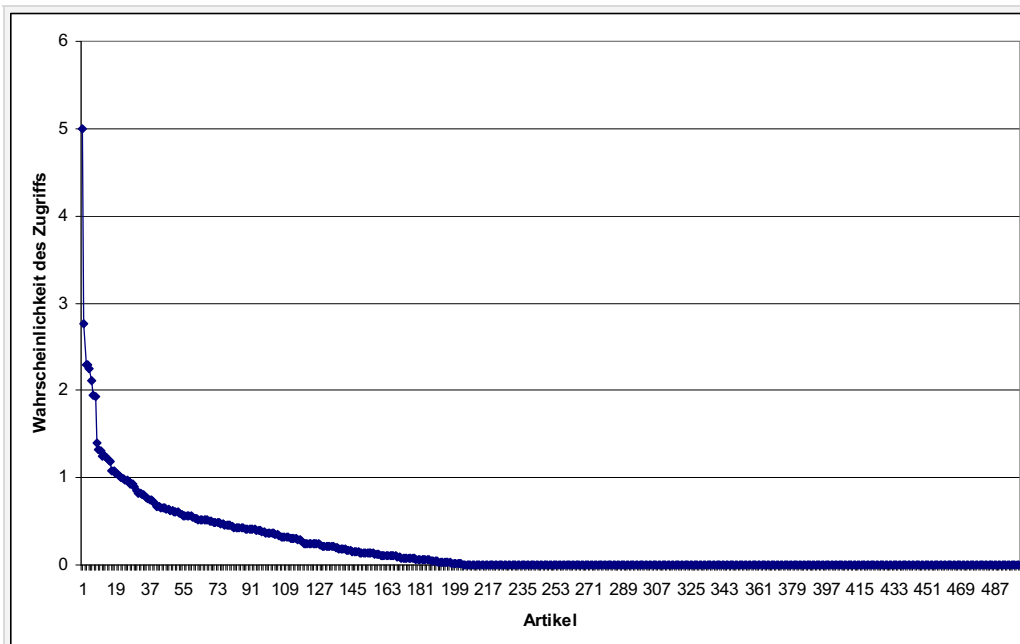


Abbildung 6-86: Zugriffshäufigkeit der generierten Artikel für die Periode 0

### Generierung der Lieferaufträge

Bei der Untersuchungsreihe 2 wird nun die Lieferauftragsstruktur konstant gehalten nachdem bereits die Artikelstruktur variiert wurde. Das heißt, dass für alle Simulationsläufe die Anzahl der Lieferaufträge sowie die Lieferauftragspositionen gleich bleiben.

In der Untersuchungsreihe 1 wird hingegen die Lieferauftragsstruktur variiert nachdem die Artikelstruktur konstant gehalten wurde. Die Anzahl der Lieferaufträge wird zwar konstant gehalten, die Positionen pro Lieferauftrag wurden hingegen als steigend definiert was zu

einer Steigerung der Lieferauftragspositionen eines Simulationslaufes führt (vgl. Abbildung 6-87).

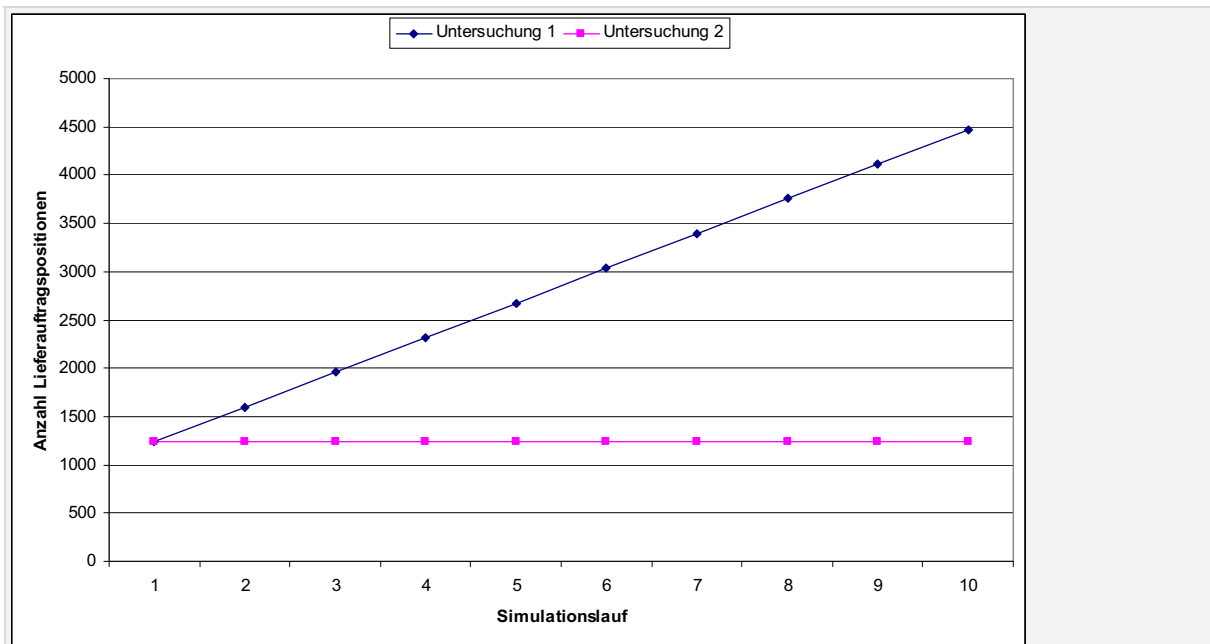


Abbildung 6-87: Anzahl Lieferauftragspositionen je Simulationslauf

Die Generierung der Lieferauftragspositionen erfolgte mit der Dichtefunktion einer Normalverteilung mit Erwartungswert  $\mu=1$  und Standardabweichung  $\sigma=4$ . Da im Systemlastszenario für die Untersuchungsreihe 1 eine Steigerung der Positionsanzahl je Lieferauftrag definiert wurde, wird bei der Generierung der Lieferaufträge mit steigender Periode die Standardabweichung der Dichtefunktion beeinflusst. Die erzeugten Häufigkeiten für die Untersuchungsreihe 1 können der Abbildung 6-88 entnommen werden.

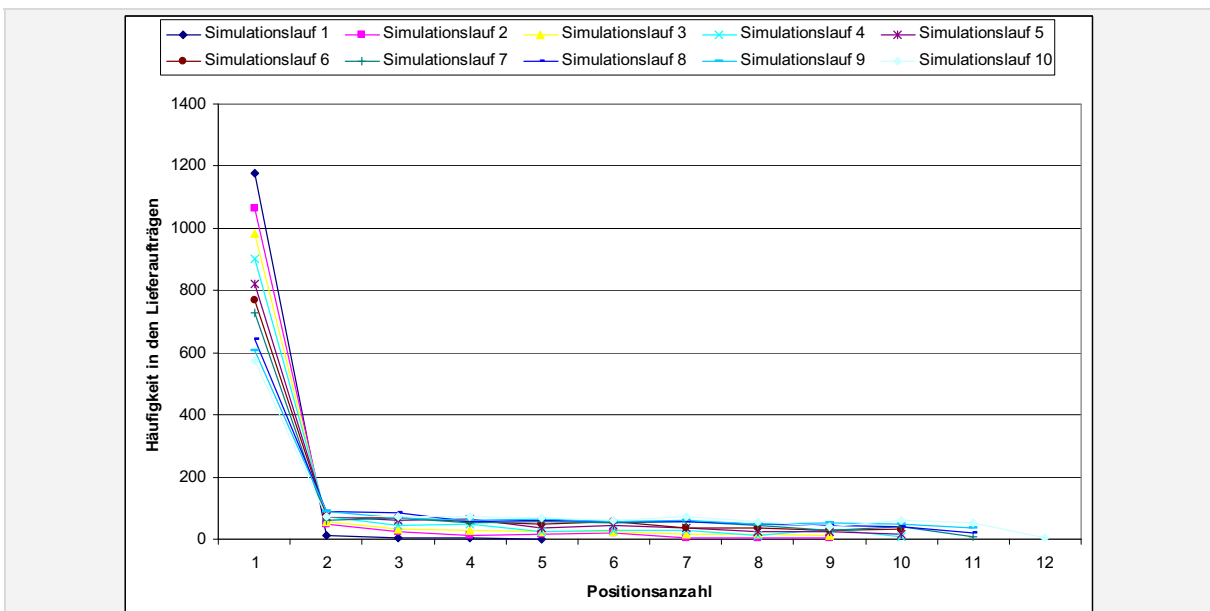


Abbildung 6-88: Häufigkeiten der Anzahl Positionen je Lieferauftrag in den Simulationsläufen der Untersuchung 1

Wie in Abbildung 6-88 zu erkennen, wird eine Verschiebung der vielen kleinen Lieferaufträge hin zu größeren erreicht. Ermittelt man aus den generierten Lieferaufträgen für die Untersuchungsreihe 1 die durchschnittliche Positionsanzahl je Lieferauftrag, so ergeben sich die in Abbildung 6-89 dargestellten Werte, welche den definierten Anforderungen entspricht.

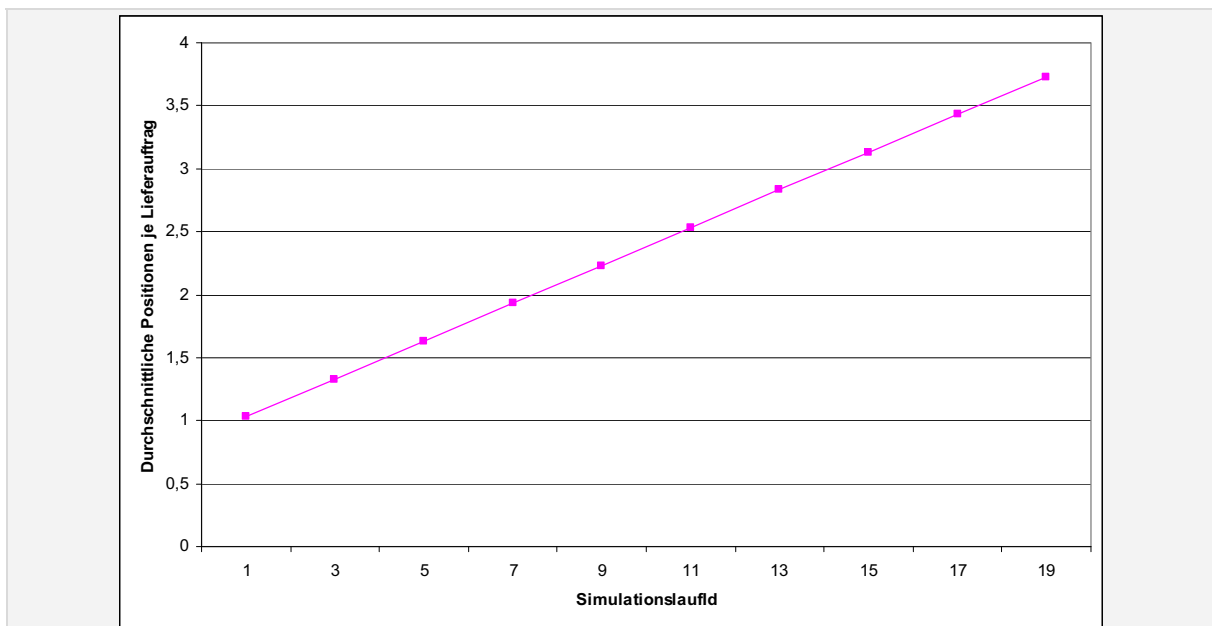


Abbildung 6-89: Steigerung der durchschnittlichen Positionsanzahl je Lieferauftrag bzgl. der Untersuchung 1

### 6.5.2.2 Modellbildung „einstufige Kommissionierung“ (IML)

Das erste definierte Modell in diesem Szenario repräsentiert den Fall der einstufigen Kommissionierung. Folgende Darstellung veranschaulicht die Topologie dieser Variante:

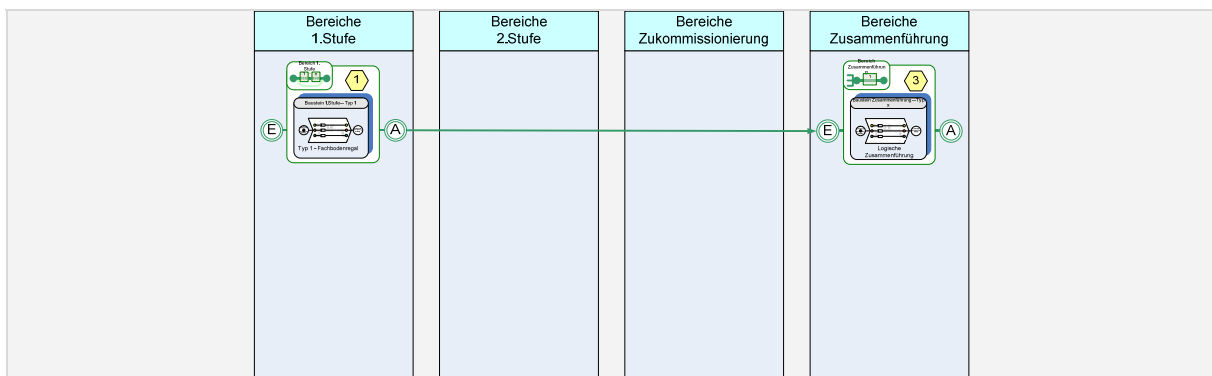


Abbildung 6-90: Topologie Variante 1-stufige Kommissionierung

Der Baustein im Bereich der ersten Kommissionierstufe ist als Baustein vom Typ 1 modelliert. Die Bereitstellung erfolgt in Behältern der Größe 400mmx300mmx280mm welche in Fachbodenregalen mit jeweils 5 Ebenen bereitgestellt werden. Das Fachbodenregallager besteht je nach Größe des Artikelsortimentes aus 4 bis 11 Gassen.

Der Kommissionier führt einen Kommissionierwagen mit sich auf dem bis zu 6 verschiedene Auftragsbehälter mitgeführt werden. Die Kommissionierung erfolgt also mit Seriengröße 6.

Die Werte für die Kommissionierzeiten wurden hier wie beim Szenario III nach MTM-Zeiten für Fachbodenregale aus den Vorgaben des Baustein-Templates übernommen.

### 6.5.2.3 Modellbildung „zweistufige Kommissionierung“ (IML)

Das zweite definierte Modell in diesem Szenario repräsentiert den Fall der zweistufigen Kommissionierung. Folgende Darstellung veranschaulicht die Topologie dieser Variante:

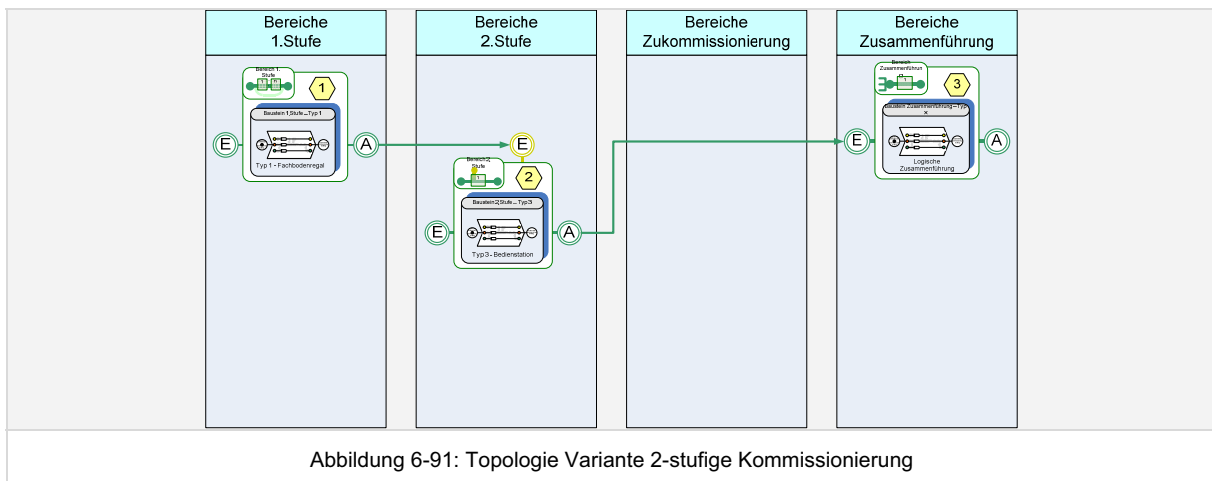


Abbildung 6-91: Topologie Variante 2-stufige Kommissionierung

Der Baustein im Bereich der ersten Kommissionierstufe ist bzgl. seiner technischen Dimensionierung und damit auch bzgl. der Modellierung mit Ausnahme des eingesetzten Personals hier unverändert.

Im Bereich der zweiten Kommissionierstufe wurde ein Baustein von Typ 3 mit dynamischer Zuführung von Bereitstellbehältern und auf Fördertechnik bereitgestellten Serien von Kommissionierbehältern dimensioniert (vgl. Abbildung 6-92).

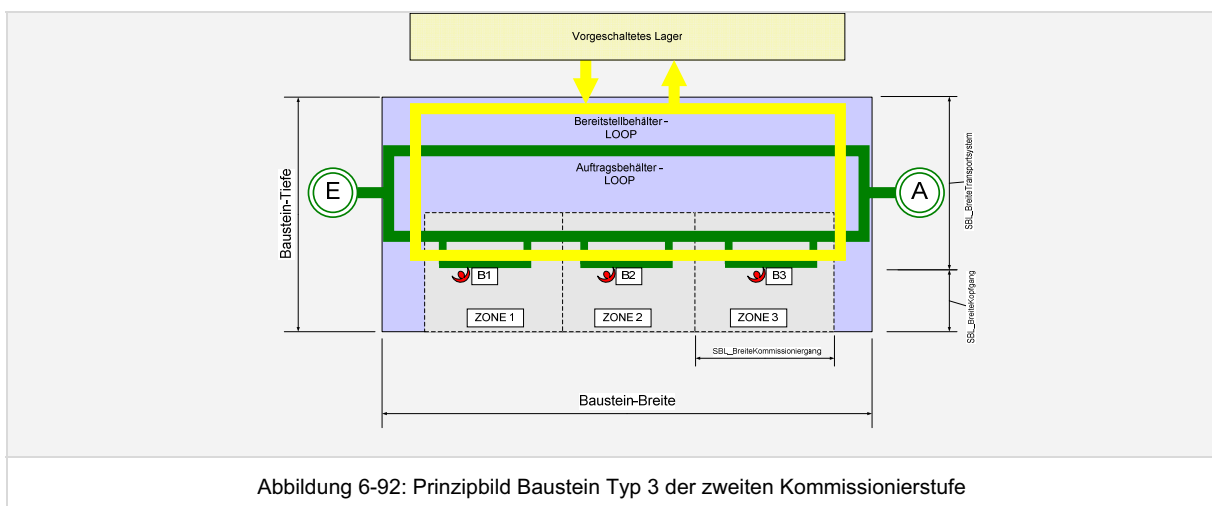


Abbildung 6-92: Prinzipbild Baustein Typ 3 der zweiten Kommissionierstufe

Die Werte für die Kommissionierzeiten sind für die zweite Kommissionierstufe ebenfalls nach MTM-Zeiten die im Baustein-Template für diesen Baustein hinterlegt sind, parametrisiert worden.

Der modellierte Baustein im Bereich der Zusammenführung ist hier bzgl. einer Zusammenführungsfunktionalität nicht notwendig, aber aufgrund des definierten Modellierungsparadigmas immer integraler Bestandteil eines jeden Modells um bestimmte Zeitpunkte aus der Simulation in die Datenbank zu schreiben.

#### 6.5.2.4 Datenaufbereitung und –optimierung „einstufige Kommissionierung“ (fml)

Bei der Datenaufbereitung entstehen aus den zuvor generierten 22.800 Lieferaufträgen über alle Perioden genau so viele Behälteraufträge. Diese entsprechen 1:1 den Lieferaufträgen, da es sich bei dem betrachteten Modell um nur einen Bereich handelt. Da für dieses Modell eine Serienoptimierung durchgeführt werden soll, müssen Optimierungsblöcke gebildet werden. Diese beeinflussen je nach Größe die Berechnungszeit für die Serienzusammenstellung. Für dieses Szenario wurde die Batchgröße auf ein Zeitfenster von 1h gelegt, was so viel bedeutet, dass alle Behälteraufträge eines Tages ein Batch bilden, da diese alle zu Beginn des Arbeitstages bekannt sind. Die Serienoptimierung erfolgt also in einem Optimierungsblock über alle Behälteraufträge für einen Simulationslauf. Die Seriengröße wurde auf

sechs Behälter definiert. Es ergeben sich insgesamt 3.800 Serienaufträge. Die Qualität einer Serie ist durch die Anzahl unterschiedlicher Artikel bzw. der daraus resultierenden Wegzeit bestimmt. Die daraus resultierenden Verteilungen für die Untersuchungsreihe 1 sind in Abbildung 6-93 dargestellt.

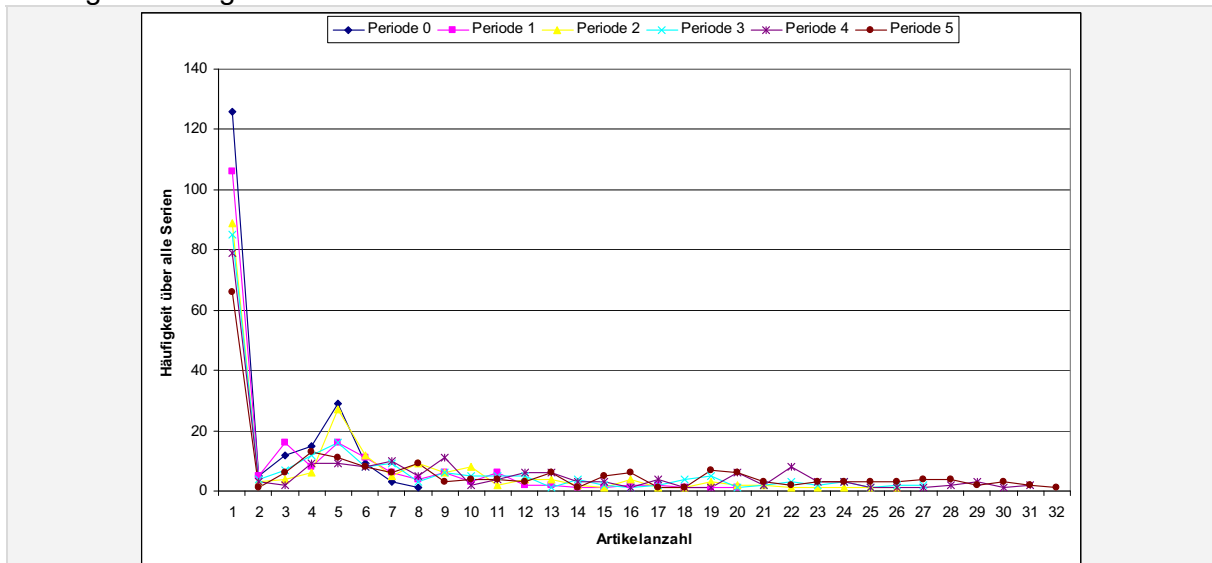


Abbildung 6-93: Anzahl unterschiedlicher Artikel in den Serien für die Untersuchungsreihe 1

Für die Untersuchungsreihe 1 schwächt sich mit steigender Positionsanzahl je Lieferauftrag die Ausprägung der Dichtefunktion einer Exponentialverteilung in Abbildung 6-93 immer weiter ab. Darüber hinaus entstehen immer mehr Serienaufträge, die sehr viele unterschiedliche Artikel beinhalten. Das resultiert daraus, dass die Lieferaufträge immer mehr Positionen enthalten und diese nicht in Teilaufträge gesplittet werden.

Anders verhält es sich bei den zusammengestellten Serien für die Untersuchungsreihe 2. Da die Positionen je Lieferauftrag konstant gehalten werden und das Artikelspektrum wächst, werden zwar mit zunehmender Artikelanzahl weniger Übereinstimmungen bei den Artikeln der Behälteraufträge identifiziert, aber es entstehen keine Serienaufträge mit mehr als 11-12 unterschiedlichen Artikeln. Die resultierende Verteilung für die Untersuchungsreihe 2 ist in Abbildung 6-94 dargestellt.

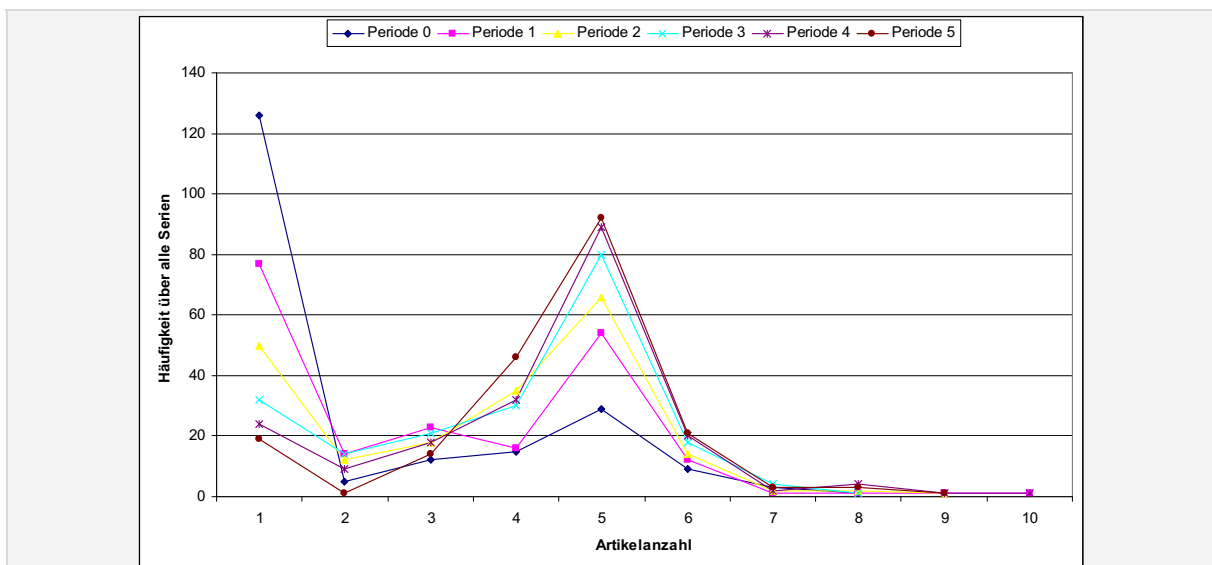
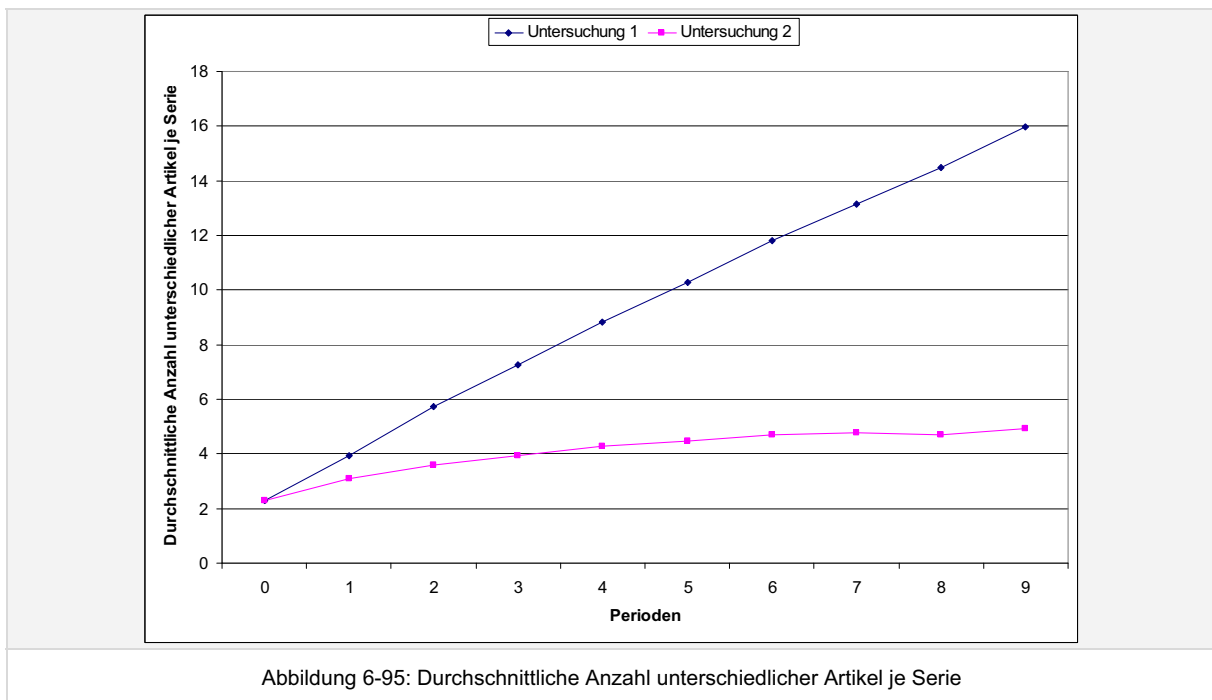


Abbildung 6-94: Anzahl unterschiedlicher Artikel in den Serien für die Untersuchungsreihe 2

Vergleicht man die Serien der beiden Untersuchungsreihen an Hand der durchschnittlichen Anzahl an Artikeln je Serie so wird der zuvor aufgezeigte Zusammenhang zwischen Artikelsteigerung und Positionsanzahl je Lieferauftrag mit der Serienqualität noch deutlicher. Wäh-

rend sich bei der Untersuchungsreihe 2 die durchschnittliche Artikelanzahl je Serie gemäßigt von 2,3 auf 5 verändert, steigt diese Kennzahl bei der Untersuchungsreihe 1 bis auf 16 an (vgl. Abbildung 6-95).



Aus den zusammengestellten 3.800 Serienaufträgen ergeben sich 3.800 Bearbeitungsaufträge. Darüber hinaus werden für die Zusammenführung entsprechend der Lieferauftragsanzahl 22.800 Zusammenführungsaufträge erzeugt.

#### 6.5.2.5 Datenaufbereitung und –optimierung „zweistufige Kommissionierung“ (fml)

Bei der Datenaufbereitung entstehen zunächst aus den 22.800 Lieferaufträgen für die 2.Stufe (Bedienstation) 22.800 Behälteraufträge. Diese müssen zunächst optimiert werden, bevor die Aufträge der 1.Stufe angelegt werden können. Das Batch (Optimierungsblock) wird äquivalent zum Modell „einstufige Kommissionierung“ über alle Behälteraufträge gewählt. Die Seriengröße ist in diesem Fall für die 2.Stufe auf vier definiert worden. Es werden insgesamt für beide Untersuchungsreihen 6.314 Serien für die 2.Stufe zusammengestellt. Die Anzahl unterschiedlicher Artikel je Serie bezogen auf die 2.Stufe werden zur Validierung der Serienzusammenstellung für die Untersuchungsreihe 1 in Abbildung 6-96 und für die Untersuchungsreihe 2 in Abbildung 6-97 dargestellt.

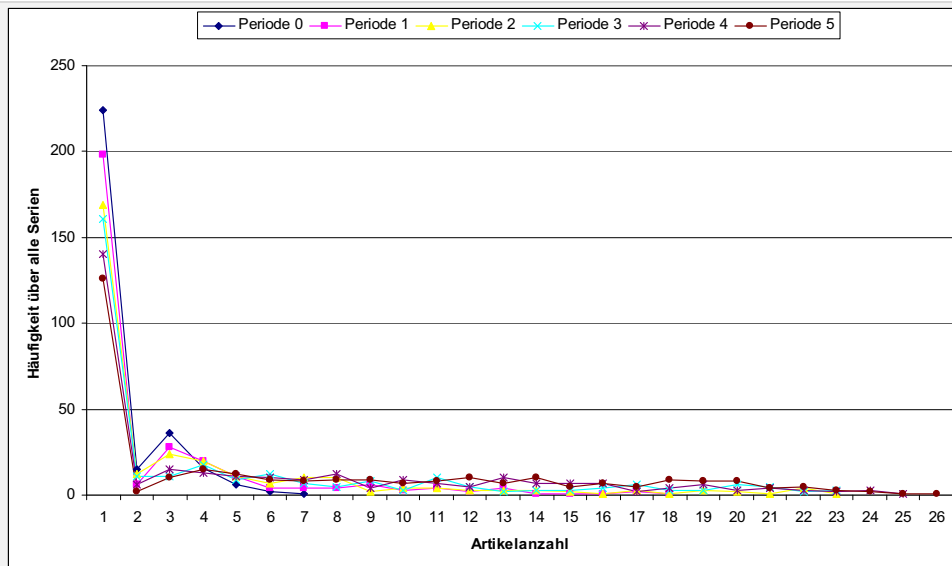


Abbildung 6-96: Anzahl unterschiedlicher Artikel in den Serien der 2.Stufe für die Untersuchungsreihe 1

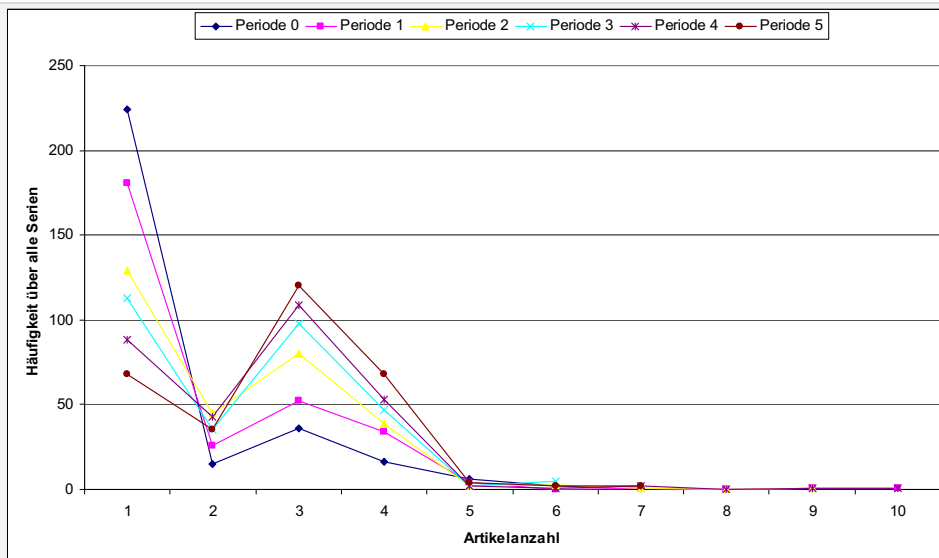
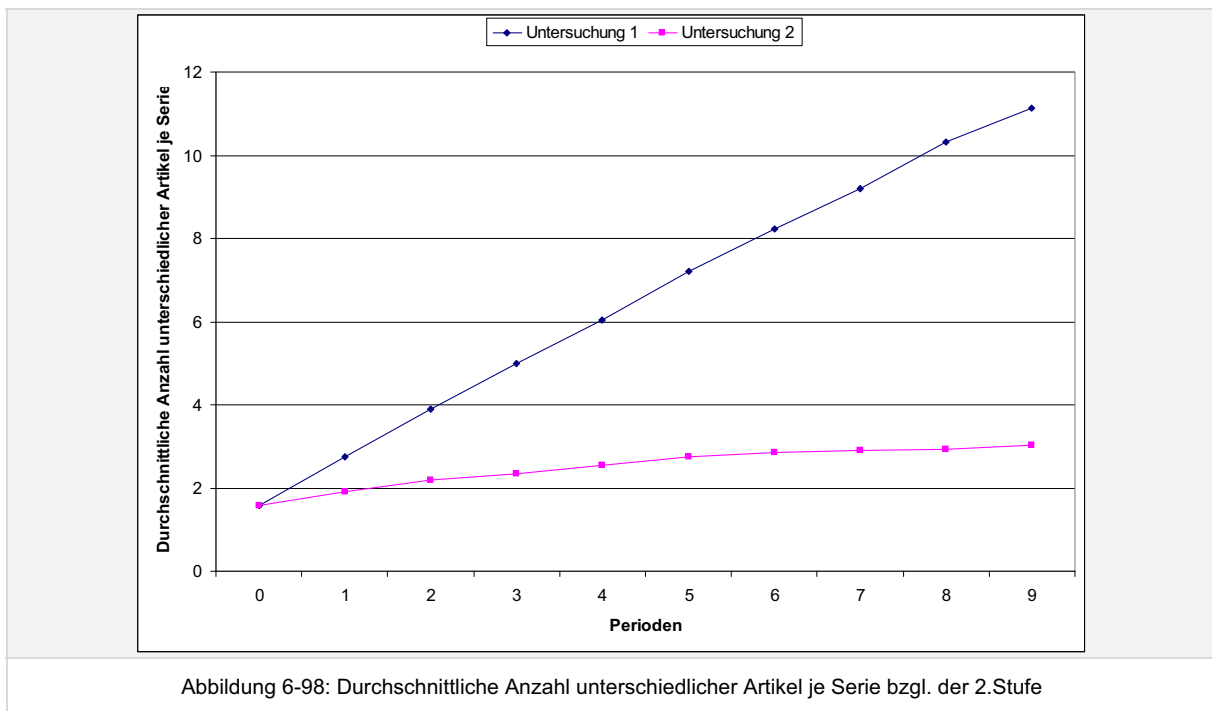


Abbildung 6-97: Anzahl unterschiedlicher Artikel in den Serien der 2.Stufe für die Untersuchungsreihe 2

Die dargestellten Kurvenverläufe beider Untersuchungsreihen verhalten sich äquivalent zu denen des Modells „einstufige Kommissionierung“ mit dem einzigen Unterschied, dass auf Grund der kleineren Seriengröße die schlechtesten Serien etwas weniger unterschiedliche Artikel beinhalten.

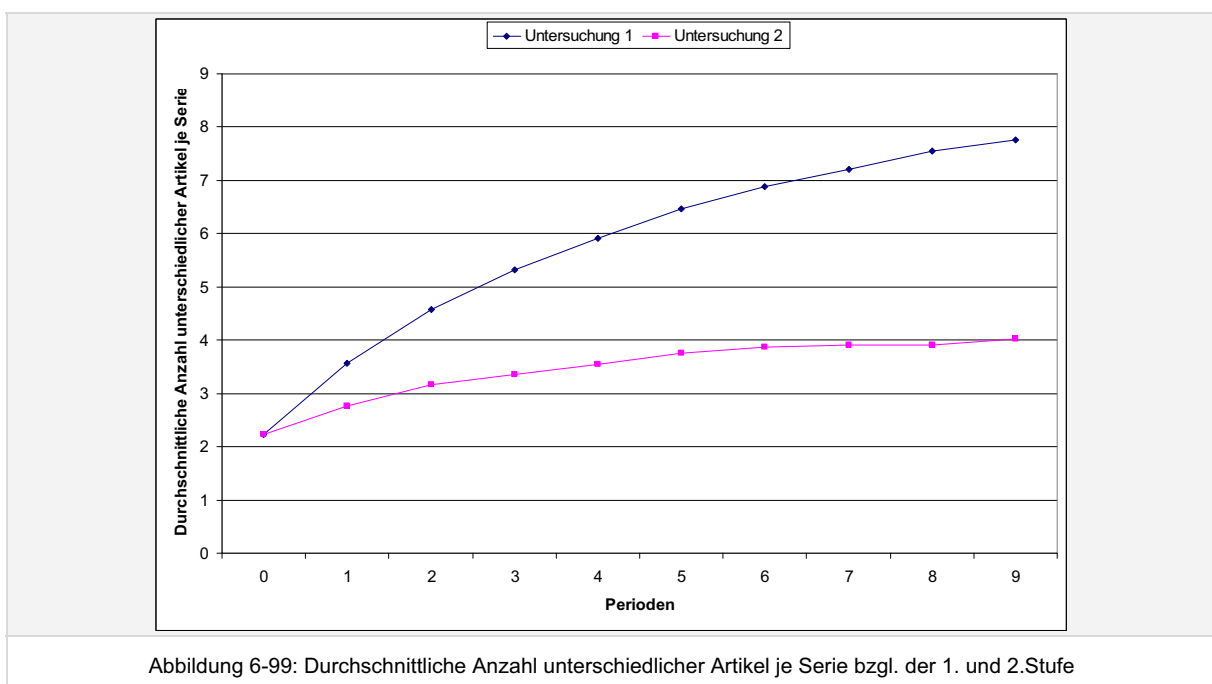
Vergleicht man die Serien der beiden Untersuchungsreihen an Hand der durchschnittlichen Anzahl an Artikeln je Serie so wird der ähnliche Kurvenverlauf zum Modell „einstufige Kommissionierung“ noch deutlicher. Die Kurven sind lediglich auf Grund der kleineren Seriengröße entsprechend der Ordinate nach unten verschoben. Während sich bei der Untersuchungsreihe 1 die durchschnittliche Artikelanzahl je Serie gemäßigt von 1,6 auf 3 verändert, steigt diese Kennzahl bei der Untersuchungsreihe 2 bis auf 11 an (vgl. Abbildung 6-98).





Aus den gebildeten 6.314 Serien der 2.Stufe entstehen in einem zweiten Schritt die Serien- und Behälteraufträge für vorgeschaltete 1.Stufe. In der modellierten 1.Stufe wurde die Seriengröße auf sechs festgelegt. Jeder Behälterauftrag der 1.Stufe ist nach projektinterner Vereinbarung artikelrein. D.h. in der Regel besteht eine Serie der 1.Stufe aus genau sechs unterschiedlichen Artikeln (da gleiche Artikel zu einem Behälterauftrag zusammengefasst werden). Es werden 3.831 Serien für die 1.Stufe ermittelt, die insgesamt 26.631 zusätzliche Behälteraufträge beinhalten.

Zusätzlich werden für dieses Modell 10.145 Bearbeitungsaufträge erzeugt und für die Zusammenführung entsprechend den Lieferaufträgen 22.800 Zusammenführungsaufträge. Betrachtet man abschließend die durchschnittliche Anzahl an unterschiedlichen Artikeln je Serie auf das gesamte Modell (1. und 2.Stufe) so ergeben sich die in Abbildung 6-99 dargestellten Kurvenverläufe.



Vergleicht man die Abbildung 6-99 mit Abbildung 6-95 ergibt sich ein Vorteil für das Modell „zweistufige Kommissionierung“, das jedoch mit einer wesentlich höheren Anzahl an Serien-

aufträgen verbunden ist. Im Modell der „einstufigen Kommissionierung“ werden konstant 200 Serienaufträge für jeden Simulationslauf erzeugt. Im Modell der „zweistufigen Kommissionierung“ entsteht hingegen mit steigender Periode und damit mit steigendem Simulationslauf eine höhere Anzahl an Serien (vgl. Abbildung 6-100). Dies ist mit den artikelreinen Behälteraufträgen der 1.Stufe begründet.

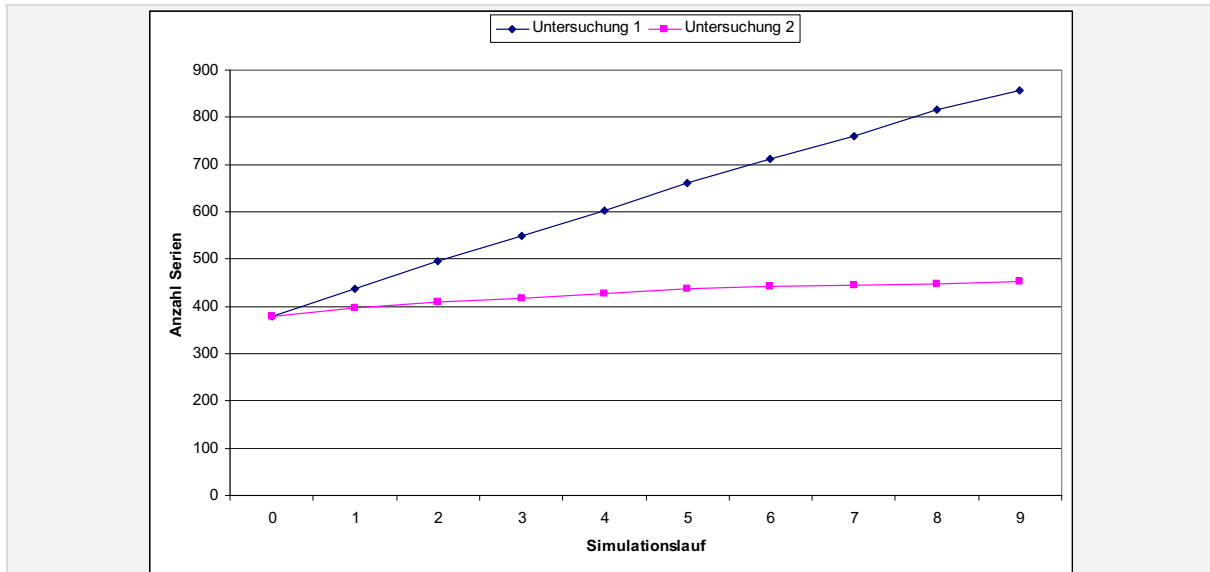


Abbildung 6-100: Anzahl Serien je Simulationslauf bzgl. 1. und 2.Stufe

### 6.5.3 Simulation (IML)

#### 6.5.3.1 Modell „einstufige Kommissionierung“

Das Simulationsmodell für das Modell der einstufigen Kommissionierung ist in folgender Abbildung dargestellt:

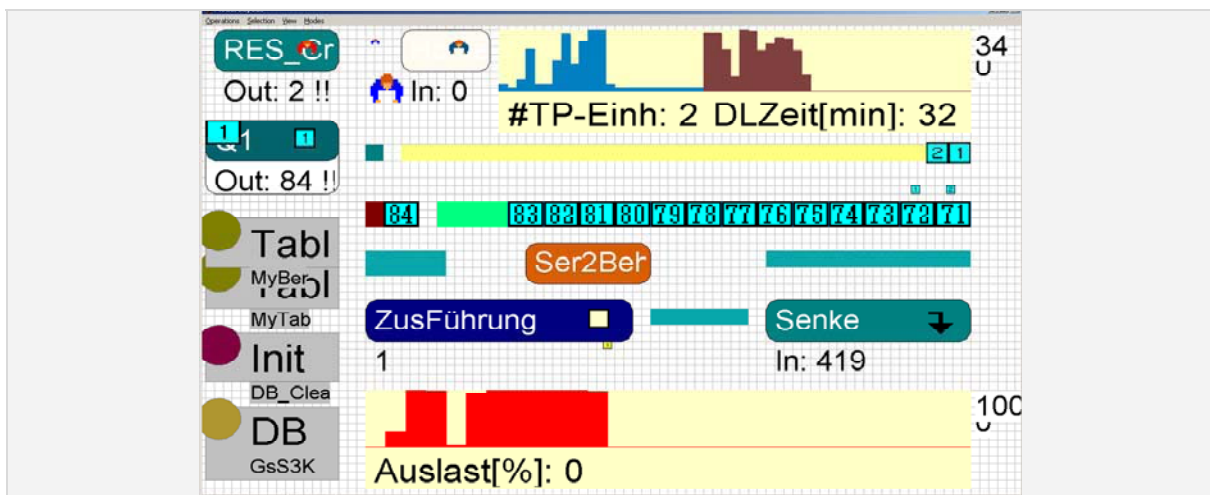


Abbildung 6-101: Simulationsmodell einstufige Kommissionierung

Das Simulationsmodell ist vollständig gleichwertig mit dem Modell für den Sollzustand im Szenario I (Pöppelmann) und mit einer Zone der Modelle für das Szenario II. Nur die Parameter des Modells sind grundlegend verschieden.

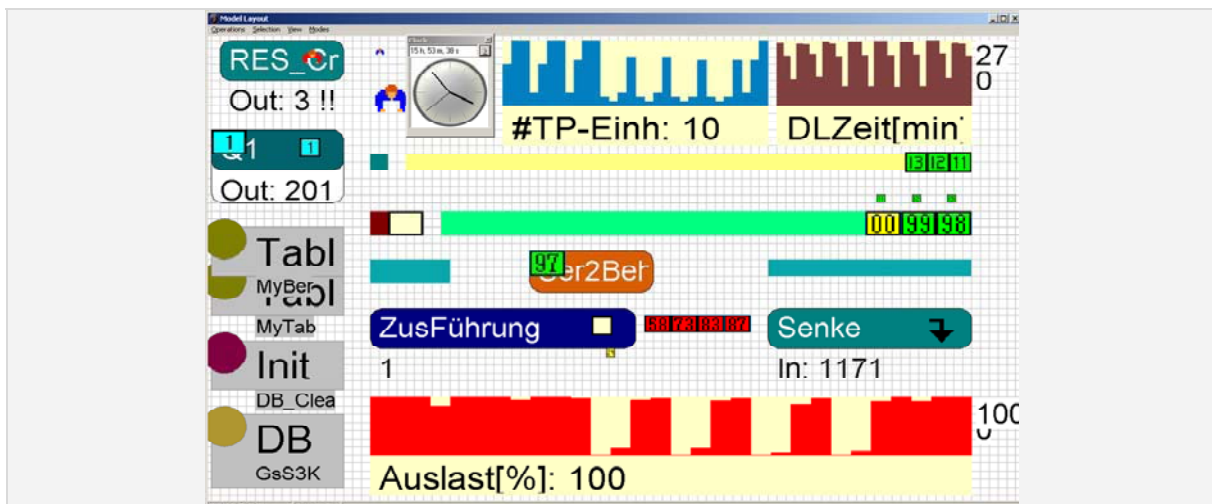


Abbildung 6-102: Simulationsmodell einstufige Kommissionierung nach 200 Serien

Durch die stündlichen Optimierungen von ungleichen Mengen an Kommissionieraufträgen können die Kommissionierer nicht gleichmäßig genug ausgelastet werden, so dass Totzeiten von etwa 30% der Arbeitszeiten entstehen. Dieses ist am Auslastungsmonitor (rot Abbildung 6-102) leicht zu erkennen, ebenfalls am Monitor für die Anzahl zu bearbeitender Serien (Blau: #TP-Einh), wie auch an den Durchlaufzeiten (Braun: DLZeit[min]).

### 6.5.3.2 Modell „zweistufige Kommissionierung“

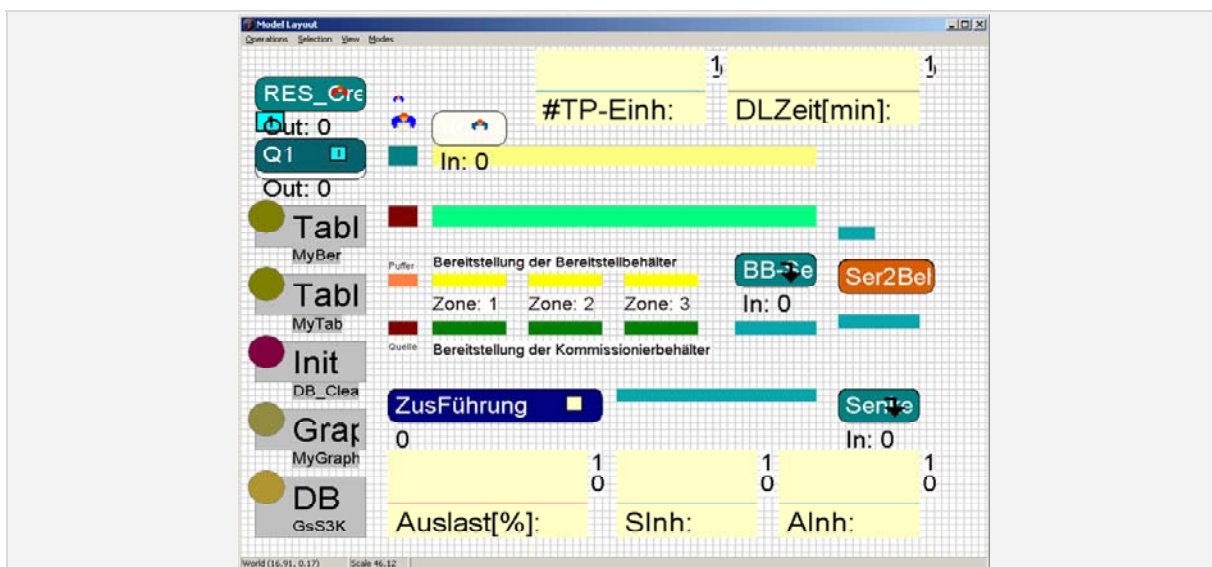


Abbildung 6-103: Simulationsmodell mit acht Zonen

Das Modell für zweistufige Kommissionierung (Abbildung 6-103) beinhaltet das Modell für einstufige Kommissionierung und ist um einen Bereich der zweiten Kommissionierstufe ergänzt worden. Das ist der Beschriftete Bereich wie in Kapitel 5.3.6 beschrieben, nach der ersten Stufe und links vom Splitter (Ser2Beh) und oberhalb der Zusammenführung (ZusFührung) angeordnet.

## 6.5.4 Ergebnis (IML)

### 6.5.4.1 Vergleich „einstufige Kommissionierung“ vs. „zweistufige Kommissionierung“

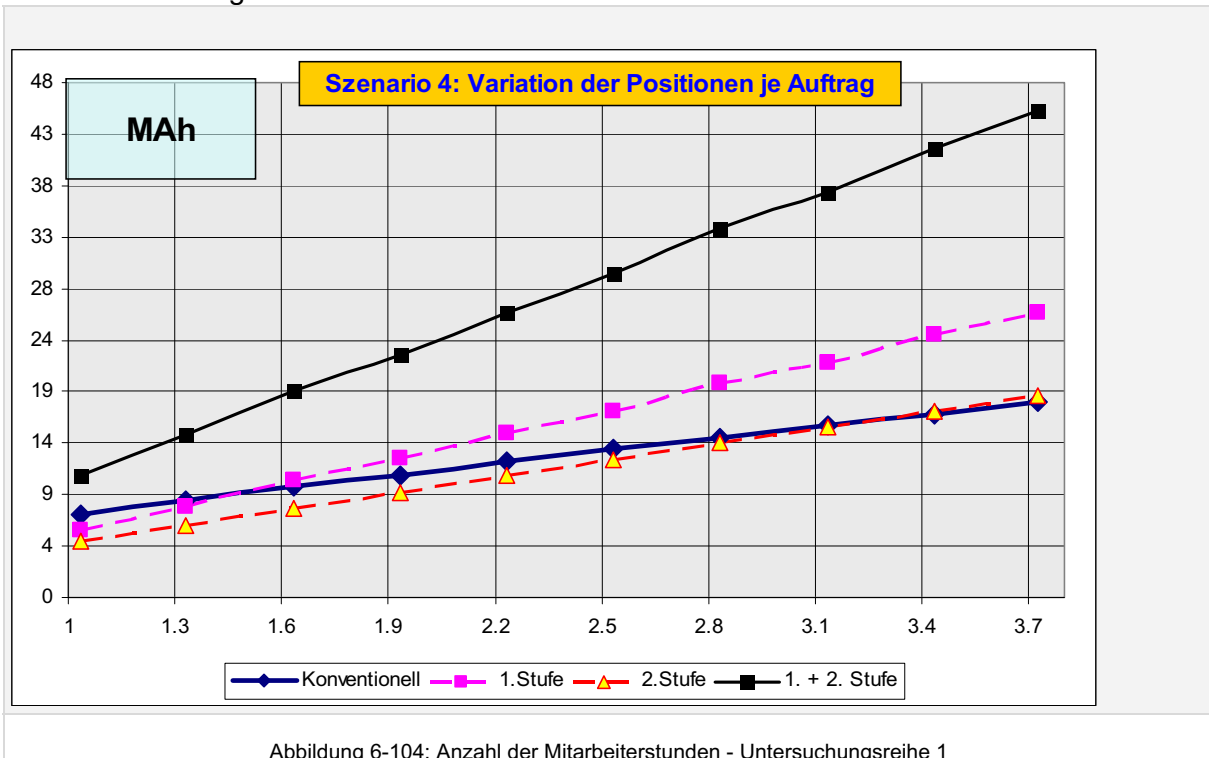
Die Auswertungen in den folgenden Abbildungen ist nicht nach konventioneller Kommissionierung und zweistufiger Kommissionierung unterschieden sondern sollen genau diese beiden Varianten in einer Abbildung direkt vergleichen. Dagegen sind die Abbildungen nach der Variation der Lagerplätze und nach der Variation der Positionen je Auftrag getrennt erstellt

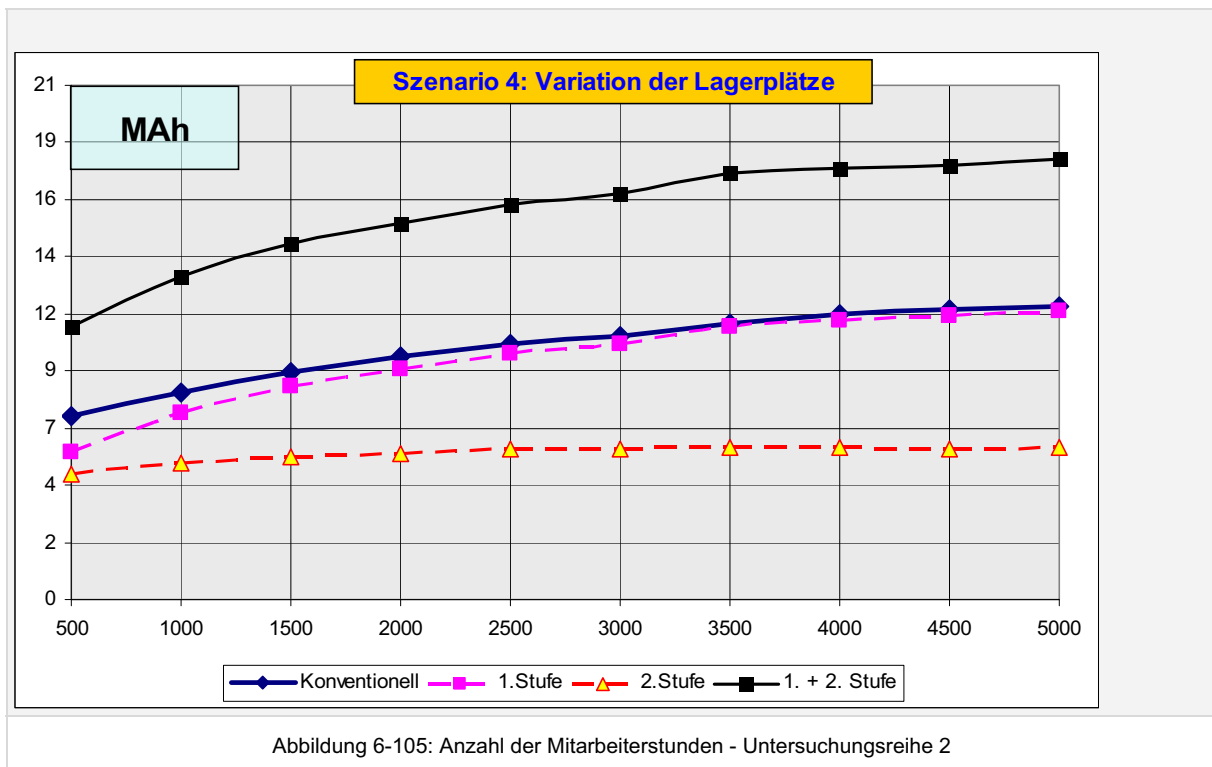
worden, weil diese Variationen verschiedene X-Achsen haben. In den Abbildungen sind jeweils vier Kurvenverläufe visualisiert:

- Blau durchgezogen Konventionelle Kommissionierung
- Violett gestrichelt 1. Stufe der zweistufigen Kommissionierung
- Rot gestrichelt 2. Stufe der zweistufigen Kommissionierung
- Schwarz durchgezogen Die Summe aus der 1. und der 2. Stufe zum Vergleich mit der blauen Kurve.

#### Auswertung der Mitarbeiterstunden in den beiden Modellen

Beim Vergleich der zu leistenden Mitarbeiterstunden zeigt sich, dass in der zweistufigen Kommissionierung deutlich höhere Anzahl Stunden zu leisten ist, als bei der konventionellen Kommissionierung.





Zu vergleichen sind die Kurve „1.+2. Stufe“ mit der Kurve „konventionell“. Die Zeiten steigen in etwa linear mit der Anzahl der Positionen je Auftrag wie in Untersuchungsreihe 1 variiert (vgl. Abbildung 6-104), und etwa mit der Wurzel aus der Artikelanzahl wie in Untersuchungsreihe 2 variiert (vgl. Abbildung 6-105).

Bei der Berechnung der Anzahl der zu kommissionierenden Positionen in Abbildung 6-106 kann man eine Tendenz zur Verbesserung der zweistufigen Kommissionierung erkennen. Die Anzahl der zu kommissionierenden Positionen verhalten sich linear zur Anzahl Positionen je Auftrag. Lediglich wenn besonders wenige Lagerplätze vorhanden sind sinkt die Anzahl der Positionen für die erste Stufe der zweistufigen Kommissionierung, damit auch die Gesamtanzahl Positionen. Der Grund liegt in dem deutlich höheren Optimierungspotential, weil weniger Artikel vorhanden sind. Die Anzahl Stück, die zu kommissionieren sind, sind davon nicht betroffen. Aber die Anzahl der Bearbeitungsaufträge zeigen den gleichen Effekt, wie Abbildung 6-107 zeigt. An den Bearbeitungsaufträgen ist auch zu erkennen wie man mit weniger Positionen je Auftrag bessere Ergebnisse für das zweistufige Kommissionieren erzielen kann.

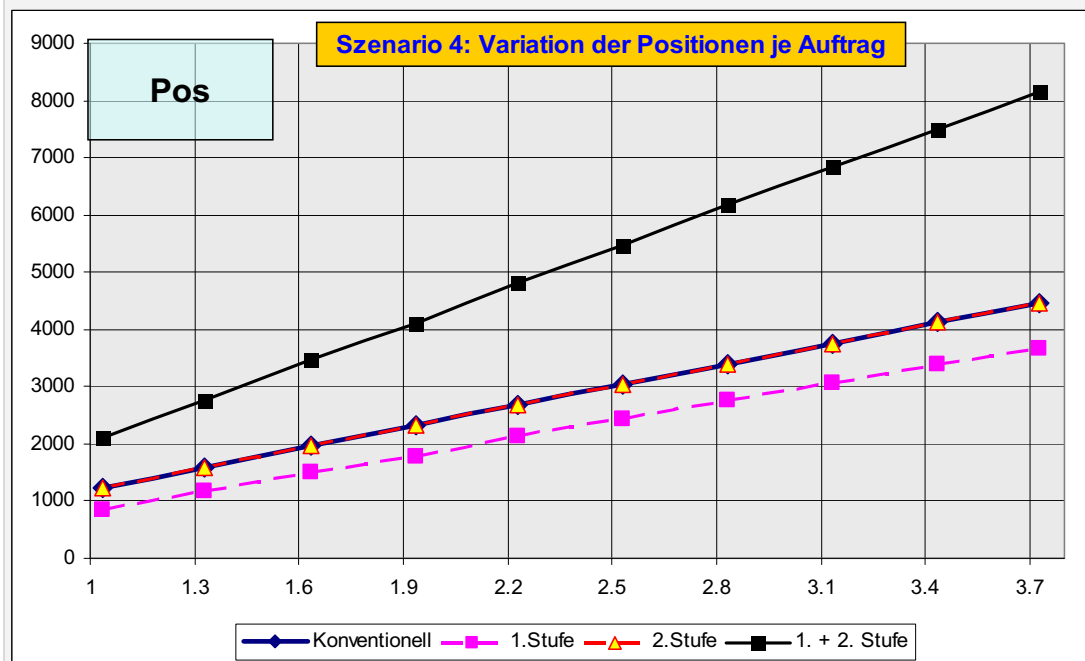
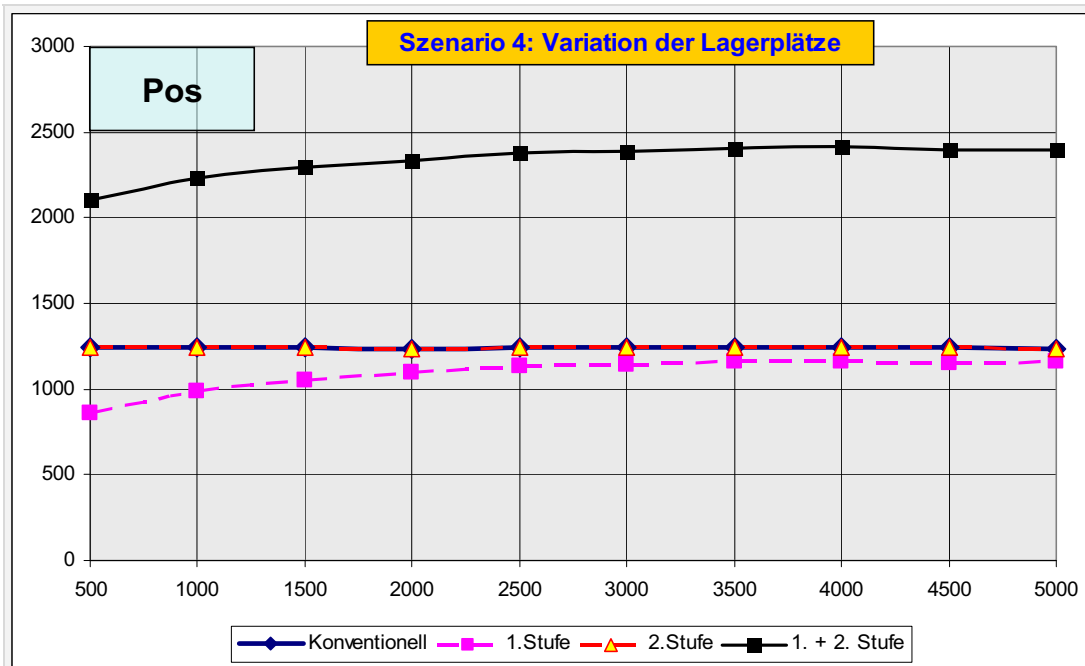
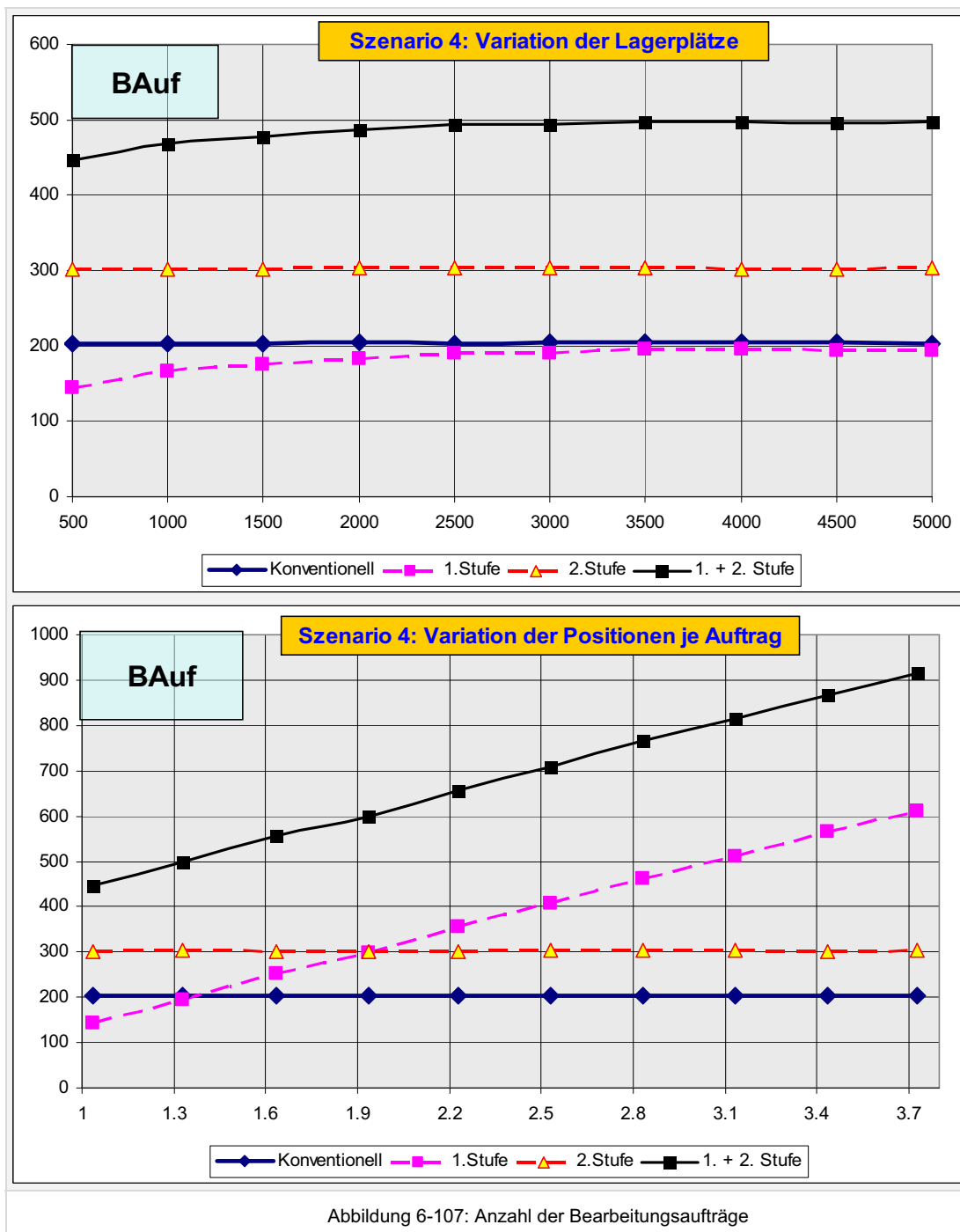


Abbildung 6-106: Anzahl der Positionen



#### 6.5.4.2 Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen mittels des Referenzszenario IV haben im Wesentlichen die aus der Literatur bekannten Regeln bestätigt. So konnte beispielsweise festgestellt werden, dass eine 2-stufige Kommissionierung tendenziell eher für viele kleine Aufträge die sich auf ein relativ kleines Sortiment beziehen im Vorteil gegenüber einer 1-stufigen Kommissionierung ist. Einflussfaktoren auf die Grenze, ab wann eine zweistufige Kommissionierung gegenüber der einstufigen wirtschaftlich zu bevorzugen ist gibt es jedoch viele, so dass eine definitive von eindeutigen Regeln auch hier nicht möglich ist. Einflussfaktoren sind z.B.:

- Seriengrößen in der ersten und zweiten Stufe
- ABC-Verteilung innerhalb des Sortimentes
- Technische Gestaltung der ersten und zweiten Stufe
- Profil des Auftragseinganges über den Tag

Voraussetzung für eine zweistufige Kommissionierung ist jedoch immer, dass eine hinreichend grosse Anzahl an Aufträgen zur Verfügung steht, die in einem Batch gesammelt und für die Bildung von optimierten Serien verwendet werden können. Muss ein Unternehmen z.B. gegen nachmittag Lastspitzen im Auftragseingang mit gleichzeitig hohen Anforderungen an den Lieferservice bewältigen und deshalb die Aufträge möglichst direkt nach Auftragseingang bearbeiten, so scheidet eine zweistufige Kommissionierung - zumindest nach dem Fixed Batch –Verfahren wie es auch in der Planungsumgebung implementiert ist - aus. Neuere Ansätze lösen dieses Problem, in dem sogenannte Floating Batches kontinuierlich entsprechend dem Arbeitsvorrat und den eingehenden Aufträgen bilden – eine Abbildung solcher Algorithmen hätten jedoch im Forschungsprojekt zu weit geführt.



## 7 Ableitung von Gestaltungsregeln (IML/fml)

Ziel des Forschungsprojektes war zum einen die Entwicklung einer simulationsgestützten Planungsumgebung für heterogen strukturierte Kommissioniersysteme und zum anderen die darauf basierende Generierung von allgemeingültigen Kennzahlen und Gestaltungsregeln für eben solche Systeme.

Dabei war das Ziel, Regeln zu definieren, die über die allgemeingültig bekannten Gestaltungshinweise, wie sie z.B. in der VDI-Richtlinie 3590 oder von Gudehus (/Gudehus 05/) beschrieben werden, hinausgehen.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Untersuchung der Referenzszenarien zeigen jedoch, dass die Definition von allgemeingültigen Kennwerten und Gestaltungsregeln meist nur unter Einbeziehung diverser Umgebungs-Kenngrößen möglich ist, wodurch die Allgemeingültigkeit solcher Gestaltungsregeln wieder eingeschränkt wird.

So ergeben sich z.B. bei Zone-Picking Systemen bei der Frage nach der optimalen Anzahl Zonen oder der optimalen Länge einer Zone folgende Einflussfaktoren:

- Die optimale Anzahl Zonen hängt von der Auftragslast ab. Optimal ist eine Dimensionierung, bei der die Last mit einem Mitarbeiter je Zone bewältigt werden kann.
- Die Leistung des Mitarbeiters hängt wiederum auch von der Länge der Zone ab, da ein direkter Einfluss auf die Wegzeiten besteht
- Die notwendige Anzahl Mitarbeiter ist wiederum abhängig vom Schichtmodell und somit von der zur Verfügung stehenden Zeit für die Kommissionierung
- Die Zonenlänge ist abhängig von der Größe bzw. Dichte der Artikelbereitstellung und damit auch

So können wie bereits in den Kapiteln zu den Schlussfolgerungen der einzelnen Referenzszenarien beschrieben ist, nur Tendenzen wie „System x ist eher geeignet bei ...“ genannt werden und keine allgemeingültigen konkreten Regeln.

## 8 Erkenntnisse zur simulationsgestützten Grobplanung

### 8.1 Ausgestaltung einer simulationsgestützten Planungsumgebung

Die Gestaltungsmöglichkeiten von Kommissioniersystemen sind ebenso vielfältig wie die Ziele und Rahmenbedingungen die in einem Planungsprojekt an den Planer herangetragen werden. Daraus ergibt sich die Anforderung an die Planungsumgebung, dem Planer möglichst viel Freiraum zu lassen und mittels flexibler Dimensionierung und Parametrisierung bzgl. Last, Modell und Parametern ein breites Feld an Untersuchungsmöglichkeiten bereitzustellen.

Diese Freiheit und Flexibilität bei der Nutzung führt aber auch zu einer gewissen Komplexität des Funktionsumfanges der Planungsumgebung, woraus sich ein gewisser Anspruch an das logistische und simulationsplanerische Wissen des Benutzers stellt. Viele Problemstellungen lassen sich ohne dass z.B. exakt die benötigten Bausteine als Templates vorliegen durch Abstraktion und Parametervariation untersuchen. Hierfür ist jedoch die genaue Kenntnis über den Einfluss der einzelnen Parameter auf die Simulation, das Systemverhalten und Berechnungen notwendig.

Die Notwendigkeit von flexibel nutzbaren Parametern zeigt sich im Rahmen des Forschungsprojektes auch bei der Ausgestaltung der Investitionskostenrechnung. So kann z.B. über Parametervariation bei den Kommissionierzeiten eine Pick-by-Light-Lösung abgebildet werden. Die Kosten pro Platz der Bereitstelllagertechnik steigen jedoch durch die Pick-by-Light-Technik. Der flexibel nutzbare Kostensatz „Kosten pro Platz“ wird demnach durch den Planer entsprechend angepasst.

### 8.2 Anwendung der Simulation in der Grobplanungsphase

Im Rahmen der Testreihen zu den Referenzszenarien zeigten sich teilweise auf den ersten Blick ungewöhnliche Kurvenverläufe in der Darstellung der Entwicklung von Ergebniskennzahlen über mehrere Modelle. Es zeigte sich, dass dies teilweise auf stochastische Schwankungen zurückzuführen war. Die Ergebniswerte schwankten bei gleicher Parametrisierung durch diesen Effekt um bis zu 5%. Daraus leitet sich die Erkenntnis ab, dass eine simulationsgestützte Planungsumgebung zum Zwecke des Systemvergleich und der Systemfindung nur bis zu einer gewissen Genauigkeit aussagekräftig ist. Ein Unterschied von z.B. 5% in den Kosten pro kommissionierte Position ist demnach keine ausreichende Entscheidungsgrundlage für das eine oder das andere System.

Zur Absicherung der Ergebniskennzahlen eines Experimentes ist darüber hinaus die Durchführung von mehreren Simulationsläufen mit gleicher Parametrisierung sinnvoll – auch wenn dies die zeitliche Dauer einer Planung weiter verlängert.

Eine weitere Erkenntnis im Rahmen des Forschungsprojektes war, dass in einer Vielzahl von Planungsaufgaben die optimale Parametrisierung eines Modells zur Generierung von aussagekräftigen Kennzahlen erst nach mehreren Iterationsstufen, in denen die Ergebnisse jedes Simulationslaufes zunächst vom Planer kritisch hinterfragt wurden und entsprechende Anpassungen vorgenommen wurden, erreicht wurde.

### 8.3 Einblick in Detailprobleme

Weitere Erkenntnisse und Problemfelder ergaben sich in untergeordneten Modulen und Funktionen die für eine simulationsgestützte Planung notwendig sind. Als Einblick sind im Folgenden einige Beispiele für Problemstellungen genannt, für die im Rahmen des Forschungsprojektes eine individuelle Lösung gefunden werden musste:

- Berechnung der Pick-Zeiten:  
Die Bestimmung der Kommissionierzeiten erfolgte unter Berücksichtigung von MTM-

Zeitwerten und wurde in den Templates je Baustein hinterlegt. Hierbei wird für den Zeitverbrauch für die Entnahme aus einem Fach oder einer anderen Bereitstellung die zu kommissionierende Stückzahl je Position und ein Parameter „Anzahl Greifen (wie viele Stück kann ein Mitarbeiter mit einem Zugriff entnehmen)“ berücksichtigt um die Häufigkeit der Zugriffe in das Fach und somit die benötigte Zeit zu berechnen. Im Falle der Referenzszenarien der Fa. Pöppelmann und teilweise auch bei der Fa. Ludwig Meister gab es Artikel die als Schüttgut kommissioniert wurden. Hier hätte aufgrund der hohen Stückzahl dieser Artikel eine Betrachtung wie oben beschrieben zu sehr hohen Zeiten geführt. Eine artikelindividuelle Kennzeichnung von Einzelartikeln mit der Information „Schüttgut ja/nein“ kam aus Aufwandsgründen nicht in Frage. Hier wurde projektspezifisch ein Schwellwert der Stück pro Position definiert ab dem die Position als Stückgut-Position interpretiert wurde und entsprechend eine andere Art der Berechnung der Kommissionierzeiten angewandt wurde.

- **Dimensionierung** **Bereitstell-Lager:**  
Bei Referenzszenario der Fa. Pöppelmann trat die Besonderheit auf, dass nicht alle aktiven Artikel auch gleichzeitig in der Kommissionierung bereitgestellt wurden. Ein Teil der Artikel befand sich permanent im betrachteten Anbruchlager, ein anderer Teil wurde auftragspezifisch für den nächsten Tag bereitgestellt. Es handelte sich also innerhalb eines Bausteins um eine Mischform aus statischer und quasi-dynamischer Bereitstellung was eine Abweichung von den definierten Standardfunktionen im Bereich der Dimensionierung darstellte. Eine weitere Besonderheit bestand darin, dass das Anbruch-Lager eine Mischform bzgl. der Bereitstell-Lagertechnik enthielt. Ein Teil der Artikel wurde zweifach tief in Fachbodenregalen gelagert und ein anderer Teil einfachtief. Solche Mischformen sind durch die Bausteintypen nicht darstellbar, da gemäß dem entwickelten Modellierungsparadigma ein Baustein in allen Zonen immer eine einheitliche Technik und Organisation hat. Zur simulationsgestützten Planung wurde hier im Bereich der Lastgenerierung und des Lagerspiegels eine manuelle Datenanpassung vorgenommen.
- **Mischung von Nachschublager und Kommissionierung:**  
Entsprechend des entwickelten Modellierungsparadigmas existiert eine strikte Trennung zwischen Nachschublager, und den Bereitstelllagern in statischer oder dynamischer Form. Das Nachschublager wird lediglich als Standard-Palettenlager zur Lagerung des Nachschubs dimensioniert. Oft wird in der Praxis jedoch gleichzeitig in einem Nachschublager auch direkt von Palette kommissioniert. In solchen Fällen ist eine logische Auftrennung des physisch zusammenhängenden Lagers in die einen Baustein welcher den Anteil des Kommissionierlagers repräsentiert und dem restlichen Nachschublager vorzunehmen.
- **Steuerung und Verhalten der Kommissionierer**  
Da die generierte Last für die Simulation genau entsprechend der Einlastung von den Kommissionier-Ressourcen in der Simulation abgearbeitet wird, ergeben sich Fragestellungen wie z.B.
  - Wird ein Großauftrag mit vielen Positionen pro Auftrag noch kurz vor Feierabend von einem Kommissionierer angefangen? Da ein einmal angenommener Auftrag immer auch zu Ende bearbeitet wird, verlängert sich seine Arbeitszeit und damit auch die Simulationszeit über die definierten Schicht-Grenzen hinaus.
  - Wann wechselt ein Kommissionierer zwischen Zonen, Bausteinen und Bereichen? Die im Forschungsprojekt entwickelten vorangehend beschriebenen Strategien sind für die untersuchten Referenzszenarien ausreichend und funktionieren, jedoch sind diese Steuerungsstrategien nicht allgemeingültig zu hinterlegen.

## 9 Ausblick

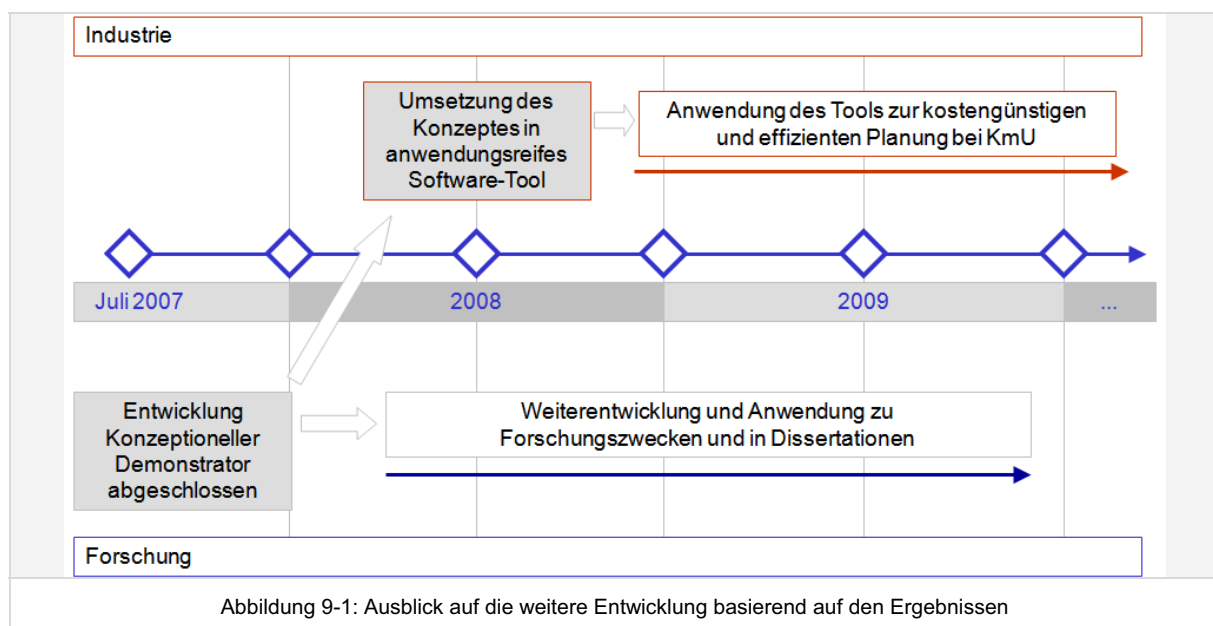
Die simulationsgestützte Grobplanung von Kommissioniersystemen ist aus Sicht der Forschenden eine zukunftsweisende Art der Planungsunterstützung und wird sich entsprechend dem Trend zu immer komplexer werdenden Systemen langfristig als Standardwerkzeug durchsetzen und in vielen Bereichen die statischen Planungsmethoden ablösen und ersetzen.

Im Rahmen des Forschungsprojektes konnte ein konzeptioneller Demonstrator, der eine mögliche Umsetzung der Simulationsintegration in den Planungsprozess aufzeigt, entwickelt werden. Hierbei sind die Forschenden auf eine Vielzahl an Herausforderungen gestoßen, die sich insbesondere daraus ergaben, den hohen Detaillierungsgrad aus der Datenebene der Simulation mit einem einer Grobplanungsphase gerecht werdendem Aufwand für die Modellierung und Ergebnisgenerierung in Einklang zu bringen.

Um die Komplexität beherrschbar zu machen war oft eine Übersetzung in standardisierte Modelle und Berechnungswege notwendig, wobei die Standardisierungen dem Anspruch an für die Grobplanung hinreichend genaue Ergebnisse gerecht werden mussten.

Immer wieder kamen im Rahmen des Forschungsprojektes auch Aspekte der Rechenleistung, und damit verbunden auch Aspekte der Ausführungs-Geschwindigkeit der einzelnen Module auf. Die Datenmengen die für die Steuerung und Ablauf der Simulation benötigt werden, deren Generierungs- und Optimierungsalgorithmen und auch der Umfang der Ergebnisdaten die von der Simulation zurückgeschrieben werden und ausgewertet werden müssen kann bei größeren Systemen zu erheblichen Wartezeiten im Planungsprozess führen. Hier besteht einerseits noch Verbesserungspotenzial bzgl. der Optimierung von Algorithmen und Schnittstellengestaltung der Module mit dem unterlagerten Datenbanksystem, andererseits werden zukünftig die Rechnerleistungen weiter exponentiell zunehmen, wodurch auch ein Performance-Gewinn bei der Anwendung einer simulationsgestützten Planungsumgebung einhergeht.

Die Weiterverwendung der Forschungsergebnisse durch Industrie und Forschung sind in folgender Darstellung aufgezeigt:



Als Inhalte der skizzierten Weiterentwicklungen erscheinen beispielsweise folgende Schwerpunkte ein hohes Innovationspotenzial zu bieten:

- Realisierung und Einbindung der Entwickelten Funktionalitäten und Module in eine SOA (Service orientierte Architektur) bei der verschiedenen Module Services anbieten (z.B. Prognose-Module, Simulationsmodule, Lastgeneratormodule, ...)
- Ziel könnte zukünftig eine Art Komponenten-Architektur sein bei der in bestimmten Ebenen zusätzliche Strategien/Regeln und Module hinzugefügt werden können.
- Serviceorientierte Architektur bietet auch die Möglichkeit der Realisierung einer Anbindung/Kopplungsmöglichkeit an Warehouse Management Systeme im Rahmen der Entwicklung und Implementierung zur Prüfung von Strategien und Funktionen (Emulation)
- Erweiterung des in diesem Forschungsprojekt definierten Betrachtungsbereich der Kommissionierung in Richtung Wareneingang, Nachschub und Versandabwicklung
- Weiterentwicklung als Optimierungstool für den täglichen operativen Betrieb bei KmU

## I Literaturverzeichnis

- /Töpfer 97/ Hans-Henning Töpfer: Expertenwissen für die Systemauswahl; Technica 1997 Nr. 18, S. 24-28
- /VDI 3590/ Kommissioniersysteme - Grundlagen, Systemfindung, Praxisbeispiele VDI-Richtlinie 3590; Entwurf Juli 2002
- /Heidenb 01/ Volker Heidenblut: DLL, AKL oder Kombilösung; Materialfluss (2001) Nr. 1/2, S. 44-46
- /Lackes 03/ Richard Lackes: Vorlesungsskript „Wirtschaftsinformatik 2 – Datenbanksysteme und -anwendungen“, Universität Dortmund 2003.
- /Schneider 98/ Hartmut Schneider: Tipps für mehr Leistung in der Kommissionierung; Fördern und Heben 1998 Nr. 7, S. 500-502
- /Gudehus 05/ Timm Gudehus: Logistik; 2005 S. 685-795
- /Ziems 99/ Dietrich Ziems: Kommissionierprozesse per Simulation geplant; Hebezeuge und Fördermittel 1999 Nr. 4, S. 152-155
- /Arnold 01/ Dieter Arnold: Optimierung von manuellen Kommissionierbereichen; Logistik für Unternehmen, 2001 Nr.1
- /Heinz 02/ Klaus Heinz: Benchmarking für mittelständische Unternehmen – Grundlagen und Anwendungsbeispiele aus Logistik, Produktion und Service; Huss-Verlag München 2002
- /Fang 96/ Dianjun Fang: Entwicklung eines wissensbasierten Assistenzsystems für die Planung von Lagersystemen; A. Kuhn (Hrsg.), Verlag Praxiswissen, Dortmund 1996

## II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Zuordnung zentraler Begriffe des Kommissionierens .....	15
Abbildung 2-2: Abgrenzung Kommissioniersystem Informationsflussebene .....	17
Abbildung 2-3: Abgrenzung Kommissioniersystem Materialflussebene .....	17
Abbildung 2-4: Reichweiten in der Bereitstellung und im Gesamtsystem.....	18
Abbildung 2-5: Kriterien für Bausteinbildung .....	19
Abbildung 2-6: Baustein-Topologie.....	20
Abbildung 2-7: Zonenlayout.....	20
Abbildung 2-8: Elementarbausteine .....	21
Abbildung 2-9: Arbeitsvorlage zum Workshop Abgrenzung Grobplanung vs. Feinplanung.....	22
Abbildung 2-10: Klassifizierung von Simulationswerkzeugen (angelehnt an (Wenzel & Noche, 2000)). .....	25
Abbildung 2-11: Popularität kommerzieller ereignisdiskreter Simulationswerkzeuge (Dias, Pereira, & Rodrigues, 2007).....	26
Abbildung 2-12: Vergleichstabelle zur Auswahl Simulationswerkzeug .....	28
Abbildung 2-13: Modellierungskonzepte und Simulationsmethoden (Wenzel, 1998) .....	29
Abbildung 2-14: Beispiel zur ER-Modellierung.....	31
Abbildung 2-15: Beispiel zur SER-Modellierung (Lackes, 2003).....	32
Abbildung 2-16: Aussagen und Voraussetzungen für die Berücksichtigung der Erlöse bei der Kapitalwertmethode. 33	
Abbildung 3-1: Vorgehensmodell für die simulationsgestützte Grobplanung.....	35
Abbildung 3-2: Modellierungsparadigma .....	37
Abbildung 3-3: Kommissionierprozesse in einem Baustein vom Typ 1 .....	39
Abbildung 3-4: Kommissionierprozesse in einem Baustein vom Typ 2 .....	40
Abbildung 3-5: Layout eines Zone-Picking-Systems mit 6 Zonen.....	40
Abbildung 3-6: Kommissionierprozesse in einem Baustein vom Typ 3.....	41
Abbildung 3-7: Verwirklichungsformen von Bausteinen vom Typ 3 .....	43
Abbildung 3-8: Kommissionierprozesse in einem Baustein vom Typ 4 .....	44
Abbildung 3-9: Verwirklichungsformen von Bausteinen vom Typ 4 .....	45
Abbildung 3-10: Kommissionierprozesse in einem Baustein vom Typ 5.....	45
Abbildung 3-11: Kommissionierprozesse in einem Baustein vom Typ 6.....	46
Abbildung 3-12: Verwirklichungsformen von Bausteinen vom Typ 6 .....	47
Abbildung 3-13: Beispiel für die Verschaltung der Modellelemente .....	48
Abbildung 4-1: Struktur eines Planungsprojekts .....	54
Abbildung 4-2: Struktur eines Systemlastszenarios.....	55
Abbildung 4-3: Beispiel der zu untersuchenden Datenpunkte .....	56
Abbildung 5-1: Architektur der Planungsumgebung.....	58
Abbildung 5-2: Spaltenabgleich Artikeldaten .....	59
Abbildung 5-3: Spaltenabgleich Lieferauftragsdaten .....	59
Abbildung 5-4: Ausschnitt DB-Schema für die Speicherung importierter Daten .....	60
Abbildung 5-5: Entwicklungen der Lieferauftragsseigenschaften .....	61
Abbildung 5-6: Ausschnitt DB-Schema für das Systemlastszenario.....	61
Abbildung 5-7: Vorgehensweise bei der Definition einer Artikelklasse .....	62
Abbildung 5-8: Benutzeroberfläche für die Definition des zu betrachtenden Sortiments.....	62
Abbildung 5-9: Ablauf bei der Generierung der unveränderlichen Artikel .....	64
Abbildung 5-10: Ablauf bei der Erzeugung der Sortimente für jede zu untersuchende Periode .....	65
Abbildung 5-11: Vorgehensweise bei der Definition einer Lieferauftragsklasse .....	66
Abbildung 5-12: Benutzeroberfläche für die Definition der Lieferauftragslisten.....	67
Abbildung 5-13: Ablauf bei der Erzeugung der Lieferaufträge für alle Perioden einer Tagesform.....	68
Abbildung 5-14: Grenzen für ein Kriterium bei der Artikelgruppenbildung .....	70
Abbildung 5-15: Beispiel einer Artikelgruppenbildung und zugehöriger Bausteinzuzuweisung.....	70
Abbildung 5-16 Eingabemaske für die Artikelgruppenbildungskriterien und Grenzen .....	71
Abbildung 5-17: Modellierungssystematik und Bereiche .....	72
Abbildung 5-18: Restriktionen im Modellierungsparadigma.....	73

Abbildung 5-19: Modellierungsumgebung Topologie .....	74
Abbildung 5-20: Template-Katalog .....	75
Abbildung 5-21: Dialog zur Definition und Dimensionierung Bausteine .....	77
Abbildung 5-22: Dialog zur Definition und Dimensionierung Bausteine .....	77
Abbildung 5-23: Dialog zur Definition und Dimensionierung Bausteine .....	78
Abbildung 5-24: Dialog zur Definition und Dimensionierung Bausteine .....	78
Abbildung 5-25: Nummerierung der Dimensionierungsparameter in einem Baustein .....	79
Abbildung 5-26: Reihenfolge der Lagerplatzvergabe .....	81
Abbildung 5-27: Ablauf bei der Reihenfolge der Lagerplatzvergabe .....	82
Abbildung 5-28: Ablauf bei der Erzeugung der Lagerspiegel .....	83
Abbildung 5-29: Ablauf bei der Umwandlung der Lieferaufträge in Behälteraufträge .....	85
Abbildung 5-30: Ablauf bei der Batchbildung .....	87
Abbildung 5-31: Ablauf bei der Serienbildung .....	89
Abbildung 5-32: Ablauf bei der Behälterauftragserzeugung der 1.Stufe bei 2-stufigen Systemen .....	90
Abbildung 5-33: Ablauf bei der Reihenfolgebildung der Serien .....	91
Abbildung 5-34: Ablauf bei der Erstellung der Bearbeitungsaufträge .....	92
Abbildung 5-35: Ablauf bei der Erstellung der Zusammenführungsaufträge .....	94
Abbildung 5-36: Beispiel einer Behälterauftragsliste für einen Bereich .....	95
Abbildung 5-37: Berechnung der Greif- und Ablagezeiten .....	97
Abbildung 5-38: MTM-Basisberechnungen für die Greif- und Ablagezeiten .....	98
Abbildung 5-39: Berechnung der Wegzeiten eines Kommissionierers .....	99
Abbildung 5-40: Ablaufdiagramm Ermittlung der laufenden Seriennummer .....	100
Abbildung 5-41: Detailansicht Simulation Transportsystem Zone und Funktionen .....	105
Abbildung 5-42: Icondarstellung mit Objektziel .....	107
Abbildung 5-43: Transportsystem mit Umlauf .....	107
Abbildung 5-44: Zielsteuerung für Transportsysteme mit Umlauf .....	108
Abbildung 5-45: Zielsteuerung für Systeme mit Umlauf .....	109
Abbildung 5-46: Transportsystem ohne Umlauf .....	110
Abbildung 5-47: Zielsteuerung für Transportsysteme ohne Umlauf .....	110
Abbildung 5-48: Ablaufdiagramm der Zielsteuerung für Systeme ohne Umlauf .....	111
Abbildung 5-49: Bausteintypen für den Bereich der dynamischen Kommissionierung .....	114
Abbildung 5-50: Verkettung der Bausteine im Bereich der dynamischen Kommissionierung .....	115
Abbildung 5-51: Datenbanktabellen für die Speicherung der Kennzahlen .....	117
Abbildung 5-52: Komprimierung der ermittelten Daten zu Kennzahlen .....	117
Abbildung 5-53: Parameter für den Invest eines Bausteins .....	118
Abbildung 5-54: Parameter für den Invest eines Bereichs .....	118
Abbildung 5-55: GUI für die Eingabe der Personalkostensätze .....	119
Abbildung 5-56: GUI zur Modellierung der anfallenden Kosten im Reservelager .....	119
Abbildung 5-57: Schematischer Ablauf für die Ermittlung des erwarteten Kapitalwertes am Beispiel von drei Modellen und drei Entwicklungen .....	120
Abbildung 5-58: Messpunkte für die Ermittlung der Durchlaufzeiten am Beispiel eines Modells mit 3 parallelen Zonen .....	127
Abbildung 5-59: Für die Bewertung zu ermittelnde Durchlauf- und Liegezeiten .....	128
Abbildung 5-60: Terminabweichung .....	129
Abbildung 5-61: Histogramm Terminabweichung .....	130
Abbildung 6-1: Zugriffshäufigkeit der Artikel im aktuellen Sortiment bzgl. des vergangenen Jahres .....	136
Abbildung 6-2: Häufigkeitsverteilung der Lieferauftragspositionen je Lieferauftrag in den Originaldaten .....	136
Abbildung 6-3: Häufigkeitsverteilung der Menge pro Lieferauftragsposition in den Originaldaten .....	137
Abbildung 6-4: Vergleich der Zugriffshäufigkeit des Originalsortiments mit generiertem Sortiment für Periode 0 .....	139
Abbildung 6-5: Zugriffshäufigkeiten des Sortiments über den Planungshorizont bezogen auf die optimistische Entwicklung .....	139
Abbildung 6-6: Anzahl der Lieferauftragspositionen an Normaltagen über den Planungshorizont .....	140
Abbildung 6-7: Anzahl der Lieferauftragspositionen an Spizentagen über den Planungshorizont .....	140
Abbildung 6-8: Vergleich der generierten mit der Originalverteilung für die Lieferauftragspositionen je Lieferauftrag .....	141
Abbildung 6-9: Entwicklung der Anzahl Positionen .....	143



Abbildung 6-10: Notwendige Anzahl Mitarbeiterstunden .....	144
Abbildung 6-11: Anzahl Mitarbeiter, und maximale Arbeitszeit für die Simulationsläufe .....	144
Abbildung 6-12: Notwendige Anzahl Mitarbeiterstunden .....	146
Abbildung 6-13: Einsparung Mitarbeiterstunden Zone-Picking vs. Konventionell .....	147
Abbildung 6-14: Einsparung Mitarbeiterstunden Zone-Picking vs. Konventionell .....	148
Abbildung 6-15: Basiszeiten für die Kommissionierung [Sec] .....	148
Abbildung 6-16: Einsparpotential am Kommissionieraufwand für Wege durch Zonepicking .....	149
Abbildung 6-17: Simulationsmodell Variante SOLL-Planung .....	149
Abbildung 6-18: Simulationsmodell Variante Zone-Picking .....	150
<b>Abbildung 6-19: Simulationsergebnisse für die Zonepickingvariante</b> .....	<b>151</b>
<b>Abbildung 6-20: Berechneter Invest und Kosten beider Modelle</b> .....	<b>152</b>
Abbildung 6-21: Personalkosten für das Modell „konventionelles Kommissionieren“ .....	152
Abbildung 6-22: Personalkosten für das Modell „Kommissionieren in Zonen“ .....	152
Abbildung 6-23: Kosten pro Lieferauftragsposition .....	153
Abbildung 6-24: Kosten pro Lieferauftragsposition .....	153
Abbildung 6-25: Gegenüberstellung der Kapitalwerte der untersuchten Modelle .....	154
Abbildung 6-26: Durchlaufzeiten für das Modell „konventionelle Kommissionierung“ .....	154
Abbildung 6-27: Durchlaufzeiten für das Modell „Kommissionieren in Zonen“ .....	155
Abbildung 6-28: 3D-Ansicht des Kommissionierlagers der Fa. Ludwig Meister .....	156
Abbildung 6-29: Originalartikelanzahl in den verschiedenen Kommissionierbereichen .....	157
Abbildung 6-30: Zugriffshäufigkeit der Artikel im aktuellen Sortiment bzgl. des vergangenen Jahres .....	157
Abbildung 6-31: Häufigkeitsverteilung der Bestellzeitpunkte der Lieferaufträge in den Originaldaten bezogen auf Normaltage .....	158
Abbildung 6-32: Häufigkeitsverteilung der Bestellzeitpunkte der Lieferaufträge in den Originaldaten bezogen auf Spitzentage .....	159
Abbildung 6-33: Häufigkeitsverteilung der Lieferauftragspositionen je Lieferauftrag in den Originaldaten .....	159
Abbildung 6-34: Häufigkeitsverteilung der Menge pro Lieferauftragsposition in den Originaldaten .....	160
Abbildung 6-35: Artikelanzahl in den Kommissionierbereichen über den Planungshorizont bezogen auf die opt. Entwicklung .....	161
Abbildung 6-36: Vergleich der Zugriffshäufigkeit des Originalsortiments mit generiertem Sortiment für Periode 0 .....	161
Abbildung 6-37: Zugriffshäufigkeiten des Sortiments über den Planungshorizont bezogen auf die optimistische Entwicklung .....	162
Abbildung 6-38: Gegenüberstellung der generierten und Originalverteilung des Tagesprofils bezogen auf Normaltage .....	163
Abbildung 6-39: Gegenüberstellung der generierten und Originalverteilung des Tagesprofils bezogen auf Spitzentage .....	163
Abbildung 6-40: Anzahl der Lieferauftragspositionen an Normaltagen über den Planungshorizont .....	164
Abbildung 6-41: Anzahl der Lieferauftragspositionen an Spitzentagen über den Planungshorizont .....	164
Abbildung 6-42: Vergleich der generierten mit der Originalverteilung für die Lieferauftragspositionen je Lieferauftrag .....	165
Abbildung 6-43: Vergleich der generierten mit der Originalverteilung für die Menge pro Lieferauftragsposition für die Startperiode 0 .....	165
Abbildung 6-44: Topologie Variante serielle Organisation .....	166
Abbildung 6-45: Layout einer Ebene in der Fachbodenregalanlage .....	167
Abbildung 6-46: Anzahl unterschiedlicher Artikel in einer Serie .....	169
Abbildung 6-47: Gesamtanzahl Mitarbeiterstunden für alle Zonen .....	170
Abbildung 6-48: Pausenmodell für die eingesetzten Mitarbeiter .....	171
Abbildung 6-49: Die Anzahl Mitarbeiter und deren Zuständigkeit für die Simulationsläufe .....	171
Abbildung 6-50: Einsparung an Mitarbeiterstunden bei paralleler Organisation .....	172
Abbildung 6-51: Greif- und Ablagezeiten für serielle und parallele Organisation .....	172
Abbildung 6-52: Wegzeiten[Sec] beim Kommissionieren und Sparpotential[%] .....	172
Abbildung 6-53: Basiszeiten für die Kommissionierung [Sec] und das Einsparpotential .....	173
Abbildung 6-54: Reduzierung der Bearbeitungsaufträge bei paralleler Organisation .....	173
Abbildung 6-55: Simulationsmodell “serielle und parallele Organisation” .....	174
Abbildung 6-56: Bereichsverkettung “serielle Organisation” .....	174
Abbildung 6-57: Bereichsverkettung “parallele Organisation” .....	175

Abbildung 6-58: Simulationsmodell "serielle Organisation" .....	175
Abbildung 6-59: Vergleich der Durchlaufzeiten bezogen auf die ausgeglichene Entwicklung.....	176
Abbildung 6-60: Vergleich der Durchlaufzeiten bezogen auf die optimistische Entwicklung .....	176
Abbildung 6-61: Vergleich der Durchlaufzeiten bezogen auf die pessimistische Entwicklung .....	176
Abbildung 6-62: Vergleich der Durchlaufzeiten nach Gewichtung der prognostizierten Entwicklungen.....	177
Abbildung 6-63: Zeitanteile bei paralleler Organisation .....	177
Abbildung 6-64: Zeitanteile bei serieller Organisation.....	177
Abbildung 6-65: Zeit pro Lieferauftragsposition in Sekunden gewichtet über alle drei Entwicklungsarten.....	178
Abbildung 6-66: ABC-Verteilung.....	179
Abbildung 6-67: Zugriffshäufigkeit des generierten Sortiments .....	180
Abbildung 6-68: Anzahl Positionen der generierten Lieferaufträge .....	180
Abbildung 6-69: Baustein Zone-Picking mit 6 Zonen .....	181
Abbildung 6-70: Zunahme der Anzahl an Bearbeitungsaufträge bei wachsender Zonenanzahl.....	182
Abbildung 6-71: Simulationsmodell mit acht Zonen .....	183
Abbildung 6-72: Simulationsmodell mit 16 Zonen .....	183
Abbildung 6-73: Anzahl Mitarbeiterstunden für das Zonepicking .....	183
Abbildung 6-74: Anzahl Mitarbeiterstunden für das Zonepicking .....	184
Abbildung 6-75: Anteile an Greifzeit, Wegzeit und Basiszeit an der Nettoarbeitszeit für eine Position.....	184
Abbildung 6-76: Simulationszustand nach vier Stunden für 8 Zonen .....	185
Abbildung 6-77: Simulationszustand eine Stunde vor Simulationsende für 8 Zonen " .....	185
Abbildung 6-78: Simulationszustand nach 95 Minuten für 16 Zonen .....	186
Abbildung 6-79: Zonenwechselzeiten und sonstige Totzeiten für das Zonepicking .....	186
Abbildung 6-80: Zonenwechselzeiten und Totzeiten relativ zur Arbeitszeit und Zonenanzahl .....	187
Abbildung 6-81: Zonenwechselzeiten und Totzeiten beim Einsatz von 12 Kommissionierern.....	187
Abbildung 6-82: Versuch einer Berechnung von optimalen Zonengrößen" .....	188
Abbildung 6-83: Zeitverbräuche bezogen auf eine Lieferauftragsposition .....	189
Abbildung 6-84: Kosten pro Lieferauftragsposition .....	189
Abbildung 6-85: Generierte Artikelanzahl in den Perioden.....	193
Abbildung 6-86: Zugriffshäufigkeit der generierten Artikel für die Periode 0.....	193
Abbildung 6-87: Anzahl Lieferauftragspositionen je Simulationslauf.....	194
Abbildung 6-88: Häufigkeiten der Anzahl Positionen je Lieferauftrag in den Simulationsläufen der Untersuchung 1 .....	194
Abbildung 6-89: Steigerung der durchschnittlichen Positionsanzahl je Lieferauftrag bzgl. der Untersuchung 1 .....	195
Abbildung 6-90: Topologie Variante 1-stufige Kommissionierung.....	195
Abbildung 6-91: Topologie Variante 2-stufige Kommissionierung.....	196
Abbildung 6-92: Prinzipbild Baustein Typ 3 der zweiten Kommissionierstufe.....	196
Abbildung 6-93: Anzahl unterschiedlicher Artikel in den Serien für die Untersuchungsreihe 1.....	197
Abbildung 6-94: Anzahl unterschiedlicher Artikel in den Serien für die Untersuchungsreihe 2.....	197
Abbildung 6-95: Durchschnittliche Anzahl unterschiedlicher Artikel je Serie .....	198
Abbildung 6-96: Anzahl unterschiedlicher Artikel in den Serien der 2.Stufe für die Untersuchungsreihe 1 .....	199
Abbildung 6-97: Anzahl unterschiedlicher Artikel in den Serien der 2.Stufe für die Untersuchungsreihe 2 .....	199
Abbildung 6-98: Durchschnittliche Anzahl unterschiedlicher Artikel je Serie bzgl. der 2.Stufe .....	200
Abbildung 6-99: Durchschnittliche Anzahl unterschiedlicher Artikel je Serie bzgl. der 1. und 2.Stufe.....	200
Abbildung 6-100: Anzahl Serien je Simulationslauf bzgl. 1. und 2.Stufe .....	201
Abbildung 6-101: Simulationsmodell einstufige Kommissionierung .....	201
Abbildung 6-102: Simulationsmodell einstufige Kommissionierung nach 200 Serien.....	202
Abbildung 6-103: Simulationsmodell mit acht Zonen .....	202
<b>Abbildung 6-104: Anzahl der Mitarbeiterstunden - Untersuchungsreihe 1 .....</b>	<b>203</b>
Abbildung 6-105: Anzahl der Mitarbeiterstunden - Untersuchungsreihe 2 .....	204
Abbildung 6-106: Anzahl der Positionen .....	205
Abbildung 6-107: Anzahl der Bearbeitungsaufträge.....	206
Abbildung 9-1: Ausblick auf die weitere Entwicklung basierend auf den Ergebnissen.....	211

## III Anhang

